

系统法学：良法善治方法

张国庆 著

二〇一三年四月

Harmonious

系统法学：良法善治方法

张国庆 著

二〇一三年四月

内容提要

本书以复杂系统三论（生态论、健康论、和谐论）为理论基础，论述了系统法学基本原理、法制系统运行机制、数学法学、法制信息学，以及立法的系统方法、法制的评价与监督、法制系统管理等内容。

本书只是一种尝试，试图在生态论、健康论、和谐论的基础上，将系统学引入法学研究。

序

“师法自然”，就是要学习、探索“道法自然”之“道”与“德”，顺应、仿效自然之“道”，规范我们人类的行为。“师法自然”的“无为”境界，是“出世求天道，入世度众生”，实施“自然”而治。即“有为师天道，建良法；无为循善治，爱万物”，或者“天道良法，善治万物”。“师法自然”的艺术化表达是“民心物体”，也是“师法自然”的人格化表达。

本书基于复杂系统三论——生态论、健康论、和谐论，将师法自然的理念和复杂系统三论应用于系统法学，初步提出了系统法学的研究任务（研究良法之构件、良法之立法、善治之司法）和研究方法（师法自然、民心物体、融入民众、创新发展）、系统法学基本原理（法制思想定律、法制人权定律、良法定律、善治定律、和谐定律、法制至上定律、人权至上定律、民主定律、司法独立定律九大定律以及进化原理、LSP 协同原理、罪因溯源原理、学习原理、GCSP 原理、执者不议原理等 28 个原理），以及立法的系统方法、法制评价与监督、法制系统管理（法制系统管理、健康管理、法制系统和谐化）等基本理论与应用技术。全书共七章：

第一章，绪论。定义了系统法学，叙述了系统法学基本特征、任务、方法，以及系统法学的体系与发展历程。系统法学的根本任务就是研究良法善治的基本方法，也即研究良法之法与善治之策；系统法学的基本方法包括师法自然、民心物体、融入民众、创新发展。

第二章，良法善治原理。叙述系统法学基本原理。由于系统法学是研究良法善治的科学，因此，系统法学基本原理也就是良法善治基本原理。系统法学基本原理，包括法制思想定律、法制人权定律、良法定律、善治定律、和谐定律、法制至上定律、人权至上定律、民主定律、司法独立定律九大定律以及进化原理、LSP 协同原理、罪因溯源原理、学习原理、GCSP 原理、执者不议原理等 28 个原理。。

第三章，系统法学理论基础。介绍了系统法学基础理论：系统论、生态论、和谐论。

第四章，法制系统。介绍了法制系统运行机制，以及数学法学、法制信息学和全球安全网络的建设。

第五章，立法的系统方法。运用系统工程技术，介绍了立法的工作方法、工作程序、立法系统分析等内容

第六章，法制评价与监督。运用系统学技术，介绍了法制活动的评价与监督方法。

第七章，法制系统管理。介绍了法制系统的系统管理、健康管理与和谐管理的基本方法。

本书只是一种尝试，再加上作者学识浅陋，书中内容还十分粗糙，肯定存在不少错误，敬请大家批评指正。

张国庆
2013 年 4 月 16 日
于安徽潜山

目 录

第一章 绪论.....	10
1.系统法学.....	10
2.系统法学特征.....	10
3.系统法学基本任务.....	11
4.系统法学基本方法.....	11
5.系统法学的体系.....	12
6.系统法学发展历程.....	13
第二章 良法善治原理.....	15
第一节 天道良法，善治万物.....	15
1.自然.....	15
2.师法自然.....	15
3.无为.....	16
4.民心物体.....	17
5.和谐定律.....	17
第二节 法、标准与政策.....	18
1.社会规范.....	18
2.法制与法治.....	19
2.标准与标准化.....	20
3.政策.....	23
4.法治、标准化与政策之间的关系.....	23
第三节 人权.....	26
1.人权的概念.....	26
2.人权进化.....	27
3.基本人权.....	27
4.当代人权的基本内容.....	29
5.当代人权的进阶.....	30
6.人权至上定律.....	30
第四节 良法.....	31
1.形式上的良法.....	31
2.实质上的良法.....	32
3.良法的生成.....	34
第五节 善治.....	35
1.善治的要素.....	35
2.善治的原则.....	36
3.法治的优越性.....	37
4.主要法治原则.....	37

第六节 系统法学基本原理.....	40
1.法制思想定律	40
2.法制人权定律	41
3.良法定律	41
4.善治定律	41
第三章 系统法学理论基础.....	43
第一节 系统论.....	43
1.系统	43
2.系统思想	55
3.一般系统方法	59
第二节 生态论.....	77
1.从生态思想到生态论	77
2.生态论与系统论	78
3.生态论核心思想	78
4.生态论基本方法	80
5.生态论渊源	83
第三节 和谐论.....	84
1.和谐论理论渊源	84
2.和谐社会理论概述	89
3.当前和谐论研究综述	95
4.和谐的实质	99
5.和谐论与生态论	101
6.和谐发展论	101
第四章 法制系统.....	112
第一节 法制系统的运行机制.....	112
1.法制系统的结构	112
2.法制系统的运行	113
3.立法模式	113
4.司法模式	114
5.国家暴力工具	115
第二节 数学法学.....	116
1.法制系统行为模型	116
2.量刑的数学模型	116
3.司法的事件分析	116
4.罪因溯源	124
5.刑罚计量	125
第三节 法制信息学.....	126
1.全球法制信息系统	126
2.法制活动智能化	126
第四节 全球安全网络.....	129
1.生命地球	129

2.安全地球	130
第五章 立法的系统方法	131
第一节 立法工作方法	131
1.结构方法	131
2.功能方法	135
3.历史方法	138
4.系统仿真	150
第二节 立法工作程序	152
1.霍尔三维结构	152
2.切克兰德方法论	153
3.两种方法论的比较	155
第三节 立法的系统分析	155
1.系统分析要素	155
2.系统分析原则	156
3.系统分析程序	157
4.方案的创新	158
第四节 系统工程技术工具	162
1.运筹学	162
2.控制论	163
3.信息论	163
4.科学计算	164
第五节 立法复杂系统方法	164
1.大系统	164
2.开放的复杂巨系统的基本概念	165
3.开放的复杂巨系统理论方法	166
4.大系统择优理论及方法	167
第六节 研讨厅系统方法	170
1.研讨厅系统的概念	170
2.研讨厅系统的综合集成	171
3.研讨厅系统方法论	172
第七节 东方系统论	173
1.东方系统论的基本方法	173
2.东方系统方法论的主要原则	173
3.东方系统工作过程	175
4.东方系统方法的评价	176
第六章 法制评价与监督	177
第一节 数据标准化	177
1.权重	177
2.指标无量纲化	182
3.定量指标的筛选	191
第二节 熵与焓	192

1. 参量	192
2. 平衡与弛豫	195
3. 熵的物理学意义	195
4. 焓的物理学意义	197
5. 自由能	197
6. 复杂系统的熵	198
7. 复杂系统的焓	199
第三节 法制系统评价.....	200
1. 系统评价	200
2. 评价指标的量化与序化	211
3. 层次分析法	217
4. 模糊综合评价法	233
5. 数据包络分析法	244
6. 人工神经网络评价法	262
7. 灰色综合评价法	268
8. 多元统计评价法	269
第四节 法制监督.....	280
1. 法制监督的内涵	280
2. 法制监督的主体	280
3. 法制监督的客体	281
4. 法制监督的内容	281
5. 法制监督的分类	281
6. 法制监督的意义	282
7. 司法监督	282
8. 行政监督	282
第七章 法制系统管理.....	283
第一节 系统管理理论.....	283
1. 系统管理的定义	283
2. 系统管理的内涵	283
3. 系统管理的生态学内涵	284
4. 系统管理关键内容	284
5. 系统管理基本原理	285
第二节 法制系统管理的基本方法.....	290
1. 法制系统管理的方式与途径	290
2. 法制系统监测	290
3. 法制系统分析	291
4. 法制系统规划	291
5. 生命周期管理	291
6. 分布式管理	292
7. 云管理	292
8. 网格化管理	293

9. 系统管理技术的综合集成	293
第三节 法制系统健康管理.....	294
1. 法制系统健康评价	294
2. 法制系统健康管理原则	295
3. 法制系统健康管理主要内容	295
第四节 法制系统和谐化.....	296
1. 系统健康与系统和谐	296
2. 系统的目标	297
3. 系统的进化	297
4. 和谐论与生态论	298
5. 系统的和谐度方程	298
6. 法制系统的和谐化管理	299
参考文献.....	300

第一章 绪论

本章定义了系统法学，叙述了系统法学基本特征、任务、方法，以及系统法学的体系与发展历程。系统法学的根本任务就是研究良法善治的基本方法，也即研究良法之法与善治之策；系统法学的基本方法包括师法自然、民心物体、融入民众、创新发展。

1.系统法学

系统法学（legal systems science）是综合运用系统学理论与技术，以及其它学科先进理论与技术，研究法制系统的运行机制及其演化规律的一门科学。

所谓法制系统的运行机制，就是指法制系统的结构及运行原理，以及法制系统与其环境相互作用等。显然，法制系统的运行机制是空间上的概念。其中，法制系统是指包括法律、立法、法律执行、法律监督和法律宣传教育机构等，法制系统环境是指包括自然、经济、政治、社会、文化等方面的与法制系统相关的因子。

所谓法制系统的演化，就是指从法制系统在时间维度上的动态变化，包括法制系统的生成、演替或进化。

系统法学在法学中的应用就是法制系统工程，法制系统工程（legal systems engineering），就是综合运用系统科学、信息科学技术和法学科学知识，研究和解决法制系统的创建、运行和维护问题的法律实践。法制系统工程是系统法学在法治实践中的实际运用。

2.系统法学特征

（1）师法自然

除了因为我们是大自然的一部分之外，更重要的是，当今的大自然，是经过亿万年选择与进化而来，其中万物之间的关系法则，是我们人类最好的学习的榜样，有利于我们人类创建和谐的社会秩序。

自然界万物间的运行规则，无不透露着和谐的大智慧，我们人类的法制活动，要从中吸取对我们有用的和谐之智慧。这种有用的和谐之智慧两个方面，一个方面是使得大自然和谐繁荣的自然和谐智慧，另一个方面是负面的，也即大自然已经淘汰或正在淘汰的消极的运行规则。我们要积极发扬其中积极的自然规则，把它转换为适合为我们人类社会繁荣与和谐发展的法律制度；同时积极吸取大自然中消极规则的教训，把它与我们人类社会现有法律制度进行比较，摒弃我们现有法律制度中的糟粕，并防止以后重蹈覆辙。

师法自然，是系统法学的基本理念，也是系统法学的基本方法与基本特征。

（2）整体性

法制系统是由法制系统内的个体集合构成的整体，系统法学在研究任何一个对象的时候，不能仅研究宏观上的整体，也不能仅研究各个孤立的要素，而是应该了解整体是由那些要素组成的以及在宏观上构成整体的功能。这就是说，我们在认识和改造系统时，必须从整体出发，从组成系统的各要素间的相互关系中探求系统整体的本质和规律，把握住系统的整体效应。

（2）层次性

法制系统具有一定的层次结构，其中低一级的要素是它所属的高一级系统的有机组成部分。一般而言，系统的运动能否有效，效率高低，很大程度上取决于能否分清层次。因此，系统法学研究法制系统的层次性对于实行有效法制活动具有重要的意义

（3）目的性

所谓目的性，是指法制系统在一定的环境下，必须具有达到最终状态的特性，它贯穿于法制系统发展的全过程，并集中体现了法制系统发展的总倾向和趋势。系统法学就是要围绕建立人类社会和谐的社会秩序这个最高目标，建良法，循善治，来开展所有的法学研究活动。

（4）适应性

任何系统都存在于一定的环境之中，都要和环境有现实的联系，法制系统也是这样。系统法学就是要不断适应社会环境、自然环境的变化，围绕自己的最高目标，发展丰富自己的理论，指导人类社会实际法制活动。因此，系统法学的适应性特征也叫做发展性特征。

（5）有序性

此外，法制系统的整体性特征、个体性特征与关联性特征构成了法制系统的集合性特征，再加上结构性特征和层次性特征，统称为系统的有序性特征。在有序性方面，系统法学一方面要研究法制系统的有序性，另一方面系统法学要及时发现新的有序性，来指导人类社会建立新的更高级的有序秩序。

3.系统法学基本任务

系统法学根本任务就是研究良法善治的基本方法，也即研究良法之法与善治之策。系统法学的基本任务，也就是系统法学的基本内容。具体说来，主要有：

（1）良法之构件。也即法律的基本构件，法律应该具有哪些基本构件才能保证是良法，也即一个法律中，应该具有：

①明确的立法思想或原则，使得立法目的能够实现。立法目的，包括保护人权，维护社会和谐。系统法学就是要研究怎样的立法思想或原则，才能保证所制定的法律是良法。

②权利与义务，包括可以、必须与禁止行为，所有这些，都是紧紧围绕立法目的来进行定义与规定的。系统法学就是要研究在法律中怎样规定权利与义务，才能保证所制定的法律维护社会公正，促进社会和谐。

③罚则，违反者应该受到的惩罚。系统法学就是要研究在法律中制定怎样罚则，才能保证罪刑相当，维护社会有序，同时又维护犯罪人不应该受到侵犯的正当利益。

（2）良法之立法。也即合乎良法立法目的要求的立法方法。也即怎样的立法机构、立法程序，才能确保所制定的法律是良法，包括新法制定、旧法修订或废除。

（3）善治之司法。也即怎样的司法，包括法制机构的设置与改良，以及法律的执行与监督、宣传与教育，才能保证良法的执行，符合善治的目的。

4.系统法学基本方法

系统法学是诸学科的综合，尤其是系统学与法学的综合，自然也就继承与集成了诸学科的研究方法。其中，尤为突出的**基本方法包括师法自然、民心物体、融入民众、创新发展：**

（1）师法自然的研究理念。积极吸取自然之中先进的智慧，不断发展系统法学，服务人类和谐；

（2）民心物体的博爱之心。将众生平等、博爱万物观念融入系统法学研究之中，并付诸于系统法学实践；

（3）融入民众的研究行动。只有将民众的法制思想、要求汇聚到系统法学研究之中，

开展贴近民众需求的系统法学研究，将研究成果积极运用到良法善治的法制实践之中，才能保证系统法学的研究成果指导良法善治实践，而不成为恶法暴政的帮凶；

（4）创新发展的研究动力。只有不断创新发展，并将其作为系统法学的学科发展动力，才能保证系统法学的先进性，才能更好地服务于良法善治的实践。[1~43]

5.系统法学的体系

（1）系统法学理论框架

由于系统学的综合性，系统法学也继承了其综合性。系统学的理论基础是数学、物理学、化学与生物学，系统学提取其中基本思想、基础理论与技术方法，还吸收社会科学尤其是管理学中一些基本思想、理论与方法，不断丰富自己的内容，创新发展自己的理论、技术与方法。这些理论、技术与方法又为这些学科及其它学科提供支撑。

系统法学除了继承了系统学理论框架之外，同样还融合了法学理论框架，因此，系统法学理论框架的基础是系统学与法学。

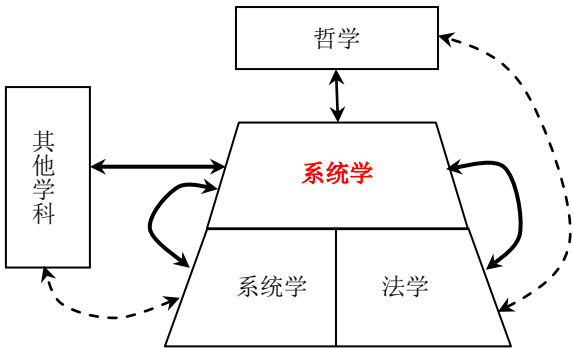


图 1-1 系统法学理论框架

（2）系统法学学科构成

系统学主要由基础理论、研究方法和应用三部分组成。其中系统思想、系统哲学属于系统学基础理论；系统方法和系统分析属于系统的基本研究方法，系统仿真、系统评价与系统管理则属于应用部分。系统生物学、系统生态学、系统社会学等等又属于系统学与其他学科相结合的应用。

表 1-1 系统法学的学科结构

基本理论	法哲学中涉及系统法学的内容（系统法哲学）。
	法理学中涉及系统法学的内容（系统法理学）。
	系统法学基础理论，包括系统法学基本原理、基本目标任务等。
基本方法	系统法学方法学
	法制系统结构学，法制系统功能学
	法制系统模型学，立法的系统方法学
	数学法学
应用技术	系统系统仿真学，法制系统工程学，法制信息学
	法制评价学
	法制系统管理学，法制监督学
	系统经济法学，系统行政法学，系统刑法学，系统生态法学

6.系统法学发展历程

（1）系统法学的萌芽

早在1979年10月召开的系统工程学术盛会上，钱学森指出“社会主义法治需要一系列法律、法规、条例，从国家宪法到部门法的规定，集总成为一个法治的体系、严密的科学体系，也是系统工程，是法治系统工程”。同年11月10日，钱学森在《光明日报》上撰文《大力发展系统工程，尽早建立系统科学体系》，把“法制系统工程”纳入“系统工程体系”。他的设想，激起了早期法学界、系统学界对系统法学的研究。

1981年8月29日吴世宦在《科技管理研究》1981年第4期上发表《建立我国法治系统工程学的浅议》，该刊同期还发表了钱学森的《钱学森同志论法治系统工程与方法》，随后，1981年《潜科学》发表了李克强《关于法治系统控制过程的探讨》，《法学杂志》1982年第5期发表了罗辉汉《关于开展法治系统工程研究的刍议》，1983年第4期又发表了罗辉汉《略论法治系统工程的特点和方法》，《法制建设》1984年第3期发表了钱学森、吴世宦《社会主义法制和法治与现代科学技术》，1984年第1期《法学季刊》发表了李昌麒、周亚伯《怎样运用系统论研究法学问题》，1984年第4期《中国政法大学学报》发表了熊继宁、段桂鉴《试论在法学研究领域里引进系统科学方法》，1985年第1期《西北政法学院学报》发表了严存生同志《运用系统论于我国的法制建设》，孙国华在其主编的《法学基础理论》（统编教材）中对于系统科学方法也给予了关注。

（2）系统法学的产生

1985年5月熊继宁在《政法论坛》1985年第3期上发表了《新的探索——系统法学派的崛起》，以及1985年4月26~28日由中国政法大学法制系统科学研究会和广州中山大学法制系统科学研究会联合发起召开，中国政法大学主办的全国首届法制系统科学讨论会，及熊继宁、何玉、王光进主编，中国政法大学出版社的会议部分论文集《法制系统科学研究》（1985年），标志着系统法学的正式产生。

熊继宁的《新的探索——系统法学派的崛起》共分为法学的危机、法学家的困惑、新的探索，方法论的变革、法制系统科学、光明的前景等六个部分，全面、系统、简洁地介绍了系统法学产生的历史背景、初期的历程、方法论特点、系统法学体系的设想以及对其前途的展望。

1985年4月的“全国首届法制系统科学讨论会”在北京召开，会后出版了论文集《法制系统科学研究》。会议讨论的主题包括：①关于我国法学落后的原因。代表们认为，必须引进西方现代科学方法开展法制建设和法学研究。②关于引进现代科学方法研究法学的问题。代表们认为，需要引进计算机等科技装备，建立法制资料数据库等，需要引进系统论、控制论和信息论等科学方法研究法学。③关于法制系统科学和法学流派问题。代表们认为，法制系统科学作为法学的一门边缘学科已经形成，并确立了自己的研究范畴，不作为传统法学的分类。因而，1985年可以看作是我国“系统法学”诞生之年，“全国首次法制系统科学讨论会”可以作为系统法学诞生的标志。

1988年召开了第二届学会，两次学会推动了法治系统工程研究的开展，掀起了新一轮研究热潮，又陆续出版了《论法治系统工程》（吴仕宦等著，群众出版社，1986）、《法治系统工程》（吴仕宦著，湖南人民出版社，1988）、《量刑与电脑——量刑公正合理应用论》（苏惠渔、张国全、史建三著，百家出版社，1989）等著作，以及罗辉汉的《法治系统工程及其研究途径》、常远的《审判决策最优化讨论》、季卫东、齐海滨的《系统方法在法学研究中的应用及其局限》、吴仕宦、程信和的《建立中国式经济法系统工程》、文正邦的《综合治理发展的新阶段——社会治安系统工程》、俞梅荪的《我国经济法制系统工程研究的现状与未来》、姜文赞、常远的《论社会治安治理的目标与指标体系》等一批很有影响的论文。

然而，随着研究的逐步深入，难度的加大，成果的匮乏，系统法学研究受到了怀疑。在法学研究中能否运用系统科学的思维方法和理论，用在什么层次和水平上，当时我国的法学理论仍然带有严重的阶级性，西方法学思想和流派还没有大量引进，系统法学研究进展缓慢。
[44~47]

（3）系统法学新崛起

2000 年《政法论坛》第 6 期发表了熊继宁《系统法学在中国——纪念全国首届法制系统科学讨论会召开 15 周年》，对前期系统法学的研究成果进行了概括和总结。

2001 年 4 月，由中国系统工程学会法制系统专业委员会（筹）和北京系统工程学会法制系统工程专业委员会发起并在北京召开的“法制 / 法治系统工程回顾与展望学术讨论会”，来自北京大学、清华大学、中国人民大学、中山大学、中国科学院、中国社会科学院、中国航天工业总公司等单位 50 多位专家教授以及中国政法大学部分博士生和硕士生参加了会议，会议认为：“此次会议，是中国系统法学在新世纪的第一次会议，也是中国系统法学的发展史上具有重要意义的一次会议，它将有力地推动中国系统法学的研究。”此次会议预示着系统法学进入了一个新的发展阶段。

在这之后，熊继宁出版了《系统法学导论》（知识产权出版社，2006），对我国系统法学的研究总结了系统的总结，并**提出了法系统学、法规范系统、法系统技术学、法制系统工程等理论，从法理学、哲学角度对系统法学进行了深入的探讨。**

于洪军在其《系统法学大纲》运用系统理论，对法的概念、法的根源、法的功能、社会系统的依法运行方式和运行基本规律、法学的研究对象和范围进行了阐述。

闫林海（2009）发表了《中国系统法学研究》，对中国系统法学研究现状进行了总结，并展望了中国系统法学发展前景。
[44~47]

2012 年 4 月 13 日，张国庆在科学网博客上发表了《生态论概述》，以及随后发表的《生态论与经济生态化研究》、《生态论：复杂系统研究》、《系统学概论》，提出了复杂系统三论即复杂系统的生态论（ecologism）、健康论（healthism）与和谐论（harmoniousism），与此同时还提出了生态论的能流分析（energy analysis）、系统群分析（system group analysis）、TSE 分析（TSDA, Time-Space Dynamic Analysis About Event）、代谢分析（metabolism analysis）、生命周期分析（life cycle analysis）方法，系统发展发育规律及其关键因子（key factor）分析方法，以及系统的精确管理（precision management）、GCSP（Graded management, Classification management, Subarea management, Phased management）、PDCS（Plan, Do, Check, Study）、健康管理与系统和谐等理论，并提出了将其应用于系统法学的构想。2013 年张国庆又发表了《系统法学：良法善治方法》，**正式将师法自然的理念和复杂系统三论应用于系统法学，初步提出了系统法学的研究任务（研究良法之构件、良法之立法、善治之司法）和研究方法（师法自然、民心物体、融入民众、创新发展）、系统法学基本原理（法制思想定律、法制人权定律、良法定律、善治定律、和谐定律、法制至上定律、人权至上定律、民主定律、司法独立定律九大定律以及进化原理、LSP 协同原理、罪因溯源原理、学习原理、GCSP 原理、执者不议原理等 28 个原理），以及立法的系统方法、法制评价与监督、法制系统管理（法制系统进化、健康管理、法制系统和谐化）等基本理论与应用技术。**
[27~43]

第二章 良法善治原理

本章叙述系统法学基本原理。由于系统法学是研究良法善治的科学，因此，系统法学基本原理也就是良法善治基本原理。系统法学基本原理，包括法制思想定律、法制人权定律、良法定律、善治定律、和谐定律、法制至上定律、人权至上定律、民主定律、司法独立定律九大定律以及进化原理、LSP 协同原理、罪因溯源原理、学习原理、GCSP 原理、执者不议原理等 28 个原理。

第一节 天道良法，善治万物

系统法学的**师法自然原理，就是天道良法，善治万物。**

1.自然

当代的“自然”的意义，更多来自于“nature”，其最广义指的是包括人类自己在内的所有物质世界，即宇宙万物。英文的 nature 来自拉丁文 natura，意即天地万物之道（the course of things, natural character）。natura 是希腊文 phusis（φύσις）的拉丁文翻译，原意为植物、动物及其他世界面貌自身发展出来的内在特色，而 φύσις 在最早的文献意义为植物。

亚里士多德的“nature”包括 4 层含义：①质料；②形状和形式；③生成，即“导向自然之路”；④目的和所为的东西。

这在很大程度上，与老子的“道德”有较多类似的地方。归纳老子《道德经》的“道德”意义，可以表述为：“道”就是化生万物的原物质，以及其原物质化生万物所遵循的基本法则；“德”是万物顺应“道”而形成的自性与本然。

基于上述有关文献分析，笔者认为，“自然”的引申意义可以理解为“自+然”：

“自”，由来、缘由，，内在规律，表示宇宙万物的运转所遵循的法则；“然”，如此、这样，外在状态，表示宇宙万物的存在及其性状。

也即，“自然”除了广义的“nature”中的“然”含义之外，还包括其运行规律。如果把宇宙万物及其性状理解为一般意义上的“物质”的话，那么“自+然”，即“自然”的含义可以理解为广义的“物质”，也即包括一般意义上的“物质”，以及独立于人的意识之外的宇宙万物运行规律。

这样，引申意义上的“自然”，就更加贴近了哲学上的“nature”和老子的“道德”的意义。因此，“自然”，是独立于人的意识而存在的，更不以人的意志改变而改变，并且我们人类还是自然的一部分。

目前，社会危机与生态危机之所以困扰着我们人类，阻碍着人类社会和谐发展，是因为我们还没有认清和理解自然，或者违背了自然规律，或是滥用科学技术逆天而行。

2.师法自然

师，学习、效法。法，标准、规范、可仿效的，仿效。简单地说，师法自然，就是以大自然为师加以效法的意思。我们人类要不断地探索研究自然，并以自然规律为自己的行动规

范，顺应并仿效自然规律行事。

《道德经》中的“道法自然”，说明了宇宙万物的发生发展规律，也即“无生有，有归无”，是宇宙万事万物的起点和终点以及运动变化的最后依据，无外无他，无蕴含无且有。无生有，是无动而有然，也就是说，无自然而有然。有源于无而归无，有归无是有动而无然，也就是说，有自然而无然。无有是一体的两极，是道；两极之间往返的运动或关系，就是德，德就是道内的关系。道法自然，是老子为我们提供的最高级的方法论，即道效法或遵循自然，也就是说万事万物的运行法则都是遵守自然规律的。

师法自然，不仅要学习、探索“道法自然”之“道”与“德”，或者说不仅要学习宇宙万物的“自”与“然”，还要顺应、仿效自然之“道”，规范我们人类的行为。这里的“道”，不仅仅是狭义的“自然”之“道”，还包括我们人类的社会之“道”、人为之“道”。因此，“师法自然”还可以简单地理解为“人法地，地法天，天法道，道法自然”。

3.无为

《道德经》的核心思想就是“道法自然”与“无为”。笔者学识浅陋，不敢对《道德经》以及相关著作妄加解读。但是，笔者认为，对于《道德经》以及相关著作的阅读与研究，应该进入历史的时空中去研读《道德经》及其后来的各种注疏。因为，无论是道德经的原文还是后来的各种解读，作者都会把当时的历史情境和个人心境融入其中，只有进入历史时空去读，才能深刻领会其中精髓，抛弃与当代相悖的思想。

不仅仅是一部《道德经》，对于国内外其他哲学经典，我们也应该如此，有且只有将当时的社会历史背景与作者的心境修为结合起来，才能正确理解各种哲学经典，用哲学经典理论解读当代实际，合理扬弃，不断创新发展，服务于当代。正如佛教中的“出世”与“入世”，也即**“出世”求天“道”，“入世”度众“生”**。这里的“天”是广义的自然，“道”就是老子所指的“道”与“德”，“众生”是万物。“求”就是探究，“度”就是服务。

“出世求天道，入世度众生”的实质，其实就是老子的“无为”思想的具体表现之一。老子的修为已经达到玄同高度，已经明白一切都是“无”，不管为有若无，为大为小，都是“无”。

对于当代而言，并不是所有人都能达到玄同之境界，当代对“无为”的解读，笔者认为，**“无为”应该是不妄为，不逆天而为。**

类似于“无为”的思想，不仅仅在我国《道德经》中，在其他国内外古典哲学著作和宗教典籍中都有类似的思想，这种思想都是基于圣人的，尤其是对“上”（统治者）的理想化，也即圣人化，这实际上是不存在的、也是不可能的，因此，他们的“无为”理想很难实现。

对于一般的普通人而言，尤其是位高权重者，要他们自觉地“清心寡欲”，这是很困难也是不现实的。如何控制位高权重者，这就**需要顺“天”的“良法”和以“良法”为基础的和諧的社会秩序来约束位高权重者，让他们在和諧的规则下实行有限的“清心寡欲”**，也即权利要有约束和监督。有且只有建立这种顺“天”之在良法，并以此建立和维护和谐的发展秩序，才能实现“无为”之治，也即在“有为”的良法基础之上实施“无为”之治。

虽是如此，然而，这种理想化、圣人化的理论，对其他学科，尤其是法学、公共管理学、政治学、经济学、发展学、生态学等理论研究是非常必要的，而且是必不可少的，甚至还是某些理论的基础。

就笔者对《道德经》的理解，笔者认为，古今中外，包括宗教经典，这种圣人化思想都有很大的相似之处。之所以后来中西思想产生了有较大的不同，是因为我国统治着为了自己的统治需要，对“无为”思想“愚民化”、“神化”和“消极化”，并将儒家忠君愚民思想不

断融入各种经典典籍之中，甚至宗教典籍，从而使得我国“封建主义思想”根深蒂固，“物权统治一切，皇权高于人权，皇权支配物权”意识以及“等级”与“特权”观念渗透到社会各个角落。

就生态危机而言，正确理解“无为”，有更大的现实意义。对于人类社会来说，不能消极的“自然无为”。如果消极的“自然无为”，由于人的能动性远远超出其他生物，人性的弱点会破坏社会公平，无限制掠夺自然，甚至于人性的弱点会放大成整个人类社会的致命弱点，到那时，人类不仅将会遭受生态的灭顶之灾，人类社会还有可能退化成蚁类、蜂类的“绝对”奴隶化社会。

所以，我们要理解“无为”的真实含义，“出世求天道，入世度众生”，实施“自然”而治：**“有为”探索研究“天”之“道”，建立良法与和谐社会秩序，“无为”“善治”万物众生。也即“有为师天道，建良法；无为循善治，爱万物”，或者“天道良法，善治万物”。**

4.民心物体

系统法学的**博爱万物原理，就是民心物体。**

汪叶斌（2010）认为，“剩余智慧”是人类区别于其它生命系统的本质特征。汪叶斌在其平衡论中将智慧分为“存在智慧”和“剩余智慧”，“存在智慧”是宇宙万物求存求在的智慧，“剩余智慧”就是人类智慧减去“存在智慧”所剩余的那部分智慧。“存在智慧”是万物用来“求存求在”的，而人类的“剩余智慧”绝大部分是用来“求名求利”的。^[7]

人类是生态系统的一部分，像其它生物一样，人类本身不是十全十美的，也存在诸多不可避免的弱点，在诸多弱点中，自利是人类最基本的弱点。自利并非一无是处，适度的自利，有利于种族延续与发展。但是，如果过度自利，将“剩余智慧”用于谋求名利最大化，无止境地追求物欲满足，不但会使人类社会退化，还会使人的身体结构与功能进一步退化甚至最终消亡。

因此，笔者认为，在个人主义和物欲主义日盛的今天，有些人为了追逐利欲，不仅仅是逆天行事，甚至不惜背叛兄弟朋友，反目成仇，更何况素不相识的普通民众和他们自己认为与己关系不大的宇宙万物？因此，我们有必要将“民胞物与”（People are my brothers and all things are my kinds.）修改为**“民心物体”**（PHNB, The people are my heart, the nature is my body.），只有将广大民众都当成自己心脏一样，将自然万物当作自己身体一样，才能和谐地与人相处，才能和谐地与自然相处。^[8~16]

可以说，“民心物体”，是对“师法自然”的艺术化表达。这种表达，还可以说是人格化表达，即“自然，人之母，人之师”（Nature, she is our mother, she is our teacher.）。

“人之母”中的“自然”，是狭义的“自然”，我们人类从母亲孕育我们那一刻开始，就离不开自然，大自然无私地为我们提供了衣食住行等所有物质支持，以保障我们生命的延续。

“人之师”中的“自然”，是广义的“自然”，我们的所有生产生活知识以及文化娱乐，无不来自于这个自然，大自然是我们取之不尽的知识源泉。^[1~43]

5.和谐定律

系统法学的**和谐定律，就是促进人类社会的和谐，促进人与自然的和谐。这也是法制系统的功能，即法制系统应该是中庸的，促进社会和谐发展，而不能将个别集团利益或个别集团政治意识加入法制系统。**

和谐发展，既是人类社会发展的目标，也是人类社会发展的手段和途径。因此，系统法学的和谐定律，就是通过法制措施，协调解决生态危机、社会危机、心理危机，实现生态系

统的健康、社会系统的健康、个人的生理和心理健康。

就当前人类欲望无限扩张而言，系统法学的和谐发展原理，就是研究如何通过法制手段，约束人类过度扩张的欲望，协调人类社会内部、人类与自然的关系，促进人类社会、人与自然共同繁荣。

第二节 法、标准与政策

1. 社会规范

社会规范（social norm）指人们社会行为的规矩，社会活动的准则。它是人类为了社会共同生活的需要，在社会互动过程中衍生出来，相习成风，约定俗成，或者由人们共同制定并明确施行的。其本质是对社会关系的反映，也是社会关系的具体化。

社会规范可分为成文的和不成文的两类。风俗习惯、部分道德规范及部分宗教规范是不成文的。大部分法律、重要的教规与政策是成文的。

从约束力的强弱角度不同，社会规范可分为常规、原则、惯例和律令。

风俗习惯是出现最早、最普遍的一种社会规范。自发的行为规范被众多人反复不断地长期遵循，便成风俗。故风俗一般都是传统的，长期存在的。它的作用是在没有外部压力的情况下实现的，主要通过模仿转化为人们的习惯行为。

道德规范是比风俗习惯高一个层次的社会规范。人们对那些与社会共同生活关系较为重要的事物与行为，给予是非、善恶、公正或偏私的评价，加以褒贬，由此形成道德标准。道德具有一定的普遍性和连续性。一个国家、地区或民族，有着若干共同的道德标准，这些标准不因社会形态的变化而中断，一般是可以继承的。道德规范是一种内化了的的行为规则，道德行为是自觉采取的；违反道德的行为，要受到社会舆论和良心的谴责。

法律是一种具有强制性的行为规范。它由国家制定或认可，并由国家机构保证其实施。

宗教规范是神化了的社会行为规范。它采取了超自然、超人间的神秘形式，具有极强的自制性，在一定社会中起着调整人们行为规范的作用。

政策是政府为了实施公共管理，以权威形式规定在一定的时期内，应该达到的奋斗目标、遵循的行动原则、完成的明确任务、实行的工作方式、采取的一般步骤和具体措施。

各种社会规范互相配合，有机地组成为一个规范体系，调整人们各个方面的社会行为，维护一定的社会秩序，使社会活动纳入一定的轨道。社会规范是社会控制的重要手段。

社会规范有狭义与广义之分，广义的社会规范是指上述法律、标准、政策、道德规范、风俗、宗教规范等的总称，狭义的社会规范仅仅是指法律、标准与政策。本书在不引起歧义的情况之下，后文的社会规范均指的是狭义的社会规范。本书中部分理论也可通过其他社会规范借鉴。

社会规范目标原理：良性社会规范的目标是维持人类社会及其所在的时空域的健康有序，促进人类社会和谐发展。这种时空域是指历史的、现在的、将来的时间域与所在的、近邻的、遥远的空间域。

通过社会规范目标原理可知，**政府的职责就是维护社会公平，促进社会和谐。也即建良法循善治，实现社会和谐发展的政府目标。**

在阶级社会里，社会规范是有阶级性的，是统治阶级控制其他阶级的工具。在未来的和谐社会里，社会规范是没有阶级性的，社会规范是全体公民共同遵守的规则，是维持社

会和谐的手段。

社会规范进化原理：是在不断进化的，这种进化是与社会进化同步的。这种同步性表现为：

(1) 社会规范需要稍稍地适当超前，尤其是法律、标准与政策（也即**适当超前原理**）。因为，新的社会规范制修订与实施，需要一定的时间，实施时还有一个磨合期，也即还需要一定的宣传教育时间，让公众接受了解。因此，社会规范的制修订至少要考虑磨合期问题，不能刚过磨合期又过时了。此外，适度的超前，还能引导并促进社会进步。

(2) 这种超前是“稍稍地”和“适当地”，不能过度地超前。过度地超前，大多数公众接受不了，会引起社会混乱，甚至是动乱或灾难。我国 20 世纪中期的“大跃进”就是过度超前最深刻的教训。必要时，这种“稍稍地”和“适当地”，应该开展发展学试验。

(3) 如果社会规范落后于社会进步，那么，这种社会规范就会成为社会进步的枷锁，我们要适时打破这种枷锁，促进社会规范进化。

2. 法制与法治

(1) 法律

法律（law）是国家制定或认可的，由国家强制力保证实施的，以规定当事人权利和义务为内容的具有普遍约束力的社会规范。

广义的法律，是指法的整体，包括法律、有法律效力的解释及其行政机关为执行法律而制定的规范性文件（如规章）。狭义的法律，专指拥有立法权的国家机关依照立法程序制定的规范性文件。

(2) 法制

法制（legal system），法制是法律和制度的总称。统治阶级以法律化、制度化的方式管理国家事务，并且严格依法办事的原则，也是统治阶级按照自己的意志通过国家权力建立的用以维护本阶级专政的法律和制度。任何国家都有法，但不一定有法制。法制在不同国家其内容和形式不同。在君主制国家，君主之言即为法；在资本主义国家，虽然排除了奴隶制、封建制国家法制的专制性质，但资产阶级受阶级本性的局限，当有的法律规定不符合本阶级的利益时，就加以破坏，因此，不可能有真正的法制。只有彻底消灭剥削制度，实现人民民主的社会主义国家，才能真正实现社会主义法制。

“法制”一词，我国古已有之。然而，直到现代，人们对于法制概念的理解和使用还是各有不同，主要有以下三种含义：

① 广义的法制，即法律制度，是指掌握政权的社会集团按照自己的意志，通过国家政权建立起来的法律和制度。

② 狭义的法制，是指一切社会关系的参加者严格地、平等地执行和遵守法律，依法办事的原则和制度。其主要特点是强调法律在国家政治生活中的崇高地位，坚持法律面前人人平等原则，要求公民普遍守法，国家机关依法行使权力，限制国家机关公职人员的专横，确保公民的合法权利和自由。

③ 法制是一个多层次的概念，它不仅包括法律制度，而且包括法律实施和法律监督等一系列活动和过程，是立法、执法、守法、司法和法律监督等内容的有机统一。

(3) 法治

法治（the rule of law），是指根据法律治理国家，与“人治”相对。

法治的涵义是指以民主为前提和基础，以严格依法办事为核心，以制约权力为关键的社会管理机制、社会活动方式和社会秩序状态。法治，是以民主政治为前提和目标，以严格依法办事为理性原则，表现为良好的法律秩序，并包含着内在价值规定的法律精神的一种治国方略。

在法治社会中，任何人都必需遵守法律，包括制订者和执行者本身。国家机关（特别是行政机关）的行为必需是法律或法规许可的，而这些法律或法规本身是经过某一特定程序产生的。即，法律是社会最高的规则，没有任何人或组织机构可以凌驾于法律之上。

现代大部份国家都认同法治的重要，虽然他们产生法律、立法代表的方法不太相同。法治的好处在于能防止有特定的个人凌驾法律之上而伤害其他大多数人的利益。

法治具体体现在：①立法方面一要反映大多数人民（有的为中产阶级）的利益，二要研究国家的情况，三要加强对公民尤其是青少年的教育，四要灵活性与稳定性相结合。②执法思想方面，国家执法人员要严格执行法律。法律有明确规定的，应严格依法执行。法律规定不同的或没有规定的，必须按照法律的原则来公正地处理和裁决案件。③守法思想方面，守法是法治的关键，国家必须加强对公民守法观念的培养和训练。

法治的优越性是相对于人治而言的，而这种优越性主要体现在：第一，法律是集体智慧和审慎考虑的产物。第二，法律没有感情，不会偏私，具有公正性。第三，法律不会说话，不能象人那样信口开河。第四，法律借助规范形式，具有明确性。第五，实行人治容易贻误国家大事，特别是世袭制更是如此。第六，时代要求实行法治，不能实行人治。第七，实行一人之治较为困难，君主的能力和精力毕竟有限。第八，一人之治剥夺了大家轮流执政的权利。

但是，法治也有缺陷，那就是在法律有所不及的地方不能实行法治。法治缺陷可以采取三种补救措施：以个人的权力或若干人联合组成的权力“作为补助”；对某些不完善的法律进行适当的变更；加强法律解释，主要是指依据法律的精神（法意）来对案件做出公正的处理和裁决。

法制和法治是既有区别又有联系的两个概念，不容混淆。二者的主要区别在于：①法制是法律制度的简称，属于制度的范畴，是一种实际存在的东西；而法治是法律统治的简称，是一种治国原则和方法，是相对于“人治”而言的，是对法制这种实际存在东西的完善和改造。②法制的产生和发展与所有国家直接相联系，在任何国家都存在法制；而法治的产生和发展却不与所有国家直接相联系，只在民主制国家才存在法治。③法制的基本要求是各项工作都法律化、制度化，并做到有法可依、有法必依、执法必严、违法必究；而法治的基本要求是严格依法办事，法律在各种社会调整措施中具有至上性、权威性和强制性，不是当权者的任性。④实行法制的主要标志，是一个国家从立法、执法、司法、守法到法律监督等方面，都有比较完备的法律和制度；而实行法治的主要标志，是一个国家的任何机关、团体和个人，包括国家最高领导人在内，都严格遵守法律和依法办事。

二者的联系在于：法制是法治的基础和前提条件，要实行法治，必须具有完备的法制；法治是法制的立足点和归宿，法制的发展前途必然是最终实现法治。

2.标准与标准化

（1）标准

《汉语大词典》将“标准”解释为，①衡量事物的依据或准则。《文选·袁宏〈三国名臣序赞〉》：“器范自然，标准无假。”吕延济注：“器量法度出於自然，为人标望准的，无所假借也。”《荀子·儒效》：“（君子）行有防表。”唐杨倞注：“行有防表，谓有标准也。”毛泽东《实践论》：“真理的标准只能是社会的实践。”②榜样；规范。晋孙绰《丞相王导碑》：“玄性合乎道旨，冲一体之自然；柔畅协乎春风，温而侔于冬日。信人伦之水镜，道德之标准也。”唐杜甫《赠郑十八贲》诗：“示我百篇文，诗家一标准。”元沈禧《一枝花·题张思恭〈望云思亲卷〉》套曲：“孝心未伸，孝思怎忍，留取箇孝行名儿做标准。”

在英文中，“标准”为“standard”，Google字典解释为，（1）noun，①a level of quality, especially one that people think is acceptable （品质的）标准，水平，规格，规范。②a level of

quality that is normal or acceptable for a particular person or in a particular situation 正常的水平，应达到的标准。③a level of behaviour that somebody considers to be morally acceptable 行为标准，道德水准。④a unit of measurement that is officially used, an official rule used when producing something 法定度量衡标准，法定含量，技术规范，产品规格。⑤a flag that is used during official ceremonies, especially one connected with a particular military group 仪式上使用的旗帜，（尤指）军旗。⑥a song that has been recorded by many different singers （很多歌手录制过的）歌曲。

（2）adjective, ①average or normal rather than having special or unusual features 普通的，正常的，通常的，标准的。②following a particular standard set, for example, by an industry （符合）标准的，按一定规格制作的。③read by most people who are studying a particular subject 权威性的。④of spelling, pronunciation, grammar. etc. 拼写、读音、语法等 believed to be correct and used by most people 标准的，规范的。

无论是哪一种解释，“标准”的内涵可以概括为：①公共规范，即公众认可的、可参照的行为规则。②榜样，或强制性准则。所谓榜样，就是自愿参照“良好”行为规则来指导自己的行为；所谓强制性准则，是为了维护公共活动有序进行，所必须遵照的活动规则。

对于“标准化”之“标准”，显然仅仅只是上述内涵是不够的。

1934年，盖拉德（John Gailard）在《工业标准化原理与应用》中将“标准”定义为：标准，是对计量单位或基准、物体、动作、过程、方式、常用方法、容量、功能、性能、方法、配置、状态、义务、权限、责任、行为、态度、概念或想法的某些特征，给出定义、做出规定和详细说明。它以语言、文件、图样等方式或利用模型、标样及其他具体表现方法，并在一定时期内适用。

1972年，桑德斯（T.R.B. Sanders）在《标准化的目的和原理》中将“标准”定义为：标准，是经公认的权威当局批准的一个标准化成果。它可以采用下述形式：①文件形式，内容记述一整套必须达到的条件；②规定基本单位或物理常数，如安培、米、绝对零度等。

1982年11月国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）第2号将“标准”定义为：标准，适用于公众的，由有关各方合作起草并一致或基本上一致同意，以科学、技术和经验的综合成果为基础的技术规范或其它文件，其目的在于促进共同取得最佳效益，它由国家、区域或国际公认的机构批准通过。

在此基础上，我国 GB/T20000.1—2002 定义 2.3.2 将“标准”定义为：为了在一定的范围内获得最佳秩序，经协商一致制定并由公认机构批准，共同使用的和重复使用的一种规范性文件。标准宜以科学、技术和经验的综合成果为基础，以促进最佳共同效益为目的。

上述几种“标准”的定义，包含以下4个涵义：①对一个可重复的事物或活动、过程、结果规定共同遵守的、可重复使用的规则、导则或特性文件；②目的是促进最佳公众利益；③以当代科学技术水平和实践经验成果为基础制定；④通过相关各方协商一致制定，经过权威组织批准发布。

实际上，目前的“标准”，主要是针对经济活动领域制定的，很少涉及公共管理领域，尤其是社会公平方面。然而，在社会矛盾日益突出的今天，在诸多实践层面上，法律法规有时无法触及，这就需要“标准”加以规范，从而促进社会和谐。

笔者2011年在《标准学》和《林业标准学》中，将“标准”定义为：标准，就是为了促进社会和谐与经济繁荣，维护生态安全，以法律法规、当代先进科学技术和经验成果为基础，经相关各方广泛协商一致制定并共同遵守，由公认权威机构批准发布实施的规范性文件。

显然，上述“标准”的定义具有以下内涵：

（1）制定、实施标准的目的，就是维护生态平衡，促进社会发展，实现社会和谐与繁荣；

(2) 标准是法律的一部分，对法律无法约束的行为加以引导或规范，从而促进行政公正，保证社会的公平，维护生态和经济安全，实现经济有序发展；

(3) 标准的制定与实施过程，是一个以当代先进科学技术和经验成果为基础，通过分析、比较、选择、综合，对最适用的科学技术与经验成果进行科学组合，不断提炼升华的过程；

(4) 标准的制定，是在相关各方最广泛的平等磋商、相互谅解、团结协作的基础上进行的，是一个在“公平、公正、公开”和谐环境下形成的人类文化晶华；

(5) 标准的发布与实施，是在法治政府监督下进行，由社会公认或相关各方公认的权威机构对所制定的标准予以确认，并组织实施。

(6) 标准是一系列规范性文件的集合。

(2) 标准化

标准化(standardization)就是标准的制定、实施、修订过程。

1972 年，桑德斯(T.R.B. Sanders)在《标准化的目的和原理》中将“标准化”定义为：标准化是为了所有有关方面的利益，特别是为了促进最佳的全面的经济活动，并适当考虑产品的使用条件与安全要求，在所有有关方面的协作下，进行有秩序的特定活动所制定并实施各项规定的过程。

国际标准化组织与国际电工委员会在 2004 年联合发布的 ISO/IEC 指南 2 中，将标准化定义为：标准化是对实际与潜在的问题做出统一规定，供共同和重复使用，以在预定的领域内获得最佳秩序的活动。标准化活动由制定、发布和实施标准所构成。标准化的主要作用在于改进产品、过程和服务的适用性，以便与技术合作，消除贸易壁垒。

桑德斯(T.R.B. Sanders)和 ISO 定义，象其对标准的定义一样，只限于经济领域，主要含义是：①标准化是制定、发布、实施标准的过程，标准是标准化活动的产物；②标准化的对象和领域随着时间的推移不断扩展和深化；③标准化的目的和重要意义在于改进活动过程和产品的适用性，提高活动过程质量或产品质量，达到便于交流协作，尤其是消除国际贸易中的技术壁垒；④标准化的效果只有在实施中付诸共同重复使用后才能体现出来。

为了消除社会矛盾，实现和谐发展，我们还应进一步深化标准化的内涵：

(1) 突出社会公平、生态安全与经济有序发展。生态环境是人类社会发展的物质基础，离开了生态环境，人类将无法生存，根本就无发展可言；社会公平是维持社会稳定的根与本，没有稳定的社会秩序，社会就无和谐与发展可言；有序的经济的发展，使得人类世界物质、信息生产与流通更加简洁、高效、快捷。因此，社会公平、生态平衡、经济有序发展是社会和谐与繁荣的基础，也是标准化活动的目标。

(2) 标准化是一个不断发展的过程。就标准化本身而言，这个过程包括制定、实施、修订三个阶段，这个过程将会持续存在（除非标准化主体消亡或发生质的变化，标准化活动才会终止，标准才会因此而废止），标准水平在这一过程中因不断修订而得到不断提升，标准化主体也因标准化活动的促进而得到发展，从而构成了一个螺旋式上升循环。就标准化对象而言，随着社会的发展，社会矛盾范围、性质都会发生变化，因此，标准化的对象随之变化，使其适应社会发展的需要并促进社会发展和谐化。

(4) 标准化过程是一个强制性与自愿性有机统一的过程。对于涉及生态安全、社会公平、经济秩序的事件、过程或对象，标准化过程就需要高度统一，以保障人类社会安全与和谐地发展，促进经济高效发展与繁荣，在标准化过程中有必要借助法律的强制手段，促进标准的实施。同时，只有政治的多元化、文化的多元化、经济的多元化，才能满足不同民族、不同区域、不同宗教信仰、不同世界观人们的多元化生活需要，只有多元化的社会才能使不同人之间和谐共存，才能使人类社会繁荣昌盛。为满足社会多元化的需要，标准化过程中必须要有自愿性引导措施，对良性事件、过程或对象进行发扬，对恶性事件、过程或对象予以

改良、约束或摒弃。

(5) 标准化过程要以法律、当代先进科学技术和经验成果为基础。一方面，以法律为基础，是为了保证标准化过程的公正性和权威性，保证标准能够依法严格实施，保证整个标准化过程的公正、公平与公开；另一方面，是为了保证标准的先进性，通过标准化过程，将当代先进科学技术和经验成果应用到人类社会发展中去，让全人类平等地享受科学技术发展和社会发展的成果；再一方面，是为了对标准化过程实施有效监督，保证科学、客观地评估标准化成果，不断提高标准化水平与能力。

因此，标准化活动具有强烈的和谐性、法制性、系统性、榜样性、先进性。

和谐性：是实现社会•生态系统和谐发展的重要手段之一。

法制性：是法律的延伸，具有权威性和一定的强制性。

系统性：标准之间以及标准与法律法规、政策性文件等密切相关，有一定的结构，并按照一定的规则运行。

榜样性：具有示范和引导作用。在所有“标准”中，只有一部分“标准”具有强制性，另有一部分“标准”只具有自愿性。

先进性：“标准”既是先进科学技术的结晶，具有促进社会科学发展的作用，又有促进科学进步的作用，从而进一步提高“标准”水平，也即科学性和发展性。[\[31~37\]](#)

3.政策

政策（policy）是政府为了实现一定时期的路线和任务而制定的行动准则。政策具有以下特点：

①阶级性。是政策的阶级社会才具有的特点。在阶级社会中、政策只代表特定阶级的利益，从来不代表全体社会成员的利益、不反映所有人的意志。

②正误性。任何阶级及其主体的政策都有正确与错误之分。

③时效性。政策是在一定时间内的历史条件和国情条件下，推行的现实行动策略。

④表述性。就表现形态而言，政策不是物质实体，而是外化为符号表达的观念和信息。它由权利机关用语言和文字等表达手段进行表述。

作为政府的政策，一般分为对内与对外两大部分。对内政策包括财政经济政策、文化教育政策、军事政策、劳动政策、宗教政策、民族政策等。对外政策即外交政策。

政策与法律不同，政策是现行执政政府制定的，不同的执政者政策不同；法律则是国家制定的，不会因为执政者变动而发生较大的变化，具有一定的稳定性，是国家意志在一定时期内的表现。但是暴政政府例外，暴政政府的法律和政策都是暴政者的意志，都是统治其民众的暴力工具。

4.法治、标准化与政策之间的关系

法是维护社会秩序的基本文件，是社会活动的最基本规则。法治是保障社会有序、维护社会公平的最根本措施。

标准、政策的制定需要法律作为依据，标准化活动开展、公共行政活动（政策的执行）需要有法治作为保障。

同样，标准化、公共行政也是实现民主与法治的重要手段之一。

因此，标准是法律的拓展，标准化是法治的延伸；政策是法律与标准的补充，公共行政则是进一步弥补法治与标准化在维护社会有序化中的空白。

4.1 法治是标准化的基础

法治是一只宏观治国方略，国家采用以法律为主的手段对社会进行控制；法治是一种理

性办事原则，法律是人们事先设定的具有稳定性、连续性、普遍性、一致性的，且不受事发当时的人的情感和意志所左右的规则，一经制定，任何组织的社会性活动都要受其约束；法治是一种民主的法律模式与文明的法律精神，当代的法治是以民主为基础的，且具有“法律至上，善法之治，权利本位，正当程序，平等适用，权力控制”法治精神；法治的是一种和谐的社会状态，通过法律约束国家、政府的权力，合理分配公民利益，维护公民权利、利益和社会公共利益不受侵犯。

因此标准化与公共行政必须依法治为基础，在标准化与公共行政活动中注入“科学精神、人权思想、公民意识、权利义务观念”等理性文化要素，维护民主的法律模式，倡导文明的法治精神，成为实现社会和谐积极性社会调控工具和规范、引导公民社会活动的规则。

标准化与公共行政以法治为基础，主要表现在两方面，首先，标准与政策的制定必须以法律为基础，不得违背法治精神，不得与法律相冲突。其次，标准化与公共行政活动必须以法律基本原则为根本原则，二者必须在法律允许范围内开展。

4.2 法治是标准化与公共行政的保障

法治是实现社会和谐发展的基本保障，标准化与公共行政活动积极服务于社会的和谐发展，标准化与公共行政需要以法治为保障。

（1）标准化与公共行政需要良法环境

法律是分配社会资源、权利、利益等的制度性安排。社会公平正义的实现，需要法的正义予以保障。从制度体系化的角度来看，良好的法治环境，正是以符合人的发展规律与正当诉求的规则体系来保障人的权利，并以富有规范性、黏合性、协调力和辐射力的综合效应，促成发展过程中各类主体的协调与和谐。

只有在良法环境下，标准化与公共行政活动才能正常开展，才能发挥对社会发展的规范、引领、评价、保障作用，才能实现推进社会和谐发展的最终目标。如果没有良法环境，标准化与公共行政活动就会迷失方向，失去最终目标，致使标准化与公共行政活动无法开展，甚至于成为恶法的“帮凶”。

（2）标准化与公共行政需要法律依据

标准化与公共行政是法治重要组成部分，标准化与公共行政需要法律法规作为其活动依据。

首先，必须要对标准化与公共行政进行立法，规范其行为。

其次，标准与公共政策的制定，必须要有法律依据。这包括三个方面，一是标准与政策的制定要在标准化与公共行政法律规定下开展，二是标准与政策的内容不得与法律相冲突，三是标准之间、政策之间不得冲突，政策不得与标准相冲突。

再次，标准化与公共行政活动的开展要以法律为依据，标准化与公共行政活动不得违法，其活动全过程要主动接受法律监督和社会监督，并进行法律评价、社会评价和系统性评价，以不断提高标准化与公共行政的水平。此外，不同的标准化活动、公共行政活动不得相抵触。

第四，标准化与公共行政机构需要法律授权，否则，其活动本身就不合法。

（3）标准化与公共行政需要法律支撑

相对于法治而言，标准化与公共行政是柔性的，其活动必须要有法律手段作为支撑。首先，标准与公共政策的制定，是以法律为基础的，法律就成了二者支撑的基础；其次，标准化与公共行政活动的开展，是在良法环境下开展的，没有良法的支撑，其活动无从开展；再次，对于涉及社会公平、生态安全、人身健康等强制性标准，需要法律手段对其进行支撑，没有法律手段的支撑，对于违反强制性标准的行为就无法进行惩戒和约束，标准化的作用就无法发挥。

4.3 标准化是法治的补充手段

标准化是法治的重要手段之一。由于法律的刚性原因，一般情况下，在法律有所不及的地方可以采取三种补救措施，一是以个人的权力或若干人联合组成的权力作为对法律的补充，二是对某些不完善的法律进行适当的变更，三是加强法律解释。而这三者，正是标准化可以利用本身的柔性特征，来对法律的缺陷进行弥补的重要途径。

（1）权力标准化

对公共行政权力的运作，除了法律已经做了刚性规定外，标准化还必须对公共行政权利的运作程序、过程、范围等进行进一步规范和约束，对公共行政权力实施监督标准化，有效防止权利越位、缺位、错位，遏制权力寻租。

（2）法律补充标准化

法律不完善的部分，标准化可以对其进一步补充。例如在一些法律的惩戒条文中，有罚款的规定，而对于罚款的标准，基本上是以数额来表示的。这其中存在很大缺陷，就是，如果物价上升，罚款根本就起不到应有惩戒作用，如果物价下跌，则又显得惩戒过重甚至于无法兑现惩戒措施。法律如果因物价变化而进行频繁修订，则不但增加的法治成本，还会失去法律的稳定性。因此，如果将惩戒条文中罚款数额等级化，然后由标准化机构定期发布物价指数报告，对照物价指数报告就可以确定罚款额。这样不但可以解决上述难题，保持法律的稳定性，还可以避免执法自由裁量时的执法不公现象。

（3）法律解释标准化

对一些涉及内容较多且具有系统性的非刚性法律解释，可以将其标准化，进一步规范法律解释工作。此外，对于成文法而言，还可以借鉴判例法的做法，将一些判例系统化成为法律条文或标准，作为对一般法律的补充。

（4）“德治”标准化

作为对刚性法律的补充，标准化的柔性可以成为“法治”与“德治”的联系纽带。标准化对一些不能法律化而又需要规范的“道德”行为，可以将其标准化，来规范、引导公民的社会行为，维护社会的和谐，促进社会文明进步。

（5）公共管理标准化

根据相关法律，对涉及生态环境、卫生与健康、劳动安全、社会公平、劳动环境等方面进行标准化，结合法律手段、经济手段和其他社会手段，对产品（事物、活动、过程或结果，如商品或服务、程序等）进行实行“生产许可”或“市场准入”约束，或者按照品质划分等级，或者限定使用范围（如人用与畜用，军用与民用，商用与农用等）。

4.5 LSP 协同原理

这里的 LSP 分别是 low（法律）、standard（标准）、policy（政策）的首字母。LSP 原理的前提（prerequisite）是：法律是必须良法。

系统法学的 **LSP 协同原理：在法治社会，法律是人类社会的最高行动准则，法律、标准、政策协同作用，共同管理着人类社会：法律是基础，标准是对法律的补充与延伸，政策则是法律、标准的灵活运用。**

从图 3-1 中可以看出，标准处于中间位置，法律对标准有指导作用，是标准化的依据。同样，法律也是政策制定和执行的依据，标准也是政策的制定和执行的依据。

在三者关系中，还有两种关系，即如上所述正向关系，一种逆向关系，即反馈关系：

①当法律不适应社会发展需要，就要进行修正或废止；不能反映社会普遍现象，失去其刚性特征时，就要对法律进行修正、废止，或者降为标准、政策。当标准不适应社会发展需要，就要进行修正或废止；不能反映社会普遍现象，就要对标准进行修正、废止，或者降为政策。

②随着社会的发展，一些政策对社会发展具有普遍而典型的指导作用时，若具有刚性特

征，则上升为法律，或补充到某些法律中；若不具有刚性，则上升为标准，或者补充到某些标准中。当标准中所规定的内容对社会发展具有普遍而典型的指导作用且具有刚性特征时，则可以将其上升为法律，或补充到某些法律中。[33~39]

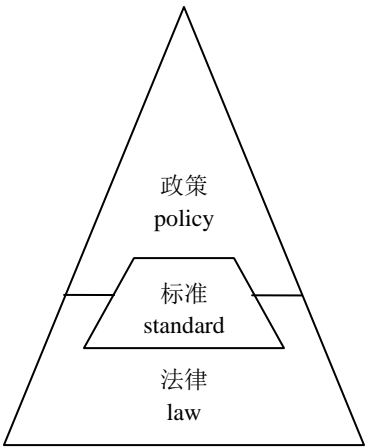


图 2-1 法律-标准-政策关系简图

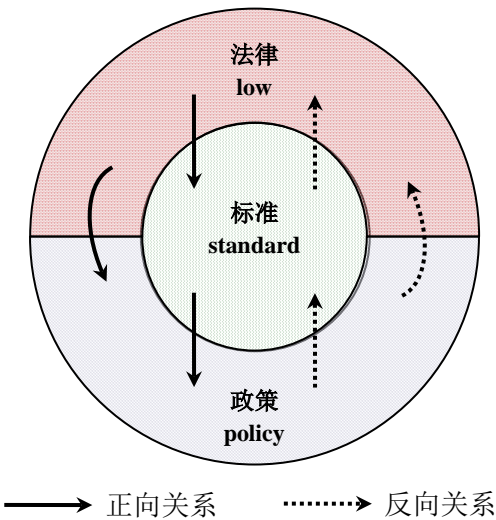


图 2-2 法律-标准-政策的作用关系

从 LSP 系统原理，我们可以推出**法制至上定律：人类社会所有活动，都必须遵守法制的约束。一切社会规范都必须符合法律规定，一切社会活动都必须符合法律规定。**也即一切社会规范不得与法律相抵触，一切社会活动不得违反法律规定。法制至上原理又叫法制绝对性原理，法律至上，指的是在所有社会规则中，法律地位是至高无上的。

第三节 人权

1.人权的概念

人权，又叫基本人权、自然权利、人类基本权利。简单地说，人权就是人与生俱来不可

剥夺的权利，也就是“个人或群体因作为人类，而应享有的权利”。

人权包含许多价值以强化人的能动性并以普世（或普适）原则要求所有人应享有此基本权利。

联合国通过的世界人权宣言确立了维护和保障人权是普世基本道义原则。政府或社会是否保障人权的常成为宪法、国际法及国际社会评判的重要规范性价值标准。

在当今主流社会的宪政体制中，宪法一般都将人权明细化和法制化。但是人权作为“人因其为人而应享有的权利”，并不是宪法赋予的，宪法的作用仅仅是保障和实现人权的一种手段。在历史上，也曾有用实证法否定人权的先例，比如法西斯政权曾为其种族灭绝提供合法的途径。

2.人权进化

人权也是一个不断进化的概念。随着社会的发展，人类生存与发展成本原来越高，对生活增量要求也越来越高。在蛮荒时代，人类只要满足生命权、分配权就已经足够；到了农业世代，劳动权、自由权就显得尤为重要。

在当今时代，仅仅只有生命权、分配权、劳动权和自由权已经不能保障一个人的正常生存，还得要有公平权、教育权、发展权、政治权等人权。如果没有公平全，他的各种权益就无法得到保障；如果没有教育权，他就得不到基本教育而获得基本劳动技能，进而就无法正常就业获得劳动报酬；如果没有发展权，他的努力与贡献就得不到社会承认，不能保障他有更多的发展机会；如果没有政治权，他就不能表达自己的政治诉求，不能获得应得的社会地位。

人权分为自然人权和实际人权。**自然人权**是指由人的自然属性赋予的人权，是天生的，是一个人所应该具有的。自然人权的进化是不可阻挡的。

实际人权是指实际的人的具体个体或具体群体已经获得的人权。在实际的人类社会中，实际人权的外延变化不一定与自然人权外延变化相同。实际人权主要由以下几种变化形式：

（1）同步进化。人权外延随着社会的进步不断丰富，善治政府为公众提供更多的人权保护与服务。这种人权外延的扩大是主动的。

（2）人权退化。暴政政府为了实施奴化的愚民统治，强行修改人权内涵，缩减人权外延，以稳定统治者的统治地位，并使统治者攫取更多的利益。在这种含义之下，人权的内涵与外延都是逆历史潮流的，是阻碍社会进步的，人权的外延是被人为强行缩小的。

（3）被动进化。并非所有的政府都是善治政府，随着社会的进步，公众对人权的外延要求越来越扩大，在公众的要求下，政府的人权保护与服务外延也会逐渐扩大。这种人权外延的扩大，是公众争取的，是被动扩大的。

由此可见，**自然人权的外延与实际人权的外延不一定相同，这也是衡量良法善治的标准之一。**

3.基本人权

基本人权是最高级人权，是保障一个人基本生存人权。基本人权之外的人权是由基本人权派生的。

基本人权也是不断进化的。**在当代，要保障一个人能生存下去，至少需要生命权、自由权、教育权、劳动权、尊严权、健康权、生态权。**

（1）生命权

生命权是最基本、最重要的人权。如果无法充分保障人的生命权，那么一切其它权利都是空中楼阁。无端剥夺人的生命，或者肆意对人施加恐吓、虐待和折磨，就是用一种非人权

的待人方式。任由这种情况发生，个人权利就无从谈起。所以一般各国的刑法都将侵害他人生命权的罪行量刑最重。

（2）自由权

自由，是人权的灵魂。因此，人身自由、通信自由、言论自由、结社自由、宗教信仰自由等都是个人的基本权利。如果没有充分的自由权，生命权也将失去意义。

（3）教育权

当代以及未来，**劳动越来越复杂，没有教育，一个人是无法获得劳动技能，他是不能通过劳动获得报酬来保障自己的生存。如果一个人被剥夺了教育权，或者教育权不平等，那么，他就不能获得同等公正的劳动权，就不能得到平等的报酬来保障其发展。**因此，教育权是劳动权和发展权的基础，没有教育权，劳动权与发展权就无从谈起。

（4）劳动权

在当代，是一个以竞争为主体的社会。如果没有劳动权来保障就业的公平与公平地获取劳动报酬，那么，他就无法公平就业，无法获得应得的劳动报酬，甚至不能公正公平地获得劳动机会，他的劳动成果或劳动机会就会被别人剥夺侵占。因此，**只有劳动公平，即就业公平与获取劳动报酬的公平，尊重个人劳动，才能保障一个人的尊严权、发展权。**

当前及今后相当长的一段时间内，生存成本越来越高。生存成本，是指保障一个人正常的基本生活的条件总和。生存成本是随着时代进步不断提高的。例如，在蛮荒社会，只要能果腹就足够了；20 世纪前 50 年，没有电人们照样能正常生活，很难想象现在如果没有电，我们将如何正常生活；20 世纪末以及 21 世纪初，没有手机、互联网，我们仍然能够正常生活，而十多年后的今天，没有手机、互联网，我们就成为信息孤岛。如今，这些都已经成为生活必需品，已经纳入了生活成本。**经济学家们总是说我们的生活质量大大提高了，岂不知道我们的生存成本也在提高。这些所谓的生活质量，都不是免费的，都需要我们把自己的劳动作为支出来购买。**

因此，基于当今及未来社会的现状，教育公平与劳动公平，对于保障一个人的基本生存来说，显得尤为重要，因此，在基本人权中有必要突出教育权与劳动权。

随着社会的进步，在未来的社会，教育权和劳动权会合并入公正权。

（5）人格权

人格主要是指人所具有的与他人相区别的独特而稳定的思维方式和行为风格。人格是一个整体的精神面貌，是具有一定倾向性的和比较稳定的心理特征的总和。人格是法律上做人的资格，是自然人法上的概念，是自然人主体性要素的总称。人格在法律上不得转让和剥夺。

人格权是社会个体生存和发展的基础，是整个法律体系中的一种基础性权利。现代世界各国宪法均将人格权的保护放在重要位置，民法中也有特别人格权或一般人格权的规定。同时，根据各种人权国际公约和人权法学理论，人格权也是人权的重要组成部分。

在现代社会，尽管人们已经充分认识到确认和保护人格权的重要性，但对其性质仍有争论，即人格权究竟是人权、宪法权利还是民事权利。因此，国际上通行把人格权具体化为尊严权。

尊严也是生命权和自由权的合理延伸。如果一个人若无尊严，那么他的生命至多是一种无人格的形式，无异于与其他动物。作为一种基本的人权，尊严的价值早在古代就得到普遍的认同，如陶渊明，不为五斗米折腰等。尊严权主要要求人们在社会交往中互敬互爱，文明礼貌。如果一个人的尊严权被否认，就意味着人们可以肆无忌惮的羞辱，威胁，骚扰，中伤他，那显然他就失去了“作为人类”的资格，这无疑是和人权所不容的。

（6）健康权

健康权是生命权的延伸。由于当前世界整个发展模式都是货币至上，生态环境日益恶化，保护生态环境只是政府作秀或者是政府间政治斗争策略，致使公众健康权益屡遭侵犯甚至被剥夺。没有健康权，也就谈不上生命权，在当前环境下，把健康权从生命权中突出独立出来，显得尤为重要。

健康权分为个人健康权与公共健康权。个人健康权是指个人的健康权益，个人健康权益包括身体健康和心理健康，也即生理健康和心理健康同样神圣不可侵犯。公共健康权是指群体健康权益，包括公民享有健康保健权益和生存空间不被侵害两部分。

(7) 生态权

生态权是健康权与财产权叠加之后的拓展。没有健康的生态环境，人的健康权就无法得到保障。生态权除了健康权之外，还包括生存环境的权益，生存环境是公共财产和部分私有财产，从财产角度来看，也应该受到保护。生态权得不到保护，根本就谈不上什么健康权、生命权和发展权。

就拿地下水来说，整个区域内的地下水，属于公共资源。如果在自家院内打井，所取的地下水，则为私有财产。如果地下水被污染，则同时损害了公共财产与私有财产。此外，由于使用被污染的地下水，造成庄稼损失、牲畜死亡和人的健康受损，则有进一步侵害了私有财产和个人健康权。

4.当代人权的基本内容

国际社会对人权的内容和分类存在着很大的分歧，各种理论之间不仅有冲突也有重叠之处。当代主流观念，人权应该包括生命权、自由权、财产权、尊严权、获助权、公正权、教育权。

(1) 生命权

(2) 自由权

(3) 财产权

财产权是生命权和自由权的延伸。如果一个人要生存下去，并且要有能力选择他喜欢的方式生存下去，就一定要有物质作为支持，那么，对自我劳动的所得进行排他性的占有，就是生命权与自由权必不可少的保障。财产权看似是一种物权，但其实质为人支配物，即支配自己正当所得的权利。

随着社会的发展，民众对公共产品（包括公共服务）要求越来越多，公共产品（包括公共服务）越来越丰富，也就是说，公共产品（包括公共服务）既是民众的需求，也是民众共同所有，**民众平等地享有公共产品（包括公共服务）对保障民众的基本生存越来越重要，成为民众生命权、健康权、发展权、公正权的基础。因此在财产权中，更应该突出公共产品（包括公共服务）的供给与保护。**

(4) 尊严权

(5) 获助权

获助权常常和“人道主义”联系在一起，是生命权的延伸。由于种种不可预知的灾祸，人的生命权无时无刻不受到威胁，在危难关头得到伙伴的帮助，是生命权的必要保障。在现代社会中，突发性的灾难有时会造成很大的危害，这种时候个体的获助权就需要一个强大的组织，一般是政府的倾力帮助，这是政府一项重要的公共服务职能。

(6) 公正权

人权的普适性必然的要求每一个人都受到公平合理的对待，但现实生活中，除了经济权力、政治权力、种族、国籍、公共产品（包括公共服务）、劳动、教育等，都会不同程度将人划到不同的等级，那么，人权就变成有限的，有条件的，甚至成为特权阶级的奢侈品了。

而公正权是为了将人权平等的扩展到每一个人身上。公正权不仅是人权的一部分，更重要的是它也是人权中其它部分的必要条件。

(7) 教育权

5.当代人权的进阶

人权的基本内容仅仅一种最低限的保障，在现代文明社会中，这显然是远远不够的。所以又出现了很多对人权的扩充。人权的进阶内容一般都是基本内容的融合、扩展、深化。但是由于经济发展的不平衡性和文明的多样性，对于以下的人权内容和具体的实现方式还存在这不同程度的分歧。

(1) 发展权

发展权最早是 1970 年联合国人权委员会委员卡巴·穆巴耶在一篇题为《作为一项人权的发展权》的演讲中被提出，并立即受到了广大发展中国家的强烈支持。1979 年，第三十四届联合国大会在第 34/46 号决议中确认，发展权是一项人权，平等发展的机会是各个国家的天赋权利，也是个人的天赋权利。1986 年，联合国大会第 41/128 号决议通过了《发展权利宣言》，对发展权的主体、内涵、地位、保护方式和实现途径等基本内容作了全面的阐释。1993 年的《维也纳宣言和行动纲领》再次重申发展权是一项不可剥夺的人权，从而使发展权的概念更加全面、系统。发展权在坚持个人良好发展的同时，也强调了“集体人权”这一新生概念，也就是要求各国，各民族都能平等、自由、友好的交流合作，均等的享受发展机会。

(2) 民族自决权

民族自决权其实源于资产阶级革命时期的天赋人权说和人民主权说。1776 年的美国《独立宣言》和 1789 年的法国《人权和公民权宣言》是反映这些思想的最具代表性的历史文献。二战之后，民族自决权在《联合国宪章》、《关于人民与民族的自决权的决议》、《给予殖民地国家和人民独立宣言》、《国际法原则宣言》、《关于自然资源永久主权的宣言》、《公民权利和政治权利国际公约》、《经济、社会及文化权利国际公约》等一系列国际文件中多次得到确认和重申，并作为一项重要的集体人权获得了广泛的认可和接受。民族自决权风靡一时是与资产阶级革命，以及二战以后大批受压迫的民族和国家独立自主是密不可分的。然而在国际形势大大改变的现在，民族自决权更加强调的是本民族国家自主选择自己的发展道路和生活方式，而不受外部干涉的一项集体人权。对于民族自决权是一种重要人权国际社会普遍没有异议，但对于民族自决权的限度，民族自决权与最低人权标准的之间的矛盾等，国际社会的斗争相当激烈。民族自决权被普遍用于发展中国家反对发达国家“干涉”的重要理论依据。

目前，被多数国家认同的人权立法内容主要有：

安全的权利。有关禁止犯罪行为的权利，如禁止谋杀、屠杀、酷刑和强奸。

自由的权利。有关自由的范畴，如宗教、信仰、集会、结社等的自由。

政治的权利。有关人民的自由参政的权利，如抗议或入党。

诉讼的权利。有关防止滥用法律制度的权利，如禁止秘密审讯和过度惩罚等。

平等的权利。有关公民平等的权利，如在法律之前人人平等。

福利的权利（经济的权利）。有关提供教育和免于遭受严重的贫穷和饥饿的权利。

民族的权利。有关群体免受种族屠杀的权利，以及建立民族国家的权利。

6.人权至上定律

由于法律是最高社会规范，是其它社会规范的基础，是维护社会秩序的基本文件，是保障社会有序、维护社会公平的最根本措施。人是社会的基础，人权又是保障人的基本生存所必需的权利。因此，**所有法制活动，首先要保障人权，任何社会活动不得侵犯人权**

（人权至上定律）也即人权至上。

人权至上定律是所有法制活动的第一定律、基础性定律，其它所有原理、定律都是为它服务的，是其它原理、定律的统领。

法制活动都不能保护人权，其它所有公共管理活动的正义性都将受到质疑，其它所有法制原理、定律都成为空谈，其法律就是恶法，其法制活动就是暴政。

如果人权得不到保障，人就无法生存，人类社会就会退化，甚至覆灭。

系统法学的人权至上定律，一是要研究人权应该怎样进化，尤其是实际人权的进化，才能维护社会有序发展，才能促进人类社会的和谐。二是要研究怎样的法制活动，才能使得人权至上落实到法制实践之中去。

第四节 良法

所谓**良法**（conscience law, good law），就是捍卫人权，防止暴政，制裁犯罪，维护正义，促进和谐的法律。与之相对应是恶法，恶法（bad law）就是维护独裁专制、维护暴政、侵害人权、肆意剥夺人们的自由、损害正义的法律。

良法是西方法学的传统思想，由古希腊思想家亚里士多德最早提出。首次提出“恶法亦法”命题的是近代分析实证主义法学派的创始人、著名法学家奥斯丁。自此，西方法学呈现了两大阵营：一个自然法学派的“恶法非法”，二是分析实证法学派的“恶法亦法”。

良法是善政基础，善治依据。

1.形式上的良法

良法的形式是指法律内在要素的结构或表现方式。形式上的良法应具有以下特点：

（1）普遍性

即法的规则对主体规定具有普遍性和对行为规定具有普遍性。在这里，普遍性是说法不是指向特定的人和特定人的行为，即此项立法不是为特定人和特定人群进行的专门立法。

（2）明确性

即法的规则的条件、权利义务的内容、违反义务的行为和责任规定，都必须是明确的，并且用来表述法的规则的语言、文字必须是语义清楚、含义明确的。

（3）统一性

即一个国家的法的规则具有整体性、一致性，不应允许其存在相互冲突，一旦发现其中存在相互冲突，则可以依据一种准则来解决这种相互冲突的规则问题。

（4）稳定性

即法的规则在较长时间内的不变性。只有当法的规则具有相对稳定性时，人们才能了解法、按照法的规定进行相互交往和行为选择。

（5）先在性

一方面当国家要求人们守法时，从逻辑上看，应是法的规则对人们的行为规定在先，而人们的守法行为在后；另一方面当国家企图指责一个人的行为并企图追究这个人的行为责任时，它必须是根据已制定出来的法的规则作这种指责和追究。

（6）可行性

即法的规则对人的行为的要求必须是人们可以做到的，是符合实际的。

（7）公开性

法必须被公布才能被人们所知晓，也只有如此才能被人们所遵从。只有在人们知晓法的

前提下，当人们违反法时，国家才能合理地对违法者施加惩罚。法应具有公开性已成为公认的法治社会的法所应具有的最基本性质。

（8）完备性

法必须是比较完备的。对于发现法存在不完备之处，应该及时修订。法的完备性包括两个方面，一是内容的完备性，法的内容不能存在缺陷或漏洞，必须是无懈可击的。二是法的结构的完备性，法必须具有应该具有完备的构件，即法**应该具有明确的立法思想或原则、权利与义务、罚则三大基本构件，缺一不可**（也即**良法构件原理**），尤其是**明确的立法思想或原则，当法的内容出现不完备情形时，可以根据该法的立法思想或原则作出解释，或进行修订。**

（9）先进性

法的先进性是正对立法的，与法的稳定性相对，而不是相互冲突。**法的先进性一方面要求立法思想应该紧跟当前法学先进思想和人权思想，立法之中要体现当前先进的人权理念与内容。二是在立法内容上适当超前，也既要符合适当超前原理。**

（10）刚性

司法实践表明，**非人格化的、刚性的、伸缩度小的、自由裁量权小的法就是良法。**因此，法律必须具有至刚性（**良法至刚原理**），一是人人面前平等，不会因为不同的人而使用不同的法律；二是法律内容的刚性，法律内容描述准确，范围精确，伸缩性小；三是权责与行为描述要精细、完备，可操作性强；四是罚则规定精细，可操作性强，自由裁量权小。

此外，法律的至刚性，还是为了防止因为法律出现了不完备性纰漏而曲解法律，当法律出现纰漏时，还可以通过良法构件原理，按照立法思想或立法原则进行合理的推理，弥补漏洞。

上述法的十个特性是良法在形式上所应具有的特征，也即**良法形式原理**。良法形式原理是良法形式上的基本原则，是法律必不可少的。

2.实质上的良法

实质上的良法是指法作为一种规范体系本身必须具有正义性，即应包含有保障人权、促进社会和谐等方面的作用。实质上的良法应包括：

（1）保障人权

法对社会成员的人权加以保护，不容侵犯。法通过对侵犯他人的人权的行为的惩罚规定，体现保障安全的作用。安全，是个人生存、发展的起点，是人们追求更高意义上的幸福的依据，也是社会存在的基础，是人类所共同需要的一种社会状况。良法首先就要重视保障人权。

（2）维护平等

良法必须具有这种维护平等的性质，使社会成员在平等的基础上进行利益交往：

法平等地赋予每一社会成员以基本义务和基本权利，维护社会成员的法律地位的平等；

法赋予每个成员因付出了代价而有获得相应报偿的权利，来体现维护社会成员利益交往的平等；

法规定每个成员以侵害他人或公共利益的方式而获得利益的必须受到惩罚，并要付出相应的利益代价，从而体现和维护社会成员承担责任的平等；

法赋予每个成员以获得难以平等分配的资源的机会，来体现和维护社会成员们的机会平等。

（3）保证自由

法以最合理的义务性规则来约束每个人的行为，从而给社会全体成员提供一个最可能大

的自由活动空间。自由是人类最基本的天然需要之一。一个正义的社会必须是人们能在其中享有充分自由的社会。良好的法必然包含着保证人们的自由，尤其是言论自由、出版自由与新闻自由。

（4）罪刑相当

罪刑相当原理，又称罪责刑相适应原则，罪刑均衡或者罪行相适应原则，是指刑罚的轻重，应当与犯罪分子所犯罪行和承担的刑事责任相适应。罪刑相当原则的具体内容包括：

第一，刑罚的性质和强度要与犯罪的性质和严重程度相适应，轻罪轻刑，重罪重刑，罪刑相称，罚当其罪。

第二，刑罚的性质和强度要与刑事责任的轻重相适应。在对具体犯罪裁量刑罚时，不仅考虑犯罪行为本身的轻重，而且还应考虑犯罪分子应承担刑事责任的轻重。

第三，相类似的罪行，所受到的刑罚也应该相近。

对于第三点，不少法律都没有做到这一点。尤其是对于职务犯罪，法律规定的刑罚远远轻于与之类似的其他犯罪。例如，贪污罪、受贿罪，除了非法占有财物之外，还严重扰乱公共秩序，严重影响社会公平，其犯罪动机、对社会的危害与影响范围，以及受贿罪的利用权力对受害人的胁迫程度和对直接受害人的侵害程度、侵害时间，远远大于盗窃罪、诈骗罪、抢夺罪，而法律规定的刑罚却远远轻于盗窃罪、诈骗罪、抢夺罪。再者就是渎职罪，对于同样后果、影响范围、犯罪动机、犯罪行为的渎职罪与其他犯罪，渎职罪的刑罚远远轻于其他犯罪。

此外，对于商业腐败，尤其是商业贪污与企业间的贿赂，其腐败都会计入企业成本，最终由广大民众也即消费者承担，这种腐败，同行政腐败一样，不仅仅是非法侵占，同时严重扰乱了经济秩序和社会公共秩序，其犯罪动机、对社会的危害与影响范围，以及对直接受害人的胁迫程度和侵害程度、侵害时间，远远大于盗窃罪、诈骗罪、抢夺罪，然而刑法只对“国家工作人员”进行罪责追究。

造成这一点的原因，主要一是由立法参与者、决策者都是公职人员，他们不可能做到公平立法；二是立法程序没有完全公开、透明。因此，立法的罪刑相当原则，除了关注第一、第二点之外，更要关注第三点，也即在立法与司法上要公正，要“王子犯法与庶民同罪”，不同罪责之间的罪刑相当，不能“刑不上大夫”。

第四，刑罚要合理与适度。“民不畏死，奈何以死惧之”，“民不畏威，大威至”，严刑峻法，苛政酷吏，是政府无德无能的表现，是恶法暴政的典型特征。

（5）罪因溯源

良法不仅要惩罚直接犯罪者，同时还要惩罚间接犯罪者，更要惩罚犯罪诱导着（**罪因溯源原理**）。然而，现实法律中却存在许多不尽人意的地方。

例如行贿与受贿。固然，行贿者是为了谋取不正当利益，向受贿者行贿。而行贿的真正诱因，**一是**存在受贿者，没有受贿者自然无贿可行。当然自然会有人立即会说，没有行贿者自然无贿可受。其实不是这样。（**二是**）行贿者之所行贿，是因为行贿者明白了受贿者的索贿意图，或者行贿者知道受贿者有受贿经历，行贿者为了达到目的，才向受贿者行贿。也就是说，“苍蝇不叮无缝的蛋”，受贿者是诱因，而在这当起“行贿-受贿”事件中，“行贿事件”不是罪因。（**三是**）再者，从社会整体角度看，贿赂风气存在在先。如果受贿者受到了罪刑相当的惩处，全社会形成拒贿风气，则也就没有行贿意识。也就是说，从社会整体来看，有权利存在，有以权谋取私利的欲念存在，在没有有效监督约束的情况下，就会永远有权力寻租的欲望与现象，就会诱导行贿走捷径。也即**权力寻租诱导行贿，没有监督约束的权利是行贿的根本诱因，是贿赂事件发生的本因**。在行贿受贿成因分析中，不能就当起事件来分析（静态分析），而应该使用时间分析的方法进行动态分析，确

定真正的犯罪成因。综上所述，**行贿者才是行贿受贿事件的根本原因**。同时，更多的时候，行贿者行贿，并不是为了谋取不当利益，而是为了获取正当利益甚至为了维护自己的正当利益，不得不行贿。也就是说，**行贿是不得已而为之**。即使是第一次行贿受贿事件的发生，而且还是行贿者为了牟取不当利益，如果不存在“受贿者”（这里加上引号，是表示可能即将发生），或者“受贿者”明确表示拒贿，那行贿事件自然不可能发生。

再例如野生珍稀动植物保护，**现行法律追究的都是采猎者的罪责，而对消费者却不进行追究**。有的观点认为，如果没有猎杀野生动物、采挖野生植物的行为存在，市场上没有这些产品，消费者自然就不会消费这些产品，因此，处罚的当然应该是生产者和经营者。其实不然。多年来的执法实践证明，消费这些产品的，都是一些特殊阶层人士，他们要么拥有相当的权力，要么拥有足够的金钱，那些违法的生产者和经营者，都是在这些特殊阶层人士给出巨大利益的诱惑下，铤而走险，走上违法道路的。由此可见，这种生产者与消费者之间的关系。显然，消费珍稀野生动植物是采猎珍稀野生动植物的直接成因，而现行法律只处罚盗猎盗挖野生动植物的行为人，而袒护消费这些特殊产品的特权阶层人士，显然是极不合理的。

显然，不追究犯罪成因的法律算不上良法。

（6）促进和谐

法必须维护正义，保障每个成员平等、正当地获取利益，保障每个成员平等地享受法律的保护：

法以公正的规范约束来保证社会成员能最大限度地自由谋取利益，从而间接地促使社会生产要素得到合理的配置；

法使人们在根据法的规则进行利益交往活动或诉讼活动时，能平等、简便、快捷、省时、省力。

良法必然具有促进社会发展、方便人们行为活动的作用。只有在形式上和实质上都分别具备上述特征的法，才是真正良法。

上述法的六个特性是良法在实质上所应具有的特征，也即**良法实质原理**。良法实质原理是良法实质上的基本原则，也是法律必不可少的。

3.良法的生成

（1）公开协商

良法应该是经过社会各个阶层的真正的代表的充分协商、博弈后达成的利益妥协文件。

经过了社会各方、各阶层的真实代表相互博弈、相互协商而形成的法，是人们真实意思的表达，参与者有强烈的责任感和义务感，能够得到人们的认可、尊重和执行，使得参与者感觉受益的法就是良法。

立法的公开协商，是让所有利益相关者都参与立法。在法的起草（包括修订案的起草）阶段和初审阶段，由所有利益相关者的真实代表参加，这里的真实代表是指由所有利益相关者推选出来的、能够代表他们权益的人。在法的公开审议和表决阶段，应该尽最大可能让所有相关利益者参加。此外，在整个立法过程中，信息要公开透明。这种公开协商立法的方法就是**公开协商原理**。

（2）程序法定

要使法律成为良法而不成恶法，立程序必须法定，这种程序法定至少包括：

①普选产生立法代表。立法机关的代表必须由民众依法定期地、自由而公正地普选产生，使立法者随时倾听民众的呼声和愿望，使法律真正反映民众的意志。

②设立宪法法院。由宪法法院行使司法审查（违宪审查）的职能，对立法机关制定的法律或行政机关制定的行政法规是否违宪进行审查，对违宪者宣布无效，从而保证所制定的法

律是良法。

③信息公开透明。切实保障新闻舆论自由，只有这样，才可以让社会的真实情况顺畅地反馈到立法者，也可以把立法者的活动随时反馈给民众，让大家对法律的制定表达各种各样的意见，畅所欲言，才可以避免法律的偏私。

④立法程序由宪法法定。立法过程严格按照法定程序执行，宪法法院严格监督立法程序的合法性，对于立法程序不合法的立法，宪法法院应宣布该立法无效。

只有严格执行这种立法程序法定的规则，才能确保所立的法不是恶法。这种规则就是**程序法定原理**。程序法定原理不仅仅是指立法程序法定，司法程序同样要遵照程序法定原理。

公开协商原理与程序法定原理合称**良法生成原理**。

第五节 善治

善治是一种最好的治理方式，其本质特征就是政府与公民对公共生活的合作管理，它是国家与公民的一种新颖关系，是两者的最佳状态。

1. 善治的要素

善治就是使公共利益最大化的社会管理过程。在一定的意义上说，善治就是进一步法治化的进程。学者一般认为，善治的基本要素有以下六个：

（1）合法性（legitimacy）

即社会秩序和权威被自觉认可和服从的性质和状态。

（2）透明性（transparency）

即政治信息的公开。立法活动、政策制定、法律条款、政策实施、行政预算、公共开支以及其他有关的政治信息，公民都有权获得，并且对公共管理过程实施有效的监督。

（3）责任性（accountability）

它指的是管理人员及管理机构由于其所承担的职务而必须履行一定的职能和义务。公职人员和管理机构的责任性越大，表明善治的程度越高。

（4）法治（rule of law）

其基本意义是，法律是公共政治管理的最高准则，任何政府官员和公民都必须依法行事，在法律面前人人平等。

法治的直接目标是规范公民的行为，管理社会事务，维持正常的社会生活秩序，其最终目标在于保护公民的自由、平等及其他基本政治权利。

法治与人治相对立，法治既规范公民的行为，但更制约政府的行为。法治是善治的基本要求，没有健全的法制，没有对法律的充分尊重，没有建立在法律之上的社会程序，就没有善治。

（5）回应（responsiveness）

这一点与上述责任性密切相关，实际上是责任性的延伸。它的基本意义是，公共管理人员和管理机构必须对公民的要求做出及时的和负责的反应，不得无故拖延或没有下文。在必要时还应当定期地、主动地向公民征询意见、解释政策和回答问题。

（6）有效性（effectiveness）

这主要指管理的效率。他有两方面的基本涵义，一是管理机制结构合理，管理程序科学，管理活动灵活；二是最大限度的降低管理成本。善治概念与无效的或低效的管理活动格格不

入。善治程度越高，管理的有效性也就越高。

俞可平教授则提出的十个善治的基本要素，包括：

(1) 合法性

合法性可以很清楚的由民主与法治原则获得，即通过由人民选择和授权的，通过合理的法律和政治程序，并通过政治竞争上位和存在退出可能性的政权就天然的获得了合法性。除此之外，没有什么别的程序可以使得一个政权获得合法性。

(2) 法治

(3) 透明性

(4) 责任性

指的是“在公共管理中，与某一特定职位或机构相连的职责及相应的义务”。责任性本质上不会通过公职人员自发的动机实现，而是需要竞争的压力和第三方契约的力量。也就是责任性本质是可以由民主和法治原则实现的。

(5) 回应

指的是“公共管理人员和管理机构必须对公民的要求作出及时和负责的反应”，显然回应也是可以由竞争性和法治原则所确保的。

(6) 有效性

指“公共管理的效率”。效率只可能由竞争和第三方的约束共同作用形成。

(7) 参与

指“公民对政治和其他公共生活的参与”。显然，参与是由“公民偏好的表达和选择”所涵盖的。

(8) 稳定性

指“国内的和平、生活的有序、居民的安全、公民的团结、公共政策的连贯等”。可以看出，俞可平教授定义的稳定性包括三方面：

公共产品的秩序和安全；

社会内部矛盾最小；

政策的连贯。

关于前两点，本身就是政治的竞争压力和分配正义的自然结果。稍微需要更多解释的是政策的连贯性。政策的不连贯经常是对竞争性的选举政治（也就是）最大的诟病。但是首先，一个良好的民主的政策本质是来自于公民内在的政治需求。因此，本身具有合法性。其次，法治原则也确保了政策的本身不受制于上台的政治家的自发的意愿而随意更改，而是符合大多数公民的意愿。相反，人治社会政策因人而变的事例更是比比皆是。因此，政策的连贯性是可以被民主和法治所涵盖的。

(9) 廉洁

廉洁来自于三个基本条件的共同约束：政治上退出的约束，法治下的惩罚，和信息透明下的监督。

(10) 公正

值得注意的是，俞可平教授多次提出了公正在善治中的重要作用。

还有学者将善治理念可用九个特征来表述：回应、有效、高效、达成共识、透明度、促进法律规范、参与、诚信（或问责）、公平、包容、严谨。

综上所述，可以将善治进一步地被规约为两个必要条件：即民主和法治。

2.善治的原则

(1) 人权至上

由于善治的两个规约条件是民主和法治，其中民主是政治体制，而法治则是善治的手段。

要善治，仅仅只有人权至上的良法是不行的，还必须将良法付诸于实施，并且在实施中始终遵循人权至上原则。如果在执法中不遵循人权至上原则，那么，再好的良法也是一纸空文（**人权至上定律**）。

（2）民主

善治实际上是政府权力向社会的回归，善治的过程是一个还政于民的过程。而善治的构成要素无一不是以民主政治为基石、以政府行为的法制化为基础的。善治表示国家与社会或者说政府与公民之间存在着良好的合作（**民主定律**）。

善治有赖于公民自愿合作和对权威的自觉认同，没有公民的积极参与，不会有善治。所以，善治的基础与其说是在政府，还不如说是在公民。从这个意义上说，公民是善治的现实基础，没有健全和发达的公民社会，就不可能有真正的善治。善治是政府与公民之间积极而有成效的合作，这种合作成功与否的关键是参与政治管理的权力。公民必须具有足够的政治权力参与选举、决策、管理和监督，才能促使政府并与政府一道共同形成公共权威和公共程序。

显而易见，保证公民享有充分自由和平等的政治权力机制的实现只能是民主政治和法制，这样，善治与民主法制便有机地结合了起来，使得“善治”与“民主法治”在一定程度上等同起来。

因此，善治只有在民主政治的条件下才能真正实现，没有民主，善治便不可能存在。而这一切，又是以法治为基础限制政府权力的产物。

（3）和谐

也即“少一些统治，多一些治理”。政府的唯一职责的是维持公平有序的和谐社会秩序，保护大多数尤其是普通民众、缺少话语权的弱势群体的利益，并为他们谋取应得的利益，而不是打着各种政治口号与民争利，或者为某些集团谋利（**和谐定律**）。其实，**和谐定律**是人权至上定律的一部分，**既是政府的唯一职责，也是善治的目的**。

3.法治的优越性

法治 (rule of law)，是指一个法律信念，在某一社会中，法律具有凌驾一切的地位。法律是社会最高的规则，没有任何人或机构可以凌驾法律。

法治的优越性是相对于人治而言的，而这种优越性主要体现在：

- 第一，法律是集体智慧和审慎考虑的产物；
- 第二，法律没有感情，不会偏私，具有公正性；
- 第三，法律不会说话，不能象人那样信口开河；
- 第四，法律借助规范形式，具有明确性；
- 第五，实行人治容易贻误国家大事，特别是世袭制更是如此；
- 第六，时代要求实行法治，不能实行人治；
- 第七，实行一人之治较为困难，君主的能力和精力毕竟有限；
- 第八，一人之治剥夺了大家轮流执政的权利。

但是，法治也有缺陷，这就需要采取一定的措施进行弥补，这也正是系统法学的重要研究内容之一，这些措施就是法制系统的管理，包括团体权力作为法治的补充、法律变更、法律解释等。虽是如此，这些缺陷却不是法治本身所固有的，而是法治中人的能力有限、文明水平、政治民主水平等因素造成的。

4.主要法治原则

（1）司法绝对独立

立法以博爱万物之心力保社会和谐。但是，在司法过程中，由于人的情感因素，以及由

于信息不对称造成的的媒体等外界干扰、权利干扰，极易形成有法不依、执法不严等现象，从而失去立法根本目的。因此，善治的前提司法独立，司法不独立，很难保证善治（**司法独立定律**）。

（2）博爱万物

法治的目标是和谐，而和谐的重要组成部分是博爱万物。因此，法治虽是刚性的、无情的，但是不能因此随意滥用刑罚，就是惩处罪犯也要罪刑相当，废除恶刑，尤其是要慎用死刑，建议及早废除死刑（**博爱万物原理**）。

（3）罪刑相当

既不能滥用刑罚，也不能重刑轻罚或不罚（**罪刑相当原理**）。

（4）纠错与赔偿

司法错误在所难免，对于错误的司法活动，应及时纠正并赔偿。一是保障权利人的利益，二是保障司法的严肃性，三是避免司法的随意性（**赔偿原理**）。其它公共活动，也应该参照司法赔偿原理，对错误的公共活动受害者进行赔偿。

此外，所有的法制活动、行政活动等公共活动，不应仅仅是纠错与赔偿，还要追溯责任，对责任者处以罪刑相当的惩罚，只有这样，才能：一是保障受害人的权益，二是保障司法与行政的严肃性，三是避免司法与行政的随意性，四是从中学习提高法制与行政水平，五是维护社会公正，六是保障公职职业化，杜绝公职权力化、私有化（**纠错原理**）。

取消行政问责。行政问责根本就没有用，官官相护不可避免，行政问责与行政处分成了逃避责任追溯、保护窝贪的保护伞。

（5）罪因溯源

罪因溯源不仅仅是表现在立法上，在司法中也要遵循溯源罪因原理（罪因溯源原理）。再拿保护珍稀野生动植物来说事。对于采猎珍稀野生动植物犯罪的溯源，司法实践发现，除了消费者是罪恶之源之外，还有两个罪恶之源，**一是少数有影响力的经营者**，他们为了牟取更多暴利，**蛊惑诱导消费者消费，甚至变相鼓动或组织非法采猎；二是贫穷**，采猎珍稀野生动植物，采猎者都知道，除了违法之外，还有就是采猎本身就是一件十分艰苦、安全风险极大的活动，他们迫于贫穷，与违法成本比较一番，觉得可以冒险，于是就走向非法采猎的犯罪之路。对于非法采猎的溯源，除了在司法上要惩处经营者之外，还要加大对鼓动消费、组织采猎者的惩罚力度，此外，**更重要的治本措施，就是帮助采猎者就业脱贫，加强特权阶层生态文明教育，自觉抵制消费珍稀野生动植物，形成让消费珍稀野生动植物成为一种不耻行为。**

在环境污染和有毒有害食品司法上，也存在类似的问题。对于环境污染与有毒有害食品，罪因之源主要有四个。**一是在司法实践上，对环境污染与有毒有害食品制造者惩治力度极端偏小**，对于犯罪获得的暴利来说，犯罪成本小得忽略不计。**二是研发者**，很少溯源到这一层次，以至于在暴力的诱惑之下，将自己所掌握的普通的知识技能转换成犯罪技术方法的事件层出不穷。**三是监管者**，为了GDP，对辖区内环境污染与有害食品事件熟视无睹，甚至间接参与。**四是立法不公，在立法上明显违背罪刑相当原则**，环境污染与有毒有害食品犯罪，比投毒罪的犯罪动机与行为更为恶劣，投毒者只是为了泄私愤向受害者投毒，而环境污染与有毒有害食品犯罪者却是为了牟取暴利向公众投毒；比投毒罪影响范围更广，投毒罪只涉及少数受害者，而环境污染与有毒有害食品犯罪的受害者涉及整个区域甚至全世界；比投毒罪危害程度大、危害时间长，投毒罪只影响事件发生的一段时间，而由于环境污染与有毒有害食品犯罪手段隐蔽，再加上监管者可能的袒护，发现困难，等发现时，危害时间已经很长，危害程度已经十分严重。

当然，这不仅仅是食品安全问题，**其它商品安全问题同样存在着法制不公平问题。以及还有灾害责任溯源问题，尤其是生物灾害防疫责任溯源等等，由于政府官员**

失职渎职，或者重防治轻预防，或者瞒报疫情，更有甚者“防治得力”被提拔等原因，灾害责任得不到溯源，以至于小灾酿大祸的事件屡见不鲜。

通过罪因溯源，追究犯罪真正原因，惩治犯罪元凶。当某一种犯罪高发时，我们更要认真进行犯罪溯源，查找犯罪真正原因，这种原因，一，可能是我们的法律过时了，需要尽快修订法律，例如以前的投机倒把罪。二，可能是我们的社会意识、社会道德沦丧了。三，我们的社会制度存在问题。对于原因二与三，这就需要政府进行改革。

（6）学习与进化

通过罪因溯源、纠错与赔偿，从法制活动中总结经验教训，不断提高法制水平。从一个较长的时间维度看，这一过程可以用 PDCS 循环表示（**学习原理**）。

P（Plan）计划，包括法制方针和目标的确定，以及法制的活动计划的制定；D（Do）执行，就是具体法制活动的实施运作，包括立法、法律执行与监督、法律宣传教育等以及法制机构本身的演化等；C（Check）检查，就是评估计划执行的结果；S（Study）学习，对评估结果进行处理，成功的经验加以肯定发扬，对于失败的教训要避免重现，并将学习结果遗传到下一轮计划中。

在整个 PDCS 循环中，都贯穿着学习，既总结学习法制活动本身的经验教训，还向其他社会活动学习发育发展经验教训。这种学习，贯穿法制活动的终生。通过学习，获得了先进的进化或更新经验，促进法制系统进化或更新，使得进化或更新后新的法制系统更为先进、健康、和谐。

（7）程序法定

司法程序象立法程序一样，应该对其专门立法，严格规定司法程序，杜绝司法的随意性（**程序法定原理**）。

（8）评价

评价其实是学习的一部分，通过对法制活动包括法律本身进行公开透明评价，及时纠正错误，以提高法制水平（**评价原理**）。

（9）GCSP 管理

GCSP 管理是系统管理的内容，是分级管理（graded management）、分类管理（classification management）、分区管理（subarea management）、分期管理（phased management）的英文缩写（**GCSP 原理**）。

分级管理：根据法制系统的组织结构等级或者功能等级，对法制系统进行分级，不同等级的法制系统，采取不同的管理措施。下级服从上级，上级监督指挥下级（**权力分级原理**）。

分类管理：按照法制系统内子系统种类或功能输出，对法制系统内子系统进行分类，根据不同的分类，采取不同的管理措施（**权力分立原理**）。

分区管理：根据法制系统所处的不同区域，在法律允许范围内，根据本区域特点，采取不同的管理措施。这种区域一般是行政区域（**权力分区原理**）。

分期管理：法制系统的发育发展，常常遵循一个特定的生命周期。根据法制系统不同的发育发展周期，在法律允许范围内，采取不同的管理措施（**权力更新原理**）。

学习与进化原理和 GCSP 原理与法律的稳定性、权威性、至刚性并不矛盾。二者都是以系统学观点，从较大的时间和空间跨度来看待法制系统的，法制系统如果不因地因时制宜，不断推进法制进步，万古不变的“良法善治”也会因为其阻碍社会进步而蜕变成恶法暴政。

（10）执者不议

执者指的是公职人员，即执权者。由于公职人员拥有权力，腐败、失职、渎职等在所难免，根据权责相当原则与罪刑相当原则，就应该对腐败、失职、渎职造成的后果进行追溯。如果让公职人员参与立法、议政等活动，基于个人或本团体利益考虑，势必会在所制定的法

律中加入个人或本团体的利益。因此，立法与议政应该由专门的机构组织，参与立法、议政的人员应该采用真正的民选方法，从非公职人员中产生，而且不得连任。

宪法应该规定，权力执行者不得参与议政与立法（**执者不议原理**），也即“不能既当运动员，又当裁判员”。

标准、政策也应该参照这一原理制定，或者制定后要经过权益相关人充分地公开审议后方能公布实施。

（11）权责相当

公职人员的权利与责任、录用与任职程序应有法律明确规定，长官应按照法定程序从所在区域民选产生。通过上述完备的法制措施，将公职权责公开透明化，及早扭转“谋取公职”等同“牟取私利”社会意识，促进公职职业化（**权责相当原理**）。权责相当原理又可以叫做**公职职业化原理**。

（12）信息透明

法制信息应该透明，只有这样，才能：一更好地维护权利人的利益，二维护法制公正公平，三避免信息不对称对司法、立法干扰（**信息公开原理，信息透明原理**）。

这里的法制信息，包括立法程序与信息、法律信息（法的内容及其解释、立法说明信息等）、司法过程及其相关信息等。

（13）执行原理

再好的良法，没有执行，或者没有正确地执行，那也只是一纸空文而已（**执行原理**）。

（14）监督

即使是良法善治，缺少有效的监督，也会慢慢蜕变成恶法暴政（**监督原理**）。监督措施可以有专职机构监督、上级监督、媒体监督、民众监督等。

第六节 系统法学基本原理

系统法学基本原理不是恒定不变的，而是随着社会的进步，围绕着人权至上原理，不断发展着的。就当前而言，系统法学基本原理可以总结为法制思想定律、法制人权定律、良法定律、善治定律。

1. 法制思想定律

在人类世界里，人类的博爱万物精神至高无上，人类社会的发展理念是和谐发展，法制的理念是促进社会和谐发展。虽然在所有社会规则中，法律是最高的，但要遵从博爱万物精神与和谐发展理念。

（1）师法自然原理

师法自然原理，就是天道良法，善治万物。

（2）博爱万物原理

即民心物体。

（3）和谐定律

良法善治就是促进人类社会的和谐，促进人与自然的和谐。和谐定律既是法制的最高目标，可以说是法制的目标定律。这也是法制系统的功能，即法制系统应该是中庸的，促进社会和谐发展。

（4）目标原理

良性社会规范的目标是维持人类社会及其所在的时空域的健康有序，促进人类社会和谐

发展。这种时空域是指历史的、现在的、将来的时间域与所在的、近邻的、遥远的空间域。

(5) 进化原理

社会规范是在不断进化的，这种进化是与社会进化同步的。

(6) 适当超前原理

社会规范需要稍稍地适当超前，尤其是法律、标准与政策。这是进化原理的推论。

(7) LSP 协同原理

在法治社会，法律是人类社会的最高行动准则，法律、标准、政策协同作用，共同管理着人类社会：法律是基础，标准是对法律的补充与延伸，政策则是法律、标准的灵活运用。

(8) 法制至上定律

人类社会所有活动，都必须遵守法制的约束。一切社会规范都必须符合法律规定，一切社会活动都必须符合法律规定。这是 LSP 原理的推论。

2. 法制人权定律

(9) 人权至上定律

所有法制活动，首先要保障人权，任何社会活动不得侵犯人权。

3. 良法定律

良法是善政的基础，是善治的开始。

(10) 良法形式原理

良法应该具有普遍性、明确性、统一性、稳定性、先在性、可行性、公开性、完备性、先进性、刚性等特征。

(11) 良法至刚原理

非人格化的、刚性的、伸缩度小的、自由裁量权小的法就是良法。属于良法形式原理。

(12) 良法构件原理

良法应该具有明确的立法思想或原则、权利与义务、罚则三大基本构件，缺一不可。属于良法形式原理。

(13) 良法实质原理

良法应该具有保障人权、维护平等、保证自由、罪刑相当、罪因溯源、促进和谐等作用。

(14) 罪刑相当原理

刑罚的轻重，应当与犯罪分子所犯罪行和承担的刑事责任相适应。属于良法实质原理。

(15) 罪因溯源原理

良法不仅要惩罚直接犯罪者，同时还要惩罚间接犯罪者，更要惩罚犯罪诱导者。属于良法实质原理。

(16) 良法生成原理

只有通过法定程序公开协商制定的法律，才有可能是良法。

(17) 公开协商原理

良法应该是经过社会各个阶层的真正的代表的充分协商、博弈后达成的利益妥协文件。属于良法生成原理。

(18) 程序法定原理

要使法制活动成为良法善治而不成恶法暴政，立法、司法程序必须由宪法规定，并接受违宪审查和公开审议与监督。在立法活动中，立法程序法定原理属于良法生成原理。

4. 善治定律

善治的根本，就是博爱万物，促进人类社会和谐发展。

(2) 博爱万物原理

(3) 和谐定律

(9) 人权至上定律

(14) 罪刑相当原理

(15) 罪因溯源原理

(18) 程序法定原理

(19) **民主定律**

民主是善治的基础。

(20) **司法独立定律**

善治的前提司法独立，司法不独立，很难保证善治。

(21) 赔偿原理

司法错误在所难免，对于错误的司法活动，应及时纠正并赔偿。一是保障权利人的利益，二是保障司法的严肃性，三是避免司法的随意性。

(22) 纠错原理

所有的法制活动、行政活动等公共活动，不应仅仅是纠错与赔偿，还要追溯责任，对责任者处以罪刑相当的惩罚，只有这样，才能：一是保障受害人的权益，二是保障司法与行政的严肃性，三是避免司法与行政的随意性，四是从中学习提高法制与行政水平，五是维护社会公正，六是保障公职职业化，杜绝公职权力化、私有化。

(23) 学习原理

通过罪因溯源、纠错与赔偿，从法制活动中总结经验教训，不断提高法制水平。从一个较长的时间维度看，这是一个 PDCA 过程。

(24) 评价原理

评价其实是学习的一部分，通过对法制活动包括法律本身进行公开透明评价，及时纠正错误，以提高法制水平。

(25) GCSP 原理

是(26) 权力分级原理、(27) 权力分立原理、(28) 权力分区原理、(29) 权力更新原理合称。

(30) 执者不议原理

宪法应该规定，权力执行者不得参与议政与立法。

(31) 权责相当原理

公职人员的权利与责任、录用与任职程序应有法律明确规定，长官应按照法定程序从所在区域民选产生。通过上述完备的法制措施，将公职权责公开透明化，及早扭转“谋取公职”等同“牟取私利”社会意识，促进公职职业化。又叫公职职业化原理。

(32) 执行原理

再好的良法，没有执行，或者没有正确地执行，那也只是一纸空文。

(33) 监督原理

即使是良法善治，缺少有效的监督，也会慢慢蜕变成恶法暴政。

第三章 系统法学理论基础

本章介绍了系统法学基础理论：系统论、生态论、和谐论。

第一节 系统论

1.系统

1.1 基本概念

(1) 系统的定义

简单地说，一群有相互关联的个体组成的集合称为系统。英文中系统（system）一词来源于古代希腊文（systema）意为部分组成的整体。一般系统论创始人贝塔朗菲（Ludwig Von Bertalanffy, 1901~1972）把系统定义为：“系统是相互联系相互作用的诸元素的综合体”。这个定义强调元素间的相互作用以及系统对元素的整合作用。可以表述为：

如果对象集 S 满足下列两个条件：

- ① S 中至少包含两个不同元素
- ② S 中的元素按一定方式相互联系

则称 S 为一个系统， S 的元素为系统的组分。

这一定义还可以更精确地描述为：

系统 $Z(n)$ 是指由 n 个存在关联的元素 $e(i)$ ($i=1,2,\cdots,n, n\geq 2$) 构成的整体

$$\begin{aligned} Z(n) &= \{E(n), R_z^*\} \\ E(n) &= \{e(i)/i=1,2,\cdots,n; n\geq 2\} \end{aligned}$$

式中 R_z^* 表示 $e(i)$ ($i=1,2,\cdots,n, n\geq 2$) 间存在关联的集合。

(2) 系统的构成

系统是由若干相互联系、相互作用、相互依赖的要素结合而成的，具有一定的结构和功能，并处在一定环境下的有机整体。系统的整体具有不同于组成要素的新的性质和功能。具体来讲，系统的各要素之间、要素与整体之间，以及整体与环境之间，存在着一定的有机联系，从而在系统的内部和外部形成一定的结构，要素、联系、结构、功能和环境是构成系统的基本条件。

要素是指构成系统的基本成分。要素和系统的关系，是部分与整体的关系，具有相对性。一个要素只有相对于由它和其他要素构成的系统而言，才是要素；而相对于构成它的组成部分而言，则是一个系统。

联系是指系统要素与要素、要素与系统、系统与环境之间的相互作用关系。一方面它表明系统内的要素处于不断的运动之中。系统中任何一个要素的变化都会影响其它要素的变化，进而影响系统的发展。同时，要素的发展也要受到系统的制约，这是因为系统的发展是

要素或部分存在和发展的前提。另一方面，作为一个整体的系统与它周围的环境进行物质、能量和信息的交换，形成了从系统的输入端到系统输出端的物质流、能量流和信息流。总之，事物是在联系中运动，运动发展着联系。

结构是指系统内部各要素的排列组合方式。每一个系统都有自己特定的结构，它以自己的存在方式，规定了各个要素在系统中的地位与作用。结构是实现整体大于部分之和的关键，结构的变化制约着整体的发展变化，构成整体的要素间发生数量比例关系的变化，也会导致整体性能的改变。总之，系统的整体功能是由结构来实现的。

功能是指系统与外部环境在相互联系和作用的过程中所产生的效能。它体现了系统与外部环境之间的物质、能量和信息的交换关系。系统的功能取决于过程的秩序，如同要素的胡乱堆积不能形成一定的结构一样，过程的混乱无序也无法形成一定功能。从本质上说，功能是由运动表现出来的。离开系统和要素之间及其外部环境之间的物质、能量和信息的交换过程便无从考察系统的功能。

环境是指系统与边界之外进行物质、能量和信息交换的客观事物或其总和。系统边界将起到对系统的投入与产出进行过滤的作用，在边界之外是系统的外部环境，它是系统存在、变化和发展的必要条件。虽然由于系统的作用，会给外部环境带来某些变化，但更为重要的是，系统外部环境的性质和内容发生变化，往往会引起系统的性质和功能发生变化。因此，任何一个具体的系统都必须具有适应外部环境变化的功能，否则，将难以获取生存与发展。

(2) 系统行为

对于系统 $Z(n)$ ，系统行为 H_z 是指系统 $Z(n)$ 的某种外部活动或表现， H_z 是系统内部状态 S_{in} 和系统输入 R 的函数：

$$H_z = \psi_h(R, S_{in})$$

(3) 系统状态

对于系统 $Z(n)$ ，系统状态 S_z 是表征系统 $Z(n)$ 的存在状态， S_z 是系统内部状态 S_{in} 、系统输入 R 和系统环境 S 的函数：

$$S_z = \psi_s(S, R, S_{in})$$

(4) 关系与关系网

关系：系统 $Z(n)$ 中的关系 $R_{ij}(t), 1 \leq i, j \leq n, n \geq 2$ ，是指在 t 时刻， $e(i)$ 对 $e(j)$ 的作用因子， $e(i)$ 通过该作用因子对 $e(j)$ 产生作用，使得 $e(i)$ 和 $e(j)$ 间产生关联：

$$f(s_i(t), R_{ij}(t), s_j(t)) = 0$$

式中 $s_i(t), s_j(t)$ 分别表示在 t 时刻 $e(i)$ 和 $e(j)$ 的状态。

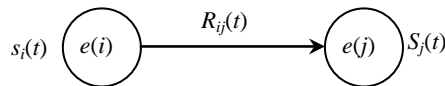


图 3-1 关系 $R_{ij}(t)$

关系网：可以用图的概念来定义。对于系统 $Z(n)$ ， $E(n)$ 是一个有限集，若：

① $R \neq \emptyset$

② 令 $R_k = R_{ij}(t), k=1, 2, \dots, m, \bigcup_{i=1}^m R_k = R$

则称 $N=(E(n), R)$ 是系统 $Z(n)$ 的关系网。

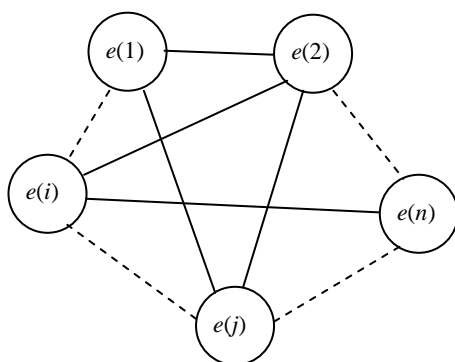


图 3-2 关系网

关系环: 对于系统 $Z(n)$, 在 R 中, 若存在 k 个关系 $R_{p+i-1,p+i}(t)$, $i=1,2,\dots,k, k\geq 2$, $e(p+k)=e(p)$, 则关系环 $Y(t)$ 为:

$$Y(t) = (E_0(k), R_0(t))$$

$$E_0(k) = \{e(i) \mid i=1,2,\dots,k, k\geq 2, e(p+k) \equiv e(p)\}$$

$$R_0(t) = \{R_{p+i-1,p+i}(t) \mid f_{p+i-1,p+i}(s_{p+i-1}(t), R_{p+i-1,p+i}(t), s_{p+i}(t)) = 0\}$$

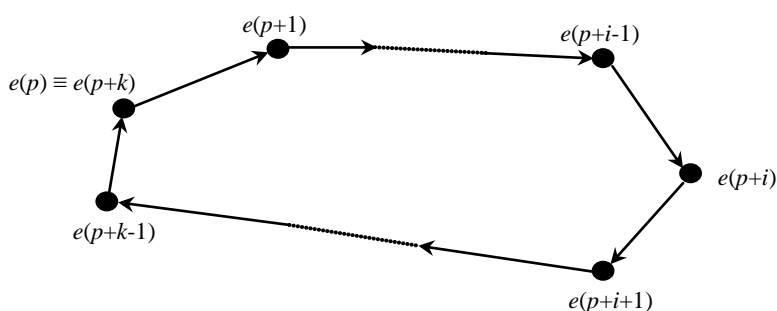


图 3-3 关系环

系统 $Z(n)$ 在 t 时刻具有不同的关系环的个数 θ , θ 称作系统 $Z(n)$ 的关系环数。

(5) 系统环境

对于系统 $Z(n)$, 系统环境 S 是指与系统 $Z(n)$ 存在关系的外部元素的集合, s 和 b 分别表示系统环境 S 的状态和状态空间, 则 $s \in b$ 。

系统 $Z(n)$ 与其环境 S 的边界是相对的。当扩大系统边界时, 可能把环境中一些元素包含入系统之中; 缩小系统边界时, 一些系统元素也会释放到环境之中。一般情况下, 划定系统边界的原则是:

划定系统边界时, 使得只有环境对系统有作用关系, 而系统没有作用关系, 或者系统对环境的作用关系可以忽略。

这种原则是相对的, 不是绝对的。从绝对意义上说, 没有这样的边界, 使得系统不对环境产生作用, 也即环境与系统的作用是相对的。

1.2 系统的基本特征

系统的特征系统是客观存在的, 具有普遍性。从系统组成要素的性质来看, 可以划分为自然系统和人造系统。自然系统是由自然物组成的, 它的特点是自然形成的, 如生态系统、星际系统等; 人造系统是人们出于某种目的而制造的系统, 如生产系统、交通系统、商业系

统、管理系统等。还有从系统与环境的联系程度来看，可以划分为封闭系统和开放系统；从系统的状态与时间的关系来看，可以划分为静态系统和动态系统等等。无论是何种分类的系统，它们都具有以下几个共同的特征：

（1）整体性

系统是由系统内的个体集合构成的整体，系统作为一个整体具有超越于系统内个体之上。

系统的整体性又称为系统性，通常理解为“整体大于部分之和”，这就是说，系统的功能不等于要素功能的简单相加，而是往往要大于各个部分功能的总和。它表明要素在有机地组织成为系统时，这个系统已具有其构成要素本身所没有的新质，其整体功能也不等于所组成要素各自的单个功能的总和。如：将建筑上用钢筋、石头、水泥和黄沙混合起来，可以支撑高楼大厦，产生的力和作的功，比单独存在时不知要大多少倍。

根据整体性的这一特点，我们在研究任何一个对象的时候，不能仅研究宏观上的整体，也不能仅研究各个孤立的要素，而是应该了解整体是由那些要素组成的以及在宏观上构成整体的功能。这就是说，人们在认识和改造系统时，必须从整体出发，从组成系统的各要素间的相互关系中探求系统整体的本质和规律，把握住系统的整体效应。

例如，教育管理者在分析课堂教学系统时，在找到教师和学生这两大要素之后，必须从教师和学生、学生和学生之间的关系入手，并且还要注意到这些关系不是一成不变的。教育管理者只有把这些关系和关系的改变考虑在内，才能从整体上把握住课堂教学的性质和规律。因此，全方位地分析多个变量因素及其内在联系，使局部服从整体，使整体效果为最优，这应成为每一个管理者分析问题和解决问题的出发点。

（2）层次性

任何较为复杂的系统都有一定的层次结构，其中低一级的要素是它所属的高一级系统的有机组成部分。系统与要素、系统与环境是相对的，就自然界而言，从宇宙大系统到基本粒子系统，存在着若干层次，各层次之间又相互交叉，相互作用。从社会生活来看，公共领域和非公共领域是社会生活的两大基本领域，以此可以把现代社会的管理划分为公共管理和企业管理两大类型。而在公共管理和企业管理之下，还可划分为许多不同层次的管理子系统，这样逐层都有着系统与要素的关系。一般而言，系统的运动能否有效，效率高低，很大程度上取决于能否分清层次。因此，研究系统的层次性对于实行有效管理具有重要的意义。当我们面临一个复杂系统时，首先，应搞清它的系统等级，明确在哪个层次上研究该系统。其次，运用分析和综合的方法，根据系统的实际情况把系统分为若干个层次，然后把系统的各个部分、各个方面和各种因素联系起来，考察系统的整体结构和功能。在此基础上，进一步明确层次间的任务、职责和权利范围，使各层次能够有机地协调起来。

（3）目的性

所谓目的性，是指系统在一定的环境下，必须具有达到最终状态的特性，它贯穿于系统发展的全过程，并集中体现了系统发展的总倾向和趋势。一般而言，系统的目的性与整体性是紧密联系在一起的，若干要素的集合，就是为了实现一定的目的，可以讲，没有目的就没有要素的集合。因此，人们在实践活动中首先必须确定系统应该达到的目的，以明确系统可能达到什么样的最终状态，以便依据这个最终状态来研究系统的现状与发展。其次，实行反馈调节，使系统的发展顺利导向目的。例如，企业就是以营利为目的而进行生产和服务的经济组织，在市场经济下，企业的生命力在于其经济效益，因此，经济效益的最大化是企业组织追逐的根本目标。由于经济效益是通过企业盈利来实现和衡量的，管理者必须运用反馈控制的方法，使企业的其他目标能够顺利地服务和服从于这一总目标。

（4）适应性

任何系统都存在于一定的环境之中，都要和环境有现实的联系。所谓适应性，就是指系

统随环境的改变而改变其结构和功能的能力。系统在适应性方面涉及到三种不同的情况：第一，系统原有稳定状态被破坏后，逐渐过渡到一个新的稳定状态，即依靠系统本身的稳定性来适应环境的改变。如：当计划经济体制向市场经济体制转变时，无论是营利性组织，还是非营利性组织，都必须从“大而全”的封闭状态中走出来，以适应新的经济环境。第二，当系统稳态被破坏后，靠系统内部或人为提供的一个特殊机制，抗拒环境的干扰，修补被破坏的因素，致使系统回到原来的稳定状态。像大学组织在传统上是有能力阻挡外界力量（象牙之塔）并将它们的工作环境限制在一定范围的因素之内的。大学组织作为生命有机体一样向前进化，它所面临的困境是如何在适应社会的改变中保持大学的内在发育逻辑。大学组织要保持学术发展的完整性，必须具有修复功能的机制，以超稳定的形态来表明大学组织的适应性。第三，系统由于突然的、强大的干扰，稳态结构迅速被破坏，一个新的稳定形态迅速形成。

系统的整体性特征是系统的标志性特征，常常被形象地表述为“ $1+1>2$ ”。由系统的整体性、层次性、目的性和适应性特征，衍生出了系统的个体性（系统内的个体是构成系统的元素，没有个体就没有系统）、关联性（系统内的个体是相互关联的）、结构性（系统内相互关联的个体是按一定的结构框架存在的）、模块性（系统母体内部是可以分成若干子块的）、独立性（系统作为一个整体是相对独立的）、开放性（系统作为一个整体又会与其它系统相互关联相互影响）、发展性（系统是随时演变的）、自然性（系统必遵循自然的、科学的规律存在）、实用性（系统是可以被研究、优化和利用的）、模糊性（系统与系统内的个体之关联信息及系统的自有特征通常是模糊的）、模型性（系统是可以建立模型进行研究的）、因果性（系统与系统内的个体是具有因果关系的）等特征。

此外，系统的整体性特征、个体性特征与关联性特征构成了系统的集合性特征，再加上结构性特征和层次性特征，称为系统的有序性特征。

1.3 系统的结构

（1）系统结构

对于系统 $Z(n)$ 及其所在环境 $E(s)$ 中，系统的结构可以用其关系网来表示。也即：

在环境 $E(s)$ 中，系统 $Z(n)$ 中的 $E(n)$ 是一个有限集， $1 \leq i, j \leq n$ ， $n > 2$ ， $R_k = R_{ij}(t)$ ， $k=1, 2, \dots, m$ ，

$R \neq \Phi$ ，且 $R = \bigcup_{i=1}^m R_k$ ，则称 $(E(n), R)$ 是系统 $Z(n)$ 的系统结构。

为了方便数学表述，一般情况下，可以直接用关系网来描述系统的结构，即 $H = (E(n), R)$ 。

（2）层次与模块

一般情况下，设系统 $Z(n)$ 由 m 层次（或模块）构成，若用 H_i 表示第 i 层次（或模块）的结构， $1 \leq i \leq m$ ， $m \geq 1$ ，第 i 层次（或模块）内有 p 个元素， $p \geq 1$ ，则：

$$H_i = (E_i(p), R_i)$$

$$H = \bigcup_{i=1}^m H_i$$

通过对 $Z(n)$ 划分层次或模块，将系统 $Z(n)$ 划分为若干各子系统，每一个或若干个模块可以作为一个子系统。必要时，还可以在子系统下划分层次、模块或子系统。

层次结构实际上是有序化了的模块结构，也就是说，系统的层次形式结构就是树形结构，模块形式结构就是一般的图结构，通过树的生成算法，可以将系统的模块形式结构转换成层次结构。

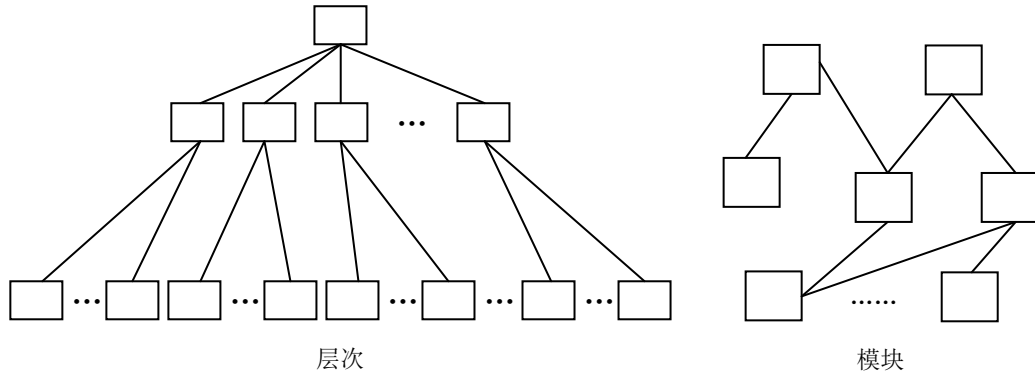


图 3-4 层次与模块

(3) 系统结构模型

设在环境 $E(s)$ 中, $s \in b$, 在 t 时刻, 系统 $Z(n)$ 的某一层 H_d 的结构为 $R_{zd}(t)$, $S_z(t)$ 与 $H_z(t)$ 分别为 $Z(n)$ 的系统状态和系统行为, 那么, 当且仅当对于层次 H_d 上的每一部分 $e(p) \in Z(n)$, 它的状态 s_p 仅是系统环境 $E(s)$ 以及与其存在关系的部分 $e(p_i) \in Z(n)$ ($i=1,2,\dots,k, k \geq 0$) 的状态 s_{p_i} 的函数:

$$s_p(t) = \Phi(S(t), s_{p_1}(t), s_{p_2}(t), \dots, s_{p_k}(t))$$

设 $R(t)$ 为 t 时刻环境 $E(s)$ 与系统 $Z(n)$ 间的关系, 恒有:

$$\begin{aligned}\psi_1(S, R(t), R_{zd}(t)) &= 0 \\ \psi_2(S, R_{zd}(t), S_z(t)) &= 0 \\ \psi_3(S, R_{zd}(t), H_z(t)) &= 0\end{aligned}$$

这时的系统结构层次 H_d 称为系统基层次。

设在环境 $E(s)$ 中, $s \in b$, 在 t 时刻, 系统 $Z(n)$ 具有系统基层次 H_d , H_d 上的结构:

$$R_{zd}(t) = \{R_{ij}(t) \mid f_{ij}(s_i(t), R_{ij}(t), s_j(t)) = 0; 1 \leq i, j \leq n; n \geq 2\}$$

且关系环数为 0, 即 $\theta_d=0$, 则对于任一关系 $e_{ij}(t)$, 恒有:

$$\begin{aligned}R_{ij}(t) &= \Phi_{ij}(s) \\ S_z(t) &= \varphi_2(s) \\ H_z(t) &= \varphi_3(s)\end{aligned}$$

1.4 一般系统原理

(1) 系统状态、行为与系统结构、环境

① 原理 1

对于任一系统 $Z(n)$, 在环境 $E(s)$ 中, 系统状态 $S_z(t)$ 和系统行为 $H_z(t)$ 仅是系统环境 $E(s)$ 和系统基层次 H_d 之上的系统结构 $R_{zd}(t)$ 的函数:

$$\begin{aligned}S_z(t) &= \varphi_2(S, R_{zd}(t)) \\ H_z(t) &= \varphi_3(S, R_{zd}(t))\end{aligned}$$

且系统 $Z(n)$ 的某一层 H_l 是系统基层次 H_d 的充分必要条件是：对于层次 H_l 上的任一部分 $e(p) \in Z(n)$ ，它的状态 s_p 仅是系统环境 $E(s)$ 和它存在关系的部分 $e(p_i) \in Z(n)$ 的状态 s_{p_i} 的函数：

$$s_p(t) = \Phi_p(S(t), s_{p_1}(t), s_{p_2}(t), \dots, s_{p_i}(t) \dots, s_{p_k}(t))$$

②原理 2

在环境 $E(s)$ 中，在 t 时刻，系统 $Z(n)$ 具有系统基层次 H_d 上的系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 和系统行为 $H_z(t)$ ，那么

$$S_z(t) = \varphi_2(S(t))$$

或

$$H_z(t) = \varphi_3(S(t))$$

等价于

$$R_{zd}(t) = \varphi_1(S(t))$$

或

$$R_{zd}(t) = C, \quad C \text{ 为常量}$$

③原理 3

对于任一基本部分 Z^* ，即构成系统 $Z(n)$ 的最小部分，它的状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 仅是环境 $E(s)$ 的函数：

$$S_z(t) = \varphi_2(S)$$

$$H_z(t) = \varphi_3(S)$$

且

$$dS_z(t)/dS \neq 0$$

④原理 4

在环境 $E(s)$ 中，某一部分 Z 在 t 时刻具有状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ ，如果 $S_z(t)$ 或 $H_z(t)$ 仅是环境 $E(s)$ ，即

$$S_z(t) = \varphi_2(S(t))$$

或

$$H_z(t) = \varphi_3(S(t))$$

那么，部分 Z 或者是一基本部分 Z^* ，或者是这样一个系统，它的系统基层次 H_d 之上的系统结构 $R_{zd}(t)$ 同样仅仅是环境 $E(s)$ 的函数：

$$R_{zd}(t) = \varphi_1(S(t))$$

或

$$R_{zd}(t) = C, \quad C \text{ 为常量}$$

(2) 恒定环境下的系统

①原理 5

对于任一系统 $Z(n)$ ，在恒定的系统环境 $E(s)$ ($\frac{ds}{dt} \equiv 0$) 中，由于系统结构 $R_{zd}(t)$ 的变化，系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 能够随之变化；而当 $R_{zd}(t)$ 不变时，系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 保持不变。

②原理 6

对于任一系统 $Z(n)$ ，在恒定的系统环境 $E(s)$ ($\frac{ds}{dt} \equiv 0$) 中，系统基层次 H_d 之上的关系环 $Y(t)$ 能够发生运动的必要条件是：

$$\beta = \left[\frac{df_k}{ds_{k-1}} \right] \dots \left[\frac{df_i}{ds_{i-1}} \right] \left[\frac{df_{i-1}}{ds_{i-2}} \right] \dots \left[\frac{df_2}{ds_1} \right] \left[\frac{df_1}{ds_k} \right] \neq -1$$

式中 $s_i = f_i \left(s_{i-1}, \frac{df_i}{ds_i} \right), i = 1, 2, \dots, k; s_0 = s_k$ ， β 称为关系环 $Y(t)$ 的循环系数。

③原理 7

对于任一系统 $Z(n)$ ，如果系统基层次 H_d 之上的每一个关系环 $Y(t)$ 都满足：

$$\beta = \left[\frac{df_k}{ds_{k-1}} \right] \dots \left[\frac{df_i}{ds_{i-1}} \right] \left[\frac{df_{i-1}}{ds_{i-2}} \right] \dots \left[\frac{df_2}{ds_1} \right] \left[\frac{df_1}{ds_0} \right] = -1$$

式中 $s_i = f_i \left(s_{i-1}, \frac{df_i}{ds_i} \right), i = 1, 2, \dots, k; s_0 = s_k$ ，那么，在恒定的系统环境 $E(s)$ ($\frac{ds}{dt} \equiv 0$) 中，

系统结构 $R_{zd}(t)$ 以及系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 保持不变。

(3) 环境变化对系统的影响

①原理 8：系统自适应性

对于任一系统 $Z(n)$ ，系统环境 $E(s)$ 的变化不一定能引起系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 的变化，系统 $Z(n)$ 能够在一定程度上调节系统基层次 H_d 之上的系统结构 $R_{zd}(t)$ ，以阻止系统环境 $E(s)$ 变化对系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 产生影响，使系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 保持不变，因而具有自适应性。

②原理 9

对于任一系统 $Z(n)$ ，在系统环境 $E(s)$ 中，当系统环境 $E(s)$ 的变化引起并支配着系统的任意两个组成部分 $e(i), e(j) \in Z(n)$ 的状态 $s_i(t), s_j(t), 1 \leq i, j \leq n, n \geq 2$ 的变化，使得对于任一关系 $R_{ij} \in R_{zd}(t)$ 恒有：

$$R_{ij}(t) = f_{ij}(s_i(t), s_j(t))$$

$$\left[\frac{\partial f_{ij}(s_i, s_j)}{\partial s_i} \right] ds_i + \left[\frac{\partial f_{ij}(s_i, s_j)}{\partial s_j} \right] ds_j \equiv 0$$

时，系统环境 $E(s)$ 的变化才不会引起系统结构 $R_{zd}(t)$ 的变化。这时，系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 仅仅是系统环境 $E(s)$ 的函数：

$$S_z(t) = \varphi_2(s)$$

$$H_z(t) = \varphi_3(s)$$

(3) 自然法则：从简单到复杂

对于任一系统 $Z(n)$ ，总存在一个系统基层次 H_d ，使得系统环境 $E(s)$ 、系统基层次 H_d 之上的系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 满足：

$$\begin{aligned}\psi_1(S, R(t), R_{zd}(t)) &= 0 \\ \psi_2(S, R_{zd}(t), S_z(t)) &= 0 \\ \psi_3(S, R_{zd}(t), H_z(t)) &= 0\end{aligned}$$

由于系统基层次 H_d 上的任一部分 $e(p)$ 的状态 $s_p(t)$ 满足

$$s_p(t) = \Phi_p(S(t), s_{p_1}(t), s_{p_2}(t), \dots, s_{p_i}(t), \dots, s_{p_k}(t))$$

系统基层次 H_d 上的任一部分是简单的，也即自然界任何系统，不管有多复杂，都是由简单部分构成的。

(4) 系统基本部分

设在环境 $E(s)$ 中， $s \in b$ ，基本部分 Z^* 在 t 时刻具有状态 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ ，那么，恒有：

$$\begin{aligned}S_z(t) &= \varphi_2(s) \\ H_z(t) &= \varphi_3(s)\end{aligned}$$

并且满足：

$$\textcircled{1} \frac{dS_z(t)}{dt} \neq 0。$$

②如果 $S_z(t)$ 和 $H_z(t)$ 分别不同于初始值 $S_z(t=0)$ 和 $H_z(t=0)$ ，那么，当环境 $E(s)$ 在 t 时刻消失后， $S_z(t)$ 和 $H_z(t)$ 也随之消失，即基本部分不具有记忆性。

③ $S_z(t)$ 和 $H_z(t)$ 与其过去值 $S_z(t')$ 和 $H_z(t')$ ($t' \in [0, 1)$) 无关，特别是与其初始值 $S_z(t=0)$ 和 $H_z(t=0)$ 无关，即基本部分不具有继承性。

④在恒定的环境 $E(s)$ ($\frac{ds}{dt} \equiv 0$) 中， $S_z(t)$ 和 $H_z(t)$ 不具有动态过程：

$$\begin{aligned}\frac{dS_z(t)}{dt} &\equiv 0, \quad t \in T \\ \frac{dH_z(t)}{dt} &\equiv 0, \quad t \in T\end{aligned}$$

即基本部分不具有自动性。

⑤设在环境 $E(S_1(t))$ 和 $E(S_2(t))$ 中，在 t 时刻分别具有状态 $S_{z1}(t)$, $S_{z2}(t)$ 和行为 $H_{z1}(t)$, $H_{z2}(t)$ ，那么，对于 $S_1(t') = S_2(t'')$ ，恒有：

$$\begin{aligned}S_{z1}(t') &= S_{z2}(t'') \\ H_{z1}(t') &= H_{z2}(t'')\end{aligned}$$

即基本部分不具有环境路径敏感性。

⑥ $S_z(t)$ 和 $H_z(t)$ 关于 $s \in b$ 处处连续，即基本部分具有环境连续性。

当系统的任一组分满足上述性质时，都可以把该组分看成是系统的基本部分 Z^* ，作为构成系统的最小部分。这种基本部分，有时也称作系统元素。

在集合论中，集合的中元素具有确定性、互异性、无序性，集合元素的这三个特性使得集合本身具有了确定性和整体性。

(5) 系统基本层次

对于任一系统 $Z(n)$ ，系统基层次 H_d 是正确理解、控制系统 $S_z(t)$ 和行为 $H_z(t)$ 的充分必要

层次。系统 $Z(n)$ 的某一结构层次 H_l 是系统基层次 H_d 的充分必要条件是：对于层次 H_l 上的任一部分 $e(p) \in Z(n)$ ，它的状态 s_p 仅仅是系统环境 $E(s)$ 和它存在关系的部分 $e(p_i) \in Z(n)$ 的状态 s_{p_i} 函数：

$$s_p(t) = \Phi_p(S(t), s_{p_1}(t), s_{p_2}(t), \dots, s_{p_i}(t), \dots, s_{p_k}(t))$$

(6) 系统复杂性根源

对于任一系统 $Z(n)$ ，如果它具有如下任一所谓的基本系统复杂性，那么，系统基层次 H_d 之上至少具有一个关系环，即 $\theta_d \geq 1$ ：

①在系统环境 $E(s)$ 中，在 t 时刻具有与初始系统结构 $R_{zd}(t=0)$ 、初始系统状态 $S_z(t=0)$ 或初始系统行为 $H_z(t=0)$ 不同的系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 或系统行为 $H_z(t)$ ，并且当系统环境 $E(s)$ 在 t 时刻消失后， $R_{zd}(t)$ 、 $S_z(t)$ 或 $H_z(t)$ 保持不变，即系统 $Z(n)$ 具有记忆性。

②在系统环境 $E(s)$ 中，系统 $Z(n)$ 在 t 时刻具有系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 或系统行为 $H_z(t)$ 与其过去的系统结构 $R_{zd}(t')$ 、系统状态 $S_z(t')$ 或系统行为 $H_z(t')$ ($t' \in [0, 1)$) 有关，特别是与其初始系统结构 $R_{zd}(t=0)$ 、初始系统状态 $S_z(t=0)$ 或初始系统行为 $H_z(t=0)$ 有关，即系统 $Z(n)$ 具有继承性。

③在恒定的环境 $E(s)$ ($\frac{ds}{dt} \equiv 0$) 中，系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 或系统行为 $H_z(t)$ 具有动态过程：

$$\begin{aligned} \frac{dr_{zd}(t)}{dt} &\neq 0, \quad t \in T \\ \frac{ds_z(t)}{dt} &\neq 0, \quad t \in T \\ \frac{dh_z(t)}{dt} &\neq 0, \quad t \in T \end{aligned}$$

即系统 $Z(n)$ 具有自动性。

④在环境 $E(S_1(t))$ 和 $E(S_2(t))$ 中，系统 $Z(n)$ 在 t 时刻分别具有系统结构 $R_{zd1}(t), R_{zd2}(t)$ 、系统状态 $S_{z1}(t), S_{z2}(t)$ 和行为 $H_{z1}(t), H_{z2}(t)$ ，并且对于 $S_1(t') = S_2(t'')$ ，存在：

$$\begin{aligned} R_{zd1}(t') &\neq R_{zd2}(t'') \\ S_{z1}(t') &\neq S_{z2}(t'') \\ \text{或 } H_{z1}(t') &\neq H_{z2}(t'') \end{aligned}$$

即系统 $Z(n)$ 具有环境路径敏感性。

⑤在系统环境 $E(s)$ 中， $s \in b$ ，系统 $Z(n)$ 在 t 时刻分别具有系统结构 $R_{zd}(t)$ 、系统状态 $S_z(t)$ 或系统行为 $H_z(t)$ ，并且至少存在一 $S' \in B$ ， $R_{zd}(t)$ 、 $S_z(t)$ 或 $H_z(t)$ 在 $S = S'$ 上不连续，即系统 $Z(n)$ 具有环境不连续性。

由此可知，系统复杂性是由系统基层次之上的关系环引起和支配的。[80:19~26]

1.5 复杂系统

复杂系统 (complex system)，是指具有变量来自不同标度层次的结构，或者大量相互之间有差别的单元构成的动态系统。通常表现出复杂性，但也可能出现简单性。

复杂系统是具有中等数目基于局部信息做出行动的智能性、自适应性主体的系统。复杂系统是相对牛顿时代以来构成科学事业焦点的简单系统相比而言的，具有根本性的不同。简单系统内部各元素之间的相互作用比较弱，比如封闭的气体或遥远的星系，以至于我们能够

应用简单的统计平均的方法来研究它们的行为。

根据以上的描述，我们可以得到复杂性科学中对复杂系统的描述性定义：复杂系统（complex system）是具有中等数目基于局部信息做出行动的智能性、自适应性主体的系统。复杂系统是一个很难定义的系统，它存在于这个世界各个角落。如此，我们也可以这样定义它：

◎复杂系统不是简单系统，也不是随机系统。

◎复杂系统是一个复合的系统，而不是纷繁的系统（It's complex system, not complicated.）。

◎复杂系统是一个非线性系统。

◎复杂系统内部有很多子系统（subsystem），这些子系统之间又是相互依赖的（interdependence），子系统之间有许多协同作用，可以共同进化（coevolving）。在复杂系统中，子系统会分为很多层次，大小也各不相同（multi-level & multi-scale）。

（1）简单系统与复杂系统

根据系统内部结构与关系，通常将系统分为简单系统（simple system）、随机系统（random system）和复杂系统（complex system）三类。

简单系统，其特点是元素数目特别少，可以用较少的变数来描述，这种系统可以用牛顿力学去加以解析。简单系统是可以控制的，可以预见的，可以组成的。在管理学中，这种组织一般是出现在组织的初期，比如一个新的班级，抱着同样的目的，有同样的身份，组成了一个简单系统。又如，排成一列的长队买票，也是一个简单系统。

随机系统，其特征是元素和变量数很多，但其间的耦合是微弱的，或随机的，可以用统计的方法去分析，热力学研究的对象一般就是这样的系统。这样的系统在社会中不多见，但是彩票就是随机系统的一个很好的例子。

复杂系统，其特征是元素数目很多，且其间存在着强烈的耦合作用。复杂系统由各种小的系统组成，例如在生态系统中，是由各个种群，各种生物组成的。管理学中，经常把一家公司看做是复杂系统，它兼有简单系统和随机系统的各种特征。

（2）复杂系统特点

复杂性科学的研究对象是复杂系统。对于简单系统来说，传统的牛顿力学范式的分析方法已经给出了这类系统行为的很好的解释。而对于第二类系统，由于其元素数目太多，若强调元素间的耦合就会“失去”个性，因此，可以用统计方法，将其转变成为一种简单的系统来进行研究。

对于复杂系统而言，并不是因为组成系统的元素多造成复杂，而关键是其中元素间关系复杂，从定量上看，复杂系统具有高阶次、高维数、多回路、多输入、多输出和层次性等特点；从定性上看，复杂系统具有非线性、不确定性、内部外部扰动性、多时空、开放性、自相似性、病态结构以及混沌性等特点。所有这些特点，可以总结为：

◎智能性（自适应性；局部信息，没有中央控制）。这意味着系统内的元素或主体的行为遵循一定的规则，根据“环境”和接收信息来调整自身的状态和行为，并且主体通常有能力来根据各种信息调整规则，产生以前从未有过的新规则。通过系统主体的相对低等的智能行为，系统在整体上显现出更高层次、更加复杂、更加协调职能的有序性。在复杂系统中，没有哪个个体能够知道其他所有个体的状态和行为，每个个体只能从一个相对较小的集合中获取信息，处理“局部信息”，做出相应的决策。系统的整体行为是通过个体之间的相互竞争、协作等局部相互作用而涌现出来的。例如，在一个蚂蚁王国中，每一个蚂蚁并不是根据“国王”的命令来统一行动，而是根据同伴的行为以及环境调整自身行为，来实现一个有机的群体行为。

◎涌现性。在复杂系统中，各组成组分之间存在着相互作用而形成的复杂结构，在表现

组分特性的同时，还传递着作为整体而新产生的特性。也就是说，诸多组分一旦按照某种方式或规律形成系统，就会产生系统整体具有而部分与部分之和不具有的属性、特征、行为及功能等，而一旦把整体还原成不相干的各部分，则这些属性、特征、行为及功能等便不复存在。这种高层次具有而还原到底层次不复存在的特点称作复杂系统的涌现性。

◎非线性。是指复杂系统不能用线性数学模型来描述系统的特性。构成复杂系统的必要部分、大部分乃至所有部分都存在着非线性，且组分之间存在着非线性相互作用，而这种作用是产生复杂性的根源，使得复杂系统不满足叠加原理，整体作用大于部分作用之和是非线性的基本特点。基于这种特点，产生了复杂系统动态过程的多样化与多尺度性，使得非线性系统的演化变得丰富多彩。甚至于有的学者认为，非线性是复杂系统的首要特征，非线性相互作用是区别于简单系统的本质标志。

复杂系统的非线性，常常表现为有序性与混沌性双重特点。一个复杂系统不管表现出如何复杂的行为，它总是有着潜在的秩序，尽管有时它们可能不为人知。例如，生物体的结构、生态系统的结构等等，都蕴涵了严谨得近乎完美的秩序结构。相对于有序而言，复杂系统还具有混沌性特点（chaos），一个复杂系统的复杂行为，并非出自复杂的基本结构，而是由许多独立的甚至相当简单的单元的相互作用形成的，它的控制力是相当分散的。每个复杂系统都具有某种动力，这种动力使最简单的底层单元按照最简单的底层规则产生极其复杂的行为，然而这些底层的基本行为通常是不可预测的，或者说混沌系统对无限小的初值变动和微扰具于敏感性，无论多小的扰动在长时间以后，也会使系统彻底偏离原来的演化方向。混沌是非线性系统的固有特性，是非线性系统普遍存在的现象。复杂系统的混沌性具有三个关键要素，一是对初始条件的敏感依赖性，二是临界水平，这里是非线性事件的发生点，三是分形维，它表明有序和无序的统一。混沌系统经常是自反馈系统，出来的东西会回去经过变换再出来，循环往复，没完没了，任何初始值的微小差别都会按指数放大，因此导致系统内在地不可长期预测。复杂性系统这种有序与混沌的双重特性，使得复杂系统通过自组织，由混沌演化为有序。

另外，复杂系统还具有突现性、不稳性、不确定性、不可预测性等特征，而涌现性和非线性是复杂系统的最本质特点，也即“ $1+1>2$ ”，其中涌现性是复杂系统演化过程中呈现出来的一种整体特性。

（3）研究复杂系统的方法

一种方法是利用计算机仿真的方法通过模拟复杂系统中个体的行为，让一群这样的个体在计算机所营造的虚拟环境下进行相互作用并演化，从而让整体系统的复杂性行为自下而上的“涌现”出来。这就是圣塔菲（Santa Fe）研究所研究复杂系统的主要方法。我们不妨称这种方法为自下而上的“涌现”方法。

另一种方法，就是自上而下分析方法。人脑面对复杂系统可以通过有限的理性和一些不确定信息做出合理的决策，得到满意的结果，因此，研究人脑面对复杂系统是如何解决问题的则是“自上而下”的解决问题的方法，我们不妨称这种方法为“控制”方法。

经济系统是一个复杂系统，每一个人就构成了系统的元素，他们根据自己的决策规则选择合适的时机进行买卖经济活动。按照“涌现”的方法来研究这样的系统，就是要在计算机上实现一个模拟的交易市场，并且创造若干相互买卖的虚拟“人”，每个“人”都用计算机编好的规则进行买卖的决策，虽然现实中的人用到的决策规则远远比计算机模型中的“人”的模型复杂的多，但是这样的近似还是有意义的，因为当若干这样的个体组合在一起构成系统的时候，宏观经济系统的一些现象就会自下而上的“涌现”出来，这些涌现出来的现象在很多方面还是客观反映真实经济系统的。

采用“控制”的方法，我们可以通过找到几个宏观经济系统的指标量，比如 GDP、价格指数、失业率等等，然后根据这些经济指标累计学习系统运作的规律，通过一段时间内系

统的运作，我们不难积累一些经验，这些经验就可以构成描述经济系统运作的规则。然后，我们就可以按照找寻出来的经济系统的规则对经济系统进行控制。例如通过政府的政策来改变经济系统中每个个体的决策环境和制度环境来改变个体的行为规则，从而改变整个宏观经济系统的运行状况。在这里需要指出的是，宏观经济规律的把握并不破坏复杂系统中局部信息的性质，因为对于经济系统规律的把握是在高于经济系统个体层次的基础上进行的。我们可以认为政府具有这种高层次的性质，也就是说它不是严格意义上的经济系统中的主体。

上面两种方法都可以有效的对复杂系统进行把握，然而他们用的方法是完全不一样的。“控制”的方法实际上在人工智能学科诞生的时候已经开始使用了，例如专家系统的实践，各种逻辑系统的仿真都是使用这种自上而下的方法完成的，而将这种方法用于复杂系统的研究则很少提及。目前，大部分复杂性科学研究复杂系统的时候，都用的是“涌现”的方法，有时候也采用二者相结合的方法对付在系统进行研究。

2.系统思想

系统科学理论发展，使系统思想具有方法论意义，使人类思维方式从线性思维方式转向非线性思维方式，从简单系统思维方式转向复杂系统思维方式，从决定理论思维方式转向或然思维方式，从单向思维方式转向多向思维方式，从一维的单目标思维方式转向多维的多目标思维方式，从静态思维方式转向动态思维方式。

系统思想一开始是源于工程技术的实践，通过理论的概括和总结，逐步地上升为具有普遍意义的方法，使之可以在不同的科学技术领域，甚至在社会经济领域中得到运用。

2.1 基本思想

（1）系统内部的相互作用是系统演化的内在动力

系统要素之间的相互作用是系统存在的内在依据，同时也构成系统演化的根本动力。系统内的相互作用空间来看就是系统的结构、联系方式，从时间来看就是系统的运动变化，使相互作用中的各方力量总是处于此消彼长的变化之中，从而导致系统整体的变化。作为系统演化的根据。系统内的相互作用规定了系统演化的方向和趋势。

系统演化的基本方向和趋势有进化与退化两种。进化，是系统从无序到有序、从简单到复杂从低级到高级的前进的、上升的运动。产生进化的基本根据是非线性作用及其对系统的正效应在系统中居于主导地位。在这一条件下，非线性作用进一步规定了什么样的有序结构可能出现并成为稳定吸引子，同时规定了系统演化可能的分支。退化，是系统从有序到无序、从高级到低级、从复杂到简单的倒退的、下降的方向。热力学第二定律已经表明，在孤立或封闭系统内，这一演化趋势是不可避免的。对于一个处于热力学平衡态或近（线性）平衡态的开放系统，其运动由玻耳兹曼原理决定，其运动方向总是趋于无序。从相互作用上来理解，退化主要基于非线性相互作用对系统的负效应占有了支配地位。

（2）系统与环境的相互作用是系统演化的外部条件

从抽象意义上来理解，任何现实系统都是封闭性和开放性的统一。环境构成了系统内相互作用的场所，同时又限定了系统内相互作用的范围和方式，系统内相互作用以系统与环境的相互作用为前提，二者又总是相互转化的。在这个意义上，系统内的相互作用是以系统的外部环境为条件的。

系统的进化尤其依赖于外部环境。系统的相干作用是在系统内存在差异的情况下表现出来的。没有温度梯度就不会有热传导，没有化学势梯度也不会有质量扩散。但热力学第二定律指出，系统内在差异总是在自发的不可逆过程中倾向于被削平，导致系统向无序的平衡态演化。因此，必须不断从外部环境获得足够的物质和能量才能使系统差异得以建立和恢复，维持远平衡状态，使非线性作用实现出来。因此系统必须对环境保持开放，才能进化。但开

放性只是进化的必要条件，而非充分条件。耗散结构论指出，孤立系统没有熵流（即系统与外界交换物质和能量而引起的熵），而任一系统内部自发产生的熵总是大于或等于零的（当平衡时等于0），因此孤立系统的总熵大于零，总是趋向于熵增，无序度增大。

当一个系统的熵流不等于零时，即保持开放性时，有三种情况：第一种情况是热力学平衡态，此种系统中，熵流是大于零的，因此物质和能量的涌入大大增加了系统的总熵，加速了系统向平衡态的运动。第二种情况是线性平衡态。它是近平衡态。其熵流约等于零。这种系统一般开始时有一些有序结构，但最终无法抵抗系统内自发产生的熵的破坏而趋平衡态。第三种情况大为不同，这种系统远离平衡态，即熵流小于零，因此物质和能量给系统带来的是负熵，结果使系统有序性的增加大于无序性的增加，新的组织结构就能从中形成，这就是耗散结构。例如生命系统、社会系统等。

（3）随机涨落是系统演化的直接诱因

稳定与涨落是刻画系统演化的重要概念。由于系统的内外相互作用，使系统要素性能会有偶然改变，耦合关系会有偶然起伏、环境会带来随机干扰。系统整体的宏观量很难保持在某一平均值上，涨落就是系统宏观量对平均值的偏离。

按照对涨落的不同反应，可把稳定态分为三种：恒稳态，对任何涨落保持不变；亚稳态，对一定范围内的涨落保持不变；不稳态，在任何微小涨落下会消失。

对于稳定态而言，涨落将被系统收敛平息，表现为向某种状态的回归。在热力学平衡态中，不论何种原因造成的温度、密度、电磁属性等的差异，最终都将被消除以至于平衡态。

但对于远平衡态，如果系统中存在着正反馈机制，那么，涨落就会被放大，导致系统失稳，从而把系统推到临界点上。系统在临界点上的行为有多种可能性，究竟走向哪一个分支，是不确定的。是走向进化，还是走向退化，是走向这一分支，还是走向那一分支。涨落在其中起着重要的选择作用。生物进化论证明，生物物种的偶然变异的积累可以改变物种原有的遗传特性，导致新物种的出现。耗散结构论和协同学则定量地证明，随着外界控制参量的变化，原有的稳态会失稳，并在失稳的临界点上出现新的演化分支。

由此可见，稳定态对涨落的独立性是相对的，超出一定范围，例如在上述条件下，涨落将支配系统行为。如果涨落被加以巩固，那就意味着新稳态的形成。涨落在系统演化中的重要作用说明，系统演化是必然性与偶然性的辩证统一。远离平衡条件下的自组织过程相当于偶然性与必然性之间、涨落和决定论法则之间的一个微妙的相互作用。

2.2 基本原理

（1）整体性原理

整体性原理又叫联系原理。系统论认为，世界是关系的集合体，而非实物的集合体。整体性方法论原理就源于这种思想。

因此，系统科学的一般理论可简单概括为：所谓系统，就是指由两个或两个以上的元素（要素）相互作用而形成的整体。所谓相互作用主要指非线性作用，它是系统存在的内在根据，构成系统全部特性的基础。系统中当然存在着线性关系，但不构成系统的质的规定性。系统的首要特性是整体突现性，即系统作为整体具有部分或部分之和所没有的性质，即整体不等于（大于或小于）部分之和，称之为系统质。与此同时，系统组分受到系统整体的约束和限制，其性质被屏蔽，独立性丧失。这种特性可称之为整体突现性原理，也称非加和性原理或非还原性原理。整体突现性来自于系统的非线性作用。系统存在的各种联系方式的总和构成系统的结构，系统结构的直接内容就是系统要素之间的联系方式。

进一步来看，任何系统要素本身也同样是一个系统，要素作为系统构成原系统的子系统，子系统又必然为次子系统构成，……，如此这般，则“ $\cdots \rightarrow$ 次子系统 \rightarrow 子系统 \rightarrow 系统”之间构成一种层次递进关系。因而，系统结构另一个方面的重要内容就是系统的层次结构。系统

的结构特性可称之为等级层次原理。

与一个系统相关联的、系统的构成关系不再起作用的外部存在称为系统的环境，系统相对于环境的变化称为系统的行为，系统相对于环境表现出来的性质称为系统的性能。系统行为所引起的环境变化，称谓系统的功能。系统功能由元素、结构和环境三者共同决定。相对于环境而言，系统是封闭性和开放性的统一。这使系统在不停地与环境进行物质、能量和信息交换中保持自身存在的连续性。系统与环境的相互作用使二者组成一个更大的、更高等级的系统。

整体性原则是系统科学方法论的首要原则。它认为，世界是关系的集合体，根本不存在所谓不可分析的终极单元；关系对于关系物是内在的，而非外在的。因而，近代科学以分析为手段而进行的把关系向始基的线性还原是不能允许的。整体性原则要求，我们必须从非线性作用的普遍性出发，始终立足于整体，通过部分之间、整体与部分之间、系统与环境之间的复杂的相互作用、相互联系的考察达到对象的整体把握。具体来说就是，第一，从单因素分析进入到多因素分析；第二，模型本身成为认识目的；第三，从功能到结构。

（2）动态性原理

动态性原理就是动态演化原理或过程原理。从哲学上看，这一原理不外是说，世界是过程的集合体，而非既成事物的集合体。

系统科学的动态性原理认为，一切实际系统由于其内外部联系复杂的相互作用，总是处于无序与有序、平衡与非平衡的相互转化的运动变化之中的，任何系统都要经历一个系统的发生、系统的维生、系统的消亡的不可逆的演化过程。也就是说，系统存在在本质上是一个动态过程，系统结构不过是动态过程的外部表现。而任一系统作为过程又构成更大过程的一个环节、一个阶段。

与系统变化发展相关的重要概念，除了可逆与不可逆、确定性与随机性之外，有序与无序也是刻画系统演化形态特征的重要范畴。热力学、协同学、控制论和信息论分别用熵、序参量和信息量来刻画有序与无序。在数学上，一般以对称性来定量刻画。

通俗地说，所谓有序是指有规则的联系，无序是指无规则的联系。系统秩序的有序性首先是指结构有序。例如，类似雪花的晶体点阵、贝纳德花样、电子的壳层分布、激光、自激振荡等空间有序，行星绕日旋转等各种周期运动为时间有序。结构无序是指组分的无规则堆积。例如，一盘散沙、满天乱云、垃圾堆等空间无序。原子分子的热运动、分子的布朗运动、混沌等各种随机运动为时间无序。

此外系统秩序还包括行为和功能的有序与无序。平衡态与非平衡态则是刻画系统状态的概念。平衡态意味着差异的消除、运动能力的丧失。非平衡意味着分布的不均匀、差异的存在，从而意味着运动变化能力的保持。与此相联系，有序可分为平衡有序与非平衡有序。平衡有序指有序一旦形成，就不再变化，如晶体。它往往是指微观范围内的有序。非平衡有序是指有序结构必须通过与外部环境的物质、能量和信息的交换才能得以维持，并不断随之转化更新。它往往是呈现在宏观范围内的有序。

二十世纪下半叶出现的自组织理论从多方面探讨了有序与无序相互转化的机制和条件、不可逆过程所导致的结果，即进化和退化及其关系问题，着重研究了系统从无序向有序、从低序向高序转化也即进化的可能性和途径问题。

1969 年，普利高津提出耗散结构论，这一理论从时间不可逆性出发，采用薛定谔最早提出的“负熵流”概念，使得在不违反热力学第二定律的条件下，远平衡开放系统可以通过负熵流来减少总熵，自发地达到一种新的稳定的有序状态，即耗散结构状态。耗散系统形成以远离平衡态的开放系统和系统内非线性机制为条件。非稳定性即涨落是建立在非平衡态基础上的耗散结构稳定性的杠杆。在平衡态没有涨落的发生；在近平衡态的线性非平衡区，涨落只会使系统状态发生暂时的偏离，而这种偏离将不断衰减直至消失；而在远平衡的非线性

区，任何一个微小的涨落都会通过相干作用而得到放大，成为宏观的、整体的“巨涨落”，使系统进入不稳定状态，从而又跃迁到新的稳定态。

1976年德国理论物理学家赫尔曼·哈肯出版了《协同学导论》一书，1978年第二版增加了“混沌态”一章，建立了协同学理论的基本框架。协同学以信息论、控制论、突变论为基础，并吸取了耗散结构论的成果，继耗散结构理论之后进一步具体考察了非线性作用如何能够造成系统的自组织。协同学认为，系统从无序向有序转化的关键并不在于系统是否和在多大程度上处于非平衡态，只要是一个由大量子系统构成的系统，在一定条件下，它的子系统之间通过非线性的相互作用就能产生协同和相干效应，从也就能够自发产生宏观的时空结构，形成具有一定功能的自组织结构，表现出新的有序状态。哈肯给出了决定论的动力学方程，并同时引入二分支概念。从而提供了系统由一个质态跃迁到另一质态的说明方法。当系统某个参数在域值范围之外，系统处于稳定平衡位置；当系统参数进入域值范围，系统就成为非稳定的，同时又要形成新的平衡位置。自组织系统形成的两个基本条件是：开放系统和涨落的存在。由稳定平衡到非稳定平衡起作用的是外部条件，由非稳定平衡到新的稳定平衡起作用的是系统涨落。哈肯的理论较好地说明了物理学中的自组织现象，如激光、细胞繁殖等。但用它说明生物和社会系统有一定困难。

1971年德国生物学家爱肯正式提出了超循环论。其中心思想是在生命起源和发展中，从化学阶段到生物进化之间有一个分子的自组织过程。这个进化阶段的结果是形成了人们今日所见的具有统一遗传密码的细胞结构。这种遗传密码的形成有赖于超循环组织，这种组织具有“一旦建立就永远存在下去”的选择机制。总之，爱肯认为，“进化原理可理解为分子水平上的自组织”，以最终“从物质的已知性质来导出达尔文的原理”。[3]

(3) 系统研究要点

在实际工作中，运用系统原理研究、管理问题，应做到以下四点：

◎相关性与综合性。对管理的对象进行系统的分析，包括对系统要素、结构、功能、集合、联系、历史等方面的分析。管理的决策和措施就是建立在系统分析基础之上。

◎目的性。根据系统的目的性特征，要坚持一个系统只有一个目的，其子系统要围绕这个目的形成合力，统筹运动。

◎历时性。由于系统的动态性，在研究系统时，必须把握系统的时空变化特征，对系统实时动态管理。

◎层次性。根据系统的层次性特征，各个系统都应建立合理的层次结构，上一层次只管下一层次，下一层次只对上一层次负责。

2.3 基本方法

(1) 反馈

反馈(feedback)又称回馈，是控制论的基本概念，也是现代科学技术的基本概念之一。反馈，指将系统的输出返回到输入端并以某种方式改变输入，进而影响系统功能的过程，即将输出量通过恰当的检测装置返回到输入端并与输入量进行比较的过程。反馈可分为负反馈和正反馈。前者使输出起到与输入相反的作用，使系统输出与系统目标的误差减小，系统趋于稳定；后者使输出起到与输入相似的作用，使系统偏差不断增大，使系统振荡，可以放大控制作用。对负反馈的研究是控制论的核心问题。

(2) 功能模拟

功能模拟法(mimetic method of functional),就是撇开系统的物质结构和能量结构的具体内容,从系统的行为功能过程,考察其在各种控制作用下状态变化关系的方法。它的特点在于,不研究“这是什么东西”,而研究“这些东西在干什么”,它从经典的“什么东西存在着”,“存在的是什么”的认识方式,进入到“如何控制它”、“如何把它纳入施控主体所要求

的轨道上”。这种方法充分体现了现代方法的特点。

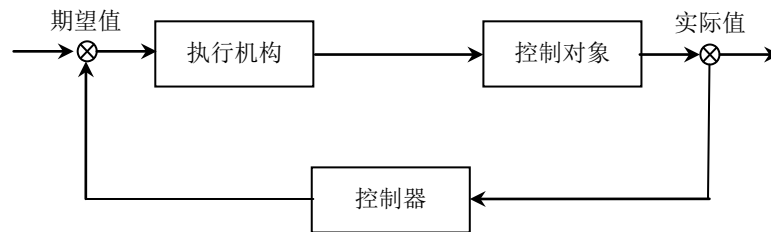


图 3-5 反馈控制

（3）黑箱辨识

黑箱亦称“黑盒”或“黑匣”，它是指内部构造还不清楚，由于条件的限制，只能通过外部观测和试验去认识其功能和特性的系统。例如人的大脑、地球、密封的仪器等，都可以看作是黑箱。我们把外部对黑箱的影响称为黑箱的输入，把黑箱对外部的反应称为黑箱的输出。黑箱方法（black-box identification），也称“黑箱系统辨识法”，就是通过观测外部输入黑箱的信息和黑箱输出的信息的变化关系，来探索黑箱的内部构造和机理的方法。黑箱方法注重整体和功能，兼有抽象方法和模型方法的特征。

（4）信息加工

信息加工是对收集来的信息进行去伪存真、去粗取精、由表及里、由此及彼的加工过程。它是在原始信息的基础上，生产出价值含量高、方便用户利用的二次信息的活动过程。这一过程将使信息增值。只有在对信息进行适当处理的基础上，才能产生新的、用以指导决策的有效信息或知识。主要包括

◎信息的筛选和判别：在大量的原始信息中，不可避免地存在一些假信息和伪信息，只有通过认真地筛选和判别，才能防止鱼目混珠、真假混杂。

◎信息的分类和排序：收集来的信息是一种初始的、零乱的和孤立的信息，只有把这些信息进行分类和排序，才能存储、检索、传递和使用。

◎信息的分析和研究：对分类排序后的信息进行分析比较、研究计算，可以使信息更具有使用价值乃至形成新信息。

3.一般系统方法

3.1 基本特征

一般系统方法论是基于系统论的一组相关方法的集合。与传统的基于还原论的方法相比，一般系统方法具有一系列突出特征：

◎综合性。是指考虑和处理问题的完整性或无遗漏性，即它要考虑系统的各个侧面、各个环节、各种影响因素、各种关系、各个发展阶段和各种状态，并都给以相应的照顾和处理。由于大多数系统都在空间和时间两维展开（过程系统只在时间维展开），或者都用结构和功能两个重要特征来描述，因此，一般系统方法的综合性又具体地表现为它们在空间上的全系统性或在时间上的全生存周期性。既不是全系统的，又不是全生存周期的方法不叫做系统方法，而叫做片段方法或零碎方法。

◎扩展性。“不识庐山真面目，只缘身在此山中”，对于许多系统问题，当人们将自己置于系统之中时，常常是既不能完整客观地认识它，又不能恰当而有效地处理它。如果人们将自己的位置与系统拉开某个恰当的距离，或者叫做站在系统之上的某个更高的台阶上，那么

就不仅有可能完整而客观地认识系统，而且也有可能恰当而有效地处理系统问题。

因此，系统科学家和系统实践者的工作诀窍之一就是，当他们在某个系统层次上面临困难时，用扩大视野的方法，问题往往因此迎刃而解。

◎以系统为焦点。系统方法以系统为处理问题的焦点，旁及系统所属的子系统、系统环境及系统所隶属的体系。它不关注系统的细微末节问题，且系统单元距系统层越远关注越少。

以系统为焦点的特征与综合性特征并不矛盾。事实上，由于系统层次的相对性，以众多系统层次为关注焦点的结果必然产生综合性特征。

◎抽象性。是指它隐藏系统细节信息和概念化的能力。不能隐藏系统细节信息，就难以展现系统的全貌；缺乏概念化能力，就难以或无法标识系统的突现性质。

中国古代寓言中关于四个瞎子摸象的故事足以说明，为了唯一地标志象这种动物的存在，就十分有必要提出一个“象”的概念。象既不是每个瞎子各自主观感觉的东西，也不是他们所有人感觉的东西的算术和，而是惟一地可称为“象”的那种动物。

◎非线性思维性。系统方法既强调以系统为关注焦点，又注意系统环境和子系统对系统的影响；既强调由全局到局部地处理系统问题的程序，又考虑到由局部到全局处理程序的反馈作用；既强调系统问题处理过程的阶段性和阶段的有序性，又以阶段间的反复为补充，等等。所有这些都说明系统方法并不完全是线性思维的，而是带有某种程度的非线性思维性。

非线性思维性来源于系统的复杂性，并且是保证系统方法的综合性所必需的。

◎定性性。系统方法并不都是使用数学模型定量描述或定量处理，还包括为处理系统问题提供的思维框架（逻辑）或行动路线，以及包括直观判断和专家知识等定性信息。当然，系统方法也并不都是定性的，而是还有大量的定量方法或定量的方面，定性与定量相结合使系统方法不仅是一门科学，而且也是一种艺术。

◎元方法性。系统科学本身的元学科性质决定了系统方法论的元方法论性质。依据一般系统论的体系性原理，在人类迄今积累的全部方法论体系中，一般系统方法论是一个较高层次的方法论。也就是说，它对许多具体方法起指导或制约作用。

在还原论时代，使用系统方法在大多数情况下是一种不自觉行为，把系统问题的处理简化为对其各组成部分的处理，实行分而治之、各个击破的方法论。在系统论时代，具有元方法性的一般系统方法论取而代之，使用一般系统方法论处理问题，将成为人们处理系统问题的普遍法则和自觉行为。

3.2 分类

按照所处理的系统问题性质和方法本身的特征，一般系统方法分为硬系统方法和软系统方法两大类。

（1）硬系统方法论

硬系统方法论（hard system methodology, HSM），以问题及其相关系统清楚的情况为处理对象。它的基本假定是，世界是系统的，世界上的事物是能借助试验方法被客观认识的，试验结果是可用系统模型描述的。同时，系统的目标是确定的，在所有与问题有关的人员间对目标的认识是一致的（即一元的），因而找到达到目标的最佳途径是可能的。在此基础上，硬系统方法主要是一组供阐述目标、建立模型、验证并确认模型和寻找最优解使用的方法。简而言之，它们是一组手段——目标型的方法。

应用硬系统方法处理系统问题的过程都具有如下特征：

1)有一个系统的当前状态，记为 S_0 ；

2)有一个期望的系统状态，记为 S_1 ；

3)为使系统由 S_0 状态过渡到 S_1 状态，有若干可供选择的途径，并且其中有一个可能是最好的。

(2) 软系统方法论(SSM)

软系统方法论 (soft system methodology, SSM), 与硬系统方法论相对照, 软系统方法论以问题本身及其相关系统都不清楚的情况为处理对象。这些情况是人类活动世界的正常的一般情况。各种各样的所谓“管理”活动都是以这些情况为其对象的。

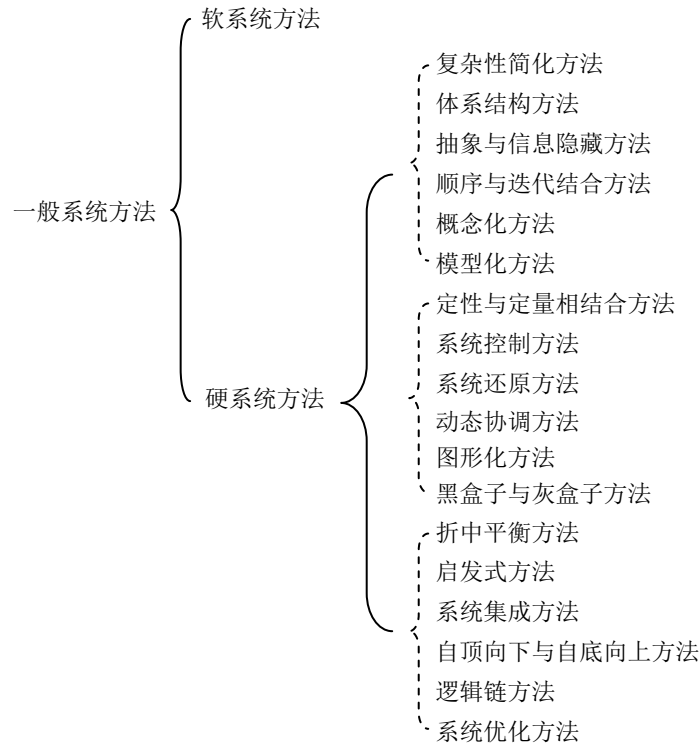


图 3-6 一般系统方法 (仿王连成, 2002)

软系统方法论的基本假定是, 由于人的主观意识的存在, 人类活动一般不会像物理试验那样是完全可重复的, 因此, 对人类活动世界是不可能完全客观地认识的, 因而也不可能用建立系统模型的方法直接对它们进行描述。同时, 由于所有与问题有关人员有不同或不完全相同的世界观, 因此, 对活动目标的认识是不一致或不完全一致的 (即多元的), 因而想找到达到目标的最佳途径是不可能的。

但是, 作为一种结构化和形式化的思维方式, 系统思维和系统方法对人类活动世界是完全适用的。只是在这里不是用于人类活动世界本身, 而是用于研究它的过程。

SSM 的主要创始人 P.B.切克兰德发现, 人类总是为着一定目的而采取行动, 目的来源于使问题情况得到改善的动机, 而动机则主要根源于由以前行动的结果所获得的经验知识。这一由经验到行动的周期性循环使人类活动成为一个系统, 即一个有目的的全局, 它的突现性质就是其追求整体目的的能力。

(3) HSM 和 SSM 的应用

HSM 和 SSM 各自适用于满足它们的基本假定条件的对象, 即 HSM 适用于处理硬系统问题, 而 SSM 则适用于处理软系统问题。但是, 由于人类所面临的大部分问题事实上都既有硬的成分又有软的成分, 或者说, 它们既包含物理系统的问题又包含人类活动系统的问题, 因此, 人们在应用系统方法处理他们所面临的问题时, 常常是既应用 HSM, 又应用 SSM。当然, 对不同的问题, HSM 和 SSM 的使用比重一般不会相同。同时, 经常发生的情况是, 为了使用 HSM, 首先需要使用 SSM。

3.3 硬系统方法

3.3.1 处理硬系统问题的一般逻辑

为了用 HSM 处理系统问题，人们所应做的第一步工作（起步工作）是要把具体问题抽象为一个具体系统问题，即完成系统识别和系统描述工作。为此，就需要将全部问题分解为个体类问题和系统类问题，并集中关注于那些系统类问题。

接着所应做的第二步工作是将具体系统问题抽象为一般系统问题，并运用一般系统论原理与方法论去解决这些一般系统问题。

待一般系统问题解得到之后，第三步是要将一般系统问题解还原或转换为具体系统问题解，第四步则是加入个体类问题的解，并最终得到要处理系统问题的全部解。

这种“两步抽象加两步还原”的过程就是处理硬系统问题的一般逻辑。它既遵从了处理系统问题的方法论法则，又充分利用了人类积累的关于一般系统方法论的知识。

3.3.2 基本框架

HSM 的两步抽象加两步还原方法，便是 HSM 的基本框架。

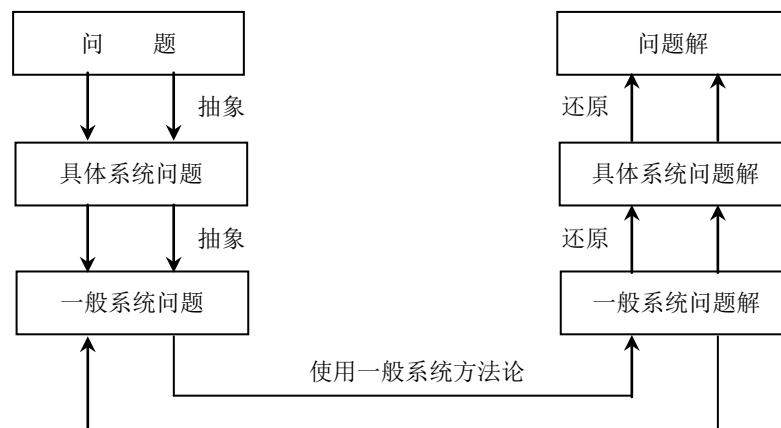


图 3-7 HSM 基本框架（仿王连成，2002）

在使用这个基本框架时，要注意两个问题：

第一，在第二步抽象过程中，一定要保证具体系统与关于它的抽象的一般系统之间的同构性。否则，用一般系统方法论处理的问题可能并不是最初要求处理的系统问题。

第二，由于由一般系统还原为具体系统并不是惟一的，因此，在第三步还原过程中，只有加入具体系统的一些约束，才能保证被还原具体系统解的唯一性。

3.3.3 主要 HSM 方法

3.3.3.1 复杂性的简化方法

（1）扩展论简化方法

站在系统之上的某个更高的台阶上，沿着“由内向外”的思维路线，通过一个综合、归纳、抽象和概念化的过程，就有可能捕获那些表面上看来复杂的系统问题的核心或基本点，剔除那些混淆核心或基本点的大量细节，从而使复杂性得到简化。

（2）体系化简化方法

复杂系统所表现出来的万千现象和繁杂的关系，常常使人感到问题很多，但又找不到着手处理的头绪。一般系统论的体系性原理提供了一种有效处理复杂性的途径。根据此原理，如果根据某种准则，如物理的、逻辑的、组织的等等，将复杂系统分解为一个系统体系，将系统的目标与任务逐层肢解处理，那么，难以处理的复杂性问题就可能转化为易于处理的简单问题。

(3) 忽略次要因素的方法

虽然系统属性的无限多样性使得对它的完整描述几乎是不可能的，但是，由于人们的系统观不同，感兴趣的系统变量的差异，以及研究和处理系统问题的层次不同，因此，许多系统问题的处理常常要求只考虑影响问题的主要因素，允许忽略相对次要的因素，从而在不影响问题求解质量的条件下获得处理的简单性。

(4) 增加系统变量的方法

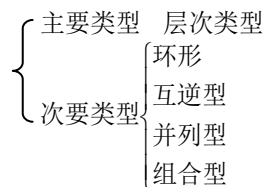
系统的不确定性是由于忽略必要的系统描述变量造成的，因此，处理由不确定性造成的复杂性的唯一方法是增加系统变量到必要的数量。显然，增加系统变量减少了系统的不确定性，但同时增加了系统描述与处理的复杂性；相反，忽略次要因素减少了描述与处理的复杂性，但同时带来了不确定性。因此，可以具体的系统，在这之间寻求合理的折衷方法。

3.3.3.2 体系结构方法

由于任何系统的实体或过程，都有自己的体系结构，因此，体系结构的建立，既是处理系统问题的前提，又是这个处理过程的一个重要组成部分。体系结构方法就是供建立系统体系结构使用的方法。

(1) 体系结构的类型

虽然具体系统的体系结构千差万别，但在一般系统意义上，体系结构可分类为主要类型和次要类型。



体系结构的主要类型是层次型，但在一部分物理或过程系统中，特别是在人类社会组织和过程系统中，也可见到像环型、互逆型、并列型和它们的组合型之类的体系结构。

(2) 体系结构建立方法

在系统目标（主要是要求系统完成的功能）明确的基础上，建立系统的体系结构既是一门科学，又是一门艺术。所谓它是一门科学，是指它是基于分析的、事实的、逻辑的和演绎的；所谓它是一门艺术，是指它是基于综合的、直观的、判断的和归纳的。只有两者恰当的结合，所得到的体系结构才可能是完整的、优美的。

因此，体系结构的建立涉及分割和聚合两个相辅相成的过程，并且一般由聚合过程开始。被聚合和分割的对象是系统的功能或需求。

在每一个系统层次上，被聚合和分割的功能应与那个层次相适应。一般，系统层次越高，被聚合的功能越多，功能分割越粗糙；相反，系统的层次越低，被聚合的功能亦越少，功能分割也就越详细。否则，在高层次上的功能分割过细往往会掩盖主要功能，而在低层次上的功能分割过粗则又往往会淡化乃至丢失关键功能。

根据一般系统论的功能与结构关系原理，一旦每个系统层次的功能确定之后，就可能相应地建立它的体系结构。

迄今为止，人们已提出了许多种依据系统功能建立其体系结构的技术。例如：

◎正向链技术。首先根据要求系统完成的整体功能，确定系统的整体结构框架，而后再对每个系统层次继续这样做，最后得到整个系统的结构框架。

◎反向链技术。从现有的若干结构（它们能分别完成部分系统功能）出发，通过选择一些恰当的接口技术，综合出整个系统的结构框架。接口将把现有结构中抽取或改造的各部分连接为一个整体。

(3) 关键问题

在应用体系结构方法建立系统体系结构时，有以下几个关键问题特别值得注意：

①体系结构主要是由系统目标及相应的功能决定的。内容决定形式，功能决定结构，而不是相反。

②影响体系结构选择的因素不仅包括功能，而且还包括许多其他因素，如社会的、政治的和技术的因素。因此，体系结构建立过程是一种综合各种因素的迭代过程。

③体系结构方法的关键技术是接口选择和拟合技术，漏掉隐蔽的接口或接口的选择与拟合不当，都不会得到内部相容的系统体系结构。

④体系结构建立的艺术性要求体系结构专家有广博的知识，并最大限度地表现出他的创造性。

⑤由于不同的体系结构专家有不同的知识、经验和审美情趣，因此，为保证其完美性，体系结构最好由一个大脑产生。

3.3.3.3 还原论方法

将复杂事物（或事务）分解为若干部分再分别进行处理的方法叫做还原论方法。

（1）还原论方法与系统方法的互补性

①事实上存在一些系统，它们是完全可分解或近似可分解的，这不仅为应用还原论方法提供了可能性，而且无数案例表明，还原论方法是处理这类系统问题的一种有效方法。

②迄今尚没有产生一种所谓“纯”系统方法，可以自始至终地用它处理系统问题。即使在系统研究和系统分析时可以考虑所有部分、所有关系和所有变量，但在系统实现时则几乎总是不可能（或不完全可能）这样做，而往往是一部分又一部分地去做。因此，将系统问题分解处理带有不可避免的性质。

③系统科学和传统科学在两种根本不同的意义上应用还原论方法，后者认为部分问题的解决就等于全部问题的解决，前者则认为部分问题的解决并不等于全部问题的解决，它还强调部分问题的相互影响和接口问题，把部分问题解之和看做是对全部问题解的一种近似。

因此，还原论方法对求解系统问题不仅是必要的，而且在系统科学意义上应用的还原论方法可以算做一种近似系统方法，或者说，它与系统方法是互补的。

（2）系统分解准则

系统分解既不是惟一的，也不是随意的。欲使分解有意义，必须遵守如下准则：

①系统分解结构应因要处理的问题而异。系统对多个系统链的隶属性、系统类属性的多样性和要处理的问题层次都应有不同的系统分解结构。

②系统的分解层次应有恰当的限度，既不应太少，也不应太多。层次太少，将使同层次上的单元太多，以致上层难以控制；层次太多，简化了层间控制，但却增加了层间的控制总数。

③同一分解层次的诸单元间应具有尽可能大的相对独立性，即每个单元应具有最大的内聚度和最小的外部耦合度。

④在满足准则③的条件下，同一分解层次的诸单元间还应在物理上、功能上或逻辑上尽可能保持某种程度的可比性或均衡性。

⑤系统的最低分解层次以采用现有技术可以处理或易于管理为宜。

（3）系统分解类型

依据系统本身的类型和要处理的系统问题类型，系统分解可能采用不同的类型。其中主要的系统分解类型有：

①物理分解：按物理属性（如在空间上的集中程度，在结构上的紧凑程度，等等）进行分解。

②功能分解：按系统单元所起作用的差异进行分解。

由于同一物理单元可能完成多种功能，同理，同一功能也可由多个物理单元完成，因此，

功能分解可能与物理分解相同，也可能不同。以上两类分解都较为直观，因而易于使用。

③逻辑分解：按逻辑上的隶属和因果关系进行分解。

人造抽象系统、计算机软件系统等往往要求这种分解。此类分解要求抽象思维，因而使用起来较为困难。

在许多系统问题的处理中，往往不只要求一类分解，而是要求多类分解互补地使用。

(4) 系统分解过程

系统分解根据分解准则进行。由于物理分解和功能分解较易使用，因此此处只讨论逻辑分解。

逻辑分解有演绎和归纳两条路线，并且往往这两条路线结合使用。不管采用什么分解路线，系统分解过程一般为：

第一步：确定系统问题的处理范围，以及由它所决定的感兴趣的系统特性。以归纳路线为例，系统分解过程的后续工作是：

第二步：从系统中抽取与感兴趣系统特性相关的因素。

第三步：按“相似性”和“差别性”对这些因素进行分类处理。只有有足够相似性的因素才能归为同一个系统单元；相反，只有有足够差别性的因素才能分离为不同的系统单元。

系统分解可以到此结束，但更经常的做法是通过多次归纳和抽象，最终得到一个层次系统。

3.3.3.4 自顶向下方法与自底向上方法

(1) 自顶向下 (top-down) 方法

先考虑事物（物理的或逻辑的实体或过程）的全局，而后再逐步细化地考虑它的局部的方法。即它是一种从宏观到微观、从总体到个体、从一般到个别的处理问题的方法。

自顶向下一般步骤为：

①先把系统与它的环境分离开来，划清系统与环境的边界。这样做的目的既是为了了解系统的整体形象与外部行为，同时也是为了了解影响系统存在的外部条件与约束。

②根据某个与要处理的系统问题相关联的分解准则，把系统分解为若干可显著区别的子系统。这种分解目的与①类似，是要了解每个子系统作为一个整体的形象及子系统间的关联。

③按照与②相同的过程，将子系统继续向下分解，直到得到便于处理和管理的那一层为止。

经上述过程，得到的是一个关于系统的多层“金字塔”结构。若采用标准编号系统对系统单元编码，则得到系统结构图，图中的 n 和 n_i 分别代表系统和子系统 i 所拥有的子系统数和子子系统数， m 表示层数。

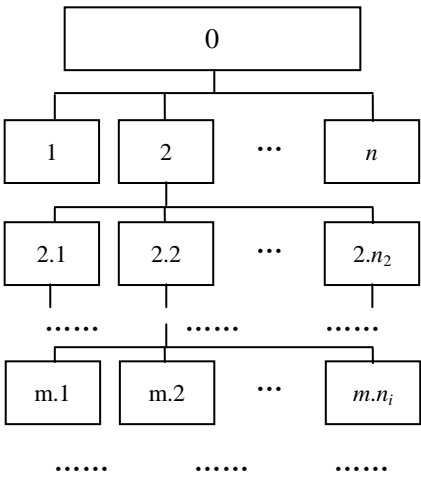


图 3-8 应用自顶向下方法产生的系统结构（仿王连成，2002）

建立系统体系结构的正向链技术亦是应用自顶向下方法的一个范例。

如同在系统科学意义上使用的还原论方法一样，自顶向下方法也强调每一个系统分解层次都是一个整体，并注重接口技术。两者间的差别是：前者强调复杂系统问题的可求解性，重点在低层；后者则强调系统目标的完整性，重点在高层。

(2) 自底向上(bottom-up)方法

先考虑局部而后再逐步综合地考虑全局的方法。它是一种从微观到宏观、从个体到总体、从个别到一般的方法。因而，它是自顶向下方法的逆方法。

(3) 两种方法的适用范围

自顶向下方法有助于保持系统的完整性和有序性，因此，它是一种重要的系统方法。同时，由于在自然和人造系统中占统治地位的体系结构是层次结构，因此，应用自顶向下的方法不仅是必要的，而且也是可能的。但是，自顶向下方法的应用要求应用者具有较丰富的相关系统知识，特别是要求他们具有足够的抽象思维能力。

与此相反，自底向上方法的应用并不要求应用者具有类似的知识 and 能力，但它难以保证系统的完整性与有序性。

两种方法的不同特点决定了它们各自的适用范围。自顶向下方法主要适用于处理系统组织、系统管理、系统规划和系统工程前期的问题，而自底向上方法则主要适用于处理系统工程后期的问题。由于系统问题的复杂性，因此，一般系统问题的处理常常要求两种方法交替使用，互相补充。

3.3.3.5 抽象与信息隐藏方法

(1) 抽象方法

从实体、关系或它们的属性的有限或无限多样性中，通过比较分析和归纳综合过程寻找共同点的方法叫做抽象方法。在抽象的基础上还可以继续抽象，因此，抽象可能在若干个层次上进行。并且，高层次抽象不包含低层次抽象的每个因素，而只包含低层次抽象作为一个整体的那些因素。

从根本上说，没有抽象就没有系统论，甚至也没有系统本身。因为根据一般系统论的多隶属原理，系统并不是其组成部分间所有关系的集合，而只是对所研究的问题有意义的那些关系的集合。所以，“系统”本身就是一种抽象，一种关于关系的抽象。正因为如此，P.B. 切克兰德曾建议，最好将“系统”这个词让位给日常用语，而在关于系统问题的讨论中使用“全局”这个词。

除了“系统”这个概念之外，在一般系统论中，还有许多概念，如系统体系、突现性质、系统模型、同构系统、一般系统，等等，它们都是运用抽象方法的产物。简而言之，缺乏抽象思维能力，既不可能了解系统论，也不可能正确地运用它所提供的思想武器。

如果说在机械论时代由于系统规模小且其大部分单元和关系是可以直接感触的，因而形象思维曾经是一个有效武器的话，那么，在系统论时代，系统规模的膨胀和系统信息含量的增长就使得形象思维十分乏力了。此时，处理系统问题的有效武器之一就是抽象思维。

(2) 信息隐藏方法

为了突出系统主要因素或基本点，忽略、舍弃或掩盖系统次要因素或细微末节的方法叫做信息隐藏方法。

如果不能恰当地使用信息隐藏方法，现代系统的复杂性往往使人感到如堕烟海，找不到处理问题的头绪，以致常常使人“只见树木，不见森林”，或者“捡了芝麻，丢了西瓜”，陷入问题的细微末节，而不能自拔。

信息隐藏方法是使用抽象方法的基础，没有信息隐藏就不能抽象。但是，信息隐藏的目的不仅仅是为了抽象。例如，在计算机软件实现时，为了减少用户的负担，可以把许多软件功能做成对用户“透明的”，即用户完全可以不问那些软件的内部细节，只根据对它们的说

明而自由地去使用那些软件。因此，信息隐藏方法不仅是抽象方法的辅助方法，而且也是一种独立的系统方法。

3.3.3.6 概念化方法

系统的突现性质要求用一些在讨论它的组成部分时不可能使用的概念来描述它。产生这些概念的方法叫做概念化方法。

(1) 概念与符号

概念是对一类对象的基本特征所做的高度概括，符号是对概念的一种标记形式。

人类的一切科学思维活动都是形成概念并运用概念进行推理和判断的过程。传统科学思维活动如此，系统科学思维活动也是如此。

根据概念的上述定义，如能形成一些恰当的概念，无疑也是找到了简化复杂性的一种方法。例如，“象”的概念表明了世界上一类动物的基本特征。有了“象”这个概念，人们在讨论到与“象”有关的问题时，就可以不必再去详细描述象的躯体各组成部分的细节，而不会造成误解。同理，系统的突现性质要求用一些概念来描述，而不必去详述产生这些突现性质的复杂的系统成分间的关系。

概念由一些名词或名词短语组成，也可以由一些其他的符号（数字的、字母的、字符的）组成。符号是概念的外壳，它可使概念标识更为简单或更为直观醒目。例如，SSM 就是软系统方法论这个概念的符号。显然，使用“SSM”这个符号要比使用“软系统方法论”这个概念简单得多。

(2) 概念化过程

概念的形成过程叫做概念化过程。它是一种类型的抽象过程。为了通过这种抽象过程形成概念，一般要经历以下三个步骤：

首先，必须了解并掌握有关情况或系统的各个侧面或各种特性。

第二，必须根据足够的相似性和足够的差别性对各个侧面或各种特性进行分组处理，以便形成具有不同基本特征的对象类型。

第三，对于每一类对象分别给以不同的名字，就形成了各种各样的概念。

概念的命名可以是随意的，即以一些本身是中性的符号给概念命名。但是，一般概念命名应根据如下一些准则进行：

简单性：使用最少量的词语；

明确性：力图使名字表明其内涵；

自包含性：名字尽可能包含对象的全部特征；

可比性：不同对象的名字应是可对照的；

唯一性：名字标志的对象应是唯一的。

3.3.3.7 模型化方法

系统模型是对系统的一种替代型式。模型化方法是研究系统建立它的模型的方法，或者说，是用此一系统（模型系统）研究彼一系统（原系统）的方法。

(1) 模型的类型

依据要处理的系统问题性质、感兴趣的系统侧面和模型的实现方法，系统模型的分类按两维进行，并且在每一维下又有若干子类。

其中，面向原系统模型是指用来处理不同系统问题的模型；面向实现方法模型是指按实现手段分类的模型。显然，同一个面向原系统模型可能有多个面向实现方法模型。

(2) 模型属性

一切模型都具有如下几种属性：

①同构性。当且仅当模型与原系统具有某种程度的同构性时，模型的存在才有意义。

②层次性。解决同一类系统问题的模型不仅有多种类型，而且在同一类型模型中又有多

个层次，它们分别具有不同的简繁程度。

③面向性。即使处理相同的系统问题，不同用户也有不同的感兴趣问题侧面，因此，模型不仅应是面向问题的，而且也应是面向用户的。

④有效性。当且仅当模型与原系统的同构性得到验证和确认时，使用模型处理问题才是有效的、可靠的。

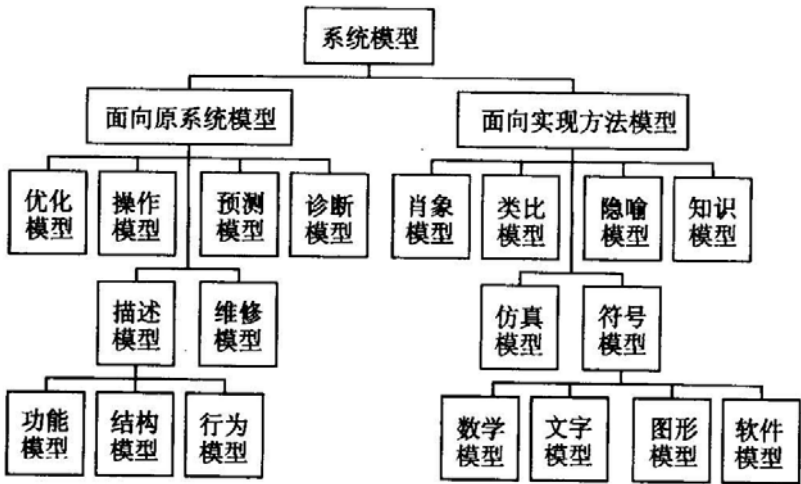


图 3-9 应用自顶向下方法产生的系统结构（王连成，2002）

（3）模型建立过程

建立模型（简称为建模）的过程叫做模型化过程。与概念化过程一样，它也是一种类型的抽象过程，其一般步骤如下：

①收集与所要处理系统问题相关的所有系统片段，包括结构、功能、事件、活动、约束等等；

②寻找这些片段的相似物，或者抽象描述这些片段的变量，并研究它们间的联系；

③用一种选定的实现手段建立系统模型。

（4）模型确认过程

模型确认过程是验证模型与原系统的相似性、近似性或逼真性的过程。任何模型都不可能是原系统的完全复现，而只能是对原系统的一种近似。因此，在正式使用模型之前必须对它的近似度或逼真度进行测试或评定。

对于动态系统，模型确认的一般过程如下：

①将原系统和模型置于尽可能相同的工作环境之下；

②给两者以相同的输入激励，分别观测并记录它们所产生的输出；

③用专家评估或数学计算方法，根据两者输出间的差异，给出定性或定量的近似度或逼真度量。

（5）建模的必要性与可能性

建模的必要性首先来源于许多原系统的不可直接研究性，妨碍直接研究的因素有各种各样，如系统已不存在，系统尚不存在，系统不可接近，研究费用不可承受等等。

其次，还来源于模型本身的一些优点，其中包括它们的直观性、形象性、简单性、易实现性、灵活性、低成本性等等。

但是，如果说建立系统的定性模型（如类比模型等）是较为容易的，那么，建立系统的定量模型（如数学模型）就不总是容易的，有时甚至是不可能的。这里的主要障碍是某些系

统变量的不可观测性，以及用已有的数学工具描述复杂系统现象的局限性。

3.3.3.8 系统优化方法

最优系统是能以最优方式满足用户需求的系统。寻找这种系统的方法叫做系统优化方法。一切人造系统都以最优系统为其设计目标。因此，对最优系统的追求成为推动系统论发展的最重要和最基本的动力。

(1) 优化问题的描述

根据一般的优化理论，如果有一组独立的系统变量 $x(x \in R^n)$ ，有一个依赖于 x 的实值标量函数 $f(x)$ ，那么，系统优化问题可表述为如下的标准形式：

在条件

$$C_i(x)=0 \quad i=1,2,\cdots,m'$$

$$C_i(x) \geq 0 \quad i=m'+1, m'+2, \cdots, m$$

之下，寻找 $\min_{x \in R} f(x)$

在这里， $C_i(x)$ 叫做约束，上式分别叫做等式约束和不等式约束，它们规定了独立变量取值的限制条件； $f(x)$ 叫做目标函数，它是系统优劣的定量度量指标。显然，系统越复杂， m 和 n 的取值越大，求解目标函数的极小值亦越困难。

一般，用户对系统的需求表现为用户对系统的多种效用指标要求。这种要求不仅对不同的用户有指标类型的差异之分，而且对同一用户还有不同指标间相对重要性上的差别。因此，为将用户需求描述为目标函数 $f(x)$ ，其一般的形式化方法如下：

设某个特定用户认为最重要的系统效用指标为 e_1, e_2, \cdots, e_p ；又设该用户对这些系统效用指标分别给以的相对权重为 w_1, w_2, \cdots, w_p ；并且考虑到每个系统效用指标 e_i 都可表示为

$$e_i=e_i(x) \quad i=1,2,\cdots,p$$

则一般可把系统优化问题的目标函数 $f(x)$ 表示为

$$f(x) = \sum_{i=1}^p w_i e_i(x)$$

(2) 优化的相对性

系统优化是个相对的概念，首先，不同的用户需求表现为不同的目标函数。即使用户对系统效用指标的需求类型相同，不同用户给以同一效用指标的权重也可能不同。因此，系统优化的相对性首先表现为目标函数的差异性。

其次，即使目标函数相同，不同的用户加给实现系统的限制条件（包括时间、资源、环境等）可能不同。这种不同表现为约束条件 $C_i(x)$ 的差异，并且不同的 $C_i(x)$ 组合， $f(x)$ 的极小值亦不相同。

第三，即使系统优化的目标函数和约束条件组合完全相同，由于现代系统的复杂性，以约束标准形式描述的系统优化问题往往也是难以在系统级上求解的。在这种情况下，迄今找到的可行的优化方法是将全局优化问题分级或分块为局部优化问题。由于这种“化整为零”的优化方法必然要做一些近似和简化处理，因此，它所得到的只能是全局最优的近似解，而不可能是精确解。这种近似解又叫做次优解。工程系统优化一般都只能是寻找这种次优解，而不可能是精确的最优解。显然，寻找次优解只是一种不得已的行动，而不是人造系统的系统设计降低设计目标的借口。恰恰相反，一切人造系统的设计目标都应尽一切可能使实际的次优解接近于理论的最优解。

3.3.3.9 折衷平衡方法

折衷平衡方法是通过牺牲某些系统效用指标的局部最优性使另外一些系统效用指标保

持在可接受的阈值范围内从而获得全面最优性的方法。

(1) 存在根据

作为一种系统方法，折衷平衡方法的存在根源于用户对系统需求的如下两种性质：

①用户对系统的需求表现为多种属性要求，并组成一个系统目标体系。追求单一系统属性要求的用户几乎是不存在的。

②用户对系统的诸多属性要求一般并不都是相容的，而是存在着一些相互矛盾的，即使一些属性要求最优，必然要求降低另外一些属性要求的最优性。“有所失，才有所得。”

以上两种性质决定用户对系统的属性要求既存在一个相对优先级序列，同时又应使低优

优先级属性要求保持在某个可接受的阈值范围以内。式 $f(x) = \sum_{i=1}^p w_i e_i(x)$ 反映了这种概念。

并且，根据这种概念，我们可将系统优化解释为：它不是寻求某个个别系统属性的最优（局部最优），而是寻求在诸多系统属性值间的某种合理折衷（全局最优）。

(2) 折衷平衡的类型

系统的层次性使任何人造系统的设计都必然存在多层次、多类型、多方面的折衷平衡。其中主要有参数、方案和目标 3 类。

为获得具有相同或相似性能的系统，在物理上可能有许多不同的系统实现方案。不同的实现方案不仅表现为系统组成成分及它们间相互作用的类型不同，而且还表现为相同系统成分或成分间的相互作用可能存在内部技术参数选择上的差异。而不同的系统实现方案在外部对系统用户表现出来的是系统的整体效用及系统所要求的支持资源（它们的综合就是系统目标）的不同。因此，可把主要的折衷平衡由内向外或由低层次到高层次地划分为参数、方案和目标 3 种类型。

(3) 折衷平衡过程

折衷平衡方法的按如下过程进行：

①广泛枚举。折衷平衡是对广泛存在的可能性的一种合理选择。如果只有一种可能性，就没有折衷平衡的必要。因此，折衷平衡过程的第一步是广泛枚举各种可能性，包括各种参数、各种方案和各种目标。

②广泛组合。在广泛枚举的基础上，折衷平衡的第二步是对各种可能性进行广泛组合，以形成尽可能多的系统配置。

③广泛测试。是运用模型化方法建立各种系统配置的模型，并在各种可能状态下操作这些模型，以取得关于系统效用的广泛测试结果。

④广泛灵敏度分析。是在固化一些系统参数情况下通过变动另外一些系统参数的方法，循环地对模型系统做灵敏度分析，以确定在不同的系统参数组合下某些系统参数的可接受数值范围。

⑤合理判断。有了上述结果，依据用户需求（系统目标的类型、取值范围和相对优先级）和科学的和经验的（主要是经验的）知识，就有可能对系统方案和系统参数选择进行合理判断，并获得一个全局最优的系统。

3.3.3.10 逻辑链方法

逻辑链方法是根据原因预测结果或根据结果反演原因的方法，因此又叫做因果链方法。

(1) 逻辑链方法的根据

逻辑链方法之所以成为一种重要的系统方法，乃是来源于大多数系统（除概率系统之外）所固有的以下两种性质：

①空间上的关联性。在一个系统体系中，任何相邻的两个系统层次间都必然存在某种相互关联性，即较高层次系统的突现性质必然是较低系统层次上诸系统单元间相互作用的产

物。

②时间上的关联性。对于确定性系统或确定性占优势的系统，在某个特定时刻的系统状态既是以前某个时刻系统状态演化和发展的结果，又是造成以后某个时刻系统状态的初始条件。

以上两种性质决定，在大多数系统中，无论在空间上还是在时间上，必然存在大量的因果链。

(2) 逻辑链方法的应用

在系统问题的求解中，逻辑链方法广泛地用于如下各个方面：

①保持系统单元间的相容性。使用逻辑链方法，根据系统目标（原因）选择系统单元和单元间的接口关系（结果），就有可能保持系统单元间的相容性，其中包括单元间的合作性、支援性、互补性和一致性（不自相矛盾性）。

②预测系统的状态和行为。借助模型化方法，有可能把系统状态和行为在不同时刻间的依赖或决定关系（因一果关系）表述为数学模型，并通过操作这些模型预测系统在未来时刻的状态和行为。

③保持系统的可追溯性。预测系统状态和行为的反向工作是依据系统的当前状态和行为，追溯造成这种状态和行为的历史依据。只有使用逻辑链方法实现系统的演化和转换，才有可能保持系统的可追溯性。

逻辑链方法并不是在任何情况下都可应用的。当且仅当一个事物或事件是另一个事物或事件存在的充分条件，即有确定性因果关系存在时，才可以应用逻辑链方法。当一个事物或事件是另一个事物或事件存在的必要条件而非充分条件，即有概率因果关系存在时，不能简单地应用逻辑链方法。

3.3.3.11 定性与定量相结合的方法

定性与定量相结合的方法是精确科学与经验知识和专家判断相结合的方法。

(1) 定量方法

依据精确科学所提供的原理和定律，通过数学模型描述系统状态变量间的关系来处理系统问题。

由于定量方法本身的精确性，任何系统问题的处理都应该尽可能地使用定量方法。

(2) 定性方法

对于复杂的系统，企图用精确的定量方法处理全部系统问题几乎是不可能的。这是因为，在复杂系统中，不仅常常存在一些难以或不可能直接观测的系统变量，而且由于系统的动态性、自主性和行为性，即使某些系统变量的瞬时值是可直接观测的，但要想据此建立这些变量间的数学模型也是困难的。在这些情况下，为了处理系统问题，除使用定量方法之外，还必须辅之以定性方法。

所谓定性方法，就是依据专家的经验知识和直观判断能力，选择求解方向和某些系统变量允许或可能取值范围的系统问题处理方法。

(3) 两种方法的结合

在人类关于任何复杂系统知识的全部集合中，总是包含着定性知识集合与定量知识集合两个子集合。一般，系统越复杂，系统存在或系统与人类的相互作用时间越短，定量知识集合亦越小，而定性知识集合亦越大。随着时间的推移，不仅系统本身的运动规律暴露得越来越充分，而且人类认识系统的手段也日臻丰富，这就有可能使定量知识集合越来越大，从而使应用精确方法处理系统问题的范围越来越广。但是，由于认识能力的限制，对于许多复杂系统的完全精确认识，人类只能逐步接近，而不可能最终到达。因此，定性方法对于处理复杂系统的问题始终是必要的。

定性知识是非精确知识。但是，除了毫无根据的臆测之外，非精确知识并不等于无用知

识。恰恰相反，由于定性知识是人们从同类或相似系统运行中获得的经验知识，因此，它也是一种可靠的有用知识。

使用定性方法处理系统问题并非是一种完全被动的行为，在许多情况下是一种主动行为。事实上，系统的层次性必然使系统问题的求解也带有层次性。在较高求解层次上一般并不要求精确解，而只要求近似解，因而只需要使用定性知识或简化的数学模型（这种模型实际上也是一种定性知识）。这样做的目的是为了加快整个系统问题的求解速度。一般，系统问题的求解层次越高，定性方法使用得越多，定量方法使用得越少；反之，系统问题的求解层次越低，定量方法使用得越多，而定性方法使用得越少。用定量方法获得解的精确性，用定性方法获得求解速度，这就是两种方法结合使用的根据。

3.3.3.12 启发式方法

根据相关领域的域知识和专家经验，在已获得的近似解的基础上，逐步尝试地寻找系统问题可行解的方法叫做启发式方法。

（1）启发式方法的性质

启发式方法是定性定量相结合方法的一种具体形式。它的提出同样是来源于系统的复杂性及由此带来的系统问题精确解的难以获取性。

启发式方法不同于解析方法。前者根据一般法则寻找未知目标；后者则根据具体法则寻找已知目标。

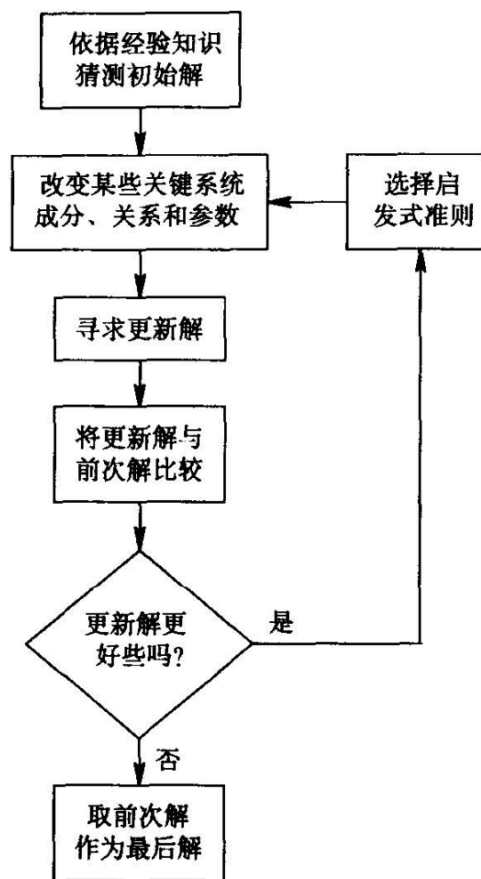


图 3-10 启发式方法一般框架（王连成，2002）

由于域知识和专家经验的局限性和不精确性，因此，启发式方法并不是一种性能理想的方法。但是，当采用性能理想的定量方法不可能（既包括某些系统参数的不可观测性，某些系统行为的难以建模性，也包括求解可建模问题的计算复杂性）时，就只得求助于启发式方

法。

（2）启发式方法的框架

启发式方法区别于解析方法的最基本特征是它通过尝试逐次逼近地寻找系统问题的可行解，而不是一次获得系统问题的精确解或最优解。

在尝试过程中，它以一组启发式准则作为指导探索新一轮求解问题的方向。由于这组启发式准则是根据人们的实践经验归纳总结出来的一些求解问题的技巧、策略与判断，因此，在一般情况下，以这组准则为指导可显著地降低求解问题的复杂性。据此可以说，启发式准则的存在是应用启发式方法的关键，

（3）启发式方法的应用潜力

对于求解复杂的系统问题，与解析方法相比，启发式方法的突出优点是，它充分利用了人们求解相似系统问题所积累起来的经验知识，特别是那些技巧知识，从而有效地回避了系统问题的求解复杂性，加快了系统问题的求解速度。虽然启发式方法一般只能给出可行解（即次优解），而不可能给出最优解，但是，对于复杂的工程系统问题，一般只能得到次优解，而不可能得到最优解。

启发式方法的这种突出优点使它具有广泛的应用潜力。在任何一类系统问题和同一类系统问题的任何一个求解层次和求解阶段上，都可使用启发式方法。其中，在下述系统问题的求解中特别有用：

①在涉及管理决策之类的问题上，更适用的是启发式方法，而不是解析方法。

②对于求解较高层次的系统问题一般使用启发式方法，而不是使用解析方法。

3.3.3.13 顺序、并行与迭代相结合的方法

将过程划分为顺序阶段、并行进行某些过程活动和用阶段间的反馈调整过程活动结合在一起的方法叫做顺序、并行与迭代相结合的方法。这一系统方法是处理过程系统固有复杂性的有效方法。

（1）顺序方法是实现目的的基本前提

过程系统由一系列阶段（或步骤）组成，并且像非过程系统一样，在任何复杂的过程系统（如工程过程系统）中，在每一个阶段（或步骤）内，又包含若干子阶段（或子步骤），如此等等，由此组成一个过程系统体系。这个体系的阶段（或步骤）间以及子阶段（或子步骤）间有着确定的顺序，并且阶段（或步骤）间及子阶段（或子步骤）间的转移有着确定的准则，由此构成过程系统的体系结构。

显然，如果任何有关事件都是同时发生的，那么就不会存在任何一个过程系统。过程系统的阶段性和阶段间的顺序性反映了过程系统实现其目的的内在逻辑性，即要达到最终的目的，必须逐步地实现各个阶段的目的，并且前一阶段目的的实现是着手下一阶段工作的条件，过程阶段间既不可随意颠倒顺序，又不可自由跳跃。因此，顺序方法是保证过程系统实现目的的基本前提。

（2）并行方法是主要的活动安排方法

在任何过程系统中，不仅存在着阶段（或步骤）间的顺序性，而且还存在着活动间的并行性。一般，在一个过程阶段（或步骤）或子阶段（或子步骤）中，为实现其目的所需要的活动往往不只有一个，而是有多个，并且这些活动除了相互间可能存在并不重要的相互影响之外，它们得以着手进行的主要条件是前一阶段（或步骤）或子阶段（或子步骤）活动的总结结果。因此，这些活动往往是能同时展开的，即它们可能是并行的。这种并行的可能性是并行方法得以应用的条件。而且，活动间的并行安排有助于阶段（或步骤）或子阶段（或子步骤）目的的加速实现。因此，在工程过程系统中，只要有可能，都应安排活动并行进行。

（3）迭代方法有助于保证目的的完整性

任何复杂的过程系统都存在着固有的无序性。这种无序性主要表现于两个方面，一是过

程阶段（或步骤）间的反向影响性，即不仅前一阶段（或步骤）的实现是后一阶段（或步骤）的活动得以着手进行的条件，而且后一阶段（或步骤）的活动又可能反过来对前一阶段（或步骤）或以前若干阶段（或步骤）的活动提出变动要求。二是由活动并行所带来的活动结果的不协调性。虽然在同一阶段（或步骤）或同一子阶段（或子步骤）诸活动得以同时展开的主要条件是前一阶段（或步骤）或前一子阶段（或子步骤）活动的总结果，但是，在这些并行活动之间是不可能不存在相互影响的，也就是说，其中一些活动的中间或最后结果可能是影响另外一些活动方式的条件。为处理这两个方面的无序性，从而保证过程系统目的的完整性，在应用顺序和并行方法安排过程系统阶段和活动的同时，必须辅之以反馈调整，即迭代方法，去处理单纯的顺序和并行方法所忽略的阶段间和活动间的相互影响。因此，顺序、并行和迭代相结合的方法是处理过程系统复杂性的完整而有效的方法。

3.3.3.14 非系统方法论

传统科学的还原论方法按 $1+1=2$ 的逻辑处理系统与其组成部分的关系问题；机械方法把系统中发生的所有现象都简单地归结为确定性的因果关系；而本体论方法则以组成系统的个体为关注焦点。它们都是与系统方法相对立的有代表性的非系统方法。

（1）共同特征

一切非系统方法都具有如下一些相互关联的特征：

①个体性。非系统方法在空间上（即在系统组成上）突出组成系统的个体，忽视个体间的关联性。在系统描述上表现为繁杂的个体罗列，给人以只见树木，不见森林的感觉。因此，它无法保证系统在组成上的完整性。

②短期性。非系统方法在时间上（即在系统演化过程上）突出系统生命周期的个别阶段，忽视阶段间的联系，特别是忽视个别阶段结果对系统最终结局的影响。因此，它难以保证系统在发展上的有序性。

③直观性。非系统方法更多地依赖形象思维（即直观性）。由于缺乏系统方法那样的抽象力，因此，它给出的系统描述往往只是个体描述所用术语的堆积，使人难以看到系统区别于组成它的个体的突现性质。

④非层次性。突出个体和个别阶段的结果必然是忽视乃至否定系统的体系结构和全生命周期的存在，使全局依次淹没于局部之中，以致难以区分系统与子系统、子系统与子子系统、全生命周期与阶段、阶段与子阶段等等。

⑤无目的性。突出个体和个别阶段的另一个必然结果是淡化、模糊或改变系统的本来目的，并由此使个体或个别阶段的目的与系统的本来目的难以相容。

（2）流行原因

在系统论时代，当面临许多复杂的系统问题时，人们还在广泛地使用非系统方法论，这有多方面的深刻原因。其中，仅就认识方面的原因而论，主要有以下两点：

①简单性和直观性带来的诱惑。非系统方法的简单性和直观性，以及它在处理完全可分解或近似可分解系统问题时所取得的完全成功或基本成功，常常诱使人们在处理更为复杂的难以分解或不可分解系统问题时，也去尝试使用传统的非系统方法。

②不得已而求其次。系统理论及其方法论仍是一个蓬勃发展的新学科，迄今为止，它所能提供的原理、规则、方法、工具等尚难以完全而有效地满足日益复杂化了的系统问题要求。在这种情况下，人们常常不得已而求助于非系统方法，以寻求系统问题的次优解。

3.4 软系统方法

鉴于使用 HSM 于凌乱的、结构差的问题时所遇到的挫折，P.B.切克兰德（P.B.Checkland）深入地研究了人类活动区别于动物活动的显著特点，并提出了 SSM 的一般逻辑和基本框架。

3.1.4.1 SSM 的一般逻辑

人类活动的显著特点是，当人们感觉现实世界的情况有问题时，他们总是要产生改善情况的动机，这种动机促使他们采取有目的的行动。究竟采取什么行动，则依赖于他们的世界观，而世界观主要是由他们所积累的行动经验形成的。不同的人，既有不同的世界观，又可能有不同的目的，因此其可能选择不同的行动，这就形成了多个由“情况——目的——行动”组成的所谓“相关系统”。

3.1.4.2 SSM 的基本框架

根据 SSM 一般逻辑，PB.切克兰德（P.B.Checkland）最初将 SSM 结构化为一个七个阶段的过程。后来，他根据 10 年间应用 SSM 于大量案例所取得的经验，重新描述了 SSM 基本框架，新的 SSM 框架包含基于逻辑的分析流和基于文化的分析流两个相互作用的研究过程流。

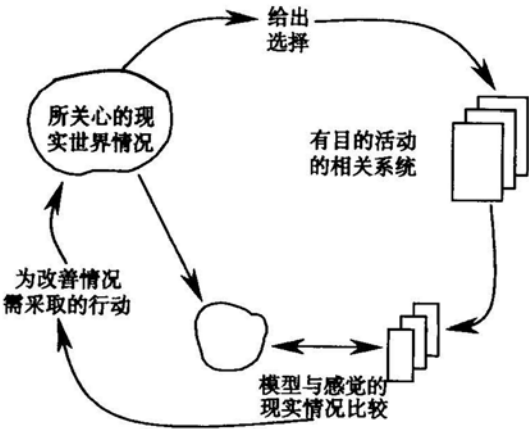


图 3-11 SSM 一般逻辑（王连成，2002）

(1) 基于逻辑的分析流

是以有目的全局为逻辑机制的研究过程流。它由以下四项主要活动组成：

①选择与问题情况相关的人类活动系统（相关系统）

一般情况下，相关系统分为主任务系统和基于争论的系统两大类。前者是指其边界与现实世界表现形式一致并且是可见的系统，后者是指与问题有关的人对活动目的有争论的系统。

②给相关系统命名

给相关系统命名，应反映它的核心或基本点。相关系统的核心，是一个把某个实体转换成它的某种新型式的转换过程。这个转换过程表述为：

为达到 Z 用 Y 做 X 的一个系统，简记为 XYZ。这里，X 为转换过程，Y 为转换手段，Z 为转换的目的。

SSM 通过写若干简单句子给相关系统命名。这些句子的集合叫做根定义，它说明相关系统是什么，并用一个助忆符 CATWOE 表示。

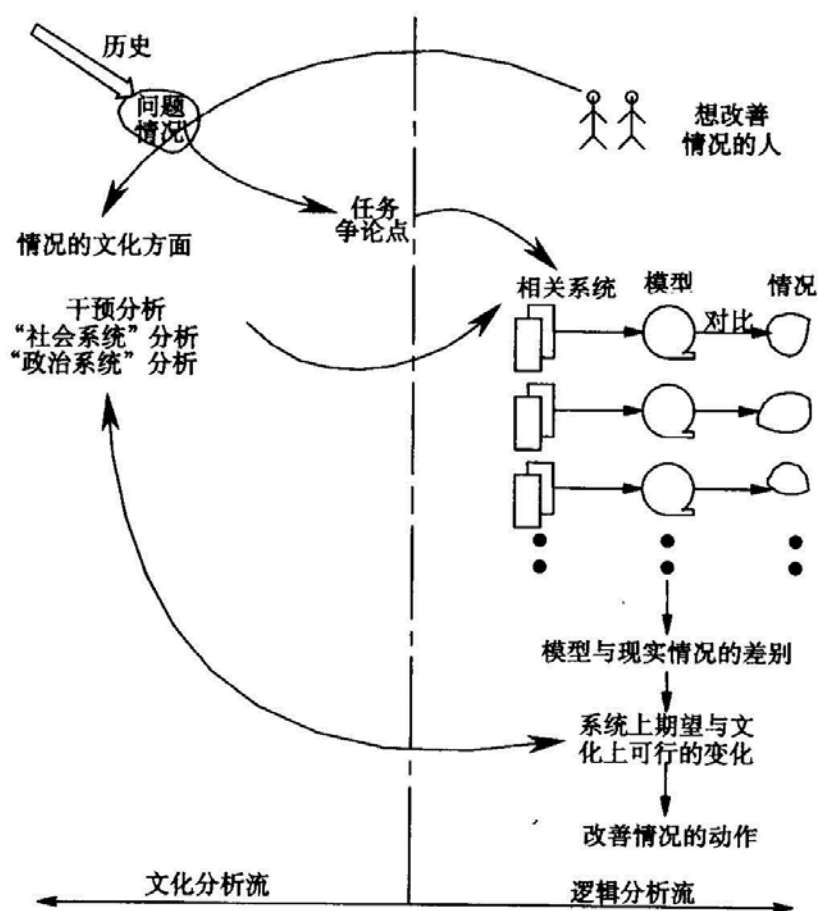


图 3-12 SSM 基本框架 (王连成, 202)

表 3-1 CATWOE 要素 (王连成, 2002)

要素	要素说明
C: 用户	转换的受益者
A: 行动者	做转换的人
T: 转换过程	将输入转换为输出
W: 世界观	转换所依据的观点
O: 占有者	能阻止转换进行的人
E: 环境约束	在系统之外影响系统的因素

③建立相关系统模型

在给相关系统命名之后, SSM 接着通过建立相关系统模型说明系统做什么。由于 SSM 处理的对象是人类活动系统, 因此建模语言使用动词。建模过程是组装和构造最少必要活动的过程。活动间的关系依据逻辑可能性用箭头表示, 如果活动 B 逻辑上依赖于活动 A, 则箭头亦由 A 指向 B。

由上述依据逻辑依赖性建立的系统是相关系统的操作子系统。除此之外, 人类活动系统的性质决定它必带有一个系统协调器, 即还有一个监视与控制子系统。该子系统依据“3E”(即效能、效率和效用)或“SE”除“3E”外, 再加道德和美学)准则监视并控制操作子系统的操作, 以使相关系统有可能适应航迹的变化。

④将模型与感觉的现实比较

建立模型的目的是将它们与感觉的现实比较，以判断如何改善现实的情况。比较主要用正式提问的方式引起讨论。讨论一般不是寻找在诸多与问题有关人员间在目的上的一致性，而是寻求他们之间的某种利益调节，并为此而采取行动。

基于逻辑的分析流所得到的是期望的相关系统。但这种相关系统是否可行还依赖于文化分析流的结果。

(2) 文化分析流

由 SSM 基本框架可知，在选择、命名相关系统和建立它们的模型的过程中，基于逻辑的分析流与文化分析流是相互作用的。文化分析流做干预分析、社会系统分析和政治系统分析三种分析，在 SSM 中，这三种分析分别叫做分析一、分析二和分析三。

①干预分析

对问题情况及其变化有影响的人所做的角色分析。人分为以下 3 大类，每类可能是一个或多个人：

委托人：能使研究发生的人。

问题占有者：问题情况的归属者。

问题求解者：想对问题情况做些工作的人。

②社会系统分析

对角色、规范和价值三要素间的相互作用所做的分析。角色是指被与问题情况有关的大多数人承认的一种社会地位；规范是指期望于角色的行为；价值则是判断角色实际表现的标准。

③政治系统分析

政治是调节不同人群间的利益的过程。因此，任何人类活动系统都包含政治维。政治依赖于力量及其配置，力量是指所用的手段及手段的作用机制。

通过以上三种分析得到的结论，是 SSM 寻求在文化上可行的变化。

SSM 与 HSM 在基本假定上的差别造成了它们所寻求的变化上的基本差别：前者在系统性上是期望的，在文化上是可行的；后者在系统性上是可行的，在文化上是期望的。

因此，SSM 是双重系统的，即不但它的过程本身是一个学习系统，而且还引起关于变化的讨论，并使用了系统模型。[49~52]

第二节 生态论

1.从生态思想到生态论

生态论 (ecologism)，就是运用生态思想，去探索世界，研究并指导人类社会的发展的一种基本理论与方法。

如果说，仿生学是指模仿生物建造技术装置的科学，那么，生态论也可以类似地说成是仿生态学。仿生学是在上世纪中期才出现的一门新的边缘科学。仿生学研究生物体的结构、功能和工作原理，并将这些原理移植于工程技术之中，发明性能优越的仪器、装置和机器，创造新技术。从仿生学的诞生、发展，到现在短短几十年的时间内，它的研究成果已经非常可观。仿生学的问世开辟了独特的技术发展道路，也就是向生物界索取蓝图的道路，它大大开阔了人们的眼界，显示了极强的生命力。

生态论则是一种方法论，是以生态观来观察世界、研究世界的一般方法。生

态论是建立在系统论基础之上的一种方法论，在继承系统论的一些基本理论与方法基础上，融入了生态学基本原理与技术，以及当代物理学、化学、生物学理论方法，尤其是吸收了统计物理学、流体力学、物理化学、生物化学以及系统生物学的主体理论与方法。

生态论理论与方法来源于生态学、数学、物理学、化学以及生物学等学科的理论与方法，并加以总结融合与提炼，然后又应用于包括上述学科在内各学科，如此循环，使得我们的方法论不断进步。

2.生态论与系统论

从认识论的角度看，生态论是继神论、机械论、系统论之后的一种认识论。神论（theism）认为，世界万物都是神创造的，神可以将他的意志或意思通过某些个别的人、通过某些事迹或事件、通过某些经典传达给世人。机械论（mechanism）把整个自然都解释成一个在运动中的、完全受制于物理学和化学规律的客观存在的体系。系统论（system theory）把世界理解为由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体，系统论在研究世界时，从系统、要素、结构、功能四个方面，重点研究要素与要素、要素与系统、系统与环境三方面的关系。

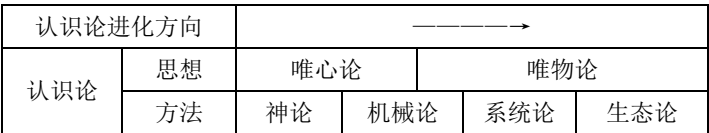


图 3-13 生态论在认识论中的位置（张国庆，2012）

象系统论继承了机械论的一些基本原理与方法一样，生态论也继承了系统论的一些基本原理与方法。生态论在分析研究世界时，在使用系统理论的同时，更加着重从研究对象的“生命”特征入手，分析其成长、消亡与再生，以及代谢、进化等“生命”过程。如果说，系统论与机械论是吸收数学与物理学的理论与方法话，那么，生态论则是在引入数学与物理学理论与方法的同时，在系统论的基础之上，还将生态学与生物学理论与方法融入其中。

3.生态论核心思想

生态论的核心思想是系统的“生命”观念。生态论认为，任何系统都可以看作是一个“生命体”，它不仅仅具有系统论中所具有的特性，还具有一定“生命”特征，如生命周期性、代谢性、进化性等。

（1）代谢（metabolize）

代谢，是系统为了维持系统的生存或运转，所必须进行物质、能量或信息的交换与循环过程。这种交换与循环可以是系统内部的，也可以是与系统外的环境进行交换与循环，也可能二者同时进行。代谢现象在生物界普遍存在，是生物存活的基础。同样，对于一般系统而言，由于系统的开放性，系统的运行必然存在物质、能量或信息交流。

表 3-2 生态论与系统论（张国庆，2012）

比较项目	生态论	系统论	机械论	神论
对象的整体性 (整体论)	$1+1 \begin{cases} > 2 & \text{成长阶段} \\ = 2 & \text{成熟阶段} \\ < 2 & \text{衰退阶段} \end{cases}$	$1+1>2$	$1+1=2$	神定
对象的还原性 (还原论)	不可完全还原；或者还原非常困难，只能近似还原	可还原，或者还原较为困难	可完全还原	不可知
对象的运动	生命运动	反馈运动，自组织	机械运动	随机运动，神定
对象的稳定性 (冗余性)	强	中等	一般	神定
对象的理想状态	和谐（追求节约、高效、稳定等之间的和谐）	平衡（一个或若干个目标优化或平衡）	极值（利益最大化）	神佑
对象的结构	生态系统结构	系统结构	机械组合	神造
对象的控制方法	生态调控	系统控制	机械控制	祈祷，祭祀
研究方法	生态学，系统学，生物学	系统学	物理学，化学	神治
对象的生命周期	$\begin{cases} \geq 2 & \text{进化或再生} \\ 1 & \text{其它} \end{cases}$	1	1	1，神定，不可知
对象的发展	成长，再生，进化	有序化	组合	神定
研究关注点	研究对象与环境之间的关系，以及与其它研究对象之间的关系	系统内子系统之间的关系，以及对于环境的输入与输出	元件	神示

（2）生命周期（life cycle）

即系统经历生长、成熟、消亡的过程。每一个系统都有一个初生、成长、成熟、消亡或再生、进化的过程，具有一定的寿命，或呈现一定的生命周期。在生物中，生命的周期现象非常普遍，在非生物界，也存在生命周期现象，如恒星演变，地球圈物质循环，人类社会的朝代更替，以及产品、品牌或企业的生命周期等等。

系统在发展过程中，有三条发展方向，一是系统逐渐衰老走向衰亡，系统解体后成为其他系统的构件，如生物的衰老死亡，死亡后的生物体被分解，重新进入生物圈的物质循环，再如企业破产，其资产被变价分配成其它企业资产。另外两条发展路线为进化与再生。

（3）进化（evolution）

进化，是指系统在发展过程中与所在环境相互作用，发生自适应（self-adaptive）变化，并能使自身的变化遗传下去。并非所有系统都能进化，只有高级的复杂系统才具有进化特性。例如生物的进化，人类社会的进步，法律的修订，产品的更新换代等等。

（4）再生（regenerate）

再生，是指即将或已经消亡的系统，为了适应环境变化，内部结构进行了巨大的调整，使得系统获得新生的生命力。再生，也是复杂系统才具有的特性，例如企业重组，机构改革，以及生物的自我修复等。

再生与进化的区别在于，进化是系统为应对环境变化，而对自身进行调整，系统并未处在衰亡期；再生则是系统衰亡或接近衰亡，重构（reconstruction）系统的过程。

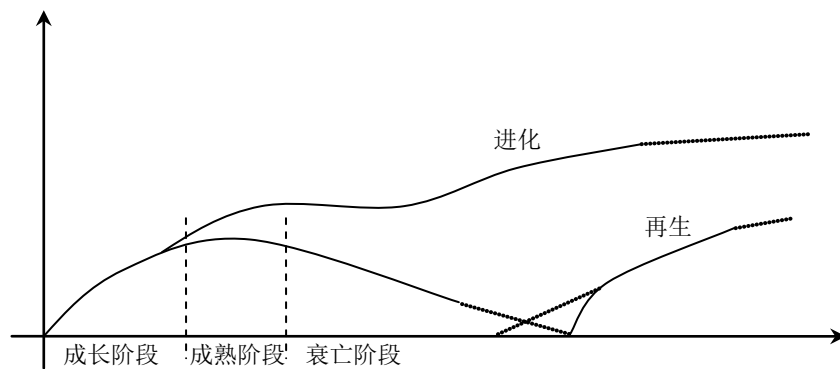


图 3-14 系统的进化与再生 (张国庆, 2012)

(5) 增殖 (proliferation)

增殖，是指系统在发展过程中，由一个系统增长成两个或两个以上的系统，新增加的系统继承了原系统全部或部分结构与功能。增殖，也是复杂系统才具有的特性，例如企业集团新增公司，生物的繁殖等。

由此可以看出，生态论重点关注的是复杂的系统研究，生态论为复杂系统模型化提供了理论基础与方法，尤其是为数学进入历史、法学、政治学、公共管理、中医学等研究领域提供了理论基础，随着现代监测和计算技术的发展，基于生态论基础上建立复杂系统仿真模型是可能的。

4.生态论基本方法

3.1 代谢分析

代谢分析，就是对复杂系统的物质流、能量流和信息流进行分析。在代谢分析中，物质流、能量流和信息流其实可以理解为广义的物质流，因为，能量、信息在系统中交换与循环时，都必须依托物质进行，也即能量与信息也是一种物质。为了明确区别，防止混淆，在进行代谢分析时，对系统中物质流、能量流和信息流统称代谢流 (metabolize stream)，‘物质流’仍指的是狭义的物质流，代谢分析也就转化为流分析。

代谢的分析方法，可以将复杂系统理解为一个复杂网络 (超图)，这样，就可以使用复杂网络分析技术和代谢动力学分析方法，对复杂系统的代谢流进行分析。

将表示代谢流的复杂网络，转换为状态·关系向量，则可以采用时空动态分析方法 (TSDA, Time-Space Dynamic Analysis of Event), [28]结合流体力学的理论与方法，对复杂系统进行分析。

3.2 场分析

场 (field)，是指系统在一定的时空内的分布，包括其所占的时空位置，以及与环境其他因子之间的关系。在宏观上，通过场分析，可以了解系统的场的范围 (宽度和重叠度)、强度和作用时间，进一步分析系统的竞争与共生情况。在微观上，可以对系统内各子系统进行同样的场分析。

场的分析方法，既可以采用物理学中的场论分析方法，还可以采用生态学中的生态位、种群、群落分析方法进行分析。

3.3 生命周期分析

生命周期的概念应用很广泛，特别是在政治、经济、环境、技术、社会等诸多领域经常出现，其基本涵义可以通俗地理解为“从摇篮到坟墓”（Cradle to Grave）的整个过程。

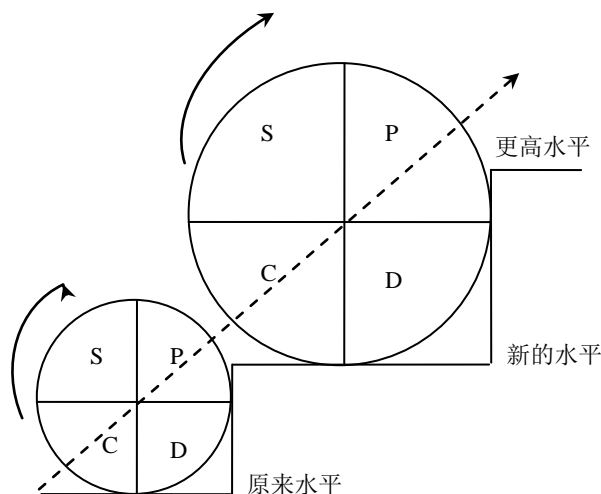


图 3-15 PDICS 循环（张国庆，2010）

对复杂系统而言，理想状态是，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期，即进化。当然，这对系统管理者来说，需要有很敏锐的观察力，以及准确的判断能力和决策能力。系统理想的生命周期可以用动态的 **PDICS** 表示。

P（Plan）计划，包括系统方针和目标的确定，以及系统的活动计划的制定；D（Do）执行，就是具体计划的实施运作；C（Check）检查，就是评估计划执行的结果；S（Study）学习，对评估结果进行处理，成功的经验加以肯定发扬，对于失败的教训要避免重现，并将学习结果遗传到下一轮计划中。

这样便形成了一个循环，这个循环叫做 PDICS 循环。对于本循环中难以解决的问题，应提给下一个 PDICS 循环中去解决。这样，通过周而复始的 PDICS 循环，推进系统不断进化。上述过程可以用下面两式表达为：

$$E_{i+1} = E_i + c_1 = R_i + c_2$$

E_i 为第 i 个 PDICS 循环计划期望值（目标）， E_{i+1} 为第 $i+1$ 个 PDICS 循环计划期望值（目标）， R_i 为第 i 个 PDICS 循环结果， c 为期望值增量。这个过程表示目标随着 PDICS 循环不断变化着的。

$$R_i = F_i[g_i(x_i), h_i(y_i), L_i, E_i]$$

若 x_i 、 y_i 分别为系统内部变量与外部环境变量； F_i 、 g_i 、 h_i 为作用方式， L_i 为互动因子，随着系统的发展，可能发生着变化。这个过程表示系统发展是一个互动的、完全的动态过程。所谓完全动态过程，就是指在某一过程中 $f(x)$ ，自变量 x 与作用方式 f 都是在变化着的。

在管理学中，PDICS 循环又叫 PDCA 循环（Plan, Do, Check, Act）、质量环、戴明环，是管理学中的一个通用模型，最早由休哈特（Walter A. Shewhart）于 1930 年构想，后来被美国质量管理专家戴明（Edwards Deming）博士在 1950 年再度挖掘出来，并加以广泛宣传和运用于持续改善产品质量的过程中。它是全面质量管理所应遵循的科学程序。全面质量管理活动的全部过程，就是质量计划的制订和组织实现的过程，这个过程就是按照 PDCA 循

环，不停顿地周而复始地运转的。

生命周期分析，其实质就是对系统的健康状态进行监测与评价，对系统实施科学管理，使得系统进化、再生或增值。当然，对于纯自然复杂系统而言，在没有人为干预下，这种过程在其内在机制驱动下，也可以完成这种周期性的自组织过程。

生命周期的分析方法，已经应用于企业、产品等的生命周期分析。对于一般复杂系统而言，可以借鉴生态健康的方法进行分析并进行管理[30]。

此外，将代谢分析与生命周期分析结合在一起，采用生命表（life table）分析技术对系统进行分析，可以对系统发展过程中关键的代谢流和关键节点进行详细分析，及时发现系统发展中的拐点（关键点）。

3.4 系统健康评价

（1）健康与系统健康

世界卫生组织章程序言中提出的：健康（health）是体格上、精神上、社会上的完全安逸状态，而不只是没有疾病、身体不适或不衰弱。有人指责它为可望而不可及的“乌托邦式”的定义，或认为这不是健康的定义，而是社会的奋斗目标，或称它是从社会学角度来理解健康。现代健康的含义并不仅是传统所指的身体没有病而已，根据“世界卫生组织”的现代健康的含义是多元的、广泛的，包括生理、心理和社会适应性三个方面，其中社会适应性归根结底取决于生理和心理的素质状况。

系统健康（system health），是指系统具有和谐稳定的结构，可以持续发挥完善的功能，并且安全可靠。

具有和谐稳定的结构，是系统健康的基础；发挥完善的功能是对健康系统的基本要求，也是系统设计的基本目标；只有安全可靠的系统才是健康的系统，安全性差，可靠性低，这样的系统会对其它系统造成伤害，也会危及系统本身安全。

显然，系统的健康不只是功能完好，而是包括“结构、功能、安全”三个基本方面，对不同的系统，可能还有其它更具体的要求。

系统健康，描述的是一种系统的状态，只有处在健康状态的系统，才能安全可靠地服务与人类社会，促进人类社会和谐发展。然而，由于经济利益或政治利益驱动，我们人类未经科学论证，就曾经制造出不少不健康的系统，造成环境污染、生态环境破坏，或者酿成巨大事故。

其实，“系统健康”就是广义的“健康”，现在许多场合下已经使用的“健康”一词，就是广义的“健康”。广义的“健康”，不仅仅是用来描述“人”，还可以描述某一系统或系统的行为。如“森林健康”、“生态健康”分别描述的是森林生态系统和生态系统，再如“促进社会健康发展”描述的是社会系统的发展行为。

（2）系统承载力

系统承载力（system capacity），是指某一系统在一定条件下，该系统所能持续提供的最大输入或输出能力。

系统承载力包括两层基本涵义，第一层涵义是指系统的自我维持与自我调节能力；第二层涵义是指系统的对输出供给能力与对输入容纳能力。系统的自我维持与自我调节能力反映的是系统的弹性或缓冲能力，而供给能力与容纳能力反映的是系统的容量。

（3）系统健康评价

系统承载力是反映系统健康状况的重要指标，当外界压力超出系统承载力时，系统就处在不健康状态，甚至会导致系统崩溃或消亡。因此，对系统健康状况的评价，可以从系统承载力分析着手。

系统健康状况，是反映系统整体状况的重要指标。系统健康状况的评价方法，可以采用

一般系统分析与评价方法，也可以借鉴生态系统健康评价方法进行评价，通过对系统健康状况的评价，不但可以了解系统的健康水平，更重要的是掌握系统潜在的隐患并进行风险分析，寻找对策化解隐患与风险。

3.5 系统健康管理

系统健康管理 (system health management, SHM)，就是指人类按照系统的健康状况，在遵从系统运行规律的基础上，对系统进行科学合理的开发利用与保护，使系统的结构、功能得以高效、和谐、持续运行。

显然，系统的健康管理，是在人的参与下进行。一般情况下，人是系统健康管理的主体 (subject)，系统则是客体 (object)。但是，就生态系统而言，由于人是生态系统的一部分，所以人既是主体，又是客体。

从系统健康管理定义可以看出：

(1) 生态系统的管理目标，一是保持系统健康，为人类社会发展提供服务；二是使不健康的系统尽快恢复健康，并使系统的健康持续保持下去。

(2) 从技术层面看，要实施系统健康管理，必须深入研究生态系统的结构、功能与过程，掌握其代谢流和系统场的时空动态变化情况，才能更准确地进行系统生命周期分析，得出较为准确的结果，进行较为贴近实际的系统模拟，制定科学的管理规划。

(3) 从管理过程看，系统健康管理是一个包含系统健康分析与评价、系统模拟、发展规划制定与系统仿真、规划实施与监督等过程，显然，系统健康管理是系统管理活动的主体 (main)，即系统的核心内容也就是系统健康管理。

5.生态论渊源

实际上，早在1923年，H. H. Barrows在其《人类生态学》就提出了生态论，1995年美国新墨西哥大学生物学教授James H. Brown在其著作《Macroecology》中提出的大生态学理论，随后，我国学者薛勇民（2004）、刘钧霆、程伟、宋雅杰（2010）、王夫玉（2010）等提出的广义生态学 (generalized ecology)、大生态学 (great ecology)、深生态学 (deep ecology) 等理论，可以说是生态论的萌芽。但是，这些理论只是普通生态学的拓展，还没有将其上升到方法论的高度。

在应用方面，生态学积极与各学科交叉融合，发展很快，形成了不少新的学科，如生态经济学、社会生态学、管理生态学、政治生态学、生态哲学、工业生态学、企业生态学、生理生态学等等。虽是如此，这些交叉学科也只是吸收了普通生态学的一般理论，没有将其转化为自己的方法论。

“生态论”一词，首先是美国地理学家巴罗斯 (H.H. Barrows) 在其《人类生态学》一文中提出来的。1923 年，美国地理学者巴罗斯提出人类生态学概念，他在美国地理学者协会会刊上发表了《人类生态学》一文，主张地理学研究的目的不在于考察环境本身的特征与客观存在的自然现象，而是研究人类对自然环境的反应，“地理学以弄清自然环境和人类分布、人类活动之间所存在的关系作为目标”，“以人类适应环境的观点，来观察这个问题较诸从环境的影响出发为明智”，人是中心论题，宣称地理学的中心课题是研究特定地区间的“人类生态学”。此处的生态论，实质上“生态调节论”。

2012 年 4 月 13 日，笔者在科学网博客上发表《生态论概述》，以及稍后在《现代农业科技》上发表的《生态论与经济生态化研究》，将生态论定义为研究复杂系统的一种方法论，提出了生态论核心思想与基本方法，对生态论的发展做了展望：如果将生态论与系统技术、现代数学技术相结合，融合现代物理学、化学与生物学理论与方法，就可以使得一些难以数学化的学科数学化，从定性分析研究转入定量或定性定量相结合研究，并可以借助现代计算

工具进行模拟分析。如，将生态论引入社会学，结合社会物理学研究成果，就可以对人类社会进行精细模拟计算；将生态论引入生物学，结合现有的虚拟细胞技术，就可以建立精细的人工生命模型，对生物体，尤其是人体进行精准模拟；将生态论引入有关企业科学，建立精确的企业运转模型、产品流通模型等，对企业的实时监控与实时动态模拟，实现对企业的精准管理。

此外，将生态论引入中医科学，结合现代医学技术，可以揭开当前中医诸多疑团，帮助中医的发展跃上新的台阶；将生态论引入人工智能科学，结合当前思维科学研究成果，可以建立更为稳定可靠、维护扩展方便的大型人工智能模拟系统。[27~32]

第三节 和谐论

1. 和谐论理论渊源

2004年9月16日至19日的中国共产党第十六届中央委员会第四次全体会议《中共中央关于加强党的执政能力建设的决定》中，提出“坚持最广泛最充分地调动一切积极因素，不断提高构建社会主义和谐社会的能力”，我国在此之后的几年中，形成了对“和谐”的研究热潮，不少学者围绕社会主义和谐社会构建的必然性、内涵以及如何构建和谐社会等问题，学术理论界进行了认真的研究，取得了极有价值的理论成果，但其中也有不少研究结论属于“解释的多，创新的少；牵强的多，深入的少；复制的多，自己的少”。

其实，和谐思想，古今中外早已有之。中国古代的和谐思想源远流长，在中国古人看来，和谐是一种美好的社会状态。在两周时期，太史伯就提出了“和实生物”的论断，他在《国语·郑语》中提出“和实生物，同则不继。以他平他谓之和，故能丰长而万物归之。若以同裨同，尽乃弃矣。”的和谐思想，指出“和”就是各种事物间、不同对立面相互配合、统一而达到平衡状态，“和”才能产生新事物；“同”就是某一面的自我同一，相同的事物放在一起，只有量的增加而无质的变化，不可能产生新事物，发展就停止了。并断言西周将灭，就是因为周王“去和而取同”，排斥直言进谏的正人，信从与自己苟同的小人。他所谓“以他平他”，是以相异和相关为前提的，相异的事物相互协调并进，就能发展；而“以同裨同”即是以相同的事物叠加，其结果只能是窒息生机。在这里贯穿太史伯思想的主线就是“和”，表明了“和”的重要性，这一思想就是中国早期和谐思想的萌芽。

在《易传》一书中，也极力提倡和谐思想，并提出了“太和”观念。北宋思想家张载指出：“太和所谓道，中涵浮沉、升降、动静相感之性，是生氤氲相荡胜负屈伸之始。”（《正蒙·太和篇》），“道”是中国传统哲学的最高范畴。在这里，“太和”便是道，是最高的理想追求，即最佳的整体和谐状态。《左传》用“如乐之和，无所不谐”诗一般的语言描绘了一幅社会和谐的图景。

我国和谐思想在儒家、道家和佛家中，又得到了进一步发展与提升。在儒家，有孔子的学生有子提出的“礼之用，和为贵。先王之道，斯为美。小大由之。有所不行，知和而和，不以礼节之，亦不可行也。”（《论语·学而》），孔子提出的“君子和而不同，小人同而不和”（《论语·子路》）和孟子提出的“天时不如地利，地利不如人和”（《孟子·公孙丑下》）。道家学派的典型代表有老子的“有无相生，难易相成，长短相形，高下相倾，音声相和，前后相随。”（《老子》第二章），“挫其锐，解其纷；和其光，同其尘，是谓玄同。”（《老子》第五十六章），以及庄子提出的“至阴肃肃，至阳赫赫。肃肃出乎天，赫赫发乎地。两者交通成和而物生焉，或为之纪而莫见其形”（《庄子·外篇·田子方》），“阴阳和静，鬼神不扰，四

时得节，万物不伤，群生不夭，人虽有知，无所用之，此之谓至一。”（《庄子·外篇·缮性》）等思想。佛家学派最具代表性的是“能善和谐，造作业果，转轮生死，无有穷已……能如此者，即是众生真善知识。不毁净戒能修禅定，增长觉慧能坏恶趣，得解脱道观四谛方。”（《无量罗刹集》），“佛之遗嘱，以戒为师。师训七支，弟子奉行。莫令污染，仁让贞信。和雅真正，战战兢兢，动静和谐，故言以戒为师也。”（《四念处》）。

在西方，毕达哥拉斯派的和谐观揭示了现实世界中存在的某些和谐现象，为艺术理论提供了有价值的思路 and 观点。在古希腊，哲学家毕达哥拉斯最早把“和谐”作为一个哲学范畴。从苏格拉底开始，“和谐”就被引入政治和社会领域，柏拉图在“理想国”里阐述了“公正即和谐”的观点，提出统治者、军人和劳动者三个等级应各司其职、互不干扰、都有节制。19 世纪德国哲学家黑格尔说，各因素的协调一致就是和谐。空想社会主义者把他们设计的理想制度称为“和谐制度”，但空想社会主义者的“和谐社会”脱离现实社会的经济基础，因而不能不以失败而告终。近代德国哲学家莱布尼茨提出《单子论》和黑格尔的和谐思想，以及当代西方哲学中的怀特海的合生思想、哈贝马斯的和谐观等等，这些都表明西方文化中关于和谐的思想有其深厚的文化传统，可以说，它植根于哲学，又在政治学、社会学中表现出来。

1.1 儒家的和谐思想

儒家的和谐思想，尤以孔子、孟子最为根本。在中国传统文化中，“和谐”思想可以理解为关于“和”的思想，最经典的表述就是“和为贵”。这一思想最早是由孔子的学生有子提出来的。有子说：“礼之用，和为贵。先王之道，斯为美。小大由之。有所不行，知和而和，不以礼节之，亦不可行也。”（《论语·学而》），认为和谐是天底下最珍贵的价值，是人间最美好的状态。

孔子是儒家学说的代表，孔子提出“和”的理念，在时间上要晚些，但他从更广阔的视角考察了所谓“和”的概念。和谐的本质在于统一多种因素的差异与协调、和的最高境界就是统一，万物并育和道并行是指“不同”，“不相害”、“不相悖”则是指“和”。孔子把不同的人能和谐相处，看作是做人的原则，是事物所应该具有的本质。因此，在中国传统文化中提到“和”的本质时，都会把孔子的“和而不同”看作经典。孔子认为“君子和而不同，小人同而不和”（《论语·子路》），强调了君子为人处世的道理，君子心胸宽广，善于听取别人的意见并敢于表明自己的观点。此外，孔子还极力主张中庸，认为不偏不倚谓之“中”，孔子还说过“过犹不及”（《论语·先进篇》），即为人处世和运筹决策，必须做得恰到好处，做过了头和做的不够，同样都是错误的。

孟子主张尽心、知性、知天，他把“心”、“性”、“天”统一了起来，这里的“天”主要是指道德之天、义理之天，“天”的根本德性是人的道德的本质，天人在德性上是可以相通的。孟子强调了人的心性与道德之天的合一，体现了一种人伦道德的和谐观。除此之外，孟子还十分看重“人和”。他所谓的“人和”，是指人民之间的团结一致，以及统治者与人民之间的协调关系。他把人心向背看作是统治者是否具备“人和”的基本条件，并把它提到决定事业成败的高度上来认识。

在儒家看来，人的存在与本体、本性的同一不仅仅是一个存在的事实，更是人的主体性自觉活动。唯穷理方能尽性，觉悟、理解天的本性。宇宙间唯有人才能够穷理，从而尽己之性、尽人之性、尽物之性、尽天之性。换句话说，人类只有把天道的复归看作是伦理道德的终极追求，才能够在尽己之性的同时尽人之性、尽物之性、尽天之性，实现人与万物乃至整个宇宙的共同完善；人只有超越小我的局限，复归于天道本体，才能实现生命的终极价值与永恒。

1.2 道家的和谐思想

道家的和谐思想，源于老庄。老子是道家学说的创始人，道家思想的精髓是“道”，而“道”的精髓是“和”。“有无之相生也，难易之相成也，长短之相刑也，高下之相盈也，音声之相和也，先后之相随，恒也。”（《道德经》第二章），体现了事物之间都是相互矛盾、对立统一的观点。老子曰“万物负阴而抱阳，冲气以为和”（《道德经》第四十二章），也就是说，事物都分为阴阳两个相对的方面，而“冲气”在其间起着协调的作用。“和”是万物之间达到平衡的一种最佳状态。“冲气为和”，说的是事物相互之间产生矛盾的两个方面；“高者抑下，下者举之，有余者损之，不足者补之。”（《道德经》第七十七章），指的是事物之间的关系都是相辅相成的，存在矛盾的事物之间在遵循自然规律的前提下，如果能够适当的调整，通过变化就能达到和谐这种最高境界。

老子曾经提出“挫其锐，解其纷；和其光，同其尘，是谓玄同。”（《道德经》第五十六章），这是一种对于如何构建和谐的解释，只要找到矛盾所在，用适当的方式进行调节，就能达到事物的和谐。

《庄子》一共收录了三十二篇文章，其中就有五十七次提到了“和”。庄子认为，“和”是万物存在的根本，事物皆由“和”而生。所表现的也一种事物之间高度和谐的境界，表现了一种人与自然界、人与社会以及人与人之间能够和谐相处的美好愿望。庄子在讲“和”是万物存在的根本时说：“至阴肃肃，至阳赫赫。肃肃出乎天，赫赫发乎地。两者交通成和而物生焉，或为之纪而莫见其形”（《庄子·外篇·田子方》），意思是说，事物是由天地间两股至阴至阳的气流相互融合，最终达到和谐统一而生。庄子还认为：“阴阳和静，鬼神不扰，四时得节，万物不伤，群生不夭，人虽有知，无所用之，此之谓至一”（《庄子·外篇·缮性》），这也是强调了万物之间的和谐统一的重要性。“鱼相忘乎江湖，人相忘乎道术”（《庄子·内篇·大宗师》），渴望人和人之间就像鱼和鱼之间一样自由自在地生活，肯定了人作为一种客观存在的事物，必须协调处理好人与社会和人之间的关系。

1.3 佛家的和谐思想

佛学是浩瀚的中国文化天空中一颗璀璨的明星，佛家文化中同样离不开“和谐”思想。所谓“能善和谐，造作业果，转轮生死，无有穷已……能如此者，即是众生真善知识。不毁净戒能修禅定，增长觉慧能坏恶趣，得解脱道观四谛方。”（《无明罗刹集》），指的是人的一切生死轮回、因果报应，全部缘起“和谐”。如果达到了“和谐”的境界，就能超越一切，得到解脱。还有佛家学说中的“佛之遗嘱，以戒为师。师训七支，弟子奉行。莫令污染，仁让贞信。和雅真正，战战兢兢，动静和谐，故言以戒为师也。”（《四念住》），“今以平等空中出声导之，和谐两家不学偏执。”（《维摩经疏》），“平等即不偏不倚的中空，和谐两家即是中道，以和谐思想行中道，必得自由解脱。”（《维摩经疏》），说的都是和谐思想。

儒道两家的和谐思想在中国和谐文化中最具代表性，而佛家文化则是从印度传入我国，又与我国的传统文化相互融合，体现了一种圆融性的思维模式，也同样具有和谐文化的代表性，只是用一种与众不同的方式来诠释和谐。

中华民族的历史表明，追求和谐是中华民族的基本价值目标。如果事物之间缺乏了和的因素，那么，它就不可能产生新的事物，也不可能生机勃勃，而会出现“同则不继”的现象。

“和”的蕴意非常深刻，诸多性质不同或对立的因素构成一个有机的统一体，这些相互对立的因素相互补充、相互协调，从而形成新的状态，产生新的事物，用“和”洞悉自然，用和感悟人生，用和来审视社会，孔子之后，诸子百家之所以认同“和”，崇拜“和”，就在于“和”的本质充满了大智大慧的深刻哲理。

1.4 西方的和谐思想

古希腊哲人亚里斯多德也有着中庸主张，他说，不偏不颇，出于两个极端的中间，是谓中庸。认为人的一切行为，都有过度、不及和适中三种状态，过渡和不及都是恶性的和错误的决策，只有适中才是美德和正确的决策。他还把这一原则运用到社会政治领域，认为人民大贫和大富都不好，应该拥有适度的财产的中产阶级为主体，只有这样才是最美好的。

在孔子和亚里斯多德的思想中，中庸不仅是一种最高尚的美德，而且是一种正确的思想方法。一般来说，社会和谐作为人类共同追求的价值目标，同样是西方思想家理论构建的内容，从而使西方文化中也有许多和谐观念。西方文化中关于和谐与和谐社会的思想有其深厚的文化传统，可以说，它植根于哲学，又在政治学、社会学和空想社会主义理论中表现出来。

在西方哲学史上，古希腊哲学家毕达格拉斯基于作为本原的数之间所存在的一定关系和比例，最早明确提出了“天体和谐”的概念。他认为，正是这些关系和比例产生了和谐。赫拉克利特则率先在关于和谐范畴的研究中运用了辩证思维的方法，阐释了“对立和谐”的思想。其后，苏格拉底有意识地将和谐概念引向社会，在社会大系统中进行研究和拓展，初步提出了“社会和谐”的理论。柏拉图在其人性论中确立了“灵魂和谐”的目标，并以此作为社会实现和谐的前提和基础。亚里士多德则从“中庸”立场出发，强调协调贫富、避免矛盾和冲突，从而实现社会和谐的意义。应该说，古希腊哲学的理性认知是人类对和谐概念的最初理论成果，它构成了其后一切以“和谐”为旨趣的理论探讨的源头。

中世纪的哲学并没有停止对和谐问题的关注和研究，而是将对和谐问题的探讨局限于宗教神学的理论框架或语境中。概括中世纪哲学家的观点，或以上帝的至高无上的权威作为诠释自然与社会和谐的根据，或以自然和社会的和谐来论证上帝这个“智慧的存在者”的存在。中世纪哲学对神学的奴颜婢膝，人类对于和谐问题的探索引入歧途，然而，“谬误在天国的申辩一经驳倒，它在人间的存在就陷入了窘境”（《欧洲哲学史再编》P1，湖南人民出版社，1987年9月）。

近代以来，随着人道主义思潮的蓬勃兴起，笼罩在人类思维方式上的宗教神学的阴霾被荡涤殆尽，和谐问题才得以以崭新的方式被继续研究和拓展。“彼岸世界的真理消逝以后，历史的任务就是确立此岸世界的真理。”（《欧洲哲学史再编》P2，湖南人民出版社，1987年9月），正是在这样的时代契机中，和谐作为一个重要的范畴纳入了近代哲学的理论视野。莱布尼茨对和谐问题作了大量的系统论述，提出了所谓“前定和谐”的理论，构建了一种“毕达格拉斯——柏拉图式的宇宙观的基础和指导原则”，充分论证了“宇宙是一个由数学和逻辑原则所统率的和谐的整体”。黑格尔则在其概念的逻辑演绎中批判了莱布尼茨这种抽象空泛的和谐，并在肯定赫拉克利特对立和谐思想的基础上，提出了辩证和谐观。显然，正是经由近代哲学的不懈努力，人类对于和谐问题的认知才得以最终摆脱宗教神学的思想羁绊，重新回归理性的轨道。

从古希腊哲学家毕达哥拉斯最早把“和谐”作为一个哲学范畴开始的西方和谐思想，和谐思想逐渐从纯哲学转入“和谐社会”。赫拉克利特在肯定和谐价值的基础上提出“对立和谐观”，认为自然是从对立的東西产生和谐，而不是从相同的东西产生和谐。苏格拉底把“和谐”引入政治和社会领域，柏拉图阐述了“公正即和谐”的观点。亚里士多德则认为，一个国家的政权应该由中等阶层来掌握，这样就能很好地协调贫富两个阶层的利益，避免矛盾和冲突，从而实现社会的稳定与和谐。1803年，法国空想社会主义者傅立叶发表《全世界和谐》一文，指出资本主义制度必将为“和谐制度”所代替；1824年，英国空想社会主义者欧文把他在美国印第安纳州进行的共产主义试验，命名为“新和谐公社”；1842年，德国空想社会主义者魏特林在《和谐与自由的保证》一书中把社会主义社会称为“和谐与自由”的社会，并指出新社会的“和谐”是“全体和谐”。

（1）古希腊哲学中的和谐思想

毕达哥拉斯是古希腊哲学家中最具代表性的人物，他第一个明确把和谐作为了哲学的根本范畴。实际上，毕达哥拉斯派关于数的理论与和谐的理论是联系在一起的。他们研究音乐节奏的和谐，发现声音的长短、高低、轻重等差别是由发音体的差别所决定的。而音乐节奏的和谐，则是由长短高低轻重不同的音调按一定数量的比例所组成的。传说有一次毕达哥拉斯路过一家铁铺，听到几个铁锤一起打铁时发出和谐的声音，就发现铁锤的重量成一定的比例。为了证明自己的发现，他做了一个实验，在一个有活动弦马的单弦上，调节弦马以获得不同的声音，如 1：2 得八度音，2：3 得五度音，3：4 得四度音。于是，他得出结论，音乐的和谐是由数的比例所决定的。根据这个结论，他们还研究了建筑、雕刻艺术，揭示了产生美的效果的比例关系，提出了著名的“黄金分割”，即认为最美的线形是长与宽成一定比例的长方形。

据此，毕达哥拉斯派进一步把这种和谐现象的描述夸大至宇宙。在他们看来，和谐无所不在，不仅宇宙中的万事万物都存在着和谐，而且这种和谐是绝对的，正是这种绝对的和谐构成了他们所谓的宇宙秩序。

毕达哥拉斯派的和谐观揭示了现实世界中存在的某些和谐现象，为艺术理论提供了有价值的思路 and 观点，譬如黄金分割等，而且猜测到了自然界的一些规律。但是，由于他们把和谐片面地夸大和绝对化，导致他们的理论和观点陷入了唯心主义。

（2）西方近代哲学中的和谐思想

西方近代和谐观的代表首推莱布尼茨和黑格尔。近代德国哲学家莱布尼茨提出《单子论》。他认为，世界上的一切事物都是由“单子”组成。单子“没有可供事物出入的窗”。每一个单子都是一个封闭而又孤立的系统，它们同周围的其他单子并不发生相互关联。然而，从整个世界看，单子与单子构成的复合体间的单子又是密切联系着的。正是这种密切联系，构成了世界的和谐。这样，单子本身的封闭性与单子之间的现实联系就构成了矛盾。黑格尔批判了莱布尼茨的“预定和谐”或“前定和谐”论，认为这种由上帝确定的“和谐”只不过是一种“抽象的统一”。他认为，第一，世界是一个由诸多矛盾构成的整体；第二，各种矛盾相互对立；第三，正是在对立的基础上，各对矛盾的冲突才达到更高层次的统一；第四，是黑格尔和谐观的正题，意味着世界应当是和谐的；第五，它意味着世界在实际状态下的不和谐；第六，则是作为正题与反题统一的合题，意即通过矛盾及其运动，世界走向和谐。黑格尔的思想，不仅把和谐看作是包含差异与对立于自身之内的统一，即“本质上的统一”，从而揭示了和谐产生的原因，而且还明确地把和谐看作一个过程，一个矛盾不断产生又不断解决的过程，解决矛盾才能形成和谐。这一思想无疑比毕达哥拉斯派和莱布尼茨的和谐思想要深刻得多。

（3）当代西方哲学中的和谐思想

哲学作为时代精神的精华，是对现实的体现和把握。当代西方社会的分化与整合并存的现实，使当代西方哲学兼具分析与综合两种倾向。当代西方哲学中的科学主义和人本主义都有关于和谐的论述。科学主义研究了结构的和谐、社会的和谐、宇宙的和谐等。人本主义不仅研究了人与自然、人与社会的和谐，而且在批判人的异化现象中，高扬了生命的和谐。其中最具代表性的是怀特海的合生思想与哈贝马斯的和谐观。

怀特海的合生思想是在他的创生性理论中提出来的。怀特海对创生性是指诸共相的共相，刻画了终极的事相，是终极的原理。只有借这个原理、繁多——即分离的宇宙，才能成为复合的统一体——即结合的宇宙。他主张，创生性是新事相原理，借创生性的作用，先前不存在的新事物得以存在。这是实际存在体创生过程中的主要活动，这个过程就被叫做合生。在这里，怀特海强调多成为一，又因一而增多。任何一个实际存在体的创生，都是宇宙中的一个新事物；而任何一个新事物，都可表征某类在过去不曾存在的性质。因为创生的历史永

无终止，所以世间新事物的出现也就永无止境。怀特海不仅强调了一与多的联结和新旧事物的联系，而且把宇宙看作是万事万物结合的产物，也就是和谐、协调的产物。因而，和谐是生成的而不是既成的，不是一经形成就永久不变的。

哈贝马斯的和谐思想源于交往理论。一般来说，哲学观念往往都是一定方法的产物。交往理性是现代哲学的一种新方法。这种方法对方法论的贡献在于，把意识与对象的关系看作意向行为通过意向对象而不断显现、建构自己的过程。哈贝马斯的交往理论则认为，以交往为中心的理性重建工作主要有三个层次构成，其中第一层次是交往的一般理论，中间层次是研究交往的资质的学说，最高层次则是有关社会进化的理论。在这个理论体系中，哈贝马斯不仅深入到语言学中探寻人类交往的始源根据，而且试图以历史与逻辑相统一的原则把握人类的交往。他的这一思想在当代西方哲学中有重要影响，其中在交往及其构成、交往所实现的协调统一的论述中所包含的和谐思想更是应当充分肯定的。

2.和谐社会理论概述

2.1 和谐社会的理想结构及特征

人是社会的人，人作为社会存在的事物相互交往而构成社会。由于生产力的发展水平不同，人们之间的交往所构成的局势、形成的结构也不同。要追求社会和谐，必须建构起理想的社会阶层和结构。由此，西方的哲学家们开始了各自的探讨，最先把和谐引入哲学领域的是古希腊的苏格拉底，苏格拉底的学生柏拉图根据苏格拉底的思想提出了以反对现存国家政治为目的的理想国家的方案。

在柏拉图的理想国中，除奴隶外（奴隶不被当人看），公民被分为统治者、武士、农工商人三个等级，柏拉图认为统治者具有智慧这种品德，凭知识和智慧进行统治。武士应具有勇敢这种美德，以履行保卫国家为职责。节制是第三等级（劳动群众）的美德，有节制才能服从管理。

亚里士多德认为，国家是行业和职能各异的分子的结合，而最基本的成分是统治者和被统治者，而“奴隶是自然而成为奴隶的”。这是因为，一，优劣高下及其统治与被统治的关系，乃是自然的关系。主人高于并统治奴隶只是众多必然关系中的一例。二，理性是人才有东西，奴隶没有理性，仅有情欲并非理性的东西，奴隶不是人，但奴隶能感应主人的理智而区别于动物。至于政权则只有处在中间层次的人才有权来掌握。他认为，富人当权必然建立寡头政体，而穷人得势则会建立民主政体。然而问题是，这两种政体都是不好的，因为都会造成富人与穷人的敌视和对立。只有处于中间阶层的出来掌握政权，才能有效地避免发生冲突，从而最终实现社会的和谐。

显然，在维护奴隶制方面，亚里士多德也和柏拉图一样，把人们分为三个等次，但他用来衡量人的尺度是财产，即十分富有的阶层、十分贫穷的阶层、介于二者之间的阶层。根据中道的原则，亚里士多德认为一个国家的不是神的产物，这在社会思想史上无疑是一种进步。但是，由于这一理论只停留在契约的水平上，没有看到契约背后的利益关系，因而是肤浅的。

随着人们认识水平的提高，近代资产阶级的思想代表在和谐社会的构成方面提出有了一些卓有见地的观点：

（1）社会和谐是通过约束和限制达到的

托马斯·霍布斯认为，社会是一个通过契约联系起来的结构体。在自然状态下，由于没有社会契约，人们处在战争之中，为了使人们不至于相互厮杀，必须制定出某种契约把人和国家联系起来，用国家法律规定的方式来保障社会秩序与和谐。这种理论把社会看成是人的产物，而作为奴隶应听命于主人。在一个社会里，体力劳动和脑力劳动的分工是必然的，并且总是脑力劳动者统治体力劳动者。

霍布斯之后的约翰·洛克则把这一理论向前推进了一步。洛克认为，在自然状态下，人与人之间是和平相处的，但正是由于私有财产给人们带来的人与人之间的不平等导致了社会的不和谐。社会契约所要协调解决的是公共权力和公共利益问题。霍布斯和洛克都把社会和谐看作是社会契约的产物。由于契约在本质上是一种约束，当他们把社会和谐归纳于社会契约时，也就把约束和限制引入和谐观。

（2）社会和谐与社会制度相联接

乔巴蒂斯坦·维科认为，让会是一个动态的结构体。他在1725年出版的《新科学》一书中指出，这种结构在于社会制度与人的关系。无论是社会制度还是它与人的关系，都是人们行动的产物。社会历史就是各种冲突与混乱的个人行动联结起来形成统一的过程。在这里，统一以混乱和冲突为前提，融入与冲突的消解是一个过程，这一过程也就是人们从建立制度走向和谐的过程，这种社会观肯定人们的能动性及其结果，把和谐与社会制度联结起来。

（3）和谐即平衡

孟德斯鸠认为，社会是一个整体结构。他在《论法的精神》一书中探讨了社会结构问题，认为任何社会都不是由单一因素构成的，社会的存在取决于许多因素的共同作用，社会是许多因素平衡的产物。在社会中，个人在精神力量同物质力量无休止的相互作用中，纯粹是消极被动的。而美德、荣誉和畏惧创造了社会统一，维护了社会秩序。在这里，孟德斯鸠看到了社会结构内在的相互作用及其对个人的制约，但他把这种制约强调到纯粹消极被动的程度，显然抹杀了个人结合成群体后能动性这一方面。同时，他把社会统一与秩序的基础归之于精神追求与压力，也是不妥当的。实际上，人们对于美德、荣誉等精神追求，在归根结底的意义上，还是为了获得某种利益，而畏惧的形成，一般也是出于维持某种既得利益。孟德斯鸠把社会看作诸多因素平衡的产物，包含着对和谐即平衡的肯定。

（4）社会和谐是各等级之间的协调

亚当·斯密认为，社会是一种“等级”结构。在他看来，商业的发展产生了一种由地主、资本家和劳动者三大等级构成的社会。而地主、资本家和劳动者三大等级的区别就在于，它们分别靠地租、股份和工资生活。亚当·斯密这种关于社会结构的分析，虽然只停留在分类的水平上，但是他说明了社会分化的基础和权势的本原，即财产关系。他从经济上解释社会的这一思想，为马克思主义阶级分析理论的形成，提供了开拓性的尝试。当然，由于他从人的利己本性出发解释经济与社会之间关系，因而未能对社会及其构成给予正确的说明。但是从亚当·斯密的思想中，可以看出他关于社会和谐的看法，首先，社会是一个等级结构，因而和谐也就是指各等级之间的协调；其次，各等级的区别在于经济，那么和谐的基础也在于经济。

（5）社会和谐作为合乎规律的现象是客观的

奥古斯特·孔德认为，社会是一种有规律的构成。这意味着，社会现象是合乎规律的。在他看来，社会学的任务就是发现社会现象之间经常的、重复出现的联系，即规律。这种看法试图把唯意志论以及夸大伟人作用的观点从社会学中清除出去。在这个意义上，孔德关于社会的看法与马克思主义的社会历史观，具有某种程度的一致。孔德试图通过认识社会规律而建立社会学的构想，对于今时流行的否认科学认识社会的神学与唯灵论观点，是一种冲击。遗憾的是，孔德并没有把自己的观点坚持到底。他提出的社会学理论，大多具有思辨色彩，不符合他本人的初衷。但是我们仍然可以从中看到他关于社会和谐的构成的看法。在他看来，首先，社会作为有规律、合规律的存在意味着社会和谐也必须是合乎规律的。其次，社会规律既不是上帝的旨意，也不是某个伟人的意志，而是客观的，那么社会和合乎规律的现象也应当是客观的。

2.2 马克思主义经典作家关于和谐社会的重要思想

马克思和恩格斯在继承和发扬人类文明的成果上，研究出了一套科学的社会主义理论。它包含了很多关于和谐社会的理论。马克思认为，所谓的和谐社会主要有四个方面的因素：

（1）在批判资本主义不和谐的同时，提出了建立社会主义和谐社会的历史必然性。马克思、恩格斯认为，资本主义创造的文明成果虽然超过了以往一切社会，但是，资本主义是在种种不和谐的矛盾中产生和运行的，它仍然是片面发展和严重失调的社会，其中充斥着社会不平等和两极分化，存在着尖锐的阶级对抗，其社会发展以牺牲工人阶级和其他劳动人民的利益为代价。马克思、恩格斯在批判资本主义不和谐的同时，通过对人类社会发​​展规律的分析，提出了只有用共产主义代替资本主义，才能真正实现社会和谐。这是因为，人类社会是由低级向高级不断发展的过程，是由不和谐向和谐不断发展的过程。资本主义社会作为人类社会发​​展进程中的一个阶段，它的产生、发​​展处处受到社会基本矛盾的支配和制约。资本主义社会生产力和生产关系的矛盾、经济基础和上层建筑之间的矛盾，给社会造成了极度的不和谐。要消除这对矛盾，就必然要求用社会主义制度代替资本主义制度。社会主义的本质，是解放生产力，发展生产力，消灭剥削，消除两极分化，最终达到共同富裕。尽管社会主义制度由不完善到比较完善要经历一个长期的过程，但毫无疑问，这一制度已经显示出了它的优越性，表现出强大的生命力。今天，我们为共产主义理想而奋斗，在某种意义上，就是在为争取社会和谐而奋斗。

（2）在揭示事物运动发展的辩证过程时，提出了人与人、人与自然、人与社会和谐统一的思想。马克思、恩格斯运用唯物辩证法揭示了人与人、人与自然、人与社会的辩证关系。他们认为“每个人的自由发展是一切人自由发展的条件”（《共产党宣言》），就是说，每个人的发​​展不仅不妨碍他人的发​​展，而且是他人发​​展的条件，这就从根本上回答了人与人之间是一种和谐的关系。在马克思的论述中，人与自然是一对和谐的关系实体。一方面，人在人与自然的发​​展中占主体地位，人类在不断地与自然界进行物质、能量、信息交换的过程中，改造了自然，也创造了自然。另一方面，在人确定了自身在人与自然关系中的主体地位的同时，却不能否认自然对于人的“优先地位”，因为“人是自然界的一部分”，并且“人靠自然界生活”，“社会是人同自然界的完成了的本质的统一。”（《1877年经济哲学手稿》）。为此，马克思提出了人与社会和谐统一的思想。他们认为，人和社会是不可分的，人是社会的主体，社会是人的存在方式和存在形态。人的发​​展与社会发​​展也应该是和谐统一的。人的发​​展与社会发​​展是同一个过程的两个层面，同时与社会的全面可持续发展又是相互促进的。社会发​​展与人的全面发​​展的和谐一致是马克思、恩格斯关于未来和谐社会的重要思想，也是马克思主义追求的价值目标。

（3）在分析历史发​​展的规律性时，提出了生产力与生产关系、经济基础与上层建筑相适应、经济和社会协调发​​展的思想。马克思、恩格斯认为，人类社会是在生产力与生产关系、经济基础与上层建筑的矛盾运动中不断发​​展的。生产力与生产关系、经济基础与上层建筑相互制约、相互作用。生产力的发​​展状况决定生产关系的性质和发​​展变化，生产关系对生产力具有反作用；经济基础的发​​展状况决定上层建筑的性质和发​​展变化，上层建筑对经济基础具有反作用。生产关系一定要适合生产力发​​展状况、上层建筑一定要适合经济基础发​​展状况，这一规律是人类社会发​​展的基本规律。这种适合、匹配就是一种和谐。但是，这种和谐不是绝对的、永恒不变的，随着生产力的发​​展和经济基础的变迁，又会由适应变为不适应，由和谐变为不和谐，其矛盾通过自身的调整来解决。马克思、恩格斯关于未来理想社会还蕴含了经济和社会协调发​​展的思想。他们认为，人的全面而自由的发​​展，有赖于经济和社会的协调发​​展，只有在生产力不断发​​展和高度发达的基础上实现了经济和社会的全面协调发​​展，才有可能实现每个人的全面而自由的发​​展。

(4) 在构想“自由人的联合体”时，提出了人的全面自由发展是和谐社会的本质规定。在《共产党宣言》中，马克思、恩格斯第一次向全世界宣告了共产主义的伟大理想：“代替那存在着阶级和阶级对立的资产阶级旧社会的，将是这样一个联合体，在那里，每个人的自由发展是一切人的自由发展的条件。”这里所说的“每个人的自由发展”，主要是指人的各种能力和潜能充分发挥，人的多样性需求不断得到满足，人的社会关系日益丰富，人与自然和谐共生，人的自由个性充分发展。未来和谐社会的核心就是在自由人的联合体中实现人的全面和自由发展。这里的“人”既是指社会中的每个人，也是指社会全体成员。所谓“自由”，主要是指人们将摆脱那种终身固定于某种职业分工、使人的才能受到束缚抑制的桎梏，每个人都可以结合社会的需要和自己的兴趣、特长，自由地选择和变换工作，全面地发挥自身的能力，既为社会做出最大的贡献，又使自己成为真正全面发展的新人。所谓“全面”，主要是指人的各项素质和能力的全面养成和提高。他们所说的人的自由全面发展包括两层含义：个人的全面发展与人类整体的全面发展的和谐统一；人的全面发展与人的自由发展的和谐统一。在马克思、恩格斯看来，人的自由全面发展的实现，就是人自身的和谐发展。人自身的和谐发展是个理想目标，是人的充分发展、最大限度地发展，是人发展的一种最理想的状态。完全达到这个状态需要经过一个不断提高、不断完善的渐进过程。只有实现共产主义，为人的发展创造充分必要的条件，才能真正实现人的自由全面发展。

2.3 马克思主义和谐思想在中国的继承和发展

中国共产党把马克思主义关于社会主义和谐社会的理论运用于中国的实际，指导新民主主义革命、社会主义革命、社会主义改革和建设，取得了巨大的成功。这一实践不仅雄辩地证明了马克思主义理论的科学性，而且发展了马克思主义理论。历史表明，中国共产党自成立之同起就把实现共产主义作为自己的最高纲领和理想。和谐既然是科学社会主义即共产主义的必然属性，那么中国共产党要实现自己的最高纲领就包含着最终实现社会的和谐。实际上，中国共产党人无论是在革命时期还是在建设时期，都始终不渝地追求着社会的和谐。他们推翻旧社会，建立新中国是为了社会的和谐；处理各种矛盾，探索社会主义发展规律是为了社会的和谐；实行改革开放，建设中国特色社会主义同样也是为了社会的和谐。可以说，中国共产党人的奋斗史就是一部不断追求社会和谐的历史。

(1) 毛泽东

毛泽东在运用马克思主义于中国实际的过程中，首开马克思主义中国化之先河。他在探索中国社会主义的发展规律中，不断探索着构建社会主义和谐社会的条件、途径和方法。

实事求是毛泽东思想的出发点和根本点，也是构建社会主义和谐社会的思想路线，坚持实事求是的思想路线，首要的一条是一切从实际出发，而不是从本本出发、从主观愿望出发。党内的教条主义往往从马列主义的本本出发，从共产国际的决议和指示出发，照抄照搬外国经验，导致革命和建设的失误。毛泽东针对主观主义的危害，尖锐指出：“科学的反马克思列宁主义的主观主义的方法，是共产党的大敌，是工人阶级的大敌，是人民的大敌，是民族的大敌，是党性不纯的一种表现。大敌当前，我们有打倒它的必要。只有打倒了主观主义，马克思列宁主义的真理才会抬头，党性才会巩固，革命才会胜利。”（《毛泽东选集》第三卷，第800页），坚持实事求是的思想路线，必须处理好理论与实践的关系，做到理论与实践的统一。在学习理论方面，毛泽东提出在全党开展学习竞赛，要求每一个中国共产党员系统地而不是零碎地、实际地而不是空洞地学习马克思列宁主义。

毛泽东虽然没有明确地提出构建社会主义和谐社会的思想，但他所确立的实事求是的思想路线却是指导我们一切工作，包括构建社会主义和谐社会的实践的出发点。或者说，在构建社会主义和谐社会的实践中，我们必须坚持实事求是的思想路线。20世纪50年代，毛泽东在总结我国社会主义建设经验教训的基础上，写成《论十大关系》和《关于正确处理人民

内部矛盾的问题》等著作，提出了他关于社会主义社会基本矛盾、两类矛盾的理论，为社会主义社会的改革，为调动一切积极因素建设社会主义，提供了理论根据。由于这些观点本身就包含着对于社会和谐的追求，它不仅仅反映了我国现代化建设的一些重要规律，也为我们党确定正确的路线指明了方向，对于我们今天构建社会主义和谐社会具有指导意义和影响。

（2）邓小平

邓小平虽然没有直接提出和谐社会的概念，但他接受了中国传统和西方现代社会和谐思想的熏陶，继承和发展了马克思主义科学社会观。在总结革命和建设成功与失败的经验教训过程中，在设计我国改革开放和社会主义现代化建设的伟大事业中提出了一系列实现社会和谐的思想。他的这些和谐思想对于我们今天构建社会主义和谐社会具有重要的理论指导意义。第一，以发展为主题。邓小平始终强调发展才是硬道理。他认为：“中国的主要目标是发展，是摆脱落后，是国家的力量增强起来，人民生活逐步得到改善。”（《邓小平文选》第三卷，第 244 页），把握时代的主流，将发展提高到一个战略高度。第二，注重物质文明建设与精神文明建设。邓小平认为，有中国特色的社会主义是一个物质文明与精神文明共同发展的和谐社会。他指出：“我们要建设的社会主义图家，不但要有高度的物质文明，而且要有高度的精神文明。”（《邓小平文选》第二卷，第 367 页），“我们要在建设高度物质文明的同时，提高全民族的科学文化水平，发展高尚的丰富多彩的文化生活，建设高度的社会主义精神文明”（《邓小平文选》第二卷，第 208 页）。只有政治、经济和文化三个方面都能和谐发展，才是有中国特色的社会主义。第三，避免两极分化。邓小平始终强调，让一部分人先富起来，先富带动后富，逐步走向共同富裕。如果富人越来越富、穷人越来越穷，势必会造成两极分化，不利于社会的稳定与和谐发展。

（3）江泽民

江泽民的“三个代表”重要思想是对马克思主义、毛泽东思想和邓小平理论的进一步继承和发扬。其中包含着深刻的和谐观。我国现阶段提出的构建社会主义和谐社会从某种角度来看，是对“三个代表”中核心思想的集中体现。在构建社会主义和谐社会的建设中，应该始终坚持以马克思主义、毛泽东思想、邓小平理论为指导，“三个代表”重要思想应该作为核心贯穿其中。第一，发展先进生产力。马克思主义认为，生产力决定生产关系，生产力是推动社会发展的原动力。“三个代表”重要思想中的首要任务就是大力发展先进生产力，现阶段我国构建社会主义和谐社会的首要任务也是要大力发展生产力，满足人民群众同益增长的物质文化需要。要发展，就必须搞好经济建设，以经济建设为中心，大力发展生产力。虽然在改革开放以来，我国的经济已经取得了突飞猛进的成果，但是与发达国家相比，仍然存在很大的差距，为了缩短这一差距，就必须大力发展生产力，为构建社会主义和谐社会提供强有力的物质基础。第二，发展先进文化。从另一个角度来看，发展先进文化就是在巩固马克思主义的意识形态。随着生活水平的提高，人们不仅仅追求物质上的和谐，精神上的和谐也同样重要。构建和谐社会的最终目的是构建一个人们的物质和精神生活均达到和谐的社会。而以科学的理论武装人，以正确的舆论引导人，以高尚的精神塑造人，以优秀的作品鼓舞人，就是对发展先进文化最经典的阐述。我们在发展先进文化的时候应当从道德培养方面入手，有选择性的汲取先进文化的成果，摒弃腐朽、庸俗、落后的文化，这样才能做到精神上的和谐。

（4）胡锦涛

构建社会主义和谐社会，是以胡锦涛为总书记的党中央提出的一项重大战略思想和重大战略任务。2002 年 11 月 8 日至 14 日中国共产党召开了十六大，十六大报告指出：“我们要在本世纪头二十年，集中力量，全面建设惠及十几亿人口的更高水平的小康社会，使经济更加发展、民主更加健全、科教更加进步、文化更加繁荣、社会更加和谐、人民生活更加殷实。”（《十六大以来重要文献选编》（上），中央文献出版社 2005 年版，第 14 页），把“社会和谐”

作为我们党的一个奋斗目标提了出来。尽管十六大报告没有单独提出“社会建设”的命题，仍沿用了中国特色社会主义经济、政治、文化三大建设的提法，但报告包含十分丰富的关于社会建设的内容，不仅第一次明确提出了“社会和谐”这一概念，而且明确把“社会和谐”作为全面建设小康社会目标的重要内容，十分清晰地为社会建设点了题，并在 2004 年 9 月 16 日至 19 日的十六届四中全会上正式提出构建社会主义和谐社会，“我们讲发展是党执政兴国的第一要务，这里的发展绝不只是指经济增长，而是要坚持以经济建设为中心，在经济发展的基础上实现社会全面发展。”（《十六大以来重要文献选编》（上），第 396 页），明确提出了构建社会主义和谐社会的重大战略任务，强调形成各尽所能、各得其所而又和谐相处的社会是巩固党执政的社会基础、实现党执政的历史任务的必然要求，并明确了构建社会主义和谐社会的主要内容。

从理论发展层面的展开来看，其一，2005 年 2 月中央举办省部级主要领导干部专题研讨班，集中研究提高构建社会主义和谐社会能力的问题。胡锦涛在研讨班上的讲话，第一次全面系统地阐明了构建社会主义和谐社会的重大意义、科学内涵、基本特征、重要原则和主要任务。讲话从世情、国情和党情的新变化出发，深刻阐明了构建社会主义和谐社会提出的深刻依据。其二，2006 年 10 月 8 日至 11 日十六届六中全会做出《关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》，这是中国共产党的历史上第一次以专门讨论社会建设为主题的全会，所通过的《决定》，也是我们党的历史上第一个以社会建设为主题的重要文件。这次全会比较集中地解决了几个有关构建社会主义和谐社会的重大问题，第一次明确提出要把我国建设成为“富强民主文明和谐的社会主义现代化国家”（《十六大以来重要文献选编》（下），中央文献出版社 2008 年版，第 648 页）的目标，确立了构建社会主义和谐社会由全体人民“共同建设、共同享有”的原则，阐明了构建社会主义和谐社会既要从“大社会”着眼，又要从“小社会”着手的辩证关系，《决定》还特别指出：“社会和谐是中国特色社会主义的本质属性。”（《十六大以来重要文献选编》（下），第 648 页）。

从实践层面的展开来看，其一，2005 年 3 月 5 日至 14 日，全国人大十届三次会议通过的《政府工作报告》，不仅第一次把和谐社会建设作为“政府工作的基本思路”（《十六大以来重要文献选编》（中），第 773 页）的一项重要内容，明确把“着力建设和谐社会”作为工作指导和部署上要突出抓好的一个重要方面，而且还第一次单列“积极发展社会事业和建设和谐社会”一章，对如何发展社会事业和建设和谐社会做出全面部署。这就清晰地传达出在实际工作中，和谐社会建设作为“四位一体”的重要一极，开始得到扎实有力的贯彻落实的信号，迈出了从理论到实践的重要一步。其二，2005 年 10 月 8 日至 11 日十六届五中全会以通过《关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》为契机，将构建社会主义和谐社会纳入“十一五”时期经济社会发展规划，扎实推动和谐社会建设由当年工作的一项部署向五年规划的总体部署延伸，从而使和谐社会建设这一重大战略任务全面破题。其三，2006 年 10 月十六届六中全会通过的《关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》，不仅从理论层面上推动了和谐社会建设的展开，更从实践层面上对和谐社会建设作出了部署，《关于构建社会主义和谐社会若干重大问题的决定》全面把握我国发展的阶段性特征，深刻分析影响我国社会和谐的突出矛盾和问题，明确提出到 2020 年构建社会主义和谐社会的指导思想、目标任务、工作原则，并将社会和谐从作为全面建设小康社会这样一个阶段性的目标，进一步上升到时间跨度更长、任务更艰巨、工作更系统的把我国建设成为富强民主文明和谐的社会主义现代化国家的奋斗目标来全面部署。

构建社会主义和谐社会的理论与实践，当推进到 2007 年 10 月 15 日至 21 日中共十七大的时候，又到了一个重要的发展节点。一方面，十七大不但总结了过去五年的工作，而且对我国改革开放近 30 年的历史进程和宝贵经验也进行了很好的回顾和总结。构建社会主义和谐社会的理论与实践，得以利用这一重要契机，进一步从理论和实践的结合上更加自觉地把

握和谐社会建设的发展。另一方面，十七大对科学发展观的科学内涵、精神实质和根本要求作了深刻阐述，提出了实现全面建设小康社会奋斗目标的新要求，对继续推进改革开放和社会主义现代化建设、实现全面建设小康社会的宏伟目标作出了全面部署，这就为推进构建社会主义和谐社会指明了正确方向和工作着力点，将和谐社会建设推进到一个新的发展阶段。

在构建社会主义和谐社会在社会管理方面，早在 2003 年 7 月 28 日全国防治非典工作会议上，胡锦涛在强调进一步加强经济社会协调发展工作的同时，就明确提出要进一步加强社会管理体制的建设和创新。十七大报告也是从更加注重社会建设和完善社会管理这两个方面来强调的。按照十七大的总体部署，在加快推进以改善民生为重点的社会建设的同时，中国共产党中央又进一步明确提出加强和创新社会管理这一重大战略任务，使构建社会主义和谐社会的理论与实践，得到了进一步的丰富发展。

在构建和谐世界思想方面，2005 年 9 月 15 日，胡锦涛同志在联合国成立 60 周年首脑会议上全面阐述了建设持久和平、共同繁荣的和谐世界的理念。和谐世界思想开辟了中国外交理论发展的新境界，指导中国外交迈入坚持和平发展、建设和谐世界的历史新阶段。和谐世界思想是以胡锦涛同志为总书记的党中央对世界发展前景这一长远性、根本性问题作出的系统阐述，是当代中国外交理论的重大创新。和谐世界思想的内涵包括四个方面：第一倡导以反对霸权主义和强权政治、推动国际关系民主化为核心的新秩序观，主张各国相互尊重、平等协商，坚持多边主义，恪守国际法和公认的国际关系准则，推动建立公正合理的国际政治经济新秩序。第二，倡导以缩小南北差距、实现科学发展和共同发展为标志的新发展观，主张各国加强合作、优势互补，共同推动经济全球化朝着均衡、普惠、共赢的方向发展，共同呵护人类赖以生存的地球家园，使 21 世纪真正成为“人人享有发展的世纪”。第三，倡导以尊重世界多样性、加强不同文明对话交流为特征的新文明观，主张不同文明相互借鉴而不是刻意排斥，在竞争比较中取长补短，在求同存异中共同发展，共同促进人类文明发展进步。第四，倡导以互信、互利、平等、协作为基础的新安全观，主张各国摒弃冷战思维，坚持通过对话和协商，以和平方式解决国际争端，维护联合国及其安理会的权威，实现共同安全。

和谐世界思想具有继承性、包容性、发展性。它吸取各国关于人类社会发展的合理思想，着眼于国际社会的共同利益，主张以循序渐进的方式推进联合国等国际机构和国际机制改革。推动建设和谐世界，就是以尊重各国社会制度、发展模式、发展阶段和文明多样性为前提，以国际法和公认的国际关系准则为保障，以对话合作为手段，以互利共赢为原则，以改革、创新国际机制和融入国际秩序为途径，以世界持久和平、共同繁荣为目标，为增进人类整体利益和共同福祉而与国际社会加强交往、深化相互关系。和谐世界思想并非寻求天下大同，也不意味着世界将成为没有矛盾与冲突的“世外桃源”，而是强调不同文明和谐共生，各种矛盾与冲突得到有序化解，世界总体和平稳定的局面能够长期延续，人类发展的成果惠及越来越多的国家。

3.当前和谐论研究综述

从和谐论的理论渊源来看，早期的和谐思想，源于人类对自然界的“和谐”，从自然界的和谐有序运转，得出了启发，并将之运用于人类社会的研究与实践。到了近代、现代，和谐论的研究，基本上都是从社会学方面着手的，基本上都局限于“和谐社会”方面的理论研究与实践，再也很少涉及到自然界的“和谐”，或者更广义上的“和谐”。

3.1 从管理学角度研究

1987 年，席酉民先生在《和谐理论与战略研究》认为，和谐理论是建立在系统理论与系统分析的框架之上的，其理论的核心基础是：任何系统之间及系统内部的各种要素都是相

关的，且存在一种系统目的意义下的和谐机制。和谐机制在很大程度上与效率是一致的。在现实生活中，不和谐态的存在是绝对的，而和谐则是相对的，和谐管理的目的即是使系统由不和谐逐步趋近和谐的状态。应该注意的是，这里包含了一个以“和谐”为标准的最优状态唯一存在的潜台词。

席酉民先生的和谐理论的阐述是从系统的负效应开始的。和谐理论认为：和谐是一个综合的系统状态，系统的负效应因此可以分为要素性负效应、构成性负效应、组织性负效应、精神性负效应、内外失调性负效应、总体负效应等六个层次上的影响。与之相对应，一个系统在要素、构成、组织、精神、内外协调以及总体结构等方面都存在和谐问题，和谐管理的基本思想就是如何在各个子系统中形成一种和谐状态，从而达到整体和谐的目的。

基于上述思想，和谐理论提出了两轨、两场的概念模型。两轨即系统的组织手段和社会的法律制度，它是系统成员的行为边界，具有一定强制性的约束力，这是一种有形的约束。两场即“协同力场”和“促协力场”。按席酉民先生的定义，协同力场是由组织机能、人的精神、道德、行为习惯和系统文化等构成的一种无形的内部环境。促协力场是对协同力场产生影响的系统外部环境，是一种无形的规范。

对应于和谐的机制，系统的优化便可以从以下五个方面入手：①根据系统生存的根本目的、资源、人力及其他条件确定合理的组成要素及构成方式，并使之相互协调。②根据系统发展目标、构成，确定合理的功能及实现功能的最佳组织结构和硬性的控制机制，使系统有效发展，达到组织和谐。③根据系统使命、目标、构成、功能、结构、素质等形成与之相适应的系统精神和文化（即协同力场），达到内部环境和谐。④根据系统的根本目的和外部的变化，形成系统充分利用促协力场的促进作用和保持与外部环境相适应的机制，达到外部和谐。⑤综合上述过程，使系统总体达到和谐状态，实现总体和谐。

在以上基础上，席酉民先生的和谐理论还给出了“和谐”的测度手段、优化程序、预警系统等一系列的方法，形成了一个较为完整的体系。

3.2 从系统论研究

1989年，席酉民、汪应洛、李怀祖在《和谐理论》中，以及2004年席酉民与唐方成、郭士伊合著的《和谐理论》，2012年左其亨出版的《和谐论：理论、方法、应用》，对社会经济系统中普遍存在的各种各样负效应，提出了一种降低负效应使系统最有效发展的“和谐发展理论”，并对系统的和谐性进行了定义：系统和谐性是描述系统构成、组织管理、内部环境、系统成员精神状态等方面内部和其间关系匹配程度以及系统内外适应程度的标量函数，其值越大，系统各种关系的匹配程度和内外适应程度越高。席酉民、汪应洛、李怀祖、左其亨等的和谐理论，迈开了和谐论在系统学中研究的非常重要的第一步。

3.3 从社会危机和生态危机角度研究

1999年，张国庆在全球生态危机和社会危机日益突出的背景下，提出了和谐发展理论。他认为，和谐发展就是根据社会——生态系统的特性和演替动力，遵照自然法则和社会发展规律，利用现代科学技术和系统自身控制规律，合理分配资源，积极协调社会关系和生态关系，实现生物圈稳定和繁荣，达到“天人合一”、“人地共荣”的目的。随后，他又分析了危机产生的因子，将和谐发展归纳为：资源共享，适时协同，按需生产，和谐共荣。将和谐发展的最低目标确定为广义的生态健康，最高目标确定为自然界和人类共同繁荣，而不仅仅是健康。

显然，这种和谐发展理论已经从社会学中有所突破，将社会的和谐发展与生态系统的健康联系了起来，并试图从生态学和社会学角度去解决生态危机与社会危机，和谐发展理论初具模型，已展现出和谐论的萌芽，但还很不完善。

3.4 从哲学角度研究

2002 年,刘长明在分析了可持续发展理论缺陷后认为,和谐发展是指作为物种领袖的人类在物种平等思想指导下,自觉吸取大自然的生存和发展智慧,使组成生态系统的各子系统之间以及各子系统内部不同部分之间良性互动、协调共进,从而使生态系统不断优化,因而能够为未来进一步发展积蓄能量,至少不削弱未来发展能力的发展。和谐能够使人文生态和自然生态两大实体性构件有机结合在一起,不同事物内在与外在关系的和谐既是事物存在的最佳状态,也是事物发展的最佳途径。和谐发展哲学的核心思想是,天地万物、社会人生的最佳状态和指归就是和谐与发展。天地万物生生变易,但是,万物只要自觉恪守和谐的理念,就能生生不息。2005 年,他又就和谐发展理论提出了十个问题:一、万有存在何以必须并可能和谐发展?二、万有存在的和谐发展路径各是什么?三、和谐发展与其他发展观的根本区别何在?四、和谐发展的生产力基础是工具生产力,还是和谐生产力?五、人本主义伦理观能成为和谐发展的伦理基础吗?六、和谐发展的力量之源在哪里?七、是发展乌托邦,还是实实在在的发展指归?八、和谐发展与何种文明型式兼容?九、和谐发展需要什么样的制度安排?十、是终极结果,还是无限过程?并认为“大道从简,至道不繁,环流似圆”是和谐发展观蕴涵的基本原则;平实无华、寓繁于简是和谐发展之道;“圆理”全真、至善、达美的简单路径是“和谐若环、圆道至简、周流不息,和谐至善、善道不繁、天道酬善,和谐达美、大美从简”。“贵和”、“中庸”、“仁厚”、“适度”是和谐理念的主要内涵。随后提出和谐剃刀理论:为了平衡万物的价值,和谐剃刀有时会为了保全一种存在而牺牲另一种存在,这是迫不得已的,甚至是必要的;和谐剃刀会理解包括人类在内的所有种群的适度需求,但不会容忍他们的过度贪婪。

袁吉福(2006 年)从代价论角度分析了和谐发展代价的特点与付出方式,认为社会发展具有不确定性,当代和谐社会的建设更是如此,当代和谐发展一定不会导致负面代价,我们能够肯定的只是这些代价不会危及总体和谐的局面。

巴湘于 2010 年出版了有关和谐思想的专著《和谐论》,对和谐哲学的深层次建构进行了系统分析研究。

3.5 从政治学角度研究

2005 年,刘明辉从政治学角度指出,和谐社会是人们对未来理想社会秩序的期望,人类社会系统由许多相互作用、相互制约的子系统构成,政治系统是其最重要的子系统。所以社会的整体和谐化有利于政治的和谐化,就价值理性层面而言,公共的正义观念、政治的平等观念和理性的法治观念不仅是和谐社会的政治语言,而且是和谐政治的精神内核,作为政治价值的现实回应,政治和谐化需要从政治社会化、政治民主化、政治法治化三种途径加以构建,同时,政治和谐化也是实现政治文明的重要标志。

2006 年,刘明从社会公正角度指出,公正是社会制度的首要价值,理所当然也是社会主义和谐社会的首要价值,维护公平正义、实现社会公正是社会主义和谐社会的本质要求。

3.6 从伦理学角度研究

苏宝梅、刘宗贤、刘长明(2002 年)认为,人类不仅要善待他人,与人为善,而且要善待生物,与生物为善,乃至要善待其他所有和人一样的生命和非生命存在,与所有存在为善。博爱万物的和谐伦理观是生生之道,日新之德,其基本原则是尊重生命和自然界以维护所有生命乃至所有存在的和谐共处。2003 年,李庆臻、李易在此基础上,提出生态和谐伦理是和谐伦理的重要组成部分,生态和谐伦理主要包括六方面内容:国际层面和谐伦理、政治生态和谐伦理、森林生态和谐伦理、土地生态和谐伦理、生物多样性和谐伦理、温室效应

和谐生态伦理。不久，苏宝梅又对上述观点作了补充：人类与非人类都有其特定的价值，万有价值定律是和谐伦理观的价值论基础，因而，都有以其特定方式存在的权利；人类的自私与冷漠是地球生态系统失衡之源；“三者”——仁者、智者和贤者，只是一种爱心大写意；“三爱”——爱人、爱生兼爱万物，是有差等的爱；和谐伦理内涵着和谐之善与和谐之美；使非生物生物化，使生物人格化，不仅必要，而且可能；和谐伦理学不是一般地反对科学技术，而是反对科学技术的滥用；能者多劳，在维持和恢复生态系统的平衡中，人类应担负起更大的责任；和谐伦理学固然超前，但她代表了伦理学发展的方向，是实实在在的伦理学指归，而不是伦理乌托邦。2007 年，刘志扬、日月河指出，和谐发展，就是以心和、人和、天和为特征和向度的发展模式。和谐发展的伦理学基础理应是和谐伦理。和谐伦理，就是调节自我、人我、物我之间的道德规范。

3.7 从经济学角度研究

2005 年，刘长明又从经济学角度对和谐经济作了阐述：和谐经济是将和谐主线贯穿于生产、分配和消费诸环节以及诸环节之间的经济形态；以和谐经济为研究对象的学问，就是和谐经济学。作为和谐经济初始环节的和谐生产，是低耗高效型的适度生产模式；作为和谐经济中间环节的和谐分配，是体现和谐正义的分配；作为和谐经济末端环节的和谐消费，是理智、适度、合生态性消费；而作为使和谐生产、和谐分配，和谐消费诸环节平衡并有机衔接的和谐循环，则是宏观经济和谐的必要条件；追求内部经济性和外部经济性的和谐统一，和谐经济学的宽广视界。

3.8 从发展学研究

2006 年，张国庆从发展学角度，分析了人类社会的显性危机和隐性危机，构建了发展学学科架构，倡导符合和谐发展的生产生活方式：按需生产、清洁生产、节约生产、快乐生产、清洁生活、勤俭生活。

表 3-3 发展学主要理论简表

年代	理 论	主 要 内 容
1750	自由经济	古典发展理论：自然法则。自为自在的、由简单到复杂地渐变。追求利润的增加。
1850	殖民主义	掌握（掠夺）资源，赶潮流，工业化。
1940	发展经济论	技术化，工业化，追求经济增长。
1940	结构主义	如何加快发展中国家发展，促进政治独立，摆脱西方国家经济剥削，加强结构改革。
1950	现代化理论	欠发达国家如何实现经济增长，政治和社会现代化。
1960	依附理论	欠发达国家如何摆脱发达国家的政治和经济控制，探索自身的发展之路。
1970	替代发展	社会发展和社区发展。
1970	新马克思主义	改变现有政治制度，建立新的国际政治经济秩序，是落后国家发展的唯一正确选择。
1970	改良主义	寻求根除影响绝大多数人口贫困的根源和非平等的政策，强调国家的干预。
1980	人的发展	能力建设，增加人选择的范围。
1980	世界体系理论	全球只存在资本主义世界经济体系，世界体系的整体发展存在周期性节律和长期性趋势。
1980	新自由主义	不平等是一种积极的价值，解决危机的办法是实现经济增长与结构改革。
1990	后发展主义	赋权（参与式发展）。
1999	和谐发展	资源共享，适时协同，按需生产，和谐共荣（张国庆，1999）
2000	全球普世伦理	优先权原则，让利原则，容忍原则（周海林，2004）

张国庆认为，和谐发展就是根据广义生态系统的特性和演替动力，遵照广义生态系统发展规律，维护生态系统健康，促进人类社会不断进步，实现生物圈稳定和繁荣，达到“天人合一”、“人地共荣”、“人人幸福”的目标。也就是说，和谐发展，就是不断追求广义生态系统的健康。如果从狭义的生态系统去看，就是追求三个系统的健康：生态系统的健康、社会

系统的健康、个人的生理和心理健康。

此时的和谐论，已经基本拓展到了广义的生态系统。

3.9 从生态论研究

2012 年 4 月 10 日，随着张国庆在科学网博客上发表了《生态健康概论》，以及随后发表的《生态论概述》和《生态论与经济生态化研究》，和谐论已经基本融入了广义系统。生态论，就是运用生态思想，去探索世界，研究并指导人类社会的发展的一种基本理论与方法。生态论是一种方法论，是以生态观来观察世界、研究世界的一般方法。生态论是研究复杂系统的一种方法论，如果将生态论与系统技术、现代数学技术相结合，就可以使得一些难以数学化的学科数学化，从定性分析研究转入定量或定性定量相结合研究，并可以借助现代计算工具进行模拟分析。在经济学中引入生态论，从多元化、减商化、去货币化等方面促进经济生态化，可以开辟经济学全新研究领域，用来谋划人类和谐发展。

和谐，对广义系统来说，既是系统的最佳状态，也是系统的理想目标，还是系统朝理想目标进化的过程。至此，和谐论已经拓展到了广义的系统，已具理论雏形。

3.10 其他发展理论

各种发展理论都从不同的角度阐述自己的观点，包括经典社会发展论中的结构主义、冲突理论、社会交换理论、符号互动论、法兰克福学派等，发展理论中的现代化理论学派、依附论学派、世界体系论学派等，协调发展理论，以人的永续需要为中心的社会可持续发展理论，等等。

4.和谐的实质

和谐 (harmonious)，是指系统的组织结构处在最佳状态，能充分并能持续发挥系统的功能。

从生态论来看，和谐，对广义系统来说，是系统的最佳状态，是系统的理想目标，是系统朝理想目标进化的过程。也就是说，和谐的系统，系统的组织结构是优化了的，处在最佳状态，能最大程度地发挥系统的功能，并能持续保持这种状态，或者能进化到更高一级状态。

4.1 系统健康与系统和谐

系统健康 (system health)，是指系统具有协调稳定的结构，可以持续发挥完善的功能，并且安全可靠。

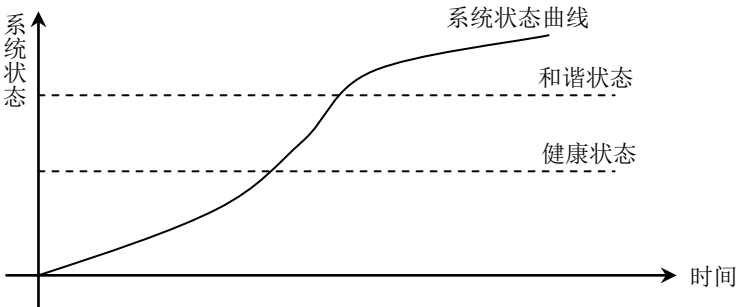


图 3-16 系统健康与系统和谐

具有协调稳定的结构，是系统健康的基础；发挥完善的功能是对健康系统的基本要求，也是系统设计的基本目标；只有安全可靠的系统才是健康的系统，安全性差，可靠性低，这样的系统会对其它系统造成伤害，也会危及系统本身安全。

显然，系统的健康不只是功能完好，而是包括“结构、功能、安全”三个基本方面，对不同的系统，可能还有其它更具体的要求。这与儒家的“不相害”、“不相悖”思想很类似。

其实，“系统健康”就是广义的“健康”，现在许多场合下已经使用的“健康”一词，就是广义的“健康”。广义的“健康”，不仅仅是用来描述“人”，还可以描述某一系统或系统的行为。如“森林健康”、“生态健康”分别描述的是森林生态系统和生态系统，再如“促进社会健康发展”描述的是社会系统的发展行为。

由此可以看出，健康，是系统安全运行、正常发挥功能的基础，也是系统持续存在的基础。而和谐，则是在健康的基础上更高层次的状态，只有在这种状态下，系统才能充分地、持续地发挥其所有功能。

4.2 系统的目标

从生态论中的生命周期理论可以知道，任何一个系统，都有一个生命周期。不同状态的系统，或者不同性质的系统，其生命周期的表达是不一样的，对于那些不能进化的系统而言，它只能采取再生、增殖的策略来延续自己，甚至于有些系统只能直接消亡分解。而理想的系统，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期。

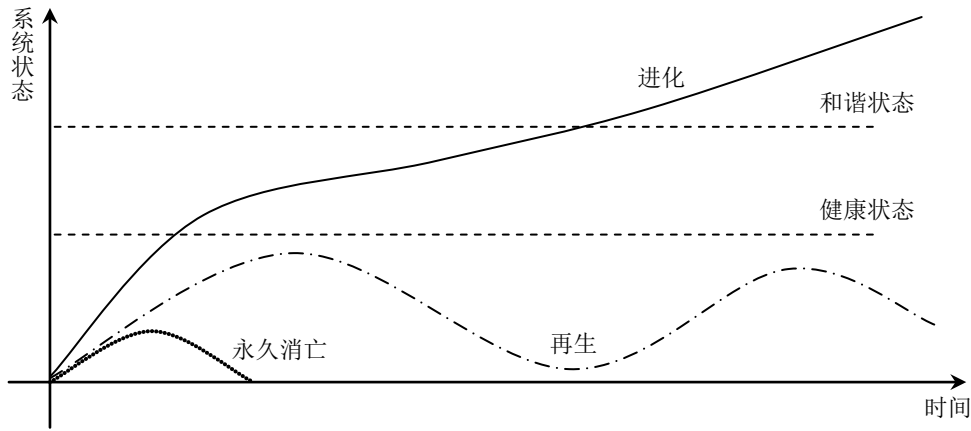


图 3-17 系统的演变

因此，高级的、理想的系统，是能进化的，这也就是说，也只有系统处在健康状态下，才能进行进化。仅仅只在健康状态下的系统，进化不是高效的，而且还有风险。要实现系统高效、低风险进化，只有使得系统内部的组织结构达到最佳状态，才能高效地充分利用系统内部以及外部环境中的信息、物质和能源，并能抵御进化风险，以较小的进化成本，来实现系统的进化。

因此，从系统的发展角度来看“和谐”，是系统的一种目标，只有到达这个目标，系统才能充分发挥自己的功能，高效地实现低风险进化，从而以最低成本实现系统的持续。

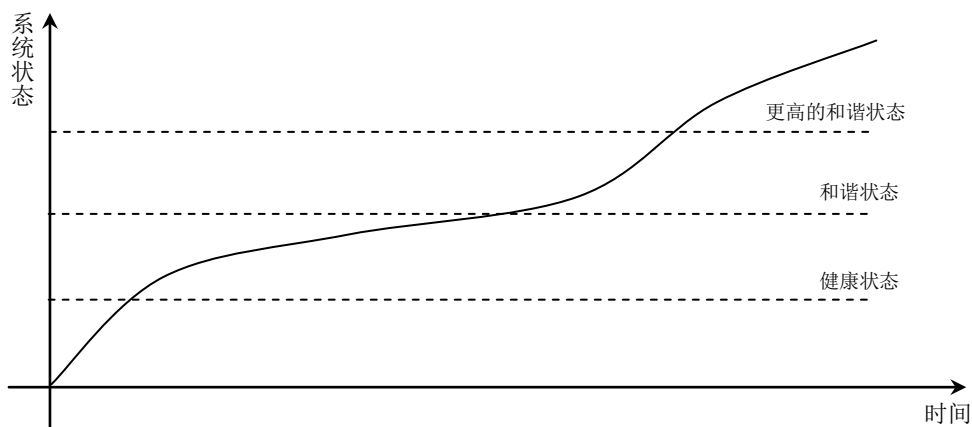


图 3-18 系统的不断进化

4.3 系统的进化

生态论认为，每一个系统都有一个初生、成长、成熟、消亡或再生、进化的过程，有且只有系统处在健康状态之上，才能顺利进行进化。位于健康状态之下的系统，由于其代谢能力减弱，消耗大与积累，致使系统逐步走向衰亡。而在系统接近或者达到和谐状态时，系统的代谢能力进入最佳状态，系统活力较强，能高效顺利地进行进化。

5.和谐论与生态论

如果说生态论是研究系统的一种方法，那么，和谐论就是系统健康评价与管理的一种方法。为了使系统高效低风险进化，对系统健康状态进行实时监测评价，提出管理方案，及时调整系统，使之处在或接近和谐状态。

对复杂系统而言，理想状态是，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期，即进化。当然，这对系统管理者来说，需要有很敏锐的观察力，以及准确的判断能力和决策能力。系统理想的生命周期可以用动态的 PDCS 表示。

如果系统一直处在或接近和谐状态，可以通过 PDCS 循环，使系统不断进化，进入或接近新的和谐状态，即进入更高的和谐状态。

6.和谐发展论

6.1 人类社会文明进程

6.1.1 人类文明发展进程

人类文明已经经历了三个阶段。第一阶段是原始文明，人们必须依赖集体的力量才能生存，物质生产活动主要靠简单的采集渔猎。第二阶段是农业文明，铁器的出现使人改变自然的能力产生了质的飞跃，农业技术和农业文化得到了快速发展。第三阶段是工业文明，源于 18 世纪英国工业革命，以瓦特（James Watt）1768 年制成了一台单动作蒸汽机为起点，这一阶段，人类拥有极为丰富的物质财富，但是，其中绝大多数都是通过开发资源和损失生态环境获得的。

生态文明始于 1962 年美国海洋生态学家蕾切尔·卡逊（Rachel Carson）著作《寂静的春》（Silent Spring）的发表，使人类在近三百年的工业文明以征服自然为主要特征的梦中惊醒。

(1) 渔猎时代：人类处在蒙昧状态，人类的一切活动都是为了保存生命，文化刚刚萌芽，生产力非常落后。

(2) 农业时代：人类开始步入文明时代，生产力还很低。农业时代主流文化是宗教文化，由于人类精神刚刚摆脱蒙昧状态，开始主动探究自然，但由于对周围的客观事物缺乏了解，不了解存在和发生于自己周围的各种事物的实质，便以自己所能想象到的东西来理解自然，并一直规范人类的行为，这种的主观规定便是宗教文化中人类对客观事物的经验、探索和理解方式，这种方式决定了人类宗教文化的存在及其性质。人类这种探索、理解自然的方式，对现在还有相当大的影响。

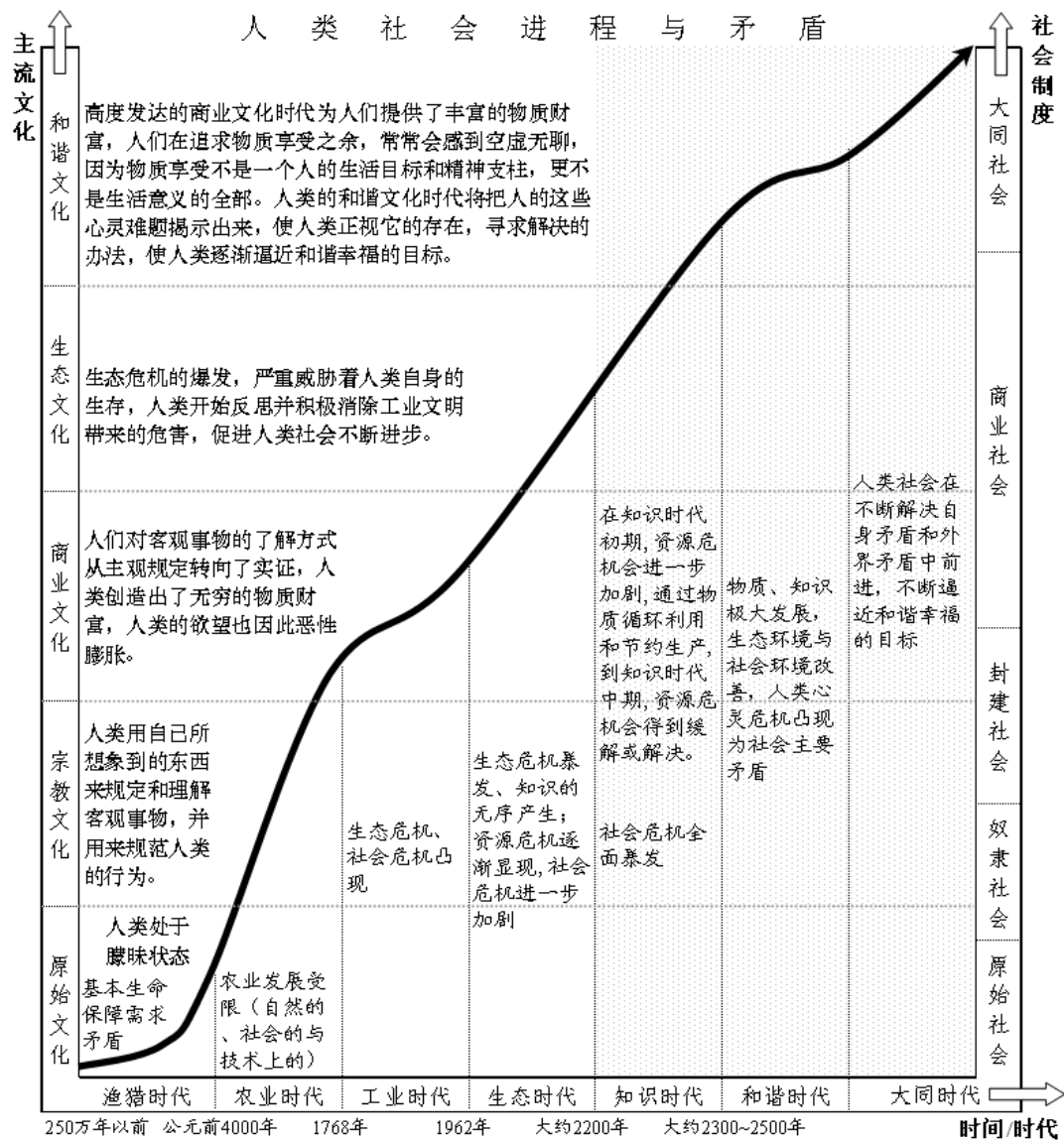


图 3-19 人类文明发展进程（张国庆，2007）

(3) 工业时代：人类对客观事物的观察接触的广度和深度的增加，宗教文化便由全盛时期走向衰落，人类对客观事物的了解方式从主观规定转向了实证。这种对客观事物的经验和探索方式，促进了人类社会飞速发展，科学主宰了一切，整个人类社会生产生活方式完全商业化，商业文化成了这一时期的主流文化。商业文化的主要标志就是，人类世界所有的一

切都可以商品化、价格化，包括显性的可以公开自由交流的商品，以及隐性的、不能公开、不能交流的非商品，个体利益最大化是这一时代的主流价值观。

(4) 生态时代：工业时代的飞速发展，可以说是以损失生态环境和人类身心健康来取得的。在这一时代，人类意识到了生态危机将会将人类推向毁灭。在这一时代里，人类从不断化解生态危机中，除向大自然学到了更多的科学知识外，更重要的是向大自然学到了自然精神，理解了生态的精髓，生态文化是这一时代的主流文化。

就目前科学知识水平和人类主流精神状态而言，人类如果在 2050 年左右做到污染物的排放与自然消解能力达到平衡，再加上在此之前累积的污染物需要 100~200 年消解至人类健康允许水平，大约在 2200 年~2300 年，人类就可以完成生态时代的使命。如果 2050 年人类达不到污染物的排放与自然消解能力平衡这一目标，则生态时代还要相应延迟。

(5) 知识时代：知识时代实际上是一个过渡时代，在这一时代里，生态危机基本得到解决，社会危机成了阻碍人类社会发限制性危机，与此同时，知识的无序化达到了顶峰，垃圾信息随处产生。

在生态时代末期和知识时代初期，人类可能要经历资源危机，主要是人类耗尽了地球上可开采的矿产资源造成的：地球浅层资源耗尽，开采地球深层矿产资源会危及地球本身安全，太空矿产资源又远水解不了近渴。况且，过度开发太空资源，也会对地表生态环境、高空大气环境、地球重力环境、地磁环境等方面危及地球安全。因此，在知识时代，资源循环利用与节约生产将会成为这一时代发展的主题。

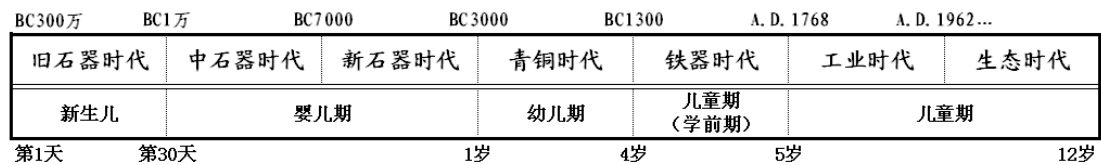
人类如果在生态时代就能化解社会危机和资源危机，知识无序化得到及时遏制，知识时代可能融入在生态时代。

(6) 和谐时代：生态危机、社会危机基本得到解决，人类社会基本上实现了生态、社会双和谐。但是，如果在生态时代、知识时代没有重视个人心灵危机的化解，化解心灵危机将是人类在这一时代的主要任务。人类将会在化解生态危机、社会危机中学到的和谐的方法，用来化解自己的心灵危机，和谐文化自然也就成了这一时代的主流文化。

(7) 大同时代：生态危机、社会危机、心灵危机都已经过去了，人类将会为此花去 300~800 时间，甚至于更多的时间。但是，此时并不意味着人类社会没有危机，新的、我们目前尚未预知矛盾还会在大同时代出现。不过，别担心，进入这一时代的人类，比起以前来，人类要成熟多了，绝对不会像现在吵吵闹闹、打打杀杀，而是不断地调整自己的发展观使之和谐化以适应人类社会前进的需要，采取非常成熟的手段，及时解决这些影响人类社会发展的矛盾，促进人类社会不断进步。

6.1.2 人类群体智力与行为

如果拿人的年龄段来比较的话，我们人类现在的群体智力与行为只相当于不到 8 岁左右儿童的智力与行为。到目前为止，我们人类仅仅只是掌握了解读自然方法之一——实证法，而对于大自然许多未解之谜包括我们人类自己的身体、社会以及生活的地球，至今仍是知之甚少；在灾害面前，我们人类非常脆弱。



(由于各地区发展不平衡，图中标示的时间是相对的)

图 3-20 人类群体智力与行为发展简图 (张国庆, 2007)

在当前时期，我们人类群体智力与行为还相当幼稚：

- (1) 自负：盲目自信，经验主义，顽固不化等等。
- (2) 健忘：是集体对历史的健忘，或者叫集体失忆。
- (3) 简单化：喜欢把问题简单化，用自己个人的“尺子”去“量”世界。“机械论”、“一元论”、“二元论”等等是其中的代表。
- (4) 两极化：极左或极右，总喜欢把世界二元化，一分为二，要么“站”在“左边”，要么“站”在“右边”，犯了许多本不应该犯的低级错误。其实质就是极端化了的“简单化”，是“二元论”的一种表现。
- (5) 迷信：对某一人物或理论盲目信仰和崇拜，表现为鬼神巫术久盛不衰、盲从、追星、个人崇拜等等。而现代集体对“科学”、“民主”、“法治”的迷信，已经使我们丧失了人类最大的优点“爱心”。
- (6) 惰性：表现为居安不思危，突出表现为好逸恶劳、隐藏社会矛盾、粉饰太平等等。
- (7) 嫉妒：总是与排他联系在一起。极端民族主义、人种论、极端宗教主义、一元论（文化的、意识形态的）等等都是。
- (8) 自利：适度的自利是需要的，但是，过度的自利，确实危害极大的。
- (9) 好战：适度的“好战”表现为健康的“进取”，是人类社会进步所必需的。但是，过度的好战，将会造成恶性竞争，甚至爆发战争。战争毁灭了无数无辜生命和我们人类自己创造的文明。
- (10) 任性：尤其是政治集团，任凭领袖或集团任性决策，放纵自己。

当然，我们还有许多优点，比如爱心、善良、好奇探究等等，也正是我们人类能够用自己的优点去同缺点进行“斗争”，才使得我们人类社会不断进步；也正是我们人类有时向自己的缺点妥协，并不断找借口为之“开脱”，才使得我们人类社会时时面临危机。

人类社会要和谐发展，我们就要彻底摆脱这些动物原始性的弱点，痛改这些历史残渣烙印在人类（个人的和集体的、民族的）心理上的缺点，走个人、社会、自然共同繁荣幸福之路。

改正我们的缺点，就是要对我们人性的劣质的一面进行改造。在进行人性改造时，要正确认识自己的缺点，吸收别人（其他文化、民族的）优点，但是千万不能再搞种族歧视主义，不能走“人种改造”的灭绝人性的道路。

6.1.3 人类社会进程中的危机

人类社会总是在各种矛盾中进步，在各种危机中发展。当前，人类社会进程中的危机主要还是人类自己造成的危机：不平等的社会关系造成的社会危机，高消耗造成的生态危机，高度紧张的生活和过分扩张的欲望造成的心理危机。

在远期，由于人类的动物属性决定了远期危机仍然摆脱不了社会危机和心理危机，只不过，那时候，我们人类的群体思想和行为更加成熟，不会像现在这么幼稚与任性，社会危机和心理危机已不足以影响人类自己的发展，成熟了的人类会及时调整社会关系和心理状态，化解危机。除此之外，在远期，有可能来自宇宙的危机，比如人类过度开发宇宙，造成地球重力、地磁环境和高层空间环境异常，或者外来文明入侵，或者小行星撞击地球，或者太阳系湮灭等等来自地外的危险因素威胁地球安全；还有过度安逸，造成人体退化的危机，致使人类丧失抵抗环境突变的能力。所有这些危机，都将严重危及人类安全，我们有及早研究并防范这些危机必要。

(1) 生态危机

由于人类过度追求感官享受，物质生产远远超过了人类平均需求，也超过了地球资源供给能力和废弃物消解能力，再加上人类欲望极度扩张，就形成了“生产-欲望”膨胀恶性循环——生态危机：物欲膨胀→生产膨胀→感官刺激→物欲再膨胀→经济利益刺激→生产再

膨胀。

（2）社会危机

现阶段社会危机产生的主要原因是过分强调非劳动收入，劳动者不能获得应得的收益，不能满足其基本生活、发展的需求，导致社会矛盾不断激化上升为社会危机。

由于非劳动收益高，使得一部分人，通过非劳动方式，实现对大多数人的劳动掠夺和资源掠夺，进而通过政治侵略、文化侵略等方式，来实现经济侵略和生态侵略，最终导致世界范围内的两极分化，形成全球性的社会危机。

社会危机的形成是有一个过程的：①通过劳动，进行原始的资本积累（资本积累阶段）→②通过购买的方式，占有基本生活、生产资源；再通过这些资源，实现对别人劳动的掠夺，获取更多的资本（资本增长阶段）→③通过政治结盟、经济结盟的方式，控制社会公共资源，包括政治资源，从而“保护”自己，“合法”地进行掠夺，进一步扩大自己在本地区的政治与经济地位（资源控制阶段）→④通过政治地位的提高，实现对本地区的经济的垄断（参与政治阶段/垄断阶段）→⑤通过垄断，使自己在本地区内不断扩张，并积极影响政治决策，进一步扩张自己，开始对外进行经济侵略（对外侵略阶段）→⑥通过经济侵略，实现对外政治、文化侵略，从而“合法”地进行全球范围内的资源掠夺（自然资源与人力资源）与生态侵略。

在一些集权国家，由于行政资源的高度集中，有一些人不经资本积累与资本增长阶段，而是通过特定的手段，利用行政资源，直接进入资源控制阶段，实现资本的快速扩张与垄断。

（3）心理危机

产生心理危机主要有四个方面的原因：①个人心理素质差异，即个人修养差别，不能及时调整心态，过度放大人际矛盾，或者放大社会危机对自己造成的伤害，不能正确对待这一危害，使自己摆脱不了社会阴影对自己的影响，从而不断升级为个人心理危机，甚至于形成群体心理危机，最终导致恶性事件暴发甚至社会危机升级。②社会危机是现阶段造成心理危机的主要原因。社会危机使个人和家庭生存成本升高，个人发展阻力增加，造成人与人之间差距越来越大，从心理上对个人和群体造成极大的伤害，这种伤害如果得不到及时修复，就会形成心理危机。③工作生活压力加大，人与人之间、团体之间由于利益的原因，得不到理解和顺畅的沟通，工作生活压力得不到释放，长此以往，不但影响生理健康，还会形成心理危机。④过度强调欲望扩张对经济刺激的正面作用，使一部分人的欲望扩张超过了自己能力和社会供给水平，极度扩张的欲望长期得不到满足，形成心理障碍。

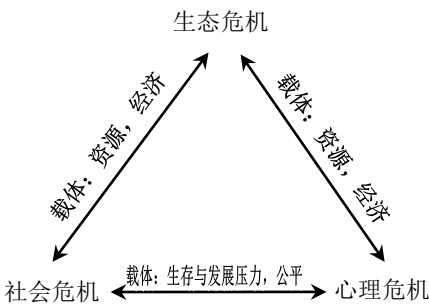


图 3-21 生态危机、社会危机与心理危机之间的关系

个人心理危机不但严重影响个人心理、生理健康，还会影响家庭成员、同事、朋友，从而扩大到特定人群，形成群体心理危机，甚至于会因此组成特定的团体组织，通过特殊的集体行为来化解心理危机。如果这种特殊的集体行为超出了健康的边界，团体就会逐渐演变成危险组织（暴力团体、极端宗教组织等），伤害自己，危害社会。

三个危机之间的关系属于正反馈关系：生态危机加剧经济危机与资源危机，从而推动社会危机发展；社会危机会造成社会关系失衡，进而影响社会公平，甚至暴发恶性事件，使得个人心理失衡，或者产生生存威胁甚至绝望感。

6.2 和谐发展

针对三个危机，笔者于1999年提出了和谐发展概念。和谐发展(harmonious development)就是根据社会·生态系统的特性和演替动力，遵照社会·生态系统发展规律，促进并维护生态系统健康和社会秩序有序化，促进人类社会不断进步，实现社会·生态系统稳定和繁荣，达到“天人合一”、“人地共荣”、“人人幸福”的目标。也就是说，和谐发展，就是不断追求广义生态系统的健康。如果从狭义的生态系统去看，就是追求三个系统的健康：生态系统的健康、社会系统的健康、个人的生理和心理健康。

2006年，笔者又从发展学角度，分析了人类社会的显性危机和隐性危机，构建了发展学科架构，倡导符合和谐发展的生产生活方式：按需生产、清洁生产、节约生产、快乐生产、清洁生活、勤俭生活。

2011年，笔者从法学和标准学角度，构建了和谐发展的法学和标准学的技术性框架与制度性框架。

6.3 和谐发展的途径

和谐发展，既是人类社会发展的目标，也是人类社会发展的手段和途径。因此，和谐发展，就是要协调解决生态危机、社会危机、心理危机，实现生态系统的健康、社会系统的健康、个人的生理和心理健康。

6.3.1 和谐的生产生活方式

通过和谐的生产生活方式，协调解决生态危机、社会危机、心理危机。也就是说，我们的生产生活活动，既要满足我们人类自己生存与发展的需要，又不能侵害他人、后代和大自然的利益。这样的生产生活方式可以总结为：按需生产、清洁生产、节约生产、快乐生产、清洁生活、勤俭生活。

(1) 按需生产

按照和谐发展要求，为满足人类的合理需求，因地制宜，适时协同，准确运用系统学、生态学、管理学等手段进行物质流、信息流、能源流、资金流等资源流图分析，求出较为合理的资源流图，在整体最优的前提下进行局部优化，公平分配社会资源和自然资源，优化产业链结构，实现清洁生产和节约生产。此外，按需生产还要求消除恶性竞争，消除产品积压，尽量减少奢侈品生产。

(2) 清洁生产

从产品创意、设计开始，一直到产品的报废，都要将环境和人体健康问题考虑进去。也就是说，生产产品所需的原料生产、设备生产以及产品本身生产过程中不污染环境，产品在消费过程中对环境和人体健康不构成威胁，产品消费结束后，报废的产品能够以最低的成本回收再利用，不会污染环境。与此同时，在上述所有环节中，尽量使用其他产品生产过程中的副产品（包括“三废”）。

(3) 节约生产

从产品设计，到消费结束，消耗最少的资源，获取较多的产品。同时，产品的寿命尽可能地长，包装等非产品物质尽可能地少。

(4) 快乐生产

或者叫舒适生产。所有的生产活动（包括各种管理活动）过程中，没有危害人类生理和心理的因素存在。也就是说，生产环境舒适，人不是机器的奴隶；工作环境宽松，有竞争，

但没有斗争；取消“三班倒”的非人道的、反人类的生产方式，按照人的生物钟活动规律，设计生产工艺和流程。快乐生产的实质就是人在生产活动中，要感到舒适，不要使人感到劳累或心力憔悴。

（5）清洁生活

在物质上，除了搞好自己和周边的小环境（家庭、单位等）清洁卫生外，还要尽可能地少产生垃圾；在精神上，除了自己不生产有害的垃圾精神产品外，也不接受、传播那些精神垃圾。

（6）勤俭生活

尽自己的最大能力，努力搞好本职工作；工作和生活中，尽可能地节约所有资源。具体地说，就是要我们珍惜自己的工作，在自己的工作岗位上，负起应负的责任。珍惜身边所有一切，我们的食物，是无数生物献出自己的生命供我们口腹，我们的用具，同样如此，我们没有理由不珍惜她们。

用一句口语表述，那就是：“该干啥的就干啥；该节省的就节省”。如果用政治语言描述，那就是：“不要越位，不要缺位，也不要错位；节约，也是生产力。”

6.3.2 和谐的社会

要构建和谐的社会，必须分析社会矛盾产生的根本原因，按照原因去解决矛盾，及时化解社会矛盾。根据目前社会危机产生的原因，笔者认为，可以通过按劳分配、资源共享、适时协同等措施，化解危机，实现社会和谐。

（1）按劳分配

按需分配，是一种理想状态，笔者认为，在人类没有完全摆脱动物的自利本性之前，是很难实现按需分配的。为了摆脱社会危机，只有实行按劳分配。

但是，在人的思想还没有“大同化”之前，为了鼓励竞争，社会分配方式除了按劳分配之外，还需要其他分配方式进行补充，鼓励人们积极为社会服务。这些补充的分配方式，必须要有严格的、公正平等的分配规范，按照分配规范进行分配。这种分配规范必须是促进社会各阶层关系和谐的，它的制定与修改，必须取得全体公民的认可。否则，这种分配规范就会导致社会矛盾激化，甚至爆发社会危机。

表 3-4 不同时代分配方式比例表（张国庆，2007）

分配方式	渔猎时代	农业时代	工业时代	生态时代	知识时代	和谐时代	大同时代
按劳分配	80~90	10~20	10~20	30~40	30~40	40~60	50~60
按能力分配	0~10	0~10	10~20	20~30	20~30	0~10	-
按资本分配		0~10	20~30	10~20	0~10	-	
按资源分配		0~10	40~50	0~10	0~10		
按权力分配	0~10	70~90	5~10	0~10			
公共资源	-	0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
备 注	平均分配					九一律	

说明: 1.表中数据为笔者估测数据，各个国家具体数据肯定与之不同；2.表中数字为该分配方式占社会总财富的百分比；3.表中“-”表示只占很小份额。

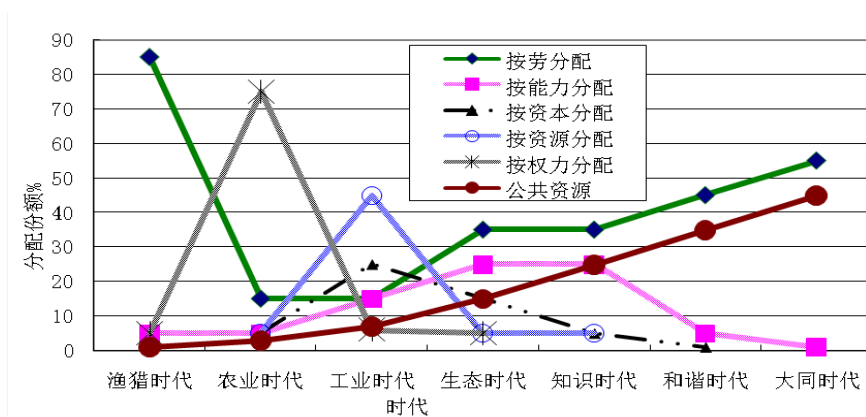


图 3-22 不同时代分配方式比例图（张国庆，2007）

进入和谐时代，人类社会分配方式应该是以按劳分配为主，其他分配方式只占极小一部分。

随着社会的不断进步，按劳分配和公共资源份额不断增加，其中公共资源占用方式也会发生变化。在和谐时代之前，公共资源主要是上层阶层享用，底层阶层很少有机会享用。到了和谐时代，公共资源基本上是人人均等分享。因此，和谐时代的实际分配方式可以表示为“九一律”分配方式，或“541”分配方式，即社会总财富90%以上被普通民众享用，只有不足10%左右的社会财富用于奖励对社会做出重大贡献的优秀人士。也即社会劳动总成果的50%用于公共资源建设，人人均等享用，以保障人的基本生存与发展需要，40%按劳分配奖励勤罚懒，10%按能力分配用于奖励对社会做出特殊贡献的优秀人士。

（2）资源共享

合理分配各种资源，包括自然资源、公共资源、政治资源等，完善民主监督体系，确保公民有均等的机会享有科技、教育、就业等社会资源和自然资源，实现公平有序竞争。

随着社会的进步，公共资源份额不断加大，所有公民都有均等的机会享用。在公共资源中，以保障公民基本生活的吃穿住用行和教育、就业、保健、娱乐等资源为主，使每一个公民都能健康幸福地生活。

（3）适时协同

倡导文化、社会制度、生活方式多样化、和谐化，因地制宜，选择适合自己发展的社会制度、生活方式和发展模式，及时协调社会关系和生态关系，激活全社会共同参与发展的活力，保证每一个公民都有均等的发展机会，让每一个公民积极参与发展，形成全民共同发展的合力，不断促进社会全面进步。

（4）提高集体智力

加强集体修养，尤其是政治集团的修养，增强集体智力，提高决策的成熟性，避免群体幼稚行为发生。

6.3.3 和谐的个人

实现个人的和谐，就是要维护个人的心理和生理健康。影响个人身体健康的因素有外在因素和内在因素两种，这些因素相互作用，作用于人体，影响着人的心理健康和生理健康。个人又通过行为表达出来，作用于生态系统和社会系统，影响着广义生态系统健康，反过来，而这又作用于个人，影响着个人健康和行为。

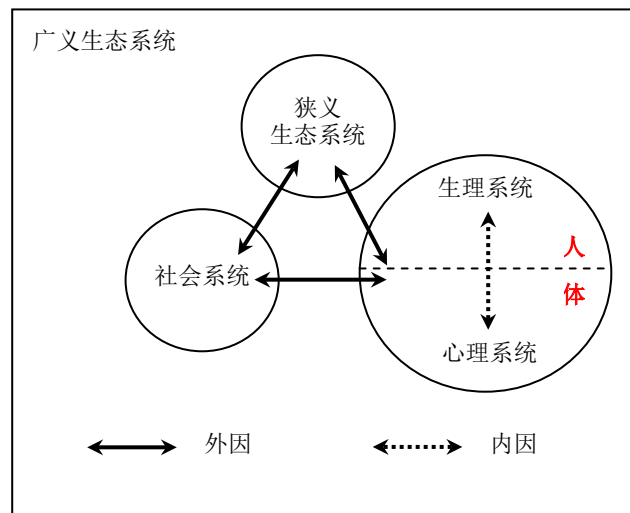


图 3-23 影响健康因子（张国庆，2007）

在如何实现个人的和谐问题上，有两种主要观点，一种观点是强调心理因素的作用，认为个人是改变不了社会的，只有通过调整心态，使自己适应社会，才能达到个人的和谐。另一种观点认为，只有解决社会矛盾，使社会和谐，才能使个人达到和谐。

显然，这两种观点放大了单因素作用力，其实人的健康是由多因素综合作用的结果。前一种观点是一种消极的观点，带有极大的愚民色彩，过分强调个人修为的作用，否定个人对化解社会危机的积极推动作用。后一种观点过分强调外在影响因素的作用，忽视个人修为在维护个人健康中的作用，带有个人中心主义色彩。

因此，笔者认为，维护人类健康（个人健康和群体健康），必须从影响健康的内因和外因两个方面着手，消除危害人类健康的因子，实现人的和谐。

（1）维护生态系统健康

环境污染直接危害人的生理健康和心理健康，维护生态环境健康，可以为人类提供一个安全、健康、舒适的生产生活环境。在人类生产生活中，快乐的生产方式，可以减轻甚至消除生产环境对人类身体的侵害，避免职业病发生；科学的生活方式，可以促进人的健康，避免不良生活方式对人的健康的危害。

（2）促进社会和谐

社会危机通过危害人的心理健康，造成人的心理、生理双重伤害，严重影响人类健康，并有可能造成人类退化。通过几十万年的进化，人类已经形成了与地球环境相协调的、稳定的心理、生理系统，除了环境污染对人类身体造成严重伤害外，过度舒适的生活方式和不良的生产生活方式，将会使人的生理机能退化，所有这一些，将有可能通过遗传的方式危害下一代，使人类身体结构发生不良变化，并有可能造成人类毁灭，或者在某种灾害发生时灭亡。两极分化的社会结构，有可能造成人类社会结构退化，退化至单一的、群居昆虫式的社会结构，最终也会导致人类的毁灭。

因此，消除社会危机，提倡快乐的生产方式、健康的生活方式，是促进社会和谐、实现个人和谐的根本途径。

（3）加强个人修养

加强个人修养，关键是两点，一是正确认识自己，对自己的能力进行科学评估，然后对自己进行正确的定位，这样，才能使自己适应于社会。二是正确认识社会，正确对社会环境进行分析，找出对自己不利因素和有利因素，趋利避害，选择一条适合于自己发展、合乎自

己习惯、有益于社会的发展道路。这两点说起来容易，做起来很难，因为，人在顺境时“得意忘形”、逆境时“意志消沉”、普通环境中“麻木不仁”是人类的通病。

加强个人修养的基础是加强自我教育，促进人格完善。在自我教育中，尤其是美学教育。美通过运用人类所创造的美的产品和所揭示出的美的规律，去影响个体的感官和心理，增强其审美感受力和创造力，形成平衡和谐的心理结构，从而达到塑造其心灵、陶冶其情操、完善其人格的目的。美可以消除物质极其充裕和精神极度空虚的巨大反差，实现心态和谐、人格的完善，有利于塑造人心理的和谐、人格的健全和完善。通过美来熏陶净化人的灵魂，使人对人生价值进行最高层次的挖掘和把握。美可以使人发现世界上的“真”和“善”，让人去追求和建立一种更好的生存方式，实现人格最大程度上的完善。

完善的人格应该包括博爱奉献、乐观豁达、自强进取等优良品德。

博爱奉献，从大的角度去说，就是要求人们能发现世界之美，平等公正地对待世间万物，做到“民心物体”。从小的角度、具体的方面来说，就是要从自己身边的人和物爱起，爱自己的父母、妻子儿女、同学同事、老师领导、学生下属，平等相处，互相帮助；爱自己身边的每一滴水、每一粒粮食、每一棵花草树木、每一个虫鱼鸟兽，这些东西充我饥、解我渴、悦我目，许多生物为此献出了生命，因此，我们要珍爱世界中的这一切，不要过多地强调、放大世界的阴暗面，要看美的一面，学会欣赏每一个人，学会欣赏世界美的瞬间。要知道，你只有去欣赏美，去爱人乃至万物，你自己才是美的，众人乃至万物才会去爱你，否则，你将会生活在社会的边缘，不能与社会和谐共处。“爱人者人恒爱之，敬人者人恒敬之”就是这个道理。学会了欣赏美，就会去爱她，就会去为她奉献！

乐观豁达，就是要做到胸怀宽广、海纳百川。当然，每一个人在所处的世界中，时时刻刻都被矛盾包围着，在极端的时候，还会处在矛盾的漩涡当中，要想面临矛盾中心而泰然处之，的确是不易。这就要求我们加强道德修养，宽容他人，用尊重、信任、友爱、理解的态度与人交往，接受和给予爱和友谊，与人分享快乐幸福，这样就能与人保持和谐的人际关系。要虚怀若谷，虚心地接物待事，不要有管制心、压制心，对别人的无端批评，抱着有则改之、无则加勉的心态。人的一生总有失意与困惑的时候，要学会自我调节，以正确的宣泄方式宣泄自己的郁闷，不过分压抑自己，对生活中出现的悲、愤、忧、哀等消极情绪进行及时调节。但是在调节自己的情绪时，千万不能将自己的痛苦宣泄给别人，不要将自己的坏情绪转嫁给他人，将自己的快乐建立在别人的痛苦之上。也就是说，一定要注意“己所不欲，勿施于人”。自己的确难以排解心中烦恼时，可以借助心理咨询专家，在他们帮助下缓解心理压力，解除心理困惑，使自己回到并保持满意、愉快、开朗、乐观的积极心态。只有这样，我们才能做到知足者常乐，做到“宠辱不惊，看庭前花开花落；去留无意，望天空云卷云舒”，对于个人的得失、起伏保持宁静的心态，不以物喜、不以己悲。也只有这样，我们才能以平常心从容应对各种复杂的社会矛盾，天天都有一个好心情，才能过上幸福美好的生活。

自强进取，首先要克服自卑心理和自傲心理，做到自信不傲，能认识到在任何时候，都是困难与希望同在、挑战与机遇并存，只有发扬意志顽强、坚忍不拔的拼搏精神才能战胜种种困难，冲破重重阻力，达到胜利的彼岸。其次要定好自己的目标，将自己的远大奋斗目标分解成一个个小的阶段目标，然后，朝着小目标一个一个地奋斗，认真做好当前的事情，等小目标都实现了，大目标也就实现了。这样做的好处，还可以在奋斗中不断调整自己的目标，使之更加适合自己，不会造成由于目标不适合自己的终生奋斗一场空。再次就是要有强烈的责任心。一个人，在不同的场合，担任不同的角色，在不同的角色上，就要担负起不同的责任，也就是人们常说的每个人至少要当三个角色，至少要履行好三份职责：家庭美德、社会公德、职业道德。在家庭，应该尽到做人子女、为人父母、为人夫妻的责任，不能伤害、抛弃家庭；在社会，除了遵纪守法外，还要自觉遵守社会公德，自觉承担社会义务；在单位，要认真履行自己的职责，做好自己份内的每一件事，不要将个人好恶、私欲带到工作中去，

不要为了追求工作成绩攫取公共资源或者将工作负担转嫁给社会,更不能利用职务之便为权力寻租。[8~43,53~91]

第四章 法制系统

本章介绍了法制系统运行机制，以及数学法学、法制信息学和全球安全网络的建设。

第一节 法制系统的运行机制

1.法制系统的结构

法制系统由法律及立法机构、司法机构、监督机构和宣传教育机构（普法机构）组成。在法制系统中，法律是软件，其他都是硬件。

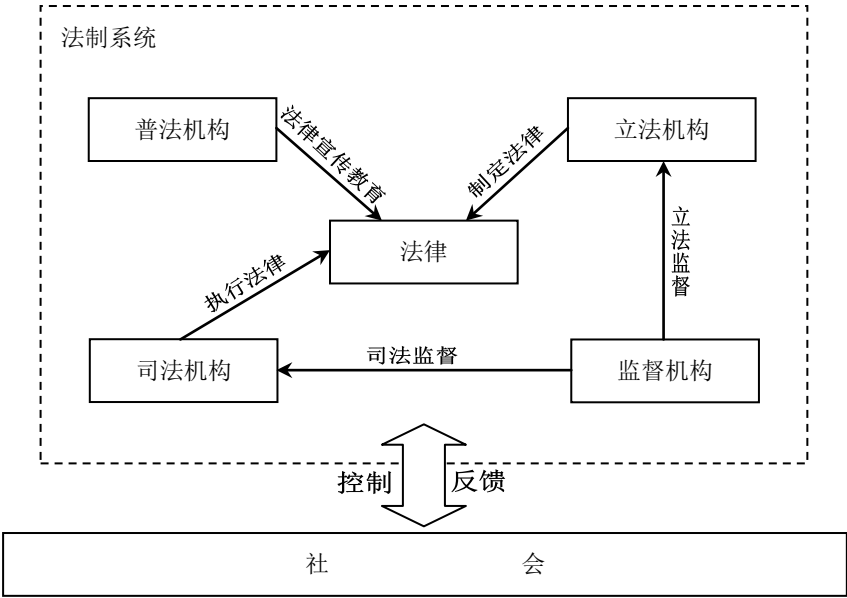


图 4-1 法制系统结构

法律包括包括法律、有法律效力的解释、行政机关为执行法律而制定的规范性文件（如规章）以及立法说明性文件等。法律是法制系统的基础性文件，是司法的依据。

立法机构是制定、修改和废除法律的国家机关。立法机关可以是议会，或者是全国人民代表大会及其常务委员会。在我国，就广义的“法”而言，国务院可以制定行政法规，省、

直辖市的人民代表大会及其常务委员会可以制定地方性法规，民族自治地方的人民代表大会可以制订自治法规等。

普法机构包括各种传媒机构和教育机构。普法机构是向广大民众进行法律宣传教育，使广大民众知法，知法是守法的前提。

司法机构是行使司法权的国家机关。狭义仅指法院，广义还包括检察机关。为了便于叙述，在本书中，司法机关还包括其它执法机构，如行政执法机关等。

监督机构包括宪法法院、议会或人民代表大会、社会团体、各种媒体以及普通民众。监督形式主要有，一是国家专职司法监督机构如宪法法院、议会或人民代表大会，专职行使立法审议与司法监督权；二是上级司法机关对下级司法机关行使司法监督；三是社会团体、各种媒体以及普通民众对立法、司法行使监督权。监督对象包括立法机构与司法机构。监督内容包括立法与司法机构设置的合法性与合理性、立法与司法程序的合法性、立法与司法内容的合法性等。除此之外，宪法法院、议会或人民代表大会、上一级司法机关监督内容还包括司法信息监测与反馈，为立法机构的提供依据。

2.法制系统的运行

法制系统的运行模式，是一个典型的反馈控制模式，也是一个典型的PDCS循环。

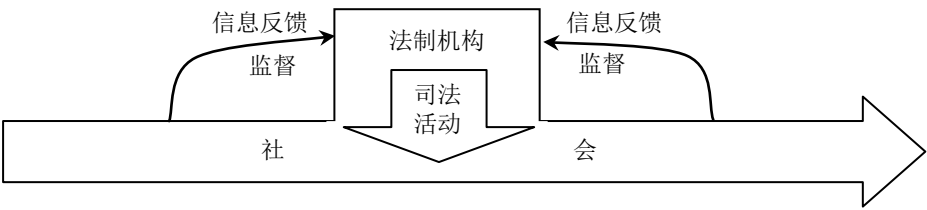


图 4-2 法制系统的运行

在一个反馈周期内，也即一个PDCS循环中，首先是立法机构采集立法信息，依照法定程序制定法律，监督机构对立法活动进行监督；其次是普法机构进行普法宣传；再次是司法机构依据法律授权，按照法定程序进行司法活动，对社会实施调控。

在司法活动中，一方面监督机构对司法活动进行监督，并将监督信息反馈给立法机构和司法机构，另一方面，立法机关、司法机关自己也开展司法信息监测。立法机关根据反馈信息依法开展新一轮立法活动；司法机关根据反馈信息依法调整司法策略。司法监督与信息监测采集，包括过去的、现在的信息，以及未来的预测信息。

法律对社会的调控，首先要获得实际的社会行为信息，即实际的行为可能性时间和空间（实际行为域），然后通过立法规定规范的行为可能性时间和空间，即规范行为域。司法时，将实际行为域与规范行为域进行比较，采取调控措施，缩小二者之间的差距。这也是法制活动的本质。

3.立法模式

熊继宁（2006）在《系统法学导论》中将立法模式总结为两种态度、三种模式与三种规

范。两种态度即“肯定”和“否定”态度；三种模式即选择行为模式、必须行为模式和不得行为模式；三种规范即授权性规范、义务性规范和禁止性规范。

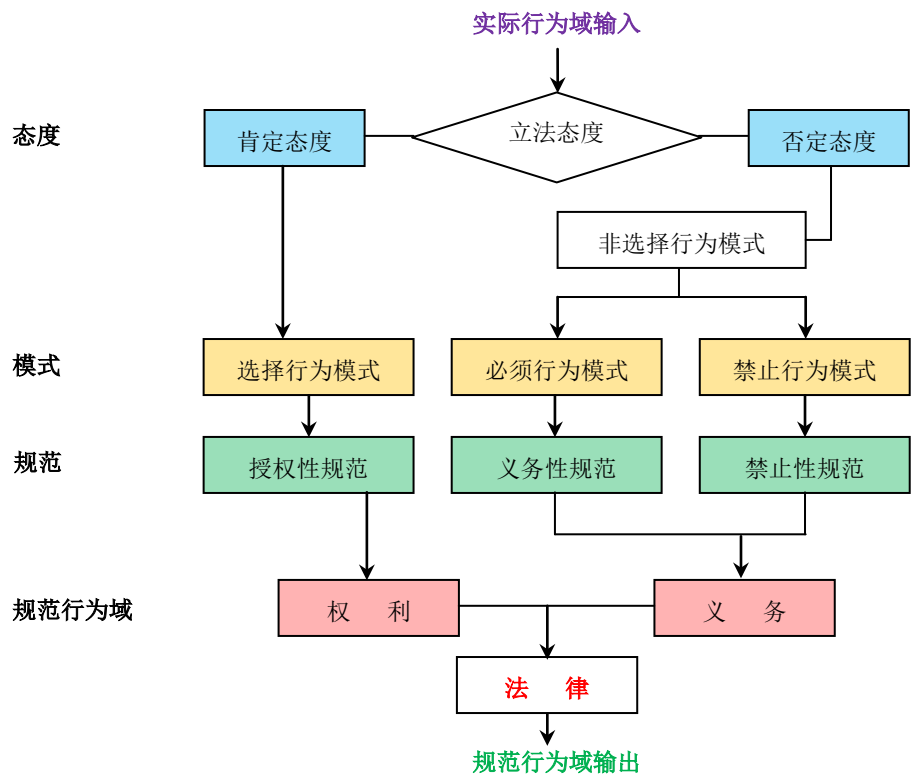


图 4-3 立法模式（仿熊继宁，2006）

4.司法模式

熊继宁（2006）在《系统法学导论》中将司法模式总结为三种机制：违法行为的判定与制裁，控制效果的放大，内部规范的形成。

（1）违法行为的判定与制裁

通过自诉或公诉，将具体的实际行为域输入法制系统，通过识别，对照法法律的规范行为域，确定实际行为域的判定后果，即肯定后果或者否定后果，由法暴力系统依法执行，实现对社会的调控。

（2）控制效果的放大

法暴力系统对社会的调控行为，是针对具体行为者的，是微观的调控效应。这种微观效应通过普法机构的传播，或者人与人之间的传播，产生了放大效应，对大众实际行为域产生影响，实现了由个人微观调控到社会宏观调控。

（3）内部规范的形成

由于控制效果的放大作用，这种宏观调控作用逐渐形成较深的社会心理影响，使得法律的规范行为域自觉成为大众行为规范。[45,46]

违法行为的判定与制裁

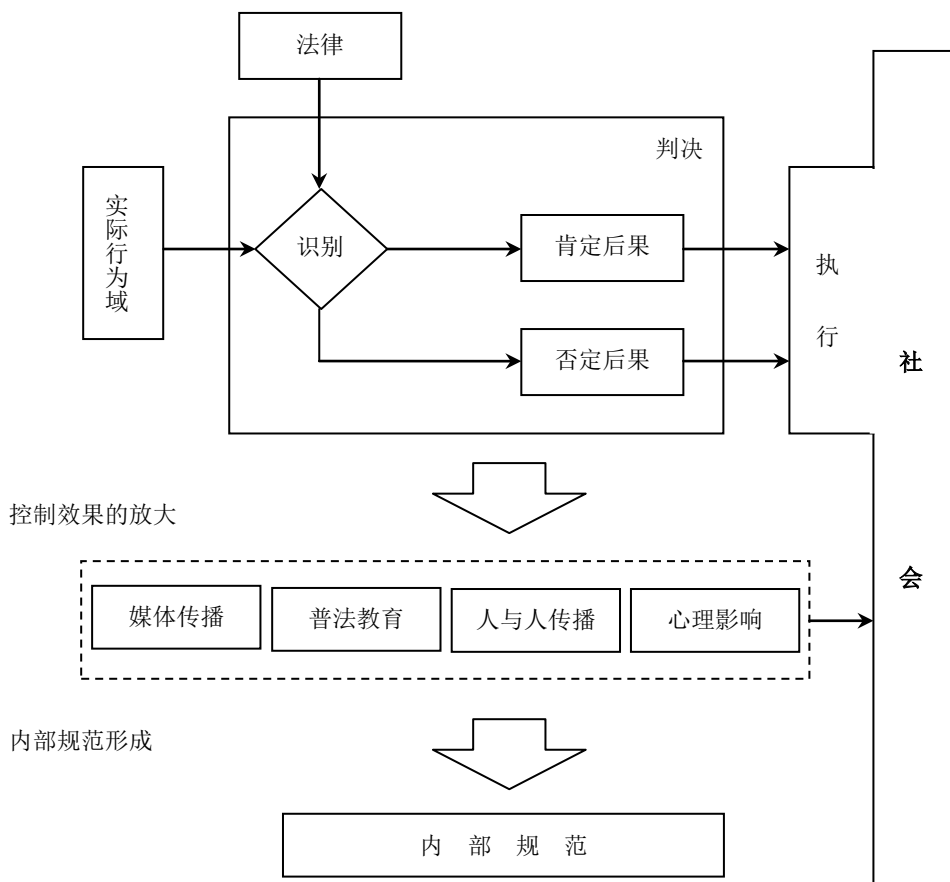


图 4-4 司法模式

5.国家暴力工具

在国家与政府的关系上，有时国家与政府的概念不分。在分得十分清晰时，国家大于政府，尤其是国家是主权者的同义词，而政府只是国家的仆人、权力的执行者、被委托人。

国家暴力工具包括军队和法暴力系统。就国家而言，军队随着阶级和国家的出现而出现，随着国家发展而发展。正义的军队是为了保护公众及国家利益而存在。在不同的历史阶段和不同的国家中，军队的演变是同社会生产力的提高、经济和政治制度的变革、科学技术的进步、战争实践和军事理论的发展等因素紧密相连的。

法暴力系统包括法庭、警察和监狱等，其功能是依照法律对违法者实施制裁，使超越法律的实际行为域的行为无效，并对其行为者实施惩罚。

军队和法暴力系统都属于国家，由政府依照法律授权和法定程序使用。法暴力系统属于法制系统，司法活动依法进行。军队的军事活动，由宪法授权政府元首，指挥军队进行军事行动。

第二节 数学法学

数学法学，是一门运用数学理论与技术，研究法学的一门科学。由于人类社会是一个复杂的系统，数学法学的研究，必须运用复杂系统的基本理论与方法，采用数学技术，才能对法学研究对象数学化。

笔者认为，目前，数学法学可以在司法与立法的费效分析（effectiveness cost analysis）、法制的社会化模型、法制活动评价、罪因溯源、量刑等领域开展深入研究，同时还可以引入电子技术、生物技术、物理技术、化学技术等当代先进技术，开展侦查技术与装备、全球安全网络系统、全球法制信息网络、法制专家系统等应用技术及其基础理论研究。

1.法制系统行为模型

李国强（1987）将法制系统的行为用守法行为和违法行为表示：

$$P = A + B$$

$$k = \frac{A}{B}$$

式中 P 为法制系统行为， A 为守法行为， B 为违法行为， k 为法制系统控制程度系数。 $k>1$ 时，法制系统处于稳定状态。

从政治角度考虑，就是如何缩小打击面 i ，使得

$$k = f(i)$$

达到最大值；

从法制的费效角度考虑，就是如何降低司法成本 c ，使得

$$k = f(c)$$

达到最大值。[92]

2.量刑的数学模型

吴世宦、苏惠渔、张国全、史建三、胡继光等采用层次分析法（analytic hierarchy process, AHP）、模糊分析法，对贪污、盗窃、杀人等罪的量刑进行了探讨。其中盗窃罪量刑模型为：

$$Y = F(y_1, y_2) = y_1 + y_2$$

$$y_1 = ax + b$$

$$y_2 = g[u, f(x)] = \sum_i D_i [U_i + V_i f(x)]$$

式中 Y 为应给予被告宣告刑的期望值， y_1 为由盗窃罪数额决定的基本刑罚量， y_2 为综合各种量刑因素决定的从重或从轻的刑罚量， x 、 a 、 b 分别为实际盗窃数额、司法解释中盗窃数额分段量刑系数值， i 为影响量刑的因素， U_i 、 V_i 分别为量刑因素 i 的量刑系数。[93,94,95]

3.司法的事件分析

司法的事件分析，可以采用TSE分析方法[29,31,32]，实现对犯罪过程的再现，分析犯罪

过程中的关键点。也可以对司法过程进行分析,对司法效果进行回溯评价或预测[96,97]。

TSE 分析又叫 TSDA 分析,即事件的时空动态分析(Time-Space Dynamic Analysis About Event),以事件为线索,对系统的时空结构以及系统状态进行动态分析。

3.1 事件与事件流

3.1.1 事件

事件 (event),是指系统的某一因子或者若干因子发生了改变的那一时刻,系统的时空域状态及能流动态的总和。

显然,这种状态的改变,包括系统输出输入能流状态、系统本身的状态、系统内某一个或若干个子系统状态,或者系统内外的时空结构与状态的改变,也即所有系统状态的改变,再加上时间因子。因此,系统时间的发生,与时间密切相关,是时间的函数:

$$E=f(R, G, t)$$

式中 E 为复杂系统的事件, R 为复杂系统的时空结构, G 为复杂系统的能流, t 为时间。

当然地,事件包括系统发生过的历史事件、正在发生事件或即将发生的事件。

3.1.2 事件流

以某一观测因子为主线,将系统发生的一系列事件构成一个有序的集合,就成了系统的**事件流** (event flow)。

$$FE=\{E_i|i=1,2,\cdots,n\}$$

FE 为事件流, i 为观测因子, E_i 为事件。

观测因子,是指与事件密切相关的可观测的线性因子,可以是时间,可以是能流,也可以是线性化了的系统空间结构。

3.1.3 事件的描述

将研究区域划分为若干个单元,用 $1,2,\cdots, i, \cdots$ 表示;第 i 单元共有若干事件(已发生事件或潜在事件),用 $1,2,\cdots, j, \cdots$ 表示;第 j 事件有若干种发生动因(激发因子),用 $1,2,\cdots, k, \cdots$ 表示;第 i 单元共有若干种事件作用对象,用 $1,2,\cdots, l, \cdots$ 表示。那么,有关事件因子可以描述为:

(1) 动因强度

激发事件发生的因子的作用强度,用 M 表示。

(2) 单元稳定性阈值

表示单元稳定性的标志值用 S 表示。动因作用于单元,导致单元标志值 S 发生变化,当 S 变化超过范围 (S_{\min}, S_{\max}) 时,事件就发生。 (S_{\min}, S_{\max}) 就叫做某事件的单元稳定性阈值,用 T_S 表示, S_{\min} 与 S_{\max} 是临界点。由于事件的不同, (S_{\min}, S_{\max}) 有所不同,如,某地对某种作物,气温超过 38°C 或低于 12°C ,就会产生高温或低温灾害,其稳定性阈值可以表示为 $(12, 38)$;标准状况下,水低于 0°C 就结冰,表示为 $(0, +\infty)$,高于 100°C 就沸腾,表示为 $(-\infty, 100)$ 。

(3) 事件发生区间

只有当单元标志值突破单元稳定性阈值 T_S ,事件才发生。导致事件发生的单元标志值区间,叫做事件发生区间,用 T_O 表示。显然, $T_O=\text{Not}(T_S)-\{S_{\min}, S_{\max}\}$,即扣除临界点 S_{\min}, S_{\max} , T_O 与 T_S 互为补集。

如,上例中高温事件发生区间为 $(38, +\infty)$,低温事件发生区间为 $(-\infty, 12)$ 。当然有些事件的发生,可能包括临界点,如高温与低温事件,有可能表示为 $[38, +\infty)$ 、 $(-\infty, 12]$ 。而有些事件的发生,则不包括临界点,或者单元处在临界点状态并需要持续一段时间,事件才发生。

(4) 环境因子

支持事件发生的环境因子，用 $E_1, E_2, \dots, E_r, \dots$ 表示。

(5) 时间因子

事件的发生，需要动因在一定强度下作用一段时间才发生，并且事件的发生也需要一个过程。因此，事件的发生与时间密切相关。在事件中，时间因子用 T 表示。

(6) 事件结果

事件发生后，导致单元标志值发生突变，或者作用对象状态发生突变。事件发生的结果，就用其变化值表示。用 R^* 表示事件结果，则

$$R^* = \begin{cases} \Delta S & \square \square \square \square \square \square \square \square \\ Mu & \text{用作用对象状态变化表示} \end{cases}$$

ΔS 是单元标志值的变化量， Mu 是作用对象状态变化数值化表示。 R 表示事件结束时研究对象的状态， $R=R_0+R^*$ ， R_0 为初始状态或前一状态。

第 i 单元第 j 事件的结果 R_{ij} 为：

$$R_{ij} = \begin{cases} \iiint_{T, T_0} f(M_{ijk}, E_r, T) dM_{ijk} dE_r dT & \text{连续事件} \\ \sum_{(T, T_0) (M_{ijk}, E_r, T)} f(M_{ijk}, E_r, T) & \text{离散事件} \end{cases}$$

如果以作用对象为研究对象，则第 i 单元第 j 事件第 l 作用对象的结果 R_{ijl} ：

$$R_{ijl} = \begin{cases} \iiint_{T, T_0} f(M_{ijkl}, E_r, T) dM_{ijkl} dE_r dT & \text{连续事件} \\ \sum_{(T, T_0) (M_{ijkl}, E_r, T)} f(M_{ijkl}, E_r, T) & \text{离散事件} \end{cases}$$

第 i 单元第 j 事件的结果 R_{ij} 为：

$$R_{ij} = \sum_l R_{ijl}$$

(7) 事件间关联

事件间的关联，可以用赋权有向网络 $Rel(Eve, Con, W)$ 表示， Eve 为事件集合， Con 为事件间关联弧集合， W 为关联强度集合。

在同一单元内，事件间的关联表示为：

$Rel(i)(Eve(i), Con(i), W(i))$ ，即单元 i 内事件间的关联。

在不同单元间，如果研究的只是单元间的关联，则单元间关联表示为：

$Rel(U)(Eve(U), Con(U), W(U))$ ，即研究区域 U 内各单元间的关联。

如果对单元间关联进行深入研究，进入事件间关联水平，则单元间事件关联表示为：

$Rel(I-J)(Eve(i-j), Con(i-j), W(i-j))$

如果还需要进行更深入的研究，则进入动因、作用对象层次：

作用对象层次： $Rel(I-J-l)(Eve(i-j-l), Con(i-j-l), W(i-j-l))$

动因层次： $Rel(I-J-k)(Eve(i-j-k), Con(i-j-k), W(i-j-k))$

动因—作用对象层次： $Rel(I-J-k-l)(Eve(i-j-k-l), Con(i-j-k-l), W(i-j-k-l))$

事件间的作用，其实质是不同事件对同一或不同对象的作用强度。

3.1.4 事件间的关联与事件动态描述

事件间的关联，仅仅用赋权有向网络来表示显然是不够的，赋权有向网络仅仅只能表示事件间的静态状况，而事件的发展，是动态的。

为了表示研究区域内事件的动态状况，我们需要对 $Rel(Eve, Con, W)$ 进行更深入的定义：

整体研究对象的事件用 $Rel(Eve, Con, W)$ 表示。

(1) $Eve=\{P, R\}$

P 为研究对象的全体基本单元集合，根据研究层次不同，可以是单元、事件，也可以是事件作用对象； R 是 P 的状态值集合。

当研究基本对象是单元时， $P=\{i\}$ ；

当研究基本对象是事件作用对象是时， $P=\{i-l\}$ ；

当研究基本对象是事件时， $P=\{i-j\}$ 。

(2) $Con=\{Arc\}$

Arc 是单元间、事件间、作用对象间关系弧集合。当二者之间有正向作用时，弧值为 1；没有作用时，弧值为 0；为反作用时，弧值为 -1；有双向作用时，弧值为 2。

(3) $W=\{Weigh\}$

$Weigh$ 为关联强度集合。当 $Weigh$ 中某元素值大于 0 时，该元素值所表示的弧所连接的两个对象间作用为正向作用；小于 0 时，为反作用；等于 0 时，无作用；若有双向作用，则用 (a, b) 表示， a 为正向作用强度， b 为反向作用强度。

作用方向的确定，依据具体研究对象和作用时间顺序确定。

(4) 时间因子

事件的发生与发展，在空间上，通过划分单元来描述，通过对单元的合理编号，调查测定单元状态，来描述事件的静态状况。

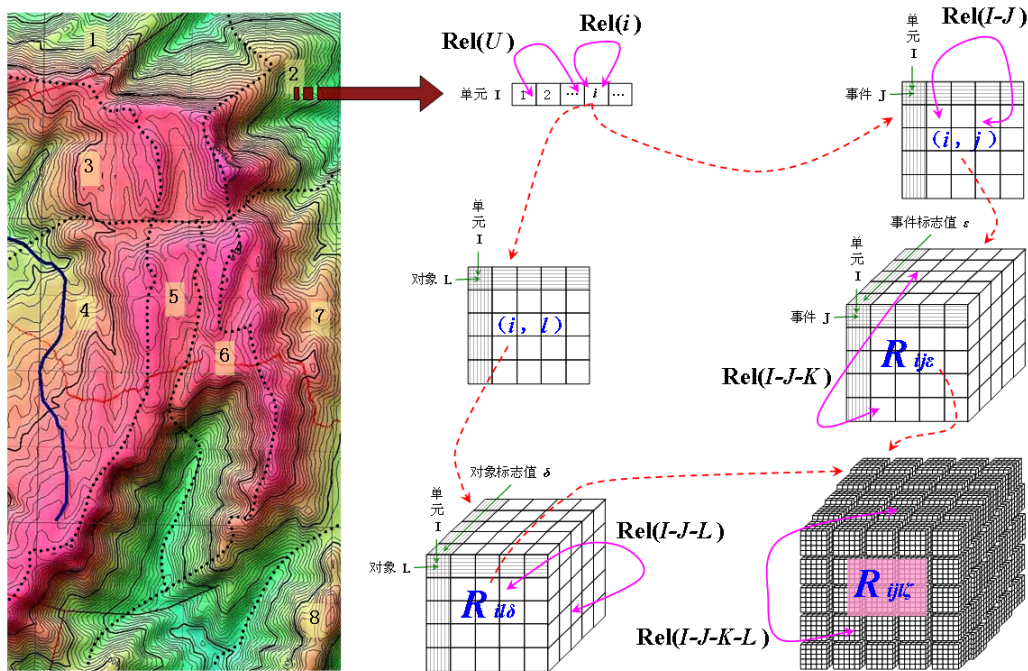


图 4-5 事件时空分析数据表达示意图 (张国庆, 2009)

实际上，事件是动态的，其发生发展除了与空间因子密切相关外，还与时间因子密切相关。对于事件的事件因子描述，可以使用两种描述方式：时间增量描述方式和特定事件发生事件描述方式。

①时间增量描述方式

使用符合研究精度要求的时间增量 Δt ，来描述事件的动态发展状况：

$$Rel[i, T](Eve, Con, W, E) = \int_{\Delta t} f(Rel[i, T - \Delta t](Eve, Con, W), E, \Delta t) dt$$

E 为环境因子集合, $E=\{E_1, E_2, \cdots, E_r, \cdots\}$, $E_1, E_2, \cdots, E_r, \cdots$ 为不同环境因子数据集合。

②特定事件发生事件描述方式

设特定事件发生事件序列为 t_1, t_2, \cdots , 则:

$$Rel[i, t_1](Eve, Con, W, E) = \int_{t_1-t_0}^{t_1} f(Rel[i, t_0](Eve, Con, W), E, T) dT$$

$$Rel[i, t_2](Eve, Con, W, E) = \int_{t_2-t_1}^{t_2} f(Rel[i, t_1](Eve, Con, W), E, T) dT$$

.....

3.2 事件的时空动态分析

核心是, 以事件为线索, 以时间为动态变量, 再以时间为切片 (dt), 或以空间为切片 (ds), 对复杂系统进行精细分析研究或仿真。

这样, 可以通过事件段 (片) 序列、时间段 (或时刻点序列)、结构点序列来观察系统的状态和能流变化动态, 以及系统空间 (包括组织结构) 变化动态。

事件的时空动态分析, 主要有事件流分析、研究对象状态模拟和事件发生过程分析。触发分析计算发生可以依据时间因子表示方法, 采取事先确定时间增量来触发分析计算, 或设定特定事件发生来触发分析计算。

3.2.1 事件流分析

事件流分析主要是进行关联强度分析。事件流分析, 可以对 $Rel(Eve, Con, W)$ 描述方式进行简化, 简化成标准的网络流表达方式。简化后, 可以采取网络流分析技术, 计算最大流、最小流、增益流以及能流的速度、加速度和流量等。

3.2.2 研究对象状态模拟

通过对事件的仿真模拟, 可以计算出各单元、单元内各事件对象的状态, 以及各单元间或系统间关系及能流动态, 再综合起来则可以近似地描述系统的整体状态, 从而再现系统的历史事件, 分析当前事件, 预测未来事件。

3.2.3 事件发生过程分析

按照时间序列, 仿真模拟各事件序列, 可以对事件过程、单元或事件对象状态进行详细分析, 找出特定、特殊事件或状态, 研究特定、特殊事件或状态发生动因。通过事件发生过程分析, 还可以事件上述事件流分析和研究对象状态模拟。[29]

3.3 关键因子分析

3.3.1 系统关键因子

(1) 事因

事因 (cause), 是指导致事件发生的因素。事件发生时的事因作用强度 (**事因强度**) 叫做**事因阈值** (cause threshold)。

(2) 事因链

一般情况下, 事件的发生, 是多种因素综合作用的结果。这些因素往往会形成一种因素链, 以串联或并联方式作用于系统, 导致事件发生。这种导致事件发生的因素链, 叫做**事因链** (cause chain)。复杂的事因链就构成了**事因网** (cause web)。

(3) 关键因子

关键因子 (key factor), 是指在事件发生中起决定作用的事因。

(4) 关键事件与关键时刻

关键事件 (key event) 是指在系统发展过程中起着重要作用的事件。关键事件发生的

时刻叫做**关键时刻** (key moment)。

(5) 关键因子分析

关键因子分析 (key factor analysis)，就是通过事因分析，寻找关键事因、关键事件或关键时刻，探究关键因子调控方法。

(6) 事件规模

事件规模 (event size)，指的是事件发生后影响空域范围、时域范围和作用强度。

3.3.2 事因链分析

事因链可以用图表示，节点表示事因或作用对象，边及权表示事因之间、事因与作用对象之间的作用方式与作用强度。

事因可以是人为的，也可以是自然的。事件管理，就是对其中关键事因实行控制，调控事因链，或者调控事因强度、作用方式、作用时间，实现事件的有效控制，达到管理目标。

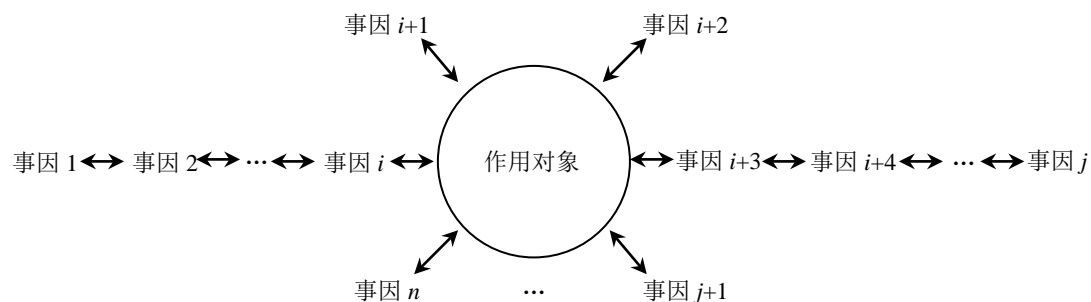


图 4-6 事因链及其作用方式

3.3.3 事件的过程

从物理过程看，事件的发生过程，就是事因强度聚集的过程，当积聚的事因强度超过事件阈值时，事件就发生了。例如，按照板块构造学说解释，岩石层板块的相对运动和相互作用，使地壳中的局部岩石受长期积累力的作用，当岩石不能承受压力，突然发生破裂时便形成地震。当某种昆虫在某地急剧增长，危害农作物，突破经济允许阈值，使农作物遭受重大损失，形成重大虫灾。

这一过程可以近似表示为：

$$D = v - \iiint_{S, T} f(N, A, T) dN dA dT$$

D 为事因强度， N 为自然事因， A 为人为事因， S 地理空间域， T 为时间域， v 为事因阈值。

$D > 0$ 时，系统处于平衡状态，系统继续保持稳定，事件不会发生。

$D = 0$ 时，系统处于平衡临界点，事件随时可能发生。

$D < 0$ 时，系统平衡被打破，稳定性遭到破坏，事件已经发生。

为了进一步理解事件与事因之间的关系，上式可以简化为：

$$D = f(g(N, A, T), h(S, T), v)$$

由此可以看出，事因作用于系统，当累积事因强度超过 v 时，就发生事件。这一过程除了与事因强度直接相关外，还与事因作用时间 T 长短、所处的空域 S 和系统的事因阈值 v 有关：

(1) 事因作用作用于系统时间越长，其事因强度累积就越多，事件发生的机率就越大，事件结果的规模也越大。

(2) 不同的空域，事因可能不同，事因强度也可能不同，事件的种类、规模也不同。

(3) 稳定性高的系统，对较小的事因作用、或间歇性的事因作用，系统能够自我回复到平衡点（自我修复力）。当事因强度超过其自我修复力时，相对于稳定性弱的系统来说，稳定性强的系统事件发生的时间要晚、发生频率低、发生规模小。

因此，事因、空间域、时间域、系统稳定性（事因阈值）因此合称为“**事件发生四因子**”，也即事件发生的完整的事因，广义上的事因或事件发生因子。

在事件发生四因子中，事因是主动性的事件发生因子，在事件发生过程中，占主动地位，是动态的，非线性的，是狭义的事因，一般意义上事因指的就是这种不包括时域、空域和事因阈值的事因。

时域、空域和事因阈值是被动性事件发生因子，对于某一个特定空域、时域和系统，相对于狭义事因来说，是静态的，线性的。

由此就可以将事件规模 L 可以表示为：

$$L=f(D)$$

显然，事件规模 L 的大小明显受 D 也即 N 、 A 、 S 、 T 和 v 的直接影响。

3.3.4 事件的控制

事件的控制，是指根据系统或人类的需要，改变事件规模。

从宏观上来看，事件的控制，一方面在于事先控制，也即在事件发生之前对事件进行预先控制；另一方面在于事件发生时，调节事件规模。

从微观上看，实现事件控制，可以从 $L=f(D)$ 入手，分析研究事件发生四因子，从事件发生四因子着手，采取相应的“**事件控制四策略**”，实现对事件的控制：

（1）狭义事因控制。研究探索狭义事因作用机理，根据其作用机理，采取相应的控制措施。

（2）时域控制。研究时域与事件发生之间的关系，根据其关系，采取相应的控制措施。

（3）空域控制。研究空域与事件发生之间的关系，根据其关系，采取相应的控制措施。

（4）系统稳定性控制。改变系统的稳定性，也即调节系统的修复力或者事因阈值，实现对事件的控制。

3.3.5 事因管理

事因管理，就是对事件进行监测，把握系统关键因子，对其实行控制，以调节事因或事因链，实现对事件的控制。

（1）事因链描述

如果把事因、事因作用对象用点表示，事因之间、事因与作用对象之间关联用边表示，事因链链则可以用图表示。设事因作用对象为 O ，事因为 v_i ，事因之间关联的边为 e_{ij} ，事因与作用对象之间关联的边为 e_{oi} , $i, j=1, 2, \dots, n, i \neq j$ ，则用图表示为：

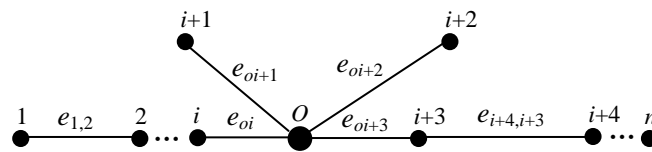


图 4-7 事因链的描述

e_{ij} 与 e_{oi} 可以表示为：

$$e_{ij} = \langle i, j \rangle$$

$$e_{oi} = \langle i, o \rangle$$

显然， $e_{ij} \neq e_{ji}$ ，也即 $\langle i, j \rangle \neq \langle j, i \rangle$ 。

事因之间、事因与作用对象之间的关联强度可以用边的权数表示。这样，事因可以使用图论或网络分析等数学方法进行分析与控制。

设 t 时刻事因作用对象 O 的状态为 $D(t)$ ，则事因链可以用事因矩阵表示：

$$D(t) = \begin{pmatrix} (v_1 \ v_2 \ \cdots \ v_n), \text{ 事因状态} \\ \begin{pmatrix} e_{oo} & e_{o1} & e_{o2} & \cdots & e_{on} \\ e_{1o} & e_{1,1} & e_{1,2} & \cdots & e_{1,n} \\ e_{2o} & e_{2,1} & e_{2,2} & \cdots & e_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{no} & e_{n,1} & e_{n,2} & \cdots & e_{n,n} \end{pmatrix} \\ \text{边的权数} \end{pmatrix}$$

若事因对作用对象作用是单向的，作用方向都指向作用对象，且无自激（Self-excitation）作用，则事因链图为有向图，边指向事因作用对象，且无自圈（自反）。其事因矩阵为三角矩阵，主对角线及主对角线以下元素均为零，即严格上三角矩阵。若存在自激事因，则不是严格上三角矩阵。

（2）事因流

从某一事因到事件发生的连续事因序列称为**事因流**（cause flow），其中从起始事因到事件发生的事因流为该事件的完整事因流。起始事因是指激发事件发生的最原始的因素。

从图论上看，事因流就是从某一事因到作用对象的连通的道路。

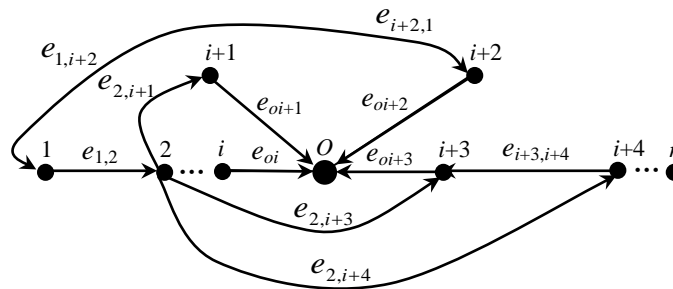


图 4-8 事因流

在事因图4-8中， $\{e_{n,n-1}, e_{n-1,n-2}, \cdots, e_{i+4,i+3}, e_{oi+3}\}$ 为一条事因流，且是一条完整事因流。

在一条事因流中，对于某一事因来说，位于其前面的事因，称为该事因的上游事因，位于其后面的事因称作该事因的下游事因。

图4-8中，对于事因流 $\{e_{1,2}, e_{2,i+4}, e_{i+4,i+3}, e_{oi+3}\}$ 中事因 v_{i+4} 来说， v_1 、 v_2 是上游事因， v_{i+3} 是下游事因。

（3）事因管理

事因管理，既可以对事因的“点”进行控制，也可以对“边”进行控制，调节事因链或点，实现事件的管理。

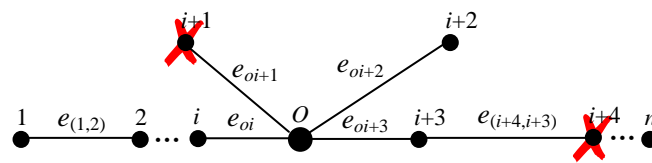


图 4-9 事因的“点”控制

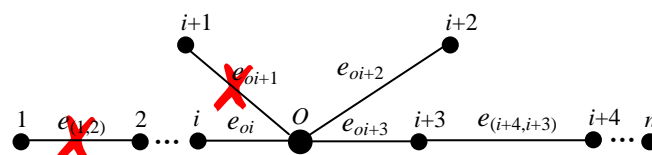


图 4-10 事因的“边”控制

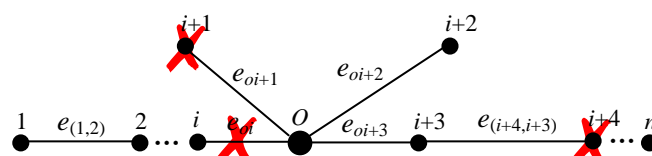


图 4-11 事因的“点”、“边”综合控制

事因管理方式，可以根据不同事因，采取不同的调节方式进行调节。可以从调节事因作用时间、范围和强度着手，也可以从调节事因的“边”或“点”着手，或者采取综合的措施，对适应进行调控。

(4) 关键因子的确定

关键因子，是指那些激发事件发生的关键性因素。对于事因控制来说，关键因子可以通过以下方法得到：

①有较多关联边数的事因“点”；

②权数较大的“边”；

③控制成本较小事因“点”或“边”；

④若由于技术原因，或者控制成本原因等因素，使得通过方法①、方法②或者方法③获得的事因“点”或“边”不可控制，则使用方法①、方法②或者方法③对其上游或下游事因进行筛选；

⑤综合使用方法①、方法②、方法③、方法④确定关键事因。

上述关键因子确定方法，可以通过网络分析方法确定。[29,17,34]

3.4 法制事件溯源

系统 TSE 分析的实质，就是根据研究需要，对法制系统或法制事件的时域与空域的点、片、段，或者对事件或系统本身的点、片、段进行分析研究，详细了解事件发生的机理，可以广泛应用于法制系统过程动态分析。因此，TSE 分析除了应用于预测之外，还可以对法制系统的历史进行追溯，重现历史事件，实现系统溯源。

溯源（trace to the source），就是追寻事物产生的根源。法制系统溯源（system trace），通过对法制系统的 TSE 分析，监测或追溯分析并记录法制系统的历史事件，对法制系统历史事件展开详细分析，深入探究事因。

法制系统溯源在法制系统管理中有着十分重要的作用，通过法制系统溯源，了解法制系统历史事件发生的事因、时空域范围、强度以及事因作用方式等，为法制系统建模仿真提供理论依据和基础数据，为法制系统预测与规划、提高法制系统健康水平等提供理论依据和实践依据[29,31,32,96,97]。

4. 罪因溯源

如果不溯源罪因，则惩处罪犯仅仅只是治标不治本，很难说是良法善治。溯源罪因，一是惩处罪犯，二是通过司法或行政手段，解除诱发犯罪的根本原因。如珍稀野生动植物保护中，解除采猎人员贫困，加强特殊阶层人士（消费者）的生态

文化教育，才是治本之策。

通过罪因溯源，杜绝或预防犯罪，才是真正的良法善治之道。通过罪因溯源，追究犯罪真正原因，惩治犯罪元凶。当某一种犯罪高发时，我们更要认真进行犯罪溯源，查找犯罪真正原因，这种原因，一，可能是我们的法律过时了，需要尽快修订法律，例如以前的投机倒把罪。二，可能是我们的社会意识、社会道德沦丧了。三，我们的社会制度存在问题。对于原因二与三，这就需要政府进行改革。

罪因溯源，可以采用 TSE 事因溯源法：

在犯罪事件中，可以把整个犯罪事件及其环境当成一个系统，罪因作用于该系统，当累积罪因强度超过一定阈值时，就发生事件。这一过程除了与事因强度直接相关外，还与事因作用时间长短、所处的空域和系统的事因阈值有关。因此，事因、空间域、时间域、系统稳定性（事因阈值）因此合称为“事件发生四因子”，也即事件发生的完整的事因，广义上的事因或事件发生因子。

如果把事因、事因作用对象用点表示，事因之间、事因与作用对象之间关联用边表示，事因链链则可以用图表示。设事因作用对象为 O ，事因为 v_i ，事因之间关联的边为 e_{ij} ，事因与作用对象之间关联的边为 $e_{oi}, i, j=1, 2, \dots, n, i \neq j$ ，则可以用图表示。

事因之间、事因与作用对象之间的关联强度可以用边的权数表示。这样，事因可以使用图论或网络分析等数学方法进行分析与控制。

关键罪因，可以通过TSE关键因子的确定方法得到。

5.刑罚计量

立善刑，除暴刑，是良法善治的目标之一。刑罚的实质是以暴力惩罚犯罪，但是这个暴力要适度，要罪刑相当，要维护罪犯的正当权益。因此，除了量刑要公正、科学之外，刑罚计量也非常重要。刑罚的计量，不仅为量刑提供刑罚的计量标准，还为刑罚的执行提供计量依据。

笔者认为，科学刑罚计量方法，应该以劳动计量为基础，将犯罪造成的损失或伤害折合标准劳动量，对罪犯施以惩处：

$$P = k \bullet \frac{L}{S}$$

式中 S 为犯罪结束日的全国日平均工资， L 为犯罪造成的损失或伤害， P 为罪犯应受到的刑罚， k 为刑罚系数。

S 也可以按照对罪犯拘禁首日的全国日平均工资计算， k 与量刑因素密切相关。

刑罚计量除了应用于量刑与刑罚执行之外，还可以应用于国家赔偿。国家赔偿一般可以折合成货币数量，给予受害者予以经济上的赔偿。如果是造成了经济上的损失，可以直接按照损失数量赔偿或恢复。如果是错误地对受害人进行了拘禁，其赔偿货币数量，可以按照受害者受害期间全国日平均工资计算：

$$C = p \bullet s$$

式中 s 为受害者受害期间全国日平均工资， p 为受害人受到错误拘禁的日数， C 为受害者应得到的赔偿货币数量。

第三节 法制信息学

法制信息学是研究法制信息的获取、处理、传递和利用的规律性的一门新兴学科。法制信息学以法制信息为研究对象，以计算机、网络等为研究工具，以扩展人类的法制信息功能为主要目标的一门综合性学科。目前，全球法制信息网络、法制专家系统的研制及其理论研究是法制信息学主要研究内容

1.全球法制信息系统

目前，虽然各国的法律信息基本上都在网络上公开，但是，也只不过是法律信息，而且：

①法律信息各国都是独立的，没有融合到一起，不能相互参照比较；

②法律信息都是块状的，即以单个法律呈现在公众面前，仅仅只是把法律条文txt化，没有将法律内容变量化，变成真正意义上的数字法律，不能提供法律信息的智能化服务；

③缺少其它法制信息。

因此，我们有必要将全世界法律统一变量化，实现无障碍无缝共享，并提供智能化法律信息服务。要实现这一目标，首先要采用标准化方法，将各国现有法律使用统一术语标准化，其次是将标准化的法律信息及其相关信息赋值给标准化了的变量，最后据此建立全球智能化法律信息库。

（1）法律分类的标准化

在全球范围内，将现有法律进行统一分类与命名。

（2）通用术语的标准化

在全球范围内，按法律分类，对专业术语、符号、量纲、关键词以及数据等通用性术语标准化，做到这些项目与内容规范、唯一，不重复，不冲突。

（3）建立标准化变量

建立标准化变量，以便进一步法律数据分析。

（4）法律内容数据化

对法律中的关键内容，按照标准化了的术语进行赋值给标准化了的变量。

（5）编制法律关系图

按照法律中引用关系或法律中关键词涉及到其他法律或社会规范的，编制法律关系图，尤其是法律之间的关键词关系图的编制。由于发布主体不同或发布时间不同，很有可能造成不同的法律同一关键词的值互相矛盾。法律关系图的建立，目的就为了避免这一问题的存在，保证法律之间关系明确，互不冲突。

（6）建立全球法律信息数据库

经过上述对法律的标准化，可以按照法律名称、法律中的关键词以及其他信息，建立全球标准信息数据库。

（7）建立全球法律信息管理系统

建立了全球法律信息数据库，就可以建立全球法律信息管理系统，结合自然语言信息处理技术，实现面对全球的法律信息智能查询与下载，并实现对全球法律信息系统的维护。

2.法制活动智能化

目前的法制活动，一是依法，二是凭借司法经验来开展的。但是，但是，人的精力和能力总是有限的，再加上人容易受到情感因素干扰，尤其是司法中的推理、证据的引用、信息

的不完备，以及案件侦查中人为因素干扰和各种限制性因素的限制（如不可到达，不可再现，不可实现等）等等，都会影响到立法、司法质量与效果。为此，建立人工智能法制系统，显得尤为重要。

人工智能法制系统，就是运用人工智能（artificial intelligence, AI）理论、方法、技术，实现对法学知识（包括法学理论与技术，法制活动经验，法律等）自动学习与推理，建立法制专家系统（expert system），为人类的法制活动提供决策参考。

法制专家系统是一个智能计算机程序系统，其内部含有大量的法制领域专家水平的知识与经验，能够利用人类法制专家的知识 and 解决问题的方法来处理法制领域问题。也就是说，法制专家系统是一个具有大量的专门知识与经验的程序系统，它应用人工智能技术和计算机技术，根据法制领域一个或多个专家提供的知识和经验，进行推理和判断，模拟人类专家的决策过程，以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。简而言之，法制专家系统是一种模拟人类法制专家解决法制领域问题的计算机程序系统。

2.1 系统构造

法制专家系统通常由人机交互界面、知识库、推理机、解释器、综合数据库、知识获取等6个部分构成。其中尤以知识库与推理机相互分离而别具特色。

为了使计算机能运用法制专家的领域知识，必须要采用一定的方式表示知识。目前常用的知识表示方式有产生式规则、语义网络、框架、状态空间、逻辑模式、脚本、过程、面向对象等。基于规则的产生式系统是目前实现知识运用最基本的方法。产生式系统由综合数据库、知识库和推理机3个主要部分组成，综合数据库包含求解问题的世界范围内的事实和断言。知识库包含所有用“如果：〈前提〉，于是：〈结果〉”形式表达的知识规则。推理机（又称规则解释器）的任务是运用控制策略找到可以应用的规则。

（1）知识库

知识库用来存放专家提供的知识。专家系统的问题求解过程是通过知识库中的知识来模拟专家的思维方式的，因此，知识库是专家系统质量是否优越的关键所在，即知识库中知识的质量和数量决定着专家系统的质量水平。一般来说，专家系统中的知识库与专家系统程序是相互独立的，用户可以通过改变、完善知识库中的知识内容来提高专家系统的性能。

人工智能中的知识表示形式有产生式、框架、语义网络等，而在专家系统中运用得较为普遍的知识是产生式规则，产生式规则以IF…THEN…的形式出现，IF后面跟的是条件（前件），THEN后面的是结论（后件），条件与结论均可以通过逻辑运算AND、OR、NOT进行复合。在这里，产生式规则的理解非常简单，如果前提条件得到满足，就产生相应的动作或结论。

（2）推理机

推理机针对当前问题的条件或已知信息，反复匹配知识库中的规则，获得新的结论，以得到问题求解结果。在这里，推理方式可以有正向和反向推理两种。

正向链的策略是寻找出前提可以与数据库中的事实或断言相匹配的那些规则，并运用冲突的消除策略，从这些都可满足的规则中挑选出一个执行，从而改变原来数据库的内容。这样反复地进行寻找，直到数据库的事实与目标一致即找到解答，或者到没有规则可以与之匹配时才停止。

逆向链的策略是从选定的目标出发，寻找执行后果可以达到目标的规则；如果这条规则的前提与数据库中的事实相匹配，问题就得到解决；否则把这条规则的前提作为新的子目标，并对新的子目标寻找可以运用的规则，执行逆向序列的前提，直到最后运用的规则的前提可以与数据库中的事实相匹配，或者直到没有规则再可以应用时，系统便以对话形式请求用户回答并输入必需的事实。

由此可见，推理机就如同专家解决问题的思维方式，知识库就是通过推理机来实现其价值的。

(3) 其他部分

人机界面是系统与用户进行交流时的界面。通过该界面，用户输入基本信息、回答系统提出的相关问题，并输出推理结果及相关的解释等。

综合数据库专门用于存储推理过程中所需的原始数据、中间结果和最终结论，往往是作为暂时的存储区。解释器能够根据用户的提问，对结论、求解过程做出说明，因而使专家系统更具有人情味。

知识获取是专家系统知识库是否优越的关键，也是专家系统设计的“瓶颈”问题，通过知识获取，可以扩充和修改知识库中的内容，也可以实现自动学习功能。

2.2 实现方式

早期的专家系统采用通用的程序设计语言（如fortran、pascal、basic等）和人工智能语言（如lisp、prolog、smalltalk等），通过人工智能专家与领域专家的合作，直接编程来实现的。其研制周期长，难度大，但灵活实用，至今尚为人工智能专家所使用。大部分专家系统研制工作已采用专家系统开发环境或专家系统开发工具来实现，领域专家可以选用合适的工具开发自己的专家系统，大大缩短了专家系统的研制周期，从而为专家系统在各领域的广泛应用提供条件。

2.3 工作过程

专家系统的基本工作流程是，用户通过人机界面回答系统的提问，推理机将用户输入的信息与知识库中各个规则的条件进行匹配，并把被匹配规则的结论存放到综合数据库中。最后，专家系统将得出最终结论呈现给用户。

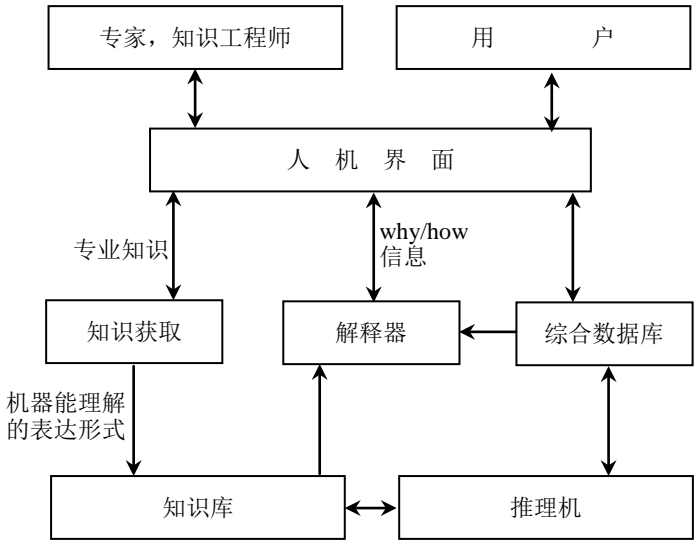


图 4-12 法制专家系统结构与工作过程

专家系统可以通过解释器向用户解释以下问题：系统为什么要向用户提出该问题（Why）？计算机是如何得出最终结论的（How）？

领域专家或知识工程师通过专门的软件工具，或编程实现专家系统中知识的获取，不断

地充实和完善知识库中的知识。

2.4 性能

(1) 功能

法制专家系统应具备以下几个功能：

- ①存储问题求解所需的知识。
- ②存储具体问题求解的初始数据和推理过程中涉及的各种信息，如中间结果、目标、字母表以及假设等。
- ③根据当前输入的数据，利用已有的知识，按照一定的推理策略，去解决当前问题，并能控制和协调整个系统。
- ④能够对推理过程、结论或系统自身行为作出必要的解释，如解题步骤、处理策略、选择处理方法的理由、系统求解某种问题的能力、系统如何组织和管理其自身知识等。这样既便于用户的理解和接受，同时也便于系统的维护。
- ⑤提供知识获取，机器学习以及知识库的修改、扩充和完善等维护手段。只有这样才能更有效地提高系统的问题求解能力及准确性。
- ⑥提供一种用户接口，既便于用户使用，又便于分析和理解用户的各种要求和请求。这里强调指出，存放知识和运用知识进行问题求解是专家系统的两个最基本的功能。

(2) 特点

法制专家系统是一个基于法制知识的系统，它利用人类专家提供的法制知识，模拟人类法制专家的思维过程，解决对人类专家都相当困难的问题。一般来说，一个高性能的法制专家系统应具备如下特征：

- ①启发性。不仅能使用逻辑知识，也能使用启发性知识，它运用规范的专门知识和直觉的评判知识进行判断、推理和联想，实现问题求解。
- ②透明性。它使用户在对专家系统结构不了解的情况下，可以进行相互交往，并了解知识的内容和推理思路，系统还能回答用户的一些有关系统自身行为的问题。
- ③灵活性。专家系统的知识与推理机构的分离，使系统不断接纳新的知识，从而确保系统内知识不断增长以满足商业和研究的需要。^[3]

第四节 全球安全网络

全球安全网络的核心，是生命地球系统的建设。

1.生命地球

生命地球（Life-Earth）的实质，就是把整个地球，乃至整个宇宙，当作一个生命体。我们人类只是其中一个分子，我们在生活、发展的同时，赋予他以活力和智慧，增强他的自稳性，维护他的健康。生命地球的实现途径就是要构建“和谐地球”和“安全地球”，目标是“幸福地球”。也就是说，要实现“幸福地球”的目标，就是要构建“生态和谐、社会和谐、心理和谐”的生命地球，并要保障地球的安全。和谐地球的建设，首先要树立“民心物体”的理念，也即“万民是我心，万物是我体”，众生平等，共享地球（宇宙）。“生态和谐”就是推行“按需生产，清洁生产，节约生产，快乐生产，清洁生活，勤俭生活”的生产生活方式；“社会和谐”就是政府要保护公民的生命、自由的同时，还要维护社会公平，促进社会发展（生命、自由、公平、发展）；“心理和谐”就是营造自由与公平的环境，发展先进文

化，提高公民素质；“安全地球”就是应用先进的技术手段，维护生态安全、社会安全、个人安全。[98]

2.安全地球

安全地球，就是应用先进的技术手段，维护生态安全、社会安全、个人安全。

3.1 安全监测

(1) 立体地图

通过航天平台，应用数字地球、智能地球、Google Earth技术，建立精准立体数字地图系统，通过互联网发布。面向大众、用于一般定位和报警的普通精度立体地图，免费发布，高精度专业应用部分可以适当收费。

(2) 航空重点监测

对于一些突发事件，通过航空平台，采集高精度数据，与数字立体地图实行无缝链接。

(3) 地面实时监测

对于一些重点区域，通过视频，进行实时监测，并与数字立体地图进行无缝链接。

(4) 地面专业调查

对于一些精度要求更高、需要更详细的地面调查或进行科学研究，由外业人员携带便携数字终端，开展专业调查。

(5) 用户终端

所有用户终端，都应该具有实时通信、广播信息接受、GPS定位、一键紧急报警并实时发出报警时所在地理信息等基本功能。

专业应用：通过手持移动终端，现场采集数据和进行预处理，可应用于各种野外作业。

溯源：通过终端，对溯源对象进行检测、追踪、定位与事件回溯。

个人用户：普通应用。个人信息交流、广播信息接受、普通定位、紧急报警、个人健康检测等。

3.2 健康评估和预警

通过对生态健康、社会健康、个人健康状况进行实时监测，通过智能评估软件进行健康状况评估，发出安全隐患预警。

3.3 安全维护

根据安全状况监测、健康状况评估和预警数据，进行安全状况和安全维护措施仿真，选择合适的安全管理措施，消除安全隐患，防止灾害事件发生，或者及时救援，控制损失或危害扩散。

3.4 系统溯源

为系统溯源提供物理平台和技术支撑。[98]

第五章 立法的系统方法

本章运用系统工程技术，介绍了立法的工作方法、工作程序、立法系统分析等内容。

立法的系统工程方法是在综合应用法学、运筹学、控制论、信息论、管理科学、心理学、经济学以及计算机科学等有关学科的理论和方法的基础上，用于解决立法中复杂系统问题的一套工作步骤、方法、工具和技术。

立法的系统工程方法，旨在使用先进的工作方法与技术，改变传统的直观的、经验的、局部的方法，使得工作目标更加符合整体利益，更加科学、可靠、高效、快捷地达到目标。

第一节 立法工作方法

无论是就某一个具体的法律，还是一个国家的整体法律，抑或者是立法及其司法活动，都可以把它们看做是一个系统，即法律系统。根据法律系统的结构、功能和法律的进化，研究方法主要有结构方法、功能方法、历史方法、TSE方法和系统仿真。其中结构方法、功能方法、历史方法是基本研究方法；TSE方法是建立在前三者基础上，运用数学手段，对系统进行时间、空间动态分析研究；系统仿真则是运用前面四者的研究成果，建立系统模型，运用仿真工具，对法律及其司法活动进行仿真模拟研究。

1. 结构方法

法律系统是由多个要素组成的集合体，各要素之间相互关联、相互作用，形成特定的整体结构。在形式上，这种作用表现为加和特性、非加和特性、正反馈特性、负反馈特性、因果关联等形式结构，与此同时，系统各要素在空间上又表现为空间结构，在时间上又表现为时间结构。因此，就要根据其不同的结构表现形式，采取不同的方式开展工作。

法律系统的结构研究方法，可以探索系统的性质和内部结构，预测系统行为的发展方向，进行系统结构设计，或对现有系统进行优化。

(1) 形式结构方法

法律系统在形式结构上，通过反馈、因果关联等关系，表现出加和或非加和特性，因此，法律系统在形式结构方面，重点任务是加性分析、反馈判定、因果关系类型区分等。

① 加性分析

法律系统的加性表现为加和性和非加和性，加和性一般用线性表示，非加和性用非线性表示。加和性关系，是系统的功能依赖于诸要素功能的总和，可表示为：

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i$$

非加和性关系，是组成系统诸要素的功能之和不等于系统整体功能，即常说的 $1+1 \neq 2$ ，又即“整体不等于部分之和”，常表示为：

$$S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n = \prod_{i=1}^n S_i$$

②反馈判定

在法律系统中，诸要素之间都要传递信息，通过信息的传递，在他们之间构成了相互制约或相互促进的作用，这种关系其实就是一种反馈关系。凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相同，对控制部分的活动起增强作用的，就是正反馈。凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反，对控制部分的活动起制约或纠正作用的，就是负反馈。

在具有正反馈作用的条件下，法律系统就有自我反复加强的特性，使效应装置活动愈来愈强。负反馈的作用是维持稳态，使得系统保持在某一相对稳定的水平上。

③因果关系类型区分

法律系统的加性是系统反馈关系的外在表现形式，加性的正负就是系统的正、负反馈的表现。由于反馈的存在，系统诸要素之间的相互联系与作用，就形成了反馈链，也即因果链，因果链将系统内诸要素串联起来，构成了因果关系。

在法律系统中，因果关系类型主要有长因果链、因果环、因果网。

长因果链：在系统中存在 A、B、C 等要素，他们之间的呈链状因果关系。长因果链关系可表示为：

$$\rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow$$

因果环：在系统中存在 A、B、C 等要素，A、B、C 之间的因果关系形呈环状。因果环关系可表示为：

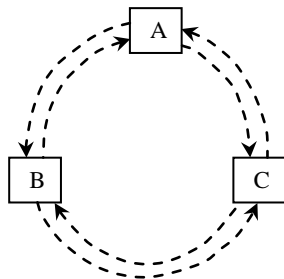


图 5-1 因果环（仿高志亮，李忠良，2004）

因果网：系统中各要素的因果关系呈网状。因果网可表示为：

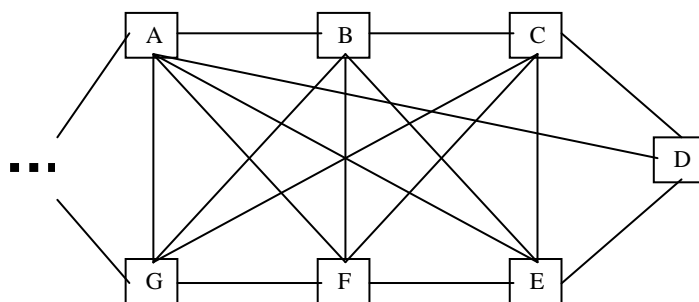


图 5-2 因果网关系图

概率因果关系：系统内要素间因果关系呈现不确定性，原因和结果之间存在概率关系。如果因果关系中各要素 A、B、C、D……之间因果关系呈现概率性，则该因果关系为概率因果关系。

显然，长因果链、因果环、因果网是概率因果关系的特殊情况。在因果网关系图中，当各要素之间的因果关系概率为 1 时，则为因果网关系；当 A—B—F—G—A 的关系概率为 1，其他要素之间关系概率为 0 时，则 ABFG 形成一个因果环；当 B—C—D 的关系概率为 1，其他要素之间因果关系概率为 0，则 BCD 构成了一个长因果链。

（2）空间结构方法

空间结构是组成法律系统的要素在空间上的排列次序和方式，法律系统的空间结构有等级结构、并列结构、等级-并列复合结构三种类型，空间结构方法相应地也有三种方法。

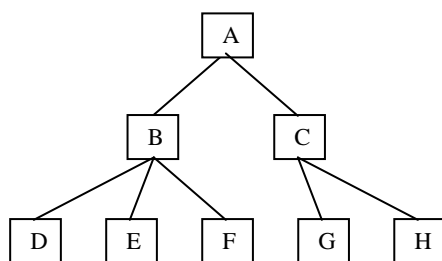


图 5-3 系统的等级结构

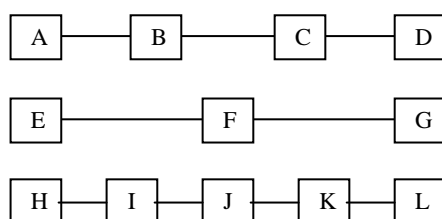


图 5-4 系统的并列结构

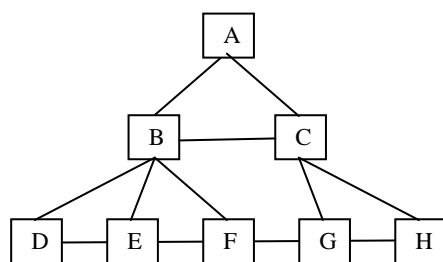


图 5-5 系统的复合结构

①等级结构方法

法律系统的等级结构是指系统在纵向上由若干等级组成的层次结构，各等级之间存在着高级和低级的区分。

等级结构的方法就是把系统按照它的实际构成，划分为若干等级层次，逐层进行研究，然后采取形式结构方法，综合成系统整体。

②并列结构方法

法律系统的并列结构是指系统在横向上由若干平行的子系统构成。

并列结构方法是把系统划分为若干平行的部分，并研究各部分相互之间的相互联系和相互作用。

③等级-并列复合方法

通常情况下，一个法律系统既存在等级结构，又存在并列结构。等级-并列复合方法，就是根据法律系统的实际结构，把法律系统划分成不同层次的等级结构和若干部分的并列结构，采取等级结构的方法和并列结构的方法，对各层次、各部分开展研究。

（3）时间结构方法

通常情况下，法律系统是随着时间变化而变化的，法律系统不断从低级到高级、简单到复杂、无序到有序地进化着。在这一进化过程中，法律系统经历着由不稳定态到稳定态、由

量变到质变的不同进化阶段。

时间结构方法就是按照时间的顺序，结合法律系统的进化阶段，把法律系统划分为若干独立的部分，研究其进化过程和各稳定态之间的相互联系与作用。

(4) 空间-时间结构方法

事实上，空间-时间结构是不可分割的，只有把空间结构和时间结构统一起来，才能把握法律系统在时间、空间上结构的变化。法律系统在进化过程中，在时间上表现为不同稳定态的层次结构，即形态的空-时结构；由于法律系统进化的不平衡，法律系统在进化过程中，在不同的历史阶段上，表现为一定稳定态在空间中的并列分布，即历时的空-时结构。

①形态的空-时结构方法

法律系统的时间结构产生于系统的空间结构的更替，系统的空间结构又是系统时间结构的轨迹。系统在进化中，不断地更替着稳态结构，每一种低级形态的稳态结构，都以扬弃的形式遗传给高级形态，这些历时的稳态结构，在高级形态系统中，就构成了它的空间结构。空间结构和时间结构在系统的最高级形态的稳定结构中获得了统一，在这种高级形态系统中，空间结构表现为时间结构的缩影，时间结构在空间结构中获得遗传。

因此，对于高级形态的法律系统结构的研究，必须在空间结构中揭示它的历时性，在时间结构上揭示它的层次性，这便是形态的空-时结构方法。这种研究方法，可以通过对系统的高级形态的认识，来揭示系统低级形态的特征。

②历时的空-时结构方法

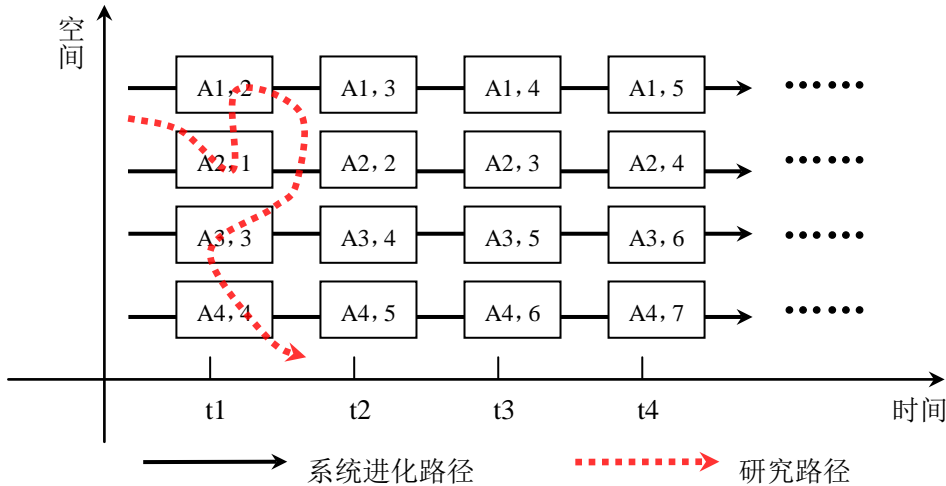


图 5-6 历时的空-时结构方法

法律系统的时间结构，再现了系统进化过程中在时间上相继延续的各种稳定态结构。由于系统进化的不平衡，在同一类系统中，不同的个体的系统，在同一时间点上表现为不同的进化形态，这种形态并列地分布在空间中，构成了历时的空-时结构。

如图 5-6 所示，在 t_1 时刻，在某一空域内，某类系统 A 有 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 共 4 个系统，且处在不同的进化状态 $A(1,2)$ 、 $A(2,1)$ 、 $A(3,3)$ 、 $A(4,4)$ 。在 t_1 时刻研究这 4 个系统进化状态，沿着路径 $A(2,1) \rightarrow A(1,2) \rightarrow A(3,3) \rightarrow A(4,4)$ ，可以得到 A 类系统的进化时间序列 $A(*,1) \rightarrow A(*,2) \rightarrow A(*,3) \rightarrow A(*,4)$ 。采取同样的方法，在 t_2 时刻可以得到 $A(*,2) \rightarrow A(*,3) \rightarrow A(*,4) \rightarrow A(*,5)$ 序列。

通过长期研究，综合 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4等时刻的研究成果，可以得到 $A(*,1) \rightarrow A(*,2) \rightarrow A(*,3) \rightarrow A(*,4) \rightarrow A(*,5) \rightarrow A(*,6) \rightarrow A(*,7) \dots$ 序列。

根据系统的历时的空-时结构，可以通过同时研究系统在空间上并列存在的各个历史时

期的稳态结构，揭示系统的进化规律，这就是历时的空-时结构方法。

2.功能方法

结构反映系统内部要素之间的关系，功能则反映系统与外部环境之间的关系，表达系统的活动和行为。系统的功能是系统整体与外部环境相互作用中表现出来的适应环境、改变环境的能力和行为。或者说，一个系统的功能是从外界对系统的输入到向外界输出的转换。如果外部环境是另一些系统，那么，系统与外部环境的关系，就是不同系统之间的关系。

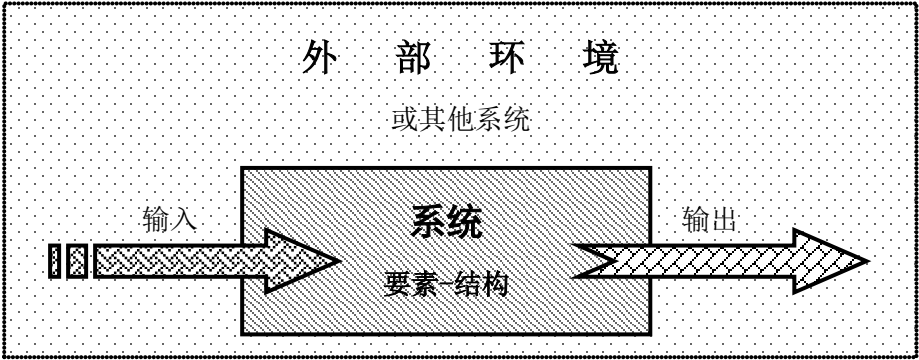


图 5-7 系统与功能

显然，系统的功能是以其结构为基础的，相对于外部环境来说，系统的结构是相对不变的，功能则与外部输入有关，体现着物质、能量、信息的输入与输出的变换关系。

可见，功能只有在系统同要素结构和环境的关系中，才能得到表现。功能方法就是在与要素、结构、环境的相互关系中，把握系统的能力和行为的分析方法，它包括功能分析法、功能模拟法、黑箱分析法。

（1）功能分析法

功能分析法是从分析系统的要素、结构、环境的关系来研究系统功能的方法，常分为要素-功能分析法、结构-功能分析法和环境-功能分析法。

①要素-功能分析法

从组成系统的要素入手，研究系统的功能。一般而言，要素对系统功能的影响，主要是组成系统的要素的数量不同与质量不同，造成了系统功能的差别。要素-功能分析法就是根据要素与功能的关系，通过对组成系统要素的数量与质量分析，研究系统的功能，从而通过对系统要素的数量与质量的调整，开展系统设计，或对系统进行优化。

②结构-功能分析法

结构-功能分析法是依据结构决定功能的原理，通过分析系统的结构及其变化来研究系统的功能。

系统的要素对功能的影响，是以结构为中介的，因此，对系统的研究，要素-功能分析法必须建立在结构-功能分析法基础上，结构-功能分析法是系统功能分析法的核心。

对系统的结构与功能的关系的研究，可以对同构或异构系统进行分析，研究其功能与结构的变化关系。同构同功、异构异功，是表示系统的结构相同，功能也相同，系统的结构不同，其功能也不相同；异构同功，则是表示系统结构不同，功能相同；同构异功，表示结构相同，功能不同。

异构同功和同构异功，说明该类系统的功能与结构有相对的独立性，对这一类系统的研究，要以系统的主要功能为主线，开展系统功能模拟研究，抓住系统功能转化的主要条件，进行系统设计或优化。

③环境-功能分析法

系统的功能是系统与环境相互作用的结果，环境的不同，必然会引起系统功能的变化，或者影响系统功能的发挥。环境-功能分析法，就是根据系统与环境的相互关系原理，分析环境变化对系统功能的影响。

系统功能与环境间的变化，一方面表现为，系统的功能适应环境，即系统的功能只有在与环境的相互作用的过程中，才能得到发挥。在这一过程中，系统的功能必须适应环境，同时，系统还能积极地改造环境，使自己的功能得到充分发挥。

另一方面表现为，环境选择功能。环境对系统功能的选择是多方面的，由于系统的功能是多方面的，随着环境条件的变化，系统的功能也在不断变换。

环境对系统功能的作用，以系统的要素与结构为中介，外部环境通系统发生物质、能量、信息交换时，必定对系统的要素与结构产生影响，从而影响系统对环境的适应和环境对系统功能的选择。因此，在对系统进行环境-功能分析时，要结合对系统的要素与结构问题进行研究。

环境-功能分析法要求着眼于从环境和功能的相互关系来认识系统的功能，把环境看作是发挥系统功能的基本条件，既不能离开特定的环境条件来探讨系统的功能，也不能把系统的功能看作是系统消极适应环境的产物，正确地把握系统与环境的关系，以更好地系统功能的相对独立性和积极能动性。

（2）黑箱分析法

在有些情况下，系统的内部要素与结构是无法了解的，系统好比一只“黑箱子”，我们只能得到它的输入值和输出值，而不知道其内部结构。黑箱可以是任何系统，只要是这样的系统，仅仅根据系统对外部行为（输入与输出）的分析，来对它进行研究，都可以把这样的系统当做是黑箱。

黑箱问题实际是个认识问题。所谓黑箱，是相对于人这个人是主体而言的，客观事物无所谓“黑”、“白”之分，而人的认识却有一个不知与知、知之不多与知之较多的问题，对某个事物有个确定的知识，“黑”就转化为“白”。

“黑箱”是指内部构造和机理不能直接观察的事物或系统，黑箱方法注系统的重整体和功能，兼有抽象方法和模型方法的特征。

黑箱方法也叫黑箱系统辨识法，它是通过观测外部输入黑箱的信息和黑箱输出的信息的变化关系，来探索黑箱的内部构造和机理的方法。也可以说，黑箱分析法，就是通过考察系统的输入、输出及其动态过程，而不通过直接考察其内部结构，来定量或定性地认识系统的功能特性、行为方式，以及探索其内部结构和机理的一种控制论认识方法。

（3）功能模拟法

功能方法的目标，是认识系统的行为和功能，从而对系统作出解释，进而对系统进行优化。因此，要实现这一目标，仅仅进行功能分析是不够的，还必须对系统进行模拟，以功能相似性为基础，用模型再现系统的内部结构和功能，为系统设计与优化服务，这就是系统的功能模拟法。

①模型与模拟

进行系统功能模拟，必须运用模型。模型是相对于原型而言的，是对原型的解释。在系统科学中，模型是所研究的系统、过程、事物或概念的一种表达形式。

模拟是对真实事物或者过程的虚拟。模拟要表现出选定系统的关键特性。模拟的关键问题包括有效信息的获取、关键特性和表现的选定、近似简化和假设的应用，以及模拟的重现度和有效性。

②模型的类型

按照模型的表现形式可以分为物理模型、数学模型、结构模型和仿真模型。

物理模型。也称实体模型，又可分为实物模型和类比模型。实物模型是根据相似性理论

制造的按原系统比例缩小（也可以是放大或与原系统尺寸一样）的实物，例如风洞实验中的飞机模型，水力系统实验模型，建筑模型，船舶模型等。类比模型是在不同的物理学领域（力学的、电学的、热学的、流体力学的等）的系统中各自的变量有时服从相同的规律，根据这个共同规律可以制出物理意义完全不同的比拟和类推的模型。例如在一定条件下由节流阀和气容构成的气动系统的压力响应与一个由电阻和电容所构成的电路的输出电压特性具有相似的规律，因此可以用比较容易进行实验的电路来模拟气动系统。

数学模型。用数学语言描述的一类模型。数学模型可以是一个或一组代数方程、微分方程、差分方程、积分方程或统计学方程，也可以是它们的某种适当的组合，通过这些方程定量地或定性地描述系统各变量之间的相互关系或因果关系。除了用方程描述的数学模型外，还有用其他数学工具，如代数、几何、拓扑、数理逻辑等描述的模型。需要指出的是，数学模型描述的是系统的行为和特征，而不是系统的实际结构。

结构模型。主要反映系统的结构特点和因果关系的模型。结构模型中的一类重要模型是图模型。图模型（graph models）由点和线组成的用以描述系统的图形。图模型可用于描述自然界和人类社会中的大量事物和事物之间的关系。在建模中，采用图模型可利用图论作为工具，按图的性质进行分析，为研究各种系统特别是复杂系统提供了一种有效的方法。构成图模型的图形不同于一般的几何图形，它的每条边可以被赋以权，组成加权图。权可取一定数值，用以表示距离、流量、费用等。加权图可用于研究电网络、运输网络、通信网络以及运筹学中的一些重要课题。图模型广泛应用于自然科学、工程技术、社会经济和管理等方面。

仿真模型。通过数字计算机、模拟计算机或混合计算机上运行的程序表达的模型。采用适当的仿真语言或程序，物理模型、数学模型和结构模型一般能转变为仿真模型。仿真模型尤其对那些实验费用昂贵，或者具有危险的实验，或者实验时间很长，或者实际系统尚不存在等等系统的模拟，是非常有效的。

模型分类方法不是唯一的，按照构造模型的材料可分为理论模型和实物模型，理论模型是运用数学、逻辑学以及相应系统涉及的具体科学的概念、原理和数据构造的模型或设计方案，数学模型、仿真模型就属于论模型。按照模型反映原型的内容可分为结构模型和功能模型，功能模型是原型的行为反应，在行为上，使得模型与原型具有相似性。按照模型与原型相类似程度可分为同构模型和同态模型，同构模型是原型的同构象，经过一一转换，可以把原型的表达式转换为模型的表达式；同态模型是原型的同态象，经过一一转换，使原型和模型成为同态关系。

③功能模拟的方法

模拟，就是用模型仿造并代替原型。按照模型的种类，模拟方法也可以进行相应的划分。

功能模拟法，是以功能相似为基础，用模型再现原形某种功能。一般情况下，多使用异构功能模拟法。异构功能模拟法的基础，是系统的异构同功现象。在未知原型系统结构的情况下，设计某种结构的模型系统，使它的功能与原型系统类似，这样，就可以使已知的、简单的、人工的结构代替未知的、复杂的、自然的系统结构。

当然，在有些场合下，也可以利用系统的同构同功现象，采用同构功能模拟法。如果两个系统的标准表达式存在着——变换关系，就可以将一个系统的状态（输入与输出）变换成另一个系统的状态，同时把一种表达式转换成另一种表达式，这样，这两个系统就具有了同构关系。我们知道了这种同构关系的条件之后，就可以设计出一个模型系统，使它成为原型系统的同构象，从而使模型系统和原型系统在功能上达到等价性，根据这种同构关系的变换，以同构象再现原型功能。

④模拟的步骤

进行模拟的步骤包括，确定问题、收集资料、建立模型、编写模型的计算程序、鉴定和证实模型、设计模型试验、进行模拟操作和分析模拟结果。这里所说的模型必须是模拟模型，

一般地说,随机模型比确定性模型、动态模型比静态模型、非线性模型比线性模型更多地使用模拟方法来分析和求解,而成为模拟模型。

模拟模型比较灵活,不求最优解,可以回答如果在某个时期采取某种行动对后续时期将会产生什么后果一类的问题。

⑤模拟的作用

能对高度复杂的内部交互作用的系统进行研究和实验;能设想各种不同方案,观察这些方案对系统的结构和行为的影响;能反映变量间的相互关系,说明哪些变量更重要,如何影响其他变量和整个系统;能研究不同时期相互间的动态联系,反映系统行为随时间变化而变化的情况;能检验模型的假设,改进模型的结构。

⑥模拟的局限性

它选择的方案,可能遗漏掉最优方案;它的运用范围只限于能考察的情况,一旦出现不能模拟的特殊情况时,就会发生困难;它的规模很大时,较难取得资料和模拟细节;成本高、费时间,工作复杂。

3.历史方法

历时的空-时结构方法,适用于系统进化的稳态结构研究,但未能揭示系统进化的内部动力。要研究系统进化的内部动力,只有历史的方法才能完成这一任务。

根据系统与环境的关系,系统可分为孤立系统、封闭系统和开放系统。绝对孤立系统和绝对封闭系统在现实世界是不存在的,现实世界系统都是开放系统。

凡是开放系统,都必定与外界环境不断进行物质、能量和信息交换,因此,开放系统是动态的,有着产生、发展、衰老的历史,这个历史过程就是系统的进化过程。系统研究的历史方法,就是研究系统进化的方法,即对系统的进化历史进行分析研究。

其实,系统研究的历史方法,也就是自组织系统方法,一般系统论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变理论等,都是自组织系统理论,现代的系统历史研究方法,都是运用这些理论来研究系统的进化。

(1) 历史方法的对象

历史方法的研究对象,是自组织系统。所谓自组织系统(self-organizing systems),就是能自行演化或改进其组织行为结构的一类系统。在一般系统论中,其最广泛的含义是指该系统能在与环境相互作用条件下,通过自身的演化而形成新的结构和功能。

(2) 状态空间方法

设 Q 为描述系统状态的变量, X 为系统的输入变量, Y 为系统的输出变量:

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_r \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

在初始时刻 $t=t_0$ 时,系统的状态变量、输入变量、输出变量分别为 $Q(t_0)$ 、 $X(t_0)$ 、 $Y(t_0)$ 。随着时间的变化,在 $t>t_0$ 时刻,系统的状态变量、输入变量、输出变量也随之变化为 $Q(t)$ 、 $X(t)$ 、 $Y(t)$:

$$Y(t) = f[X(t-1), Q(t-1), t]$$

①可测性与可控性

可测性,又叫可观测性,就是通过对系统的输入、输出观测,推测系统的状态的可能性。如图 1-32 中图 a 所示,在某一时刻,输入变量 x_1 、 x_2 、 x_3 , 输出变量 y_1 、 y_2 , 但是,状态 q_3

没有输出信息，我们就无法推测 q_3 的状态，此时的 q_3 为不可观测。图 b 的所有状态变量都是可观测的。

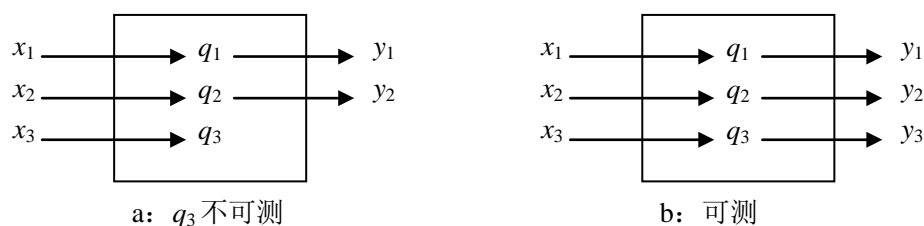


图 5-8 可测性

可控性，运用一定的手段，如控制输入变量，使系统达到预定目标的可能性。如图 1-33 中 a，系统的状态 q_3 不受任何输入变量控制，我们就无法对 q_3 进行控制， q_3 为不可控。

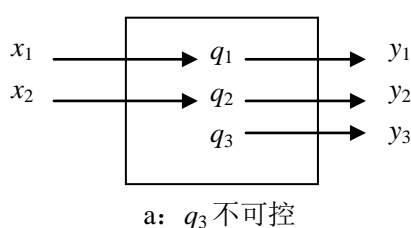


图 5-9 可控性

如果系统可测，则根据系统的输入、输出变量，可以推测出状态 Q ：

$$Q(t) = g[X(t-1), Y(t-1), t]$$

如果系统可控，则可以通过调整输入变量，或调整系统的状态（如优化系统结构，或调整组成系统要素的数量与质量），实现对输出变量的控制：

$$Y(t) = h\{[X(t-1), t], [Q(t-1), t]\}$$

② 状态滤波器

控制系统经常受到随机因素的干扰，在进行系统观测或控制时，必须考虑这些不确定因素，这些不确定性因素常称为噪音。为消除噪音，通常采用概率统计理论为工具，确定或估计信号的量值，这种方法称为估计理论，是信息理论的分支，滤波理论则是估计理论的一个分支。

信息混淆，就是受到各种噪音干扰后，最终接收到的混有噪音的信息集合。对信息混淆进行相应处理，必须依赖于一定的技术，通过这种技术，将混淆的单一单元的信息，按信息实质，滤除噪音，获得混淆前的原来的信息，这种技术就被称为信息滤波，较为典型的有维纳滤波和卡尔曼滤波。

维纳滤波。维纳滤波器（Wiener filter）是由数学家维纳（Rorbert Wiener）提出的一种以最小平方为最优准则的线性滤波器。在一定的约束条件下，其输出与一给定函数（通常称为期望输出）的差的平方达到最小，通过数学运算最终可变为一个托布利兹方程的求解问题。维纳滤波器又被称为最小二乘滤波器或最小平方滤波器，目前是基本的滤波方法之一。实现维纳滤波的要求是，输入过程是广义平稳的，且输入过程的统计特性是已知的。

维纳滤波器的优点是适应面较广，无论平稳随机过程是连续的还是离散的，是标量的还是向量的，都可应用。对某些问题，还可求出滤波器传递函数的显式解，并进而采用由简单的物理元件组成的网络构成维纳滤波器。维纳滤波器的缺点是，要求得到半无限时间区间内

的全部观察数据的条件很难满足，同时它也不能用于噪声为非平稳的随机过程的情况，对于向量情况应用也不方便。

卡尔曼滤波。卡尔曼滤波器（Kalman filter）是一种由卡尔曼（Rudolph E. Kalman）提出的用于时变线性系统的递归滤波器。这个系统可用包含正交状态变量的微分方程模型来描述，这种滤波器是将过去的测量估计误差，合并到新的测量误差中来估计将来的误差。其基本思想是，采用信号与噪声的状态空间模型，利用前一时刻的估计值和现时刻的观测值来更新状态变量的估计，求出现时刻的估计值。它适合于实时处理和计算机运算。

卡尔曼滤波的实质是由量测值重构系统的状态向量，它以“预测—实测—修正”的顺序递推，根据系统的量测值来消除随机干扰，再现系统的状态，或根据系统的量测值从被污染的系统中恢复系统的本来面目。

③最优控制

最优控制（optimal control），是在规定的限度下，使被控制系统的性能指标达到最佳状态的控制。最优控制是现代控制理论的核心，它研究的主要问题是，在满足一定约束条件下，寻求最优控制策略，使得性能指标取极大值或极小值。

使控制系统的性能指标实现最优化的基本条件和综合方法，可概括为，对一个受控的动力学系统或运动过程，从一类允许的控制方案中找出一个最优的控制方案，使系统的运动在由某个初始状态转移到指定的目标状态的同时，其性能指标值为最优。这类问题广泛存在于技术领域或社会问题中。从数学上看，确定最优控制问题可以表述为，在运动方程和允许控制范围的约束下，对以控制函数和运动状态为变量的性能指标函数（称为泛函）求取极值（极大值或极小值）。解决最优控制问题的主要方法有古典变分法、极大值原理和动态规划。

古典变分法。古典变分法只能用在控制变量的取值范围不受限制的情况。在许多实际控制问题中，控制函数的取值常常受到封闭性的边界限制。

极大值原理。是分析力学中哈密顿方法的推广。极大值原理的突出优点是可用于控制变量受限制的情况，能给出问题中最优控制所必须满足的条件。

动态规划。动态规划是数学规划的一种，同样可用于控制变量受限制的情况，是一种很适合于在计算机上进行计算的比较有效的方法。

④自适应和自学习

系统的进化，必须适应环境的变化。当环境的变化使系统不能选择所需反应时，要使系统生存下去，就必须调整系统的结构与行为方式，使系统能在变化着的环境下达到最好的、至少是容许的功能，这一过程叫做适应。

自适应系统能够根据环境或其他条件的变化，自动调节有关参数，以持续保证系统处于最优状态。识别和决策是自适应系统的关键功能。自适应系统能够自动测量和分析环境、对象的特性（识别），根据识别的信息，改变调节规律，保证系统的稳定和最优控制（决策）。

自适应控制和常规的反馈控制和最优控制一样，也是一种基于数学模型的控制方法，所不同的只是自适应控制所依据的关于模型和扰动的先验知识比较少，需要在系统的运行过程中去不断提取有关模型的信息，使模型逐步完善。具体地说，可以依据对象的输入输出数据，不断地辨识模型参数，这个过程称为系统的在线辨识。随着生产过程的不断进行，通过在线辨识，模型会变得越来越准确，越来越接近于实际。既然模型在不断的改进，显然，基于这种模型综合出来的控制作用也将随之不断的改进。在这个意义下，控制系统具有一定的适应能力。比如说，当系统在设计阶段，由于对象特性的初始信息比较缺乏，系统在刚开始投入运行时可能性能不理想，但是只要经过一段时间的运行，通过在线辨识和控制以后，控制系统逐渐适应，最终将自身调整到一个满意的工作状态。再比如某些控制对象，其特性可能在运行过程中要发生较大的变化，但通过在线辨识和改变控制器参数，系统也能逐渐适应。

常规的反馈控制系统对于系统内部特性的变化和外部扰动的影响都具有一定的抑制能

力,但是由于控制器参数是固定的,所以当系统内部特性变化或者外部扰动的变化幅度很大时,系统的性能常常会大幅度下降,甚至是不稳定。所以对那些对象特性或扰动特性变化范围很大,同时又要求经常保持高性能指标的一类系统,采取自适应控制是合适的。但是同时也应当指出,自适应控制比常规反馈控制要复杂的多,成本也高的多,因此只是在用常规反馈达不到所期望的性能时,才会考虑采用。

学习控制,就是靠自身的学习功能来认识控制对象和外界环境的特性,并相应地改变自身特性以改善控制性能的系统。这种系统具有一定的识别、判断、记忆和自行调整的能力。实现学习功能可有多种方式。根据是否需要从外界获得训练信息,学习控制系统的学习方式分为受监视学习和自主学习两类。

受监视学习,除一般的输入信号外,还需要从外界的监视者或监视装置获得训练信息。所谓训练信息是用来对系统提出要求或者对系统性能作出评价的信息。如果发现不符合监视者或监视装置提出的要求,或受到不好的评价,系统就能自行修正参数、结构或控制作用。不断重复这种过程直至达到监视者的要求为止。当对系统提出新的要求时,系统就会重新学习。

自学习,又叫自主学习,这是一种不需要外界监视者的学习方式。只要规定某种判据(准则),系统本身就能通过统计估计、自我检测、自我评价和自我校正等方式不断自行调整,直至达到准则要求为止。这种学习方式实质上是一个不断进行随机尝试和不断总结经验的过程。因为没有足够的先验信息,这种学习过程往往需要较长的时间。

在实际应用中,为了达到更好的效果常将两种学习方式结合起来。学习控制系统按照所采用的数学方法而有不同的形式,其中最主要的有采用模式分类器的训练系统和增量学习系统。

(3) 非平衡系统方法

非平衡态,是指系统中状态变量不是常量的定常状态。定常状态指系统从初始状态开始随时间演进而进入的终态。非平衡态就是除平衡态以外的定常状态,包括周期运动状态(即振荡态)、概周期状态(即遍历态)以及混沌态。平衡态可看作是周期运动中振幅收缩到零的极限情况。与平衡态一样,非平衡态也有稳定和不稳定两类。狭义的非平衡态指稳定的非平衡态。在动态系统中稳定的定常状态称为系统的吸引子。除混沌态以外的稳定定常状态称为平庸吸引子,而奇异吸引子则指混沌这种非平衡态。

①系统开放分析

对于一个开放系统,熵(S)的变化可以分为两部分,一部分是系统本身不可逆过程引起的熵的增加(熵产生 diS),另一部分是系统与外界交换物质、能量引起的熵流(deS),整个系统熵 dS 的变化为:

$$dS=deS+diS$$

在孤立系统中,没有与外界发生物质和能量交换, $deS=0$,而熵产生 $diS>0$,所以系统总的熵在增加,从有序走向无序。

在开放系统中,熵流可正可负,若 $deS<0$,且 $|deS|>diS$,系统的总熵在减少,系统由无序走向有序。

开放系统的进化,外部环境是其进化的条件,但是其进化的内因依然是系统的内部因素,非平衡系统方法提供了系统进化内因的分析手段。

②局部平衡方法

热力学第二定理表明,一切非平衡态最终结果都是趋向平衡态,平衡态的基本特征是熵达到最大值,无序度最高。平衡态是一种稳定态,非平衡态同样可以是稳定态。开放系统在一定的外界条件下所维持的稳定态是非平衡的稳态,过程是不可逆的。在平衡态与非平衡态之间,没有绝对不可逾越的界限,它们是可以相互过渡与转化的。

一个平衡结构从宏观上看是平衡的，系统并不随时间的变化而变化；从微观上看，却又存在着涨落，因而又是不平衡的。所以，在宏观平衡的系统中，存在着局域非平衡的微观现象。

同样，一个宏观上是非平衡态的系统，若采用一定的方法把它分成许多单元，每个单元在宏观上看是充分小，在很短的时间内，可以把它看作是平衡的。从微观上看，每一个单元又是足够大的，内部还包含了许多微观客体，可以把它看成一个宏观热力学系统。对于这些宏观上看仍是平衡的小单元，可以用平衡态热力学函数来描述。可见，一个非平衡系统，相对来说，它的局域是平衡的，因而可以把它转化为平衡系统，运用平衡热力学的概念和方法来研究它。这种方法，就是局域平衡方法。

局域平衡方法，其基本思想是把非平衡系统看作由无限多平衡子系统构成的，并通过局域描述，使其转化为全局描述。关于熵的概念，原是平衡态热力学概念，局域平衡方法把它推广来研究远离平衡态热力学问题，因为远离平衡态的局域也是平衡的，对各个单元的局域熵求和，就可以得到整个非平衡系统的总熵。

局域平衡方法是耗散结构理论的一个重要方法，它在平衡态热力学和非平衡态热力学之间，架起了一条由此达彼的桥梁，实现了从平衡态到近平衡态直至远离平衡态的进化描述，从而把平衡态热力学和非平衡态热力学统一起来，揭示平衡态和非平衡态之间的辩证关系。

③非线性相干

虽然非平衡态可以转化为平衡态来研究，但是，在非平衡态与平衡态之间，仍然存在着根本性质的差异。系统的非平衡态可以划分为线性区域（近平衡区）和非线性区（远离平衡区）。

在线性平衡区，随着时间的发展，系统总是朝着熵产生 diS 减少的方向发展，直到达到定态，它是渐近稳定的。当系统受到干扰和涨落的影响时，不会长久地偏离定态，最终还是能够回到原来的稳定态。所以，在线性区，系统不会发生失稳，不可能出现新的有序结构。

非线性区平衡态则不同，系统状态出现了稳定、不稳定和临界稳定三种不同的情况。当外界的条件变化时，系统开始偏离平衡态，当它还处于线性区时，系统还是稳定的。在外界条件达到某个特定值（分支点）后，系统失稳，进入不稳定状态，有可能通过涨落进入一个新的稳定有序状态，形成耗散结构。在非线性的远离平衡区系统出现这种情况的原因，是由于系统内部出现了新的相互作用，即内部结构出现了个体协作的相干性（协同性），个体间的相互作用不再是线性相加，而是非线性协同，从而导致从无序到有序的转变。

对非平衡系统的研究，在注意系统与外部环境相互关系的同时，具体地分析系统内部各要素之间非线性的相干作用，称作 x 非线性相干分析。它是研究非平衡系统的基本方法，对系统的开放分析，揭示了系统进化的外部条件，对系统的非线性相干分析，则揭示了系统进化的内部根据。

事物的发展，主要是由它的内部矛盾所推动，但是，相互联系的普遍性，事物总处于与外部条件的相互作用之中，所以，对于事物的发展来说，条件是同样不可缺乏的。系统的开放性，不断地产生负熵流，使系统的总熵不断减少，这是可能产生耗散结构的外部条件。外因是通过内因起作用的，把产生耗散结构的可能性转变为现实性，其根据还在于系统内部各要素之间的非线性相干作用。系统的开放分析和非线性相干分析的结合，反映了事物发展过程中的外部条件和内部根据的辩证法，是非平衡系统方法的基本内容。

④涨落关联

将形成耗散结构的可能性转变为现实性，它的中介环节是涨落。在不同的系统中，涨落的作用是很不相同的。在平衡态中，不会发生涨落现象；在热力学平衡中，微小的涨落可以用统计平均方法加以消除。在近平衡态，涨落可以使系统偏离定态，由于具有抗干扰的能力，系统能够消除涨落而回到原来的定态。在这两种情况下，系统都不会形成新的稳定结构。

在远离平衡的非线性区的情况就不同了，由于系统在热力学分支点上是不稳定状态，加之系统内部各要素之间存在着非线性相干作用，一个微小的涨落，就会通过相干作用而得到放大，形成宏观整体的“巨涨落”，使系统由不稳定态进入一个新的有序稳定状态。在这种情况下，涨落并不起破坏系统稳定性的作用，而是形成新的有序稳定状态的一个环节，起到了触发的作用。而一个微小的涨落之所以能够被放大，根源于系统内部的非线性相干作用。涨落的放大，也正是这种非线性相干作用的表现，所以，对系统进行非线性相干分析时，必须进行涨落相关分析，才能具体了解形成耗散结构的可能性是如何向现实性转化的，正是涨落把这种可能性与现实性关联起来了。

涨落的关联性，还表现在结构与功能互关系中。远离平衡系统在失稳之后，形成新结构的重要条件之一，是非线性的反常涨落。这种涨落的生成，又来源于系统本身的结构。新结构又影响着功能，在结构和功能之间，涨落起着中介的作用，它触发着失稳现象。

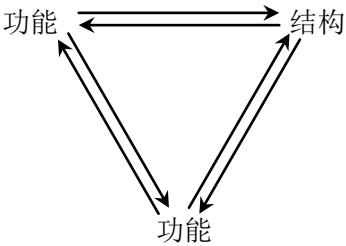


图 5-10 结构-功能-涨落的关联（仿高志亮，李忠良，2004）

涨落关联的实现，还需要分支点理论加以说明。一般说来，当我们增大某一特征参数的数值时，就会得到逐次相继的二分支。如图 1-35 所示，在 λ_1 处，有一单值解，而在 λ_2 处，解变成多值的。在接近分支点时，涨落变得异常地大，以致可能在不同的状态之间作出“选择”。而且，也正是在这里，长程关系出现了，相隔宏观距离的粒子变成连接的，局域的事件在整个系统中得到反响。这种长程关联精确地发生在从平衡态到非平衡态的过渡点上，系统通过这些长程关联而组织起来。这种长程关联，就是前面所说的非线性相干作用。一方面，由于涨落的放大，依赖于长程关联；另一方面，出现涨落的同时，长程关联也出现了。涨落的放大，导致了系统对状态的“选择”，于是，在这里又把确定性和随机性统一起来了。对于一个含有二分支系统的每种描述，将包含有确定的和随机的两种因素。在两对分支点之间，系统遵从确定性定律和化学动力学的某些规律，但是，在各分支点附近，涨落起着重要的作用，从而决定了系统所追随的支线。

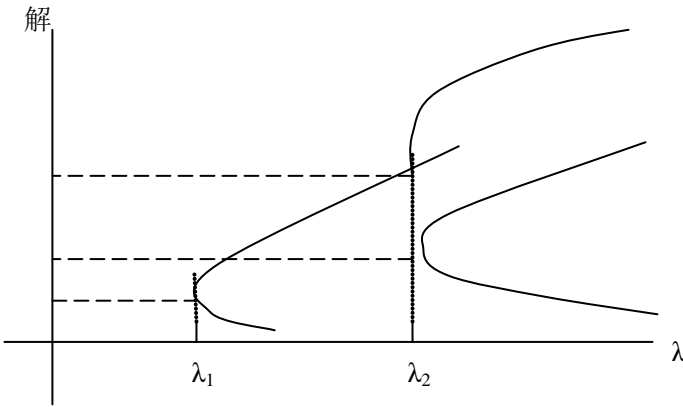


图 5-11 多级分支（仿高志亮，李忠良，2004）

以涨落为中介，分析形成耗散结构的可能性和现实性、系统的结构和功能、确定性和随

机性的相互关联以及系统的内部分子长程关联，研究非平衡系统的进化，这种方法称作涨落关联分极方法。涨落关联分极法，深入地说明了非平衡系统进化的具体机理，在非平衡系统方法中，占有极其重要的地位。

（4）序参量方法

协同学研究表明，系统从无序向有序进化，不必一定都要以非平衡为条件，而主要是系统内部各要素之间的协同作用。在平衡态的情况下，系统内部各要素可能自己组织起来，成为有序结构。为了揭示系统进化的这种协同作用，协同学采用了序参量的方法，这种方法比非平衡系统方法具有更大的普遍性。

①支配原理

任何系统都有自己进化的历史，无论是从平衡系统出发，还是从非平衡系统出发，都可以自发地形成有序结构。不仅如此，系统内部各部分自行组织起来的现象，同系统内部组成部分的性质无关。这种原理就是支配原理，阐述这一原理的方法，就是有序参量方法。

系统的自组织现象，不是通过执行外部命令而形成的，而是系统组成部分，通过自己形成的实体运动而形成的。在自组织过程中，一种组态逐渐被减弱，另一种组态逐渐增长，这种增长组态的大小或幅度在协同学中被称为有序有序参数。

系统的进化是由序参量（数）决定的，序参量是各种状态变量，系统在有序与无序之间的转化以及有序的不同状态，都是由序参量所支配的。

从临界行为看，一个系统中包括两类不同的序参量，一类序参量在系统受到干扰而使系统产生不稳定性时，它总是企图使系统重新回到稳定状态，阻止系统离开稳定状态，因而它的作用类似于阻尼作用，而且衰减得很快，称作快弛豫（衰减）参量，也叫快变量。另一类序参量在系统受到干扰产生不稳定性时，它总是使系统离开稳定状态走向非稳定状态。当系统到达稳定与非稳定的临界区时，表现出无阻尼作用，并且衰减得很慢，称为慢弛豫（衰减）参量，也叫慢变量。因此，它在系统从稳定态向非稳定态过渡的过程中起了决定的作用。在这一过程中，快弛豫参量被迫跟随于慢弛豫参量，这就是协同学的支配原理，慢变量支配快变量，建立系统的有序结构。当一个系统有 n 个序参量时，每一个序参量支配一种微观组态，产生一个宏观图样，系统就产生 n 个不稳定的模式。系统到底将是哪一种模式，则取决于序参量的合作和竞争。

支配原理是协同学的基本原理，运用支配原理可以分析各种有序结构的形成，序参量是系统形成有序结构的决定因素。在研究系统进化时，找出系统的序参量，并区分快变量和慢变量，分别地考察它们对系统进化的作用，这种方法，称作序参量方法。

②协同作用

协同是指元素对元素的相干能力，表现了元素在整体发展运行过程中协调与合作的性质。结构元素各自之间的协调、协作形成拉动效应，推动事物共同前进，对事物双方或多方面而言，协同的结果使个个获益，整体加强，共同发展，导致事物间属性互相增强、向积极方向发展的相干性即为协同性。

系统在演化过程中受序参量的控制，不同的系统序参量的物理意义也不同，演化的最终结构和有序程度决定于序参量。当外界条件变化时，序参量也变化，当到达临界点时，序参量增长到最大，此时出现了一种宏观有序的有组织结构。

系统在进化过程中，一方面，对于一种模型，随着参数、边界条件的不同以及涨落的作用，所得到的图样可能很不相同；另一方面，对于一些很不相同的系统，却可以产生相同的图样。

在进行系统分析时，有了序参量方法，就可以分析系统内部各部分的协同作用。在系统各部分之间，是否存在协同作用，将会产生不同质的区别。通过序参量方法，可以获得关于系统进化的一般方法：

$$\dot{q}=N(a,q,\nabla,x,t)+F(t)$$

这是一个非线性随机偏微分方程。式中 N 为确定性的驱动力， $F(t)$ 是随机性的涨落力； q 为状态向量； x 为空间向量； a 表示控制参量； ∇ 表示微分算子； t 表示时间。这个进化方程反映了系统进化的普遍规律，说明了系统进化过程中的协同作用。

③系统的目的

进化方程给出了系统进化的路线，变量的不同初值，决定了系统进化路线的差异。尽管系统进化的路线不同，但是，它们都被终点所吸引，最终都要到达于某个终点，这个终点，称作吸引子，或目的点、目的环。这里所说的吸引子，就是在把相空间某一区域的点都取作初值时，其轨道在 $t \rightarrow \infty$ 下的极限集合。

所谓目的，就是在给定的环境中，系统只有在目的点或目的环上才是稳定的，离开了就不稳定，这也就是系统的自组织。系统的进化，一定要到达于某一个终点。这个终点，就是系统进化的目的。

根据进化方程，系统的目的有各种各样的情形。如果 $t \rightarrow \infty$ 时，系统趋向一个与时间无关的定态，即相空间中一个特定的点，称作不动点，这是零维的。一维以上的系统，原则上可能具有不动点。

如果 $t \rightarrow \infty$ 时，系统中剩下一个周期振荡，这就是极限环，它是一维的。在二维以上的吸引子，表现为相空间中相应维数的环面。环面上的运动是否表现为周期性的，要看诸运动方向频率之比而定。不动点、极限环和环面三种吸引子，通称为平庸吸引子。与此不同的，还可能出现混沌吸引子，或称作奇怪吸引子、随机吸引子。

序参量方法对系统进化的研究表明，系统进化的趋向是各种各样的吸引子，这就是系统进化最终所要达到的目的。实现了这个目的，系统才是稳定的。不稳定的系统，总是为着到达于这个目的而努力，从而使自己进入一个定态。

④软控制

协同学是关于自组织系统的科学，序参量方法是研究自组织系统的方法。因此，它是与控制论的方法既有联系又有区别。控制论所研究的是组织系统，组织与自组织的区别，在于控制的方式。控制论系统都具有目的性，对它所施的控制是外部控制，或外部的指令，这种控制称为硬控制、直接控制或确定控制。自组织系统同样具有目的，也存在控制参量，但是，它所依赖的不是外部的指定，而是自己内部的协同作用，不需要外部控制。这种控制是软控制、间接控制，或者说的不确定控制。通过这种不确定的控制，自组织系统可以实现某种目的，形成新的有序结构。

序参量方法所揭示的这种软控制，具有更大的普遍性，更符合“自己运动”的思想。对于复杂的社会系统，可以同时采用两种类型的控制，既运用硬控制，又运用软控制，把确定性和不确定性统一起来。如何在组织与自组织之间，或者说在硬控制与软控制之间，寻找一种平衡，将是协同学理论研究的一个发展方向，也是应用协同学理论时所要注意的一个关键。

(5) 超循环方法

超循环理论是关于非平衡态系统的自组织现象的理论。由德国科学家 M. 艾肯 (Manfred Eigen) 在 20 世纪 70 年代直接从生物领域的研究中提出。在生命现象中包含许多由酶的催化作用所推动的各种循环，而基层的循环又组成了更高层次的循环，即超循环，还可组成再高层次的超循环。超循环系统即经循环联系把自催化或自复制单元连接起来的系统。在此系统中，每一个复制单元既能指导自己的复制，又能对下一个中间物的产生提供催化帮助。艾肯在分子生物学水平上，把生物进化的达尔文学说通过巨系统高阶环理论，进行数学化，建立了一个通过自我复制、自然选择而进化到高度有序水平的自组织系统模型，以解释多分子体系向原始生命的进化。这个理论在科学界仍有争议，但无疑它把系统科学的研究推进了一

步。

超循环理论虽然是关于分子自组织的系统科学，但是其中包含着自组织系统进化的一般机理，超循环理论可以帮助我们分析模型，告诉我们如何去进行可重复的实验，最后引导我们去重建某些进化事件。因此，超循环理论同样具有系统科学的一般方法论意义，对系统科学的历史方法也是一个丰富和发展。

①超循环方法的客观基础

把随机的事件联合成有功能的组织，必须有某种指令，而指令的运输，又需要信息。经典信息论撇开了信息的具体内容，只是计算信息的量值，而不探讨信息的意义。可是，进化产生的信息是“重要的”信息，关于它的功能意义，单凭信息量、比特数是不能告诉我们太多的东西的。对进化有意义的信息，必须是有价值的信息。所以，研究自组织系统，需要一个新的变量，这就是价值参数。

达尔文的自然选择原理认为，自然选择或适者生存的意义是指有利的个体差异和变异的存在、有害的个体差异和变异的淘汰。这里所说的“有利”和“有害”，就包括价值的意义。只有通过选择，“有利”的差异和变异才能得到保存，从而淘汰掉“有害”的差异和变异。这表明，只有通过“选择”，才能使信息获得价值。这样，“选择”就被引入分子动力学，并使它与已知的分子参数建立联系。只有通过选择，才能解释生长和进化。

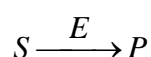
选择性生长和进化的先决条件就是自催化体系。具有自我生长作用的增强系统，具有各种反馈机制。催化作用与这种反馈作用结合起来，就是自组织的决定性先决条件。根据耗散结构理论，产生自组织的环境条件，必须出现“产生过多的负熵”的涨落，这就是定态的不稳定性。因此，这种不稳定性就是选择性生长和进化的先决条件，而自催化体系就是这样的一个系统，所以它是选择性生长和进化的先决条件。

催化作用是一个循环反应，超循环是在它的基础上建立起来的。对选择和进化的先决条件的分析，说明了超循环方法的客观基础。自催化反应与输运过程相结合会导致反应中的作用物的特殊空间分布，称之为“耗散结构”，即结构的产生不是由于守恒的分子力，而是由于能量的耗散。这个原理的应用需要“选择价值”作为新参数之一，并说明了选择和进化的基本机理。

②超循环方法的内容

所谓反应循环，就是指化学反应过程中周而复始的变化。考察一个反应序列，其中无论有无附加反应物的帮助，每一步的产物都要再进行下一步的转变。如果反应序列总是不断产生相同的产物，这个系统就类似一个“反应循环”，它整体上相当于一个催化剂。这种循环反应网络可分成三个等级。

第一等级是反应循环。在一组相互关联的反应中，如果任一产物与前面某一个步骤中的反应物相同，就形成一个反应循环。催化剂由一个分子来代表，例如酶 E，它能把底物 S 转变成产物 P。即：



这一反应的实际过程是，自由酶 E 与底物 S 结合成“酶底-物”ES，然后，ES 再转变成“酶-化合物”EP，最后，EP 又释放出 P 和 E 完成一个循环，接着 E 又重新与 S 结合成 ES，再转变为 EP，重新释放出 P 和 E，不断循环往复。在底物 S 到产物 P 的转变中，酶不断重复催化，中介体不断循环复原，其机理如图 1-36 所示。

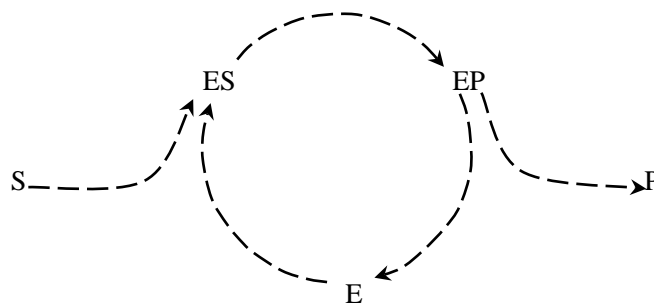


图 5-12 普通的酶催化机理（仿高志亮，李忠良，2004）

第二等级是催化循环。如果一个反应循环中至少有一个中介物（也可以是全部中介物）是催化剂，就形成一个催化循环。作为催化剂，这些中介体必须在反应过程中保持不变，它们都是靠前一中介体催化作用产生的富能物体流形成的，如图 4-13。

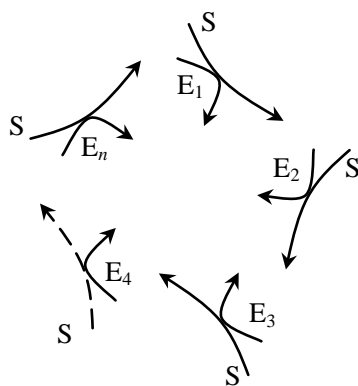
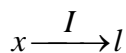


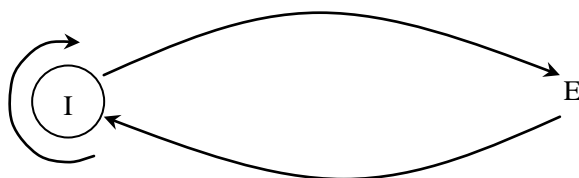
图 5-13 催化循环（仿高志亮，李忠良，2004）

循环的组成部分 $E_1 \rightarrow E_n$ 自身是催化剂，它们形成于一些富能底物 S ，同时，每个中间价 E_i 又是形成 E_{i+1} 的催化剂。这个催化循环整体上相当于一个自动催化剂，它指导着自身的复制。这类反应系统最简单的代表是单自动催化剂，或自我复制单元，其过程可以写成如下的形式：



其中 x 为高能底物，这种反应可用符号 Π 来代表。

第三等级是催化超循环。它是自我复制循环之间的偶联而形成的最高层次的循环，能达到更高层次的自我复制。它的各中介物本身是自我复制单元，其过程可简化表示为：



其中 I 具有双重循环功能，它既能指导自己的复制，又能为下一个中介物的产生提

供催化支持。

超循环代表着一种新的组织水平，具有建立综合组织形式的能力。

③超循环进化原理

我们可以应用超循环方法解释生物分子的进化和自我复制过程。例如，双链 DNA 的合成，是一种真正的自我复制形式，它的两条链是由多聚酶同时合成的。单链 RNA 的复制，是生物学上重要的催化循环。正链 RNA 可以作为模板，指导负链 RNA 的合成，而负链 RNA 也可以作为模板，指导正链 RNA 的合成。这种复制过程，还必须在各复制单元之间通过一种附加的特异偶联，使复制过程直接或间接得到推动和延续。这种偶联是前一个 RNA 循环的翻译产物蛋白质建立起来的，这些蛋白质起着特异复制酶，或阻遏消除物，或抗降解特异保护因子的作用。

偶联强度可以是等价的，也可以是不等价的。两个突变种基因 I_1 和 I_2 对它们自己的复制酶 E_1 和 E_2 进行编码， $E_1 \rightarrow I_1[11]$ 、 $E_2 \rightarrow I_2[22]$ 是自强化， $I_2 \rightarrow E_1[21]$ 、 $I_1 \rightarrow E_2[12]$ 是互强化，如图 1-38。

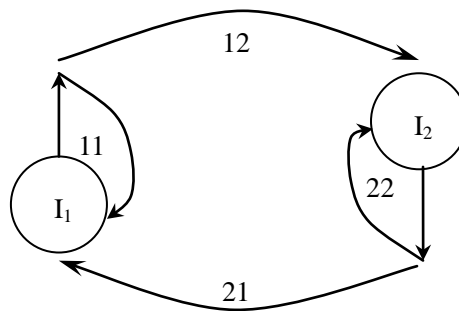


图 5-14 突变种基因 I_1 与 I_2 的等价偶联（仿高志亮，李忠良，2004）

由于它们的密切亲缘关系，对自强化和互强化可能显示等价偶联。但是，在通常情况下，两个蛋白质未必同样好地识别两个序列，并且又完全不去识别不相联系的序列，所以，偶联强度会有所差别，可能出现偶联中的某些偏爱，产生四种不同的情况：

第一， E_1 偏爱 I_1 ， E_2 偏爱 I_2 ，结果是 I_2 和 I_1 分别被它们各自的酶以超循环方式强化，从而导致激烈的竞争，只有一个突变种幸存下来，即使两者在选择上是等价的，但是也由于微小涨落的影响，使一个胜过另一个而获得幸存。第二， E_1 和 E_2 都偏爱 I_1 ，结果是 I_1 在竞争中取胜， I_2 消亡。第三， E_1 和 E_2 都偏爱 I_2 ，结果是 I_2 在竞争中取胜， I_1 消亡。第四， E_1 偏爱 I_2 ， E_2 偏爱 I_1 ，结果是 I_1 和 I_2 通过超循环联系而稳定地共存。

可见，只要各组分之间出现对互强化的偏爱，就能产生出超循环组织，而且这个超循环组织可以向更复杂的超循环组织发展。这种从无生命到生命进化的机理，称作超循环的进化原理，它是应用超循环方法所得到的主要结果。

分子自组织的进化，总是通过选择实现的，因此，这个过程不是完全决定的。选择通常是从少数突变种开始，甚至是从一个突变种开始的，所以它在很大程度上依赖于涨落。超循环方法的成功，说明选择和进化的过程原则上可以用物理学、化学的原理来描述，可见，它们又是决定的和不可避免的。生命的出现是非决定的，又是决定的，生命现象能够用物理学理论来解释，这也是超循环方法的一条基本原则。

超循环有如下一些重要性质：

(a)超循环使借助于循环联系起来的所有种稳定共存，允许它们相干地增长，并与不属于此循环的复制单元竞争。

(b)超循环可以放大或缩小，只要这种改变具有选择的优势。

(c)超循环一旦出现便可稳定地保持下去。总之，生物大分子的形成和进化的逐步发展

过程需要超循环的组织形式。它既是稳定的又允许变异，因而导致普适密码的建立，并在密码的基础上构成细胞。

具有超循环结构的生物大分子的进化可用一组微分方程来描述。设有 n 个物种，其状态变量记作 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ，它们形成自复制的催化超循环结构需要依靠外界的能量和物质流来维持，在不断复制过程中会产生误差，这样就导致优势物种的变异。描述这种进化过程的方程组是：

$$\frac{dx_i}{dt} = (A_i Q_i - D_i) x_i + \sum_j x_j \Phi_{ji} + x_i \Omega \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

式中 A_i 是复制率； Q_i 是模板的品质因子； D_i 是分解率； Φ_{ji} 是 j 物种到 i 物种的误合成系数； Ω 是环境影响因子，可以是非线性的。因此在这一方程组中包含了物种变异的各种因素。对这个方程进行分析、数值计算或定性讨论，就可以得出有关物种进化的各种趋势。

超循环理论对于生物大分子的形成和进化提供了一种模型。对于具有大量信息并能遗传复制和变异进化的生物分子，其结构必然是十分复杂的。超循环结构便是携带信息并进行处理的一种基本形式。这种从生物分子中概括出来的超循环模型对于一般复杂系统的分析具有重要的启示。如在复杂系统中信息量的积累和提取不可能在一个单一的不可逆过程中完成，多个不可逆过程或循环过程将是高度自组织系统的结构方式之一。超循环理论已成为系统学的一个组成部分，对研究系统演化规律、系统自组织方式以及对复杂系统的处理都有深刻的影响。

④选择价值在超循环方法中的意义

超循环方法为我们揭示了进化的动力，这就是“选择价值”。这个“选择价值”是与不可逆过程热力学相联系的一个新的变数，但它超出了现在的不可逆热力学的范围。

选择和进化需要信息。进化的选择，是在“利”与“害”之间所作出的选择。单纯的信息量不能提供选择，还必须有信息意义。有意义的信息，就是有价值的信息，它给出关于“利”和“害”的判断。因此，对于选择和进化，价值参数是一个极其重要的变量。只有选择有价值的信息，才能使信息对进化有意义。就是说，只有通过选择，才能使信息获得价值。把价值参数应用到分子自组织，就可以为分子生物学提供一个定量的基础。

一个突变种的产生，包含比原来具有更高的选择价值，这相当于熵产生中的一个负变化，这种负涨落会破坏现有定态。在热力学理论中，不稳定性的出现，表征着进化行为。如果我们在重新建立定态之后，比较两个被选择的品种，那么，真正“有价值”的信息有了改变，这种变化，表现为增加了有序。选择价值的改变，反映在进化的行为上，因而，对选择有决定意义的量是选择价值。利用高“选择价值”有关的信息，是决定进化的因素。当然，这也并不否认信息量的作用，由于选择的随机性，信息量的作用也就被突出来了。所以，进化包含了提高信息选择价值和利用更大信息量这两个方面的内容。

选择价值是进化的动力，物种的差异是进化过程中无数复制和突变步骤造成大量分支的结果，这包括在同源竞争者之间的选择，但也有躲入小生境中造成的隔离，还有十分温和的选择压力下形成的互容或共生。所有这一切，都与选择价值相联系，说明进化是多种多样的，分子进化过程最终造成了使用统一密码的细胞机器。这种统一密码的最终建立，也并不说明完全决定论的物理事件确定了前细胞进化的惟一历史道路，也并不是因为存在着惟一的候选系统，而是由于一种特殊的“一旦-永久”性选择机理，它可以从任何混乱无规则的承担者开始。这种“一旦-永久”性选择是超循环组织的结果。

超循环方法揭示了大分子复制的机理，表明催化超循环是大分子组织具有积累、保存和加工遗传信息能力的最基本要求。虽然超循环方法所处理的是生命系统，但是，由于它揭示了自组织系统进化的规律和动力，因而具有普遍的意义。

4.系统仿真

所谓系统仿真（system simulation），就是根据系统分析的目的，在分析系统各要素性质及其相互关系的基础上，建立能描述系统结构或行为过程的、且具有一定逻辑关系或数量关系的仿真模型，据此进行试验或定量分析，以获得正确决策所需的各种信息。

（1）仿真的实质

仿真是一种对系统问题求数值解的计算技术，尤其当系统无法通过建立数学模型求解时，仿真技术能有效地来处理；仿真是一种人为的试验手段，它和现实系统实验的差别在于，仿真实验不是依据实际环境，而是作为实际系统映象的系统模型以及相应的“人造”环境下进行的，这是仿真的主要功能；仿真可以比较真实地描述系统的运行、演变及其发展过程。

（2）系统仿真的作用

仿真的过程也是实验的过程，而且还是系统地收集和积累信息的过程，尤其是对一些复杂的随机问题，应用仿真技术是提供所需信息的唯一令人满意的方法；对一些难以建立物理模型和数学模型的对象系统，可通过仿真模型来顺利地解决预测、分析和评价等系统问题；通过系统仿真，可以把一个复杂系统降阶成若干子系统以便于分析；通过系统仿真，能启发新的思想或产生新的策略，还能暴露出原系统中隐藏着的一些问题，以便及时解决。

（3）仿真分类

仿真可以按不同原则分类：

①按所用模型的类型（物理模型、数学模型、物理-数学模型）分为物理仿真、计算机仿真（数学仿真）、半实物仿真；

②按所用计算机的类型（模拟计算机、数字计算机、混合计算机）分为模拟仿真、数字仿真和混合仿真；

③按仿真对象中的信号流（连续的、离散的）分为连续系统仿真和离散系统仿真；

④按仿真时间与实际时间的比例关系分为实时仿真（仿真时间标尺等于自然时间标尺）、超实时仿真（仿真时间标尺小于自然时间标尺）和亚实时仿真（仿真时间标尺大于自然时间标尺）；

⑤按对象的性质分为宇宙飞船仿真、化工系统仿真、经济系统仿真等。

（4）仿真模型

仿真模型是被仿真对象的相似物或其结构形式。它可以是物理模型或数学模型。但并不是所有对象都能建立物理模型。例如为了研究飞行器的动力学特性，在地面上只能用计算机来仿真。为此首先要建立对象的数学模型，然后将它转换成适合计算机处理的形式，即仿真模型。具体地说，对于模拟计算机应将数学模型转换成模拟框图，对于数字计算机应转换成源程序。

（5）仿真实验

通过实验可观察系统模型各变量变化的全过程。为了寻求系统的最优结构和参数，常常要在仿真模型上进行多次实验。在系统的设计阶段，人们大多利用计算机进行数学仿真实验，因为修改、变换模型比较方便和经济。在部件研制阶段，可用已研制的实际部件或子系统去代替部分计算机仿真模型进行半实物仿真实验，以提高仿真实验的可信度。在系统研制阶段，大多进行半实物仿真实验，以修改各部件或子系统的结构和参数。在个别情况下，可进行全物理的仿真实验，这时计算机仿真模型全部被物理模型或实物所代替。全物理仿真具有更高的可信度，但价格昂贵。

（6）仿真工具

主要指的是仿真硬件和仿真软件。仿真硬件中最主要的是计算机。用于仿真的计算机有三种类型：模拟计算机、数字计算机和混合计算机。数字计算机还可分为通用数字计算机和

专用的数字计算机。模拟计算机主要用于连续系统的仿真，称为模拟仿真。在进行模拟仿真时，依据仿真模型（在这里是框图）将各运算放大器按要求连接起来，并调整有关的系数器。改变运算放大器的连接形式和各系数的调定值，就可修改模型。仿真结果可连续输出。因此，模拟计算机的人机交互性好，适合于实时仿真。改变时间比例尺还可实现超实时的仿真。

20 世纪 60 年代前的数字计算机由于运算速度低和人机交互性差，在仿真中应用受到限制，现代的数字计算机已具有很高的速度，某些专用的数字计算机的速度更高，已能满足大部分系统的实时仿真的要求，由于软件、接口和终端技术的发展，人机交互性也已有很大提高，因此数字计算机已成为现代仿真的主要工具。

混合计算机把模拟计算机和数字计算机联合在一起工作，充分发挥模拟计算机的高速度和数字计算机的高精度、逻辑运算和存储能力强的优点。但这种系统造价较高，只宜在一些要求严格的系统仿真中使用。

除计算机外，仿真硬件还包括一些专用的物理仿真器，如运动仿真器、目标仿真器、负载仿真器、环境仿真器等。

仿真软件包括为仿真服务的仿真程序、仿真程序包、仿真语言和以数据库为核心的仿真软件系统。

（7）仿真方法

系统仿真的基本方法是建立系统的结构模型和量化分析模型，并将其转换为适合在计算机上编程的仿真模型，然后对模型进行仿真实验。由于连续系统和离散（事件）系统的数学模型有很大差别，所以系统仿真方法基本上分为两大类，即连续系统仿真方法和离散系统仿真方法。

在以上两类基本方法的基础上，还有一些用于社会经济和管理系统仿真的特殊而有效的方法，如系统动力学方法、蒙特卡洛法等。系统动力学方法通过建立系统动力学模型（流程图等）、利用 DYNAMO 仿真语言在计算机上实现对真实系统的仿真实验，从而研究系统结构、功能和行为之间的动态关系。

（8）应用和效益

仿真技术得以发展的主要原因，是它所带来的巨大社会效益。20 世纪 50 年代和 60 年代仿真主要应用于航空、航天、电力、化工以及其他工业过程控制等工程技术领域。在航空工业方面，采用仿真技术使大型客机的设计和研制周期缩短 20%。利用飞行仿真器在地面训练飞行员，不仅节省大量燃料和经费（其经费仅为空中飞行训练的十分之一），而且不受气象条件和场地的限制。此外，在飞行仿真器上可以设置一些在空中训练时无法设置的故障，培养飞行员应付故障的能力。训练仿真器所特有的安全性也是仿真技术的一个重要优点。在航天工业方面，采用仿真实验代替实弹试验可使实弹试验的次数减少 80%。在电力工业方面采用仿真系统对核电站进行调试、维护和排除故障，一年即可收回建造仿真系统的成本。

现代仿真技术不仅应用于传统的工程领域，而且日益广泛地应用于社会、经济、生物等领域，如交通控制、城市规划、资源利用、环境污染防治、生产管理、市场预测、世界经济的分析和预测、人口控制等。对于社会经济等系统，很难在真实的系统上进行实验。因此，利用仿真技术来研究这些系统就具有更为重要的意义。

目前，在法制系统研究中，仿真还使用得很少，有着很大的研究与应用空间与前景。

第二节 立法工作程序

系统工程方法论（Methodology）就是分析和解决系统开发、运作及管理实践中的问题所应遵循的工作程序、逻辑步骤和基本方法。它是系统工程思考问题和处理问题的一般方法与总体框架。

立法的系统工程工作程序，即立法的系统工程基本过程，目前有代表性的主要有霍尔三维结构和切克兰德方法论。

1. 霍尔三维结构

霍尔三维结构是由美国学者 A.D.霍尔（A.D.Hall）等人在大量工程实践的基础上，于1969 年提出的。其内容反映在可以直观展示系统工程各项工作内容的三维结构图中，如图1-35 所示。

霍尔三维结构集中体现了系统工程方法的系统化、综合化、最优化、程序化和标准化等特点，是系统工程方法论的重要基础内容。

（1）时间维

时间维表示系统工程的工作阶段或进程。系统工程工作从规划到更新的整个过程或寿命周期可分为以下七个阶段：

- ①规划阶段。根据总体方针和发展战略制定规划。
 - ②设计阶段。根据规划提出具体计划方案。
 - ③分析或研制阶段。实现系统的研制方案，分析、制定出较为详细而具体的生产计划。
 - ④运筹或生产阶段。运筹各类资源及生产系统所需要的全部“零部件”，并提出详细而具体的实施和“安装”计划。
 - ⑤系统实施或“安装”阶段。把系统“安装”好，制定出具体的运行计划。
 - ⑥运行阶段。系统投入运行，为预期用途服务。
 - ⑦更新阶段。改进或取消旧系统，建立新系统。
- 其中规划、设计与分析或研制阶段共同构成系统的开发阶段。

（2）逻辑维

逻辑维是指系统工程每阶段工作所应遵从的逻辑顺序和工作步骤，一般分为以下七步：

- ①摆明问题。同提出任务的单位对话，明确所要解决的问题及其确切要求，全面收集和了解有关问题历史、现状和发展趋势的资料。
- ②系统设计。即确定目标并据此设计评价指标体系。确定任务所要达到的目标或各目标分量，拟定评价标准。在此基础上，用系统评价等方法建立评价指标体系，设计评价算法。
- ③系统综合。设计能完成预定任务的系统结构，拟定政策、活动、控制方案和整个系统的可行方案。
- ④模型化。针对系统的具体结构和方案类型建立分析模型，并初步分析系统各种方案的性能、特点、对预定任务能实现的程度以及在目标和评价指标体系下的优劣次序。
- ⑤最优化。在评价目标体系的基础上生成并选择各项政策、活动、控制方案和整个系统方案，尽可能达到最优、次优或合理，至少能令人满意。
- ⑥决策。在分析、优化和评价的基础上由决策者作出裁决，选定行动方案。
- ⑦实施计划。不断地修改、完善以上六个步骤，制定出具体的执行计划和下一阶段的工作计划。

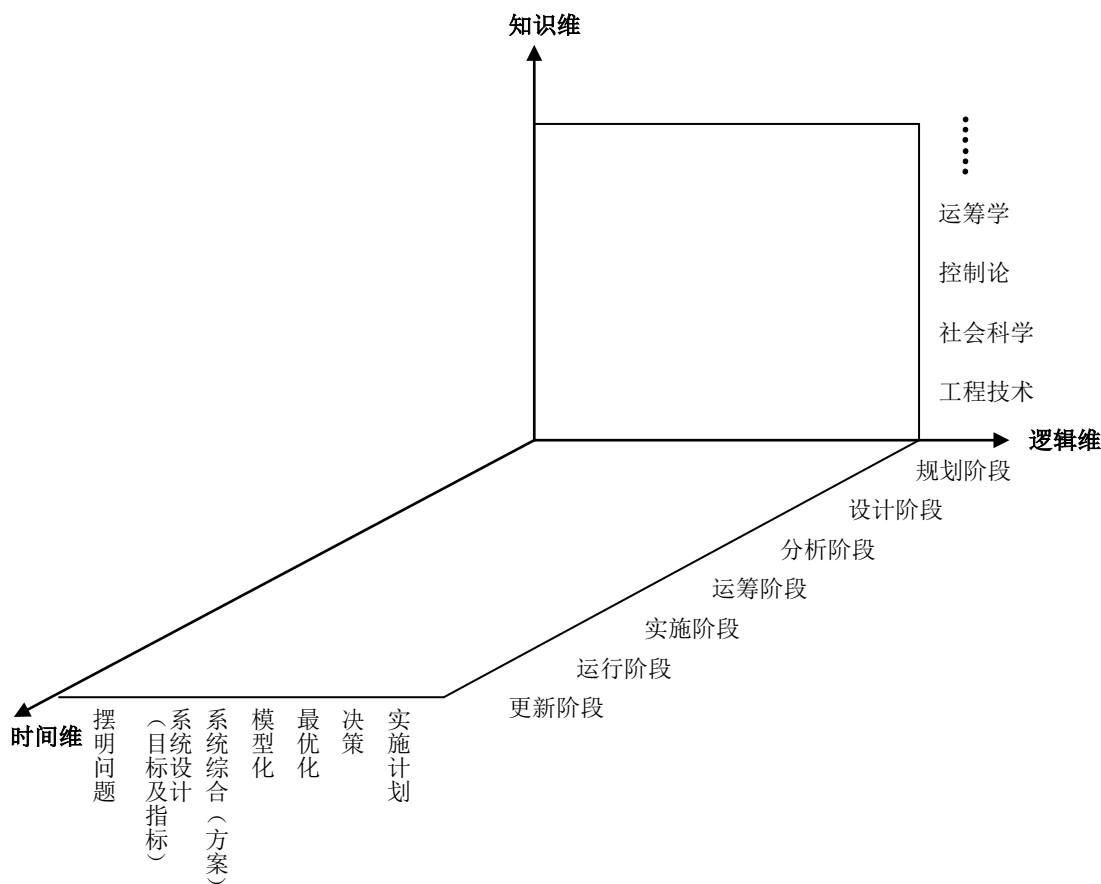


图 5-15 霍尔三维结构（仿汪应洛，2009）

（3）知识维或专业维

该维的内容表征从事系统工程工作所需要的知识，如运筹学、控制论、管理科学等，也可反映系统工程的专门应用领域，如企业管理系统工程、社会经济系统工程、工程系统工程等。

霍尔三维结构强调明确目标，核心内容是最优化，并认为现实问题基本上都可归纳成工程系统问题，应用定量分析手段，求得最优解答。该方法论具有研究方法上的整体性（三维）、技术应用上的综合性（知识维）、组织管理上的科学性（时间维与逻辑维）和系统工程工作的问题导向性（逻辑维）等突出特点。

2.切克兰德方法论

20 世纪 40~60 年代，系统工程主要用来寻求各种“战术”问题的最优策略、组织管理大型工程项目等。进入 20 世纪 70 年代，系统工程越来越多地用于研究社会经济的发展战略和组织管理问题，涉及的人、信息和社会等因素相当复杂，使得系统工程的对象系统软化，并导致其中的许多因素又难以量化。为适应这种发展，从 20 世纪 70 年代中期开始，许多学者在霍尔方法论的基础上，进一步提出了各种软系统工程方法论。其中，在 20 世纪 80 年代中前期，由英国兰切斯特大学（Lancaster University）P.切克兰德（P. Checkland）教授提出的方法比较系统且具有代表性。

P.切克兰德认为，完全按照解决工程技术问题的思路来解决社会问题或“软科学”问题，

会遇到很多问题。他提出的软系统工程方法论的主要内容和过程如图 1-32 所示。

(1) 认识问题

收集与问题有关的信息，表达问题现状，寻找构成或影响因素及其关系，以便明确系统问题的结构、现在过程及其相互之间的不适应之处，确定有关的行为主体和利益主体。

(2) 根底定义

根底定义是该方法中较具特色的阶段。其目的是弄清系统问题的关键要素，为系统的发展及其研究确立各种基本的看法，并尽可能选择出最合适的基本观点。根底定义所确立的观点要能经得起实际问题的检验。

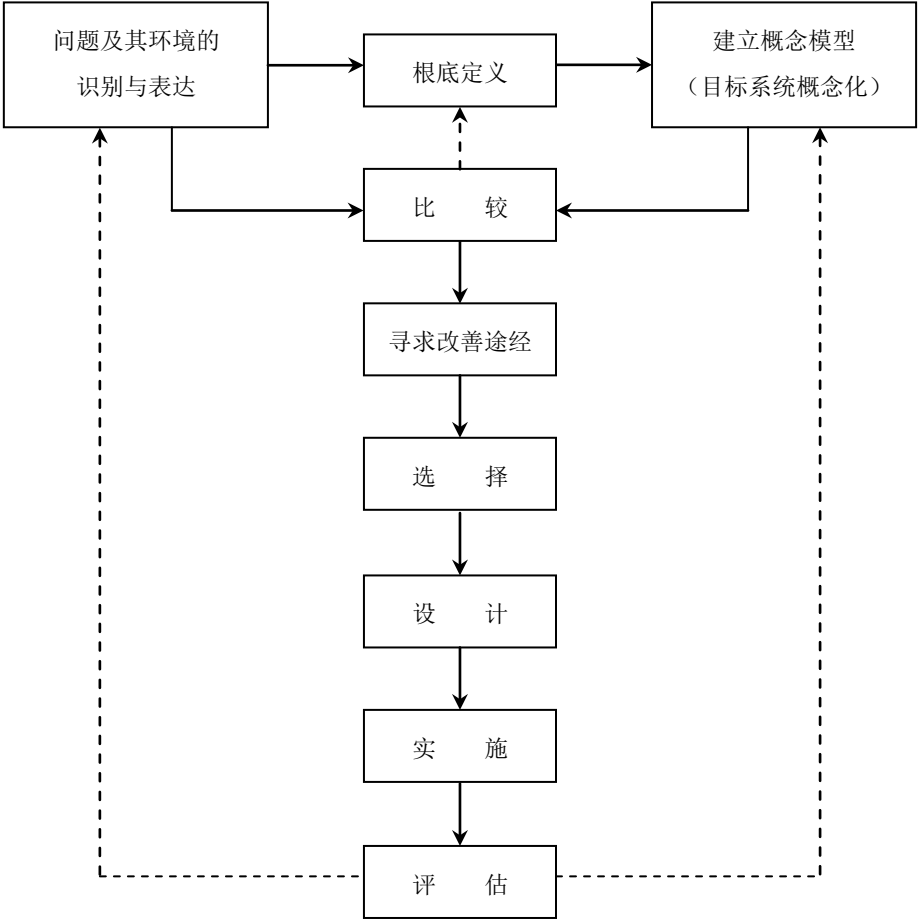


图 5-16 切克兰德方法的主要内容和过程（仿汪应洛，2009）

(3) 建立概念模型

概念模型是来自于根底定义、通过系统化语言对问题抽象描述的结果，其结构及要素必须符合根底定义的思想，并能实现其要求。

(4) 比较及探寻

将第一步所明确的现实问题（主要是归纳的结果）和第三步所建立的概念模型（主要是演绎的结果）进行对比。有时通过比较，也需要对根底定义的结果进行适当修正。

(5) 选择

针对比较的结果，考虑有关人员的态度及其他社会、行为等因素，选择现实可行的改善方案。

(6) 设计与实施

通过详尽和有针对性的设计，形成具有可操作性的方案，并使得有关人员乐于接受和愿意为方案的实现竭尽全力。

（7）评估与反馈

根据在实施过程中获得的新认识，修正问题描述、根底定义及概念模型等。

切克兰德方法的核心是“比较”与“探寻”，它强调从“理想”模式（概念模型）与现实状况的比较中探寻改善现状的途径，使决策者满意（化）。

通过认识与概念化、比较与学习、实施与再认识等过程，对社会经济等问题进行分析研究，是一般软系统工程方法论的共同特征。

3.两种方法论的比较

霍尔三维结构与切克兰德方法论均为系统工程方法论，均以问题为起点，具有相应的逻辑过程。在此基础上，两种方法论主要存在以下不同点：

①霍尔方法论主要以工程系统为研究对象，而切克兰德方法更适合于对社会经济和经营管理等“软”系统问题的研究。

②前者的核心内容是优化分析，而后者的核心内容是比较学习。

③前者更多地关注定量分析方法，而后者比较强调定性或定性 with 定量有机结合的基本方法。

第三节 立法的系统分析

系统分析（Systems Analysis）是运用建模及预测、优化、仿真、评价等技术对系统的各方面进行定性与定量相结合的分析，为选择最优或满意的系统方案提供决策依据的分析研究过程。

从狭义上讲，系统分析的重要基础是霍尔三维结构中逻辑维的基本内容，并与切克兰德方法论等有相通之处；从广义上理解，有时把系统分析作为系统的同义语使用。

在进行立法系统分析时，系统分析人员对与问题有关的要素进行探索和展开，对立法的目的与功能、环境、费用与效果等进行充分的调查研究，分析处理有关资料，据此对若干备选的系统方案建立必要的模型，进行优化计算或仿真实验，把计算、实验、分析的结果同预定的任务或目标进行比较和评价，最后把少数较好的可行方案整理成完整的综合资料，作为决策者选择最优或满意的系统方案的主要依据。

1.系统分析要素

立法的系统分析有以下六个基本要素：

（1）问题

在系统分析中，问题一方面代表研究的对象，或称对象系统，需要系统分析人员和决策者共同探讨与问题有关的要素及其关联状况，恰当地定义问题；另一方面，问题表示现实状况（现实系统）与希望状况（目标系统）的偏差，这为系统改进方案的探寻提供了线索。

（2）目的及目标

目的是对系统的总要求，目标是系统目的的具体化。目的具有整体性和唯一性，目标具有从属性和多样性。目标分析是系统分析的基本工作之一，其任务是确定和分析系统的目的及其目标，分析和确定为达到系统目标所必须具备的系统功能和技术条件。目标分析可采用目标树等结构分析的方法，并要注意对冲突目标的协调和处理。

（3）方案

方案是达到目的及实现目标的途径。为了达到预定的系统目的，可以制定若干备选方案，通过对备选方案的分析和比较，才能从中选择出最优系统方案。这是系统分析中必不可少的一环。

（4）模型

模型是由说明系统本质的主要因素及其相互关系构成的。模型是研究与解决问题的基本框架，可以起到帮助认识系统、模拟系统和优化与改造系统的作用，是对实际系统问题的描述、模仿或抽象。在系统分析中常常通过建立相应的结构模型、数学模型或仿真模型等来规范分析各种备选方案。

（5）评价

评价即评定不同方案对系统目的的达到程度。它是在考虑实现方案的综合投入（费用）和方案实现后的综合产出（效果）后，按照一定的评价标准，确定各种待选方案优先顺序的过程。进行系统评价时，不仅要考虑投资、收益这样的经济指标，还必须综合评价系统的功能、费用、时间、可靠性、环境、社会等方面的因素。

（6）决策者

决策者作为系统问题中的利益主体和行为主体，在系统分析中自始至终具有重要作用，是一个不容忽视的重要因素。实践证明，决策者与系统分析人员的有机配合是保证系统分析工作成功的关键。

2.系统分析原则

立法的系统分析要适应实际问题的需要，坚持问题导向、着眼整体、权衡优化、方法集成等基本原则。

（1）坚持问题导向

系统分析是一种处理问题的方法，有很强的针对性，其目的在于寻求解决特定问题的最优或满意方案。系统分析人员要适应实际问题的需要，制定方案，选择方法，并通过适时调整，使分析过程及结果对问题的不确定性变化具有较好的适应性。帮助决策者解决实际问题，是系统分析的目的。

（2）以整体为目标

系统分析是把问题作为一个整体来处理，全面考虑各主要因素及其相互影响，强调以最少的综合投入和最良好的总体效果来完成预定任务。系统中的各组成部分，都具有各自特定的功能和目标，只有相互分工协作，才能发挥出系统的整体效能。

系统分析既要从系统整体出发，考虑系统中所要解决的各种问题及其多重因素，防止顾此失彼，又要注意不拘泥于细节，抓住主要矛盾，致力于提出解决主要矛盾的方法和措施，避免因小失大。以整体最优为核心的系统观点是系统分析的前提条件。

（3）多方案模型分析和选优

根据实际问题的需要和系统目标的要求，收集各种信息，寻找多个方案，并对其进行模型化及优化或仿真计算，尽可能求得量化的分析结果，这是系统分析的核心内容。

在系统方案综合（设计）中应注意的几个问题是：①要搞多方案，但不要过多，通常以3~4个为宜；②方案要有基本的合目的性（可替代性）、能实现性（方案详细可分）、可识别性（能评价系统目的、功能的达成度或优劣）等要求；③在方案产生过程中要注意采用各种创造性技术。

（4）定量分析与定性分析相结合

系统分析采用定量分析与定性分析相结合的基本方法。分析中既要利用各种定量资料和模型化及优化或仿真计算的结果，使方案的优劣以定量分析为基础，又要其同时充分利用分

析者、决策者和其他有关人员的直观判断和经验，进行综合分析判定。这是系统分析的基本手段。唯经验判断和唯定量分析，都是与系统分析的要求相违背的。

(5) 多次反复进行

对复杂系统问题的分析，往往不是一次可以圆满完成的。它需要根据对象系统及其所处环境的可能变化，通过反复与决策者对话，适时、不断地修正分析的过程及其结果，形成分析过程中的多次及多重反馈，逐步得到与系统目标要求最接近、令决策者较为满意的系统方案。这是系统分析成功的重要保障。

3.系统分析程序

按照系统分析的定义、内容及要素，参照系统工程的基本工作过程，可将立法的系统分析的基本过程归结为图 5-17 所示的几个步骤。

认识问题、探寻目标及综合方案构成了初步的系统分析。在初步系统分析阶段，为了尽快明确问题的总体框架，通常需要采用创造性技术，至少围绕以下六个方面的问题来展开：

- ①What: 研究什么问题，对象系统（问题）的要素是什么（问题与哪些因素有关）；
- ②Why: 为什么要研究该问题，目的或希望的状态是什么；
- ③Where: 系统边界和环境如何；
- ④When: 分析的是什么时候的情况；
- ⑤Who: 决策者、行动者、所有者等关键主体是谁（问题与谁有直接关系）；
- ⑥How: 如何实现系统的目标状态。这些既是使系统分析走上正轨的过程，又是使系统分析人员与决策者一起进入“角色”的过程。

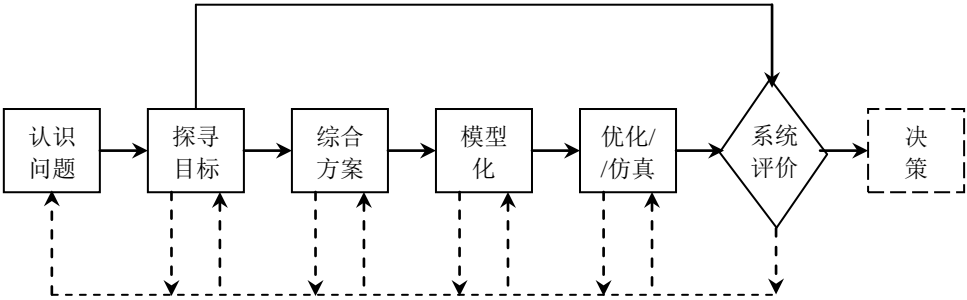


图 5-17 系统分析基本过程（仿汪应洛，2009）

环境分析几乎贯穿于系统分析的全过程，具有重要的作用。首先，在认识问题阶段，只有正确区分出各种环境要素，才能划定系统边界；其次，在探寻目标阶段，要根据环境对系统的要求建立系统的目标结构，以求得系统对环境的最优和最大输出；第三，在综合方案阶段，要考虑到环境条件及其变化对方案可行性的影响，选择出能适应环境变化的切实可行的行动方案；第四，在模型化及其分析阶段，要充分而正确地考虑到各主要环境条件（如人、财、物、政策等）对系统优化的约束；第五，在评价与决策阶段，要通过灵敏度分析和风险分析等途径，“减少”环境变化对最佳决策方案的影响，提高政策与策略的相对稳定性和环境适应性。

还需要指出的是，并非对所有问题进行系统分析的过程都要完全履行图 1-33 所示的几个环节，而是要根据实际问题的需要，有所侧重或只涉及其中的一部分环节。但认识问题、综合方案、系统评价等过程通常是必不可少的。

4.方案的创新

系统工程是一门对社会经济等大规模复杂系统进行组织管理的综合技术,系统工程的工作过程是一个综合创造的过程。创造性思维与创造性技术是认识系统问题,探寻行动方案,分析、设计、解决大规模复杂系统问题的思想和方法基础。实际上,在系统工程萌芽初期,有人称之为创造性工程。如果把系统工程理解为设计,那么它不同于常规设计,而更适用于研究发展新产品与系统;如果把它用之于管理,它需要经常探索改进管理系统与工作程序以提高效率。因此,系统工程需要的是高度的创造性。

随着自然科学与工程技术的发展,发明创造已被人们所认识、崇尚与追求,发明创造已日益成为推动技术进步的重要途径。近几十年来,世界新技术革命浪潮汹涌,科学技术知识呈现“爆炸”和融合的趋势,社会经济竞争日益激烈,创造力的实现不仅仅局限于个人范围和技术发明的领域,而已逐步成为集体、社会范围内的,推动包括管理和决策民主化、科学化在内的整个社会技术进步的综合创新过程。综合创造,已逐渐引起了人们的关注和重视,并成为现代创造活动的基本特征之一。

多年来,人们总结创造实践的规律,提出了关于创造活动程序的各种模式,其中与现代创造性思维及活动相适应、主要适用于工程技术及系统管理方面的创造过程占有重要地位。该过程一般由明确问题、确定目标、探寻方案、系统综合、验证、实施等六个阶段构成。对系统目标的认定和对系统方案的探寻与综合,是现代创造活动的主要过程,并常常需要反复进行。因此,系统思想与系统分析方法是现代创造性思维及活动的重要基础,创造性思维及活动的过程就是系统分析的过程。

与对创造活动规律的认识与探索相适应,随着发明学、创造工程、系统工程和管理科学的发展,人们已经先后提出了 100 多种具体的创造技法,其中比较常用的有列举法、提问法、头脑风暴法、德尔菲法、情景分析法等。

(1) 列举法

列举法是一种借助对一具体事物的特定对象(如特点、优缺点等)从逻辑上进行分析并将其本质内容全面地一一地罗列出来的手段,再针对列出的项目一一提出改进的方法。列举法基本上有三种:属性列举法、希望点列举法、优缺点列举法。

①属性列举法

也称特性列举法,是美国尼布拉斯加大学的克劳福德(Robert Crawford)教授以 1954 所提倡的一种著名的创意思维策略。

属性列举法强调使用者在创造的过程中观察和分析事物或问题的特性或属性,然后针对每项特性提出改良或改变的构想。属性列举法偏向物性、人性的特征来思考,主要强调于创造过程中观察和分析事物的属性,然后针对每一项属性提出可能改进的方法,或改变某些特质(如大小、形状、颜色等),使产品产生新的用途。

属性列举法的步骤是,列出事物的主要想法、装置、产品、系统或问题的重要部份的属性,将这些特性加以区分,划分为概念性约束、变化规律等,并研究这些特性是否可以改变,以及改变后对决策产生的影响,研究决策问题的解决方法。此法的优点是能保证对问题的所有方面全面的研究。

②希望点列举法

希望点列举法是通过提出对研究对象的希望或理想,使问题和事物的本来目的聚合成焦点来加以考虑的技法。希望点列举法通过不断地提出“希望可以”、“怎样才能更好”等等的理想和愿望,使原本的问题能聚合成焦点,再针对这些理想和愿望提出达成的方法。

希望点列举法的步骤是先决定主题,然后列举主题的希望点,再根据选出的希望点来考虑实现方法。

③优缺点列举法

优点列举法。这是一种逐一系列出事物优点的方法，进而探求解决问题和改善对策。步骤包括：决定主题；列举主题的优点；选出所列举的优点；根据选出的优点来考虑如何让优点扩大。

缺点列举法。缺点列举法是偏向改善现状型的思考，通过不断检讨事物的各种缺点及缺漏，再针对这些缺点一一提出解决问题和改善对策的方法。缺点列举法的步骤是先决定主题，然后列举主题的缺点，再根据选出的缺点来考虑改善方法。

(2) 提问法

又叫设问法、检核表法、5W2H法（5W1H法、和田12动词法等）。提问法是针对需要研究的对象，通过多角度提出问题，列出有关的问题，形成检核表，然后一个个来核对讨论，从而发掘出解决问题的大量设想的创造性技术。

5W2H法与5W1H法相比，多了一个HOW MUCH。5W2H法可以简述为：

WHY：为什么？为什么要这么做？理由何在？原因是什么？

WHAT：是什么？目的是什么？做什么工作？

WHERE：何处？在哪里做？从哪里入手？

WHEN：何时？什么时间完成？什么时机最适宜？

WHO：谁？由谁来承担？谁来完成？谁负责？

HOW：怎么做？如何提高效率？如何实施？方法怎样？

HOW MUCH：多少？做到什么程度？数量如何？质量水平如何？费用产出如何？

(3) 头脑风暴法

头脑风暴法也称智力激励法，是美国BBDD广告公司的奥斯本提出的一种创造性技术。头脑风暴(Brainstorming)原是精神病理学上的术语，指精神病患者精神错乱时的胡思乱想，这里转意为无拘无束、自由奔放地联想。

具体地说，头脑风暴法是针对一定问题，召集由有关人员参加的小型会议，在融洽轻松的会议气氛中，与会者敞开思想，各抒己见，自由联想，畅所欲言，互相启发，互相激励，使创造性设想起连锁反应，从而获得众多解决问题的方法。

这种会议由十个左右有关专家参加，设一名记录员。主持人应对要解决的问题十分了解，并口齿清晰，思路敏捷，作风民主，既善于营造活跃的气氛，又善于启发诱导。其他人当中最好有几名知识面广、思想活跃的人，以防止会议气氛沉闷。会议时间一般不超过一小时。布置会场要考虑到光线、噪声、室温等因素，做到环境适宜，给人以轻松舒适的感觉。

与会者要严格遵守下述规则：

讨论的问题不宜太小，不得附加各种约束条件；

强调提出新奇设想，越新奇越好；

提出的设想越多越好；

鼓励结合他人的设想提出新设想；

不允许私下交谈；

与会者不分职务高低，一律平等相待；

不允许对提出的创造性设想作判断性结论；

不允许批评或指责别人的设想；

不得以集体或权威意见的方式妨碍他人提出设想；

提出的设想不分好坏，一律记录下来。

会议结束后，将提出的设想分析整理，分别进行严格的审查和评价，从中筛选出有价值的提案。

头脑风暴法有两条基本原则：一是推迟判断，即不要过早地下断言、作结论，避免束缚

人的想像能力，熄灭创造性思想的火花；二是“数量提供质量”，人们越是提出更多的设想，就越有可能走上解决问题的轨道。

（4）德尔菲法

头脑风暴法有一个缺陷来自于它的假设条件，即“与会者不分职务高低，一律平等相待”。事实上，在小组讨论过程中，与会者的地位往往是不平等的，成员中会有权威的存在。由于采取面对面的讨论方式，与会者间的等级差别会影响到讨论的结果。为了避免集体讨论存在的屈从于权威或盲目服从多数的缺陷，20世纪60年代初，美国兰德公司开发出德尔菲法，以改善由于与会者地位不同而对讨论带来的负面影响。

德尔菲法为消除成员间的相互影响，运用匿名的方式反复多次征询专家的意见和进行背靠背的交流，以充分发挥专家们的智慧、知识和经验，最后汇总得出一个能比较反映群体意志的预测结果。因此，德尔菲法有专家匿名表示意见、多次反馈和统计汇总等特点。

德尔菲法的一般工作程序如下：

①确定调查目的，拟定调查提纲。咨询主题应明确，使熟悉该专题的专家能清晰地理解问题的性质、内容和范围。然后拟定出要求专家回答问题的详细提纲，并同时向专家提供有关的背景材料，包括预测目的、期限、调查表填写方法及其他要求等。

②选择一批经验丰富而又熟悉该专题的专家，一般10~20人，包括理论和实践等各方面专家，这一点尤为重要。很多人在使用德尔菲法时，由于在专家选择环节上过于草率而导致分析结果价值不大。

③以通信的方式向选定的各个专家发出调查表，征询意见。专家通过匿名的方式单独表态，以免使其他人受权威意见影响而改变自己的意见。

④经过一轮德尔菲活动后，把原始资料或专家意见汇总成图表反馈给参加咨询的专家，在一定期限内回收，再进行汇总分析，然后转入下一轮活动。

经过多次反复可为专家提供了解舆论和修改意见的机会。对返回的意见进行归纳综合、定量统计分析后，再寄给有关专家。如此往复，经过三四轮，意见比较集中后进行数据处理与综合得出结果。每轮时间约为一周，总共约一个月即可得到大致结果。时间过短，则因专家很忙难于反馈；时间过长则外界干扰因素增多，影响结果的客观性。

德尔菲法主要消除了头脑风暴法面对面式讨论带来的害怕权威、随声附和，或固执己见，或因顾虑情面不愿与他人意见冲突等弊端。这种方法虽然是背靠背的方式，但由于其特殊的处理方法，又兼有会议讨论的效果，因此可以使大家发表的意见较快地收敛，参加者也易于接受结论，具有一定程度综合意见的客观性。其缺点是由于专家时间紧，他们的回答往往比较草率；同时由于预测主要依靠专家，因此归根到底仍属专家们的集体主观判断。此外，在选择合适的专家方面也较困难，征询意见的时间较长，对于需要快速判断的预测难于使用。

（5）群体决策支持系统

系统工程所面临的问题属于重大决策问题，很少也很难由个体来完成，而是需要群体决策。计算机与通信技术可用来提高群体对话的速度和效率，信息技术的应用能完全改变决策层的决策方式。群体决策支持系统(Group Decision Support System, 简称GDSS)，能让分散在不同地方的决策者在同一时间通过远程电视会议系统，面对面地在一起讨论某些重大的决策。这种决策模式得以实现的基础是被称之为群件(Group Ware)的工具。顾名思义，群件就是帮助群组协同工作的软件。它帮助人们以三种不同的方式，即任务共享、环境共享以及时间与地点共享来进行决策。群件的另一优势在于数据管理。数据分为传统DBMS系统支持的结构化数据和不适于模型化的非结构化数据。在绝大多数情况下，小组讨论的数据是半结构化或非结构化的，DBMS对这些数据无能为力。而群件可以容易地管理非结构化数据。GDSS不仅使决策者们能方便地交流信息、协调工作，而且还具有特殊的工作机制，可以防止产生消极的群体行为，限制某个决策个体或小集团对决策产生影响。必要时，还能对某个

决策者的个人意见保密，使得每个决策者在讨论中能消除畏惧心理，大胆充分地发表意见，保证了最终形成的决策具有准确性、客观性和公正性。

帮助进行群体决策的技术较多，其中帮助工作小组实现时间与地点共享的技术主要有以下几种：

①会议技术

电话会议和电视会议技术可以帮助克服空间问题，但是人们必须在同一时间参加交流。当然，从另一个角度看，这也许是优点，某些应用确实需要这种实时性。

②布告栏技术

电子布告栏（BBS）能够解决时间和距离两方面的问题。它们能使用户在任何时间和任何场合下互相交流。但是，在这里信息是被动的（passive），需要用户积极地参与，主动获取信息。与视像会议系统相比，该方法的好处是不要求与会者同时参加讨论，同时可以很方便地隐身、匿名，技术上很容易实现类似德尔菲法的效果。

③存储与转发技术

电子邮件、调度软件、工作流技术同样也能够解决时间和空间分离的问题。这种系统具有能动性（activity），系统能够主动发出各种提示，提醒用户采取行动，控制处理流程。

（6）情景分析法

所谓情景分析法，一般是在专家集体推测的基础上，对可能的未来情景的描述。对未来情景，既要考虑正常的、非突变的情景，又要考虑各种受干扰的、极端的情景。情景分析法就是通过一系列有目的、有步骤的探索与分析，设想未来情景以及各种影响因素的变化，从而更好地帮助决策者制定出灵活且富有弹性的战略规划、计划或对策。它是一种灵活而富于创造性的辅助系统分析方法，是一种综合的、具有多功能的创造性技术。

在进行情景分析时，尽管不同的分析者采取的具体步骤可能略有不同，但基本包括以下步骤：

①建立信息库

在充分调查、整理的基础上，建立一个内容充实的信息库是有效地进行情景分析的基本前提。信息库应当是全面的，包括可能影响决策目标实现的各种内部和外部因素。信息库不仅要与现在的状态有关，而且要与影响未来的历史状态有关。

②确定主题目标

明确需要解决什么问题，这是情景分析的重要步骤。由于参加讨论的专家来自不同的领域，具有不同的观点，因而需要对主题进行系统的讨论，以统一对主题的认识，并确认与主题有关的各种因素。

③分析并构造影响区域

对影响情景主题的环境因素进行分析，并将这些因素分类构成影响区域；对这些影响区域及其与情景主题之间的关系再进行分析，确定有重大影响区域；最后检查分析是否包括所有相关的方面。

④确定描述影响区域的关键变量

对每一影响区域，确定关键变量，以便定性或定量地描述现有的状态和未来的情景。

⑤探寻各种可能的未来发展趋势

围绕每一个关键变量，探寻该影响区域未来可能的变化趋势。这些影响区域及其假设的变化趋势必须是与情景分析的主题相符合的。

⑥选择并解释环境情景

根据相符性、可能性和有代表性，选择 3~5 个假想的发展趋势，构作环境情景，并通过定量和定性的方法确定情景主题的未来状态、通往这些状态的路线以及设想的不同发展趋势之间的相互关系。

⑦引入“突发事件”，检验其对未来情景的影响

第⑤步与第⑥步中构作的可能的未来情景，会由于一些未曾预见的突发事件而发生根本性的变化。为了使决策者能有所准备，就要预先在未来情景中引入可能发生并具有重大影响的突发事件，研究其效应。如果引入这些突发事件使未来情景发生了极有意义的变化，就需要分析这一新的情景。

⑧详细阐明主题情景

系统地评价环境情景对主题的各种影响，整理所有情景预测的结果，在此基础上找出解决问题的可能途径。

经过上面的一系列步骤后，系统分析人员和决策者们就可以获得新的系统方案。由于这些方案充分考虑了未来各种可能的环境变化，因而在执行时可以更迅速有效地适应和处理各种突发性事件。

在情景分析的过程中，还常常用到前已述及的各种创造性技术。与其他创造性方法相比，情景分析法具有灵活性、系统性和定性定量研究相结合等特点，在管理系统分析、战略研究等方面具有较好的应用前景。

第四节 系统工程技术工具

系统工程广泛应用运筹学、控制论、信息论和科学计算等有关学科的理论和方法，作为分析问题和解决问题的工具。此外，投入产出法、计量经济学、系统动力学、价值工程、可靠性工程、系统安全工程等也常被用作解决工程技术系统和社会经济系统的工具。而数理统计、概率论、微分方程、线性代数、模糊数学等数学方法更作为定性分析和定量分析的有效工具获得普遍使用。

1. 运筹学

运筹学（Operational Research[英国]或者是 Operations Research[美国]）是管理类专业的一门重要专业基础课。它是 20 世纪 40 年代初发展起来的一门新兴学科，其主要目的是在决策时为管理人员提供科学依据，是实现有效管理、正确决策和现代化管理的重要方法之一。

运筹学主要研究经济活动和军事活动中能用数量来表达的有关策划、管理方面的问题。当然，随着客观实际的发展，运筹学的许多内容不但研究经济和军事活动，它已渗透到诸如服务、库存、搜索、人口、对抗、控制、时间表、资源分配、厂址定位、能源、设计、生产、可靠性、等各个方面。

运筹学可以根据问题的要求，通过数学上的分析、运算，得出各种各样的结果，最后提出综合性的合理安排，已达到最好的效果。运筹学作为一门用来解决实际问题的学科，在处理千差万别的各种问题时，一般包括确定目标、制定方案、建立模型、制定解法几个步骤。

随着运筹学本身也在不断发展，现在已经是一个包括多个分支的数学部门了，主要包括数学规划（又包含线性规划；非线性规划；整数规划；组合规划等）、图论、网络流、决策分析、排队论、可靠性数学理论、库存论、对策论、搜索论、模拟等等。

运筹学是软科学中“硬度”较大的一门学科，兼有逻辑的数学和数学的逻辑的性质，是系统工程学和现代管理科学中的一种基础理论和不可缺少的方法、手段和工具。运筹学具有如下特点：①运筹学已被广泛应用于工商企业、军事部门、民政事业等研究组织内的统筹协调问题，故其应用不受行业、部门之限制；②运筹学既对各种经营进行创造性的科学研究，又涉及到组织的实际管理问题，它具有很强的实践性，最终应能向决策者提供建设性意见，

并应收到实效；③它以整体最优为目标，从系统的观点出发，力图以整个系统最佳的方式来解决该系统各部门之间的利害冲突；④对所研究的问题求出最优解，寻求最佳的行动方案，所以它也可看成是一门优化技术，提供的是解决各类问题的优化方法。

运筹学的研究方法主要有：①从现实生活场合抽出本质的要素来构造数学模型，因而可寻求一个跟决策者的目标有关的解；②探索求解的结构并导出系统的求解过程；③从可行方案中寻求系统的最优解法。

2.控制论

控制论（Cybernetics），又叫模控学（台湾），是研究动物（包括人类）和机器内部的控制与通信的一般规律的学科，着重于研究过程中的数学关系。

在控制论中，控制的基础是信息，一切信息传递都是为了控制，进而任何控制又都有赖于信息反馈来实现。信息反馈是控制论的一个极其重要的概念。通俗他说，信息反馈就是指由控制系统把信输送出去，又把其作用结果返送回来，并对信息的再输出发生影响，起到控制的作用，以达到预定的目的。

控制论主要由三个基本部分组成：①信息论，主要是关于各种通路（包括机器、生物机体）中信息的加工传递和贮存的统计理论。②自动控制系统的理论，主要是反馈论，包括从功能的观点对机器和物体中（神经系统、内分泌及其他系统）的调节和控制的一般规律的研究。③自动快速电子计算机理论，即与人类思维过程相似的自动组织逻辑过程的理论。

管理系统是一种典型的控制系统，管理系统中的控制过程在本质上与工程的、生物的系统是一样的，都是通过信息反馈来揭示成效与标准之间的差，并采取纠正措施，使系统稳定在预定的目标状态上的。因此，从理论说，适合于工程的、生物的控制论的理论与方法，也适合于分析和说明管理中控制问题。

3.信息论

信息论（information theory）是运用概率论与数理统计的方法，研究信息、信息熵、通信系统、数据传输、密码学、数据压缩等问题的应用数学学科。

信息论将信息的传递作为一种统计现象来考虑，给出了估算通信信道容量的方法。信息传输和信息压缩是信息论研究中的两大领域。这两个方面又由信息传输定理、信源-信道隔离定理相互联系。

信息论的研究范围极为广阔。一般把信息论分成三种不同类型：

①狭义信息论是一门应用数理统计方法来研究信息处理和信息传递的科学。它研究存在于通讯和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律，以及如何提高各信息传输系统的有效性和可靠性的一门通讯理论。

②一般信息论主要是研究通讯问题，但还包括噪声理论、信号滤波与预测、调制与信息处理等问题。

③广义信息论不仅包括狭义信息论和一般信息论的问题，而且还包括所有与信息有关的领域，如心理学、语言学、神经心理学、语义学等。

信息科学是人们对信息的认识与利用不断扩大的过程中，在信息论、电子学、计算机科学、人工智能、系统工程学、自动化技术等多学科基础上发展起来的一门边缘性新学科。它的任务主要是研究信息的性质，研究机器、生物和人类关于各种信息的获取、变换、传输、处理、利用和控制的一般规律，设计和研制各种信息机器和控制设备，实现操作自动化，以便尽可能地把人脑从自然力的束缚下解放出来，提高人类认识世界和改造世界的能力。信息科学在安全问题的研究中也有着重要应用。

信息论的意义和应用范围已超出通信的领域，自然界和社会中有许多现象和问题，如生

物神经的感知系统、遗传信息的传递等，都与信息论中研究的信息传输和信息处理系统相类似。因此信息论的思想对许多学科如物理学、生物学、遗传学、控制论、计算机科学、数理统计学、语言学、心理学、教育学、经济管理、保密学研究等都有一定的影响和作用。

4.科学计算

科学计算即是数值计算，是指应用计算机处理科学研究和工程技术中所遇到的数学计算。在现代科学和工程技术中，经常会遇到大量复杂的数学计算问题，这些问题用一般的计算工具来解决非常困难，而用计算机来处理却非常容易。

自然科学规律通常用各种类型的数学方程式表达，科学计算的目的就是寻找这些方程式的数值解。这种计算涉及庞大的运算量，简单的计算工具难以胜任。在计算机出现之前，科学研究和工程设计主要依靠实验或试验提供数据，计算仅处于辅助地位。计算机的迅速发展，使越来越多的复杂计算成为可能。利用计算机进行科学计算带来了巨大的经济效益，同时也使科学技术本身发生了根本变化：传统的科学技术只包括理论和试验两个组成部分，使用计算机后，计算已成为同等重要的第三个组成部分。

科学计算过程主要包括建立数学模型、建立求解的计算方法和计算机实现三个阶段。建立数学模型就是依据有关学科理论对所研究的对象确立一系列数量关系，即一套数学公式或方程式。复杂模型的合理简化是避免运算量过大的重要措施。数学模型一般包含连续变量，如微分方程、积分方程。它们不能在数字计算机上直接处理。为此，先把问题离散化，即把问题化为包含有限个未知数的离散形式（如有限代数方程组），然后寻找求解方法。计算机实现包括编制程序、调试、运算和分析结果等一系列步骤。软件技术的发展，为科学计算提供了合适的程序语言和其他软件工具，使工作效率和可靠性大为提高。

从 20 世纪 70 年代初期开始，逐渐出现了各种科学计算的软件产品，它们基本上分为三类：

数值计算的软件，如 matlab（商业软件），scilab（开源自由软件）等等；

统计软件，如 SAS（商业软件）、minitab（商业软件）、SPSS（商业软件），R（开源自由软件）等；

符号运算软件，把符号表达成的公式、方程进行推导和化简，可以求出微分积分的表达式，代表有 maple（商业软件）、mathematica（商业软件），maxima（开源自由软件），mathcad（商业软件）等等。

第五节 立法复杂系统方法

由于现代社会日趋系统化、信息化，随着经济建设和科学技术的发展，也越来越要求提高决策的科学性、正确性和高效性，使原本复杂的人类社会发展增添了更大的决策难度和复杂性，因而完善和发展法制大系统理论，对促进现代法制建设具有极其重要的社会意义。

1.大系统

大系统是针对小系统或者是简单系统和开放的复杂巨系统而言的，简单系统是指组成系统的子系统数量比较少，它们之间关系比较单纯，如一台测量仪器。如果子系统数量相对较多（如几十、上百），如一个工厂，则可称为大系统。

这样我们可以把大系统理解为：人们为了解决社会生产、科学技术等方面的某些问题，而必须处理的一系列复杂事物所组成的体系。大系统的特点是：

①规模庞大。大系统通常包含有众多的小系统、部件、元件，占有的空间大、涉及的范围广；

②结构复杂。大系统中各小系统、部件、元件之间的相互联系及其信息结构等都十分复杂。

③功能综合。大系统常具有综合性的、多方面的功能与目标。

④因素众多。大系统一般是多变量、多参数、多输入和多输出的系统，涉及的内部因素和外部因素众多，不仅有“物”的客观因素，还有“人”的主观因素。

大系统的这些特点，使大系统问题决策更加困难。

大系统是一类具有多变量、高阶次、多回路的强非线性的反馈系统，如社会经济、生态系统，都是一类高阶次、多重反馈回路、高度非线性的复杂大系统。它具有很强的反直观性，由于对系统内多数参数的变化不敏感性，对政策改变的顽强抵御性和远期与近期，整体与局部之间利益的矛盾，往往难于调和以及向低效益转化倾向等特性，因此，认识和解决这一类大系统问题是一个很大的难题。

目前，研究社会、经济、生态系统的有关理论主要有计量经济学、数理经济学、经济控制理论、非线性控制理论和大系统理论及系统动力学等。计量经济学方法主要是结合和应用经济学、统计学和数学等学科的理论和方法，对社会经济问题进行较为精确的定量研究，建模依赖于较完善的统计数据，特别适合短期的经济分析和预测；数理经济学用数学方法来描述，研究和论证经济现象及相互关系，它较适合描述和研究社会经济系统结构，能对系统进行动态研究；经济控制论主要研究社会经济系统的调节控制问题；而非线性系统理论和大系统理论比较适合定量描述、分析和研究非线性复杂社会经济大系统的结构和行为模式。

2.开放的复杂巨系统的基本概念

根据组成系统的子系统以及系统种类的多少和它们之间关联关系的复杂程度，可把系统分为简单系统和巨系统两大类。简单系统是指组成系统的子系统数量比较少，它们之间关系比较单纯。若子系统数量非常大（如成千上万、上百亿、万亿），则称为巨系统。如果巨系统中子系统种类不太多（几种、几十种），且它们之间关联关系又比较简单，就称作简单巨系统，如激光系统。如果子系统种类很多并有层次结构，它们之间关联关系又很复杂，这就是复杂巨系统。如果这个系统又是开放的，就称为开放的复杂巨系统，例如，生物体系统、人脑系统、人体系统、生态系统、社会系统、星系系统等。这些系统无论在结构、功能、行为和演化方面，都很复杂，以至于到今天，还有大量的问题，我们并不清楚。

对于开放的复杂巨系统，“开放”与复杂具有新的更广的含义。这里开放性指系统与外界有能量、信息或物质的交换。即：①系统与系统中的子系统分别与外界有各种信息交换；②系统中的各子系统通过学习获取知识。由于人的意识作用，子系统之间的关系不仅复杂而且随时情况有极大的易变性。

一个人其本身就是一个复杂巨系统，现在又以这种大量的复杂巨系统为子系统而组成一个巨系统——社会。从社会系统来看，人这个复杂巨系统在社会系统中，可以当做其中的微观因子来研究。而在社会系统的宏观研究方面，根据马克思创立的社会形态概念，任何一个社会都有三种社会形态，即经济的社会形态、政治的社会形态、意识的社会形态，由此可以把社会系统划分为三个组成部分，即社会经济系统、社会政治系统、社会意识系统，对应于这三种社会形态的三种文明建设分别为物质文明建设（经济形态）、政治文明建设（政治形态）和精神文明建设（意识形态）。从实践角度来看，保证这三种文明建设协调发展的就是社会系统工程。按照系统工程的定义，组织管理社会经济系统的技术，就是经济系统工程；组织管理社会政治系统的技术，就是政治系统工程；组织管理社会意识系统的技术，就是意识系统工程。而社会系统工程则是使这三个子系统之间以及社会系统与环境之间协调发展的

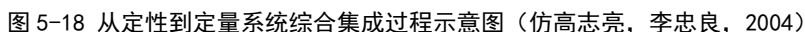
由此我们可以给开放的复杂巨系统得出基本的概念,这就是,开放的复杂巨系统涉及广阔的研究领域,除包括社会、经济、政治、文化外,还包括生物学、思维科学、医学、地学、天文学等理论。值得指出的是,这些领域的理论本来分布在不同的学科中,甚至不同的科学技术部门,而且均已有了较长的历史,也都或多或少地用本学科的语言涉及开放的复杂巨系统这一思想。

①系统本身与系统周围的环境有物质的交换、能量的交换和信息的交换。由于有这些交换，所以是“开放的”；

③子系统的种类繁多,有几十、上百、甚至几百种,所以是“复杂的”:

由于开放的复杂巨系统是多层次的,其功能状态变化的可能性是非常广泛的,有可能出现一些超出常规的现象,是意想不到的,但又是客观存在的。正是由于开放的复杂巨系统中的子系统种类,有很多层次结构,它们之间关联关系又很复杂,因此研究开放的复杂巨系统就需要采用从定性到定量的综合集成的方法。

开放的复杂巨系统理论方法，就是从定性到定量的综合集成技术，这是现在能用的且最为有效的处理开放的复杂巨系统的惟一方法，同时，也是思维科学的一项非常实用的应用技术。这是因为：首先我们要处理大量的信息和知识，信息量之大，难以想象，我们在处理时，不能漏掉任一个信息，这样就要采用信息的综合技术。其次，从定性到定量的综合技术是思维科学的应用技术，这个应用技术发展了，也会提炼、上升到思维学的理论，再上升到思维科学的哲学——认识论。再次，研究开放的复杂巨系统要有正确的思想指导，这个指导思想就是马克思主义哲学，因为‘开放的复杂巨系统是千变万化的，哲学思维告诉我们在处理许多错综复杂的问题时，必须抓问题本质和矛盾的主要方面，即从整体性、系统性、宏观性、战略性上去考虑，而且还要特别注意实践-理论-再实践，通过实践检验理论，修正理论，再上升到新的理论高度去指导实践，这是研究开放的复杂巨系统最重要的指导思想。



从定性到定量的综合集成方法，其实质是将专家群体（各种有关的专家）、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来（这三者本身也构成了一个系统）。这个方法的成功应用，就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。

在解决问题的过程中，专家群体和专家的经验起着重要的作用，我们把从定性到定量综合集成方法的过程可以用图 5-18 表示。

从定性到定量的综合集成方法，概括起来具有以下特点：

①根据开放的复杂巨系统的复杂机制和变量众多的特点，把定性研究和定量研究有机地结合起来，从多方面的定性认识上升到定量认识；

②由于系统的复杂性，要把科学理论和经验结合起来，把人对客观事物的星星点点的知识综合集中起来解决问题；

③根据系统思想，把多种学科结合起来进行研究；

④根据复杂巨系统的层次结构，把宏观研究和微观研究统一起来。

正是这些特点，才使这个方法具有解决开放的复杂巨系统中复杂问题的能力。现代科学技术探索和研究的对象是整个客观世界，但从不同的角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界的不同问题时，现代科学技术产生了不同的科学技术部门。例如，自然科学是从物质运动、物质运动的不同层次、不同层次之间的关系这个角度来研究客观世界的，社会科学是从研究人类社会发展运动、客观世界对人类发展影响的角度来研究客观世界的，数学科学则是从量和质以及它们互相转换的角度研究客观世界的，而系统科学是从系统观点、应用系统方法来研究客观世界的。系统科学作为一个科学技术部门，从应用到基础理论研究都是以系统为研究对象。在宏观世界，我们这个地球上又产生了生命、生物，出现了人类和人类社会，有了开放的复杂巨系统。而这类系统在客观世界也是存在的，如银河星系也是一个开放的复杂巨系统。这样看来，开放的复杂巨系统概念，已经超过了宏观世界而进入了更为广阔的天地。

由此'我们可以看出，从定性到定量的综合集成方法，不但是研究处理开放的复杂巨系统的当前惟一可行的方法，而且还可以用来整理千千万万零散的群众意见，如各种建议、议案、提案、专家见解等。可以说，开放的复杂巨系统研究及其方法论的建立，找到了解决复杂的、开放性的巨系统的科学的和现实可行的途径和方法。

4.大系统选优理论及方法

一般的复杂非线性系统若可以用一个复杂非线性模型进行描述，且模型结构较好，则可采用分解-协调技术进行优化决策。当然，当用分解-协调方法求解困难时，则可以用近似的分解聚合方法结合其他优化技术来求解。当系统较为复杂时，则可用一组模型即混合建模方法去描述求解。当系统包括定性和不确定因素时，情况更复杂，可通过广义模型的建模方法来优化求解。

分解-协调方法是解决大系统多级递阶控制系统最优化问题的设计、决策和管理的科学方法。大系统是变量众多的多变量系统，它的规模庞大，结构复杂，目标多样，对控制带来了许多困难。运用分解-协调方法，可把系统的整体分解为各个部分，分别地加以控制。然后通过协调，将各个部分联合成整体，实现系统的整体功能和目标，从而解决大系统的控制问题。分解-协调方法从系统整体的综合出发，经过对部分的分析，又回到系统整体的综合。

（1）系统的分解

分解-协调方法的第一步，是对系统的分解，即把大系统按照不同的层次、序列或阶段分成许多简单的子系统，分别研究各个子系统的结构和功能。系统的分解，大体可以分为三种具体情况：

①对大系统总目标的分解。把大系统的总目标，划分为各个子系统的子目标，称作对大系统总目标的分解。一个大系统是由许多子系统构成的，每个子系统又都有自己的目标，大系统的总目标，又是通过各个子系统的目标来实现的，因此，可以通过分解的方法，把总目标变换为子目标。分解后的子系统的单项目标，应具有相对的完整性。经过分解，对各子系统的子目标，可以分别地加以分析、处理和控制在。

②对系统模型关联的分解。对大系统的总目标，可以建立总目标函数，将总目标分解为子目标之后，必须建立模型，用图示或图表方法反映各子目标的相互关系，并建立定量描述的数学模型，这样就可以建立子目标函数，使总目标函数成为子目标函数的总和。这种方法，称作系统模型关联的分解。在这种分解的过程中，要区分主要和次要关系，按照主要关系进行分解、分析处理和控制在。

③多级系统控制过程的分解。系统的多级分解，有几种不同的情形：

一是多层分解，即把一个大系统分解为不同层次的分系统。例如，一个国家的中央政府，对全国进行管理与控制，可以分解为下属的各个省政府，每个省又分解为各个专区，每个专区又分解为各个县，每个层次的子系统，都对它所辖的地区进行管理和控制在。

二是多序分解，即把一个大系统分解为各个不同的序列。例如，国务院下属各个部、委，每个部、委都从事本部、委的业务管理和控制在。

三是多段分解，即把一个大系统分解为各个不同的阶段。例如，一个产品的生产分解为多道工序，分别完成各工序的目标。一个完整的工程，根据完成任务的时间先后，分解为几个阶段，分别完成各阶段的目标，这些时间阶段必须是首尾衔接的。

无论是哪一种情况，系统的分解都必须遵循完整性规则、适应性规则、无漏项规则。

(2) 系统的协调

在各子系统最优配合的基础上，全面处理各子系统的相互作用，通过控制调节，达到系统整体的最佳，称作系统的协调。只有通过协调，系统才能达到整体上的步调一致，充分发挥系统功能，实现系统的总目标，协调的要求是达到动态平衡。

大系统与子系统在目标和结构上，存在着相互作用和相互制约的关系。这种关系，不仅是定性的，而且是定量的，必须作数量关系的分析。同时，它们的关系也是变动的，要预见到它们的变化。因此，系统的协调，要求达到系统内部的动态平衡，这种动态平衡，就是积极平衡。当然，绝对的协调是困难的，但要尽量地争取，努力做到最佳的协调。要实现最佳协调，关键是要抓住起主导作用的子系统，分析和处理它与其他子系统的关系，做到合理兼顾，保证重点，达到满意的最优控制在。

系统的协调，是把各子系统合成为一个整体，是化零为整的过程，因而是系统分解的逆过程。如果系统分解时，采用“三步四级”措施，即把大系统分解为一级子系统，把一级子系统分解为二级子系统，再把二级子系统分解为三级子系统，从而把大系统化整为零，那么，系统的协调则相反，把三级子系统综合为二级子系统，把二级子系统综合成一级子系统，最后把一级子系统综合成大系统，这就是化零为整的过程。

系统的协调是以系统的分解为前提的，没有分解，就无需协调。系统的分解又以系统整体为前提，目的是达到最优协调。分解和协调，都需要相应的数学方法，建立目标函数和状态方程。

(3) 分解-协调的结构形式

分解-协调的实现，需要一定控制的结构形式，系统的不同控制结构，也要求运用不同的分解-协调的方法。大系统的分解-协调的结构形式，大致有以下几种：

①集中的分解-协调结构形式

集中的分解-协调的结构形式，是指一个大系统分解为各个子系统，由一个控制中心来协调各个子系统的关系。例如，中央集权制的国家，中央政府集中协调地方政府。

集中的分解-协调结构形式，能高度集中地对子系统进行协调，这是它的优点。但是，若过分地集中，往往缺乏灵活性，而且对于结构复杂的大系统，难以保证其协调、控制的可靠性。

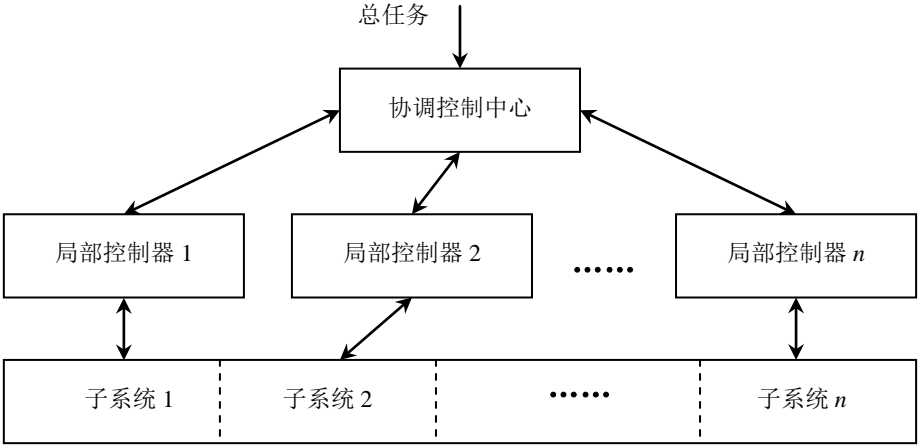


图 5-19 多级递阶的分解-协调结构（仿高志亮，李忠良，2004）

②分散的分解-协调的结构形式

大系统被分解为各个子系统之后，各个子系统独立实现各自的目标，无需一个控制中心加以协调，称作分散的分解-协调结构形式。

在分散的分解-协调结构中，各子系统之间是相对独立的，用以进行局部控制的各控制器是同级的，没有上下级关系。为了协调，它们之间也需要信息交流。由于缺乏集中，分散的分解-协调往往难以实现总体协调，容易产生彼此干扰，影响系统的整体最优化。

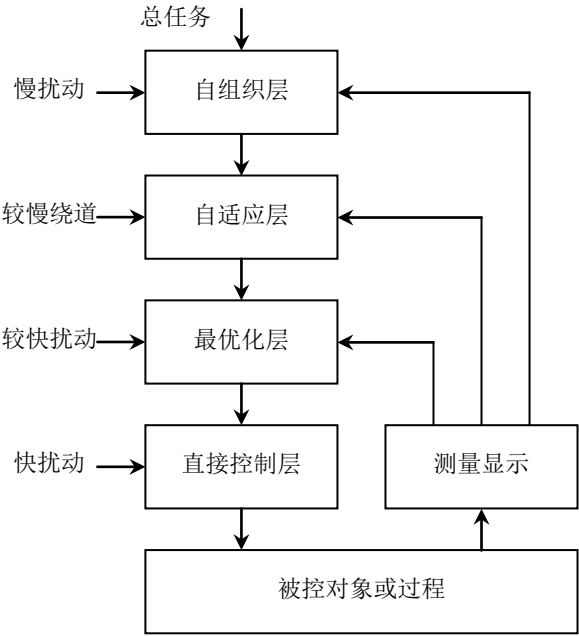


图 5-20 多层的分解-协调结构（仿高志亮，李忠良，2004）

③多级递阶的分解-协调结构形式

把集中的分解-协调结构形式与分散的分解-协调结构形式结合起来，吸收它们各自的优点而克服它们各自的局限性，就产生了多级递阶的分解-协调的结构形式，即由一个控制中

心，协调它的子系统，各子系统又通过局部控制器来协调下一级的对象和过程。

多级递阶的分解-协调结构形式，大体上可以分为三类：

第一类为多阶结构。根据对象的不同特征，将大系统分解为若干层级与子系统，由高级阶层去协调低一级的阶层，实现递阶协调，达到统一的系统目标。如图 1-44 所示三级递阶分解-协调结构。例如，一个大企业的分级管理结构，可以采用三级递阶结构表示，第一级是公司的管理、协调全过程，实现最优化；第二级是工厂的管理，运用计算机进行全厂的生产调度；第三级是车间的管理，运用一般调节装置进行内部协调。在三级的分解协调过程中，尽可能扬长避短，趋利避害，实现大系统的总目标。

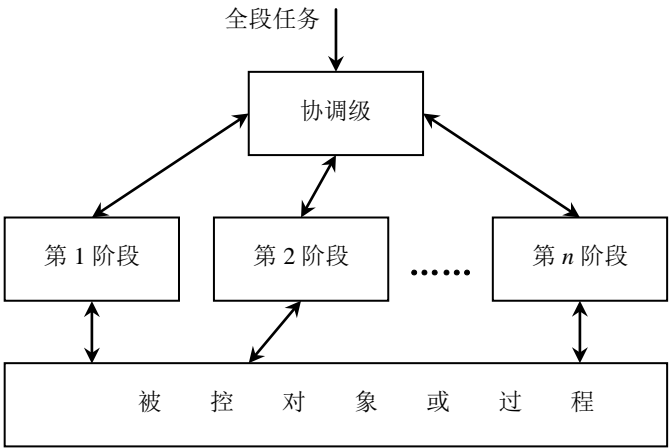


图 5-21 多段的分解-协调结构（仿高志亮，李忠良，2004）

第二类为多层结构。按任务或功能，将大系统分解为具有不同分工的层次，高层次实现较复杂的任务和功能，低层次实现较单纯的任务和功能。图 1-45 的多层结构中，第一层是直接控制层，根据最优化层指令，直接控制对象的状态；第二层是最优化层，根据给定的目标函数及约束条件，进行最优控制；第三层是自适应层，根据系统的运行情况，采取适应性措施，保证系统的最优运行；第四层是自组织层，根据大系统的总目标、总任务和环境条件的变化，制定决策、计划，协调与组织管理。

第三类为多段结构。根据对象的时序，把运行全程分解为若干段。例如，导弹的弹道可以分解为主动段、惯性飞行段和末制导段，各段相互衔接，对全程进行协调控制。

第六节 研讨厅系统方法

研讨厅系统方法，是钱学森在 20 世纪 80 年代初，提出的将科学理论、经验和专家判断相结合的半理论半经验的方法。

1. 研讨厅系统的概念

研讨厅是将专家群体、统计数据和信息资料、计算机高度智能化的一个集合，而研讨厅系统则是集成了现代计算机技术和专家体系，用于解决复杂决策问题的、供专家群体使用的人-机结合的高度智能化的系统。

研讨厅系统同传统的群体决策支持系统（decision supporting system, DSS; group decision support system, GDSS）相比，研讨厅系统最大的不同在于：首先，研讨厅系统是人-机决策系统，除了基于计算机的决策支持系统外，具有专业知识优势或经验的人也是系统的一部分；其次，在决策过程中，研讨厅系统强调专家体系与基于计算机的数据和模型的动态交互，虽然智能决策支持系统（Integrated Decision Support System, IDSS）也带有知识库，在利用人的经验知识上迈进一步，但研讨厅却不限于此，研讨厅还将人类专家在线式嵌入系统，大大提高了系统的灵活性和问题解决能力，这是 IDSS 那种死板的知识表示和推理所无法比拟的。GDSS 和 ODSS（organized decision support system, 组织决策支持系统）也支持群体或组织的决策，但与之相比，研讨厅系统的参与者不仅可以作为决策者，更重要的是还提供决策所需的知识或技能。研讨厅系统与群体系统一样，支持专家群体的协同工作（在研讨厅系统中，确切地说是研讨），但它仍保留传统 DSS 的数据和模型支持功能，并提供数据、模型与专家群体的交互作用机制，而这是一般的群件系统所不具备的。

按钱学森的观点，专家群体、人的经验与知识结合是综合集成的重要对象。人的知识结合在系统中有两大途径：建立知识库系统，开发知识表达和输入环境，人-机一体化是 AI（artificial intelligence, 人工智能）技术的发展方向。“人在回路中”（Man-in-the-loop）研究如何将领域专家有机结合在系统中，并为其提供信息和工具支持，使其经验和知识获得最大限度的发挥，进而提高集成系统的智能化水平，这一技术可实现人类智能以最直接的方式融入系统之中，以弥补 AI 研究成果由于智能化水平有限还无法取代有经验人类专家的问题。研讨厅运用人-机结合方法学习和研讨技术，完成将专家群体集成在研讨厅大系统中的任务。特别要强调指出的是，要集成专家群体而不是一个专家，而群体的技术含义是协同工作，这是研讨厅区别于传统的人工智能技术的最大特点。

2. 研讨厅系统的综合集成

研讨厅系统实现的综合集成具备如下功能：网络集成管理、数据集成管理、应用集成管理和用户集成管理。用户是研讨厅系统的一个组成部分，用户集成管理通过网络集成管理和研讨过程来实现。

（1）网络集成管理

在研讨厅网络系统中，用户结点可以按照系统赋予的资源存取权限，共享系统固有的信息、运算等项资源，进行信息交流活动，系统将提供网络安全管理措施，防止非法用户对受限访问资源的访问，因而，网络集成管理主要完成如下功能：

①网络的动态配置与组织

管理员定义任务系统，根据任务自动分配系统资源，用户可以依据权限访问系统资源，参与研讨。

②用户账户管理

提供用户分级管理，包括身份确认、访问级别分配、访问时机控制等机制。

③虚拟网络范围内的共享资源的存取管理

以用户分级管理为基础，控制用户对系统资源有层次地存取访问。

④安全管理

提供有效的信息保密和安全措施。

（2）数据集成管理

数据集成管理的意义在于为系统的各类用户提供一个屏蔽了数据源的网络上分布状态、异种数据格式等属性的数据管理，使用户可以在网络环境中无损地访问系统中的各种信息及数据，主要完成如下功能：

①分布数据管理；

②数据源的表达、存储和管理。

(3) 应用集成管理

应用集成管理是指系统能够管理分布的应用系统,实现“即插即用”的“软件总线”式的集成环境。将分布的可以共享的应用程序提供给用户调用访问,主要完成以下功能:

①可执行资源的远程调用:主要是实现对模型的远程应用;

②远程调用的结果共享:实现对模型运算结果的保存及共享。

3.研讨厅系统方法论

专家群体同计算机系统的结合主要在以下几个层次和方面:

①复杂问题的结构化处理;

②在模型的使用过程中,专家的判断综合了计算机的模型结果及数据信息,计算机中的模型及数据融入了大量的专家经验和知识;

③面向问题的模型重构或生成;

④反馈式、层次化的流程控制机制;

⑤自动化的意见综合,多次研讨的综合利用能够获得前人对有关问题的经验。

(1) 用结构化的方法逼近非结构化

将非结构化的评估问题按照其内在联系,以一种层次框架的形式分解为一系列子问题,针对每一子问题设计相应的规范化的格式,请有关专家按规范的格式发表意见,以便于计算机处理。

同时,系统还提供了结构化更强的群体意见综合的形式——问题模板。由于问题模板的格式固定,不同专家对同一子问题的意见都填写在相同的位置,而且在相应数据库中都有对应的记录和字段,这样就可对群体意见的综合用程序进行自动化处理。

(2) 综合运用系统工程方法的规范化研讨流程

运用系统工程和决策科学的方法建立面向问题的研讨 workflow,该流程符合一般实际专家研究的工作流程,并且综合运用了头脑风暴法、专家调查法、层次分析法、多指标方案排序法和电子表决等系统工程方法以及其他的问题领域模型及数据,使专家的意见自然而然地融入到系统之中。

(3) 面向问题的模型重构

由于用于决策的计算机模型的规模越来越大,复杂性越来越高,继承原有模型模块进行异构系统的集成不可避免。在标准组件的支持下,我们可以充分利用已有的可用软件资源进行系统集成,使所处理的问题范围扩大,有利于解决复杂系统问题。

(4) 反馈式、层次化的流程控制机制

考虑到所研究对象的复杂性,系统提供了层次化的研讨流程,同时流程不仅可以顺序执行,还可以根据需要跳转到任意议程上。对于专家分歧较大或认识不清的问题,通过研讨可以将该问题按专家的不同意见,进一步细分为子问题,并可以返回前面的任一步骤,从而将大家的注意力集中在新的问题层次。这些做法非常有利于问题的进一步结构化处理。

(5) 自动化的专家意见综合处理

将按指标对文字型意见进行分类,按对应指标不同将文字型意见分别归类,同时提供管理结点的编辑功能,充分利用管理结点的编撰能力将专家文字型意见综合在一起。

对文字型的群体意见综合时,采用机械文摘技术和基于判断词分类的单句综合技术。由于还不能提供完备的知识库的支持,因此,对于比较长的文字意见,采用机械文摘技术获取专家意见的中心内容,形成简短的文字意见,再利用基于判断词分类的单句综合技术,建立判断词词库。根据从意见中析取的判断词和系统设定的肯定比例、不可判断比例以及摘要比例等参数,形成最终的综合意见。

第七节 东方系统论

由于 20 世纪 80 年代国际性的反思，英、美已出现一批新的系统方法论，其共同特点是偏软，大多没有数学模型，而强调思考方法、工作过程和人的参与等。正是在这个背景下，顾基发等人结合系统工程实践，通过与霍尔大学（Seton Hall University）的朱志昌及其他一些学者不断讨论和切磋，以及对东西方文化的比较和观察，借鉴了西方系统方法论形成的经验，最后顾基发与朱志昌共同提出东方系统方法论，又即物理-事理-人理（wù lǐ, shì lǐ, rén lǐ）系统方法论，简称 WSR 方法论。

物理，是指涉及物质运动的机理；事理，是指做事的道理；人理，是指做人的道理。WSR 具体内容可以用表表示为：

物理、事理和人理是系统实践中需要综合考察的三个方面。仅重视物理和事理而忽视人理，做事难免机械，缺乏变通和沟通，很可能达不到系统的整体目标；一味地强调人理而违背物理事理，则肯定失败，如某些献礼工程、首长工程等就充分说明了这一点。“懂物理、明事理、通人理”就是 WSR 方法论的实践准则。形容一个人通情达理，就体现了他的很好的 WSR 实践。

表 5-1 WRS 系统方法论内容（高志亮，李忠良，2004）

内 容	物 理	事 理	人 理
道 理	物质世界，法则、规则的理论	管理和做事的理论	人、纪律、规范的理论
对 象	客观物质世界	组织、系统	人、群体、人际关系、智慧
着 重 点	是什么？功能分析	怎样做？逻辑分析	应当怎么做？人文分析
原 则	诚实，真理尽可能正确	协调，有效率尽可能平滑	人性，有效果尽可能灵活
知识范围	自然科学	管理科学，系统科学	人文科学，行为科学

1.东方系统论的基本方法

WSR 方法论，在西方称之为超方法论（Meta-methodology），也就是在各种具体方法论之上，从一组系统方法论中选取某些适合于具体要解决问题的方法。具体方法为：

2.东方系统方法论的主要原则

在运用 WSR 方法论时，我们经常注重遵循下列原则：

（1）综合原则

要综合各种知识，听取各种意见，取其所长，互相弥补，以帮助获得关于实践对象的可达的想定（scenario），这首先期望各方面相关人员的积极参与。

（2）参与原则

全员参与，或不同的人员（或小组）之间通过参与而建立良好的沟通，有助于理解相互的意图、设计合理的目标、选择可行的策略，改正不切实际的想法。实际中，常常是有些用户以为出钱后就是项目组的事，不积极参与，或者有的项目组有了大概的情况了解后就不与用户联系而去闭门造车，这样的项目十之八九会失败，因此成立项目小组和总体协调小组都需要相应的用户方的参加。

表 5-2 WRS 系统方法论内容（顾基发，唐锡晋）

工作步骤	主题内容			方法与工具
	物理	事理	人理	
理解意图	尽可能了解服务对象（顾客）的所有目标，现有资源情况	了解目标的背景、目标间的相互关系、目前系统组织和运行方式，目前工作实行的评价准则	与各层用户沟通，考察顾客对目标的期望或认同程度，了解用户的视点，特别是有决策权的领导的观点	智暴、研讨会、CATWOE 分析、认知图、习惯域；群件、群件、CSCW
形成目标	列出所有可行的和实用的目标、评价准则和各种约束	弄清目标间的关系准则，如优先次序和权重	弄清各种目标可能涉及的人、群体及相互关系	智暴，目标树，统一计划规划，ISM, AHP, SAST, CSH, SSM
调查分析	调查学习实践对象的领域知识和系统当前运行状况，获取必须的数据信息	根据目标调查分析资源间的关系、约束限制，获取用户的操作经验和知识背景，难以获得必需数据对目标的影响	文化调查，了解谁是真正的决策者及对目标的影响，系统当前运行操作人员的利益分析，对获取数据的影响，对当前目标的影响	德尔菲法，各种调查表，文献调查，历史对比，交叉影响法，NG 法、KJ 法
构造策略	根据调查分析结果和设计目标，制订整体目标和分目标实现的基本框架和技术措施	整合关于所有目标的框架与技术支持，定义整体系统的性能指标，给出若干具体方案	在整体和分布构造中嵌入用户，特别是领导的思考点，不同用户群的关系	系统工程方法、各种建模方法和工具、综合集成研讨厅
选择方案	分析策略构造中描述的初步方案，考虑模型方法的必要的支持数据	设计选择适合的系统模型以集成各种相关物理模型，方案的可行性分析和验证(verification)	在系统模型中恰当地突出了策略所包含的人的视点、利益等	行业标准、NG 法、AHP, GDSS, 综合集成研讨厅
实现构想	设计方案的全面实现，分别安排人、财、物、监测实施过程	实施过程的合理调度，方案的证实(validation)	实施过程中人力资源的调度，方案与人群的利益关系，结果的被认可(accreditation)	各种统计图表，统筹图
协调关系	协调整个工作过程中物理因素的协调，即技术的协调	对目标、策略、方案和系统实践环境的协调，如处理模型和知识的合理性，可视作知识协调	工作过程中从目标、策略、方案、实施与系统实践环境（文化等因素）等诸多方面上观点、理念和利益等关系的协调，配合物理与事理的协调，可认为是利益协调	SAST, CSH, IP, 和谐理论、对策论、亚对策、超对策；综合集成研讨厅、群件、群件、CSCW
注： 智暴：brain storming 。 AHP(Analytical Hierarchy Process)：层次分析法。 CATWOE(Customers, Actors, Transformation, Weltanschauung, Owners and Environmental constraints)：切克兰德软系统方法论中形成对考察系统根定义时需要思考的 6 个方面。 CSH(Critical Systems Heuristics)：启发式系统批判法。 IP(Interactive Planning)：交互式规划。 ISM(Interpretive Structural Modeling)：解析结构建模。 NG(Nominal Group)：名义小组。 SAST(Strategic Assumption Surfacing and Testing)：战略假设表露与检验。 SSM(Soft Systems Methodology)：软系统方法论。 CSCW(Computer Supported Cooperative Work)：计算机支持协同工作。 GDSS(Group Decision Support Systems)：群决策支持系统。				

(3) 可操作原则

选用的方法要紧密结合实践，实践的结果需要为用户所用。考虑可操作性，不仅考虑表面上的可操作，如友好的人机界面等等，更提倡整个实践活动的可操作性，如目标、策略、方案的可操作性，文化与世界观对这些目标策略能否可操作的影响，最后实现结果是否为用户所理解和所用，可用的程度有多大。另外一定要教会用户自己亲自操作，往往有时由于开发方会操作而用户只看他们操作，这样项目一结题和通过鉴定后，开发方的人一撤，系统的有些方面运作就进行不下去了。

(4) 迭代原则

人们的认识过程是交互的、循环的、学习的过程，从目标到策略到方案到结果的付诸实施体现了实践者的认识与决策、主观的评价、对冲突的妥协，等等，所以运用 WSR 的过程是迭代的。在每一个阶段对物理、事理、人理三个方面的侧重亦会有所不同，并不要求在一个阶段三者同时处理妥当。系统实践中对于极其复杂的没有经验的情况，需要“摸石头过河”，付出一些代价是难免的，不可能洞察一切，但实践人员应尽可能地作到事前想周全。

3. 东方系统工作过程

WSR 方法论一般工作过程可理解为这样的 7 步：①理解意图；②制定目标；③调查分析；④构造策略；⑤选择方案；⑥协调关系；⑦实现构想。



图 5-22 WSR 工作过程（顾基发，唐锡晋）

这些步骤不一定严格依照图中所描述的顺时针顺序，协调关系始终贯穿于整个过程。协调关系不仅仅是协调人与人的关系，而是协调每一步实践中物理、事理和人理的关系；协调意图、目标、现实、策略、方案、构想间的关系；协调系统实践的投入（input）、产出（output）与成效（outcome）的关系。这些协调都是由人完成，着眼点与手段应根据协调的对象而有所不同。在理解用户意图后，实践者将会根据沟通中所了解到的意图、简单的观察和以往的经验等形成对考察对象一个主观的概念原型，包括所能想到的对考察对象的基本假设，并初步明确实践目标，以此开展调查工作。因资源（人力、物力、财力、思维能力）有限，调查不可能是漫无边际、面面俱到，而调查分析的结果是将一个粗略的概念原型演化为详细的概念模型，目标得到了修正，形成了策略和具体方案，并提交用户选择。只有经过真正有效的

沟通后，实现的构想才有可能为用户所接受，并有可能启发其新的意图。[48~51]

4.东方系统方法的评价

东方系统方法的应用，其实隐含了一个前提，那就是民主。如果在非民主的环境中，东方系统方法将会存在很大的错误。 因为：

东方系统方法起点是理解“领导”意图，一则“领导”并非圣人，其意图并非“先进”（前瞻）甚至是错误的；二则“理解”的环境是否“宽松”，理解过程是否民主，理解是否科学，也就是说“理解”中是否存在“迎合”，理解意图变成阿谀式的迎合意图；三者理解的结果是否有检验的标准，理解结果是否有人检验、是否可检验，以及理解结果是否符合实际等等。还有就是东方系统方法在实施过程中，也会存在诸如此类的问题，其过程与结果是否科学，是否有操作规范，是否有法律监督，这些都成为东方系统方法应用的关键。如果不消除这些问题，这种方法不但是不科学的，反而成为专制的帮凶。

综上所述，东方系统方法的应用前提，必须在民主、科学与法治的环境中进行。[31,32]

第六章 法制评价与监督

本章运用系统学技术，介绍了法制活动的评价与监督方法。

第一节 数据标准化

法制系统的分析研究涉及到大量数据，通常所采集到的原始数据，往往难以直接进行分析研究，需要先进行预处理，得到标准化的便于分析研究的数据。

数据预处理（data preprocessing），是指在对数据分析研究之前，对原始数据进行一定的处理，使得数据符合分析研究要求。

在数据挖掘中，数据预处理方法包括数据清理、数据集成、数据变换、数据归约等。这些数据处理技术在数据挖掘之前使用，大大提高了数据挖掘模式的质量，降低实际挖掘所需要的时间。

数据清理：通过填写缺失的值、光滑噪声数据、识别或删除离群点并解决不一致性来清理数据，使得数据格式标准化，清除异常数据和重复数据，纠正错误。

数据集成：将多个数据源中的数据结合起来并统一存储，建立数据仓库。

数据变换：通过平滑聚集，数据概化、规范化等方式将数据转换成适用于数据挖掘的形式。

数据归约：数据挖掘时往往数据量非常大，在少量数据上进行挖掘分析需要很长的时间，数据归约技术可以用来得到数据集的归约表示，它小得多，但仍然接近于保持原数据的完整性，并结果与归约前结果相同或几乎相同。

在系统分析研究中，由于原始数据可能存在指标值之间量纲的不同，造成数据合成困难。因此，在进行系统分析研究时，除了要对原始数据进行预处理之外，为了消除量纲的影响，还要采取无量纲化方法，对原始数据进行标准化处理。

1. 权重

权重是为了解决指标之间不可公度（non-commensurable）问题引入的，通过权重协调、平衡指标之间的差别。在不考虑指标之间量纲区别的前提下，权重是将各个指标统一在一起的一种度量，通过权重的转换，各个指标具有相同的量纲，实现指标值的合成。

在系统分析研究时，权重体现了对该指标的重视程度。一般情况下，数据相关性越大或可信度越高，权重就越大；指标所表现的评价对象能力越强或所含信息量越多，权重就越大。权重的常用确定方法主要有德尔菲法、相对比较法、连环比率法、统计法、分配权法等。

1.1 德尔菲法

德尔菲法（Delphi）又叫专家法，就是集中专家意见，确定权重值。其典型步骤为：

（1）选择专家。选择本专业领域中既有实际工作经验又有较深理论修养的专家 10~30 人左右，并征得专家本人同意。

(2) 将待定权数的指标和相关资料以及确定权数的规则发给选定的各位专家，请他们各自独立地给出各指标的权数值。

(3) 回收结果并计算指标权数的均值与标准差。

(4) 将计算结果及补充资料返回给各位专家，要求所有专家在此基础上重新确定权数。

(5) 重复第(3)、(4)步骤，直至各指标权数与其均值的离差不超过预先给定的标准为止，也就是各位专家的意见基本趋于一致，以此时的各指标权数的均值作为该指标的权数。

此外，为了使判断更加准确，让评价者了解已经确定的权数的把握性的大小，还可以在第(5)步每位专家给出最后权数的同时，标出各自权数值的信任度，并求出平均信任度。如果信任度较高，就可以直接使用它，反之则暂时使用或设法改进。

1.2 相对比较法

将所有指标列出来，组成一个方阵，对各指标两两比较，进行[0,1]法打分，然后对每一个指标的分值逐一求和，进行归一化处理。

具体步骤为：

(1) 将指标 F_1, F_2, \dots, F_n 组成一个 $n \times n$ 方阵：

$$\begin{matrix} & F_1 & F_2 & \dots & F_i & \dots & F_n \\ \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_i \\ \dots \\ F_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ii} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{ni} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

(2) 对评价指标 F_1, F_2, \dots, F_n 两两比较，进行打分：

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当指标 } i \text{ 比指标 } j \text{ 重要时} \\ 0.5 & \text{当指标 } i \text{ 与指标 } j \text{ 同样重要时} \\ 0 & \text{当指标 } i \text{ 不如指标 } j \text{ 重要时} \end{cases}$$

在矩阵对角线上的元素不赋值，即对 a_{ii} 不赋值，也即不能对同一指标自己对自己进行比较。此时，显然有 $a_{ij} + a_{ji} = 1$ 。

为了防止某一指标值的权重为 0，通常在指标集中附加一个虚拟指标，并规定所有指标都比虚拟指标重要。当然，也可以不设虚拟指标。

(3) 归一化。

归一化方法有两种方式，一种是把数变为 (0, 1) 之间的小数，一种是把有量纲表达式变为无量纲表达式。

①把数 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ 逐一变为 (0, 1) 之间的小数 X_i ：

$$X_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

②把有量纲表达式变为无量纲表达式。常用方法有线性变换、对数变换和反余切函数变换。

$$\text{线性变换: } X_i = \frac{x_i - \min(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\max(x_1, x_2, \dots, x_n) - \min(x_1, x_2, \dots, x_n)}$$

对数变换: $X_i = \log_{10} x_i$

反余切函数变换: $X_i = \frac{2 \times \arctan x_i}{\pi}$

对于系统分析研究中的权重归一化, 一般“把数变为 (0, 1) 之间的小数”方法。首先对矩阵按行求和, 计算某一指标 F_i 的得分的和 A_i :

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

其次, 对求 A_i 和, 得到 A^* : $A^* = \sum_{i=1}^n A_i$

最后逐一求出 A_i 与 A^* 的比值, 即得到第 i 指标的权重 w_i :

$$w_i = \frac{A_i}{A^*} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

1.3 连环比率法

当评价指标之间重要性悬殊较大时, 可以采用连环比率法。其步骤是:

(1) 将各个评价指标 F_i 按任意顺序排列:

F_1
 F_2
 \dots
 F_i
 \dots
 F_n

(2) 给各评价指标 F_i 赋分数值 R : 规定最下面一个指标的分数值为 1, 即 F_n 的分数值 $R_n=1$; 然后依次往上给各个评价指标依次赋值, 每一个指标的分数值都以其直接下方指标分数值为基准, 用数量描述其对于直接下方指标的相对重要程度。若 $R_i=3$, F_{i+1} 的重要程度是 F_i 的 0.6 倍, 则 $R_{i+1}=0.6 \times R_i=0.6 \times 3=1.8$; 若 F_{i+2} 的重要程度是 F_{i+1} 的 2.5 倍, 则 $R_{i+2}=2.5 \times R_{i+1}=2.5 \times 1.8=4.5$ 。

F	R	$R_i = \begin{cases} \alpha R_{i-1} & \alpha \text{ 为 } F_i \text{ 相对于 } F_{i-1} \text{ 的相对重要程度} \\ 1 & i = n, \text{ 即最下面的指标分数 } R_n = 1 \end{cases}$
F_1	R_1	
F_2	R_2	
\dots	\dots	
F_i	R_i	
\dots	\dots	
F_n	R_n	

(3) 采用绝对比率法计算分数修正值 K :

F	R	K	$K_i = \begin{cases} R_i \times K_{i+1} \\ 1 \end{cases} \quad i = n$
F_1	R_1	K_1	
F_2	R_2	K_2	
\dots	\dots	\dots	
F_i	R_i	K_i	
\dots	\dots	\dots	
F_n	R_n	K_n	

(4) 计算权重值 w_i :

$$w_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

1.4 统计法

1.4.1 方差的倒数权、变异系数权和复相关关系倒数权

【定理】设 y_1, y_2, \dots, y_k 分别为真值 θ 的观察值，它们是相互独立的，并且 $E y_i = \theta$ ，

$\text{Var}(y_i) = \delta_i^2$ ，则它们的加权平均预测值 $\sum_{i=1}^k w_i y_i$ 在 $w_i = \frac{\delta_i^{-2}}{\sum_{j=1}^k \delta_j^{-2}}, i=1, 2, \dots, k$ 时，相应的方

差 $\text{Var}(\sum_{i=1}^k w_i y_i)$ 达到最小值。

通过这个定理，我们知道，可以采用方差的倒数作为权来综合各种相对独立的观察值，方差达到最小，表达效果最好。

但是，实际评价中方差最小准则不一定适用，这就需要采用其派生出的变异系数法和复相关系数法。

变异系数用标准差与它的均值的绝对值的商来表示。用 s 与 \bar{z} 分别表示 z_1, z_2, \dots, z_n 的标

准差和均值，则变异系数 $v = \frac{s}{|\bar{z}|}$ 。因此，指标 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k$ 的变异系数可以为 $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_k$ ，

其权重 w_i 可以通过变异系数 v_i 修正来得到：

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^k v_i}$$

相关系数是指某一个被选指标 x_i 与其它指标的相关程度，一般用复相关系数 $\rho_{x_i|x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_p}$ 表示，简记为 ρ_i ，它反映了其它指标代替 x_i 的能力。当 $\rho_i = 1$ 时， x_i 可以

完全被其它指标代替，可以去掉 x_i ；当 ρ_i 很小时，其他指标不能替代 x_i 。因此，可以用 $|\rho_i|^{-1}$

作为 x_i 的权重。

从不同的角度考察评价对象，可能得出不同的权值，可以将不同的方法得到的权值相乘得到新的权值。设使用两种方法对 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k$ 得到两个权值 $w_i^{(1)}$ 和 $w_i^{(2)}$ ，则新的权值 w_i 为：

$$w_i = \frac{w_i^{(1)} w_i^{(2)}}{\sum_{j=1}^n w_j^{(1)} w_j^{(2)}}$$

1.4.2 最优权法

设评价对象的个数为 n ，评价指标个数为 p ，每个对象的无量纲化指标值为

$$Z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip})^T, \quad i=1, 2, \dots, n$$

对每个对象构造线性评价函数：

$$u_i = \sum_{j=1}^p \omega_j z_{ij}$$

式中 $i=1, 2, \dots, n$ ； $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p)$ 为待求权重。

将 u_i 代入样本方差：

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^p \omega_j \omega_k v_{jk} \\ &= \omega^T \Sigma \omega \end{aligned}$$

其中 $\Sigma = (v_{jk})_{p \times p}$ 是以 $Z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip})^T$ 为样本的随机向量的协方差矩阵。

最优权法就是寻找权向量 ω 的最优解，使得在等式约束条件 $\sum_{j=1}^p \omega_j^2 = \omega^T \omega = 1$ 下，样本

方差 s^2 达到最大，即求解等式极值：

$$\begin{aligned} &\max \omega^T \Sigma \omega \\ \text{s.t.} \quad &\omega^T \omega = 1 \end{aligned}$$

【定理】 $\max_{\omega^T \omega = 1} \omega^T \Sigma \omega$ 规划的最优解是最优权向量 ω^* 为样本协方差矩阵 Σ 最大特征

值 λ_1 所对应的特征向量。

1.5 分配权——Shapley 值

在 n 人博弈中，将 $N=\{1, 2, \dots, n\}$ 的一些子集 s 称为联盟。

【定义】给定了一个 n 人博弈， s 是一个联盟， $v(s)$ 是指 s 与 $N \setminus s = \{i | i \in N, i \notin s\}$ 的博弈中 s 的最大效用，也称为联盟 s 的特征函数。如 $v(i)$ 就是局中人 i 的特征函数。

v 值反映了博弈的特性，联盟后局中人收益增加。对于任意的联盟 $s_1, s_2 \subset N$ ， $s_1 \cap s_2 = \emptyset$ ，

有：

$$v(\emptyset)=0$$

$$v(s_1 \cup s_2) \geq v(s_1) + v(s_2)$$

$$\text{特别地, } v(N) \geq v(1) + v(2) + \cdots + v(n)$$

这说明，通过合作得到的效益大于局中人各自独立行动得到的效益之和。

【定义】设 N 是一个联盟， $v(N)$ 是其特征函数，称向量 $x=(x_1, x_2, \cdots, x_n)^T$ 是一个分配方案，如果它满足：

$$v(N) = \sum_{i=1}^n x_i \quad x_i \geq v(i), \quad i=1, 2, \cdots, n$$

则上述分配方案各 x_i 就是博弈论中 Shapley 值：

$$x_i = \sum_{\substack{s \subset N \\ i \in s}} w(|s|) [v(s) - v(s \setminus i)] \quad i=1, 2, \cdots, n$$

$$w(|s|) = \frac{(n-|s|)! (|s|-1)!}{n!}$$

其中， s 是 N 中包含 i 的所有子集， $|s|$ 是子集 s 中元素的数目， $w(|s|)$ 是加权因子。Shapley 在某些情况下就是一种分配权重。

2. 指标无量纲化

2.1 指标的分类

指标无量纲化方法与指标的属性密切相关，不同属性的指标无量纲化方法也会不同。根据指标属性的特点，可以将指标进行不同的分类。

2.1.1 指标的数值类型

按照指标数值类型，可以将指标分为绝对指标、相对指标、平均数指标和变异指标。

(1) 绝对指标

绝对指标是反映在一定时空条件下的评价对象总规模或绝对水平的统计指标。按反映的时间状态不同，绝对指标可以分为时期指标和时点指标。

时期指标又叫时期数，反映的是反映评价对象在一定时期内的累计总量水平的指标，是评价对象总体在一段时期内发展过程的总结果。如产品的产量、商品销售额、工资总额、国民生产总值等。时期指标具有如下特点：①可加性。不同时期的指标数值具有可加性，相加后表示较长时期评价对象总的发展水平。例如，将一年内 12 个月的产量相加就得到全年的产量。②时间性。时期指标数值大小与包含的时期长短有直接关系，一般情况下，包含时期越长，指标数值越大，时期越短，指标数值越小。③连续性。时期指标数值是连续登记、累计的结果。例如，月产量是对每天的生产量进行登记然后累计得到的，年产量是将 12 个月的产量累计得到的。

时点指标是反映评价对象在某一时刻状态下总量水平的指标，也叫存量指标。如我国首次基本单位普查显示 1996 年底我国共有各类法人单位 440.2 万个，有产业活动单位 635.1 万个，这仅能说明我国 1996 年 12 月 31 日这一天的基本单位的数量情况。再如人口数、商品库存额、外汇储备额等也都是时点指标。时点指标具有如下特点：①不可加性。不同时点的指标数值不具有可加性，即相加后不具有实际意义。②时刻性。它反映对象一定是时点现象，时点现象指的是这种现象的数量表现每时每刻都可能变动，时点指标的数值大小与其时

间间隔长短无直接关系。③间断性。时点指标数值是间断计数的，因为不可能对每个时点的数量都进行登记，通常是隔一段时间登记一次。

时点指标和时期指标的区别主要表现在：①时期指标的指标值具有连续性，而时点指标的指标值不具有连续性。②时期指标的指标值可以累计相加，而时点指标的指标值不能累计相加。③时期指标指标值的大小与所包括的时期长短有直接的关系，而时点指标指标值的大小与时间间隔长短无直接关系。

（2）相对指标

相对指标是评价对象的两个有联系的指标之比。它能反映现象总体在时间、空间、结构、比例以及发展状况等方面的对比关系。相对指标是绝对指标（总量指标）的派生指标，它把对比的总量指标的绝对水平及其差异进行抽象化。根据对比指标的性质差异和相对指标说明问题的特点，可以将相对指标划分为结构相对指标、比较相对指标、比例相对指标、强度相对指标、动态相对指标、计划完成程度。

结构相对指标又称结构相对数，是评价对象总体的某一部分与总体数值相对比求得的比重或比率指标。计算公式为：

$$\text{结构相对指标} = \text{部分量} / \text{总量}$$

如 307 班女生占 307 班学生总数 60%。

比较相对指标又称比较相对数或同类相对数，是同类指标在不同空间进行静态对比形成的相对指标。如 307 班女生数是 306 班女生数的 1.1 倍。

比例相对指标又称比例相对数或比例指标，是反映总体中各组成部分之间数量联系程度和比例关系的相对指标。计算公式为：

$$\text{比例相对指标} = \text{总体中某一部分数值} / \text{总体中另一部分数值}$$

如 307 班男生数是女生数的 2/3 倍。

强度相对指标又称强度相对数，是有一定联系的两种性质不同的总量指标相比较形成的相对指标，通常以复名数、百分数、千分数表示。如 307 班 50 名学生分为 5 个小组，平均每组 10 人，则表示为 50 人/5 组=10 人/组，再如人口密度、人均 GDP 等。

动态相对指标又称“动态相对数”或“时间相对指标”，是将同一现象在不同时期的两个数值进行动态对比而得出的相对数，借以表明现象在时间上发展变动的程度，通常以百分数或倍数表示，也称为发展速度。其计算公式为：

$$\text{动态相对指标} = (\text{报告期指标数值} \div \text{基期指标数值}) \times 100\%$$

通常，作为比较标准的时期称为基期，与基期对比的时期称为报告期。例如，2001 年我国国内生产总值为 95533 亿元，2000 年为 89404 亿元，如果 2000 年选作基期，亦即将 2000 年国内生产总值作为 100，则 2001 年的国内生产总值与 2000 年的国内生产总值对比，得出动态相对数为 106.9%，它说明在 2000 年基础上 2001 年国内生产总值的发展速度。

计划完成程度指标又称计划完成百分数、计划完成相对指标，以计划数为比较标准，将实际完成数与计划数相比较，用以表明计划完成情况的相对指标，通常用百分数表示。计算公式可以是：

$$\text{计划完成程度相对指标} = \text{实际完成数} / \text{计划数}$$

$$\text{增长率} = (\text{实际} - \text{计划}) / \text{计划数}$$

相对指标又称统计相对数，它是两个有联系的现象数值的比率，用以反映评价对象的发展程度、结构、强度、普遍程度或比例关系。在统计分析中运用相对指标，可使我们能够更清楚地认识评价对象或评价因子之间的关系，可以使不能直接对比的因子找到可以对比的基础。相对指标运用对比的方法，来反映评价对象中某些相关事因子数量联系程度的综合指标，利用相对指标可使原来不能直接对比的数量关系变为可比，有利于对评价对象进行比较分析，揭示它们之间的联系程度，反映它们之间的差异程度。所以，计算相对指标时，分子分

母指标是否具有可比性，是计算结果能否正确反映评价对象之间数量关系的重要条件。分子分母指标的可比性主要包括指标内容是否相适应、总体范围是否一致、计算方法是否相同、计量单位是否统一。

（3）平均指标

平均指标又称平均或均值，是指用来测定静态分布数列中各单位的标志值集中趋势的指标。平均指标主要用来反映评价对象总体的综合特征，反映分配数列中各变量值分布的集中趋势，进行同类现象在不同空间、不同时间条件下的对比分析，从而反映现象在不同地区之间的差异，揭示现象在不同时间之间的发展趋势。

平均指标按计算和确定的方法不同，分为算术平均数、调和平均数、几何平均数、众数和中位数。前三种平均数是根据总体各单位的标志值计算得到的平均值，称作数值平均数。众数和中位数是根据标志值在分配数列中的位置确定的，称为位置平均数。

①算术平均数

算术平均数也称均值，是最常用的平均指标。它的基本公式形式是总体标志总量除以总体单位总量。在实际工作中，由于资料的不同，算术平均数有两种计算形式，即简单算术平均数和加权算术平均数。

简单算术平均数适用于未分组的统计资料，如果已知各单位标志值和总体单位数，可采用简单算术平均数方法计算。

加权算术平均数适用于分组的统计资料，如果已知各组的变量值和变量值出现的次数，则可采用加权算术平均数计算。加权算术平均数的大小受两个因素的影响，其一是受变量值大小的影响，其二是各组次数占总次数比重的影响。在计算平均数时，由于出现次数多的标志值对平均数的形成影响大些，出现次数少的标志值对平均数的形成影响小些，因此就把次数称为权数。在分组数列的条件下，当各组标志值出现的次数或各组次数所占比重均相等时，权数就失去了权衡轻重的作用，这时用加权算术平均数计算的结果与用简单算术平均数计算的结果相同。

②调和平均数

调和平均数是总体各单位标志值倒数的算术平均数的倒数，又称为倒数平均数，由简单调和平均数和加权调和平均数。

③几何平均数

几何平均数是 n 个变量值乘积的 n 次方根。在统计中，几何平均数常用于计算平均速度和平均比率。几何平均数也有简单平均和加权平均两种形式。

④众数

众数是指总体中出现次数最多的标志值。众数也是一种位置平均数。在实际工作中往往可以代表现象的一般水平，如市场上某种商品大多数的成交价格，多数人的服装和鞋帽尺寸等，都是众数。但只有在总体单位数多且有明显的集中趋势时，才可计算众数。

⑤中位数

将总体各单位的标志按大小顺序排列，处于中间位置的标志值就是中位数。由于中位数是位置平均数，不受极端值的影响，在总体标志值差异很大的情况下，中位数具有很强的代表性。

应用平均指标时要注意：①计算和应用平均指标必须注意现象总体的同质性；②用组平均数补充说明平均数；③计算和运用平均数时，要注意极端数值的影响；④在运用平均数分析时还应注意用分配数列补充说明平均数；⑤把平均数与典型事例相结合。

（4）变异指标

综合反映总体各单位标志值变异程度的指标，简称变异指标，它显示总体中变量数值分布的离散趋势，是说明总体特征的另一个重要指标，与平均数的作用相辅相成。常用标志变

动度指标有全距、四分位差、平均差、标准差等。

标志值变异程度可用来反映平均数代表现象一般水平的代表性程度，标志变动度愈小，则平均数的代表性愈大，它可以说明现象的稳定性和均衡性，它和平均指标结合应用还可以比较不同总体标志值的相对差异程度。

①全距

又叫极差，是总体各单位标志值中最大值和最小值的差距。它最简明地说明标志值的变动范围。当比较两个不同水平总体的平均数代表性大小时，须采用变异指标中的全距指标。全距适用于等距变量、比率变量，不适用于名义变量或次序变量。计算公式：

$$R = \max(x_i) - \min(x_i)$$

式中 R 为全距， x_i 为标志值。

②四分位差

四分位差 (quartile deviation)，也称为内距或四分间距 (inter-quartile range)，它是上四分位数 (QU) 与下四分位数 (QL) 之差，通常用 Qd 表示。总体数量标志值数列中各四分位数离差的平均数。将数列分成四等分，中间形成三个分割点，居于第一分割点的标志值 Q_1 称为第一四分位数，居于第二分割点的标志值 Q_2 即中位数，称为第二四分位数，居于第三分割点的标志值 Q_3 称为第三四分位数。四分位差能够避免次数分配数列中两端极端数值的影响，中间部分数列分配愈集中，标志值的差异愈小，四分位差也愈小。计算公式：

$$Qd = QU - QL$$

四分位差反映了中间 50% 数据的离散程度，其数值越小，说明中间的数据越集中；其数值越大，说明中间的数据越分散。四分位差不受极值的影响。此外，由于中位数处于数据的中间位置，因此，四分位差的大小在一定程度上也说明了中位数对一组数据的代表程度。四分位差主要用于测度顺序数据的离散程度。对于数值型数据也可以计算四分位差，但不适合分类数据。

③平均差

平均差 (average deviation, mean deviation) 用 A.D. 或 M.D. 表示。平均差是总体所有单位的平均值与其算术平均数的离差绝对值的算术平均数。平均差是一种平均离差。离差是总体各单位的标志值与算术平均数之差。因离差和为零，离差的平均数不能将离差和除以离差的个数求得，而必须讲离差取绝对数来消除正负号。平均差是反映各标志值与算术平均数之间的平均差异。平均差异大，表明各标志值与算术平均数的差异程度越大，该算术平均数的代表性就越小；平均差越小，表明各标志值与算术平均数的差异程度越小，该算术平均数的代表性就越大。计算公式为：

$$\begin{aligned} \text{普通平均差: } M.D. &= \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{N} \\ \text{加权平均差: } A.D. &= \frac{\sum f_i |x_i - \bar{x}|}{\sum f_i} \end{aligned}$$

④标准差

标准差 (Standard Deviation)，也称均方差 (mean square error)，是各数据偏离平均数的距离的平均数，它是离均差平方和平均后的方根，用 σ 表示。标准差是方差的算术平方根。标准差能反映一个数据集的离散程度。计算公式为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

2.1.2 指标的内容类型

按照指标反映的内容，指标分为主观指标和客观指标，以及定量指标和定性指标。

主观指标是对反映评价对象主观感受的评价指标。客观指标是对反映评价对象客观存在的指标。

定量指标，是指以一定的基准对评价对象进行数量化评价，对评价对象进行数量化描述的指标。定性指标是指无法直接通过数据计算分析评价内容，需对评价对象进行客观描述和分析来反映评价结果的指标。

2.1.3 指标的作用趋向特征类型

(1) 偏大型指标（正指标）：又叫效益指标。指标值与评价值正相关，指标数值越大，评价值越高。如，效益，越大越好。

(2) 偏小型指标（逆指标）：又叫成本指标。指标值与评价值负相关，指标值越大，评价值越低。如，成本，越小越好。

(3) 中间型指标：指标值越居中，评价值越高；指标值偏大或偏小，评价值越低。如误差 $\varepsilon = x - a$ ， x 为测量值， a 为真值， ε 越居中即 ε 越接近 0，误差就越小，测量值 x 就越准确。

2.2 指标数据的标准化

数据标准化处理主要包括数据同趋化处理和无量纲化处理两个方面。数据同趋化处理主要解决不同性质数据不能直接加总问题，对不同性质指标直接加总不能正确反映不同作用力的综合结果，须先考虑改变逆指标数据性质，使所有指标对测评方案的作用力同趋化，再加总才能得出正确结果。数据无量纲化处理主要解决数据的可比性。

数据标准化方法有多种，归结起来主要有直线型方法、折线型方法和曲线型方法三大类。一般情况下，通常的数据标准化方法适用于偏大型指标，对于偏小型指标和中间性指标，需要对其进行预处理，转换成偏大型指标。此外，对于主观指标与定性指标，也需要先进行无量纲化处理。

2.2.1 指标值预处理

(1) 偏小型指标转换成偏大型指标

将偏小型指标取倒数，即可将偏小型指标转换成偏大型指标。如，偏小型指标为 x_i' ，转换成偏大型指标 x_i ：

$$x_i = \frac{1}{x_i'}$$

另外，也可以将偏大型数据标准化公式按照偏小型指标特点作调整，则得到偏小型指标数据标准化公式。

(2) 中间型指标转换成偏大型指标

中间型指标都有一个中间值 k ，指标值 x_i' 都趋向于 k ，则 $|x_i' - k|$ 是一个逆指标，值越小，中间值点越近，评价值就越好。显然， $|x_i' - k|$ 是偏小型指标，将其取倒数，就得到偏大型指标，也就实现了中间型指标 x_i' 向偏大型指标 x_i 的转换。计算公式为：

$$x_i = \frac{1}{|x_i' - k|}$$

(3) 主观指标预处理

在系统评价中，常见主观指标为对 n 个评价对象评比名次，对评出的第 i 名评价对象，可以采用下式转换得到其指标值 x_i ：

$$x_i = 100 - \frac{100}{n}(i - 0.5)$$

式中 $(i-0.5)$ 是为了避免末名评价对象的指标值为 0; $\frac{100}{n}$ 是表示各名次间的间隔长度。通过转换, 将评价对象的名次转换成百分数内相对数位置。

(4) 定性指标预处理

在系统评价中, 常见定性指标为评价对象的质量等级。当评价对象较多时, 评价对象的质量等级趋于正态分布。这样, 我们就可以找出各等级的百分比在正态分布中所占面积的代表值位置, 把这一位置与平均数的距离用标准差表示出来, 作为这一等级的标准分数, 再由标准分数转换成标准百分。

设学生成绩基本服从正态分布, 如果某系共有学生 $n=100$ 名, 抽象代数考试平均成绩 $\bar{x}=76$, 标准差 $s=8.7$, 按照上届学生的资料 (优 8 人, 良 22 人, 中 41 人, 及格 24 人, 不及格 5 人), 要建立本届学生的抽象代数考核标准步骤为:

①划分各等级区间

根据正态分布草图, 确定各等级区间分别为: 优 $\in [u_1, +\infty)$, 良 $\in [u_2, u_1)$, 中 $\in [u_3, u_2)$, 及格 $\in [u_4, u_3)$, 不及格 $\in (-\infty, u_4)$, 则 $P(\text{优})=P\{u_1 \leq u < +\infty\}=8/n=8/100=0.08$, 同理, $P(\text{良})=0.22$, $P(\text{中})=0.41$, $P(\text{及格})=0.24$, $P(\text{不及格})=0.05$ 。

②计算 $-\infty$ 到 u_i 的面积 (概率)

$$P\{-\infty < u < u_4\} = P(\text{不及格}) = 0.05$$

$$P\{-\infty < u < u_3\} = P(\text{不及格}) + P(\text{及格}) = 0.29$$

$$P\{-\infty < u < u_2\} = P(\text{不及格}) + P(\text{及格}) + P(\text{中}) = 0.7$$

$$P\{-\infty < u < u_1\} = P(\text{不及格}) + P(\text{及格}) + P(\text{中}) + P(\text{良}) = 0.92$$

③求出标准分数 u_i 值

根据 $P\{-\infty < u < u_4\} = 0.05$, 由于 $0.05 < 0.5$, 则 u_i 值为负数, 在标准正态分布表中应该查找 $1-0.05=0.95$ 的值, 在标准正态分布表中找到 0.95 最接近的值为 0.9505, 其对应值 1.65, 即 $u_4 = -1.65$ 。同理 $u_3 = -0.55$ 。

对于 $P\{-\infty < u < u_2\} = 0.7 > 0.5$, 可以直接在标准正态分布表中查得, $u_2 = 0.52$ 。同理 $u_1 = 1.41$ 。

④计算各等级标准 x_i 值

根据公式 $x_i = u_i s + \bar{x}$ 计算各等级标准 x_i 值, $x_1 = 1.41 \times 8.7 + 76 = 88.267$, 同理 $x_2 = 80.524$, $x_3 = 71.215$, $x_4 = 61.645$ 。

2.2.2 直线型方法

将指标实际值转化成不受量纲影响的指标值时, 假设二者之间呈线性关系, 指标实际值的变化将会引起标准化后数值的一个相应的比例变化。

(1) 极差法

设对某指标作了 n 次观察, 得到观测值 x_i , 对 x_i 进行规范化处理, 得到标准化数据 y_i :

①正指标

$$y_i = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}$$

②逆指标

$$y_i = \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}$$

③适度指标

最佳值型：

$$y_i = \begin{cases} 1 & x_i = x^* \\ 1 - \frac{|x_i - x^*|}{\max|x_i - x^*|} & x_i \neq x^* \\ 0 & x_i \geq x_{\max} \text{ 或 } x_i \leq x_{\min} \end{cases} \quad \text{式中 } x^* \text{ 为指标最佳值。}$$

最佳区间型：

$$y_i = \begin{cases} 1 - \frac{g_1 - x_i}{\max[g_1 - x_{\min}, x_{\max} - g_2]} & x_i < g_1 \\ 1 & x_i \in [g_1, g_2] \\ 1 - \frac{x_i - g_2}{\max[g_1 - x_{\min}, x_{\max} - g_2]} & x_i > g_2 \\ 0 & x_i \geq x_{\max} \text{ 或 } x_i \leq x_{\min} \end{cases}$$

式中 $[g_1, g_2]$ 为第 j 个指标的最佳区间， x_{\max} 和 x_{\min} 分别表示该指标最大值和最小值。该方法也可以根据需要，乘以或加上某一常数：

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times k + q \text{ 或 } y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \times k + q, \text{ 式中 } k、q \text{ 为常数。}$$

(2) 极值法

$$y_i = \frac{x_i}{\max(x_i)} \text{ 或 } y_i = \frac{x}{\bar{x}}, \text{ 或者 } y_i = \frac{\min(x_i)}{x_i} \text{ 或 } y_i = \frac{\bar{x}}{x_i}$$

(3) Z-score 法

$$y_i = q + \frac{x_i - \bar{x}}{s} \times k \text{ 或 } y_i = q + \frac{\bar{x} - x_i}{s} \times k$$

\bar{x} 、 s 分别为均值和标准差， q 、 k 为常数。上式也可以化成百分数形式：

$$y_i = 50 + \frac{x_i - \bar{x}}{10s} \times 100$$

(4) 比重法

$$y_i = \frac{x_i}{\sum x_i} \text{ 或 } y_i = 1 - \frac{x_i}{\sum x_i}$$

$$\text{或者 } y_i = \frac{x_i}{(\sum x_i^2)^{\frac{1}{2}}} \text{ 或 } y_i = 1 - \frac{x_i}{(\sum x_i^2)^{\frac{1}{2}}}$$

(5) 百分位次法

$$y_i = i + \frac{x_i - P_i}{P_{i+10} - P_i} \times 10, (i = n + 10, n \in R)$$

(6) 秩次法

将指标值从小到大（或从大到小）的顺序标以相应的秩次，则使各指标值转化为 $1 \sim n$ 的数值：

$$y_i = \text{rank}(x_i)$$

一般情况下，极值法对指标数据的个数和分布状况没有什么要求，所依据的原始数据信息较少，转化后的数据都在 0~1 之间，具有明显的相对数性质，便于进一步数学处理，常用于偏大型或偏小型指标。Z-score 法在评价对象较多，原始数据呈正态分布时，转化结果才可靠，对原始数据信息利用多于极值法，且转化结果超出了 0~1 范围，相对数性质不明显，存在着负数，有时会影响进一步的数学处理。

2.2.3 折线型方法

有时指标在不同区间内的变化，对评价对象的影响水平是不一样的。如点 x_i 在小于某一点 x_m 时，对综合水平影响较大，此时 x_i 对应的评价值 y_i 也大； x_i 在其它值时，对综合水平影响较小， x_i 对应的评价值 y_i 就小。此时则可以采用折线型方法，点 x_m 为关键点（转折点），其对应的 y 值为 y_m 。

$$y_i = \begin{cases} 0 & x_i < 0 \\ \frac{x_i}{x_m} y_m & 0 < y_m < 1, 0 < x_i \leq x_m \\ y_m + \frac{x_i - x_m}{\max_{1 \leq i \leq n} x_i - x_m} (1 - y_m) & x_i > x_m \end{cases}$$

在实际评价中，只对某一区间 $[a, b]$ 进行评价，低于某一值 a ，该指标对评价对象就不起作用，高于某一值 b ，该指标对评价对象的作用就不再增加。这时，上述公式可以简化为：

$$y_i = \begin{cases} 0 & x_i < a \\ \frac{x_i - a}{b - a} & a \leq x_i < b \\ 1 & x_i \geq b \end{cases}$$

2.2.4 曲线型方法

指标实际值与无量纲值之间不是等比例变动，是非线性关系。

(1) 升半 Γ 型分布

$$y_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i \leq a \\ 1 - e^{-k(x_i - a)} & x_i > a \end{cases}, \text{ 式中 } k, a \text{ 为曲线待定参数。}$$

(2) 升半正态型分布

$$y_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i \leq a \\ 1 - e^{-k(x_i - a)^2} & x_i > a, k > 0 \end{cases}, \text{ 式中 } k, a \text{ 为曲线待定参数。}$$

(3) 升半柯西型分布

$$y_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i \leq a \\ \frac{k(x_i - a)^2}{1 + k(x_i - a)^2} & x > a, k > 0 \end{cases}$$

(4) 升半凹（凸）型分布

$$y_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i < a \\ a(x_i - a)^k & a \leq x_i < a + \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ 1 & x_i \geq a + \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \end{cases} \quad k > 0$$

(5) 升半岭型分布

$$y_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} (x_i - \frac{a+b}{2}) & a \leq x_i < b \\ 1 & x_i \geq b \end{cases}$$

2.2.5 其它方法

(1) Decimal scaling 小数定标标准化

这种方法通过移动数据的小数点位置来进行标准化。小数点移动多少位取决于属性 A 的取值中的最大绝对值。将属性 A 的原始值 x_i 使用 decimal scaling 标准化到 y_i 的计算方法是：

$$y_i = \frac{x_i}{10^j}$$

式中 j 是满足条件的最小整数。如，假定 A 的值由 -986 到 917，A 的最大绝对值为 986，为使用小数定标标准化，我们用 1000（即， $j=3$ ）除以每个值，这样，-986 被规范化为 -0.986。

(2) 对数 Logistic 模式

原始数据 x_i 经过对数 Logistic 模式标准化为 y_i ，计算公式为：

$$y_i = \frac{1}{1 + e^{-x_i}}$$

2.3 数据标准化方法选择

实际上，曲线型标准化方法是一种比较精确的方法，但是需要选择待定参数，使用起来复杂些。直线型标准化方法是最简单第一种数据标准化方法，折线型介于二者之间，可以认为是二者的过渡。在曲线型标准化方法中，指标实际值 x 与评价值 y 的对应关系表现为凸函数与凹函数两种情况，这两种情况，在实际评价中，反映了不同发展阶段的指标评价值有着不同的意义。

数据标准化方法选择原则：

(1) 客观性原则

公式的选用要能使指标客观地反映评价对象的实际，这就需要对评价对象进行深入研究，对其纵向历史数据和横向数据进行仔细分析，找出评价对象发展变化的阈值、拐点和演化特点，从而选择合适的公式，确定具体的参数。

(2) 简易性原则

在客观性基础上，尽量选择简便易用的方法。这是因为：①系统评价的精确性对评价对象而言是相对的，在满足对评价对象准确描述的基础上，可以使用尽量简单的方法代替复杂的方法。②系统评价追求的是有相对意义的满意解，因此，对于曲线型方法而言，如果参数难以确定，选择直线型或折线型方法可能会更精确。③评价对象多处在复杂多变的环境中，指标之间关系往往是非线性的，有时用直线型或折线型方法逼近其非线性关系可能会更好。④从系统评价应用实例看，用线性公式描述与用非线性方法描述结果相近，而且更容易理解。

(3) 可行性原则

在系统评价中，既要注意评价对象的特点，也要注意方法本身的特点，从而确保方法的可行性。

3. 定量指标的筛选

评价指标体系确定后，如果这些指标都是可以观察、测量的，那么，可以在此基础上，筛选出一些具有代表性的指标，简化系统评价工作。

3.1 条件方差法

给定 p 个指标 x_1, x_2, \dots, x_p 的 n 组观察数据，用矩阵 X 表示：

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{第1组样本} \\ \text{第2组样本} \\ \cdots \\ \text{第}n\text{组样本} \end{matrix}$$

计算各组样本数据均值 \bar{x} 、方差 s_{ii}^2 和协方差 δ_{ij}^2 ：

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$s_{ii}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-1}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\delta_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{n-1}, \quad i, j = 1, 2, \dots, p, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j$$

p 个指标的协方差组成矩阵 $\Sigma_{p \times p} = (\delta_{ij}^2)_{p \times p}$ ，其行列式为 $|\Sigma|$ ，反映这些指标变化情况的叫做广义方差。当 x_1, x_2, \dots, x_p 线性相关时，广义方差的值等于 0；当 x_1, x_2, \dots, x_p 相互独立时，广义方差达到最大值。因此，当 x_1, x_2, \dots, x_p 既不独立又不线性相关时，广义方差值的大小反映了它们内部的相关性。

将协方差用分块表示，也即将 x_1, x_2, \dots, x_p 分成两部分 x_1, x_2, \dots, x_a 和 x_{a+1}, \dots, x_p ，分别记作 $x^{(1)}$ 与 $x^{(2)}$ ，相应的协方差矩阵表示为：

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix}$$

在正态分布条件下，给定 $x^{(1)}$ 后， $x^{(2)}$ 对 $x^{(1)}$ 的条件协方差矩阵为：

$$\Sigma_{(x^{(2)}|x^{(1)})} = \Sigma_{22} - \Sigma_{21}\Sigma_{11}^{-1}\Sigma_{12}$$

若已知 $x^{(1)}$ 时 $x^{(2)}$ 的变化状况，如果 $x^{(2)}$ 的变化很小，那么，这 $x^{(2)}$ 部分指标就可以删除，也即 $x^{(2)}$ 所反映的信息，在 $x^{(1)}$ 中几乎都能得到。具体方法为：

将 x_1, x_2, \dots, x_p 分成两部分 x_1, x_2, \dots, x_{p-1} 和 x_p ，分别看做 $x^{(1)}$ 和 $x^{(2)}$ ，计算条件协方差矩阵的行列式的值 t_p 。重复这一过程，将 x_i 看做 $x^{(1)}$ ，其余 $p-1$ 个指标 $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_p$ 看做 $x^{(2)}$ ，计算条件协方差矩阵的行列式的值 t_i 。于是就得到 t_1, t_2, \dots, t_p ，比较它们的大小，小于临界值 C 的，可以删除。临界值 C 根据具体情况和系统评价的需要，事先设定。

删除小于临界值 C 的指标，对留下的，还可以重复上述过程，直至没有可删除的指标为止，这样就得到了既有代表性，又不重复的指标集。

3.2 极大不相关法

由条件方差法可知，若 x_i 与其它的 $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_p$ 是独立的，则 x_i 表明无法用其它指标代替，因此，保留的指标相关性越小越好。由此，可以导出极大不相关法。首先，求出样本相关系数矩阵 R ：

$$R = (r_{ij}), \quad r_{ij} = \frac{\delta_{ij}^2}{\sqrt{s_{ii}^2 s_{jj}^2}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, p$$

它反映了 x_i 与 x_j 的线性相关程度。将矩阵 R 分块：

$$R = \begin{pmatrix} R_{-i} & r_i \\ r_i^T & 1 \end{pmatrix}$$

R_{-i} 为除去指标 x_i 的相关系数 r_i 的相关系数矩阵。

由于矩阵 R 主对角元素都是 1，所以，表示 x_i 与其它的 $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_p$ 之间的线性相关程度的复相关系数 ρ_i^2 为：

$$\rho_i^2 = \rho_{x_i | x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_p}^2 = r_i^T R_{-i}^{-1} r_i, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

由此可以得到 $\rho_1^2, \rho_2^2, \dots, \rho_p^2$ ，其中最大的 ρ_i 表示与其它的变量相关性最大。将 $\rho_1^2, \rho_2^2, \dots, \rho_p^2$ 与临界值 D 逐一比较，当某 $\rho_i^2 > D$ 时，就可以该 ρ_i^2 。临界值 C 根据具体情况和系统评价的需要，事先设定。

第二节 熵与焓

对任何系统进行分析研究，都需要选择合适的参量来描述系统。在物理学中，通常把描述体系宏观状态的独立参量的数目称为自由度，并按不同性质把参量分为力学参量、几何参量、热学参量、化学参量、电磁参量。

同样地，我们也可以仿照物理学中的这种定义，对系统的参量进行定义。之所以这样做，是因为：①任何系统，都可以近似地使用合适的参量进行描述和分析；②我们可以直接借鉴物理学、数学中非常成熟的描述与分析方法，如熵分析、场分析、网络分析等，对系统进行分析。

1. 参量

参量 (parameter)，其数值能确定一个系统的特征或行为的一组物理性质中的任何一

个性质。

在物理学中，还把和体系质量成正比的参量，如质量、内能、自由能、焓、熵等，称为广延量或外延量；把和体系质量无关的参量，如温度、压强、组成（摩尔分数，质量百分数，体积摩尔浓度，质量摩尔浓度）、各种摩尔量等，称为强度量或内含量。广延量具有加和性，即整体的性质是组成整体的各部分的性质之和，即具有广延性质，强度量则不具有这种性质。

把一个系统分成若干部分，具有加和性的参量称为系统的**广延量**。如果所分各部分参量值保持不变，即具有强度性质，则该参量称作系统的**强度量**。

1.1 加和

在复杂系统中，广延量有时不像简单物理系统那样具有严格的加和性质，在进行这种参量定义、描述系统和分析时，就需要认真进行限定，采用不同的加和方法，最大限度地将其变换成具有严格加和性质的广延量。

（1）加和运算（直接加和）

加和运算，即一般的加法运算，把两个或两个以上的数、量合起来，变成一个数或量的计算。

设 $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n$ 为加数， D 为和，则：

$$D = d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_n = \sum_{i=1}^n d_i$$

（2）并和运算

并和运算，即集合表示加数，将所有加数求得加和后，再减去各加数间重复加和的数量。也即加和时不重复计算加和，各集合内表示数量的元素只参与一次加法计算。

假设有 3 个任意集合 A, B, C ， $|A|, |B|, |C|$ 分别为 A, B, C 的基数，如图所示：

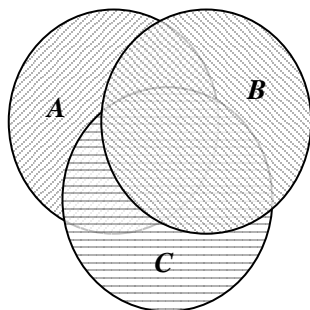


图 6-1 并和运算

它们的并运算的基数为：

$$|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$$

$$\left| \bigcup (A, B, C) \right| = |A| + |B| + |C| - |A \cap B| - |A \cap C| - |B \cap C| + |A \cap B \cap C|$$

为了简化表达式，对于 n 个任意集合 A_1, A_2, \dots, A_n 并运算的基数用 $\left| \bigcup_{i=1}^n A_i \right|$ 表示：

$$\left| \bigcup_{i=1}^n A_i \right| = \sum_{i=1}^n |A_i| - \sum_{1 \leq i < j \leq n} |A_i \cap A_j| + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} |A_i \cap A_j \cap A_k| + \dots + (-1)^{n-1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n|$$

同理， S 表示面积计算，则 $S(A), S(B), S(C)$ 表示 3 个面积单元面积，则总面积 S

$$S = S(A) + S(B) + S(C) - S(A \cap B) - S(A \cap C) - S(B \cap C) + S(A \cap B \cap C)$$

为了简化表示，上述运算简化表示为 $S = S[\bigcup(A, B, C)]$ 。对于 $S(A_1), S(A_2), \dots, S(A_n)$

n 个任意面积单元面积，则总面积 S 运算简化表示为 $S = S(\bigcup_{i=1}^n A_i)$ 。

同样， P 表示概率计算，如果是 n 个任意事件发生概率 $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_n)$ ，则总概率 P 运算简化表示为 $P = P(\bigcup_{i=1}^n A_i)$ 。

对于加和运算，则是并和运算的特例，即 A_1, A_2, \dots, A_n 不相交，没有公共部分：

$$\begin{aligned} \left| \bigcup_{i=1}^n A_i \right| &= \sum_{i=1}^n |A_i| \\ S &= S(\bigcup_{i=1}^n A_i) = \sum_{i=1}^n S(A_i) \\ P &= P(\bigcup_{i=1}^n A_i) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \end{aligned}$$

(3) 加权和运算

加权和运算，就是对各加数按照权衡轻重系数修正后再进行加和运算。对加数进行权衡轻重修正的系数就是该加数的权重，也叫权数。

设加数为 d_i ， d_i 的权重为 c_i ， D 为待求加权和，则：

$$D = \sum_{i=1}^n c_i d_i$$

通过加权和的方法，可以把不同类的物体数量进行求和。例如某地主要生态消耗为：

项目	造纸厂 废水排放	建筑 固体垃圾	农业 面源污染	生活 垃圾	木材 消耗
消耗或排放数量	4000t/a	20000t/a	30000hm ² /a	10000t/a	10000m ³ /a
治理或恢复成本	1000 元/t	200 元/t	1000 元/ hm ²	600 元/t	500 元/ m ³
治理或恢复耗时	1a	2a	0.1a	5a	30a

每种生态消耗就是一个待求和的加数，其权重为治理成本与治理耗时的积，再将其归一化：

造纸厂排放废水生态消耗权重=1000÷（1000+400+100+3000+15000）≈0.0513

同样方法可以求得其他生态消耗的权重：

项目	造纸厂 废水排放	建筑 固体垃圾	农业 面源污染	生活 垃圾	木材 消耗
治理或恢复成本	1000 元/t	200 元/t	1000 元/ hm ²	600 元/t	1500 元/ m ³
治理或恢复耗时	1a	2a	0.1a	5a	30a
权 重	1000×1 =1000	200×2 =400	1000×0.1 =100	600×5 =3000	500×30 =15000
权重（标准化）%	0.0513	0.0205	0.0051	0.1538	0.7693

则总生态消耗为：

$$4000 \times 0.0513 + 20000 \times 0.0205 + 30000 \times 0.0051 + 10000 \times 0.1538 + 10000 \times 0.7693 = 9999.2$$

显然，当所有加数的权重都为 1 时，加权和运算就变成了加和运算。

1.2 因变量与自变量

在进行系统分析时，常常用**变量**（variable）来表示具体的参量。因此，系统的模型可以由变量构成。当我们分析这些系统模型时，可以选择研究其中一些变量对另一些变量的影响，那么我们选择的这些变量就称为**自变量**（independent variable），而被影响的量就被称为**因变量**（dependent variable）。

如果用数学语言描述，那么，对于函数（function）而言

$$y=f(x)$$

x 为自变量， y 为因变量。

在复杂系统中，因变量与自变量之间的对应关系，并非像物理学中的物理模型那样绝对的严格对应，有时往往关系是很复杂的。就拿一个简单的机械系统来说，例如，一辆行驶中的汽车，我们要研究这辆车的行驶速度 v 与每秒钟油耗量 d 之间的关系，如果我们将 v 作为因变量， d 作为自变量，这其中除了 d 直接对 v 产生影响之外，还有这辆车的自重 G_1 和所载货物重量 G_2 ，以及道路状况 c_1 、车辆性能 c_2 等有关，如果要做更精细的分析， v 还与车辆行驶时的空气阻力 c_3 等等相关：

$$v=f(d, G_1, G_2, c_1, c_2, c_3, \dots)$$

2. 平衡与弛豫

平衡（balance），是指在没有外界影响的情况下，系统本身不会发生变化的一种状态。对复杂系统来说，没有绝对的平衡，平衡只是相对的，也即是动态的。因此，对系统进行分析，我们可以采取系统相对平衡或动态平衡状态两种方法进行分析。

弛豫（relaxation），是系统由不平衡状态到平衡状态的过程，即弛豫过程。弛豫时间（relaxation time），就是系统由不平衡状态到平衡状态的所需要的时间。

3. 熵的物理学意义

3.1 熵的物理学定义

在物理学中，**熵**（entropy）的定义可以简单表示为：

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

S 为熵， Q 为热量， T 为热源的热力学温度。 ΔS 研究对象表示从热源吸收 ΔQ 热量引起的熵变。

对于可逆过程的热温熵 $\int_A^B \frac{dQ_R}{T}$ ，只决定于初态 A 和终态 B，与所经历的具体过程无关，

因而对应于一个状态函数的变化，这个状态函数由由克劳修斯（Rudolf Julius Emanuel Clausius）1865 年定义：

$$\Delta S = S_B - S_A \stackrel{\text{def}}{=} \int_A^B \frac{dQ_R}{T}$$

$$dS \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ_R}{T}$$

$$\oint dS = \oint \frac{dQ_R}{T} = 0$$

熵是一个广延量，是一个状态函数，是平衡态的性质。

熵常常用来表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度，能量分布得越均匀，熵就越大。一个体系的能量完全均匀分布时，这个系统的熵就达到最大值。在克劳修斯看来，在一个系统中，如果听任它自然发展，那么，能量差总是倾向于消除的。也就是说，让一个热物体同另一个冷物体相接触，热量总是会从热物体流向冷物体，热物体将冷却，冷物体将变热，直到两个物体达到相同的温度为止。克劳修斯在研究卡诺热机时，根据卡诺定理得出了上述定义。

3.2 克劳修斯不等式

由卡诺定理导出克劳修斯不等式，即可逆性判据：

$$\Delta S - \int_A^B \frac{dQ}{T_{\text{环}}} \geq 0$$

或

$$\int_A^B T_{\text{环}} dS - Q \geq 0$$

对于一个无限小过程，

$$dS - \frac{dQ}{T_{\text{环}}} \geq 0$$

或

$$T_{\text{环}} dS - dQ \geq 0$$

因此，克劳修斯不等式的左式就是不可逆程度的度量。

3.3 熵增原理

熵增原理 (principle of entropy increase, the principle of the increase of entropy): 在孤立热力系所发生的不可逆微变化过程中，熵的变化量永远大于系统从热源吸收的热量与热源的热力学温度之比。可用于度量过程存在不可逆性的程度。也即系统经绝热过程由一状态达到另一状态熵值不减少。

熵增原理表明，对绝热过程， $\Delta Q=0$ ，有 $\Delta S_{\text{绝热}} \geq 0$ 或 $dS_{\text{绝热}} \geq 0$ ，大于 0 时不可逆，等于 0 时可逆， $dS < 0$ 过程是不可能发生的（也即不可能发生熵减小的绝热过程）。可逆过程毕竟是一个理想过程，因此，在绝热条件下，一切可能发生的实际过程都使系统的熵增大，直到达到平衡态。

3.4 熵的统计力学意义

在统计物理中，熵是大量分子组成的宏观系统的特征。在统计力学中，熵表示为：

$$S = k \ln \Omega$$

式中 k 是玻耳兹曼常数 (Boltzmann constant)， $k = (1.380658 \pm 0.000012) \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ ， Ω 是

热力学概率，是与一定宏观状态对应的微观状态总数。

系统的微观状态数越多，热力学概率越大，系统就越混乱，熵就越大。这就是熵的本质，也就是熵的宏观意义。也就是说，熵可以作为能量在空间分布的均匀度的量度，能量的空间分布越集中，则熵值越小；越均匀，熵值越大。能量都是在非均匀分布倾向于均匀分布的过程中转化做功的，若要使能量做功，必须在一定的空间中造成能量密度的差异，使能量从高密度区流向低密度区；能量分布越不均匀，有序度越高，则熵就越小，能量转化为功的效率越高；若能量分布已完全均匀，熵达到最大，这时不可能再发生宏观流，也就不能获得功。

熵的含义已被当代科学拓广，泛指体系的混乱的程度，它在控制论、概率论、数论、天体物理、生命科学、信息论、社会科学等领域都有重要应用，在不同的学科中也有引申出的更为具体的定义，已经成为各领域十分重要的参量。

4. 焓的物理学意义

焓 (enthalpy)，物理学上是指单位质量的物质所含的全部热能，又叫“热函”。焓可以定义为：

$$H \text{ def } U + pV$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$$

$$dH = dU + d(pV)$$

式中 H 为焓， U 为热力学能， p 为单位面积上压力， V 为体积。焓是一个广延量。

上述定义可以表述为，焓是一个体系的内能 U 与体系的体积 V 和外界施加于体系的压强 p 的乘积之和，但要注意这里压力与体积的乘积 pV 不是体积功。

系统的状态一定，则系统的 U, p, V 均确定，系统的 H 也就确定，故焓 H 是状态函数，

焓的物理意义可以理解为，在恒压且只做体积功的特殊条件下， $Q = \Delta H$ ，即反应的热量变化。因为只有在此条件下，焓才表现出它的特性。例如恒压下对物质加热，则物质吸热后温度升高， $\Delta H > 0$ ，所以物质在高温时的焓大于它在低温时的焓。又如对于恒压下的放热化学反应， $\Delta H < 0$ ，所以生成物的焓小于反应物的焓。

5. 自由能

在热力学当中，**自由能** (free energy) 指的是在某一个热力学过程中，系统减少的内能中可以转化为对外做功的部分，它衡量的的是一个特定的热力学过程中，系统可对外输出的“有用能量”。自由能定义有亥姆霍兹 (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821~1894) 的定容自由能 A 与吉布斯 (Josiah Willard Gibbs, 1839~1903) 的定压自由能 G 的定义。

(1) 亥姆霍兹自由能

亥姆霍兹自由能又叫功函、自由能、恒温恒容位。封闭体系在恒温条件下，亥姆霍兹自由能 A 定义为：

$$A \equiv U - TS$$

在封闭恒温条件下，

$$-dA \geq -\delta W$$

$$-dA \geq -(-p_{\text{外}}dW + \delta W')$$

表示体系在恒温过程中，发生不可逆过程，其体系的亥姆霍兹自由能降低值大于体系外所做

的功。对可逆过程，体系亥姆霍兹自由能的减少值等于体系对外所做的最大功。因此，亥姆霍兹自由能可以理解为恒温条件下封闭体系做功的能力，根本不可能发生亥姆霍兹自由能减少值小于体系对外所做功的过程。

封闭体系在恒温、恒容条件下，

$$\begin{aligned} -dA &\geq -\partial W' \\ dA &\leq \partial W' \end{aligned}$$

或

$$\Delta A \leq W'$$

封闭体系在恒温、恒容、 $W' = 0$ 条件下，

$$\Delta A \leq 0 \begin{cases} <, \text{能发生不可逆过程} \\ =, \text{体系已达平衡, 只能发生可逆过程} \\ >, \text{此过程根本不能发生} \end{cases}$$

(2) 吉布斯自由能

吉布斯自由能又叫自由焓、恒温恒压位。封闭体系在恒温、恒压条件下，吉布斯自由能 G 定义为：

$$G \equiv H - TS \equiv U + pV - TS$$

封闭体系在恒温、恒压条件下，

$$\begin{aligned} -dG &\geq -\partial W' \\ dG &\leq \partial W' \end{aligned}$$

或

$$\Delta G \leq W'$$

封闭体系在恒温、恒压、 $W' = 0$ 条件下，

$$\Delta G \leq 0 \begin{cases} <, \text{能发生不可逆过程, 或在此温度、压力下能自发生} \\ =, \text{体系已达平衡, 只能发生可逆过程} \\ >, \text{此过程根本不能发生} \end{cases}$$

封闭体系在恒温、恒压只做体积功的条件下，过程的方向是向吉布斯自由能降低的方向进行，一直到 G 达到最小值不变为止，限度是 $\Delta G = 0$ ，可表示为

$$\left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{T,P} \leq 0$$

应该特别注意的是，封闭体系仅仅是恒温的条件下， ΔA 判据可用， ΔG 判据不可用。使用 ΔG 判据时，一定要满足封闭体系恒温、恒压的条件。

6. 复杂系统的熵

(1) 系统的熵

仿照物理学中的熵与焓的定义，我们可以对复杂系统熵与焓进行类似的定义。

复杂系统的熵，是度量复杂系统混乱程度的参量。设 x 、 y 分别为复杂系统的自变量和因变量， $y=f(x)$ ，若 x 、 y 为连续变量，则复杂系统的熵 S 表示为：

$$dS \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dx}{y}$$

若 x 、 y 为离散变量，则复发系统的熵 S 表示为：

$$\Delta S = \frac{\Delta x}{y}$$

设 P_y 为系统出现状态 y 的概率， k 为系统常数（因系统不同而不同，因参量不同而不同），系统的熵还可以表示为：

$$S = k \ln P_y$$

为了区分二者之间差别，我们把前者叫做**参量熵**（parameter entropy），后者叫做**概率熵**（probability entropy）。

（2）系统的有序度

系统的有序度（degree of order），是系统有序程度的度量，与熵相对。

根据研究对象和选择参量的不同，有序度 D 可以表示为：

$$D = \begin{cases} 1 - S, & |S| \leq 1 \\ \frac{1}{S}, & |S| > 1 \end{cases}$$

7. 复杂系统的熵

（1）系统的能

系统的**能**（energy），是系统保持运转的动力，也是系统发生发展的潜力。

就一个具体的系统而言，能可以是物质的，也可以是非物质的，例如信息、能量等，这随着我们的研究对象和选择的具体参量不同而不同。例如，对于一个企业而言，我们要研究其财务状况，那么，这个企业的系统能可以选择货币来表示；如果我们要研究这个企业的生产效率，我们可以选择企业的能耗、物耗以及产出来表示这个企业的系统能，或者将其换算成货币后表示该企业的系统能；如果要考察该企业的对环境干扰状况，可以选择这个企业废水、废气、固体废弃物以及光污染、电磁污染、余热、噪音等排放、治理的参数作为该企业的系统能来进行分析。

对于更复杂的情况，我们可以先将数据标准化后，然后采用加和或者多元分析方法，对系统的能进行进一步分析。

（2）环境的能

复杂系统是一个开放的系统，时刻都与其所在环境进行着“能”的交换。**环境能**（environment energy, en-energy,）是指环境输入系统的能。

（3）系统的内熵

系统本身具有维持系统运转的能，也即系统本身具有的熵叫做系统**内熵**（系统**内能**，internal energy），是系统运转与发展的潜力。

（4）系统的功

系统的**功**（work），是系统对环境的输出。

（5）系统的熵

参与系统运转的能的总和，称为系统的**熵**（enthalpy）。熵可以表示为：

$$H = E_E + E_I + W$$

式中 H 、 E_E 、 E_I 和 W 分别表示系统的熵、环境能、内熵、功。

（6）系统的自由熵

系统的**发展** (develop), 是指系统由幼小逐渐成长壮大的过程, 包括系统在空间上、质量上等的增长和能的储备, 以及其进化、增殖、再生等过程。系统的衰亡, 则是**负发展**。

系统的**自由焓**是指 (free energy) 可供系统直接使用转换成功和供系统发展的焓。自由焓来源于环境能和内焓, 是描述系统做功能力的参量, 这包括系统对当前能转换成功的效率, 以及对环境能和内焓的利用能力或效率。自由焓 G 可以表示为:

$$G = f(E_E, E_I)$$

$$W = w(G)$$

$$R = r(G)$$

$$G = W + R$$

$w(\bullet)$ 、 $r(\bullet)$ 分别表示自由焓转换成功和系统发展的能力函数。

系统的**内耗** (internal friction) 是指除去系统做功和发展之外所消耗的能。系统内耗 F 可以表示为:

$$F = H - G$$

当 $F > G$ 时, 系统可能会采取以下策略应对:

- ①减小做功耗能 W , 或者减少发展耗能 R , 或者压缩内耗 F , 以维持系统基本运转;
- ②当 $F \gg G$ 时, 或者采取策略①不足以维持系统基本运转时, 系统可能会消耗储备的能;
- ③在采取策略②还不足以应对危机是, 系统可能会消耗本身的机体并转换成能, 来保证系统的基本运转, 直至危机解除或者系统消亡。

(7) 系统熵的消耗表示法

有了焓的定义, 系统熵因此还可以表示为:

$$\Delta S = \frac{\Delta F}{G}$$

$$dS \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dF}{G}$$

$$S = a \ln F$$

式中 a 为换算系数, 因不同的系统、不同的参量不同而不同。

第三节 法制系统评价

1. 系统评价

法制**系统评价** (system evaluation) 是根据预定的法制系统目标、结构和属性, 用有效的标准测定法制系统的性质和状态。其目的是为了描述法制系统的状态或方案的效果, 也即在法制系统目标明确的前提下, 对法制系统方案占用或消耗资源进行评审, 选择技术先进、经济合理、生态安全、实施上可行的最优或满意的方案, 为决策提供依据。

1.1 评价尺度

系统评价由评价对象、评价主体、评价目的和评价指标等要素组成。对于系统评价而言, 首先要确定评价尺度, 对评价对象进行测定, 并确定其价值。因此, 进行系统评价, 首先要

确定其评价尺度，然后按照评价尺度测定评价对象的价值。

评价尺度由低到高分为标称尺度（nominal measurement）、次序尺度（ordinal measurement）、区间尺度（interval measurement）和比例尺度（ratio measurement）四种，每个尺度间既有区别又有联系，高水平尺度包含低水平尺度的特征，比低水平尺度更为复杂。

1.1.1 标称尺度

又叫名义尺度，是最低水平的尺度，其数值仅用来辨认或命名某些分类或属性。例如，性别（gender）变量可以变成数值，其数值可以任意指定，1 代表男、2 代表女，也可以用 5 代表男、9 代表女。由于该变量中的数值不具有量的含义，所以进行诸如加减乘除这样的数学运算没有任何的意义。以这种方式得到的数据称为定类数据。

1.1.2 次序尺度

比标称尺度高一级的尺度水平，其数值表示某个分类的递进性质。事件或个体可以根据某个条件从小到大排列，如比赛名次、评奖等级等等，就是用这种顺序尺度来进行评价的。这些数值不代表绝对的数量，也就是说在这个等级范围内 8 并不是 4 的两倍。以这种方式得到的数据称为定序数据。

1.1.3 区间尺度

表示两个数值之间的距离。如测量加工零件名义尺寸的上、下偏差，评定学校教育的效果或文化的地区差别等。在这种场合下，绝对值就没有多大意义，而其数值差才能说明问题。以这种方式得到的数据称为定距数据。

1.1.4 比例尺度

是尺度的最高水平，而且具备所有低水平尺度的特性。与其他尺度水平不同，它包括一个绝对的零点，这个零点是有意义的。如果一个数值是另一个数值的两倍，那就意味着前者是后者的两倍量。如物理学中通常采用的是绝对尺度。以此测得的量，其数值具有重要意义。以这种方式得到的数据称为定比数据。

在评价中，要根据评价的目的、评价对象的属性等来确定评价尺度，这是系统评价的重要工作之一。系统评价的主要任务就在于评价主体根据具体情况所给定的，可能是从模糊的评价尺度出发，进行首尾一贯的、无矛盾的价值测定，以获得对多数人来说均可以接受的评价结果，为正确决策提供所需的信息。

1.2 系统评价指标体系

系统评价时，首先要根据系统目标规定的一组评价指标，确定评价的项目，制定评价的准则。系统的评价项目是由构成系统的性能要素来决定的，主要包括系统的功能、进度、成本、可靠性、实用性、适应性、寿命、技术水平、生存能力等因素，它们构成描述系统性能的有序集合，可以根据系统所处的实际环境条件来安排它们的评价顺序，按照各因素在系统评价中的价值地位，赋予一定的加权量，经过合成后形成一种评价的价值体系。这种价值体系主要是从技术和经济的角度来衡量。但是在包含人的因素和社会因素的系统中，这种价值体系的结构要更复杂一些。同时，对于各种不同价值观的人来说，评价准则的内容和选取的加权量也是很不相同的。在系统评价阶段，要对这种问题展开充分地讨论，明确各个问题构成要素之间的相互关系，取得充分一致的意见，再在此基础上，对系统进行量化的评价。

通常用系统的价值来衡量系统达到目标的程度，这里价值是一个综合概念，它包含着很多元素，各个元素称为价值因素，它们之间相互联系、共同决定着总的价值。对于一个系统来说，它的输出就是价值因素，也称之为评价指标。

1.2.1 系统评价指标体系的确定

要对不同的评价对象进行评价和选优，必须建立能对照和衡量各个对象的统一尺度，即评价指标体系。建立一套完整的评价指标体系，有助于对系统进行合理地改进和有效地控制，

有助于准确反映系统的合理化状况以及评价改善的潜力和效果。

多属性评价问题的对象是复杂的社会、经济系统或处在社会经济系统环境中，这类评价问题大都包含着政治、经济、技术和生态环境等诸方面的因素，由于其涉及面广，加上所需资料缺乏，使得评价过程中经常带有许多随机性、模糊性。为了将多层次、多因素的复杂的评价问题用较科学的计量方法进行量化处理，首先必须对评价对象构造一个科学的评价指标体系。这个指标体系必须将被评对象的大量相互关联、相互制约的复杂因素之间的关系层次化、条理化，并能够区分它们各自对评价目标影响的重要程度，以及对那些只能定性评价的因素进行恰当的、方便的量化处理。

评价指标体系的制定是一个很困难的问题。一般来说，指标范围越宽，指标数量越多，则方案之间的差异越明显，有利于判断和评价，但确定指标的大类和指标的重要程度就越困难，处理和建模过程也越复杂，因而歪曲方案的本质特性的可能性也就越大。评价指标体系要全面地反映出所要评价的系统的各项目标要求，尽可能地做到科学、合理，且符合实际情况，并基本上能为有关人员和部门所接受。为此，制定评价指标体系需在全面分析系统的基础上，首先拟订指标草案，经过广泛征求专家意见，反复交换信息、统计处理和综合归纳等，最后确定系统的评价指标体系。

系统评价指标体系的建立是一个“具体—抽象—具体”的辩证逻辑思维过程，是人们对现象总体数量特征的认识逐步深化、逐步求精、逐步完善、逐步系统化的过程。一般来说，这个过程可大致分为理论准备、系统评价指标体系初选、评价指标体系完善、评价指标体系应用四个环节：

(1) 理论准备

首先，系统评价指标及指标体系的设计者应该对评价领域的有关基础理论有一定深度和广度的了解，应该全面掌握该领域描述性指标体系的基本情况，例如若要建立环境统计评价指标体系，则必须对有关环境学方面的理论及技术问题具有较广较深的知识，包括目前人类环境方面存在的各种各样问题；其次，系统评价指标及指标体系的设计者还应具备一定的统计理论与方法素养；最后，对于设计者来说，详细了解国内外相应领域评价指标体系设计中的经验教训，也是必不可少的一项准备性工作。

(2) 系统评价指标体系初选

在具备了一定的理论与方法素养之后，设计者可以采用一定的方法——主要是系统分析法来构造系统评价指标体系的框架。这是一个人的认知逐步深入的过程，是一个先粗后细、逐步求精的过程；也可以采用一些相关的、成熟的指标体系作为参考，如心理学评价中常用的量表。

在进行评价时，首先要考虑的是评价的目的。对系统进行综合评价，是为了从总体上把握系统，寻找制约系统功能发挥的“瓶颈”，挖掘提高系统动作绩效的有效手段。在设计评价指标时，要选择有代表性的系统属性指标。特别是当待评价系统具有多种属性和状态时，一般都要从多种准则出发评价该系统，建立评价的指标体系。

指标选取方法有定性和定量两种，定性分析法主要是从评价的目的和原则出发，考虑到评价指标的充分性、可行性、稳定性、必要性以及指标与评价方法的协调性等，由系统分析人员与决策者主观确定有哪些指标组成系统的评价准则体系。定量分析法主要应用主成分分析的“最佳简化”原则，将一个众多变量的高维系统通过降维处理求出最具代表性的若干主分量来近似表述待评价系统的评价指标。由于能反映某项准则或指标的变量要素可能很多，但是在选取系统评价准则又不能将带来影响的变量都作为指标放入到评价准则中去，只能选择若干有较大影响的有代表性的变量作为指标，来反映评价系统的特征，以便使系统的评价准则具有可操作性，这时可先用定性的方法主观地选出评价的指标，然后用定量的方法选出起关键作用的指标。

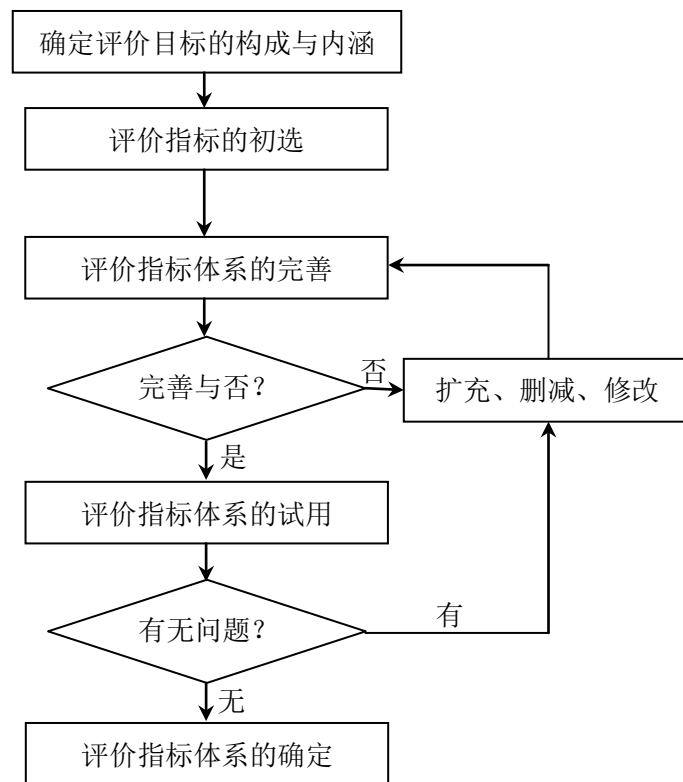


图 6-2 评价指标体系的建立（仿郝海、踪家峰，2007）

（3）评价指标体系完善

系统评价指标体系初选的结果并不一定是合理的或必要的，可能有重复，也可能有遗漏甚至错误。这时就要对初选指标进行精选(筛选)，进行测验，从而使之臻于完善，对于初构的指标体系进行优化。

（4）评价指标体系应用

这是系统评价指标体系的应用过程，也是评价指标体系设计的最终目的。系统评价指标体系需要在实践中逐步完善。通过实例的计算，分析输出结果的合理性，寻找导致评价结论不合理的原因，虽然有很多因素影响着评价结论，但指标体系也是一个十分重要的因素。指标体系选择不仅受方法的影响，而且也影响方法的选择。

系统的评价指标体系是由若干个单项评价指标组成的有机整体。它应反映出评价目的的要求，并尽量做到全面、合理、科学、实用。根据不同的衡量目的，系统指标的衡量对象可以是整个系统不同侧面的功能，乃至系统中各功能的有关活动，由此形成不同的指标体系。

1.2.2 指标体系的确定原则

在确定指标体系时应遵循下面的基本原则：

（1）目的性原则。整个系统评价指标体系的构成必须紧紧围绕着系统评价目的层层展开，使最后的评价结论正确反映了评价主体的评价意图。

（2）系统性原则。指标体系应能全面地反映被评价对象的综合情况，从中抓住主要因素，既能反映直接效果，又要反映间接效果，以保证系统评价的全面性和可信度。

（3）可操作性原则。一个系统评价方案的真正价值只有在付诸实现后才能够体现出来，这就要求指标体系中的每一个指标都必须是可操作的，指标含义明确，能够及时收集到准确的数据，计算简单，易于掌握。

（4）定量指标与定性指标结合使用原则。既可使评价具有客观性，便于数学模型处理，

又可弥补单纯定量评价的不足及数据本身存在的某些缺陷。

(5) 指标之间应尽可能避免显见的包含关系。对隐含的相关关系，要在模型中以适当的方法消除。

(6) 可比性原则。指标的选择要保持同趋势化，以保证可比性，即所建立的评价指标体系必须对每一个评价对象是公平的，可比的。指标体系中不能包括一些有明显“倾向性”的指标，例如将一个中等城市和一个大都市进行生活水平的比较是具有倾向性、不公平的，也就是说系统评价的价值就大打折扣了。

(7) 指标设置要有重点。重要方面的指标可设置得密些、细些，次要方面的指标可设置得稀些、粗些，以简化工作。

(8) 指标要有层次性。即建立系统评价指标体系的层次结构，这可以为衡量评价效果和确定指标的权重提供方便。

这些原则在具体应用中可能会出现一定的矛盾，一般可作如下处理：

(1) 评价的有效性和评价的简便性相矛盾。应在满足有效性的前提下，尽可能使评价简便，而不是反而求之。

(2) 指标的系统性与指标的可获得性相矛盾，因为指标体系须要概括各有关方面的许多因素，有些指标不易获得和不易测度，不能满足评价所需要的全部数据。因此，在建立指标体系时，对若干与评价关系甚大的指标，虽然目前尚无法获得指标的数据，但可由专家根据实际经验作出定性的描述。

(3) 指标的精确性与指标的可信度问题。评价应尽可能精确，但有些指标目前不能做到很精确。与其为了追求精确而假设数据，或因得不到数据而将一些指标舍去、不如由专家根据经验做定性的描述，给某些指标以质的规定更为可信。

上面只是确定指标体系的一般原则，对具体问题有具体规定，不一定全部用到，有些问题还可以将上面的原则进一步细化。

1.2.3 指标体系的分类

评价指标体系通常分为如下几类：

(1) 政策性指标。包括政府的方针、政策、法令，以及法律约束和发展规划等方面的要求，这对国防或国计民生方面的重大项目或大型系统尤为重要。

(2) 技术性指标。包括产品的性能、寿命、可靠性、安全性等。

(3) 经济性指标。包括方案成本、效益、建设周期、回收期等。

(4) 社会性指标。包括：社会福利、社会节约，综合发展、污染、生态环境等。

(5) 资源性指标。

(6) 时间性指标。

以上是考虑的大类指标，每一个指标又可以包含许多小类指标。每一个具体指标可能由几个指标来综合反映，这是由评价对象的特性和评价指标体系的结构所决定的。这样就形成了指标树，由这个指标树就构成了系统评价指标体系。由于各指标的评价尺度不一样，对于不同的指标，很难在一起比较，因此，须将指标体系中的指标规范化，制定出评价准则，根据指标所反映要素的状况，确定各指标的权重，然后选用适当的系统评价方法进行评价。

1.3 系统评价的原则

系统评价的主要目的是判定系统是否在满足各种内外约束条件下实现了系统的预定目的，按照预定的评价指标体系评出参评的各方案的优劣。由于系统结构互不相同，系统目的也千差万别，因此系统评价的对象、标准、考虑的因素、使用的方法、评价过程和步骤也是各种各样、互不相同的。

多数系统都是一个非常复杂的、人造的、动态系统的，它涉及范围广、构成要素繁多且

关系复杂，这都给系统评价带来了一定的难度，为了对系统作出一个正确的评价，应遵循下列基本原则：

（1）要保证评价的客观性。评价的目的是为了决策，因此评价的质量影响着决策的正确性。也就是说，必须保证评价的客观性。必须弄清资料是否全面、可靠、正确，防止评价人员的倾向性，并注意人员的组成应具有代表性。

（2）坚持局部效益服从整体效益的原则。系统由若干个子系统或要素构成，如果每个子系统的效益都是好的，则整体的效益也会比较理想。在某些情况下，有些子系统是经济的，效益是好的，但从全局看却不经济，这种方案理当然是不可取的。反之，在某些情况下，从局部看某一子系统是不经济的，但从全局看整个系统却是较好的，这种方案则是可取的。因此，我们所要求的是整体效益化和最优化，要求局部效益服从整体效益。

（3）保证方案的可比性。替代方案在保证实现系统的基本功能上要有可比性。个别功能突出或方案内容新，只能说明其相关方面，不能代替其他方面，要进行综合评比，不能搞“陪衬”方案，从而失去评价的真意。

（4）指标体系的建立和评价指标的确定要坚持先进合理和可操作性原则。影响系统功能发挥的因素是非常多的，因此在建立系统指标体系时，不可能面面俱到，但应在突出重点的前提下，尽量做到先进合理，坚持可操作性。可操作性主要表现在评价指标的设置上，既要可行又要可比。可行性主要是指指标设置要符合系统的特征和功能要求，在具体指标的确定上，不能脱离现有的技术水平和管理水平而确定一些无法达到的指标。制定的评价标准不能过高过严，也不能偏低，应以平均水平为依据。可比性，主要指评价项目的内容含义确切，便于进行比较，评出高低。

（5）在定性分析的基础上坚持定量分析，对系统进行客观合理的评价。在对系统进行评价时，应坚持定性分析与定量分析相结合的原则，并且在定性分析的基础上，以定量分析为主，既要反映系统实现功能的程度，又要确定其量的界限，才能得出对系统客观合理的评价结果，才能确定最优方案。

1.4 系统评价的范式

系统评价是一个比较的过程。在这个过程中，需要把要评价的事物与一定的对象进行比较，从而决定该事物的价值，或者说确定其在事物系统之中的地位。因此，评价可如下范式进行：

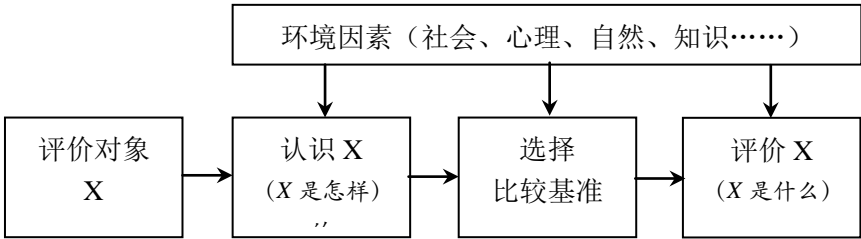


图 6-3 评价范式（仿郝海、踪家峰，2007）

对系统进行综合评价，是为了从总体上分析系统的状况，把握系统的过去、现状和未来，寻找系统的薄弱环节，明确系统的改善方向。为此，应将系统的各项评价指标的实际值与基准值进行比较。若以目标值作为基准值，可评价系统对预期目标的实现程度，寻找实际与目标的差距所在；若用系统运行的历史值为基准值，则可评价系统的发展趋势，从中发现薄弱环节；若基准值选用同类的标准值、平均水平值或先进水平值，则可评价系统在同类系统中

的地位，从而寻找出系统的改善潜力。

根据评价基准的不同选择，可以区分出三种类型的评价：

(1) 客观推理型评价。在这种类型的评价中，评价基准已知，我们可以通过逻辑分析，确定 x 的属性及对参考系统（评价基准）有怎样的贡献，从而确定 X 在基准系统中的地位，明确 X 的价值。这实质上是把对 X 的评价部分转化为对基准系统的评价。我们常用的经济评价就属这种类型。例如，当我们评价一个企业是否要建一个新项目时，就是在企业的现有结构（资金、人员、基础设施、技术水平、企业目标）已知的情况下，分析该项目对企业有什么贡献，从而决定该项目是否上马。

(2) 规范型评价。当对基准系统缺乏认识或基准系统不大清楚时，-我们只能直接对 X 进行评价。评价时，所选用的基准只能是我们所具有的规范。规范之所以能作为比较的基准，是因为它是人们实践经验的总结；是思维的结果、理想的价值。政策评价一般具有这种性质。

(3) 象征型评价。象征型评价是以象征物作为比较的基准。象征物来自事实或经验，这种类型的评价在现实中非常普遍，如常说的比喻就是这种象征性评价，在定性评价时也常使用这种方法。象征性评价与规范性评价的区别就在于前者是经验的，感性的、没有上升到理性的高度，后者则是理性化的结果。

1.5 系统评价的分类

在系统评价过程中，首先要熟悉方案和确定评价指标，熟悉方案是指通过大量的调查研究，了解系统的基本目标、功能要求，确切地掌握各种方案的优缺点以及对系统目标、功能要求的实现程度、方案实施的条件和可能性等。评价指标是评价目的的要求和反应，是方案期望达到的指标，它包括政策指标、技术指标、经济指标和社会指标等。然后，根据熟悉方案情况，结合评价指标，应用适当的方法，先进行单项评价（一般指技术评价、经济评价和社会评价），再做综合评价，从而列出方案优先顺序的结论。系统评价可以分阶段进行，特别是对于复杂的大系统的开发，各个重要环节都要作出评价工作。

系统评价主要有按时间顺序评价、案子系统评价、按项目评价、按内容评价四种方式。

1.5.1 按时间顺序评价

从时间上看，系统评价主要分为事前评价、事中评价、事后评价和跟踪评价。这些不同的评价工作使用的基础数据不同、所处条件不同和评价对象与内容等都有所不同。其中，事前评价是在具有很多假设前提条件下（不确定性因素）使用预测数据对于其可行性和各个备选方案所作的可行性研究；而跟踪评价是在相对比较确定的情况下，使用预测和实际数据针对实施情况所作的评价，从而对现实系统有一个全面的了解；事后评价则是在投入使用以后用实际数据和一定的预测数据对评价对象的前期决策所作的评价，为系统调整和优化提供基础信息和思路。

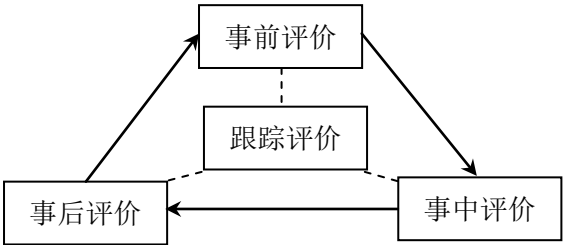


图 6-4 系统评价的时间顺序

(1) 事前评价。在着手系统开发之前进行的评价，是为了提高系统成果，而合理决定计划的有效方法。

(2) 事中评价。在开发过程中进行的评价，是在系统研制过程中用来判断是否有必要变更目标或为及时采取对策而进行管理的有效手段。

(3) 事后评价。在开发完成之后进行的评价，是在定量地掌握已经达到目标的成果同时，确认目标以外成果的评价方法。

(4) 跟踪评价。对系统运行过程进行实时评价。

1.5.2 按子系统评价

(1) 技术子系统评价。技术评价是围绕系统功能来进行的，评定系统方案能否实现所需的功能及实现程度。

(2) 经济子系统评价。是围绕经济效益进行的，内容主要是以成本为代表的经济可行性分析。

(3) 社会子系统评价。是针对系统给社会带来的利益或影响而进行的评价。

(4) 综合评价。在上述三个方面评价的基础上，对系统方案价值的大小所做的综合评定。

1.5.3 按项目评价

(1) 目标评价。确定系统的目标后，要进行目标评价，以确定目标是否合理。

(2) 方案评价。制订决策方案之后，要进行方案评价，选择最优方案。

(3) 设计评价。

(4) 计划评价。

(5) 规划评价。

1.5.4 按内容评价

(1) 系统运行现状的评价

决策无外乎源自系统运行出了问题，或面临某种危机，或遇到新的发展机会。系统运行现状的分析和评价有利于弄清这些问题，以便尽早发现决策机会、确定合适的决策方案。

(2) 方案可能产生的后果和影响的评价

在决策最后拍板之前，必须对各方案实施后可能产生的后果和影响有一个比较准确的把握。如何估价这些后果及其产生的影响则是评价的任务，通常对同一后果和影响，不同的人或同一人在不同的时间会得出不同的评价，然而决策的最终作出还必须依赖于这些评价。一般来讲，方案后果和影响的评价涉及三个方面：

①后果和影响本身的评价。

②后果和影响中各种不确定性的评价。

③各方面后果和影响及其不确定性的综合评价。

(3) 方案开始实施后的跟踪评价及决策完成后的回顾评价

方案开始实施以后，为了及时发现问题，进一步完善、调整和控制，经常还需要对实施过程和结果进行跟踪评价。此外，为了总结经验和深入学习，改进以后的决策，有时还需在决策实施完毕后进行总结和评价，如事后对某些历史人物或历史事件的评价等。

系统评价有多个层次和阶段，甚至在每一大阶段还可以分为若干小阶段进行评价，以便及时采取正确的对策解决问题。事前评价是设想所研究项目建成后将会处于怎样一种环境之中、将来如何进行，将可获得什么经济效益，将会产生什么社会影响。可行性研究则是一种事前评价方法。事后评价不仅是为了确认系统的开发成果，而且也是为了总结经验，改进今后的开发工作并使之定型化。

计划阶段的评价也可以说是一种事前评价，也就是在着手设计之前对研制的系统进行比较全面的评价，通过这种评价来选定理性的替代方案，制定出切实可行的计划，将对以后系统的最优运行起到重要作用。另外，也可以通过对系统研制的事前评价考虑各种可能导致系统失败的因素；指出设想的缺陷，探讨系统的评价及采取的对策。

系统规划是系统工程管理过程中的一个要素，是决定系统大局的必要阶段，因此，对它的评价必须慎重进行，只有评价得好，才能充分发挥系统工程的作用；而系统设计是系统工程的核心问题，比系统规划还重要，因为系统的性能，可否达到设想的目标，在很大程度上取决于系统设计。所以对系统设计的评价，主要是评价系统的特性，也就是通过对系统的有效性的评价，考察系统设计适合目标的情况，通过对系统功能和性能的评价，考察系统设计适合特性的情况，另外还有对系统结构和系统运用的评价等。

1.6 系统评价的步骤

系统评价主要要素主要有：①评价对象集，就是待评价对象的集合。包括对方案的评价，集中方案的多少，表明了人们对系统和环境认识水平的高低。②指标集，由目标、准则和指标组成，具有层次性。指标集反映了评价的内容和范围，其科学性如何对评价结果影响极大。人们对如何设立指标集已作过不少讨论。③评价主体，这包括评价主体的偏好结构、价值体系、知识水平、经历等。④信息转换模式，表明评价者是如何获取评价信息并对这些信息进行处理的，包括标准值设定、比较等。信息转换模式决定了评价方法。

一个完整的系统评价的步骤一般包括系统评价分析、评价资料的收集、评价指标的选择、评价函数的确定、评价值的计算和评价结果的分析六个阶段。

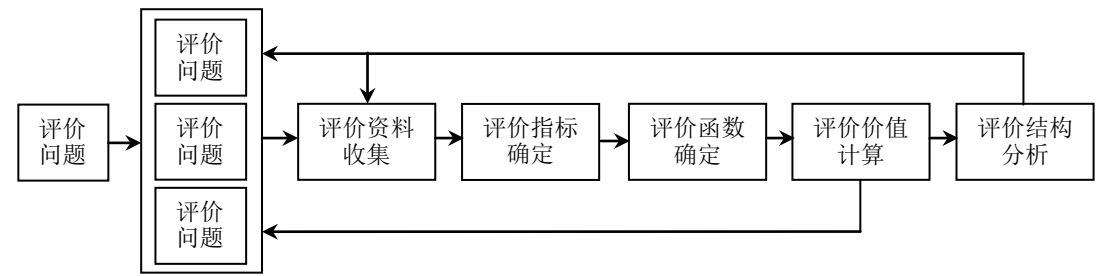


图 6-5 系统评价步骤（郝海、踪家峰，2007）

1.6.1 系统评价分析

在正式进行系统评价前，有必要对评价系统进行分析，探讨和明确一系列前提条件，这是作好系统评价的首要工作，其内容包括评价目的、评价对象和评价主体的确定。

（1）评价的目的。总的来说，评价的目的是为了更好地决策，但具体地说，评价目的又大致可以区分为四个方面：

①使评价系统达到最优。为了使系统结构的技术参数达到最优，就有必要量化评价系统各种替代方法的价值。

②对决策的支持。当评价者或决策者在选择最优方案的过程中，对替代方案的各自价值感到迷惑不解时，评价提供的信息可供决策参考。例如，对重大政策的选择、复杂情况的判断以及对未来的预测等，若有相应的评价信息，都是对决策的极大支持。

③决定行为的说明。当决策人推行某项政策、决定开发某个系统或引进某项先进技术等时，对于决策人来说，为什么要决定采取这些行为可能是经过细致分析的，对这些行为的采取与否带来怎样的利弊都是比较明确的。但要让其他人也能很好地领会这些仍是一件不容易的事。所以，为了使他人对决定的行为能够心悦诚服，便于接受，仍需要对其进行评价。总之，对于复杂的问题即使作出了合理的决定，如果没有评价或评价过程模糊不清，也会遭到人们的怀疑、误解以致抵制。因此，为了形成统一意志，需要有某种程度的客观评价。

④问题的分析。评价的过程往往是问题分析的过程。有许多评价问题，如风险分析、技

术预测等,可以把复杂的问题分解成简单容易的小问题,再通过对这些小问题的分析和评价,就能获得系统的综合评价。

系统评价是对系统分析过程和结果的鉴定,其主要目的是判断设计的系统是否达到了预定的各项指标,能否投入使用提供决策所需要的信息。有关领导针对某系统进行决策时,应当全面地考虑系统状态信息,并对依据这些信息所采取的策略以及执行这些策略可能产生的后果进行综合评价,按照评定的价值来判断各种策略和方案的优劣,作出正确决策。因此系统评价是方案选优和决策的基础,评价的好坏直接影响着决策的正确性。

(2) 评价的对象。它主要是确定系统的边界,即评价对象涉及多大范围,如评价问题涉及哪些领域哪些部门等,像一项大型水利工程往往涉及水利、交通、电力、旅游、移民等部门。在评价中应充分考虑所有这些部门的利益并尽可能地吸收各方人员参与评价。评价系统的范围不应过小,以免忽略重要影响部门而有失系统性;同时也不应过大,以免使评价问题过分复杂化。

(3) 评价的主体。在进行系统评价中必须明确评价主体的立场,即明确评价主体是系统使用者还是开发者抑或第三者等等,这对于以后评价方案的确定、评价项目的选择等都有直接的影响和关系。这里以铁路交通系统的评价为例。铁路乘客是评价主体,则其关心的评价项目主要有快速性、准时性、低廉性、舒适性等;而对铁路建设部门来说,则其评价项目主要有投资费用、制造费用、经营费用及收益等;若从铁路沿线居民角度出发,其关心的主要是环境污染程度、噪音的大小等等评价项目;而从地区社会立场,则主要是企业合理选点、沿线销售量的增加程度等等;若从国家立场出发,则主要考虑经济发展平衡与否、费用负担的地区差距调整等评价项目。如果要对系统进行综合评价,那么就要选择上述的一些主要评价项目,构成一个综合评价的指标体系。

1.6.2 评价资料的收集

根据评价的目标,集中收集有关的资料和数据,对组成系统的各个要素及系统的性能特征进行全面分析,对评价系统的功能、费用、时间及使用寿命进行预测和估计,找出评价的项目,为设定评价尺度、建立评价函数等收集评价所需资料。

1.6.3 评价指标的选择

评价指标的选择是评价目标与实际情况共同决定的,选择评价指标时应注意:①评价指标必须与评价目的和目标密切相关。②评价指标应当构成一个完整的体系,即全面地反映所需评价对象的各个方面。③评价指标总数应尽可能地少,以降低评价负担。当评价对象较为复杂时,先用图形和矩阵描述各种已知的关系,在矩阵的基础上再进一步运算、推导来解释系统结构的特点,揭示出系统的内部结构,即采用 ISM (Interpretive Structure Modeling) 方法来理清评价指标间的结构关系。ISM 工作程序为:

①组建 ISM 实施小组。②设定关键问题,选择影响关键问题的导致因素。③列举各导致因素的相关性。④根据各要素的相关性,建立邻接矩阵和可达矩阵。⑤对可达矩阵分解后,建立结构模型。⑥根据结构模型建立解释结构模型。

1.6.4 评价函数的确定

评价函数是使评价定量化的一种数学模型。不同问题使用的评价函数可能不同,同一个评价问题也可以使用不同的评价函数,因此,对选用什么样的评价函数本身也必须作出评价。

评价函数本身是多属性、多目标性的,尤其当评价目的在于形成统一意见或进行群体决策时,则在确定评价函数时会产生不同的看法,因此在对系统评价之前,应该在有关人员之间进行充分的无拘束的讨论,否则难以获得有效的评价。

评价函数根据对象的具体要求不同而有所不同,总的来说,要按系统目标与系统分析结果、费用、效果的测定方法、成功可能性以及评价准则等确定。一般应选用能更好地达到评价目的的评价函数或其他更适宜的评价函数。

1.6.5 评价值的计算

当评价函数确定后，评价尺度也随之而定。在评价值计算之前，还需确定各评价项目的权重，然后代入评价函数中求出相应的评价值。评价尺度和评价指标的权重应保证评价的客观正确。

1.6.6 评价结果的分析

单项评价是就系统的某一特殊方面进行详细的评价，以突出系统的特征，单项评价是系统评价的基础。单项评价不能解决最优方案的判定问题，只有系统评价才能解决最优方案或方案优先顺序的确定问题。按照评价标准，在单项评价的基础上，从不同的观点和角度对系统进行全面的评价。系统评价就是利用模型和各种资料，用技术经济的观点对比各种可行方案，考虑成本与效益的关系，权衡各方案的利弊得失，从系统的整体观点出发，综合分析问题，选择适当而且可能实现的优化方案。

提出评价结论和建议是系统评价最为重要的一个环节。评估人员将各方面评估结论作为论据得出综合评估结论。如果各种项评估结论一致，即得出综合评估结论；当各方面评估结论相反或不一致时，则应进行综合分析，抓住主要方面，统筹兼顾，提出结论性意见，根据系统存在的问题，提出建设性建议，供相关部门作为决策的参考。

总之，上面叙述的是系统评价的一般过程，在实际评价问题中，根据对具体评价对象的把握，有时也不是完全遵守上面的过程，应具体问题具体分析。

1.7 系统评价的方法

选取的评价函数不同就对应着不同的评价方法。系统评价一般属于多目标、多判据的评价，依照系统结构不同，性能不同，评价因素不同，系统评价方法也有所不同。系统评价方法的选用应根据系统的具体情况而定，目前国内外系统评价使用的方法很多，如系统评价的经济分析法有成本效益法、追加投资回收期法、价值分析法和功效系数法等；还有层次分析法、模糊综合评价法、数据包络分析方法、主成分分析方法等。

表 6-1 常用系统评价方法（郝海、踪家峰，2007）

专家评价法	数学方法	混合方法
得分排序法（Delphi）	数据包络分析法	混合评分法
典型案例研究	线性规划和动态规划	层次分析法
前后对比	多元统计分析法	模糊综合评判
参照组比较	费用效益分析法	人工神经网络
多角度比较	投入产出分析	计算机仿真

系统评价方法可依下面方式分类：

- （1）从评价因素的个数来分，可以分为单因素评价和多因素评价方法两种。前者就是在进行系统评价时，各个评价方案只考虑一个主要因素，如成本、营业利润、产量或材料消耗等。主要用于系统某种功能的评价，它是多因素评价的基础。而多因素评价则是在进行系统方案评价时，要同时考虑两个或两个以上的主要因素。
- （2）从评价技术角度分有专家评价方法、数学评价方法和混合评价方。专家评价方法一般是根据专家的经验对评价对象进行比较、评价，混合评价是指专家评价和数学评价相结合的评价方法，这是现在经常使用的方法。
- （3）从是否应用数学方法来分，一般可以分为定量分析评价、定性分析评价和两者相结合的评价方法。在系统评价时，常用的一般是定性和定量相结合的方法，这是因为有些系统的某些属性或评价因素不易量化，甚至评价因素本身就不易确定，这时可以请一名或多名

对评价对象有专门知识或经验的人，请他们对系统或系统方案进行定性、定量或两者相结合的评价。

目前，随着计算机技术的发展，评价方法越来越丰富，常常采用定性、定量两者相结合的方法进行系统评价。这是因为在评价过程中，如果只是定性地描述系统达到的目标，而没有定量的表述，就难以作出科学地评价，只能停留在泛泛而谈的阶段。因此，要对所确定的指标进行定量化处理。有些指标本来就有定量的数字，有些原来只有定性的描述，这就要进行分析研究，制定和选择评价的定量依据，这里往往需要借助于数学理论的概念和方法。评分就是最常用的一种简单方法，即按具体情况人为地分成若干等级进行相对比较。

2. 评价指标的量化与序化

指标值反映的是指标指示量，是对评价对象某个属性的度量，是评价对象属性与实数之间的一个关系，即函数关系，常用的指标尺度有标称尺度、次序尺度、区间尺度和比例尺度四种，由于标称尺度完全丢失了数的含义，仅仅是一种记号，因此，指标与度量方法密切联系的度量类型只有次序尺度、区间尺度和比例尺度三种。

从指标与评价对象属性的函数关系看，指标有基础指标（fundamental measurement）和派生指标（derived measurement）。基础指标是评价对象所固有的，例如物体的长度与质量，派生指标是由基础指标派生出来的，可以通过基础指标计算得到，例如密度，可以由物体的密度与体积计算出来。基础指标是派生指标度量的基础，如果基础指标不合理，那么派生指标就会有问题。在选用评价指标时，尽量选用基础指标，以避免评价指标间的相关性干扰。

评价指标的度量离不开量纲和度量值。度量事物的属性只能以同一属性的另外一个标准化了的事物（标准比照物，量具）去度量，例如用尺去测量物体的长度等，这一过程涉及到量纲的选择、标准比照物的选取和度量方法使用（度量单位的复杂性）。在读取度量值时，又涉及到度量误差（系统误差与偶然误差）和个人主观判断造成的度量差异（如评分中的个人主观因素、专家专业差异与素质水平差异等）（度量值复杂性）。基于度量单位的复杂性和度量值复杂性，度量就归结为两个基本问题：一种属性赋予什么样的值；这样的赋值是否唯一（如果不唯一，就会有歧义）。

2.1 评价指标的合理性

2.1.1 评价指标的合理性

评价指标的合理性，是指用这样的评价指标去度量评价对象时，是否存在不一致或不符合实际的情况，评价指标的合理性通常包括指标确定的合理性、综合指标的合理性、处理方法的合理性。例如，把价格作为商品质量评价指标显然是指标确定不合理，把不相关的指标的回归分析结果作为评价指标显然是综合指标选择不合理，把曲边形的最大长、宽相乘表示曲边形面积显然是处理方法不合理。

因此，在选择评价指标时，对不同评价对象、不同属性因子，应该采用不同的方法进行选择指标和处理方式，既要能反映评价对象全貌，又要能真实反映组成评价对象各子系统的构成和属性，还要符合实际，具有可操作性。

2.1.2 评价指标的可选性

（1）同态与同构

度量是用一个数值去反映评价对象某一属性量的大小，也就是说，在集合 X 上定义了一个函数 $f(x)$ ， $f(x)$ 的数值反映了所关心的属性的“大小”，则同态映射与同构映射的定义为：

设 X 上有一种关系 T ， Y 上有一种关系 S ，若有一个映射 $f: X \rightarrow Y$ ，使

$$x_1 T x_2 \square S f(x_2)$$

则称 f 是关系系统 (X, T) 到 (Y, S) 上的同态映射。如果映射 f 是 1-1 映射，则称 f 是 (X, T) 到 (Y, S) 的同构映射。

显然，在同一个商店中，商品与商品的价格的关系是同态的，但不是同构的，因为二者关系不是 1-1 的，可能存在不同的商品对应同一价格；在理论上，我国公民与我国公民身份证号码之间的关系是同构的，因为，从理论上说，二者是 1-1 的，一个公民不会拥有不同的身份证号码，不同的公民也不会有相同的身份证号码。

(2) 指标的可选性

在集合 X 中，给定一个关系 A ， (X, A) 上的一个指标，就是在 X 上定义了一个函数 f ， $f: X \rightarrow R$ （实数），在 R 上有一个关系 \tilde{A} ，使得 $(X, A) \rightarrow (R, \tilde{A})$ 是一个同态映射。这样的 f 就是可以选择用来度量 X 中关系 A 的指标，简称为可选指标（admissible）。

2.1.3 评价指标的正规性

评价对象的某一属性可选评价指标可能不止一个，评价指标的正规性（regular）要求，这些不同的指标彼此之间不能矛盾。不满足正规性要求，指标就不能在实际中应用。最常见的满足指标正规性要求的，就是单位制式，例如长度国际单位制“米”，与市制“市尺”，以及与英美制制“英尺”、“码”，它们彼此之间不会互相矛盾，并且在数学上是 1-1 关系，都可以正确表达物体的长度。

因此，对给定的 (X, A) 而言，寻找正规的可选指标，是度量理论的的核心问题。

2.1.4 指标度量尺度的变换

指标的度量尺度分为标称尺度、次序尺度、比例尺度和区间尺度，其中次序尺度、比例尺度和区间尺度与被度量指标所反映的属性密切关联，指标也因此分为序型指标、比例型指标和区间型指标。

序型指标是对具有优先次序关系的属性进行计数，如对物体个数的计数。

比例型指标是对具有比例关系属性的表达，具有可加性，如物体长度是各分段长度长度的总和。比例尺度度量是绝对的，没有就是零，意义非常清晰，2 就是 1+1,7 比 5 多 2。

区间型指标表达的是对象属性元素之间的关系，涉及的不是 X 中的两个对象的关系，其关系不属于 $X \times X$ 中的子集，而是表达的是 X 中元素 x_i 、 x_j 的差别与元素 x_m 、 x_n 的差别的差别。因此，区间型指标是一种相对的度量，而不是一种绝对的度量，它的“零”未必就是表示“没有”，如摄氏温度表示法， 100°C 和 0°C 分别表示水的沸点和冰点，其它摄氏温度值都是以此区间的 100 等分为基准来表示的， 0°C 也并非表示没有温度。

指标量化时，指标的属性决定了度量关系，其相互转化关系决定了它的尺度（量纲）的性质，不同类型的指标，决定了不同的转化关系。如比例型指标变换关系可以用 $\varphi(x)=ax(a>0)$ 表示，当为长度的米与千米时， $a=1000$ 。区间型指标变换关系可以用 $\varphi(x)=ax+b(a>0, b\neq 0)$ ，如华氏温度与摄氏温度之间的转换关系就表示为 $5(F-50^\circ)=9(C-10^\circ)$ ，化成标准式为 $^\circ\text{F}=(9/5)^\circ\text{C}+32$ ，也即 $a=9/5$ ， $b=32$ 。

表 6-2 度量尺度类型的变换（郝海、踪家峰，2007）

类型	变换方法	实例
标称尺度	1-1 变换 φ	编码，分组
次序尺度	$x \geq y \Leftrightarrow \varphi(x) \geq \varphi(y)$ ，单调增变换	硬度，名次
比例尺度	$\varphi(x)=ax(a>0)$	重量，长度
区间尺度	$\varphi(x)=ax+b(a>0, b\neq 0)$	温度，时间

根据指标尺度的变换和评价对象的属性，选择合适的量纲来表达评价对象的属性。例如，

汽车载重量用吨、人的体重用千克、中药处方药物用量用克表示是合适的，如果汽车载重量用克、中药处方药物用量用千克或吨表示显然是不合适的。

2.2 评价指标的表示

2.2.1 序型指标表示

【定理】设 X 为一个有限集， A 是 X 上一个二元关系，则有实值函数 $f(x): X \rightarrow R$ ，使得对任意的 $x_1, x_2 \in X$ 都有 $x_1 A x_2 \Leftrightarrow f(x_1) > f(x_2)$ 的充分必要条件是 (X, A) 的一个严格弱序系统结构。

【定理】设 (X, A) 是一个严格的全序系统，则存在一个 X 上的一个实值函数 f 满足 $x A y \Leftrightarrow f(x) > f(y)$ 的充分必要条件是 (X, A) 有一个可数的序稠密的子集。

【推论】设 (X, A) 是一个系统关系，于是存在 X 上的一个实值函数 f 满足 $x A y \Leftrightarrow f(x) > f(y)$ 的充分必要条件是 (X, A) 有一个严格的弱序系统，并且它的简化 (X^*, A^*) 有一个可数的序稠密的子集。当这样的 f 存在时，这个表示是正规的， f 是序型尺度。

2.2.2 比例型指标表示

【定义】若集合 X 中定义了一种运算“ \circ ”，如果“ \circ ”对 X 的任意元素 a, b, c ，都有：(1) 结合律成立，即 $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$ ；(2) 存在单位元 e ，使得 $e \circ a = a \circ e = a$ ；(3) 有逆元素 a^{-1} 存在，使得 $a^{-1} \circ a = e$ 。则称 X 对“ \circ ”运算成群。

【定义】 X 上的一个二元关系 A 及运算“ \circ ”构成一个阿基米德序群结构，用 (X, A, \circ) 表示。

如果 X, A, \circ 具有：(1) (X, \circ) 是一个群 (X 对运算“ \circ ”成群)；(2) (X, A) 是严格的全序系统；(3) 对 X 中任意的 x, y, z ，有 $x A y \Leftrightarrow (x \circ z) A (y \circ z) \square (z \circ x) A (z \circ y)$ (单调性)；(4) 对任意的 X 中的 x, y, e ， e 是 (X, \circ) 群的单位元，若有 $x A e$ 成立，则存在正整数 n ，使 $(nx) A y$ 成立。这个性质称为阿基米德性质。

【定理】每一个阿基米德序群结构 (X, A, \circ) 都可以同态映射到 $(R, >, +)$ 这个特殊的序群结构。

【定理】设 X 是一个非空集合， A 是一个二元关系，“ \circ ”是一个二元运算， f 是 $X \rightarrow R$ 的一个映射，满足 $x A y \Leftrightarrow f(x) > f(y)$ ， $f(x \circ y) = f(x) + f(y)$ ，则 $(X, A, \circ) \xrightarrow{f} (R, >, +)$ 是一个正规表示，且 f 是比例型尺度。

2.2.3 区间型指标度量

设 X 是考虑对象的全体， D 是 X 上的四元关系， $xyDuv$ 表示 x 与 y 的差异比 u 与 v 的差异大，如果 f 是度量函数，那么就有 $xyDuv \Leftrightarrow f(x) - f(y) > f(u) - f(v)$ 。

【定理】若 X 上的四元关系 $(x, y) D (s, t)$ 满足：

(1) $(X \times X, D)$ 是一个严格的弱序关系系统，即对 X 中 x_1, x_2, x_3, x_4 ， $(x_1, x_2) D (x_3, x_4)$ 是一个严格弱序。这里 D 是 $X \times X$ 上的二元关系，所以它是 $X^2 \times Y^2$ 中的子集。

(2) 关系 D 满足：若 $(x, y) (s, t)$ ，则 $(t, s) (y, x)$ 。

(3) 对于关系 D 引导出一个关系 W ： $(x, y) W (x', y') \square (x, y) D (x', y')$ 或 $(x, y) E (x', y')$ 。关系 E 的定义是： $(x, y) E (x', y') \square ((x, y), (x', y')) \notin D$ ，且 $((x', y'), (x, y)) \notin D$ ，那么， W 具有传递性。

(4) 对 X 中, 若有 $(a, b) W(s, t)$ 且 $(s, t) W(x, x)$, 则存在 X 中的 u, v , 使得 $(a, u) E(s, t)$, $(b, v) E(s, t)$ 都成立。

(5) X 中每一个严格有界标准序列都是有限的。

则存在一个定义在 X 上的函数 $f(x)$, 使得对 X 中的 x, y, s, t , 有

$$(x, y) D(s, t) \square f(x) - f(y) > f(s) - f(t)$$

当 $y=t$ 时, $f(x)-f(y)>f(s)-f(t)$ 就演变成 $f(x)-f(y)>f(s)-f(y)$ 。如果在度量中选取同样的一个基点 y , 那么, 上面的关系也是一种序型关系, 这说明区间型指标是比序型指标高级的度量类型。

2.3 联合度量理论

表示定理解决了单个指标的度量问题。但在实际中, 往往需要多个指标进行评价才能真实反映评价对象, 也即系统评价。

在关系系统 $(X_i, A_i), i=1, 2, \dots, n$ 上各自有表示关系 A_i 的度量函数 f_i ,

$$x_i A_i y_i \Leftrightarrow f_i(x_i) \geq f_i(y_i)$$

在乘积空间 $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ 上存在函数 F 满足 $x_i A_i y_i, i=1, 2, \dots, n$ 的充分必要条件为:

$$F(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)) > F(f_1(y_1), f_2(y_2), \dots, f_n(y_n))$$

此时 F 就是联合度量函数。

2.3.1 关系的独立性

设 $X_1 \times X_2$ 上有关系 A , 如果对每个 $x, y \in X_1, u, v \in X_2$ 有 $(x, u) A (x, v) \Leftrightarrow (y, u) A (y, v)$,

则称 A 对第一个分量独立。同样, 若 $(x, u) A (y, u) \Leftrightarrow (x, v) A (y, v)$ 成立, 则称 A 对第二个分量独立。如果 A 对两个分量都独立, 则称 A 具有独立性。

独立性的意义是关系 A 可以导出 X_1 上的关系 A_1 和 X_2 上的关系 A_2 。

对于 n 元, 设 $\Omega = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, Θ 为 Ω 的非空真子集, $\bar{\Theta}$ 是其补集, $Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, 令 Y_Θ 和 $Y_{\bar{\Theta}}$ 分别为 Θ 和 $\bar{\Theta}$ 的乘积空间, 则任意的 Y 中的元素可以表示成 $(y_\Theta, y_{\bar{\Theta}})$,

其中 $y_\Theta, y_{\bar{\Theta}}$ 分别是 Y_Θ 和 $Y_{\bar{\Theta}}$ 中相应的元素, Y 上有关系 A , 对于任意非空子集 Θ 和 $\bar{\Theta}$, 对所

有的 $y_\Theta^0, y_{\bar{\Theta}}^0 \in Y_{\bar{\Theta}}, y_\Theta', y_{\bar{\Theta}}'' \in Y_\Theta$,

$$(y_\Theta', y_{\bar{\Theta}}^0) A (y_\Theta'', y_{\bar{\Theta}}^0) \Leftrightarrow (y_\Theta', y_{\bar{\Theta}}) A (y_\Theta'', y_{\bar{\Theta}})$$

成立, 则称 A 是独立的。

2.3.2 关系的等位性

依据关系的独立性, 可以由关系 A 导出 X_1 上的关系 A_1 和 X_2 上的关系 A_2 , 由 A_1 和 A_2 又可以定义两个关系 S_1 和 S_2 , 对任意的 $x, y \in X_1, u, v \in X_2$, 定义

$$x S_1 y \Leftrightarrow (y, x) \notin A_1, u S_2 v \Leftrightarrow (v, u) \notin A_2,$$

等位性描述了 A_1 和 A_2 给出的各自集合内的“区间”长度是一致的, 给出了 X_1 与 X_2 关系结构的相似性。这种“区间”长度用关系 J_1 和 J_2 来描述:

$xJ_1y \Leftrightarrow xA_1y$ 且对任意给定的 $z \in X_1$, 使 zS_1x 或 yS_1z 有一个成立, 而且只有一个成立;

$uJ_2v \Leftrightarrow uA_2v$ 且对任意给定的 $w \in X_2$, 使 wS_1u 或 vS_1w 有一个成立, 而且只有一个成立。

J_1 和 J_2 表示了 A_1 和 A_2 关系中的一个“区间”。

A 的等位性: 若 $X_1 \times X_2$ 上的一个关系 A 是等位的, 对于任意的 $x, y \in X_1$, $u, v \in X_2$, 当且仅当 xJ_1y 或 $uJ_2v \Leftrightarrow (x, u)E(y, v)$, 其中 E 是由关系 A 定义的等价关系。

2.3.3 联合度量函数的分解

【定义】设 $(X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n, A)$ 是乘积空间上的关系系统, 如果 A 表示 F 具有性质: 存在定义在 X_i 上的实值函数 f_i , 使得

$$xAy \Leftrightarrow F(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)) > F(f_1(y_1), f_2(y_2), \dots, f_n(y_n))$$

对 $X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n$ 上关系 A 成立, 则称 A 是可分解的, 也说关系系统是可分解的。其中 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n$ 。

【定理】设 $(X_1 \times X_2, A)$ 是严格弱序系统, X_1, X_2 的元素个数都有限, A 是独立且等位的, 则在 X_i 上存在 $f_i: X_i \rightarrow R$, 使得对 $x_i, y_i \in X_i, i=1, 2$, 有

$$(x_1, x_2) A (y_1, y_2) \Leftrightarrow f_1(x_1) + f_2(x_2) > f_1(y_1) + f_2(y_2)$$

并且在线性变换下, f_1, f_2 还是唯一的。

【定理】设 $(X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n, A)$ 是可分解的, 且联合度量函数 F 对每个变量都是 1-1 映射, 那么 $(X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n, A)$ 是一个严格弱序, 并且它等价类形成的简化具有可数的序稠密子集。这个命题的逆命题也成立。

2.4 系统评价的数学模型

2.4.1 系统评价函数

系统评价, 就是通过一定的数学模型将多个评价指标值合成为一个整体性的综合评价值。各子系统的运行状况可以用一个向量 X 表示, 其中每一个分量都从某一个侧面反映系统在某阶段或时刻的发展状况, 因此 X 称为系统的状态向量, 它构成了系统评价指标体系。

评价对象是一个由 m 个子系统构成的系统, 第 i 子系统的状态向量可以表示为:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T, i=1, 2, \dots, m$$

系统的综合评价函数则为:

$$y_i = F(W, X_i), i=1, 2, \dots, m$$

其中 n 表示描述系统状态的分量个数 (指标数); $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为参数向量, 也叫指标权重向量。

评价函数的值域一般为实数集。

2.4.2 评价函数的选择

评价指标值通过评价函数合成为一个实数值, 常用的合成方法有线性加权法、几何加权法和距离加权法。

2.4.2.1 线性加权评价函数

线性加权评价函数用线性函数表示:

$$y = F(W, X) = \sum_{i=1}^m w_i x_i$$

其中 y 是联合度量值； x_i 为第 i 个评价指标度量值， $i=1,2,\cdots,m$ ； w_i 为权重系数，一般情况下， $0\leq w_i\leq 1$ ， $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

线性加权评价函数具有如下特点：

(1) 独立性。适用于各评价指标相互独立的场合，可以通过加和的形式将各独立评价指标值合成系统状态值。若各指标存在相关性，则不适宜于采用加和方式，否则，加和的结果会出现信息重复，不能真实反映系统状态。

(2) 补偿性。线性加权评价函数可以使各评价指标间得以线性地补偿，即某指标值下降，可以由另一些指标值上升来补偿。任一指标值的增减，可用另一些指标值的减少或增加来维持系统综合评价水平的不变。

(3) 敏感性。当权重系数预先给定时，评价函数对区分各评价对象之间的差异不敏感，且突出了指标值或权重值较大者的作用。

(4) 易用性。线性加权评价函数对于无量纲指标数据没有特殊要求，计算量小，便于普及推广。

2.4.2.2 几何加权评价函数

几何加权评价函数为：

$$y = F(W, X) = \prod_{i=1}^m x_i^{w_i}$$

其中 y 是联合度量值； x_i 为第 i 个评价指标度量值， $i=1,2,\cdots,m$ ； w_i 为权重系数，一般情况下， $0\leq w_i\leq 1$ ， $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

几何加权评价函数来源于线性加权评价函数的变形，若对几何加权评价函数取对数，则：

$$\ln y = \sum_{i=1}^m w_i \ln(x_i)$$

几何加权评价函数有如下特点：

(1) 一致性。几何加权评价函数强调的是各评价对象无量纲指标值大小的一致性，突出评价指标值中较小者的作用。指标值越小，对系统评价结果作用越大，“木桶原理”也可以用这种方式来解释。

(2) 敏感性。在几何加权评价函数中，指标权重系数的作用不如线性加权函数敏感，有利于体现不同评价对象之间的差异。

(3) 基于指数函数的性质，几何加权评价函数要求无量纲指标值大于或等于 1。

(4) 与线性加权函数相比，计算上要复杂些。现代计算工具的发展，实现起来并不比线性加权函数复杂多少。

2.4.2.3 距离加权评价函数

设定一个理想的（或最差的）系统状态或样本点值 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ，根据评价对象的状态或样点值 (x_1, x_2, \dots, x_n) 与理想值存在的“距离”来对评价对象进行评价。这种评价方法称为逼近样本点或理想点的排序方法（TOPSIS, The technique for order preference by similarity to ideal solution），简称理想点法。距离加权型评价函数表示为：

$$y_j = F(W, X_j) = \sum_{i=1}^n w_i f(x_{ij}, x_i^*)$$

其中 y_j 为第 j 个系统的联合度量值; x_{ij} 是第 j 个系统第 i 个评价指标的度量值, $i=1,2,\cdots,n$, $j=1,2,\cdots,m$; w_i 是评价指标的权重系数, 一般情况下, $0 \leq w_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; $f(x_{ij}, x_i^*)$ 为第 j 个系统第 i 个评价指标的度量值与相信理想值的距离, 通常用欧氏加权距离 $f(x_{ij}, x_i^*) = (x_{ij} - x_i^*)^2$ 表示。

3. 层次分析法

在评价过程中, 各指标权重的确定是关键。评价涉及到多截面、多指标, 截面与指标之间、截面之间及指标之间的交互作用过程永远是一个灰色系统, 是确定性和随机性的统一。这里采用层次分析方法 (AHP, Analytical Hierarchy Process) 确定指标权重。AHP 法是基于系统论中的“层次性原理”创建起来的, 将众多复杂因素分解成若干相互联系的有序层次, 使之条理化, 针对某种事物, 就不同因素的相对重要性, 逐一进行两两对比判断, 把人的主观判断用数量的形式表达和处理, 定性分析、定量分析相结合确定不同因素的权重。

3.1 基本原理

3.1.1 递阶层次结构模型

层次分析法的采用先分解后综合的系统思想, 整理、综合人们的主观判断, 将所要分析的问题层次化, 根据问题的性质和要达到的总目标, 将问题分解成不同的组成因素, 按照因素间的相互关系及隶属关系, 将因素按不同层次聚集组合, 形成一个多层分析结构模型, 最终归结为最低层 (方案、措施、指标等)、中间层 (准则层)、最高层 (总目标)。把实际问题转化为分析同层因素间相对重要程度的权重值或相对优劣次序的问题, 使定性分析与定量分析有机结合, 实现定量化决策。

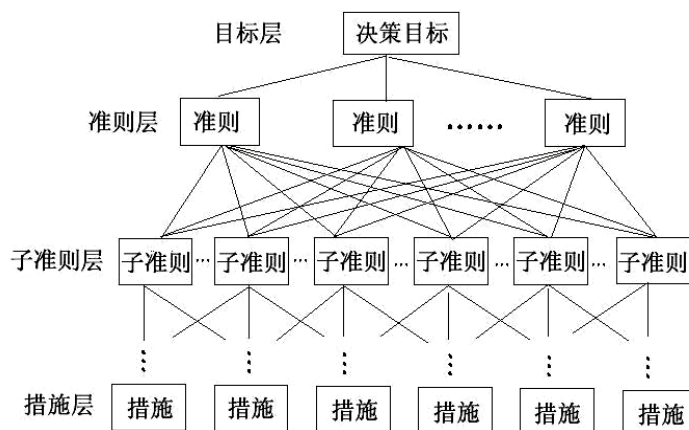


图 6-6 分层递阶结构模型的一般形式

3.1.2 相对重要性判断

理想状态下,对评价对象的评价是通过价值极大化进行的。实际上,对于复杂系统而言,许多指标是无法通过测量工具直接数量化的,为此,可以通过指标内不同元素间的两两比较,采用“你认为元素*i*和*j*之间,哪一个更为重要,或者哪一个有更大的影响?”、“*i*和*j*相比,你更愿意哪一个发生?”、“*i*和*j*相比,你更喜欢哪一个?”3个询问中1个,对照“相对重要性比例标度”获得各元素相对重要性判断值。

表 6-3 相对重要性比例标度 (郝海、踪家峰, 2007)

标度值	a_{ij} 的取值	
	定义	解释
1	表示元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 同样重要	对于目标而言,两个元素的贡献是等同的
3	<i>i</i> 与 <i>j</i> 相比,前者比后者稍重要	经验和判断稍微偏爱其中一个元素
5	<i>i</i> 与 <i>j</i> 相比,前者比后者明显重要	经验和判断明显偏爱其中一个元素
7	<i>i</i> 与 <i>j</i> 相比,前者比后者强烈重要	对其中一个元素强烈地偏爱
9	<i>i</i> 与 <i>j</i> 相比,前者比后者极端重要	对其中一个元素的偏爱极端的
2,4,6,8	介于上述相邻判断的中间值	
性质	$a_{ij}>0, a_{ij} \times a_{ji}=1, a_{ii}=1$	

设有 n 个评价元素 A_1, A_2, \dots, A_n , 确定一个评价准则, 将各元素两两比较, 就可以获得一个相对重要性的数值 a_{ij} , 组成一个 n 阶矩阵:

$$(a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

显然, a_{ij} 具有如下性质: $a_{ij}>0, a_{ij} \times a_{ji}=1, a_{ii}=1$ 。

3.1.3 单准则下的排序

设有某评价指标有 n 个评价元素, 这 n 个评价元素的评价值 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 不能直接获得, 只能通过两两比较获得比较相对值 a_{ij} :

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

由此可以得到相对值矩阵 A :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_i}{w_j} \end{pmatrix} = (a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

显然, 下式成立:

$$A \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

即 $Aw=nw$ 或 $(A-nI)w=nw$ 。这是一个齐次线性方程，它有解的充要条件是 $|A-nI|=0$ 时，即 n 为 A 的一个特征值，其值为主对角线元素之和：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{tr } A = n, \text{ 也即 } \lambda_{\max}=n。$$

上述方程转换为 $Aw=\lambda_{\max}w$ ，当 A 是一致，存在最大特征值 λ_{\max} 时，可以解得 w 。
 为了考察评价的可靠性与一致性，建立一个一致性指标 CI 来判断矩阵 A 的一致性：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

【定理】设 λ_{\max} 为正互反矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 的最大特征值，则必有 $\lambda_{\max} \geq n$ ，其中等式当且仅当 A 为一致性矩阵时成立。

一般来说，随着矩阵阶数增加，判断一致性难度也增加。一致性指标 CI 与判断矩阵的阶数有关，判断矩阵阶数不同， CI 可接受的临界值也不同。为了获得统一的一致性检验可接受的临界值，需要引入并定义平均随机一致性指标 RI 。

【定义】（1）从数集 $S = \left\{1, 2, \dots, 9, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}\right\}$ 中独立地随机取数 $\frac{n(n-1)}{2}$ 次，用作 n 阶矩阵的上三角元素，构造随机正互反矩阵；（2）计算该随机矩阵的一致性指标 CI ；（3）重复上述步骤，以获得足够数量的样本，在计算 CI 的样本平均值。这个 CI 样本平均值就是平均随机一致性指标值 RI 。

表 6-4 阶数为 3~15 的 RI 值（仿郝海、踪家峰，2007）

阶数 n	CI 样本值		
	RI 值 (CI 平均值)	CI 最小值	CI 最大值
3	0.5149	0	3.2203
4	0.8931	0	2.8565
5	1.1185	0.1094	2.6763
6	1.2494	0.1712	2.5963
7	1.3450	0.3571	2.3197
8	1.4200	0.5190	2.1412
9	1.4616	0.5787	2.1221
10	1.4874	0.8569	2.0609
11	1.5156	0.9296	2.1173
12	1.5405	0.9781	2.0279
13	1.5583	0.8894	1.9917
14	1.58		
15	1.59		

当阶数 $n>2$ 时， CI 与 RI 之比为随机一致性比率 CR ：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当 CR 在 10% 左右时，可以认为判断矩阵具有满意的一致性，在某些情况下可以放宽到 20%，若超过此值，就要调整判断矩阵直至具有满意的一致性。

3.1.4 判断矩阵一致性调整

在实际评级工作中，很难一次就能构造出满足一致性要求的判断矩阵。不能满足一致性要求的原因主要有：①专家判断误差。这种原因可以通过多邀请一些专家来参与评价，克服其中的判断误差。②标度原因。1~9 的标度其实是不完备的，例如在对元素 i 、 j 两两比较中，把 a_{ij} 赋值为 5，并不一定就是准确地表示 i 是 j 的 5 倍，而仅仅只是代表优先序的含义。③判断信息冗余。实际上，对于 n 个元素，构造一致性矩阵只要做 $n-1$ 次比较即可，但是这样做就舍弃了两两比较的原则。之所以要进行两两比较，其目的就是集中专家从不同的角度反复比较，提供更多的信息，避免系统判断错误，这样，通过两两比较构造判断矩阵，就需要进行 $n(n-1)/2$ 次独立判断比较，以降低个别判断失误的影响，然而，这种必要的冗余信息，也增加了判断矩阵的不一致性。

在判断矩阵不一致性调整中，都是假设存在一个客观的、理想的、确定的专家判断矩阵，而且这个判断矩阵具有某种距离上的最优，也就是说，给定的矩阵已经排除了上述专家判断误差造成的一致性。

3.1.4.1 对数最小二乘法 (LISM)

设专家判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 存在一个一致性判断矩阵 $A^* = \begin{pmatrix} w_i \\ w_j \end{pmatrix}_{n \times n}$ ，其中

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \text{ 是排序向量, } D = \left\{ w \mid \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \right\}, e = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} \in R_+^n。$$

构造对数最小二乘法模型 $\min f(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\ln a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right)^2$ ， $w \in D$ ，于是，可以得到

排序向量 w

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{\frac{1}{n}}}, w = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}$$

再由 w 构建一致性判断矩阵 A^* 。

3.1.4.2 最小二乘法 (LSM)

定义扰动矩阵 E :

$$E = (\varepsilon_{ij})_{n \times n} = A - A^* = \begin{pmatrix} a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \end{pmatrix}_{n \times n}$$

构造最小二乘模型:

$$\min f(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right)^2, w \in D$$

构造一个典型的二次型问题来求解:

$$\begin{aligned}\min J &= z^T z \\ s.t. & Aw = nw + z \\ & w \in D\end{aligned}$$

显然 $z=(A-nI)w$, $e^T w=1$, 构造 Lagrange 函数:

$$L(w, \lambda) = z^T z + 2\lambda(e^T w - 1) = w^T [A-nI]^T [A-nI] w + 2\lambda(e^T w - 1)$$

求 $\frac{\partial L}{\partial w} = 0$, 得

$$[A-nI]^T [A-nI] w + \lambda e = 0$$

令 $H = [A-nI]^T [A-nI]$, 则

$$w = -\lambda H^{-1} e$$

左乘 e^T , 得

$$e^T w = -\lambda e^T H^{-1} e$$

$$\lambda = -\frac{1}{e^T H^{-1} e}$$

将 λ 代入, 得:

$$w = -\frac{H^{-1} e}{e^T H^{-1} e}$$

3.1.5 最大特征值 λ_{\max} 与特征向量 w 计算

常见方法有方根法、和积法、程序法等。

3.1.5.1 方根法

又叫几何平均法, 是一种较好的近似排序方法。这种方法首先把判断矩阵的每一行的各个元素连乘并开方得到相应的数, 这些数生成了一个列向量, 经过规范化后就得到了最大特征值 λ_{\max} 向量, 进而得到 λ_{\max} 。计算步骤如下:

(1) 计算判断矩阵 A 的各行各个元素乘积

$$\text{设 } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}, \text{ 则 } m_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

(2) 计算几何平均值, 即计算 n 次方根

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{m_i}$$

$$\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n \text{ 构成向量 } w = \begin{pmatrix} \bar{w}_1 \\ \bar{w}_2 \\ \cdots \\ \bar{w}_n \end{pmatrix}$$

(3) 对向量 w 规范化

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}, \text{ 得到特征向量 } w = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}$$

(4) 计算 λ_{\max}

$$v = (v_i) = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{w_i}$$

4.1.5.2 和积法

又叫规范列平均法。计算步骤为:

(1) 将判断矩阵 A 按列规范化, 得到 B

$$\text{设 } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \text{ 则 } B = (b_{ij})$$

(2) 按行求和, 得到 u

$$u_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}, \text{ 则 } u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$$

(3) 规范化 u , 得到 w

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}, \text{ 则 } w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$

(4) 计算 λ_{\max}

$$v = (v_i) = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{w_i}$$

3.1.5.3 程序法

通过软件计算。如 MATLAB。

3.1.6 群组评判中排序向量的计算

为了保证评价的科学化、民主化, 参与评价的往往是由一个庞大的专家团组成, 每一个参与评价的专家都会产生一个判断矩阵, 然后通过群组评判将专家的评价信息综合起来。在层次分析法中, 常用的群组评判方法有拓广优化算法、判断矩阵综合法、排序向量综合法。

3.1.6.1 拓广优化算法

(1) 拓广对数最小二乘法

构造对数最小二乘法模型

$$\min f(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\ln a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right)^2, \quad w \in D, \quad \lambda \in \Omega$$

求驻点, $\frac{\partial f(w)}{\partial w_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$, 规范化得:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n \prod_{l=1}^m a_{ijl}^{t_l} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n \left(\prod_{j=1}^n \prod_{l=1}^m a_{kjl}^{t_l} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

当加权向量诸分量相等时, 即 $t_l = \frac{1}{m}, \quad l = 1, 2, \dots, m$ 时, 上式简化为:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n \prod_{l=1}^m a_{ijl} \right)^{\frac{1}{mn}}}{\sum_{k=1}^n \left(\prod_{j=1}^n \prod_{l=1}^m a_{kjl} \right)^{\frac{1}{mn}}}$$

(2) 拓广最小二乘法

构造最小二乘模型:

$$\min f(w) = \sum_{i=1}^m t_l \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(a_{ijl} - \frac{w_i}{w_j} \right)^2 \right], \quad w \in D, \quad \lambda \in \Omega$$

构造二次型问题来求解排序向量:

$$\begin{aligned} \min J &= \sum_{l=1}^m t_l z_l^T z_l \\ \text{s.t. } A_l w &= n w + z_l \\ w &\in D, \lambda \in \Omega \end{aligned}$$

排序向量 w 为:

$$w = \frac{\left[\sum_{l=1}^m t_l (A_l - nI)^T (A_l - nI) \right]^{-1} e}{e^T \left[\sum_{l=1}^m t_l (A_l - nI)^T (A_l - nI) \right]^{-1} e}$$

3.1.6.2 判断矩阵综合法

(1) 加权几何平均法

【定义】矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 与 $B=(b_{ij})_{n \times n}$ 之“积”为 $C=(c_{ij})_{n \times n}$ ，“乘法”运算定义为 Hadamard 乘积，其中 $c_{ij}=a_{ij} \cdot b_{ij}$ ， $i,j=1,2,\cdots,n$ ，记为 $C=A \circ B$ 。

【定义】对于 n 阶判断矩阵 $A=(a_{ij})$ 及任意实数 λ ，定义 $A^\lambda = (a_{ij}^\lambda)$ 。

【定义】设 A_1, A_2, \cdots, A_m 是 m 个判断矩阵，若 $\lambda_i \in [0,1]$ ， $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ ，使

$$\bar{A} = A_1^{\lambda_1} \circ A_2^{\lambda_2} \circ \cdots \circ A_m^{\lambda_m}$$

则称 \bar{A} 为 A_1, A_2, \cdots, A_m 的一个 Hadamard 凸组合。

【定理】若 A_1, A_2, \cdots, A_m 是 m 个判断矩阵， \bar{A} 为 A_1, A_2, \cdots, A_m 的一个 Hadamard 凸组合，设 $\bar{\lambda}_{\max}$ 和 $CI(\bar{A})$ 分别是 \bar{A} 的最大特征值和一致性指标， $\bar{\lambda}_{\max}^k$ 和 $CI(\bar{A}_k)$ 分别是 \bar{A}_k 的最大特征值和一致性指标，则

$$\bar{\lambda} \leq \sum_{k=1}^m \lambda_k \bar{\lambda}_{\max}^k, \quad CI(\bar{A}) \leq \sum_{k=1}^m \lambda_k \cdot CI(A_k), \quad \lambda_k \in [0,1], \sum_{k=1}^m \lambda_k = 1$$

特别地，若 A_1, A_2, \cdots, A_m 是 m 个判断矩阵， $A_k = (a_{ij}^{(k)})$ ， $k=1,2,\cdots,m$ ，令 $B_k = (b_{ij}^{(k)})$ ， $b_{ij}^{(k)} = \log(a_{ij}^{(k)})$ ，由 A_k 为正互反矩阵知， B_k 为反对称矩阵，即 $b_{ij}^{(k)} + b_{ji}^{(k)} = 0$ ，采用等权几何平均

$$a_{ij}^* = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m a_{ij}^{(k)}}, \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$

求出 a_{ij}^* ，记 $A^* = (a_{ij}^*)$ ， $B^* = (b_{ij}^*)$ ， $b_{ij}^* = \log a_{ij}^*$ ，那么， A^* 为 A_1, A_2, \cdots, A_m 的一个 Hadamard 凸组合，即

$$A^* = A_1^{\frac{1}{m}} \circ A_2^{\frac{1}{m}} \circ \cdots \circ A_m^{\frac{1}{m}}, \quad \text{其中 } \frac{1}{m} \in [0,1], \sum_{k=1}^m \frac{1}{m} = 1$$

【定理】设 $D = (d_{ij})$ 是任一正互反矩阵， $B = (b_{ij})$ ， $b_{ij} = \log(d_{ij})$ ，那么，式

$$a_{ij}^* = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m a_{ij}^{(k)}}, \quad i, j = 1, 2, \cdots, n \text{ 的 } a_{ij}^* \text{ 是下列优化问题的最优解}$$

$$(\text{NLP}) \min y = \sum_{k=1}^m z_k$$

$$\text{其中 } z_k = \sum_{i,j=1}^n (\log d_{ij} - \log a_{ij}^*)^2 = 2 \times \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=i+1}^n [b_{ij}^k - b_{ij}^*]^2 \right\}, \quad k = 1, 2, \cdots, m。$$

这说明 A^* 是 A_1, A_2, \dots, A_m 的 Hadamard 凸组合中具有很好性质的凸组合, 它与 A_1, A_2, \dots, A_m 的距离达到取对数后距离的最优。

加权几何平均法具有较强的实用性, 它首先对各判断矩阵的元素进行处理并汇拢成一个综合判断矩阵, 然后计算评价对象的权重。

对判断矩阵 $A_l = (a_{ijl})_{n \times n}, l=1, 2, \dots, m$, 计算各个 A_l 相应元素的加权几何平均:

$$a_{ij} = \prod_{l=1}^m a_{ijl}^{t_l}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad \lambda = (t_1, t_2, \dots, t_m)^T \in \Omega$$

用以构造综合判断矩阵, 一般取 $t_l = t_1 = t_2 = \dots = t_m = \frac{1}{m}$ 。再根据判断矩阵排序向量的计算方法, 求出综合判断矩阵的排序向量。

这种综合法还应计算总体标准差

$$\delta_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^m (a_{ijl} - a_{ij})^2}{m-1}}$$

如对每一个 $\sigma_{ij}, i, j=1, 2, \dots, n$ 都小于实现给定的值 ε , 则认为这组判断矩阵是可以接受的。通常 $\varepsilon=[0.5, 1]$ 。

(2) 加权算术平均法

【定义】矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 与 $B=(b_{ij})_{n \times n}$ 之“和”为 $C=(c_{ij})_{n \times n}$, “加法”运算定义为 $A \oplus B \triangleq C$, 其中

$$\begin{aligned} c_{ij} &= a_{ij} + b_{ij}, \quad j \geq i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \\ c_{ij} &= c_{ji}, \quad j < i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

【定义】设 A_1, A_2, \dots, A_m 是 m 个判断矩阵, 若 $\lambda_i \in [0, 1], \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$, 使

$$\bar{A} = \lambda_1 A_1 \oplus \lambda_2 A_2 \oplus \dots \oplus \lambda_m A_m$$

则称 \bar{A} 为 A_1, A_2, \dots, A_m 的一个 Hadamard 凸组合。

特别地, 若 A_1, A_2, \dots, A_m 是 m 个判断矩阵, $A_k = (a_{ij}^{(k)})$, $k = 1, 2, \dots, m$, 采用等权算术平均

$$a_{ij}^* = \frac{\sum_{k=1}^m a_{ij}^{(k)}}{m}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

求出 a_{ij}^* , 记 $A^* = (a_{ij}^*)$, 那么, A^* 为 A_1, A_2, \dots, A_m 的一个 Hadamard 凸组合, 即

$$A^* = \frac{1}{m} (A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_m), \quad \text{其中 } \frac{1}{m} \in [0, 1], \sum_{k=1}^m \frac{1}{m} = 1$$

【定理】设 $D=(d_{ij})$ 是任一矩阵，那么，式 $a_{ij}^* = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^{(k)}}{m}$ ， $i, j=1, 2, \dots, n$ 的 a_{ij}^* 是下列优化问题的最优解

$$(NLP) \min y = \sum_{k=1}^m z_k$$

$$\text{其中 } z_k = \sum_{i,j=1}^n (d_{ij} - a_{ij}^{(k)})^2, \quad k=1, 2, \dots, m。$$

这说明 A^* 是 A_1, A_2, \dots, A_m 中 Hadamard 凸组合中具有很好性质的凸组合，它与 A_1, A_2, \dots, A_m 的某种距离达到最优。

对判断矩阵 $A_l=(a_{ijl})_{n \times n}, l=1, 2, \dots, m$ ，计算各个 A_l 相应元素的加权算术平均：

$$a_{ij} = \sum_{l=1}^n t_l a_{ijl}, \quad i, j=1, 2, \dots, n, \quad \lambda = (t_1, t_2, \dots, t_m)^T \in \Omega$$

用以构造综合判断矩阵。再根据判断矩阵排序向量的计算方法，求出综合判断矩阵的排序向量。此时，综合判断矩阵已失去其互反性。为了保持判断矩阵的互反性，对判断矩阵的上三角部分进行算术平均。

3.1.6.3 排序向量综合法

(1) 加权几何平均法

设判断矩阵 $A_l=(a_{ijl})_{n \times n}, l=1, 2, \dots, m$ 的排序向量为 $w_l=(w_{l1}, w_{l2}, \dots, w_{ln})^T, l=1, 2, \dots, m$ ，计算各排序向量相应分量的加权几何平均

$$\bar{w}_i = \prod_{l=1}^m w_{li}^{t_l}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad \lambda = (t_1, t_2, \dots, t_m)^T \in \Omega$$

将之规范化为 $w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}$ ，就得到综合排序向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

(2) 加权算术平均法

设判断矩阵 $A_l=(a_{ijl})_{n \times n}, l=1, 2, \dots, m$ 的排序向量为 $w_l=(w_{l1}, w_{l2}, \dots, w_{ln})^T, l=1, 2, \dots, m$ ，计算各排序向量相应分量的加权算术平均

$$\bar{w}_i = \sum_{l=1}^m t_l w_{li}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad \lambda = (t_1, t_2, \dots, t_m)^T \in \Omega$$

将之规范化为 $w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}$ ，就得到综合排序向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

3.1.7 层次总排序和层次一致性

(1) 层次的权数合成

在单准则排序的基础上，计算同一层次所有因素对于最高层（目标）的相对重要性的排序权值。称作层次的权数合成。这一过程是自上往下进行的。假设上一层 C 包含 m 个因素 C_1, C_2, \dots, C_m ，下一层 D 包含 n 个因素 D_1, D_2, \dots, D_n ，它们 (D_i) 对于上一层 C_j 的单准则排序权值用 b_{ij} 表示 ($i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$)。这时 D 层合成权重向量 $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)^T$ 由下式计算：

$$d_k = \sum_{j=1}^m b_{kj} c_j, \quad k=1, 2, \dots, n$$

即 $D=BC$, $B = (b_{ij})_{n \times m}$, $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)^T$ 。

同理，假设一个完全的层次结构共有 s 层，设第 k 层的元素数目为 $t_k, k=1, 2, \dots, s$ ，第 k 层的 t_k 个元素对总目标的权重向量 $w^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{t_k}^{(k)})$ ，第 k 层的 t_k 个元素对 $k-1$ 层第 j 元素的单准则排序权值分别为 $B_j^{(k)} = (w_{1j}^{(k)}, w_{2j}^{(k)}, \dots, w_{t_{k-1}j}^{(k)})$ ，并令

$$B^{(k)} = (B_1^{(k)}, B_2^{(k)}, \dots, B_{t_{k-1}}^{(k)})$$

由于最高层只有一个因素，规定 $B^{(1)} = (1)$ ，那么

$$w^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{t_k}^{(k)})^T = B^{(k)} B^{(k-1)} \dots B^{(2)} B^{(1)} = B^{(k)} B^{(k-1)} \dots B^{(2)}$$

若记最底层的各元素对目标层的合成权值向量为 w ，那么

$$w = B^{(s)} B^{(s-1)} \dots B^{(2)} B^{(1)} = B^{(s)} B^{(s-1)} \dots B^{(2)}$$

(2) 总层次一致性检验

假设一个递阶层次结构有 s 层，设第 k 层的元素数目为 $t_k, k=1, 2, \dots, s$ ，元素对总目标的权重向量 $w^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{t_k}^{(k)})$ ，设 $k-1$ 层 t_{k-1} 个元素对总目标的权重向量：

$$w^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{t_{k-1}}^{(k-1)})$$

若第 k 层相对于第 $k-1$ 层第 j 元素的一致性指标为 $CI_j^{(k)}$ ，平均随机一致性指标为 $RI_j^{(k)}$ ，

随机一致性比率 $CR_j^{(k)}$ ， $j=1, 2, \dots, t_{k-1}$ ，则第 k 层以上判断矩阵的整体一致性检验可按下式计算：

$$\begin{aligned} CI^{(k)} &= (CI_1^{(k)}, CI_2^{(k)}, \dots, CI_{t_{k-1}}^{(k)}) w^{(k-1)} \\ RI^{(k)} &= (RI_1^{(k)}, RI_2^{(k)}, \dots, RI_{t_{k-1}}^{(k)}) w^{(k-1)} \\ CR^{(k)} &= \frac{CI^{(k)}}{RI^{(k)}}, \quad k=3, 4, \dots, s \end{aligned}$$

如果 $CR^{(k)} < 0.1$ ，则认为层级结构模型在第 k 层以上的所有判断矩阵满足整体一致性。

在实际应用中，一般不进行整体一致性检验。这是由于专家在构建单准则下的判断矩阵难以对整体进行统筹考虑，很难满足整体一致性要求，而且当整体一致性不满足时，进行调整非常困难。

3.2 层次分析法基本步骤

(1) 明确问题，确定评价目标。

(2) 层次结构模型设计。这一阶段的目的，是设计一套具有层次结构的指标体系。指标体系是否合理，直接关系到层次分析法计算结果的质量，是层次分析法的关键。

层次结构模型设计过程，大致是一个从最高层（管理目标），通过中间层（判断准则）到最底层构成一个层次结构模型的过程。主要步骤包括：

明确评价目标。目标是关于评价对象所处状态的一般陈述，如企业的经济效益评价、学校三好学生的评选等。明确评价目标就是选定评价对象的评价因子，界定评价对象的边界，了解评价对象的环境。

研究评价对象的属性。属性是关于目标的框架结构，是对研究对象本质特征的概括。

建立评价指标体系。指标是关于对象属性的测度，是对象属性的具体化。

征询专家意见。以召开座谈会的形式，充分听取专家意见。

(3) 构建判断矩阵。构造一系列下层各因素对上一层准则的两两比较判断矩阵，建立各判断矩阵所需要的 $n(n-1)/2$ 判断。这一阶段是为了获取层次结构模型的分析判断矩阵，其中专家的判断是否客观实际，将对排序产生直接影响。通常，专家咨询需要进行两轮，在第一轮完成后，把计算结果及有争议的问题反馈给专家，开始第二轮咨询。为了获得科学可靠符合客观实际的判断矩阵，这一阶段关键是制定好专家咨询书和科学选聘专家。

制定专家咨询书。专家咨询书应该包括：①咨询目的；②指标体系的层次结构图，以及各项指标的含义；③设计专家咨询表，分层设计指标重要程度比较表；④咨询内容，填表方法；⑤注意事项，如等级选择的“单选性”（每栏只能选择一个等级），等级的“传递性”（ a 比 b 重要， b 比 c 重要，则 a 比 c 重要）；⑥其它，如对指标体系中不常见名词或容易混淆的名词进行注释等。

选聘专家。应力求所选择的专家组成的专家团成为视野开阔、集思广益的智囊团。主要从专家结构和专家素质两个方面考虑。①专家结构，包括学科结构和职业结构。学科结构应以本专业有关学科专家、系统科学、管理科学专家以及可能涉及到的法学、社会学专家等为主，兼顾相关学科专家。职业结构应包含学术机构、业务管理机构和企事业单位等专家。②专家素质，包括品德修养和业务水平，应该聘请国内外或本地区同行中知名度较高、学术造诣较深、社会责任感较强的专家。

(4) 排序向量的计算与判断矩阵的一致性检验。这一阶段的目的，是检验每个判断矩阵的质量，决定其取舍，计算其排序向量，求出合成权重向量。主要工作是计算各判断矩阵的最大特征值，计算一致性指标、已知性比率。

(5) 层次合成计算。

(6) 如果整个层次综合一致性通不过，就要对某些判断做适当的改善，如修改作成对比较时的提问。如果一定要修改问题结构，则需要回到第(2)步，不过只要对层次结构中的有问题部分作相应修改即可。

在层次分析中，为了得到比较有效的数值比较，一般要求判断矩阵阶数不超过 9，否则就容易产生不一致性。在某些评价问题里，方案数可能很大，这时可以对上一层的准则引入子准则（例如：高、中、低），并赋予一定的权属。对每一个方案，可以选定一个最适合的子准则，并记下这个子准则的权数，把所有方案的权数加起来，规范化就得到了方案对上一层准则的排序权数。

3.3 层次分析法的简化

3.3.1 权重的确定

假设有 n 个物体 A_1, A_2, \dots, A_n , 设这 n 个物体的量值分别为 w_1, w_2, \dots, w_n , 这些物体的量值两两进行比较为:

	A_1	A_2	\dots	A_n
A_1	w_1 / w_1	w_1 / w_2	\dots	w_1 / w_n
A_2	w_2 / w_1	w_2 / w_2	\dots	w_2 / w_n
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
A_n	w_n / w_1	w_n / w_2	\dots	w_n / w_n

以矩阵表示为:

$$A = \begin{pmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{pmatrix}$$

则 A 称为判断矩阵。若取重量向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 则有

$$AW = n \cdot W$$

于是 W 是判断矩阵 A 的特征向量, n 是 A 的一个特征值。

因此, 基本原理可以描述为, 如果有一组物体, 需要知道它们的量值, 而又没有量器, 那么, 就可以通过两两比较它们的相互量值, 得出每对物体量值比的判断, 从而构成判断矩阵。然后通过求解判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和它所对应的特征向量, 就可以得出这一组物体的相对量值。

在复杂的决策问题研究中, 对于一些无法度量的因素, 只要引入合理的度量标度, 通过构造判断矩阵, 就可以用这种方法来度量各因素之间的相对重要性, 从而为有关决策提供依据。

3.3.2 步骤的简化

(1) 递阶层次结构的建立与特点

应用层次分析法分析决策问题时, 首先要把问题条理化、层次化, 构造出一个有层次的结构模型, 在这个模型下, 复杂问题被分解为多元素的组成部分, 这些元素又按其属性及关系形成若干层次, 上一层次元素作为准则对下一层次有关元素起支配作用。这些层次可以分为三类:

最高层: 只有一个元素, 一般它是分析问题的预定目标或理想结果;

中间层: 包括了为实现目标所涉及的中间环节, 它可以由若干个层次组成, 包括所需要考虑的准则、子准则;

最底层: 包括了为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等。

上述层次之间的支配关系不一定是完全的, 即可以存在这样的元素: 它并不支配下一层次的所有元素, 而仅支配其中部分元素, 这种自上而下的支配关系所形成的层次结构我们称为递阶层次结构。

递阶层次结构中的层次数与问题的复杂程度以及需要分析的详尽程度有关。一般地, 层次数不受限制, 每一层次中各元素所支配的元素一般不要超过 9 个, 这是因为支配的元素过多会给两两比较带来困难。一个好的层次结构对于解决问题是极为重要的, 因而层次结构必

须建立在决策者对所面临的问题有全面深入认识基础上,如果在层次划分和确定层次元素间的支配关系上举棋不定,那么最好重新分析问题,弄清元素间相互关系,以确保建立一个合理的层次结构。

递阶层次结构是层次分析法中最简单也是最实用的层次结构形式。当一个复杂问题仅仅用递阶层次结构难以表示,这时就要用更复杂的形式,如内部依存的递阶层次结构、反馈层次结构等,它们都是递阶层次结构的扩展形式。

(2) 构造两两比较的判断矩阵

在建立递阶层次结构以后,上下层元素间的隶属关系就被确定了。假定以上层次元素 C 为准则,所支配的下一层次元素为 u_1, u_2, \dots, u_n , 目的是要按它们对于准则 C 的相对重要性赋予 u_1, u_2, \dots, u_n 相应的权重,当 u_1, u_2, \dots, u_n 对于 C 的重要性可以直接定量表示时,它们相应的权重可以直接确定,但对于大多数社会经济问题,特别是比较复杂的问题,元素的权重不容易直接获得,这时就需要通过适当的方法导出它们的权重,层次分析法所用的导出权重的方法就是两两比较的方法。

在这一步骤中,决策者要反复地回答问题,针对准则 C ,两个元素 u_i 和 u_j 哪一个更重要,重要程度如何?并按 1~9 的比例标度对重要性程度赋值:

- 1 表示两个元素相比,具有相同的重要性
- 3 表示两个元素相比,前者比后者稍重要
- 5 表示两个元素相比,前者比后者明显重要
- 7 表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
- 9 表示两个元素相比,前者比后者极端重要
- 2, 4, 6, 8 表示上述相邻判断的中间值

这样对于准则 C , n 个被比较元素通过两两比较构成一个判断矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

其中 a_{ij} 就是元素 u_i 与 u_j 相对于准则 C 的重要性比例标度。

若元素 u_i 与 u_j 的重要性之比为 a_{ij} , 那么元素 u_j 与 u_i 重要性之比为 a_{ij} 的倒数。显然,判断矩阵具有如下性质:

- ① $a_{ij} > 0$;
- ② $a_{ji} = a_{ij}^{-1}$;
- ③ $a_{ii} = 1$ 。

这样的判断矩阵 A 称为正互反矩阵。由于判断矩阵 A 所具有的性质,我们对于一个 n 个元素构成的判断矩阵只需给出其上(或下)三角的 $n(n-1)/2$ 个判断即可。

若判断矩阵 A 的元素具有传递性,即满足等式 $a_{ij}a_{jk}=a_{ik}$ 时,则 A 称为一致性矩阵。

(3) 权向量和一致性指标

通过两两成对比较得到的判断矩阵 A 不一定满足矩阵的一致性条件,于是找到一个数量标准来衡量矩阵 A 的不一致程度显得很必要。

设 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是 n 阶判断矩阵 A 的排序权重向量,当 A 为一致性矩阵时,显然有:

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{w_1} & \frac{1}{w_2} & \cdots & \frac{1}{w_n} \end{pmatrix}$$

这表明 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为 A 的特征向量，且特征根为 n ，也就是说，对于一致的判断矩阵来说排序向量 W 就是 A 的特征向量。反过来，如果 A 是一致的正互反阵，则有以下性质：

$$a_{ii} = 1, \quad a_{ij} = a_{ji}^{-1}, \quad a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik},$$

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \end{pmatrix}$$

因此

$$A \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix} n = n \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \\ a_{12}^{-1} \\ \vdots \\ a_{1n}^{-1} \end{pmatrix}$$

所以这表明 $W = (a_{11}^{-1}, a_{12}^{-1}, \dots, a_{1n}^{-1})^T$ 为 A 的特征向量，并且由于 A 是相对向量 W 关于目标 Z 的判断矩阵，则 W 为诸对象的一个排序。

另外，一致的正互反矩阵 A 还具有下述性质：

① A 的转置 A^T 也是一致的；

② A 的每一行均为任意指定的一行的正数倍数，从而 $R(A)=1$ ；

③ A 的最大特征根 $\lambda_{\max}=n$ ，其余特征根全为 0；

④ 若 A 的 λ_{\max} 对应的特征向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ，则 $a_{ij} = w_i / w_j$

由上述性质可知，当 W 是一致阵时， $\lambda_{\max}=n$ ，将 λ_{\max} 对应的特征向量归一化后记为：

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$

其中 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ， W 称为权向量，它表示了在目标 Z 中的权重。

关于正互反阵 A ，根据矩阵论的 Perron-Frobenius 定理，有如下结论：

若 A 是 n 阶正互反方阵， λ_{\max} 是 A 的模最大的特征根，则

① λ_{\max} 必为正的实特征根，且其对应的特征向量是正向量；

② A 的任何其它特征根 λ 恒有： $|\lambda| < \lambda_{\max}$ ；

③ $\lambda_{\max}=n$ 为 A 的单特征根，因而它所对应的特征向量除差一个常数因子外是唯一的。

据此，如果判断矩阵不具有有一致性，则 $\lambda_{\max} > n$ ，并且这时的特征向量 \mathbf{W} 就不能真实地反映 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 在目标 \mathbf{Z} 中所占比重。衡量不一致程度的数量指标叫做一致性指标，定义为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

由于，实际上 CI 相当于 $n-1$ 个特征根（最大的除外）的平均值。显然，对于一致性正互反矩阵来说， $CI=0$ 。

但是，仅依 CI 值作为判断矩阵 \mathbf{A} 是否具有满意一致性的标准是不够的，因为人们对客观事物的复杂性和认识的多样性，以及可能产生的片面性跟问题的因素多少、规模大小有关，即随着 n 值（1~9）的增大，误差增大，为此，引进了平均随机一致性指标 RI 。对于 $n=1 \sim 11$ ，平均随机一致性指标 RI 可以简化为：

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

定义 CR 为一致性比率，则

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.10$ 时，则称判断矩阵具有满意的一致性，否则就需要调整判断矩阵，使之具有满意的一致性。

（4）层次分析法的计算

层次分析法计算的根本问题是如何判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量，下面给出最大特征根与特征向量精确计算和近似计算的方法。

①将判断矩阵的每一列归一化：

$$\overline{a_{ij}} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

②归一化后的矩阵按行相加：

$$\overline{w_i} = \sum_{j=1}^n \overline{a_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

③对向量归一化，即

$$w_i = \frac{\overline{w_i}}{\sum_{j=1}^n \overline{w_j}}$$

则为所求特征向量。

④计算判断矩阵的最大特征根：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(\overrightarrow{Aw})_i}{nw_i}$$

式中 $(\overrightarrow{Aw})_i$ 表示向量的第 i 个元素。

（5）层次分析法的总排序

计算同一层次所有因素对于最高层（总目标）相对重要性的排序权值，称为层次总排序，这一过程是最高层次到最低层次逐层进行的，若上一层次 **A** 包含 k 个因素 A_1, A_2, \dots, A_k ，其层次总排序的权值分别为 a_1, a_2, \dots, a_k ，下一层次 **B** 包含 m 个因素 B_1, B_2, \dots, B_k ，对于因素 B_j 的层次单排序的权值分别为 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}$ （当 B_k 与 A_j 无关时，取 a_{kj} 为 0），此时 **B** 层次的总排序的权值为：

层次 A	A_1	A_2	\dots	A_k	B 层次总排序数值
层次 B	a_1	a_2	\dots	a_k	
B_1	b_{11}	b_{12}	\dots	b_{1k}	$\sum_{j=1}^k a_j b_{1j}$
B_2	b_{21}	b_{22}	\dots	b_{2k}	$\sum_{j=1}^k a_j b_{2j}$
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
B_m	b_{m1}	b_{m2}	\dots	b_{mk}	$\sum_{j=1}^k a_j b_{mj}$

这一过程是从高层到低层进行的，如果 **B** 层次某些因素对于 A_j 单排序的一致性指标为 CI_j ，相应地平均随机一致性指标为 RI_j ，则 **B** 层次总排序一致性比率为

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^k a_j CI_j}{\sum_{j=1}^k a_j RI_j}$$

类似地，当 $CR < 0.10$ 时，认为判断矩阵具有满意的一致性，否则就需要调整判断矩阵的元素取值，使之具有满意的一致性。

4. 模糊综合评价法

在实际评价中，评价对象往往具有复杂性、多因素性、不确定性、信息不充分性以及人的思维的模糊性，普通评价手段很难对评价对象作出客观的判断，尤其是有些指标难以统一量化，往往需要采纳专家意见进行排序分级，以便进行综合定量计算。在专家判断过程中，如果仅以优、良、中、差几个等级度量各个指标因素，就会产生较大的结果误差，这是由于不同的专家认识存在差异造成的。因此，对专家打分要有一定的容许度，以平衡专家的判断信息，减少对评价指标体系度量的困难性和评价过程中的人为因素误差。模糊数学的隶属度在度量这些定性指标上具有无可比拟的优越性，模糊综合评价方法可以对此做出较为客观的评价。

4.1 模糊数学基础

4.1.1 基本定义

【定义】设 A 是论域 U 中的一个子集，对任意的 $x \in U$ ，令

$$C_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

则称 $\lambda_A(x)$ 为集合 A 的**特征函数**。

集合 A 的特征函数 $\lambda_A(x)$ 表示了 x 对 A 的隶属程度，简称**隶属度**。在普通集合中，隶属度只能取值 0 或 1。而对于模糊集合而言，其取值范围可以为 $[0,1]$ 。

【定义】设给定论域 U ， U 到 $[0,1]$ 的任一映射 $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$ ， $u \rightarrow \mu_A(u)$ 都确定了 U 上的一个模糊集合。为了和普通集合相区别，习惯上成为**模糊子集**，简称模糊集，记作 \underline{A} 。
 U 上的全体模糊子集称为**模糊幂集**，记作 $F(U)$ ，这里的 μ_A 叫做 A 的**隶属函数**， $\mu_A(u)$ 叫做对 A 的**隶属度**，也记作 $\underline{A}(u) @ \mu_A(u)$ ，如下图 7-9 所示。

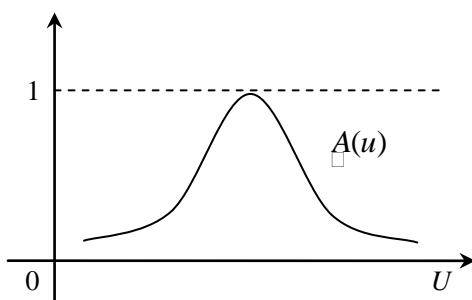


图 6-7 模糊子集 \underline{A} 的隶属函数（仿郝海、踪家峰，2007）

模糊子集 \underline{A} 完全由其隶属函数所刻画，特别地，当 $\mu_A(u)$ 的值域仅取两个值 0 或 1 时， \underline{A} 便退化为普通子集，隶属函数也退化为特征函数。由此可见，普通集合是模糊集合的特殊情况，模糊集合是普通集合的推广。这样，对于论域 U 的一个元素 u 和 U 上的一个模糊子集 \underline{A} ，不是简单的 u 属于或不属于 A ，而是 u 在多大程度上属于 \underline{A} ， $\mu_A(u)$ 正是对 u 属于 \underline{A} 的程度度量。

4.1.2 模糊集的表达

模糊集几何表示可用上图 7-9 形式表示，从图中可以看出，隶属度函数曲线 $\underline{A}(u)$ 就是模糊集 \underline{A} 的表示形式，即对论域 U 上的每一点 u ，其函数值 $\underline{A}(u)$ 就表示为元素 u 属于模糊集 \underline{A} 的程度，一般用 $\frac{\underline{A}(u)}{u}$ 表示。通常把定义在论域 U 上的模糊集 \underline{A} 记作 $\int_u \frac{\underline{A}(u)}{u}$ ，其中积分符号不表示积分或求和的含义，而是表示各元素与其隶属度对应关系的总括。当 U 为有限集 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 时，通常有 3 种表示法：

(1) Zadeh 表示法

$$\underline{A} = \frac{\underline{A}(u_1)}{u_1} + \frac{\underline{A}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\underline{A}(u_n)}{u_n}$$

(2) 序偶表示法

$$\underline{A} = \{[\underline{u}_1, \underline{A}(\underline{u}_1)], [\underline{u}_2, \underline{A}(\underline{u}_2)], \dots, [\underline{u}_n, \underline{A}(\underline{u}_n)]\}$$

(3) 向量表示法

$$\underline{A} = (\underline{A}(\underline{u}_1), \underline{A}(\underline{u}_2), \dots, \underline{A}(\underline{u}_n))$$

4.1.3 模糊集的运算

(1) 包含与相等

【定义】设 $\underline{A}, \underline{B}$ 是论域 U 上的两个模糊集，对于 U 中的每一个元素 x ，都有 $\mu_{\underline{A}}(x) \geq \mu_{\underline{B}}(x)$ ，则称 \underline{A} 包含 \underline{B} ，记作 $\underline{A} \supset \underline{B}$ 。如果 $\underline{A} \supset \underline{B}$ 且 $\underline{A} \subset \underline{B}$ ，则称 $\underline{A} = \underline{B}$ 。

(2) 并、交、补运算

【定义】设 $\underline{A}, \underline{B}$ 是论域 U 上的两个模糊集， $\underline{A} \cup \underline{B}, \underline{A} \cap \underline{B}, \underline{A}^C$ 的隶属函数分别是 $\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}, \mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}, \mu_{\underline{A}^C}$ ，对于 U 中每一个元素 x 有：

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \vee \mu_{\underline{B}}(x)$$

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \wedge \mu_{\underline{B}}(x)$$

$$\mu_{\underline{A}^C}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x)$$

分别称其为 \underline{A} 与 \underline{B} 的并集、交集和补集，其中“ \vee ”表示两个隶属度中取最大，“ \wedge ”表示两个隶属度中取最小，“ \vee ”与“ \wedge ”称为 Zadeh 算子。

利用模糊集表示法，有：

$$\begin{aligned} \underline{A} \cup \underline{B} &= \int_x \frac{\mu_{\underline{A}}(x) \vee \mu_{\underline{B}}(x)}{x} \\ \underline{A} \cap \underline{B} &= \int_x \frac{\mu_{\underline{A}}(x) \wedge \mu_{\underline{B}}(x)}{x} \\ \underline{A}^C &= \int_x \frac{1 - \mu_{\underline{A}}(x)}{x} \end{aligned}$$

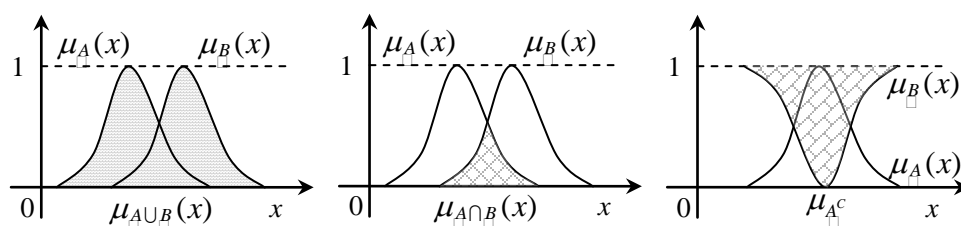


图 6-8 模糊集的运算（仿郝海、踪家峰，2007）

模糊集的运算可以推广到任意指标集 T 的情形：

$$\bigcup_{t \in T} A_t @ \bigvee_{t \in T} \mu_{A_t}(x)$$

$$\bigcap_{t \in T} A_t @ \bigwedge_{t \in T} \mu_{A_t}(x)$$

其中 $\bigvee = \sup$ ，表示上确界或最小上界； $\bigwedge = \inf$ ，表示下确界或最大下界。

(3) 模糊集的运算性质

由于模糊概念不具备“非此即彼”性，因此，模糊集运算不具备互补律性质

($A \cap A^c \neq \emptyset, A \cup A^c \neq U$)，除此外，与普通集合运算性质类似：

①交换律

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A$$

②结合律

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

③分配律

$$(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C)$$

$$(A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$$

④两极律

$$A \cup \emptyset = A$$

$$A \cap \emptyset = \emptyset$$

$$A \cup U = U$$

$$A \cap U = A$$

⑤还原律

$$(A^c)^c = A$$

⑥对偶律

$$(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$$

$$(A \cap B)^c = A^c \cup B^c$$

4.1.4 λ 截集和分解定理

4.1.4.1 λ 截集

若给模糊集一个确定的阈值，如 $\lambda=0.3$ ，则模糊集的各元素就分成了“非此即彼”的两种情况：要么元素的隶属度大于等于 0.3，要么元素的隶属度就小于 0.3，于是，就诱导出了 λ 意义上的普通集。

【定义】设论域 U 上的一个模糊集 A ，对 $[0,1]$ 上的任意实数 λ ，称

$$A_\lambda = \{x \mid x \in U, \mu_A(x) \geq \lambda\}$$

为模糊集 A 的 λ 截集, λ 叫做置信水平。

显然, λ 截集 A_λ 是普通集合, A_λ 的特征函数为

$$C_{A_\lambda} = \begin{cases} 1, & \mu_A(x) \geq \lambda \\ 0, & \mu_A(x) < \lambda \end{cases}$$

于是, 可以认为模糊集 A 的隶属函数 $\mu_A(x)$ 通过 λ 截集转化为普通集合的特征函数。

【定义】 称 $A_1 = \{x | x \in U, \mu_A(x) = 1\}$ 为 A 的核, 记为 $\ker A$; 称 $A_0 = \{x | x \in U, \mu_A(x) > 0\}$ 为 A 的支集, 记为 $\text{supp } A$; 称 $A_0 - A_1$ 为 A 的边界, 记为 $b(A)$ 。

$\ker A$ 是模糊集 A 中隶属度为 1 的元素构成, 即由完全属于 A 的元素构成。随着 λ 由 1 向 0 逐渐变化, A_λ 从 A_1 出发不断扩展, 收进的元素越来越多, 达到 $\text{supp } A$ 。 $\text{supp } A$ 是隶属度大于 0 的元素的集合, 边界 $b(A)$ 则是介于完全属于 A 与完全不属于 A 的元素全体, 称之为 A 的“灰色”地带。

4.1.4.2 分解定理

【定义】 设 A 是论域 U 的一个模糊集合, $\lambda \in [0, 1]$, 由 λ, A 构造一个新的模糊集, 记为 λA , 其隶属函数 $\mu_{\lambda A}(x) = \lambda \wedge \mu_A(x)$, 称为数 λ 与模糊集 A 的数乘。特别地, 当 A 为普通集合时, $\mu_{\lambda A}(x) = \lambda \wedge C_A(x)$ 。

【分解定理】 设 A 是 U 的一个模糊集, 则 $A = \bigcup_{\lambda \in [0, 1]} \lambda A_\lambda$ 。

这个定理告诉我们, 任取 $\lambda \in [0, 1]$, 可将模糊集切割成 A_λ , 而将所有 A_λ 拼凑起来, 就还原成 A 。

【推论】 已知模糊集 A 的各个 λ 截集 A_λ ($\lambda \in [0, 1]$), 那么, $\mu_A(x) = \sup\{\lambda | x \in A_\lambda, x \in U\}$ 。

对于给定的 $x \in U$, 任给 $\lambda \in [0, 1]$, 截集 A_λ 可能盖住 x , 即 $x \in A_\lambda$; 也可能没有盖住 x , 而 x 对 A 的隶属度 $\mu_A(x)$ 就是盖住 x 的 A_λ 所有对应的 λ 的“最高值”, 这就是分解定理的实质。

4.1.5 隶属函数的确定方法

隶属函数是在客观规律的基础上, 经过综合分析、加工改造得到一个从论域 U 到 $[0, 1]$ 上的映射, 是客观事物本质属性经人处理后的表现。

4.1.5.1 三分法

三分法是用随机区间的思想来处理模糊性的试验模型。假设 $A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}$ 分别为某属性的模糊概念的隶属函数（例如鸡蛋的小、中、大的隶属函数），论域 X （如果为鸡蛋的大小，则 $X=(0,100)$, 单位：克），每次模糊试验确定 X 的一次划分，每次划分确定一对数 (ξ, η) ， ξ, η 是将该模糊属性一分为三的中间两个分界点（例如 ξ 是小鸡蛋与中等大小鸡蛋的分界点 50 克， η 为中等大小鸡蛋与大鸡蛋的分界点 55 克），这样，就可以将模糊试验转化为二维随机变量 (ξ, η) 的随机试验，通过抽样调查，求得 ξ, η 的概率分布 $P_\xi(x)$ 与 $P_\eta(x)$ ，然后根据概率分布曲线图，求得隶属函数 $A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}$ 。

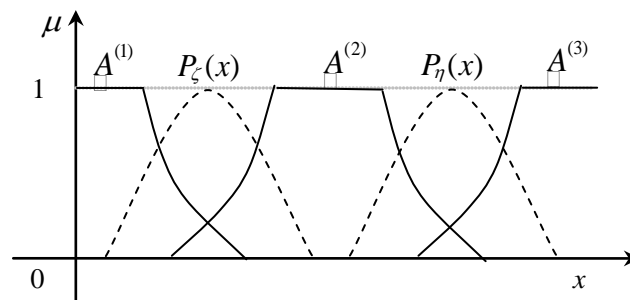


图 6-9 由概率分布确定模糊集的隶属函数（仿郝海、踪家峰，2007）

4.1.5.2 模糊分布

类似于概率统计，根据实际情况，选定某些带参数的函数表示某种类型的模糊概念的隶属函数（论域为实数 R ），然后通过实验确定参数。常用分布类型有矩形分布和梯形分布。

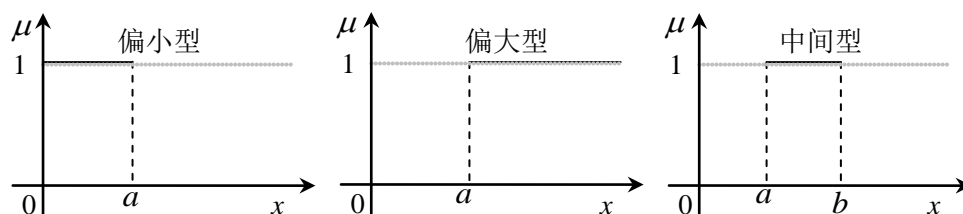
（1）矩形分布或半矩形分布

适合于确切概念。主要类型有偏小型、偏大型和中间型。

$$\text{偏小型: } A(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 0, & x > a \end{cases}$$

$$\text{偏大型: } A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 1, & x > a \end{cases}$$

$$\text{中间型: } A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 1, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$



6-10 矩形类模糊分布（仿郝海、踪家峰，2007）

(2) 梯形分布与半梯形分布
主要类型有偏小型、偏大型和中间型。

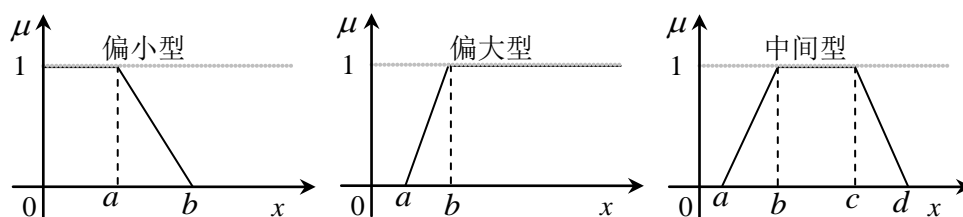


图 6-11 梯形类模糊分布 (仿郝海、踪家峰, 2007)

$$\text{偏小型: } \mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

$$\text{偏大型: } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}$$

$$\text{中间型: } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

其它一些复杂的模糊分布形式, 如曲线分布, 与无量纲化内容相近。

4.1.5.3 模糊统计法

设 $A \in F(U)$, 我们可以通过模糊统计试验确定 $u_0 \in U$ 对模糊集 A 的隶属度。模糊统计

试验应包括以下四个要素:

- ①论域 U ;
- ② U 中一个固定元素 u_0 ;
- ③ U 中一个随机变动集合 A^* ;
- ④ U 中一个以 A^* 作为弹性边界的模糊子集 A , 制约着 A^* 的变动。 A^* 可以覆盖 u_0 , 也可

以不覆盖 u_0 , 致使 u_0 对 A 的隶属关系是不确定的。

在各次模糊统计试验中, u_0 是固定的, 而 A^* 在随机变动。进行 n 次试验, 计算出 u_0 对 A^* 的隶属频率 f :

$$f = \frac{u_0 \in A^* \text{ 的次数}}{n}$$

随着 n 的增大, 隶属频率 f 呈现稳定性, 频率稳定值称为 u_0 对 A^* 的隶属度。

4.2 模糊关系

【定义】设 U, V 是两个论域， $U \times V$ 上任何一个模糊集合 $R \in F(U \times V)$ 都叫做 U 与 V 的模糊关系。即：

$$\begin{aligned}\mu_A: U \times V &\rightarrow [0,1] \\ (x, y) &\rightarrow \mu_A(x, y)\end{aligned}$$

其中， $\mu_A(x, y)$ 称为 x 与 y 具有关系 R 的关系强度。

(1) 模糊矩阵和模糊向量

【定义】设 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ， $V=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 都是有限论域， $U \times V$ 中模糊关系 R 可用一个 m 行 n 列矩阵表示，记作 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ， $i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, n$ ，其中 $r_{ij} = \mu_R(x_i, y_j)$ ， $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ，称 R 为模糊关系矩阵，简称模糊矩阵。

【定义】设有两个 m 行 n 列模糊矩阵 $R = (r_{ij})$ 和 $S = (s_{ij})$ ，则其并、交、补运算分别为：

$$\begin{aligned}R \cup S &= (r_{ij} \vee s_{ij}) \\ R \cap S &= (r_{ij} \wedge s_{ij}) \\ R^C &= (1 - r_{ij})\end{aligned}$$

【定义】成 $1 \times n$ 模糊矩阵 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ， $0 \leq a_j \leq 1, j=1, 2, \dots, n$ 为模糊行向量， $m \times 1$ 模糊矩阵 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$ ， $0 \leq a_i \leq 1, i=1, 2, \dots, m$ 为模糊列向量。

(2) 模糊关系合成

【定义】设 U, V, W 是三个论域， Q 是 U 到 V 的一个模糊关系， R 是 V 到 W 的一个模糊关系。模糊关系 Q 对 R 的合成是一个由 U 到 W 的模糊关系，它的隶属函数是

$$\mu_{Q \circ R}(x, z) = \bigvee_{y \in V} (\mu_Q(x, y) \wedge \mu_R(y, z))$$

这里 $x \in U, y \in V, z \in W$ 。

如果 R 是论域 U 到自身的模糊关系，则对自然数 n ，有

$$\begin{aligned}R^2 &= R \circ R \\ R^n &= R^{n-1} \circ R\end{aligned}$$

对于有限论域，模糊关系合成可以用模糊矩阵的运算来表示。

【定义】设 $Q = (q_{ij})_{n \times m}$ ， $R = (r_{jk})_{m \times l}$ ，则 $S = Q \circ R$ 中的元素为

$$s_{ij} = \bigvee_{j=1}^m (q_{ij} \wedge r_{jk}), \quad i=1,2,\dots,n; \quad k=1,2,\dots,l$$

S 叫做模糊矩阵 Q 对 R 的合成, 也称为 Q 与 R 的模糊乘积。

4.3 模糊综合评价数学模型

4.3.1 模糊变换

设 $R \in F(U \times V)$ 是给定的模糊关系, 则 R 唯一确定了一个从 U 到 V 的模糊变换:

$$T_R: F(U) \rightarrow F(V)$$

$$A \rightarrow A \circ R$$

其中 $R \in F(U \times V)$, 这里 $\mu_{A \circ R}(y) = \bigvee_{x \in U} (\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y))$ 。

它的意义是 U 上的一个模糊集 A , 可把它看作是 U 和某一模糊概念的模糊关系 A , 与 $U \times V$ 上的一个模糊关系 R 合成后, 得到了 V 上的一个模糊集 $A \circ R$ 。换言之, 就是 V 和这一模糊概念的模糊关系 $A \circ R$ 。借助于 $U \times V$ 上的一个模糊关系 R , 将 U 上的一个模糊评价集 A 转换成 V 上的一个模糊集 $A \circ R$, 从而获得 V 上的一个模糊评价结果。

特别地, 当 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $V=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 为有限论域时, A 是 V 上的一个模糊向量,

R 是 $U \times V$ 上的一个模糊矩阵, 那么, $A \circ R$ 就是两个模糊矩阵的合成。

设 $R = (r_{ij})_{n \times m}; 0 \leq r_{ij} \leq 1; i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 是 $U \times V$ 上的一个模糊矩阵, U 上的一个模糊向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T, 0 \leq a_i \leq 1, i=1, 2, \dots, n$, 把 A 看成 $1 \times n$ 的模糊矩阵, 按照模糊矩阵合成规则得到一个 $1 \times m$ 的模糊矩阵 $B = A \circ R$, 这里 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, 它是 V 上的模糊向量, 它的分量 $b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}), j=1, 2, \dots, m$ 。

4.3.2 模糊综合评价数学模型

模糊综合评价, 就是在模糊环境下, 考虑多种因素的影响, 为了某种目的, 对某一事物作出综合评价的方法。

设有两个论域 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和 $V=\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, 其中 U 为因素集, 代表综合评价的多种因素组成的集合, V 为评价集或评语集, 为多种判断构成的集合。一般情况下, 因素集中各因素对被评价事物的影响是不一致的, 所以各因素的权重分配是 V 上的一个模糊向量, 记作

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in F(U)$$

其中 a_i 表示 U 中第 i 个因素的权重，且满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。此外， m 个评语也非绝对肯定或否定，因此，综合后的评价可看作是 V 上的模糊集，记作

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m) \in F(V)$$

其中 b_i 表示第 i 种评语在评价总体 V 中所占的地位。

如果有一个从 U 到 V 的模糊关系 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ ，那么利用 R 就可以得到一个模糊变换 T_R ，

因此，便有如下结构的模糊综合评价数学模型：

- (1) 因素集 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ；
- (2) 评价集 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ ；
- (3) 构造模糊变换

$$T_R: F(U) \rightarrow F(V)$$

$$A \rightarrow A \circ R$$

其中， R 为 U 到 V 的模糊关系矩阵， $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

这样，由 (U, V, R) 三元体就构成了一个模糊综合评价数学模型。此时，若输入一个权重分配 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ，就可以得到一个综合评价 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。如果 $b = \max\{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ ，则综合评价结果为对该事件作出评价 b （最大隶属原则）。

综合评价的核心在于“综合”。对单因素确定的事物进行评价是容易的，当涉及到多因素的复杂系统时，就需要综合诸因素对事物做出一个接近实际的评价，以避免仅从一个因素做出的评价而带来的片面性，这是综合评价的特点，也是采用合成运算的原因。

4.3.3 多层次模糊综合评价模型

对于一些复杂系统，由于因素过多，难以进行权数分配，或者分配了权数，每个因素权值很小，经过 Zadeh 算子综合评价，常会得不到有价值结果。这时，就可以采用多层次模糊综合评价方法：

(1) 将因素集 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 按照某种属性分成 s 个子因素集 U_1, U_2, \dots, U_s ，且它们两两不相交；

(2) 对每一个子因素集，分别作模糊综合评价。设 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 为评语集，得到一级评价向量 B_1, B_2, \dots, B_s ；

(3) 将每个 U_i 看做一个因素，并将它们重新构成因素集，以 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 为评语集，进行模糊综合评价。

根据因素集的结构，可以建立三级或四级模糊综合评价模型。

4.4 模糊综合评价法的扩展

4.4.1 评语等级个数的确定

在实际应用中，由于人的语义区分能力有限，评语等级个数 m 以大于 4 而不超过 9 为宜，而且 m 取奇数较好，因为这样可以获得诸如“很好，好，一般，差，很差”对称的评语。这样，得到的综合评判结果，便于进一步确定和计算隶属度。

4.4.2 合成算子的选取

在模糊综合评价中，合成算子 $B = A \circ R$ 起着非常重要的作用。通常情况下，合成算子常采用 Zadeh 算子“ \vee ”和“ \wedge ”，但是在实际应用中，由于问题的特殊性，如 A 常常是因素的权重，Zadeh 合成算子就会遇到困难，因此，就有必要选择其他算子。常用的合成算子主要有 Zadeh 取小取大算子“ \wedge ”和“ \vee ”、乘法取大算子“ \times ”和“ \vee ”、乘法加法算子“ $+$ ”和“ \times ”、取小加法算子“ \wedge ”和“ $+$ ”。

4.4.2.1 合成算子的类型

设有评价因素集 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和评语集 $V=\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ ，因素论域和评语论域之间的模糊关系可用模糊矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times m}; i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 来表示，其中 $r_{ij} = \mu_R(x_i, y_j)$ ， $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 表示因素 x_i 与该因素能被评价为 y_j 的隶属度。也就是说， r_{ij} 是因素 x_i 对等级 y_j 的隶属度， $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ， $B=(b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

则各合成算子可以表示为：

- (1) Zadeh 取小取大算子“ \wedge ”和“ \vee ”

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \max(\min(a_1, r_{1j}), \min(a_2, r_{2j}), \dots, \min(a_n, r_{nj}))$$

- (2) 乘法取大算子“ \times ”和“ \vee ”

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \times r_{ij}) = \max(a_1 \times r_{1j}, a_2 \times r_{2j}, \dots, a_n \times r_{nj})$$

- (3) 乘法加法算子“ \times ”和“ $+$ ”

$$b_j = \sum_{i=1}^n (a_i \times r_{ij})$$

合成运算时，先进行乘法运算，再进行加法运算，若出现大于 1 时，则将该数改写为 1，或进行规范化处理。

- (4) 取小加法算子“ \wedge ”和“ $+$ ”。

$$b_j = \sum_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \sum_{i=1}^n (\min(a_i, r_{ij}))$$

合成运算时，先进行取小运算，再进行加法运算，若出现大于 1 时，则将该数改写为 1，或进行规范化处理。

4.4.2.2 合成算子的选择

选择合成算子应该注意：

(1) 合成算子的比较与选择。模糊合成算子较多，要进行比较，选择效果较好的合成算子。

(2) 合成算子的检验。对于已经用于模糊综合评价的合成算子，在运用前，也要进行检验其适用性。在进行适用性检验时，还要与未得到应用的合成算子进行比较，从而选择更加能客观反映评价对象的合成算子。

(3) 评价对象性质决定合成算子。在选择合成算子时，要根据评价对象的性质去选择，而不是算子决定评价对象的性质。

在实际运用中，Zadeh 取小取大算子“ \wedge ”和“ \vee ”、乘法取大算子“ \times ”和“ \vee ”、乘法加法算子“ $+$ ”和“ \times ”3种算子使用较多。

4.4.3 区间数的排序方法

模糊综合评价依赖于隶属度计算，隶属度又依赖于判断数据的处理，判断数据又来源于判断者的判断，判断者在 $[0,1]$ 区间内将自己的满意程度点在适当位置上，经过若干次后，得到最小的满意点 x 和最大的满意点 y ，由 x,y 组成满意区间 $[x,y]$ ，显然， $[x,y] \subseteq [0,1]$ 。

(1) 有界闭区间数的运算性质

【定义】设 R 为实数域，称闭区间 $[a, b]$ 为闭区间数，其中 $a,b \in R, a \leq b$ ， R 上的闭区间数全体记为 \bar{R} 。若 $0 < a \leq b < +\infty$ ，则称 $[a, b]$ 为正区间数。

【定义】若 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 为区间数， $k > 0$ ，定义：

$$[a, b] + [c, d] = [a+b, c+d]$$

$$[a, b] \times [c, d] = [\min(a \times c, a \times d, b \times c, b \times d), \max(a \times c, a \times d, b \times c, b \times d)]$$

$$[a, b] \div [c, d] = [a, b] \times \left[\frac{1}{d}, \frac{1}{c} \right]$$

$$k \times [a, b] = [ka, kb]$$

$$\frac{1}{[a, b]} = \left[\frac{1}{b}, \frac{1}{a} \right]$$

$$([a, b])^c = [a^c, b^c], [a, b] \text{ 为正区间数}$$

Hausdorff 距离运算： $d_H = \max\{|a-c|, |b-d|\}$ ， $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 为正区间数

(2) 区间数的排序方法

【定义】设 $\bar{a} = [a^-, a^+]$ ， $\bar{b} = [b^-, b^+]$ ，称 $\bar{a} \leq \bar{b}$ ，如果

$$\begin{cases} \frac{a^- + a^+}{2} < \frac{b^- + b^+}{2} \\ \text{或者 } \frac{a^- + a^+}{2} = \frac{b^- + b^+}{2}, \text{ 并且 } \frac{a^- - a^+}{2} \leq \frac{b^- - b^+}{2} \end{cases}$$

显然，这种排序方法具有如下特点：

- ①直观而自然的解释；
- ②排序法计算量小，便于应用；
- ③对于任意两个正有界闭区间数，它们有唯一的序关系存在；

④ $\bar{a} = [a^-, a^+]$ ， $\bar{b} = [b^-, b^+]$ ，则 $\bar{a} \leq \bar{b} \Leftrightarrow a \leq b$ ，这表明序关系“ \leq ”正是实数序关系的自然推广。

5. 数据包络分析法

数据包络分析（Data Envelopment Analysis, DEA）以相对效率概念为基础发展起来的一种效率评价方法。作为一种非参数评价方法，仅依赖投入、产出指标数据对决策单元（Decision Making Unit, DMU）进行评价，即应用数学规划评价具有多个输入输出的决策单元间的相对有效性，判断 DMU 是否位于生产可能集的“前沿面”上。

5.1 线性规划

5.1.1 线性规划

(1) 决策变量。决策变量的一组定值代表所给问题的一个具体解决方案。一般来说，这些决策变量都是非负变量，如果没有符号限制则为自由变量，可以写入规划模型，也可以省略。

(2) 约束条件。为线性等式或不等式，它反映了所给问题对资源的客观限制、所要完成任务的各类要求，以及对决策变量的符号要求。

(3) 目标函数。为决策变量的线性函数，按所给问题不同，可要求目标函数实现最大值或最小值。

线性规划模型一般形式表示为：

$$\begin{aligned} \min f &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \text{ (或 } \max f = \sum_{j=1}^n c_j x_j) \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq (\text{或 } \leq, =) b_i, \quad i=1, 2, \dots, m \\ &x_j \geq (\text{或 } \leq, =) 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

(4) 可行解。满足线性规划全部约束条件的解 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ，称为线性规划的可行解。

(5) 可行域。全体可行解的集合称为线性规划的可行域。

(6) 最优解。使目标函数达到最小值（或最大值）的可行解 $X^*=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ，称为线性规划的最优解。

(7) 最优值。最优解的目标函数值 $f^* = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ 称为线性规划的最优值。

5.1.2 线性规划的标准型

为了求解线性规划算法标准化，需要给出线性规划模型的标准型（LP）：

$$\begin{aligned} \min f &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i=1, 2, \dots, m \\ &x_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

令

$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

则（LP）改写为矩阵形式：

$$\begin{aligned} \min f &= C^T X \\ AX &= B \text{ (或 } \min\{C^T X \mid AX = B, X \geq 0\}) \\ \text{s.t.} \quad &X \geq 0 \end{aligned}$$

其中向量 B 为资源向量, X 为决策向量, C 为价值向量。

各种形式的线性规划模型都可以化成标准型。

(1) 若线性规划为:

$$\begin{aligned} \max z &= C^T X \\ AX &= B \\ \text{s.t.} \quad X &\geq 0 \end{aligned}$$

将该目标函数最大值变换为另一个目标函数最小值, 即 $\max z = -\min(-z)$ 。令 $f = -z$, 就得到 (LP):

$$\begin{aligned} \max f &= (-C)^T X \\ AX &= B \\ \text{s.t.} \quad X &\geq 0 \end{aligned}$$

(2) 约束条件为不等式, 引入松弛变量 $x' \geq 0$, 对约束条件进行换:

若约束条件为 $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i$, 用 $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + x' = b_i$ 代替原约束条件;
 $x' \geq 0$

若约束条件为 $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$, 用 $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - x' = b_i$ 代替原约束条件。
 $x' \geq 0$

松弛变量在目标函数中的系数为 0。

(3) 决策变量 x_j 为自由变量时, 引入两个非负变量 x', x'' , 令 $x = x' - x''$, 将其代入约束条件和目标函数中, 消除 x_j , 在约束条件中加入 $x' \geq 0, x'' \geq 0$ 。

(4) 约束条件中出现 $x_j < 0$, 引入新的非负变量 x'_j , 令 $x_j = -x'_j$, 代入约束条件和目标函数中, 使得 $x_j < 0$ 转换成 $x'_j \geq 0$ 。

5.1.3 线性规划的对偶理论

如果 (1) 两个问题的系数矩阵互为转置; (2) 一个问题的变量个数等于另一个问题的约束条件个数; (3) 一个问题的右端系数是另一个问题的目标函数的系数; (4) 一个问题的目标函数为极大化, 约束条件为 “ \leq ” 类型, 另一个问题的目标函数为极小化, 约束条件为 “ \geq ”。则我们把这种对应关系称为对偶关系, 两个问题分别称作原问题 (P) 和对偶问题 (D)。如:

原问题

$$\begin{aligned} \max z &= CX \\ \text{s.t.} \quad AX &\leq b \\ X &\geq 0 \end{aligned}$$

对偶问题

$$\begin{aligned} \max W &= Yb \\ \text{s.t.} \quad YA &\leq C \\ Y &\geq 0 \end{aligned}$$

表 6-5 原规划与对偶规划（郝海、踪家峰，2007）

原问题（或对偶问题）	对偶问题（或原问题）
目标函数 $\max z$	目标函数 $\min f$
n 个变量	n 个约束
变量 \geq	约束条件 \geq
变量 \leq	约束条件 \leq
自由变量 $=$	约束条件 $=$
m 个约束条件	m 个变量
约束条件 \geq	变量 \leq
约束条件 \leq	变量 \geq
约束条件 $=$	自由变量 $=$
约束条件右端项	目标函数变量的系数
目标函数变量的系数	约束条件右端项
原有问题： $\min f = 2x_1 + 3x_2$ $\text{s.t. } 3x_1 - 2x_2 = 6$ $x_1 + x_2 \geq 4$ $x_1 \geq 0$ x_2 自由	原有问题： $\max z = 6u_1 + 4u_2$ $\text{s.t. } 3u_1 + u_2 \leq 2$ $-2u_1 + u_2 = 3$ u_1 自由 $u_2 \geq 0$

【定理】对偶问题（D）的对偶规划即为原有问题（P）。

【对偶定理】对标准线性规划来说，（LP）和（LD）同时有最优解的充要条件是它们同时有可行解。

【松弛互补定理】设 $\hat{X} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_j, \dots, \hat{x}_n)^T$ 和 $\hat{U} = (\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_i, \dots, \hat{u}_m)^T$ 分别是原有问题（P）和对偶问题（D）的可行解，则它们分别是（P）和（D）最优解的充要条件为：

$$\begin{aligned} \hat{x}_j (c_j - \sum_{i=1}^m a_{ij} \hat{u}_i) &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ (\sum_{j=1}^n a_{ij} \hat{x}_j - b_i) \hat{u}_i &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

对照（P）和（D）的定义，可见松弛互补条件反映了（P）中变量（或约束条件）与（D）中对应的约束条件（或变量）在最优情况下互相之间的制约关系：

（1）如果可行解 \hat{X} 中的变量 $\hat{x}_j > 0$ ，则（D）中的对应的约束条件 $\sum_{i=1}^m a_{ij} \hat{u}_i \leq c_j$ ，在最优情况下应为等式约束 $\sum_{i=1}^m a_{ij} \hat{u}_i = c_j$ ；

（2）如果可行解 \hat{U} 中的变量 $\hat{u}_i > 0$ ，则（P）中的对应的约束条件 $\sum_{j=1}^n a_{ij} \hat{x}_j \geq b_i$ ，在

最优情况下应为等式约束 $\sum_{j=1}^n a_{ij} \hat{x}_i = b_i$;

(3) 如果 (P) 中约束条件为严格不等式 $\sum_{j=1}^n a_{ij} \hat{x}_i > b_i$, 则 (D) 中对应的变量在最优情况下有 $\hat{u}_j = 0$;

(4) 如果 (D) 中约束条件为严格不等式 $\sum_{i=1}^m a_{ij} \hat{u}_i < c_j$, 则 (P) 中对应的变量在最优情况下有 $\hat{x}_j = 0$ 。

5.2 数据包络分析 C^2R 模型

5.2.1 数据包络分析 C^2R 模型

设有 $n+1$ 个同类评价对象, 称作决策单元 DMU, 每个决策单元有 m 种输入和 s 种输出, 其中 $x_{ij} > 0$ 为第 j 个 DMU 对第 i 种输入量, $y_{ij} > 0$ 为第 j 个 DMU 对第 r 种输出量, $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, $r=1,2,\dots,s$, 它们都是已知的, 可以通过历史数据得到。 v_i 表示第 i 种输入的权, u_r 表示第 r 种输出的权, 它们在模型中是变量。

	0	1	2	...	j	...	n
v_1	x_{10}	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
v_2	x_{20}	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
v_m	x_{m0}	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}
u_1	y_{10}	y_{11}	y_{12}	...	y_{1j}	...	y_{1n}
u_2	y_{20}	y_{21}	y_{22}	...	y_{2j}	...	y_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
u_s	y_{s0}	y_{s1}	y_{s2}	...	y_{sj}	...	y_{sn}

对应于一组权系数 $V=(v_1, v_2, \dots, v_m)^T$ 和 $U=(u_1, u_2, \dots, u_s)^T$, 每个决策单元都有相应的效率评价指数

$$h_j = \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

由于效率指数是一个相对数, 所以可以选择权系数, 使其满足 $h_j \leq 1$ 。

对第 0 个决策单元进行效率评价, 以权系数 U, V 为变量, 以第 0 个决策单元的效率指数为目标函数, 以所有决策单元 (包括决策单元 0) 的效率指数为约束, 即 $h_j \leq 1$, $j=1, 2, \dots, n$,

将决策单元 j 记作 j -DMU，构造最优化模型：

$$\begin{aligned} \max h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ h_j &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ \text{s.t.} \quad &V = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T \geq 0 \\ &U = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T \geq 0 \end{aligned}$$

其中向量 $U, V \geq 0$ 表示它的所有分量都大于等于 0，且至少存在一个分量大于 0。上面线性规划的向量式为：

$$\begin{aligned} \max & \frac{U^T Y_0}{V^T X_0} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ & U \geq 0, \quad V \geq 0 \end{aligned}$$

这是一个分式规划问题，利用 Charnes-Cooper 变换，转换为等价的线性规划问题。

$$t = \frac{1}{V^T X_0}, \quad \omega = t \times V, \quad \mu = t \times U$$

则有

$$\begin{aligned} \mu^T Y_0 &= \frac{U^T Y_0}{V^T X_0} \\ \frac{\mu^T Y_j}{\omega^T X_j} &= \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1 \\ \omega^T X_0 &= 1, \quad \omega \geq 0, \quad \mu \geq 0 \end{aligned}$$

于是，上面规划就转化为一个等价的线性规划：

$$\begin{aligned} \max & \mu^T Y_0 \\ & \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ (P_{C^2R}) \text{s.t.} \quad & \omega^T X_0 = 1 \\ & \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0 \end{aligned}$$

其对偶规划为：

$$\begin{array}{ll}
\min \theta & \min \theta \\
\sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_0 & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\
(D_{C^2R}) s.t. \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y_0 & s.t. \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\
\lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n & S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n
\end{array}$$

【定理】规划 P_{C^2R} 与其对偶规划 D_{C^2R} 都存在可行解，因而都有最优解，则它们的最优解分别是 $h_0^* = \theta^* \leq 1$ 。

【定义】若 0-DUM 的 P_{C^2R} 模型最优值等于 1，即 $h_0^* = 1$ ，则称 0-DMU 为弱 DEA 有效 (C^2R)。

【定义】若 0-DUM 的 P_{C^2R} 模型最优值等于 1，且存在最优解 $\omega^* > 0, \mu^* > 0$ ，则称 0-DMU 为 DEA 有效 (C^2R)。

应用线性规划对偶理论，或通过对偶规划 D_{C^2R} 来判断决策单元的有效性，引入松弛变量，将规划 D_{C^2R} 标准化：

$$\begin{array}{ll}
\min \theta & \\
\sum_{j=0}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 & \\
(D_{C^2R}^1) s.t. \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 & \\
S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n &
\end{array}$$

借助于对偶规划来判断决策单元的有效性。

【定理】(1) 0-DUM 为 DEA 有效的充分必要条件是 D_{C^2R} 的最优值 $\theta^* = 1$ 。(2) 0-DMU 为 DEA 有效的充分必要条件是 $D_{C^2R}^1$ 的最优值 $\theta^* = 1$ ，并且对每个最优解 $\lambda^*, S^{*-}, S^{*+}$ 都有 $S^{*-} = 0, S^{*+} = 0$ 。

DEA 评价模型体现了决策单元评价的本质：只要决策单元输入越少，输出越多，则这个评价单元就越好。

5.2.2 决策单元 DEA 有效性判定

根据 DEA 有效性的定义，判定决策单元的 DEA 有效性除需要求出模型的最优值外，还要确定模型最优解的符号。鉴于线性规划会有多重最优解的可能性，一般采用带有非阿基米德无穷小的 DEA 模型判定决策单元的有效性。

设 ε 为非阿基米德无穷小量，是一个大于零且足够小的数，如 10^{-7} ，则带有 ε 的 C^2R 模型 P_ε ：

$$\begin{aligned}
& \min \mu^T Y_0 \\
& \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\
& (P_\varepsilon) s.t. \quad \omega^T X_0 = 1 \\
& \mu \geq \varepsilon \hat{e}, \quad \omega \geq \varepsilon e
\end{aligned}$$

其中 $\hat{e} = (1, 1, \dots, 1)^T \in R^m$, $e = (1, 1, \dots, 1)^T \in R^s$ 。其对偶规划为：

$$\begin{aligned}
& \min \theta - \varepsilon (\hat{e}^T S^- + e^T S^+) \\
& \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\
& (D_\varepsilon) s.t. \quad \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\
& S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n
\end{aligned}$$

利用这一模型，可以一次性判断出决策单元是 DEA 有效，还是弱 DEA 有效。

【定理】设 ε 为非阿基米德无穷小量，规划问题 (D_ε) 的最优解为 $\lambda^*, S^{*-}, S^{*+}, \theta^*$ ，则：(1) 若 $\theta^* = 1$ ，则 0-DMU 为弱 DEA 有效；(2) 若 $\theta^* = 1$ ，且 $S^{*-} = 0$, $S^{*+} = 0$ ，则 0-DMU 为 DEA 有效。

5.2.3 决策单元规模收益的判定

DEA 方法中，每一个评价对象都称作一个决策单元，一般假设同一评价对象中所有 DMU 都具有相同类型的投入与产出，不同的 DMU 仅仅是数量上的区别。

(1) 生产可能集

设某个 DMU 的输入和输出向量分别为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}^T$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_s\}^T$ ，记作 (X, Y) ，表示该决策单元的生产情况。

【定义】称集合 $T = \{(X, Y) | \text{产出 } Y \text{ 能由 } X \text{ 生产出来}\}$ 为所有可能的生产活动构成的生产可能集。

【公理】一组待评价决策单元 Z 为可数有限集，它们的生产可能集 T 满足下面 4 条公理：

①凸性。对任意的 $(X_1, Y_1) \in T$ 和 $(X_2, Y_2) \in T$ ，以及 $\lambda \in [0, 1]$ ，有

$$\lambda(X_1, Y_1) + (1-\lambda)(X_2, Y_2) \in T$$

②无效性。设 $(X, Y) \in T$ ，若 $X' \geq X$ ，则 $(X', Y) \in T$ ；若 $Y' \leq Y$ ，则 $(X, Y') \in T$ 。

③锥性。若 $(X, Y) \in T$ 及 $k \geq 0$ ，则 $k(X, Y) = (kX, kY) \in T$ 。

④最小性。生产可能集是满足上述公理所有集合的交集。

上述要求是一种复制和组合的思想。在满足上述 4 条公理的基础上，对于已有的观察值 $(X_j, Y_j), j=0, 1, 2, \dots, n$ ，相应的生产可能集为：

$$T = \{(X, Y) | \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq X, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n\}$$

因此， D_{C^2R} 可以改写成 $\min\{\theta | (\theta X_0, Y_0) \in T\}$ 。当 (X_0, Y_0) 为一个生产活动时， C^2R 模型

DEA 有效性的实质就是在现有的生产状态下，若决策单元的最小输出为 Y_0 ，到底需要多少 X_0 。效率指数 θ 越大，说明该决策单元的输入越少，它的效率越高；同样。 θ 越小，说明该决策单元的输入越多，它的效率越低。

(2) 生产函数

【定义】设 $(X,Y) \in T$ ，若不存在 $(X,Y') \in T$ ，且 $Y \leq Y'$ ，则称 (X,Y) 为有效的生产活动；设 $(X,Y) \in T$ ，若不存在 $(X',Y) \in T$ ，且 $X' \leq X$ ，则称 (X,Y) 为有效的生产活动。

【定义】对生产可能集 T ，所有有效的生产活动点 (X,Y) 构成的 R^{m+s} 超曲面 $Y=f(X)$ 称为生产函数。

生产函数是在一定的技术条件下，任何一组投入量与最大产出量之间的函数关系，生产函数中的 Y 是 X 的增函数。生产函数的增函数仅粗略地反映了产出对投入的相对不减性，但尚未描述出不减的程度，这是规模收益的判定问题。

(3) 规模收益

规模收益 (Return to Scale) 是指涉及到厂商生产规模变化与产量变化之间的关系，当所有投入要素的使用量都按同样的比例增加时，这种增加会对总产量的影响。对于单输入、单输出生产函数而言，生产函数是一条直线，对 0-DMU 来说，设输入量 x 的增量为 Δx ，

输出量 y 的增量为 Δy ， $\frac{\Delta x}{x}, \frac{\Delta y}{y}$ 分别为输入、输出增量的相对值，规模收益考虑的就是

$$\frac{\Delta y}{y} \bigg/ \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times \frac{x}{y} \approx \frac{dy}{dx} \times \frac{x}{y}。$$

【定义】 T 是生产可能集，设 $(X,Y) \in T$ ，令 $\alpha(\beta) = \max\{\eta | (\beta X, \eta Y) \in T, \beta \neq 1\}$ ，

$\rho = \lim_{\beta \rightarrow 1} \frac{\alpha(\beta) - 1}{\beta - 1}$ ，如果 $\rho > 1$ ，则称 (X,Y) 对应的 DMU 为规模收益递增的；如果 $\rho = 1$ ，则称

(X,Y) 对应的 DMU 为规模收益不变的；如果 $\rho < 1$ ，则称 (X,Y) 对应的 DMU 为规模收益递减的。

【定义】 T 是生产可能集，设 $(X,Y) \in T$ ，令 $\alpha(\beta) = \min\{\eta | (\eta X, \beta Y) \in T, \beta \neq 1\}$ ，

$\rho = \lim_{\beta \rightarrow 1} \frac{\alpha(\beta) - 1}{\beta - 1}$ ，如果 $\rho < 1$ ，则称 (X,Y) 对应的 DMU 为规模收益递增的；如果 $\rho = 1$ ，则称

(X,Y) 对应的 DMU 为规模收益不变的；如果 $\rho > 1$ ，则称 (X,Y) 对应的 DMU 为规模收益递减的。

如果 ρ 极限不存在，也可以考察其左、右极限或无穷。在实际应用中，只要知道 0-DMU 附近 $\rho-1$ 的符号，就能确定决策单元规模收益的情形。根据规模收益定义可知，规模收益依赖于生产函数和生产可能集，一般来说，不同的生产可能集，决策单元的规模收益是不同的，因此，决策单元规模收益的确定基于所用的 DEA 模型。

(4) 基于 C^2R 决策单元规模收益的判定

【定理】若 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 是 D_{C^2R} 模型的最优解，则

①当 $\sum_{j=0}^n \lambda_j > 1$ 时，则 0-DMU 为规模收益递减的；

②当 $\sum_{j=0}^n \lambda_j < 1$ 时，则 0-DMU 为规模收益递增的；

③当 $\sum_{j=0}^n \lambda_j = 1$ 时，则 0-DMU 为规模收益不变的。

5.2.4 C^2R 的有效性与 Pareto 有效解

多目标规划

$$(VP) \begin{cases} \min [f_1(X, Y), f_2(X, Y), \dots, f_{m+s}(X, Y),] \\ s.t. (X, Y) \in T \end{cases}$$

式中

$$\begin{aligned} f_i(X, Y) &= x_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ f_{m+r}(X, Y) &= -y_r, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ X &= (x_1, x_2, \dots, x_m)^T \\ Y &= (y_1, y_2, \dots, y_s)^T \\ F &= (f_1, f_2, \dots, f_{m+s})^T \\ T &= \{(X, Y) \mid \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq X, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n\} \end{aligned}$$

【定理】设 ω^{*T}, μ^{*T} 为 0-DMU 对应的 P_{C^2R} 模型最优解，则

- (1) 若 0-DMU 为 DEA 弱有效(C^2R)，则 (X_0, Y_0) 是多目标规划(VP)的弱 Pareto 有效解。
- (2) 若 0-DMU 为 DEA 有效(C^2R)，则 (X_0, Y_0) 是多目标规划(VP)的 Pareto 有效解。

5.3 数据包络分析 C^2GS^2 模型

5.3.1 数据包络分析 C^2GS^2 模型

以基于输入 (input-oriented) 的 DEA 模型讨论 C^2GS^2 模型。设 C^2GS^2 模型为：

$$\begin{aligned} \max & \frac{U^T Y_0 + u_0}{V^T X_0} \\ s.t. & \frac{U^T Y_j + u_0}{V^T X_j} \leq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ & U \geq 0, \quad V \geq 0, \quad u_0 \text{自由} \end{aligned}$$

利用 Chances-Cooper 变换可将分式规划 ($P_{C^2GS^2}$) 化成等价的线性规划：

$$\begin{aligned} \max & \mu^T Y_0 + u_0 \\ & \omega^T X_j - \mu^T Y_j - u_0 \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ (P_{C^2GS^2}) s.t. & \omega^T X_0 = 1 \\ & \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0, \quad u_0 \text{自由} \end{aligned}$$

其对偶规划为：

$$\begin{aligned} \min & \theta \\ (D_{C^2GS^2}) s.t. & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_0 \\ & \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y_0 \\ & \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad \begin{aligned} \min & \theta \\ s.t. & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ & \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ & \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1 \\ & S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

【定义】若 $P_{C^2GS^2}$ 模型的最优解 ω^*, μ^*, u_0^* 满足 $\mu^{*T} Y_0 + u_0^* = 1$ ，则称 0-DMU 为 C^2GS^2

弱有效。

若 $D_{C^2GS^2}$ 模型的最优解 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$, θ^* 满足 $\theta^*=1$, 则称 0-DMU 为 C^2GS^2 弱有效。

【定义】若 $P_{C^2GS^2}$ 模型的最优解 ω^*, μ^*, u_0^* 满足 ω^*, μ^* 都大于零, 且 $\mu^{*T} Y_0 + u_0^* = 1$, 则称 0-DMU 为 C^2GS^2 有效。

若 $D_{C^2GS^2}$ 模型的每个最优解 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$, θ^* 都满足 $\theta^*=1$,

$S^{-*} = 0, S^{+*} = 0$ (0 为零向量), 则称 0-DMU 为 C^2GS^2 有效。

5.3.2 决策单元 DEA 有效性判定

设 ε 为非阿基米德无穷小量, C^2GS^2 模型 P_ε :

$$\begin{aligned} \max \quad & \mu^T Y_0 + u_0 \\ & \omega^T X_j - \mu^T Y_j - u_0 \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ (P_\varepsilon) \text{ s.t. } \quad & \omega^T X_0 = 1 \\ & \square \\ & \mu \geq \varepsilon e, \quad \omega \geq \varepsilon e \end{aligned}$$

其中 $\hat{e} = (1, 1, \dots, 1)^T \in R^m$, $e = (1, 1, \dots, 1)^T \in R^s$ 。其对偶规划为:

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta - \varepsilon (\hat{e}^T S^- + e^T S^+) \\ & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ & \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ (D_\varepsilon) \text{ s.t. } \quad & \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1 \\ & S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

利用这一模型, 可以一次性判断出决策单元是 DEA 有效, 还是弱 DEA 有效。

【定理】设 ε 为非阿基米德无穷小量, 规划问题 (D_ε) 的最优解为 $\lambda^*, S^{*-}, S^{*+}, \theta^*$, 则: (1) 若 $\theta^*=1$, 则 0-DMU 为弱 DEA 有效(C^2GS^2); (2) 若 $\theta^*=1$, 且 $S^{*-}=0, S^{*+}=0$, 则 0-DMU 为 DEA 有效(C^2GS^2)。

5.3.3 决策单元规模收益的判定

(1) 生产可能集

【公理】一组待评价决策单元 Z 为可数有限集, 它们的生产可能集 T 满足下面 3 条公理:

①凸性。对任意的 $(X_1, Y_1) \in T$ 和 $(X_2, Y_2) \in T$, 以及 $\lambda \in [0, 1]$, 有

$$\lambda(X_1, Y_1) + (1-\lambda)(X_2, Y_2) \in T$$

②无效性。设 $(X, Y) \in T$, 若 $X' \geq X$, 则 $(X', Y) \in T$; 若 $Y' \leq Y$, 则 $(X, Y') \in T$ 。

③最小性。生产可能集是满足上述公理所有集合的交集。

在满足上述 3 条公理的基础上, 对于已有的观察值 $(X_j, Y_j), j=0, 1, 2, \dots, n$, 相应的生产可能集为:

$$T = \{(X, Y) \mid \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq X, \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n\}$$

(2) 基于 C^2GS^2 决策单元规模收益的判定

【定理】 C^2GS^2 模型有唯一解，若 $P_{C^2GS^2}$ 模型的最优解是 ω^*, μ^*, u_0^* ，有

①当 $u_0^* < 0$ 时，则 0-DMU 为规模收益递减的；

②当 $u_0^* > 0$ 时，则 0-DMU 为规模收益递增的；

③当 $u_0^* = 0$ 时，则 0-DMU 为规模收益不变的。

如果 C^2GS^2 模型非唯一解，则判定较为复杂。

5.3.4 C^2GS^2 的有效性与 Pareto 有效解

多目标规划

$$(VP) \begin{cases} \min [f_1(X, Y), f_2(X, Y), \dots, f_{m+s}(X, Y),] \\ (X, Y) \in T \end{cases}$$

式中

$$f_i(X, Y) = x_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$f_{m+r}(X, Y) = -y_r, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_s)^T$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_{m+s})^T$$

$$T = \{(X, Y) \mid \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq X, \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 0, 1, 2, \dots, n\}$$

【定理】设 $\omega^{*T}, \mu^{*T}, u_0^*$ 为 0-DUM 对应的 $P_{C^2GS^2}$ 模型最优解，则

(1) 若 0-DUM 为 C^2GS^2 弱有效，则 (X_0, Y_0) 是多目标规划 (VP) 的弱 Pareto 有效解。

(2) 若 0-DUM 为 C^2GS^2 有效，则 (X_0, Y_0) 是多目标规划 (VP) 的 Pareto 有效解。

5.4 决策单元效率的调整

DEA 方法对决策单元差异程度的区分是不完善的，当评价决策单元的输入、输出动态变化时，DMU 的效率也不能反映这种变化。为此，引入了扩展 DEA 模型。

5.4.1 扩展的 C^2R 模型

扩展的 C^2R 模型与 C^2R 模型的本质区别在于，弱化了原来的约束条件。

(1) EC^2R 模型

假设有 $n+1$ 个决策单元，第 0 个为评价决策单元，其余 n 个决策单元为参考决策单元，每个决策单元有 m 种类型的“输入”和 s 种类型的“输出”， $X_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}^T$ 是第 j 个决策单元的输入向量， $Y_j = \{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}\}^T$ 是第 j 个决策单元的输出向量，其中 $X_j \in E_m, X_j > 0$,

$Y_j \in E_s, Y_j > 0, j = 0, 1, 2, \dots, n$ 。将 C^2R 模型约束条件 $\frac{U^T Y_0}{V^T X_0} \leq 1$ 去掉，就得到 EC^2R 模型：

$$\begin{aligned}
& \max \frac{U^T Y_0}{V^T X_0} \\
& s.t. \quad \frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\
& \quad U \geq 0, \quad V \geq 0
\end{aligned}$$

利用 Chances-Cooper 变换，将其转化为线性规划：

$$\begin{aligned}
& \max \mu^T Y_0 \\
& \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\
& (P_{EC^2R}) s.t. \quad \omega^T X_0 = 1 \\
& \quad \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0
\end{aligned}$$

其对偶规划为：

$$\begin{aligned}
& \min \theta & \min \theta \\
& \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_0 & \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\
& (D_{EC^2R}) s.t. \quad \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j \geq Y_0 & s.t. \quad \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\
& \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n & \quad S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n
\end{aligned}$$

同样地，称 EC^2R 模型的最优值为 0-DMU 的效率。

【定义】若 P_{EC^2R} 模型最优解 ω^*, μ^* 满足 $\mu^{*T} Y_0 = 1$ ，则称 0-DMU 为 DEA 弱有效 (EC^2R)。

若 P_{EC^2R} 模型存在 ω^*, μ^* 都大于零且满足 $\mu^{*T} Y_0 = 1$ 的最优解，则称 0-DMU 为 DEA 有效 (EC^2R)。

若 P_{EC^2R} 模型最优解 ω^*, μ^* 满足 $\mu^{*T} Y_0 > 1$ 的最优解，则称 0-DMU 为 DEA 强有效 (EC^2R)。

【定义】若 D_{EC^2R} 模型的最优解 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 满足 $\theta^* = 1$ ，则称 0-DMU 为弱有效 (EC^2R)。

若 D_{EC^2R} 模型的每个最优解 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 都满足 $\theta^* = 1$ ，

$S^{-*} = 0, S^{+*} = 0$ (0 为零向量)，则称 0-DMU 为有效 (EC^2R)。

若 D_{EC^2R} 模型的最优解 $S^{-*}, S^{+*}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 满足 $\theta^* > 1$ ，则称 0-DMU 为 C^2GS^2 强有效 (EC^2R)。

(2) EC^2R 模型与 C^2R 模型的比较

【定理】0-DUM 的 C^2R 相对效率小于 1 的充要条件是其 EC^2R 相对效率也小于 1。

【推论】若决策单元的 EC^2R 相对效率小于 1，则 P_{EC^2R} 和 P_{C^2R} 模型的最优解、最优值相同。

【定理】0-DUM 是 C^2R 弱有效 (非有效) 的充要条件是其 EC^2R 弱有效 (非有效)。

【定理】若 0-DUM 的 D_{C^2R} 模型最优解不唯一，则 0-DUM 是 C^2R 有效的充要条件是它 EC^2R 有效。

【定理】若 0-DUM 为 EC^2R 强有效，则它为 C^2R 有效且其 D_{C^2R} 模型只有唯一最优解。

(3) EC^2R 模型性质

【定理】当参考决策单元的输入、输出不变时，对评价决策单元来说，若其输入扩大（或缩小）若干倍，输出不变，那么它的 EC^2R 效率缩小（或扩大）同样的倍数；若其输出扩大（或缩小）若干倍，输入不变，那么它的 EC^2R 效率扩大（或缩小）同样的倍数。

(4) EC^2R 评价过程

EC^2R 模型与 C^2R 模型相比有许多优势，主要表现在，在 EC^2R 模型中，决策单元的相对效率可以大于 1，这样就克服了原模型决策单元的输入过剩或不足，对决策单元的相对效率描述更为准确； EC^2R 模型可以在 C^2R 有效基础上比较有效或弱有效决策单元，具有输入输出与决策单元效率同倍数变化的性质，能够有效区分决策单元的效率大小；具有计算上的优势，在决策单元 EC^2R 强有效时，可以肯定决策单元的 C^2R 模型只有唯一最优解。

EC^2R 评价过程可以表示为：

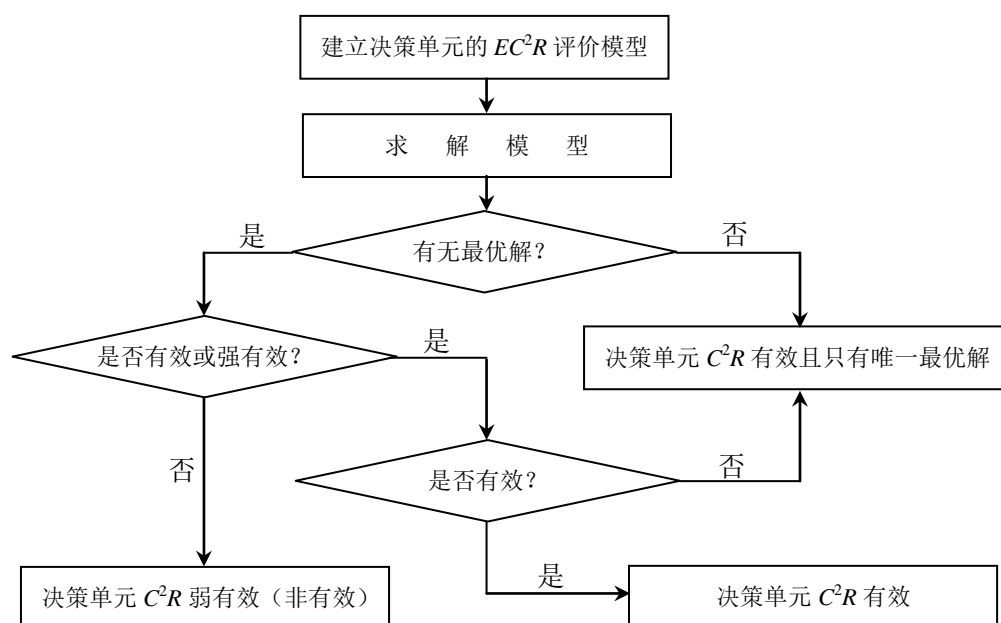


图 6-12 EC^2R 评价过程（仿郝海、踪家峰，2007）

5.4.2 扩展的 C^2GS^2 模型

将 C^2GS^2 模型约束条件 $\frac{U^T Y_0 - u_0}{V^T X_0} \leq 1$ 去掉，就得到 EC^2GS^2 模型：

$$\begin{aligned} & \max \frac{U^T Y_0 + u_0}{V^T X_0} \\ & (P_{EC^2GS^2}) s.t. \quad \frac{U^T Y_j + u_0}{V^T X_j} \leq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ & \quad U \geq 0, \quad V \geq 0, \quad u_0 \text{无符号} \end{aligned}$$

利用 Chances-Cooper 变换，将其转化为线性规划：

$$\begin{aligned} & \max \mu^T Y_0 + u_0 \\ & \quad \omega^T X_j - \mu^T Y_j - u_0 \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\ & (P_{EC^2GS^2}) s.t. \quad \omega^T X_0 = 1 \\ & \quad \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0, \quad u_0 \text{无符号} \end{aligned}$$

其对偶规划为：

$$\begin{aligned} & \min \theta & \min \theta \\ & \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_0 & \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ & \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j \geq Y_0 & \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ & (D_{EC^2GS^2}) s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 & s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n & \quad S^-, S^+, \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

同样地，称 EC^2GS^2 模型的最优值为 0-DMU 的效率。

【定义】若 $P_{EC^2GS^2}$ 模型最优解 ω^*, μ^*, u_0^* 满足 $\mu^{*T} Y_0 + u_0^* = 1$ ，则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 弱有效（0-DMU 为第 0 个决策单元）。

若 $P_{EC^2GS^2}$ 模型存在最优解 ω^*, μ^*, u_0^* 都大于零且满足 $\mu^{*T} Y_0 + u_0^* = 1$ ，则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 有效。

若 $P_{EC^2GS^2}$ 模型最优解 ω^*, μ^*, u_0^* 满足 $\mu^{*T} Y_0 + u_0^* > 1$ ，则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 强有效。

【定义】若 $D_{EC^2GS^2}$ 模型的最优解 $S^{*-}, S^{*+}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 满足 $\theta^* = 1$ ，则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 弱有效。

若 $D_{EC^2GS^2}$ 模型的每个最优解 $S^{*-}, S^{*+}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 都满足 $\theta^* = 1$ ，

$S^{*-} = 0, S^{*+} = 0$ （0 为零向量），则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 有效。

若 $D_{EC^2GS^2}$ 模型的最优解 $S^{*-}, S^{*+}, A^* = (\lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*)$ ， θ^* 满足 $\theta^* > 1$ ，则称 0-DMU 为 EC^2GS^2 强有效。

（2） EC^2GS^2 模型与 C^2GS^2 模型的比较

【定义】若决策单元 $D_{EC^2GS^2}$ 模型只有唯一最优解，且 EC^2GS^2 相对效率等于 1，称该决

策单元是平凡的决策单元。

【引理】若 $\lambda_0 \neq 1$ ，且 $\sum_{j=0}^n \lambda_j = 1$ ， $\lambda_j \geq 0$ ， $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ，则 $\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{1 - \lambda_0} = 1$ 。

若 0-DMU 为非平凡的决策单元，则必可以找到这样的 $\lambda_i \geq 0$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ，

使得 $\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i \geq Y_0$ 。

若 $D_{EC^2GS^2}$ 模型没有可行解，则该决策单元是平凡的决策单元。

【定理】0-DMU 的 C^2GS^2 相对效率小于 1 的充要条件是其 EC^2GS^2 相对效率也小于 1。

【推论】若决策单元 C^2GS^2 相对效率小于 1，则 $P_{C^2GS^2}$ 和 $P_{EC^2GS^2}$ 模型的最优解、最优值相同。

【定理】0-DMU 是 C^2GS^2 弱有效（非有效）的充要条件是其 EC^2GS^2 弱有效（非有效）。若 0-DMU 是非平凡决策单元，则 0-DMU 是 C^2GS^2 有效的充要条件是它为 EC^2GS^2 有效。弱 0-DMU 为 EC^2GS^2 强有效，则它为 C^2GS^2 有效，且为平凡的决策单元。

(3) EC^2GS^2 模型性质

【定理】当决策单元的输入、输出不变时，对评价决策单元来说，若其输入扩大（或缩小）若干倍，输出不变，那么它的 EC^2GS^2 效率缩小（或扩大）同样的倍数。

(4) EC^2GS^2 评价过程

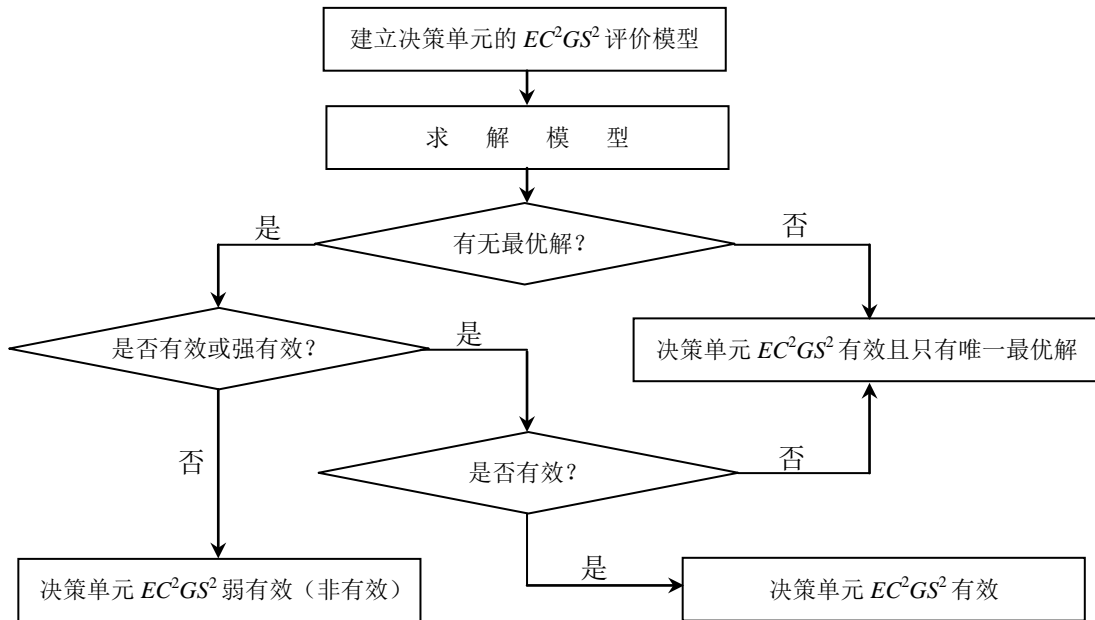


图 6-13 EC^2GS^2 评价过程（仿郝海、踪家峰，2007）

EC^2GS^2 模型与 C^2GS^2 模型相比有许多优势，主要表现在，在 EC^2GS^2 模型中，决策单元的相对效率可以大于 1，这样就克服了原模型决策单元的输入过剩或不足，对决策单元的相

对效率描述更为准确； EC^2GS^2 模型可以在 C^2GS^2 有效基础上比较有效单元，具有输入输出与决策单元效率同倍数变化的性质，能够有效区分决策单元的效率大小；具有计算上的优势，在决策单元 EC^2GS^2 强有效时，可以肯定决策单元的 C^2GS^2 模型只有唯一最优解。

EC^2R 评价过程可以用图 7-14 表示。

5.5 最优值基础上决策单元规模收益判断

规模收益（Return to Scale）是指厂商生产规模变化与产量变化之间的关系。如果生产规模的变化是由所有生产要素以相同比例扩大或减少而引起的，那么对应的产量变动就有三种情况：

- （1）如果产量增加的比率大于生产要素增加的比率，则生产处于规模收益递增阶段；
- （2）如果产量增加的比率等于生产要素增加的比率，则生产处于规模收益不变阶段；
- （3）如果产量增加的比率小于生产要素增加的比率，则生产处于规模收益递减阶段。

5.5.1 基于 C^2R 模型决策单元规模收益的判定

根据规模收益的定义，规模收益依赖于生产函数，也依赖于生产可能集。一般来说，不同的生产可能集，得出决策单元的规模收益情形是不同的，因此，决策单元规模收益的确定基于所用的 DEA 模型。

（1）带有参数的 PC^2R 模型

为了便于分析决策单元的规模收益情况，需要考察决策单元在其附近的摄动，为此，引入参数调节决策单元的输入、输出，建立生产可能集 T 上的带有参数的数据包络分析模型。

考虑 PC^2R 模型

$$\begin{array}{ll}
 \max \mu^T \beta Y_0 & \min \theta \\
 (P_{PC^2R})s.t. \quad \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta \alpha X_0 \\
 & \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq \beta Y_0 \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\
 & \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0
 \end{array}$$

其中 $\alpha, \beta > 0$ ，它们调整了决策单元 (X_0, Y_0) 的输入和输出，便于考察 (X_0, Y_0) 附近效率的变化，上述模型称作 $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2R 模型。特别地，当 $\alpha = \beta = 1$ 时， $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2R 模型就是 C^2R 模型，此外， $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2R 效率可能大于 1。

参数模型 PC^2R 是在生产可能集 T 中考察决策单元 $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 在其附近的效率变化，显然， D_{PC^2R} 模型都有可行解。因为，对所考虑的 β ，只要取 Y_0 的系数 λ_0 大于 β ，就能满足

$$\sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq \beta Y_0, \quad \text{而只要取 } \theta \text{ 比较大, 就能得到 } \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta \alpha X_0.$$

（2） PC^2R 模型性质

【定理】在生产可能集 T 中，若决策单元 $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的输入扩大（或缩小）若干倍，输出不变，那么它的 PC^2R 效率缩小（或扩大）同样的倍数；若其输出扩大（或缩小）若干倍，输入不变，那么它的 PC^2R 效率扩大（或缩小）同样的倍数。

（3）0-DUM 规模收益的判定

不论 D_{PC^2R} 模型的最优解有多少，它的最优值 θ 是唯一的，亦即 θ 是 (α, β) 的函数。

【定理】对 0-DUM 来说，给 X_0, Y_0 一个小的摄动 $\beta X_0, \beta Y_0, \beta \neq 1$ ，若决策单元 $(\beta X_0, \beta Y_0)$ 的

D_{PC^2R} 模型的最优值是 $\theta(\beta, \beta)$ ，则当 $\theta(\beta, \beta)=1$ 时，0-DUM 规模收益是不变的。

这一定理蕴含着以下两个结论：

①若决策单元 $(\beta X, \beta Y)$ 的 D_{PC^2R} 模型的最优值 $\theta(\beta, \beta)<1$ ，根据定理“对偶问题（D）的对偶规划即为原有问题（P）”， $\theta(\beta, \beta)=\theta(1,1)<1$ ，决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的 D_{PC^2R} 模型的最优值 $\theta(1,1)/\theta(1,1)=1$ ，且 $(\beta\theta(1,1)X, \beta Y)$ 的 D_{PC^2R} 相对效率也等于 1。根据上面的定理，决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 是规模收益不变的，又因为决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的输入 $\theta(1,1)X$ 比 (X, Y) 的输入 X 小，而产出一样 Y 多，所以与决策单元 (X, Y) 相比，决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的投入产出比率较高，这时决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 比 (X, Y) 更好，可以认为决策单元 (X, Y) 的规模收益是递减的，也就引申出无效的决策单元规模收益是递减的结论。

②若决策单元 $(\beta X, \beta Y)$ 的 D_{PC^2R} 模型的最优值 $\theta(\beta, \beta)>1$ ，根据定理“对偶问题（D）的对偶规划即为原有问题（P）”， $\theta(\beta, \beta)=\theta(1,1)>1$ ，决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的 D_{PC^2R} 模型的最优值 $\theta(1,1)/\theta(1,1)=1$ ，且 $(\beta\theta(1,1)X, \beta Y)$ 的 D_{PC^2R} 相对效率也等于 1。根据上面的定理，决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 是规模收益不变的，又因为决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的输入 $\theta(1,1)X$ 比 (X, Y) 的输入 X 大，而产出一样 Y 多，所以与决策单元 $(\theta(1,1)X, Y)$ 的投入产出比率较低，这时决策单元 (X, Y) 比 $(\theta(1,1)X, Y)$ 更好，可以认为决策单元 (X, Y) 的规模收益是递增的。

决策单元 $(\beta X_0, \beta Y_0)$ 的 D_{PC^2R} 模型的最优值 $\theta(\beta, \beta)$ 不可能大于 1，这是因为 $(\beta X_0, \beta Y_0) \in T$ （生产可能集满足锥性条件），根据 PC^2R 模型性质可知， $(\beta X_0, \beta Y_0)$ 的 D_{PC^2R} 效率等于 (X_0, Y_0) 的 D_{PC^2R} 效率，而 (X_0, Y_0) 的 D_{PC^2R} 评价模型是

$$\begin{aligned} & \min \theta \\ & (D_{PC^2R}) s.t. \quad \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_0 \\ & \quad \quad \quad \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq Y_0 \\ & \quad \quad \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

显然，该模型的最优值 $\theta \leq 1$ 。这是因为它有可行解 $A = (\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = (1, 0, \dots, 0, 1)$ ，且目标函数取最小。

规模收益反映了生产函数的某些特点，是对生产函数的进一步分析。对于有些不属于生产可能集 T 的决策单元，它的 D_{PC^2R} 模型效率可能大于 1，而在单输入和单输出的情况下，生产函数则恰好是决策单元规模收益递增和递减的分界线。

由于判定结果对 β 的取值不敏感，所以定理中没有考虑 β 取值问题， β 只要选取一个大于零的值即可。

5.5.2 基于 C^2GS^2 模型决策单元规模收益的判定

(1) 带有参数的 PC^2GS^2 模型

为了便于分析决策单元的规模收益情况，需要考察决策单元在其附近的摄动，为此，引入参数调节决策单元的输入、输出，建立生产可能集 T 上的带有参数的数据包络分析模型。

考虑 PC^2GS^2 模型

$$\begin{aligned}
 & \max \mu^T \beta Y_0 + u_0 \\
 & \omega^T X_j - \mu^T Y_j - u_0 \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \\
 & (P_{PC^2GS^2}) s.t. \quad \omega^T \alpha X_0 = 1 \\
 & \mu \geq 0, \quad \omega \geq 0, \quad u_0 \text{ 无符号} \\
 & \min \theta \\
 & \sum_{j=0}^n X_j \lambda_j \leq \theta \alpha X_0 \\
 & \sum_{j=0}^n Y_j \lambda_j \geq \beta Y_0 \\
 & (D_{PC^2GS^2}) s.t. \quad \sum_{j=0}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

其中 $\alpha, \beta > 0$ ，它们调整了决策单元 (X_0, Y_0) 的输入和输出，便于考察 (X_0, Y_0) 附近效率的变化，上述模型称作 $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2GS^2 模型。特别地，当 $\alpha = \beta = 1$ 时， (X_0, Y_0) 的 PC^2GS^2 模型就是 C^2GS^2 模型。此外， $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2GS^2 效率可能大于 1。

(2) PC^2GS^2 模型性质

【定理】取固定的 $\beta < 1$ ，对参数 $D_{PC^2GS^2}$ 模型来说，相应的生产可能集 T ， $(\alpha X_0, \beta Y_0)$ 的 PC^2GS^2 相对效率 θ 是 α 的反比例函数。

定理中如果 $\beta > 1$ ， $D_{PC^2GS^2}$ 模型可能没有解。在实际情况中，如果 $\beta > 1$ 时，结论仍成立。

(3) 0-DUM 规模收益的判定

对于固定的 $\beta < 1$ ， $D_{PC^2GS^2}$ 模型必有最优解。不论 $D_{PC^2GS^2}$ 模型的最优解有多少，它的最优值 θ 是唯一的，亦即 θ 是 (α, β) 的函数。

【定理】对 0-DUM 来说，给 Y_0 一个小的摄动 $\beta Y_0, \beta < 1$ ，若决策单元 $(\beta X_0, \beta Y_0)$ 的 $D_{PC^2GS^2}$ 模型的最优值是 $\theta(\beta, \beta)$ ，则当

- ① 当 $\theta(\beta, \beta) = 1$ 时，则 0-DMU 是规模收益不变的；
- ② 当 $\theta(\beta, \beta) < 1$ 时，则 0-DMU 是规模收益递减的；
- ③ 当 $\theta(\beta, \beta) > 1$ 时，则 0-DMU 是规模收益递增的。

定理中没有考虑 β 取值问题，在实际问题中可以灵活一些，也可以多取几个 β 值来共同分析。

6. 人工神经网络评价法

人工神经网络方法 (artificial neural network, ANN) 就是模拟人脑的神经网络工作原理，建立能够学习的模型，并将经验性知识积累和充分运用，从而使求出的最佳解与实际值之间

的误差最小化。其具体过程可以概括为：

将样本（训练）数据赋予输入端，并将网络实际输出与期望输出进行比较，得到误差信号，以此为依据来调整连接权值。重复此过程，直到收敛于稳态。

目前，比较成熟的模型与算法较多，最常用主要是误差反向传递学习算法（BP 算法）。BP 算法（back propagation）是一种具有三层或三层以上的层次结构网络，由输入层、中间层（隐含层）和输出层组成。对于输入信号，先把输入信号向前传到隐含层节点，经作用函数后，传到输出节点，最后给出输出结果。

用 x_i 表示神经网络输入， y_i 表示神经网络实际输出， d_i 表示神经网络期望输出， W_{ijk} 表示第 i 层第 j 个神经单元到第 $i+1$ 层第 k 个神经单元连接权值， O_{ij} 表示第 i 层第 j 个神经单元输出， θ_{ij} 表示第 i 层第 j 个神经单元阈值， net_{ij} 表示第 i 层第 j 个神经单元总输入， N_i 第 i 层神经元节点数。则 BP 网络结构可以表示为图 7-16 所示。

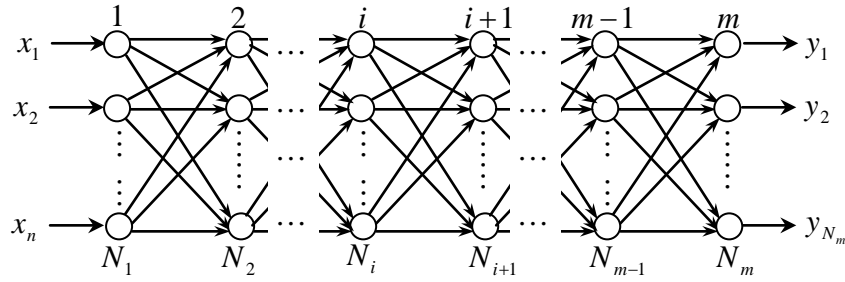


图 6-14 BP 网络结构

6.1 BP 网络学习算法

以图 7-15 结构，介绍 BP 算法。

6.1.1 标准 BP 算法

(1) BP 网络前向传播计算

$$net_{ij} = \sum_{k=1}^{N_{i-1}} O_{(i-1)k} W_{(i-1)kj}$$

$$O_{ij} = f_s(net_{ij}) = \frac{1}{1 + \exp(net_{ij} - \theta_{ij})}$$

(2) BP 网络后退算法（BP 算法）

如果神经元 j 在输出层，则 O_{ij} 就是网络的实际计算输出，记为 y_j ，通过 y_j 与所期望的输出 d_j 之间的误差反向传播来修改权值。

误差定义为 $e_j = d_j - y_j$ 。

$$\text{网络目标函数为 } E = \frac{1}{2} \sum_j (d_j - y_j)^2。$$

网络的权值沿 E 函数梯度下降的方向修正 $\Delta W_{ijk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ijk}}$ ，其中 $0 < \eta < 1$ 为学习效率。

对此计算要使其能直接编制程序进行计算，必须求出 ΔW_{ijk} 与神经元输出之间的递推关系：

$$\begin{aligned}
\Delta W_{ijk} &= -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ijk}} \\
&= -\eta \frac{\partial E}{\partial net_{(i+1)k}} \bullet \frac{\partial net_{(i+1)k}}{\partial W_{ijk}} \\
&= \eta \delta_{ik} \frac{\partial net_{(i+1)k}}{\partial W_{ijk}}
\end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned}
\delta_{ik} &= -\frac{\partial E}{\partial net_{(i+1)k}} \\
\frac{\partial net_{(i+1)k}}{\partial W_{ijk}} &= \frac{\partial}{\partial W_{ijk}} \left(\sum_{h=1}^{N_i} O_{ih} W_{ijk} \right) = O_{ij} \\
\Delta W_{ijk} &= -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ijk}} = -\eta \delta_{ik} O_{ij} \\
\delta_{ik} &= -\frac{\partial E}{\partial net_{(i+1)k}} = -\frac{\partial E}{\partial O_{(i+1)k}} \bullet \frac{\partial O_{(i+1)k}}{\partial net_{(i+1)k}} \\
\text{由 } f'(x) &= \frac{e^{-(x-\theta)}}{[1+e^{-(x-\theta)}]^2} = f(x)[1-f(x)] \text{ 得} \\
\frac{\partial O_{(i+1)k}}{\partial net_{(i+1)k}} &= f'(net_{(i+1)k}) = f(net_{(i+1)k})[1-f(net_{(i+1)k})] = O_{(i+1)k}(1-O_{(i+1)k})
\end{aligned}$$

当 $O_{(i+1)k}$ 为输出节点时，

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E}{\partial O_{(i+1)k}} &= y_k - d_k, \quad E = \frac{1}{2} \sum_j (d_j - y_j)^2 \\
\delta_{ik} &= -\frac{\partial E}{\partial O_{(i+1)k}} \bullet \frac{\partial O_{(i+1)k}}{\partial net_{(i+1)k}} = (d_k - y_k) O_{(i+1)k} (1 - O_{(i+1)k}) \\
&= (d_k - y_k) y_k (1 - y_k) = (d_k - O_{mk}) O_{mk} (1 - O_{mk})
\end{aligned}$$

当 $O_{(i+1)k}$ 为隐层节点时，

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E}{\partial O_{(i+1)k}} &= \sum_{h=1}^{N_{i+2}} \frac{\partial E}{\partial net_{(i+2)h}} \bullet \frac{\partial net_{(i+2)h}}{\partial O_{(i+1)k}} = -\sum_{h=1}^{N_{i+2}} \delta_{(i+1)h} W_{(i+1)kh} \\
net_{ij} &= \sum_{h=1}^{N_{i-1}} O_{(i-1)k} W_{(i-1)kj}
\end{aligned}$$

$O_{(i+1)k}$ 为隐层节点时，知道节点的实际输出，但无法提前知道其正确输出，只是总的误差与隐层输出相关，同时隐层的输出必影响下一隐层的各节点的输入。

$$\delta_{ik} = O_{(i+1)k} (1 - O_{(i+1)k}) \sum_{h=1}^{N_{i+2}} \delta_{(i+1)h} W_{(i+1)kh}$$

BP 算法的权值调整公式为:

$$\Delta W_{ijk} = \begin{cases} \eta(d_k - y_k)y_k(1 - y_k)O_{ij} & i+1 \text{层为输出层} \\ \eta O_{(i+1)k} (1 - O_{(i+1)k}) \sum_{h=1}^{N_{i+2}} \delta_{(i+1)h} W_{(i+1)kh} O_{ij} & i+1 \text{层为隐层} \end{cases}$$

第 i 层神经元

$$\delta_{ik} = \begin{cases} (d_k - y_k)y_k(1 - y_k) & i+1 \text{层为输出层} \\ O_{(i+1)k} (1 - O_{(i+1)k}) \sum_{h=1}^{N_{i+2}} \delta_{(i+1)h} W_{(i+1)kh} & i+1 \text{层为隐层} \end{cases}$$

$$W_{ijk}(t+1) = W_{ijk}(t) + \Delta W_{ijk} = W_{ijk} + \eta \delta_{ik} O_{ij}$$

$$\Delta \theta_{ik} = -\eta \frac{\partial E}{\partial \theta_{ik}} = \begin{cases} \eta(d_k - y_k)y_k(1 - y_k) & i+1 \text{层为输出层} \\ \eta O_{(i+1)k} (1 - O_{(i+1)k}) \sum_{h=1}^{N_{i+2}} \delta_{(i+1)h} W_{(i+1)kh} & i+1 \text{层为隐层} \end{cases}$$

6.1.2 改进的 BP 算法

多层前向 BP 网络的误差是各层权值和输入样本的函数，可以表示为:

$$E = F(X^P, W, \theta, d^P)$$

由此可知，误差函数 E 可以表示为多维空间中一个形状极为复杂的曲面，这个空间就是误差权空间。如果是一个二维权空间的话，就可以用图 7-17 表示。

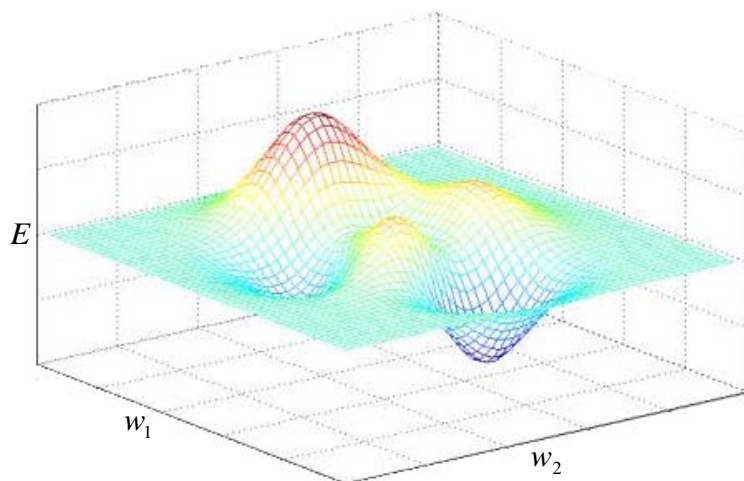


图 6-15 二维权空间误差曲面分布

从图中可以看出，在曲面上，有些地方比较平坦，此时误差对权值的变化不敏感，调整时误差下降缓慢，调整时间长，影响收敛速度。此外，还存在多个极点，在极点上，误差梯度为 0，BP 算法无法判断极小点的性质，使训练陷入某个局部极小点不能自拔，使训练难以收敛于给定的误差。

为了克服这一缺陷，常采用增加动量项、调整学习速度、引入陡度因子等措施。

(1) 增加动量项

标准 BP 算法在调整权值时，只按 t 时刻误差的梯度下降方向调整，而没有考虑到 t 时

刻以前的梯度方向，从而常使训练过程发生振荡，收敛缓慢。为了提高训练速度，可在权值调整公式中增加动量项：

$$\Delta W(t) = \eta \delta O + \alpha \Delta W(t-1)$$

其中 W 为某层权矩阵， O 为某层输出向量， α 为动量系数， $\alpha \in (0,1)$ ， $\alpha \Delta W(t-1)$ 反映了以前积累的调整经验。当误差梯度出现局部极小时，虽然虽然 $\Delta W_{ijk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ijk}} = -\eta \delta_{ik} O_{ij} \rightarrow 0$ ，但 $\Delta W(t-1) \neq 0$ ，使其跳出极小区域，加快迭代收敛速度。

(2) 可变学习速度的反向传播算法 (variable learning back propagation, VLBP)

①在整个训练集上，如果平方误差在权值更新后增加了，且超过了某个设置的百分数 ζ (典型值为 1~5%)，则取消权值更新，学习速度乘以一个因子 ρ ($0 < \rho < 1$)，并且动量系数 α 置 0。

②如果平方误差在权值更新后减少了，则接受权值更新，学习速度乘以一个因子 η ($\eta > 1$)。如果 α 被置 0，则恢复到以前的值。

③如果平方误差的增长小于 ζ ，则接受权值更新，学习速度保持不变。如果 α 过去被置 0，则恢复到以前的值。

(3) 学习速度自适应调节

VLBP 算法需要设置多个参数，且对这些参数的改变十分敏感，处理起来比较麻烦。针对 VLBP 算法中学习效率 η 不易调整的缺点，对该算法进行改进，使其学习效率 η 自适应调整，从而加速收敛：

在网络经过一批次权值调整后，若 $E_{\text{总}}$ 增加，则本次调整无效，且 $\eta = \beta \eta, 0 < \beta < 1$ ；

若 $E_{\text{总}}$ 减少，则本次调整有效，且 $\eta = \alpha \eta, \alpha > 1$ 。

(4) 引入陡度因子

由于误差曲面上存在着平坦区，其权值调整缓慢的原因在于 S 转移函数具有饱和性。为了防止饱和，在转移函数中引入陡度因子 λ ：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{net}{\lambda}}}$$

当 $\Delta E \rightarrow 0$ 而， $d_k - d_y$ 仍较大时，进入平坦区，此时令 $\lambda > 1$ ；当退出平坦区后，再令 $\lambda = 1$ ，使转移函数恢复原状。

6.2 BP 神经网络设计的一般原则

6.2.1 BP 网络参数设计

(1) 输入量的选择

①输入量必须选择那些对输出影响大且能够检测或提取的变量。

②各输入量之间互不相关或相关性很小。

③输入量的表示与提取方法，可以采用一般数据标准化方法。

(2) 训练样本集的设计

①样本数目的确定。一般来说，样本数 n 越多，训练结果就越能正确反映其内在规律。但是，样本的获取往往很困难，而且当 n 达到一定数量后，进度也很难有所提高。样本数目的确定原则一般是，网络规模越大，样本数越多，训练样本数是连接权数总数的 5~10 倍，但许多情况难以达到这样的要求。

②样本的选择和组织。样本要有代表性，注意样本类别的均衡；要将不同类别的样本交叉输入。

③网络训练测试。测试标准是看网络是否有很好的泛化能力。测试时，不要用样本训练集中的数据进行测试，而是将收集到的样本随机地分成两部分，一部分为训练集，一部分为测试集。若训练样本误差很小，而测试样本误差很大，则网络泛化能力差。

(3) 初始权值的设计

网络权值的初始化决定了网络的训练从误差曲面的哪一点开始，因此，初始化方法对缩短网络的训练时间至关重要。

神经元的作用函数是关于坐标点对称的，若每个节点的净输入均在零点附近，则输出均在作用函数的中点，这个位置不仅远离作用函数的饱和区，而且是其变化最灵敏的区域，使网络学习加快。从神经网络净输入表达式来看，为了使各节点的初始净输入在零点附近，常常使用如下两种方法选择初始权值：

①取足够小的初始权值；

②使初始值为+1 和-1 的权值数相等。

6.2.2 隐层结构设计

(1) 隐层数设计

具有单隐层的前馈网络可以映射所有连续函数，只有当学习不连续函数时才需要两个隐层。一般情况下，先设一个隐层，当一个隐层的节点数很多仍不能改善网络性能时，再增加一个隐层。最常用的 BP 神经网络结构是 3 层结构，输入层、输出层和 1 个隐层。

(2) 隐层节点数设计

隐层节点数对神经网络的性能有一定的影响。隐层节点数过少，学习的容量有限，不足以存贮训练样本中蕴含的所有规律。隐层节点过多，不仅会增加网络训练时间，而且还会将样本中非规律性的内容存储进去，反而降低泛化能力。

隐层节点数的确定，一般采用凑试法：

①先由经验公式初步选择隐层节点数：

$$m = \sqrt{n+1} + \alpha, \text{ 或 } m = \sqrt{nl}$$

m 为隐层节点数， n 为输入节点数， l 为输出节点数， α 为调节常数，在 1~10 之间。

②改变 m ，用同一样本集训练，从中选择网络误差最小时的隐层节点数。

6.3 评价步骤

(1) 确定评价指标集，指标个数为 BP 网络中输入节点的个数。

(2) 确定 BP 网络的层数，一般采用具有一个输入层、一个隐含层和一个输出层的三层网络模型结构。

(3) 明确评价结果，输出层的节点数为 1。

(4) 对指标样本值进行标准化处理。

(5) 用随机数（一般为 0~1）初始化网络节点的权值与网络阈值。

(6) 将标准化后的指标样本值输入网络，并给出相应的期望输出。

(7) 正向传播，计算各层节点的输出。

(8) 计算各层节点的误差。

(9) 反向传播, 修正权重。

(10) 计算误差, 当误差小于给定的拟合误差, 网络训练结束, 否则, 转到第(7), 继续训练。

(11) 训练后的网络权重就可以用于正式的评价。

7. 灰色综合评价法

灰色聚类是将聚类对象对于不同聚类指数所拥有的白化数, 按 n 个灰类进行归纳, 判断该聚类对象属于哪一类。

设待分析系统为 $S_i, i=1, 2, \dots, n$, S_i 各系统指标为 X_i

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$$

设系统指标最优参考序列为 X_0

$$X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0p})$$

X_0 序列可以取 X_i 序列中同一性质元素的最优者构成。

(1) 计算关联度

首先对数据进行标准化处理, 然后计算关联系数与关联度。

关联系数 ξ 为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_{0k} - x_{ik}| + \rho \max_i \max_k |x_{0k} - x_{ik}|}{|x_{0k} - x_{ik}| + \rho \max_i \max_k |x_{0k} - x_{ik}|}$$

$\rho \in [0, 1]$, 一般取 $\rho = 0.5$, 则 X_i 对 X_0 关联度 r_i 为:

$$r_i = \sum_{k=1}^n p_k \xi_i(k)$$

p_k 为待分析系统第 k 个指标的权重, 可以采用层次分析法确定。

(2) 构造灰色相似矩阵

由 $d_{ij} = 1 - |r_i - r_j|$ 得到灰色矩阵: $R = (d_{ij})$ 。显然, 矩阵 R 满足自反性和对称性。

(3) 建立灰色等价矩阵

灰色相似矩阵 R 不一定具有传递性, 需要通过褶积将 R 改造成等价矩阵, 褶积与矩阵乘积计算方法类似, 只是将其中的 “ \times ” 与 “ $+$ ” 分别改成 “ \wedge ” 与 “ \vee ”:

$$R^2 = R \bullet R$$

$$R^4 = R^2 \bullet R^2$$

...

经过 k 次运算后, 存在 $R^{2k} = R^{2(k+1)}$, 则得到等价矩阵 $R^* = R^{2k}$ 。

(4) 聚类

确定适当的水平截取 λ , 将矩阵 R^* 聚类:

$$d'_{ij} = \begin{cases} 1, & d_{ij} \geq \lambda \\ 0, & d_{ij} < \lambda \end{cases}$$

灰类白化聚类评价与模糊综合评价类似, 通过一些设定的函数将灰色数白化, 实现评价指标的量化, 其评价步骤与模糊综合评价基本相同。

8. 多元统计评价法

多元统计评价方法是各个评价对象的同一指标的取值看成是一个随机变量，每一个指标值就是这个变量的样本，应用统计的方法解析这些随机变量之间的相关矩阵。主成分分析和因子分析是直接对相关矩阵进行分析，判别分析是用相关矩阵作为 B 模距离的正定矩阵，起着类似于距离权的作用。

最常用的多元统计方法是主成分分析，它通过样本点散布最开的正交方向，对样本中的信息进行提取和降维，探索选取主成分的结构形式，进而把低维系统将为一维系统，便于比较评价。

8.1 主成分分析

主成分分析 (principal component) 是多元分析中重要方法之一。多元分析中的随机向量，是对同一个体进行测量的结果，它们从不同侧面反映了个体性质，表面上这些变量处于同等地位，实际上各变量包含的信息参差不齐，变量间往往不是独立的，而是相关或交叉重叠的，这种不独立性 (共性) 可以用相关性表示。主成分分析实际上就是对变量共性的提取，用降维技术来解释原变量的协方差结构。

8.1.1 主成分分析法原理

多元统计分析中的主成分分析法，主要是通过正交变换 T ，将其分量相关的原随机向量 $X=(x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ ，转换成分量不相关的新随机向量 $U=(u_1, u_2, \dots, u_p)^T$ ，这在代数上表现为将 X 的协方差阵变换成对角形阵，在几何上表现为将原坐标系变换成新的正交坐标系，使之指向样本点散布最开的 p 个正交方向，然后对多维变量系统进行降维处理，使之能以一个较高的精度转换成低维变量系统，再通过构造适当的价值函数，进一步把低维系统转化为一维系统。

设 $X=(x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ 为 p 维随机向量， x_i, x_j 是其中两个分量， $i, j=1, 2, \dots, p$ 。

$Dx_i = \text{var } x_i = E(x_i - Ex_i)^2$ 是随机变量 x_i 的方差， $\sqrt{Dx_i}$ 是随机变量 x_i 的标准差或均方差，

$\text{cov}(x_i, x_j) = E(x_i - Ex_i)(x_j - Ex_j)$ 是随机变量 x_i, x_j 的协方差。 $Z=(z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ 是标准化随

机向量，其中 $z_i = \frac{x_i - Ex_i}{\sqrt{Dx_i}}$ ， $r_{ij} = \text{cov}(z_i, z_j) = \frac{\text{cov}(x_i, x_j)}{\sqrt{Dx_i} \sqrt{Dx_j}}$ 是随机向量 x_i, x_j 的相关系数或

标准化协方差。 $\Sigma = \text{cov}(X - EX)(X - EX)^T = (\text{cov}(x_i, x_j))_{p \times p}$ 是随机向量 X 的协方差矩

阵， $\Gamma = \text{cov}(ZZ^T) = (r_{ij})_{p \times p}$ 是随机向量 X 的相关系数矩阵。

协方差矩阵 Σ 和相关系数矩阵 Γ 是对随机向量 X 各个分量之间相关程度的一种度量 (在某种意义上，可以认为是一种距离)，包含着丰富的信息。鉴于 Σ 和 Γ 都是实对称矩阵，人们为了将协方差矩阵信息集中起来，从提炼信息的角度出发，希望通过一个正交变换 (坐标旋转)，把它们转换成对角形阵，而由此生成的新随机向量，其各个分量也就互不相关，以便简化协方差矩阵。

【定理】存在一个正交矩阵

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1p} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ t_{p1} & t_{p2} & \cdots & t_{pp} \end{pmatrix},$$

使得 Σ 与一个对角矩阵相似，即

$$T^T \Sigma T = B = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & \lambda_p \end{pmatrix},$$

且有 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p$ 。

【定理】在所有的正交变换中， u_j 方差最大的系数向量是一定是协方差矩阵 Σ 的特征向量，即若 $S_j^T S_j = 1$ 且 $u_j = \sum_{i=1}^p s_{ij} x_i = S_j^T X$ 的方差最大，那么， $S_j = (s_{1j}, s_{2j}, \cdots, s_{pj})^T$ 一定是 Σ 的特征向量。

【定义】设为 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_p)^T$ 为 p 维随机向量，它的第 j 个主成分可以表示为

$$u_j = S_j^T X, \quad j = 1, 2, \cdots, p$$

其中 S_j 是一个正交矩阵的第 j 列向量，并满足下列条件：

- (1) u_1 是满足上式中方差最大的特征向量；
- (2) u_2 是满足上式中与 u_1 不相关的向量中，方差最大的特征向量；
- (3) u_k 是满足上式中与 $u_1, u_2, \cdots, u_{k-1}$ 都不相关的向量中，方差最大的特征向量， $k=1, 2, \cdots, p$ 。

【定理】设为 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_p)^T$ 为 p 维随机向量， Σ 是其协方差矩阵，将 Σ 的 p 个特征值按从大到小排列成 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p \geq 0$ （协方差矩阵的非负性要求各个特征值都不是负数），则 X 的第 j 个主成分 u_j 的系数向量是第 j 个特征值 λ_j 对应的特征向量。

8.1.2 主成分的性质

(1) 主成分性质

【定义】称 $\frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}$ 为第 k 个主成分向量 u_k 的方差贡献率，称 $\frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}$ 为前 k 个主成分向量

u_1, u_2, \cdots, u_k 的累计方差贡献率。

第 k 个主成分向量 u_k 与第 i 个分量 x_i 的相关系数 $\rho(u_k, x_i)$ 称为 x_i 在 u_k 中的负荷量。

【性质 1】主成分向量 $U = (u_1, u_2, \cdots, u_p)^T$ 的协方差矩阵是对角矩阵

$$B = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & \lambda_p \end{pmatrix},$$

其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ 是原协方差矩阵 Σ 的特征值。

【性质 2】 u_1, u_2, \dots, u_p 互不相关。

【性质 3】记 $\Sigma = (\sigma_{ij})_{p \times p}$ ，则 $\sum_{i=1}^p \delta_{ii} = \sum_{i=1}^p \lambda_i$ ，即变换后方差的和保持不变，不损失信息量。

【性质 4】 $\rho(u_k, x_i) = \frac{\sqrt{\lambda_k t_{ik}}}{\delta_{ii}}$ ， $i, k = 1, 2, \dots, p$

(2) 相关系数矩阵性质

相关系数矩阵 Γ 是协方差矩阵 Σ 的标准化，即是随机向量 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ 的协方差矩阵。

【性质 1】相应于标准化随机向量 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ 的主成分向量 $U = (u_1, u_2, \dots, u_p)^T$ 的协方差矩阵是对角矩阵

$$B = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_p \end{pmatrix},$$

其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ 是相关系数矩阵 Γ 的特征值。

【性质 2】 $\text{tr}(B) = \text{tr}(\Gamma) = p$ 。

该性质表明，标准化随机向量协方差矩阵所包含的信息量，由其维数唯一确定。

【性质 3】 $\rho(u_k, z_i) = \sqrt{\lambda_k t_{ik}}$ ， $i, k = 1, 2, \dots, p$

8.1.3 主成分分析法计算步骤

由于随机向量 X 的协方差矩阵或相关系数矩阵通常是未知的，且 X 的各个分量通常具有不同的量纲，因此，首先需要通过标准化变换解决不可公度问题，然后采取随机抽样的方法计算出协方差矩阵。

主成分分析法的算法可归纳为：

(1) 取 p 维随机向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ 的 n 个样本，一般 $n > p$ ，构造样本矩阵

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}$$

(2) 对样本矩阵 X 中元进行如下变换

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & \text{正效应指标} \\ -x_{ij} & \text{负效应指标} \end{cases}$$

得到 $Y = (y_{ij})_{n \times p}$ 。

(3) 对矩阵 Y 中元进行如下标准化变换

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{n}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,p$$

$$s_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{n-1}$$

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{s_j}$$

得到标准化随机向量 $Z=(z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ 的样本矩阵

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1p} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{np} \end{pmatrix}$$

(4) 求标准化样本矩阵 Z 的相关系数矩阵

$$R = (r_{ij})_{p \times p} = \frac{Z^T Z}{n-1}$$

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n z_{kj} \times z_{ki}}{n-1}, \quad i, j=1,2,\dots,p$$

(5) 求相关矩阵 R 的特征值和特征向量。解关于 R 的特征方程 $|R - \lambda I_p| = 0$, 得到 p 个特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ 。

(6) 主成分选取。一般按照“选取累计方差贡献率 ≥ 0.85 的 k 个主成分”的原则进行, 使信息利用率达到 85% 以上, 并对每个 $\lambda_i, i=1,2,\dots,k$, 求出对应的单位化特征向量 $\eta_j = (b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{pj})^T, j=1,2,\dots,k$, 即解 $R\eta = \lambda_i \eta$, 并将特征向量单位化。

(7) 求出标准化随机向量 $Z=(z_1, z_2, \dots, z_p)^T$ 的 k 个主成分分量

$$u_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} z_i, \quad j=1,2,\dots,k$$

(8) 选择合适的主成分综合评价函数, 进一步将 k 维系统将为一维系统。比如可选综合评价函数

$$F = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \lambda_j u_j$$

8.1.4 主成分个数的确定

主成分的确定依赖于主成分的贡献大小, 一般有三种方法:

(1) Bartlett 检验。对特征值是否等于 0 作假设检验, 如果后面的几个特征值与 0 无统计学差异, 则舍去不考虑, 而只取特征值不为 0 的主成分。

(2) 经验法。根据经验来确定, 即主成分累计贡献率达到 85% 以上者, 根据实际情况, 也可以确定为 90% 以上, 或者 70% 甚至 65% 以上者。

(3) 均数法。计算特征值的均数 $\bar{\lambda}$, 选择大于 $\bar{\lambda}$ 的特征值对应的主成分。

Bartlett 检验法不适合样本量很大或较少时, 因为使用这种方法检验后, 得到的样本量

仍然很大或较少。一般情况下多使用经验法，无法确定时则使用均数法。

8.1.5 主成分分析法的应用条件

主成分分析法除了能提取指标间共性和减少分析指标外，更主要的是为综合指标提供了可供参考的变量权重，各个主成分表达式中的指标系数可灵活处理，如仅选用第一主成分中系数规范化为权重，也可以选取各个主成分中系数共同规范化为权重。几乎所有的多指标评价问题都可以转化为主成分，然后根据研究目的选择适当的方法去解决问题。也可以先用主成分分析法对评价指标进行降维，再用其它评价方法进行综合评价。

主成分只依赖于变量的协方差矩阵或相关矩阵，与变量的分布无关，即主成分分析未对总体提出什么特殊要求。因此，主成分分析是基于协方差矩阵或相关系数矩阵，更多的主成分分析是基于矩阵运算。由于相关矩阵采用的是 Pearson 积矩相关矩阵，主成分分析要求变量间关系是线形的，对于非线性的，Pearson 积矩相关就无法准确表达它们之间的关系。

主成分是原变量的线性组合时，是对原变量信息的一种提取，主成分分析不增加总信息量，也不减少总信息量，只对原信息进行了重新分配。当变量间的相关性较小时，应用主成分分析法是没有意义的。

主成分的计算可以从相关系数出发，也可以从协方差矩阵出发，但两者结果往往不同，特别是当各变量的方差相差较大时，更应从相关系数矩阵进行主成分计算，一般情况下建议从相关矩阵出发计算主成分。

8.2 因子分析

因子分析与主成分分析法一样，是一种探索性分析方法。因子分析是根据相关性的大小把变量分组，使得同组内的变量之间相关性（共性）较高，不同组的变量相关性较低，这样，每组就可以代表一个方面的因子。

8.2.1 因子分析法模型和估计

因子分析的首要任务就是要估计因子载荷 l_{ij} 和特殊方差 ψ_i ，并对每个因子给出合理的解释，若难以找到合理的解释，就需要做一些变换。成功的因子分析就是要用尽量少的因子解释观察到的相关性，且每个因子都有一个合理的解释。

(1) 因子模型

设有 m 个随机变量 $X=(X_1, X_2, \dots, X_m)$ ，不妨先假设 X 为标准化变量，此时变量的协方差矩阵就是相关矩阵，为 $R=(r_{ij})$ 。假定有 $k(k \leq m)$ 个因子 f_1, f_2, \dots, f_k ，可将 X 表示为：

- ① f_j 的期望值（均值）为 0，方差为 1；
- ② u_i 的期望值（均值）为 0，方差为 ψ_i ；
- ③ f_j 和 u_i 相互独立， $j=1, 2, \dots, k$ ， $i=1, 2, \dots, m$ 。

则称 X 为具有 k 个公共因子的因子模型。如在满足下列条件：

- ④ 主因子间相互独立。

这样，公共因子间是独立的，公共因子与特殊因子也是独立的，即各因子间正交（orthogonal），则称该因子模型为正交因子模型，用矩阵表示为：

$$X=LF+U$$

其中 $E(F)=0$ ， $\text{cov}(F)=I$ ； $E(U)=0$ ， $\text{cov}(U)=\psi=\text{diag}(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m)$

(2) 正交因子的性质

【性质 1】 X 的方差和协方差可以表示为：

$$\begin{aligned}\text{var}(X_i) &= 1 = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{ik}^2 + \psi_i \\ \text{cov}(X_i, X_j) &= r_{ij} = l_{i1}l_{j1} + l_{i2}l_{j2} + \dots + l_{ik}l_{jk}\end{aligned}$$

k 个公共因子对第 i 个变量的贡献称为第 i 共同度（communality）或共性方差、公因子方差，

记为 h_i^2 ，而不能由公共因子解释的部分就是该变量的个性（uniqueness），即特殊方差 ψ_i ，则有

$$1 = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \cdots + l_{ik}^2 + \psi_i = h_i^2 + \psi_i$$

由此可见，因子分析实际上就是对原变量的协方差结构（这里为相关结构）进行分解，用矩阵表示为：

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1^2 + \psi_1 & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & h_2^2 + \psi_2 & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & h_m^2 + \psi_m \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} h_1^2 & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & h_2^2 & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & h_m^2 \end{pmatrix} + \text{diag}(\psi_1, \psi_2, \cdots, \psi_m) = LL^T + \psi$$

【性质 2】原变量与公共因子的协方差等于因子载荷，即 $\text{cov}(x_i, f_j) = l_{ij}$ 。

一旦得到因子载荷与特殊方差，就确定了因子，并可据此进一步得到因子本身的估计值，这个估计值称为因子得分（factor score）。

综上所述，因子分析有三个基本问题：

①将每个变量表示为 k 个公共因子及一个特殊因子的线性组合：

$$x_i = l_{i1}f_1 + l_{i2}f_2 + \cdots + l_{ik}f_k + u_i$$

②当因子难以得到合理解释时，寻找一个变换函数，对因子负荷矩阵作正交变换，从几何学的角度来说就是对该因子的坐标系进行旋转，即 $L^* = LT$ ，其中 T 为正交矩阵，以期对所选因子有一个较为合理的解释。

③将每个因子表示为 m 个变量的线性组合：

$$f_j = b_{1j}x_1 + b_{2j}x_2 + \cdots + b_{mj}x_m, \quad j=1, 2, \cdots, k$$

b_{ij} 称为因子得分系数，由此算得的值称为因子得分。因此得分的计算并非通常意义上的参数估计，而是对不可观察、抽象的公共因子的估计，是对变量的抽象概括、综合和提取；还要注意如无特殊说明，一般都从相关系数矩阵出发进行因子分析。

（3）因子模型的估计

常用有主成分法（principal component factor）和极大似然法（maximum likelihood factor）。

①主成分法

设有 m 个随机变量 $X = \{X_1, X_2, \cdots, X_m\}$ ，其标准比变换后的变量为 $\{x_1, x_2, \cdots, x_m\}$ ，其相关系数矩阵 $R = (r_{ij})$ ，假定有 $k(k \leq m)$ 个非 0 特征根为 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_k$ ，对应的特征向量为 $\{a_{ij}\}$ ，则第 j 个因子 f_j 的载荷系数的主成分估计，就是对应的特征根的平方根与对应的特征向量的乘积：

$$l_{ij} = \sqrt{\lambda_j} a_{ij}, \quad i = 1, 2, \cdots, m, \quad j = 1, 2, \cdots, k$$

因子分析中主成分选择与主成分法相同，根据方差累计贡献率的大小选择主成分，得到矩阵共性方差和个性方差。

②极大似然法

假定原变量服从正态分布，公共因子和特殊因子也服从正态分布，那么，我们可以得到

因子载荷和特殊方差的极大似然估计：

$$\begin{aligned}\ln(L, \psi) &= C - \frac{1}{2}n \ln |\Sigma| - \frac{1}{2}\text{tr}(\Sigma^{-1}n\Sigma) \\ &= C - \frac{1}{2}n \ln |LL^T + \psi| - \text{tr}[(LL^T + \psi)^{-1}(LL^T + \psi)]\end{aligned}$$

其中 C 为常数， Σ 为协方差矩阵，如果对变量进行了标准化，则将其替换为相关系数矩阵。

对上式中的 L 和 Σ 求极大，则满足如下方程组：

$$\begin{aligned}\Sigma \psi^{-1} L &= L(I + L^T \psi^{-1} L) \\ \psi &= \text{diag}(\Sigma - LL^T)\end{aligned}$$

其中如果限制 $L^T \psi^{-1} L$ 为对角阵，则可得唯一解。

如果因子提取方法不是主成分法，而是极大似然法，则所得特征值有时会是负的，在计算累计贡献率时可能会超过 100%，或者公因子方差会等于 1 或超过 1（亦即特殊方差等于或小于 0），这种现象称为 Heywood 现象。这虽给解释带来一些困难，却提示我们在保留多少个主因子时，一般不要使累计贡献率大于 100%，因为此时累计贡献率已经失去“累计”的意义。

8.2.2 因子旋转和因子得分

（1）方差最大正交旋转

因子分析的主成分和极大似然估计方法求出的因子称为初始因子，但有时初始因子不易解释，应用中则需要对载荷作正交变换，即旋转（rotate），以便得到一个更简单的结构，便于因子解释，旋转后的因子称为旋转因子。最理想的载荷结构，是每个变量只在一个因子上有较大的负荷，在其余因子上的负荷比较小，至少是中等大小。

方差最大正交旋转（varimax orthogonal rotation）是使公共因子的相对载荷 $\frac{l_{ij}}{h_i^2}$ 的方差之和达到最大，且保持原公共因子的正交性及公共方差总和不变。从几何学的观点来看，正交变换就是保持原坐标轴的正交性，对坐标轴进行旋转。当 $k > 2$ 时一般只能用迭代法求解，当 $k=2$ 时可以精确地求出正交变换 T ，若为顺时针旋转，则 $L^* = LT$ 即为所求。

（2）因子得分

因子得分（factor scores）即公共因子估计，不是通常意义上的参数估计，而是对不可观察的、抽象的、但有实际意义的随进变量的估计，可用于模型诊断，也可以作为下一步分析的起始资料。

因子得分法可以对未旋转因子或旋转后的因子进行计算，常用的因子得分法有两种：

① Bartlett 法

$$f_b = (L^T \psi^{-1} L)^{-1} L^T \psi^{-1} X$$

② Thomsom 法

$$f_t = (I + L^T \psi^{-1} L)^{-1} L^T \psi^{-1} X$$

Bartlett 法是极大似然估计，也是加权最小二乘回归。Thomsom 法是由 Bayes 思想导出的，又称回归法。Bartlett 法得到的因子是无偏的，而 Thomsom 回归法得到因子是有偏的，但是 Bartlett 法得到的结果的误差比 Thomsom 大。

8.2.3 因子分析的步骤

因子分析总会遇到三个问题，用什么方法提取因子，每个因子实际背景是什么，需要保留多少个影子。

因子分析没有固定步骤，常伴随着主观性。实际应用中，主要过程可以是：

(1) 先采用主成分因子提取法，提取主成分因子。当因子的意义不十分明确时，采用方差极大正交旋转，用时用因子得分探查离群值。

(2) 再用极大似然法重复上述步骤。

(3) 比较两种方法得到的因子分析解。主要分析：

因子载荷能否按同种方式分组；

两种方法所得的因子得分各为一个坐标轴做散点图，如果在一个特定因子上两种方法所得因子载荷是一致的，则因子得分应密集在过原点的 45° 线附近，否则因子得分将偏离 45° 线，则表明因子数选多了。

(4) 另选一个因子个数 m ，重复上述 (1) ~ (3)，考察添加因子对解释的影响。

(5) 若数据较多，可再从中随机抽取一部分（通常为三分之一以上）做因子分析，比较这一部分及全部数据得到的因子分析解，以考察解的稳定性。这一做法与其它多因素分析方法相同。

(6) 比较残差矩阵。

因子分析是对原变量的相关矩阵进行估计，且有 $R=LL^T+\psi$ 。由于计算上的误差和方法上的因子取舍，常常 $R\neq LL^T+\psi$ ，因此可以用这两个矩阵的差来说明因子方法的好坏。这两个矩阵的差就是残差矩阵。残差矩阵的对角线上的元素为 0，当因子对原变量的贡献较大时，因子分析中的残差矩阵中非对角线上的元素将接近于 0，由此，可以根据残差矩阵中元素的大小比较几种因子提取方法的优劣。

因子分析中最大的困难莫过于对因子的解释，如果公因子得不到切合实际的解释，也就失去了因子分析的意义。

8.2.4 样本含量与因子数目的确定

没有关于样本含量的计算公式，有的学者提出，因子分析所需样本含量需要达到变量数的 10~20 倍，甚至 100 倍以上。由于因子分析及主成分分析是基于相关系数矩阵的，只要样本相关系数是稳定可控的，则不必苛求太多的样本含量。因子分析是否成功，关键是协方差结构的可解性。当变量间的相关都较小时，及时扩大样本，也难以得到满意的结果。

因子数目的确定，一般以累计贡献率达到 80% 以上即可。这一点与主成分数目的确定类似。但是在因子分析中，特别是用极大似然法估计因子时，容易出现 Heywood 现象，此时累计贡献率就没有意义。因此，因子数目的确定，取决与所选因子是否解释了每个变量，以及残差矩阵的大小。

当样本含量较大时，变量的分布服从正态分布时，可以用 Bartlett 的方法确定因子数。Bartlett 检验实际上是通过比较协方差矩阵的估计值与原协方差矩阵，来检验含有公因子的模型的适应性。当相对于样本含量及变量数较小时，假设常常被拒绝，这就要增加公因子的数目。然而，当估计协方差矩阵与样本协方差矩阵很接近时，即便添加的因子很重要，Bartlett 检验也不可能提供附加信息。因此，在因子数目的选择上，更多的是依赖于具体问题。

8.2.5 因子分析的应用条件

(1) 变量的分布

因子分析中，极大似然法要求变量分布式正态分布，主成分法没有限定变量的分布。

(2) 变量间的关系

与主成分分析相似，因子分析是基于协方差矩阵和相关系数矩阵的，更多的因子分析是基于相关系数矩阵运算，而这里的所用的相关矩阵与 Pearson 积矩相关。因此，因子分析要

求变量间关系是线性相关的。如果变量间的关系是非线性的，则 Pearson 积矩相关就无法准确表达它们的关系，因而因子分析的结论就失去意义。

(3) 总体的同质性

由于因子分析是对变量间的协方差结构进行分析，因此，所研究的总体同质性要求比其它多元统计方法高。其它多元统计方法，尤其是多元回归模型，可以通过对协变量的分析，修正总体的同质性，但因子分析不能对协变量进行分析。例如，不同性别的资料能否放在一起做因子分析，取决于它们的协方差矩阵是否相等，如果协方差矩阵不等，则要分别分析。

8.3 判别分析

在系统评价中，经常需要根据观测到的资料，对研究对象进行分类，判别分析（discriminate analysis）就是一种可用方法。判别分析与聚类分析不同，对于聚类分析来说，一批样品中每个样品属于哪一类事先并不知道，需要聚类分析予以确定。判别分析则是在已知研究对象分成若干类型，并已取得各种类型的已知样品的观测数据，在此基础上根据某种准则建立判别式，然后对未知类型的新样品进行判别分类。因为如此，通常情况下，常将判别分析与聚类分析联合使用。

判别分析方法很多，按照判别组数分为两类别判别和多类别判别，按照区分不同总体所用数学模型分为线性判别和非线性判别，按照判别时变量的处理方法分为逐步判别和序贯判别。

判别分析从不同角度提出问题，所用判别准则会有所不同，如距离最小准则、Fisher 准则、平均损失最小准则、最小平方准则、最大似然准则、最大概率准则等，按照不同的判别准则又有不同的判别方法。这里仅介绍距离判别法。

8.3.1 两个类别的距离判别

首先根据已知分类的数据，分别计算各类的重心，即各类指标的均值。判别准则就是就近按距离归类，即对任给的一次观测值，若它与第 k 类的重心距离最近，则认为它来自于第 k 类。因此，距离判别法又叫最邻近法（nearest neighbor method）。距离判别法对各类总体的分布无特定要求，适用于任意分布资料。

设有两个总体（或两类） G_1, G_2 ，它们的协方差矩阵相同 Σ ，且两总体的期望（均值）向量为 μ_1, μ_2 ，那么对于一个样本 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ 要判断它属于哪个总体，应看它与哪个总体最相似。距离判别法就是以“距离”作为相似性度量，在判别分析中一般采用 B 模式下的马氏距离，这时考虑到判别分析各变量间可能相关。

常用的距离有 8 种，马氏距离是 B 模式距离的一种。

【定义】设矩阵 B 是一个正定矩阵， $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})^T$ 和 $X_j=(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})^T$ 是两个向量，其中向量的长度维数和矩阵 B 的阶数相同，定义这两个向量的距离：

$$d_{ij} = \sqrt{[(X_i - X_j)^T B (X_i - X_j)]}$$

所得距离称为向量 X_i, X_j 的 B 模距离。

当 $B=I$ 时，B 模距离就是欧氏距离；当 $B=[\text{cov}(X)]^{-1} @ \Sigma^{-1}$ 时，就是多元统计中的 Mahalanobis 距离（马氏距离）。

若总体 G 的期望值是 μ ，协方差矩阵是 Σ ，样本 X 到总体 G 的距离定义为：

$$d^2(X, G) = (X - \mu)^T \Sigma^{-1} (X - \mu)$$

定义判别原则为：

$$\begin{cases} X \in G_1, & d(X, \mu_1) < d(X, \mu_2) \\ X \in G_2, & d(X, \mu_1) > d(X, \mu_2) \end{cases}$$

因为

$$\begin{aligned} & d^2(X, \mu_1) - d^2(X, \mu_2) \\ &= (X - \mu_1)^T \Sigma^{-1} (X - \mu_1) - (X - \mu_2)^T \Sigma^{-1} (X - \mu_2) \\ &= -2 \left[\left(X - \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right)^T \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \right] \\ &= -2W(X) \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} W(X) &= \left(X - \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \right)^T \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \\ &= (X - \bar{\mu})^T \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \\ \text{其中 } \bar{\mu} &= \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \end{aligned}$$

这时，判别原则可以改写为：

$$\begin{cases} X \in G_1, & W(X) > 0 \\ X \in G_2, & W(X) < 0 \end{cases}$$

显然， $W(X)$ 是 X 的线性函数，故也称为线性判别函数，这样给出一个样本观察值，代入 $W(X)$ 就可以进行综合判定，给出样本的综合结果。

然而，有时距离判别法也会出现错误两类错误：

(1) $\bar{\mu}$ 附近误判

以马氏距离建立起来的最小距离判别分析是以总体有显著差异为前提的。设 $G_1: N(\mu_1, \delta_1^2)$, $G_2: N(\mu_2, \delta_2^2)$ ，即两总体为一维正态总体。如果已知样本 x 来自于总体 G_1 ，但它的取值若落在 $\bar{\mu}$ 右侧，由判别函数判断，则错误地判别为属于 G_2 ，如图 7-18 左图。

尽管在总体有显著差异的条件下，误判概率很小（图 7-18 左）；但在总体差异不显著时则出现误判的概率较大（图 7-18 右）。在实际评价中，综合评价结果对于两总体的错判情况往往有很大的差异。

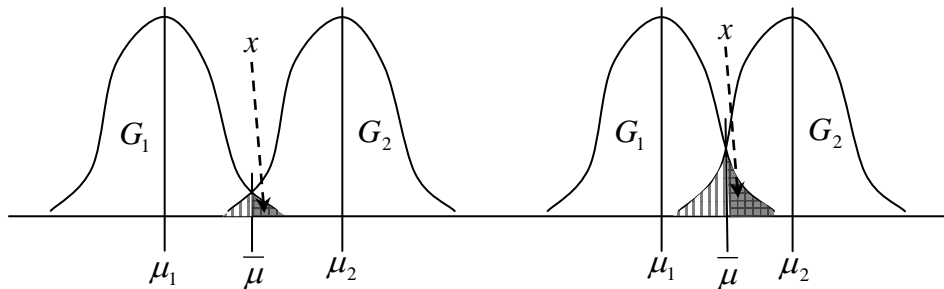


图 6-16 $\bar{\mu}$ 误判（仿郝海、踪家峰，2007）

为了减小 $\bar{\mu}$ 点附近的误判，可以划定待定区域，以减少误判的发生，如取 $a < \bar{\mu} < b$ ，将判定准则修改为：

$$\begin{cases} x \in G_1, & x \leq a \\ x \in G_2, & x \geq b \\ \text{待判定}, & a < x < b \end{cases}$$

当两类总体分布类型未知时，可以利用样本估计总体的期望和协方差。从第一个总体中抽取 n_1 个样本，记作 $X_i^{(1)}, i=1,2,\dots,n_1$ ，从第二个样本中抽取 n_2 个样本，记作 $X_j^{(2)}, j=1,2,\dots,n_2$ ，所得样本称为训练样本（training data set）。由多元分析知：

$$\begin{aligned}\bar{X}^{(1)} &= \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i^{(1)} \\ \bar{X}^{(2)} &= \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j^{(2)} \\ A^{(1)} &= \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i^{(1)} - \bar{X}^{(1)})(X_i^{(1)} - \bar{X}^{(1)})^T \\ A^{(2)} &= \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j^{(2)} - \bar{X}^{(2)})(X_j^{(2)} - \bar{X}^{(2)})^T\end{aligned}$$

则总体协方差为：

$$\Sigma = \frac{(n_1 - 1)A^{(1)} + (n_2 - 1)A^{(2)}}{n_1 + n_2 - 2}$$

然后进行判别分析。

（2）距离误判

在应用距离法进行判别分析时，是根据所用距离和判别函数都是假设两类的协方差矩阵相同时导出的。当各类协方差矩阵不同时，则有可能误判。如图 7-19，类 G_1 方差较大，而类 G_2 方差小，尽管 A 点到 G_1 的距离比到 G_2 的距离长，但 A 点更像来自于 G_1 。

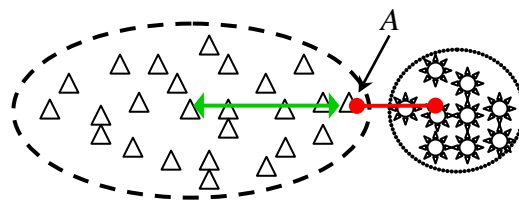


图 6-17 距离误判（仿郝海、踪家峰，2007）

如果协方差矩阵不相等，样品到各类间的马氏距离公式中合并协方差矩阵用各自的协方差矩阵代替，判别函数中的合并协方差也用各自的协方差矩阵代替：

$$\begin{aligned}d^2(X, \mu_1) - d^2(X, \mu_2) \\ = (X - \mu_1)^T \Sigma_1^{-1} (X - \mu_1) - (X - \mu_2)^T \Sigma_2^{-1} (X - \mu_2)\end{aligned}$$

其中 Σ_1, Σ_2 是各个总体的协方差矩阵。

8.3.2 多类别距离判别

设有 q 个总体 G_1, G_2, \dots, G_q , 它们有公共的正定协方差阵 Σ 和不同的期望值 (均值) 向量 $\mu_i, i=1, 2, \dots, q$, 建立判别函数, 仍采用 B 模式下的马氏距离:

$$W_{ij}(X) = \left(X - \frac{\mu_i + \mu_j}{2} \right)^T \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j), \quad i, j = 1, 2, \dots, q$$

建立判别规则:

$$X \in G_i, \text{ 如果 } X \in D_i, \quad i = 1, 2, \dots, q$$

$$D_i = \{X \mid W_{ij}(X) > 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, q, \quad i \neq j\}$$

对于 D_i 的边界点, 则归入 D_i 下标最小的类别。

8.3.3 评价步骤

- (1) 计算各总体的期望向量、协方差矩阵、合并协方差矩阵;
- (2) 计算马氏距离;
- (3) 计算判别函数;
- (4) 判别归类。

4.1.4 时空动态方法 (TSE)

通过法制事件的 TSE 分析, 了解法制事件发生的详细机理, 采用综合的方法对其进行分析与评价。[31,32,99~119]

第四节 法制监督

法制监督又叫法律监督。狭义的法制监督是指有关国家机关依照法定职权和程序, 对立法、执法和司法活动的合法性进行的监察和督促, 其中对司法活动的合法性进行的监督又叫司法监督。广义的法制监督是指由所有的国家机关、社会组织和公民对各种法律活动的合法性所进行的监察和督促。

1. 法制监督的内涵

- (1) 法制监督是对法制活动中违反法律的情况所进行的监督。
- (2) 狭义的法制监督是一种专门性的监督, 由国家机关采用专门手段对法制活动机型监督。例如, 检察机关对司法活动进行监督, 宪法法院、议会或者人民代表大会对所有法制活动进行监督。
- (3) 法制监督还是一种程序性的监督。一是法制监督规定了一定的程序规则, 这些程序规则可能因监督的对象不同而有所不同。二是法制监督的效果在于启动追诉程序、救济程序或者修订、撤销或废止程序。
- (4) 法制监督是一种事后性的监督。只有当法律规定的属于法制监督的情形出现以后, 监督机关才能启动法制监督程序, 实施监督行为。

2. 法制监督的主体

- (1) 国家机关

包括国家权力机关、行政机关和司法机关。这种监督是以国家的名义进行的, 具有法律强制力, 在一国的法制监督体系中处于核心地位。

（2）社会组织

包括各政党、社会团体、群众组织和企业、事业单位、各种媒体。这种监督不同于国家机关的监督，它不以国家名义进行，不具有法律效力。但是它有组织性、广泛的代表性，因而是监督体系中的重要力量。

（3）公民

按照人民主权原则，每个公民是政治权利的主体和国家的主人，因而每个人都可以成为监督主体。这种监督广泛、直接而具体，起作用不可忽视，是法制监督体系的基础。

3. 法制监督的客体

对于法制监督客体的范围，法学界有两种理解。一种观点认为，法制监督的客体包括从事各种法制活动的国家机关、社会团体和公民个人。另一种观点认为，法制监督的客体是国家机关及其公职人员。两种理解都有其合理性。

从法制监督的宗旨与目的来看，应当将国家机关及其公职人员作为重点监督对象。因为历史的经验表明，对宪政、民主和法治最大的威胁和最大的破坏因素主要地不是来自社会团体和公民个人，而是来自公权力的拥有者即国家机关及其公职人员。法制监督是针对公权利的拥有者和运用者而设计的一种防范机制。

因此，法制监督的主要客体是国家机关及其公职人员的各种公务活动，即公权力的拥有者与运用者具体操作公权力的行为。

4. 法制监督的内容

法制监督的内容，主要是指国家机关及其公职人员的公务活动的合法性。这里的合法性包括两个方面，即行为内容是否合法与行为程序是否合法。根据国家机关的性质及其权力操作的方式和内容，法制监督内容的范围包括：国家机关制定的规范性法律文件的合法性的监督、对行政执法和司法活动的合法性的监督，每一个方面都包括内容和形式是否合法。

从宪法和法律的有关规定看，法制监督是指运用国家权力，依照法定程序，检查、督促和纠正法律实施过程中严重违法的情况，以维护国家法制的统一和法律正确实施的一项专门工作。

5. 法制监督的分类

法制监督的分类，是指按照不同的标准，从不同角度对法制监督所作的基本分类，通常也称为法制监督的种类，主要有以下几种分类：国家监督和社会监督、纵向监督和横向监督、内部监督和外部监督、事前监督和事后监督、国家性的监督和非国家性的监督。

根据不同的标准可以对法制监督作不同的分类：

（1）根据法制监督的来源不同，可以把法制监督分为系统内的监督 and 系统外的监督，也称为内部监督和外部监督。

（2）根据法制监督的阶段不同，可以将法制监督分为事前监督、日常监督和事后监督。

（3）根据法制监督的主体不同，可以将法制监督分为国家法制监督和社会法制监督。

对于法制监督可以按不同的标准，从不同的角度进行各种分类：

（1）根据监督主体不同可以分为国家监督（又称国家机关的监督）和社会监督两大类。

（2）根据监督主体和被监督的国家机关的地位和相互关系的不同，可以分为纵向监督和横向监督。

（3）根据监督主体和被监督的国家机关是否属于同一系统，可以分为内部监督和外部监督。

（4）根据监督实行时间的先后，可以分为事前监督和事后监督。

(5) 根据监督的性质和效力,可以分为具有法律效力的监督和不具法律效力的监督。

(6) 根据监督的内容可分为立法监督和法律实施的监督。

6. 法制监督的意义

法制监督是国家实现其职能的重要手段,对健全国家法制具有十分重要的作用:

(1) 法制监督是维护国家法制统一的需要。法制监督有利于实行依法治国方略,有利于发展民主政治,建设政治文明。

(2) 法制监督是制约权力滥用的基本手段。法制监督有利于促进国家机关及其工作人员正确行使权力。

(3) 法制监督是完善国家法制的内在要求。法制监督有利于民众行使监督权,有利于促进法制逐步趋于完善。

7. 司法监督

司法监督通常包括两种含义,一是监督主体依照宪法和法律的规定,对司法机关及其工作人员的司法活动的合法性进行的监督,二是司法机关依法对行政机关及其工作人员的司法活动的合法性进行的监督。

所谓司法监督的主体,就是国家司法机关。我国国家司法机关仅指人民法院和人民检察院,因此我国司法监督的主体是人民法院和人民检察院。

通过行政诉讼,司法机关可以对行政机关的具体行政行为进行合法性的审查,检察院对国家行政机关和国家公务人员实行监督的范围是法纪检查、经济检查和侦查监督。

审判机关监督的方式和种类有:通过宪法诉讼进行的监督,通过行政诉讼进行的监督,通过国家赔偿诉讼进行的监督,通过刑事诉讼进行的监督。

8. 行政监督

行政监督有狭义和广义之分。狭义的行政监督是指行政机关内部上下级之间,以及专设的行政监察、审计机关对行政机关及其公务人员的监督。广义的行政监督泛指执政党、国家权力机关、司法机关和人民群众等多种社会力量对国家行政机关及其公务人员的监督。^[120]

第七章 法制系统管理

本章介绍了法制系统的系统管理、健康管理与和谐管理的基本方法。

第一节 系统管理理论

1. 系统管理的定义

系统管理（system management），就是指人类按照系统理论与系统运行规律，对系统进行科学合理的开发利用与保护，确保系统的结构、功能得以高效、和谐、持续运行。系统管理的实质是一个不断学习与进化过程，即促进PCDS循环，对系统施加人为干扰，使得系统持续保持健康状态并更多持续地为人类社会提供更多的服务。管理的目标是系统在保持健康的基础上和谐化，系统管理的重点是健康管理。

2. 系统管理的内涵

系统管理的内涵，就是运用当前已有的科学技术，充分认识并深入理解系统的结构、功能与过程，在尊重系统运行规律的基础上，对系统实施适当的干扰，使得系统更好地服务人类并保持持续健康。

（1）系统管理管理的对象不仅仅是系统，人类社会也作为系统中的一个子系统，只有将人类纳入系统之中，才能更全面科学地对系统实施管理活动。

（2）系统管理，核心是约束人类社会的发展行为，使人类社会发展行为符合系统运行规律。

（3）系统的管理目标，一是保持系统健康，确保系统健康发展；二是让系统在持续保持健康的基础上，为人类社会提供丰富的服务或产品。

（4）从技术层面看，要实施系统管理，必须深入研究系统的结构、功能与过程，掌握其能流的时空动态变化过程，才能更准确地进行系统分析，得出较为准确的结果，进行较为贴近实际的系统模拟，制定科学的发展规划。

（5）从人类发展角度看，人类的发展活动的是指，是对系统自然过程的干预，也即人类对系统的干扰。系统管理，实质就是约束人类对系统有害的干扰，使得人类的干扰成为有益的干扰或者在系统承载力范围之内。所谓有益的干扰，可以理解为是人类促进或维护系统健康的干扰。系统承载力范围内的干扰，是指人类为了获得系统的产品或服务，对系统施加的有害干扰，但这种干扰是在系统承载力允许范围内的。如，农田系统，如果不施加人为干扰，农田会演变为湿地、草地或森林，显然，这是人类所不希望得到的，因此，人类就有必要进行科学合理的耕作，保持农田系统稳定地输出农产品，如果耕作制度不合理，则就会使农田系统退化。再如，毁林毁草开荒、过度放牧等等，则是超出了生态承载力的干扰，事实已经证明，这种干扰对生态系统和人类社会已经造成极大的伤害。

（6）从管理过程看，系统管理是一个包含系统分析与评价、系统模拟、人类发展规划制定与系统仿真、规划实施与监督等过程，整个过程几乎涉及到了目前所有学科，其中较为

密切的有哲学、数学、生态学、法学、经济学、社会学、系统学等学科，这些学科分别为生态系统管理在基础理论、分析评价、系统模拟仿真、发展规划、实施与监督、法学支持等方面提供理论和技术支持。

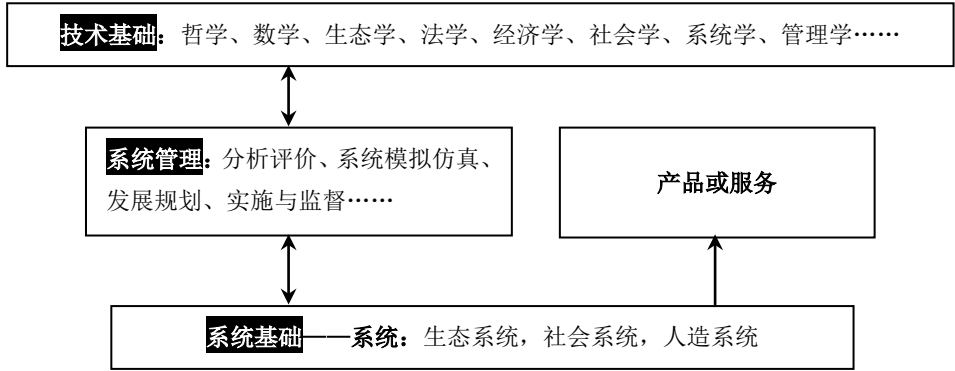


图 7-1 系统管理的内涵

目前，哲学、数学、系统学、承载力分析、健康评价、规划、生态学等理论与技术的研究，为系统管理研究提供了重要的理论、技术与实践支撑，并将成为管理科学的主干体系。

3. 系统管理的生态学内涵

系统管理是管理史上的一次深刻革命，虽然它还不成熟，但是仍存在一些共性的认识。首先，它强调人类社会与系统尤其是人类与生态的平衡可持续发展。其次，它意味着一种管理范式的转变，即从传统的“线性、理解性”管理（似乎对被管理的系统有全面、定量和连续的了解）转向一种“循环的渐进式”管理（又叫适应性管理），即根据试验结果和可靠的新信息来改变管理方案，原因在于人类对系统的复杂结构和功能、反应特性以及它未来的演化趋势的了解还不够深入，所以只能以预防优先为原则，以免造成不可逆的损失。再次，系统管理非常强调整体性和系统性，要求认知到所有系统之间的相互依存（纯粹的人类中心主义或自然中心主义都是片面的，它们是两个极端）——系统和社会都是自然界的组成部分，以及系统内各组成部分彼此间的复杂影响，要用整体论和系统的思想来指导经济和政治事务，谋求社会系统和自然系统、人造系统协调、稳定和持续的发展。最后，系统管理强调更多公众和利益相关者的更广泛的参与，它是一种民主的而非保守的管理方式。

4. 系统管理关键内容

（1）管理主体的生态化

加强公民生态文明教育，将生态思想观融入到公民的生产生活具体行为中。对于具体的单位来说，就是要对全体员工进行生态意识的普及和培训，各级管理者具备的知识结构中应当具备基本的生态意识和生态观念。在发展过程中，不应以个体利润最大化为目标，应把系统健康纳入长远的发展战略和决策中，注意和自然环境的协调发展，实施可持续发展战略，维护经济增长所依赖的生态的有序性，保障经济增长有一个稳定的生态环境基础，而不是仅从利己角度出发对资源无限索取。

（2）管理效益的生态化

传统管理理论认为，管理者的主要责任是效率与利益最大化。但系统管理要求，一个单位除了追求效率效益外，还必须建立并承担自己的社会责任，不仅让员工，更重要地要使全

社会感到满意。因此，可以说，效益最大化是管理的第二位目标，而不是第一位目标，管理的第一位目标是保证人类社会的生存与发展。自然环境是人类社会自身所赖以生存与发展的基础，如果忽视管理效益生态化，即使其管理活动产生了极丰硕的成果，但对整个人类社会和生态系统来说，可能会产生更大的“负效益”。因此，管理效益生态化中的“效益”，显然不仅仅是经济效益，更重要的还包括生态效益与社会效益。

（3）生产生态化

首先，是产品（包含服务）设计生态化。要将生态观融入产品设计，产品设计时，一要以低耗、低污染的材料为产品原材料，二要应考虑残余产品的分解、拆卸和重新使用，使产品废弃后对生态的影响和破坏降至最低，三要考虑产品寿命，使得产品寿命足够地长，以节约资源。

其次，产品（包含服务）生产的生态化。产品生产生态化的基本内容至少包括：生产环境、生产结构、生产程序生态化，高效地利用资源，生产中原料、设备无害化，科学利用废弃物实现零排放，实施产品全程追溯，全程跟踪并回收产品废弃物。

再次，产品（包含服务）营销的生态化。在市场营销中，衡量一个产品的竞争力除价格竞争力，非价格竞争力（即产品的品牌、包装、服务等）外，还应考虑“生态竞争力”。营销生态化就是要求在产品包装、装潢时降低产品包装物或产品使用剩余物的污染，开展产品全程追溯终端服务和回收产品废弃物始端服务，积极引导消费者在产品消费、使用、废弃物处置等方面实行生态化消费。

这里的管理，不仅仅是企业管理，还包括公共管理。在管理中实现生态管理，关键是管理主体生态化，管理主体生态化是实现生态管理的基础。管理效益生态化是实现生态管理目标的动力。生产生态化是实施生态管理基本过程，也即生态管理中的过程管理。

5. 系统管理基本原理

（1）整体性原理

系统内的诸要素构成了一个系统学的有机整体，同时各要素特定状态的最佳组合秩序构成了系统整体的最优化。系统管理，就是对其主要因子或关键因子实施管理，维持系统健康，使其整体功能处在最佳状态。

具体的系统作为一个特定的空间单元，具有特定的结构和功能。系统结构（structure）是指系统内各组成因素在时空连续空间上的排列组合方式，相互作用形式以及相互联系规则，是系统构成要素的组织形式和秩序。系统功能（function）是系统在相互作用中所呈现出来的属性，它表现了系统的功效和作用。系统所具有的功能是支持系统存在的原因，它体现了系统的目的性，一旦其功能丧失，该系统也就失去了它存在的意义。作为系统的总体功能，尤其与人类生存发展密切相关的功能主要表现为它的物质生产功能或功能，有的系统还具有生态服务功能（环境价值）。近年来随着全球性环境问题的日趋严重，生态环境工程的产业化趋势加快，人们已经开始更多地关注系统的生态系统服务（ecosystem service）价值。系统的生态服务也被称之为自然服务（nature service）或环境服务（environmental service），是度量系统对人类生存环境贡献的经济学指标。

任何系统都是作为一个相对独立的整体存在于特定的环境之中，系统内的诸要素构成了一个系统学的有机整体（organization），各个组成要素仅仅是作为整体的一个特定部分而存在，当把它从整体中割离出来时，它不可能完全保持其原来的特性、性质和意义。因此，系统内部的要素之间是相互关联的，其中的任何一个要素的变化必然会以不同的方式和程度影响其他要素甚至整个系统。同时各要素特定状态的最佳组合秩序构成了系统整体的最优化，在这种整体最优化状态下，维持系统健康，表现出最佳的功能状态。但是，通常情况下的系统功能状态，往往会受到一个或几个关键因子的制约，它们质和量的特征会对系统起到限制

作用。

系统的功能决定于它的结构、多样性和整体性。系统的总体功能取决于系统结构以及不同层次的系统学过程。所以系统管理只能通过影响系统组成、结构和系统学过程而发挥作用，以获得系统功能的输出。系统管理效果取决于我们对系统有机整体的所有层次的科学了解程度。

（2）动态性原理

系统管理，就是调整影响系统动态变化过程的敏感因子，从而实现对生态系统的高效调控。

每一个具体的系统都是存在于特定的环境之中，它必然与外界环境发生着物质、能量和信息的交换。外界环境的变化必然会影响部分或整个系统的行为。系统对环境变化虽然具有一定的适应能力，环境变化在一定的临界值之内，系统不会发生质的变化，当环境作用超过系统适应能力界限时，系统就会发生质变或解体。

影响系统特征的要素或驱动力，在一定的时间范围内，虽然具有相对的稳定性，但是，随着时间的变化，系统的动态变化会表现出它的系统动力学（system dynamics）特征。在较长的时间内，例如一个十年或者百年的时间尺度上，系统的结构、功能和系统学过程可能被环境所改变，并可能表现为系统演化的阶段性。

系统在没有受到大于临界量的环境胁迫或扰动时，具有保持原来平衡状态的倾向，具有一定的弹性（或保守性）。当系统因受到大于临界量的环境胁迫或扰动而发生质变时，也不可能是对过去的彻底否定，总是会继承其相应的成分，保留一定程度的历史痕迹。

系统对于环境胁迫或扰动的响应特征，通常可以用系统维持稳定状态的程度或吸收干扰的能力（抵抗力，resistance）、受到干扰后系统返回干扰前状态的速度（恢复力，resilience）和系统在某种状态下所延续的时间长度（持续力，persistence）来表示，系统恢复力又可以用受干扰生态系统恢复到干扰前状态所需要的时间（弹性，elasticity）、受干扰前后的状态差异程度（振幅，amplitude）以及干扰移走后的恢复时间（滞后性，hysteresis）和系统恢复后的状态与干扰前状态的差异程度（可塑性，malleability）来表征。

因此，系统管理必须承认系统的变化和进化是系统持续性所固有的属性，管理就是企图动态地调控系统的演化进程和演化方向，避免它冻结在某个特定的状态或结构上。系统调控管理要求我们必须对系统内的系统学过程机制有深入理解，寻找控制系统动态变化的关键因素，以及系统对外界环境胁迫的反应方式。

（3）多样性原理

系统的可持续性决定于系统结构的复杂性、多样性和整体性，保护和维持系统多样性是提高系统抵抗干扰和环境胁迫的有效途径。

系统多样性是系统结构复杂性的基础，是决定系统稳定性和可持续性的重要因素。系统结构越复杂，系统的自我修复和维持能力也越强，越有利于抵抗外来干扰，系统多样性和结构复杂性能够强化系统抗御环境扰乱的能力。此外，结构复杂的系统，一般可以实现分级控制，从而提高控制的效率。

（4）复杂性原理

系统的活动不但受到周围环境系统的影响，同时也会对周围环境产生深刻的影响，此外，系统内部的物质循环、能量转换和信息流的关系错综复杂，也经常会受到一些外界的随机扰动，包括人类的扰动，并且系统对环境的响应和反馈多表现为非线性关系。

系统学的发展虽然使我们对某些简单系统的理解和把握取得了很大的进步，但是对于大多数复杂系统而言，我们还是难以真实地把握它们的系统动力学过程，这必然导致我们对系统管理的盲目性，甚至是无效的。目前，系统管理，都依赖于我们对于系统的现有理解和系统机能的典型性论证来进行，而这些典型性论证往往是临时的、不完整的。因此，就目前

系统学技术水平而言,系统管理策略必须被看作为一种假设,是一种有待于通过研究和监测来检验和修正的假设,系统管理是对系统的一种适应性管理。

系统模型是对现实系统的抽象化、简单化和公式化表述,是揭示和预测系统中的各种现象、分析系统适应性管理策略的有效工具。数据收集(data collection)和监测(monitoring)是构建系统模型的基础工作,系统管理的效果取决于系统学模型对系统有机整体所有层次的科学概括程度。同时,构建不同尺度的系统学模型所必要的的数据或知识及时间尺度也不同。

(5) 时空关联原理

系统管理的时间尺度和空间尺度是相关联的。通常,管理对象的空间尺度越大,其所要求的时间尺度也就越长。

系统的完整性决定于系统内部系统学过程的完整性。通常情况下,这些系统学过程往往是跨越很大的空间和时间尺度,在系统管理和研究中,对应于某个特定系统学过程所定义的系统学边界(boundary)和时空尺度(spatio-temporal scale),对于其他系统的系统学过程而言往往并不一定适合。正因为这种系统学过程间的空间区域变异,要想确定一个对所有系统学过程都适合的、完美的空间尺度是非常困难的。因此,系统管理的研究必须具有一个广泛的视野,科学地定义适当的系统空间界域(context),以保证系统学的完整性,达到便于研究、能够有效地调控系统学过程的目的。

系统管理要求把长时间的可持续性作为基本价值观,而不是把注意力集中在当前问题的“解救”,系统管理时间尺度可以分短期、中期和长期尺度,相应的管理政策也包括短期、中期和长期政策。

(6) 人的作用原理

人类作为系统的使用者,同时又是系统的管理者。在复杂系统中,人类还是系统不可分割的组成部分,人类介入会从根本上影响系统格局和系统学过程。人类的价值观在系统管理目标的策划中发挥着主导作用,为了达到可持续管理目标,应该有效地发挥人的作用,重视发挥人对系统的有利影响,最大限度地减小人对系统的负面干扰。

(7) 系统的精确管理

系统精确管理(precision management)理论,源于张国庆的“双精”管理(张国庆,2007)理论。所谓“双精”管理(2P),就是精密监测(precision monitor)与精确管理(precision management),精密监测就是对系统进行精密的监测与准确的预测,精确管理就是对系统进行精确的管理,促进并维护系统健康。

由此可见,“精密监测”属于“精确管理”,是“精确管理”的一部分,因此,“‘双精’管理”应该修改为“精确管理”。即:系统的精确管理,就是对系统实行实时监测,及时发现影响系统健康的因素,找出影响系统健康的关键因子,采取先进的系统管理措施,及时、快速地恢复系统的健康;对处在健康、亚健康状态的系统,采取合理的管理措施,维护并保持系统处在比较稳定的健康状态。

也就是说,系统的精确管理,不仅仅是要维持系统正常的功能或服务的输出,更重要的是主动维护系统的健康,确保系统的茁壮成长。

系统精确管理的实质是:①重在监测,对系统运行状况尤其是系统健康状况进行实时监测,发布精准预报。②重在维护健康状态系统的健康,使其保持在比较稳定的健康状态。③对非健康和亚健康的系统,采用先进的系统学和管理学技术,使其尽快恢复健康。

(8) GCSP管理原理

GCSP管理是分级管理(graded management)、分类管理(classification management)、分区管理(subarea management)、分期管理(phased management)的英文缩写。系统的GCSP管理,主要是针对系统的不同时空和组织结构特点,采取不同的管理策略。

①分级管理

根据系统的组织结构等级或者功能等级，对系统进行分级，不同等级的系统，采取不同的管理措施。

②分类管理

按照系统种类或功能输出，对系统进行分类，根据不同的种类，采取不同的管理措施。

③分区管理

根据系统所处的不同区域，采取不同的管理措施。这种区域可以是自然区域，也可以是人为划分的区域，对于人类社会系统，也可以是行政区域。

④分期管理

系统的发育发展，常常遵循一个特定的生命周期。根据系统不同的发育发展周期，采取不同的管理措施。

当然，系统的发育发展过程复杂多变，其组织结构、功能或服务输出、时空动态，以及各个发育发展阶段之间的划分不一定十分明显，而且有时还会相互交织、循环往复，因此要根据具体系统，确定相应的 GCSP 管理措施。

(9) PDCS管理原理

根据系统发育发展过程中的PDCS循环的不同阶段，采取不同的管理措施。

对复杂系统而言，理想状态是，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期，即进化。当然，这对系统管理者来说，需要有很敏锐的观察力，以及准确的判断能力和决策能力。系统理想的生命周期可以用动态的 PDCS 表示。

P (Plan) 计划，包括系统方针和目标的确定，以及系统的活动计划的制定；D (Do) 执行，就是具体计划的实施运作；C (Check) 检查，就是评估计划执行的结果；S (Study) 学习，对评估结果进行处理，成功的经验加以肯定发扬，对于失败的教训要避免重现，并将学习结果遗传到下一轮计划中。

在整个 PDCS 循环中，都贯穿着学习，既总结学习系统本身的经验教训，还向其他系统学习发育发展经验教训。这种学习，贯穿系统的终生。通过学习，获得了先进的进化或更新经验，促进系统进化或更新，使得进化或更新后新的系统更为先进、健康、和谐。

生命周期的概念应用很广泛，特别是在政治、经济、环境、技术、社会等诸多领域经常出现，其基本涵义可以通俗地理解为“从摇篮到坟墓”(Cradle to Grave) 的整个过程。

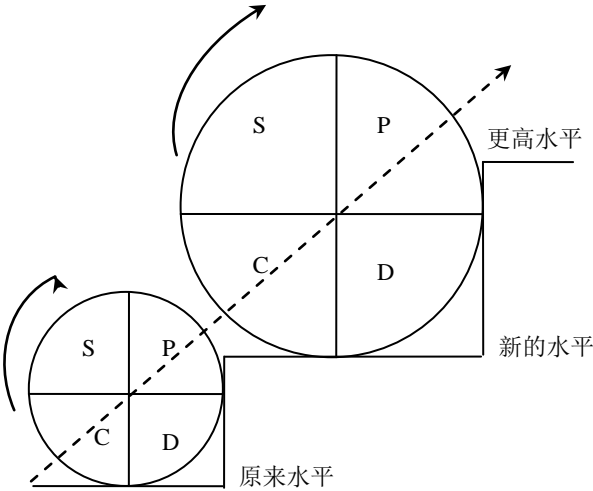


图 7-2 PDCS 循环 (张国庆, 2010)

对复杂系统而言，理想状态是，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期，即进化。当然，这对系统管理者来说，需要有很敏锐的观察力，以及准确的判断能力和决策能力。系统理想的生命周期可以用动态的 **PDCS** 表示。

P (Plan) 计划，包括系统方针和目标的确定，以及系统的活动计划的制定；**D** (Do) 执行，就是具体计划的实施运作；**C** (Check) 检查，就是评估计划执行的结果；**S** (Study) 学习，对评估结果进行处理，成功的经验加以肯定发扬，对于失败的教训要避免重现，并将学习结果遗传到下一轮计划中。

这样便形成了一个循环，这个循环叫做 **PDCS** 循环。对于本循环中难以解决的问题，应提给下一个 **PDCS** 循环中去解决。这样，通过周而复始的 **PDCS** 循环，推进系统不断进化。上述过程可以用下面两式表达为：

$$E_{i+1} = E_i + c_1 = R_i + c_2$$

E_i 为第 i 个 **PDCS** 循环计划期望值（目标）， E_{i+1} 为第 $i+1$ 个 **PDCS** 循环计划期望值（目标）， R_i 为第 i 个 **PDCS** 循环结果， c 为期望值增量。这个过程表示目标随着 **PDCS** 循环不断变化着的。

$$R_i = F_i[g_i(x_i), h_i(y_i), L_i, E_i]$$

若 x_i 、 y_i 分别为系统内部变量与外部环境变量； F_i 、 g_i 、 h_i 为作用方式， L_i 为互动因子，随着系统的发展，可能发生着变化。这个过程表示系统发展是一个互动的、完全的动态过程。所谓完全动态过程，就是指在某一过程中 $f(x)$ ，自变量 x 与作用方式 f 都是在变化着的。

在管理学中，**PDCS** 循环又叫 **PDCA** 循环（Plan, Do, Check, Act）、质量环、戴明环，是管理学中的一个通用模型，最早由休哈特（Walter A. Shewhart）于 1930 年构想，后来被美国质量管理专家戴明（Edwards Deming）博士在 1950 年再度挖掘出来，并加以广泛宣传 and 运用于持续改善产品质量的过程中。它是全面质量管理所应遵循的科学程序。全面质量管理活动的全部过程，就是质量计划的制订和组织实现的过程，这个过程就是按照 **PDCA** 循环，不停顿地周而复始地运转的。

生命周期分析，其实质就是对系统的健康状态进行监测与评价，对系统实施科学管理，使得系统进化、再生或增值。当然，对于纯自然复杂系统而言，在没有人为干预下，这种过程在其内在机制驱动下，也可以完成这种周期性的自组织过程。

生命周期的分析方法，已经应用于企业、产品等的生命周期分析。对于一般复杂系统而言，可以借鉴生态健康的方法进行分析并进行管理。

此外，将代谢分析与生命周期分析结合在一起，采用生命表（life table）分析技术对系统进行分析，可以对系统发展过程中关键的代谢流和关键节点进行详细分析，及时发现系统发展中的拐点（关键点）。

（10）发展原理

①理论创新

随着人类社会的发展，技术不断进步，以及系统学的外部环境也随着变化，系统学理论要随之创新，不断发展，从而指导系统学实践，对系统实施科学管理。

②稳定与进化

系统的科学管理，保持系统稳定性是系统的生命之源，惟其稳定才有发展力。但是环境是不断变化的，人类社会是不断进步的，在系统管理中，还要促进系统适时进化，确保系统发展旺力，以适应环境的变化，满足人类社会进步的需求。对于不能进化的系统，要及时更新淘汰，为其它新的系统释放资源。

③适当超前

系统管理在进行当前问题研究、克服当前矛盾的同时，还要预防未来矛盾的产生。尤其要注重潜在问题研究，加强对一些长期性的、基本性的矛盾因子研究，及早采取管理措施实施调控，将矛盾化解在危机爆发之前。

第二节 法制系统管理的基本方法

法治，不是完美的，也存在缺陷，这些缺陷包括团体权力作为法治的补充造成的缺陷，法律变更造成的缺陷，法律的解释造成的缺陷，法律的不完备造成的缺陷，以及司法过程中的缺陷等等。虽是如此，但这些缺陷却不是法治本身所固有的，而是法治中人的能力有限、文明水平、政治水平等因素造成的。

因此，这就需要采取一定的措施进行弥补这些缺陷，使得缺陷造成的负面影响最小，这也正是系统法学的重要研究内容之一，这些措施就是法制系统的管理，

1. 法制系统管理的方式与途径

（1）系统管理的方式

适应性管理是被广泛倡导的系统管理方式。法制系统事件的发生不可能是确定的，而是具有不确定性和突发性。适应性管理依赖于我们对于系统临时的和不完整的理解来进行，允许管理者对不确定性过程的管理保持灵活性和适应性。此外，由于法制管理涉及公共管理，适应性管理计划的提出必须经过广泛的民主讨论和科学分析，以增加制定者、管理者和公众对于因不确定性而可能引起的诸多问题的了解，还要通过对公众的宣传教育，使他们理解和参与适应性管理行动。

（2）法制系统管理的基本步骤

确定明确的和可操作的管理目标；

收集适当的数据，在对法制系统复杂性和系统内各种要素相互作用关系充分理解的基础上，提出合理的系统模型，分析并检测系统的动态行为；

明确被管理系统的空间尺度和空间边界，尤其是要合理确定系统管理的等级系统结构，以核心层次为主，考虑其相邻层次的内容；

分析和整合系统相关信息信息，制定合理的系统管理规则；

确定管理的时间尺度并制定年度和长期的管理计划；

履行系统适应性管理责任分工，注意协调管理部门与系统管理者、公众的合作关系；

发挥科学家的科学研究和组织实施作用，及时对系统管理的效果进行正确的评价和提出系统管理的修正意见。

2. 法制系统监测

系统监测，是系统管理，尤其是系统分析的基础。法制系统监测以系统学原理为理论基础，运用可比的和较成熟的方法，在时间和空间上对特定区域内系统和系统组合体的类型、结构和功能及其组合进行系统的测定。

法制系统动态监测的要以从微观到宏观的多层次和多尺度系统监测研究网络为依托，服务于系统管理，系统动态监测既要检测各种干扰对系统变化的影响，更要监测系统管理措施、重大工程和政策实施的效果。

法制系统监测的内容包括：①对各种因子的监控和测试，既监测社会环境条件，又要监

测自然系统的指标的变化；②法制系统的个体、群体以及系统内子系统的组成、数量、动态；③一定区域范围内的系统与环境之间构成监测，以及系统的组合方式、镶嵌特征、动态变化和空间分布格局的监测；④自然条件下的系统结构、功能特征的监测及系统在受到干扰或进化、再生、更新后的结构和功能的监测；⑤人类活动对系统和区域社会系统的影响监测。

3. 法制系统分析

法制系统分析从分析系统结构、功能与过程入手，评价法制系统变化对人类社会的影响，以及人类活动对法制系统的影响，为法制系统可持续发展提供科学的理论依据。

4. 法制系统规划

根据法制系统评价结果和法制系统发育发展规律，提出法制系统发展目标和行动方案。

5. 生命周期管理

系统生命周期管理（LCM，life cycle management），就是按照系统发育发展周期规律，不断改善影响系统发育发展的内外因子，促进系统健康发展。

由于复杂系统的具有反馈的特性，我们可以通过反馈，对系统的发育进程施加干扰，促进系统健康发展。

又由于复杂系统各不相同，其发育发展模式各不相同，复杂系统的生命周期管理，就是要按照不同系统的发育发展规律，采取不同管理措施。

（1）复杂系统发育模式

系统由幼体到成体，是一个不断成长壮大的过程，最终系统可能会走向衰亡，或者增殖再生，或者被其他系统替代更新，或者再衰亡之前进化。

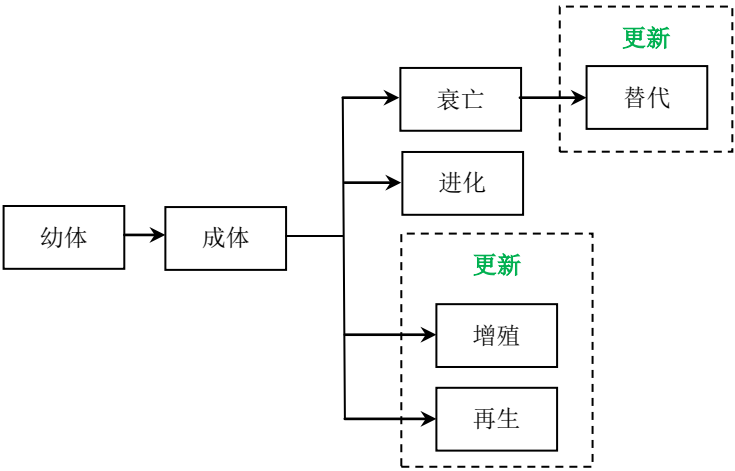


图 7-3 复杂系统的发育发展模式

（2）法制系统生命周期管理方式

根据法制系统的发育发展模式，可以采取不同的管理方式，对法制系统的生命周期实施有效管理：

①促进进化

在系统成熟后，或者进入衰亡期之前，采取合适的措施，帮助并促进系统进化。

②促进更新

在系统衰亡之前，或者系统衰亡之后，采取积极措施，促进系统增殖、再生，或者使用新的系统替代旧的系统。

③促进衰亡

衰败陈旧的系统，会空耗资源，并有可能影响其他系统的健康发展，因此，对于即将进入衰亡期的系统，应该采取积极的管理措施，促进旧系统衰亡，让其组成元素及早进入自然循环，释放资源，为其它系统提供更多的发展空间和资源。

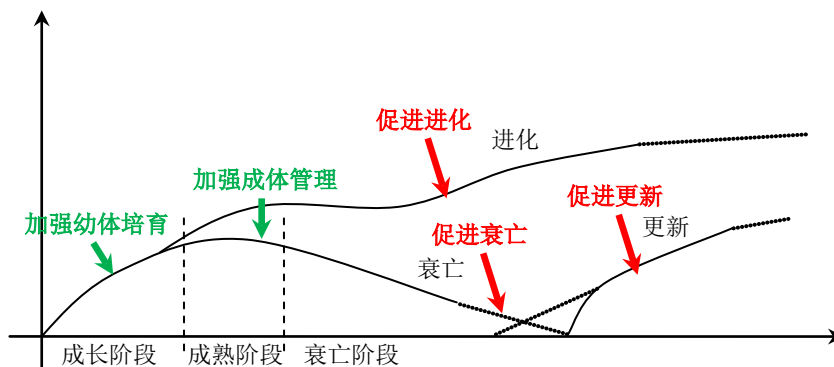


图 7-4 系生命周期管理方式

（3）法制系统生命周期管理措施

①优化系统组织结构

积极开展系统组织结构变化研究分析，优化系统组织结构，使其保持健康状态，保持旺盛的发展潜力。

②加强学习

学习是一个反馈过程，是一项智能活动。系统的学习，对于进化来说非常重要，系统只有通过 PDCS 循环，在不停顿地周而复始地运转中，使自己不断适应环境，吸取自己以前的或者别的系统的经验教训，不断超越旧的自我，使之保持持续先进。

对于更新来说，学习同样重要，只有通过学习，吸取衰亡系统的经验教训，使自己不致重蹈覆辙。

③加强关键因子管理

将系统代谢分析与生命周期分析结合在一起，采用生命表（life table）分析技术对系统进行分析，可以对系统发展过程中关键的代谢流和关键节点进行详细分析，及时发现系统发展中的拐点（关键点），对其实施调节，使其符合系统发展趋势。

④加强健康管理

加强系统健康管理，使系统保持持续健康和旺盛的发展潜力。在系统整个发育发展过程中，尤其是要加强系统的幼体培育和成体管理。

6. 分布式管理

分布式管理（distributed management），是一种将系统的增长和资源从集中的域中分散出来，合理布局、整合系统内资源，以集成、优化、计划、控制为基础的，面向网络化管理的管理方式，支持从基层子系统到系统高层的全面信息化管理。

7. 云管理

云管理（cloud management），是借助云计算技术和其他相关技术，通过集中式管理系统建立完善的数据体系和信息共享机制，其中集中式管理系统集中安装在云计算平台上，通过严密的权限管理和安全机制来实现管理措施的实施。

8. 网格化管理

网格化管理（grid management），是 依托统一的管理以及数字化的平台，将管理区域按照一定的标准划分成为单元网格，通过加强对单元网格的部件和事件巡查，建立一种监督和处置互相分离的形式。

9. 系统管理技术的综合集成

系统管理具有综合性、系统性以及持续性等特点，需要尊重系统发展的客观规律，运用现代科学的基本理论，综合考虑多方面因素，系统地分析系统内部和外部因素及其相互关系。在系统管理过程中，应充分利用多种有效的技术和措施在不同时空尺度上对系统的结构和过程实施有效的干预。

（1）生态系统管理的技术过程

①对需要管理的系统进行描述，确定管理尺度及系统边界，找出存在的问题，筛选重点管理对象；

②从系统的完整性和可持续性出发，从战略上确定社会接受、环境适宜、并且持续的管理目标；

③在管理尺度上获取关于系统结构、组成和过程的广泛数据，形成对自然系统的全面了解；

④收集社会经济数据，也是制定系统管理方案的必要过程；

⑤选取模型对系统与社会经济数据进行综合分析，确定管理方案；

⑥在管理对象中执行管理方案；

⑦长期跟踪管理结果和系统的状态，通过监测和评价，总结管理方案的长处与不足及时进行调整。

（2）系统管理的目标体系的构建

建立系统目标体系是系统管理的首要任务，目前比较多见的目标体系结构是将最终的综合性总体目标设定为“顶级”目标，再将“顶级”目标层层细化为各层级目标，直至最终确定期望状态（desired future condition，DFC）。

“顶级”目标往往是宽泛和模糊的，表达了研究者对这个系统发生兴趣而进行管理的原因，但不具备可操作性。

各层级目标是对“顶级”目标的层层展开，是进一步的分解和细化过程，使得总目标的含义清晰和明确。

期望状态是系统管理目标体系最低层的子目标，它通常是一个定性或定量的、可描述和测量的变量，直接与管理方案相关的数据。衡量各个目标之间的相互协调性是建成管理目标体系的一项重要工作，管理体系中的各个目标之间可能存在着相互冲突，需要通过辨识加以调整。

（3）系统管理决策支持系统的建立和应用

系统管理的对象是复杂系统，包含自然与人类社会的众多因素，其间的相互关系极为复杂。作为管理对象，自然环境与社会经济系统均具有复杂的动态特征，需要通过对大量的不同类型和质量的数据与信息（知识）的描述，与此同时系统管理的多角度多层次管理目标之间往往存在着相互冲突，需要通过多种管理方案或措施间的权衡。多目标决策和决策支持系统作为系统工程的方法，在系统管理目标体系和技术体系的设计、管理方案的制定以及实施和监测评价等方面可以发挥重要作用，能够提高决策过程的科学化程度。

第三节 法制系统健康管理

系统健康 (system health)，是指系统具有和谐稳定的结构，可以持续发挥完善的功能，并且安全可靠。

具有和谐稳定的结构，是系统健康的基础；发挥完善的功能是对健康系统的基本要求，也是系统设计的基本目标；只有安全可靠的系统才是健康的系统，安全性差，可靠性低，这样的系统会对其它系统造成伤害，也会危及系统本身安全。

显然，系统的健康不只是功能完好，而是包括“结构、功能、安全”三个基本方面，对不同的系统，可能还有其它更具体的要求。

系统健康，描述的是一种系统的状态，只有处在健康状态的系统，才能安全可靠地服务与人类社会，促进人类社会和谐发展。然而，由于经济利益或政治利益驱动，我们人类未经科学论证，就曾经制造出不少不健康的系统，造成环境污染、生态环境破坏，或者酿成巨大事故。

其实，“系统健康”就是广义的“健康”，现在许多场合下已经使用的“健康”一词，就是广义的“健康”。广义的“健康”，不仅仅是用来描述“人”，还可以描述某一系统或系统的行为。如“森林健康”、“生态健康”分别描述的是森林生态系统和生态系统，再如“促进社会健康发展”描述的是社会系统的发展行为。

系统健康管理 (health care)，就是为了维护或促进系统的健康而采取的措施，系统健康管理的目的是增强维持系统稳定性与和谐性，提高系统抗逆能力，去除或避免系统中或系统外危害系统健康的因素，创建有利于系统健康的良好环境条件。

系统健康管理可以理解作为一种对具体系统的管理策略、管理方式和管理过程（行动计划），也可以理解作为一种管理系统的理论和方法，是系统管理活动的主体。

1. 法制系统健康评价

系统健康评价，就是对系统的健康状况进行评价。无论是系统承载力分析，还是系统健康评价，其实都是系统分析与的一部分，其中系统承载力分析既是系统健康评价的重要内容之一，也是系统分析重要内容之一。

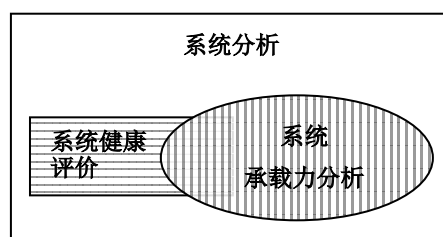


图 7-5 系统健康评价与系统承载力分析

法制系统健康的评价步骤为：

(1) 系统承载力法

直接使用系统承载力分析方法，进行系统健康评价。

(2) 盈亏法

通过对系统承载力盈亏进行分析，评判系统健康状况。这是一种比较粗糙的方法，适合于对较大范围的系统健康状况进行简单的评判。

（3）状态法

以系统所处的状态，来描述系统的健康状况。

（4）诊断法

建立健康指标、诊断标准与诊断模型，将状态法的系统状态数据与之比较，从而获得系统健康诊断结果。

（5）生产力评价法

通过系统的自由焓与发展能力分析，对系统健康状况进行评价。

（6）熵评价法

通过系统熵的分析，评价系统健康状况。

（7）层次分析法

层次分析法（AHP）是一种对复杂现象的决策思维过程进行系统化、模型化、数量化的方法，所以又称多层次权重分析决策法。

（8）多因子数量分析法

从系统在一定的时间、一定的范围所发生的变化是由各环境因子的变化和状态所决定的理论出发，通过测定环境因子的变化趋势，进行系统因子相关性分析和主分量分析，进而进行系统健康状况趋势分析。

（9）回归分析法

系统健康评价中，一般采用多元线性回归分析法，而且除部分问题属于线性关系外，大部分问题实质上是非线性的，因而或者需将非线性问题简化为线性问题处理，或者需进行多元线性模型分析。

（10）系统分析法

系统健康评价是根据预定的系统目标、结构和属性，用有效的标准测定系统的性质和状态。其目的是为了描述系统的状态或方案的效果，也即在系统目标明确的前提下，对各种系统方案占用或消耗资源进行评审，选择技术先进、经济合理、系统安全、实施上可行的最优或满意的方案，为决策提供依据。对于系统健康的系统评价，就是采用系统分析与评价技术，对系统健康状况进行客观评估。

2. 法制系统健康管理原则

根据法制系统的健康状况，制订系统保健计划，开展系统保健工作，并对系统保健措施所取得的效果进行评价，是开展系统健康管理工作的基本过程。在其整个管理过程中，要始终贯彻“认真研究系统组织结构与功能，详细分析系统的能流，增加系统自由焓，以培育系统活力和恢复力为主，及早发现并减轻危害系统健康因子的危害”的健康管理原则。

3. 法制系统健康管理主要内容

（1）维护健康

加强系统健康状况监测，及时发现并减轻危害系统健康因子的危害，维护系统的持续健康。

（2）增进健康

开展系统组织结构与功能研究，详细分析系统能流，掌握系统健康与上述因子之间的关系，按照这一关系，培育系统活力和恢复力，增加系统自由焓，增强系统的稳定性和抗逆能力。

（3）预防措施

对于一些活力较差的系统，或者危险性因子入侵系统之前，采取适当的人为干扰措施，提高系统的抗逆能力，预防系统灾害发生。

(4) 及早发现并清除危险性因子

加强系统健康状况监测,尤其是危险性因子发生发展情况的监测,及早发现,迅速清除。

(5) 防止发生系统灾害

忽视系统健康状况的监测,不合理的人为干扰措施,是系统灾害产生的主要原因。因此,加强系统健康状况监测与管理,采取合理的人工干扰措施,是减小系统灾害危害的主要手段。

(6) 灾后康复

系统灾害发生后,利用系统的恢复力,采取一定的合理的人工促进系统恢复措施,促进系统恢复,减轻灾害产生的危害。

第四节 法制系统和谐化

和谐 (harmonious), 是指系统的组织结构处在最佳状态, 能充分并能持续发挥系统的功能。

从生态论来看, 和谐, 对广义系统来说, 是系统的最佳状态, 是系统的理想目标, 是系统朝理想目标进化的过程。也就是说, 和谐的系统, 系统的组织结构是优化了的, 处在最佳状态, 能最大程度地发挥系统的功能, 并能持续保持这种状态, 或者能进化到更高一级状态。

1. 系统健康与系统和谐

系统健康 (system health), 是指系统具有协调稳定的结构, 可以持续发挥完善的功能, 并且安全可靠。

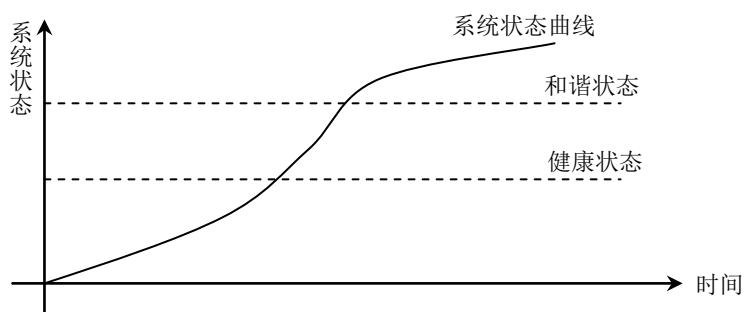


图 7-6 系统健康与系统和谐

具有协调稳定的结构, 是系统健康的基础; 发挥完善的功能是对健康系统的基本要求, 也是系统设计的基本目标; 只有安全可靠的系统才是健康的系统, 安全性差, 可靠性低, 这样的系统会对其它系统造成伤害, 也会危及系统本身安全。

显然, 系统的健康不只是功能完好, 而是包括“结构、功能、安全”三个基本方面, 对不同的系统, 可能还有其它更具体的要求。这与儒家的“不相害”、“不相悖”思想很类似。

其实, “系统健康”就是广义的“健康”, 现在许多场合下已经使用的“健康”一词, 就是广义的“健康”。广义的“健康”, 不仅仅是用来描述“人”, 还可以描述某一系统或系统的行为。如“森林健康”、“生态健康”分别描述的是森林生态系统和生态系统, 再如“促进社会健康发展”描述的是社会系统的发展行为。

由此可以看出, 健康, 是系统安全运行、正常发挥功能的基础, 也是系统持续存在的基

础。而和谐，则是在健康的基础上更高一层的状态，只有在这种状态下，系统才能充分地、持续地发挥其所有功能。

2. 系统的目标

从生态论中的生命周期理论可以知道，任何一个系统，都有一个生命周期。不同状态的系统，或者不同性质的系统，其生命周期的表达是不一样的，对于那些不能进化的系统而言，它只能采取再生、增殖的策略来延续自己，甚至于有些系统只能直接消亡分解。而理想的系统，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期。

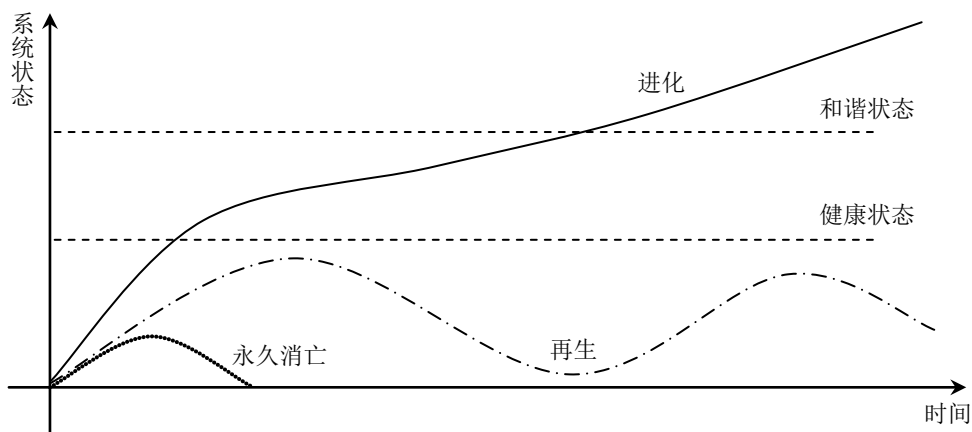


图 7-7 系统的演变

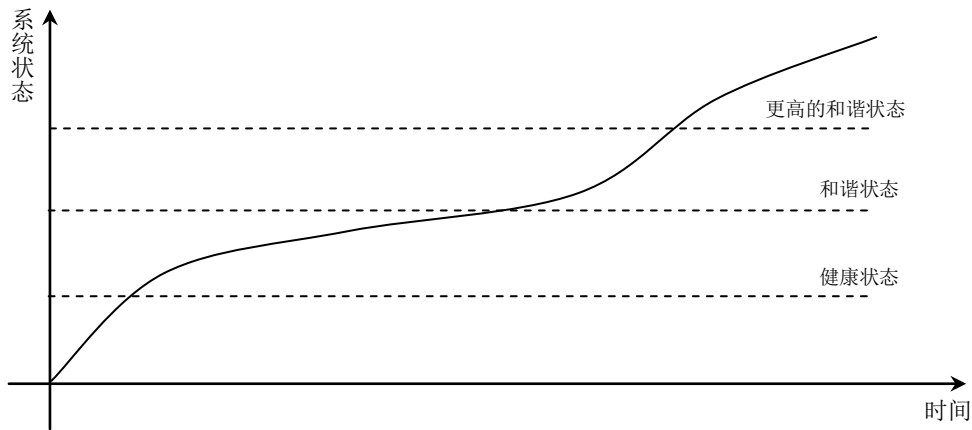


图 7-8 系统的不断进化

因此，高级的、理想的系统，是能进化的，这也就是说，也只有系统处在健康状态下，才能进行进化。仅仅只在健康状态下的系统，进化不是高效的，而且还有风险。要实现系统高效、低风险进化，只有使得系统内部的组织结构达到最佳状态，才能高效地充分利用系统内部以及外部环境中的信息、物质和能源，并能抵御进化风险，以较小的进化成本，来实现系统的进化。

因此，从系统的发展角度来看“和谐”，是系统的一种目标，只有到达这个目标，系统才能充分发挥自己的功能，高效地实现低风险进化，从而以最低成本实现系统的持续。

3. 系统的进化

生态论认为，每一个系统都有一个初生、成长、成熟、消亡或再生、进化的过程，有且

只有系统处在健康状态之上，才能顺利进行进化。位于健康状态之下的系统，由于其代谢能力减弱，消耗大与积累，致使系统逐步走向衰亡。而在系统接近或者达到和谐状态时，系统的代谢能力进入最佳状态，系统活力较强，能高效顺利地进行进化。

4. 和谐论与生态论

如果说生态论是研究系统的一种方法，那么，和谐论就是系统健康评价与管理的一种方法。为了使系统高效低风险进化，对系统健康状态进行实时监测评价，提出管理方案，及时调整系统，使之处在或接近和谐状态。

对复杂系统而言，理想状态是，在系统即将达到成熟期，或者达到成熟期尚未进入衰退期，就对系统进行调整，使其适应新的变化，摆脱衰退与消亡，直接进入新的增长期，即进化。当然，这对系统管理者来说，需要有很敏锐的观察力，以及准确的判断能力和决策能力。系统理想的生命周期可以用动态的 PDCS 表示。

如果系统一直处在或接近和谐状态，可以通过 PDCS 循环，使系统不断进化，进入或接近新的和谐状态，即进入更高的和谐状态。

5. 系统的和谐度方程

(1) 系统和谐的要素

左其亨(2012)把和谐论要素归纳为和谐参与者、和谐目标、和谐规则、和谐因素与和谐行为五种。

和谐参与者：参与和谐的各方，称作和谐方。一般为双方或多方。

和谐目标：是指和谐参与者为了达到和谐状态所必须满足的目标。

和谐规则：是指和谐参与者为了达到和谐目标所指定的规则。

和谐因素：是指和谐参与者为了达到和谐目标所所要考虑的因素。

和谐行为：是指和谐参与者针对和谐因素所采取的具体行动总称。

(2) 和谐度方程

单因素 (F^p) 和谐方程：

$$HD_p = ai - bj$$

式中 HD_p 为某一单因素 F^p 对应的和谐度 (harmony degree)，是表达和谐程度的指标， $HD_p \in [0,1]$ ， HD_p 值越大，和谐度越高； a 为统一度 (unity degree)，表示和谐参与者按照和谐规则具有相同目标所占的比重， $a \in [0,1]$ ； b 为分歧度 (difference degree)，表示和谐参与者按照和谐规则和目标存在分歧情况所占的比重， $b \in [0,1]$ ，若 $a+b < 1$ ，则表示有弃权现象，否则 $a+b=1$ ； i 为和谐系数 (harmony coefficient)，反映和谐参与者对和谐目标的满足程度， $i \in [0,1]$ ，若 $i=1$ ，则表示完全满足和谐目标， $i=0$ ，则表示完全不满足和谐目标； j 为不和谐系数 (disharmony coefficient)，反映和谐参与者对分歧的重视程度， $j \in [0,1]$ ，若 $j=1$ ，则表示完全反对， $i=0$ ，则表示完全不反对。

多因素 (F^p) 和谐方程：

$$HD = \sum_{p=1}^m \omega_p HD_p$$

或

$$HD = \prod_{p=1}^m (HD_p)^{\beta_p}$$

式中 HD 为多因素综合和谐度, $HD \in [0,1]$; ω_p 为因素 p 的权重, $\omega_p \in [0,1]$, $\sum_{p=1}^m \omega_p = 1$;

β_p 为因素 p 的指数权重, $\beta_p \in [0,1]$, $\sum_{p=1}^m \beta_p = 1$ 。

6. 法制系统的和谐化管理

(1) 法制系统的和谐评估

对法制系统的和谐参与者所处的状态与和谐程度进行评估。通过评估, 可以反映总体的和谐程度、所处的状态和水平以及时空变化规律, 为和谐问题寻找和谐策略提供依据。主要有两种方法:

法制系统和谐度评价方法: 通过建立和谐度方程, 计算得到不同和谐问题的和谐度, 以作为定量评估和谐程度的依据。

法制系统多指标综合评价方法: 通过建立一套指标体系, 采用综合评价方法, 来综合评估其和谐程度。

(2) 法制系统的和谐调控

在和谐评估基础上, 针对和谐问题采取一些措施以提高和谐程度。通过和谐调控, 可以在一定程度上提高所研究问题的和谐度, 使和谐问题达到最佳的和谐状态。主要有两种调控方法:

和谐行为集体优选法: 根据和谐度大小先选择和谐行为集, 再据此确定满足要求的调控措施。

基于和谐方程的优化模型方法: 通过建立和谐调控模型, 得到最优和谐方案, 以此作为满足要求的调控措施。[31,32]

参考文献

- [1]罗竹风, 汉语大词典[M], 上海: 汉语大词典出版社, 1997
- [2]汉典网, <http://www.zdic.net/>
- [3]百度百科, <http://baike.baidu.com/>
- [4]徐开来, 亚里士多德论“自然”[J], 社会科学研究, 2001, (4): 54~60
- [5]李耳, 道德经[EB/OL], 中国网, 百度百科, <http://baike.baidu.com/view/16516.htm>
- [6]孔正, 老子《道德经》现代意译[EB/OL], 爱问知识人, 2011年12月2日, <http://ishare.iask.sina.com.cn/f/21743007.html>
- [7]汪叶斌, 一般平衡论[EB/OL], 豆丁, 2010年12月30日, <http://www.docin.com/p-113138103.html>
- [8]张国庆, 和谐发展初论[EB/OL], 知识论坛, 1999年1月18日, <http://www.cntzs.com/bbs/dispbbs.asp?boardID=5&ID=1005>; 天柱论坛, 1999年1月18日, http://www.tzs.com.cn/luntan/showtopic.asp?TOPIC_ID=116&Froum_ID=13
- [9]张国庆, 论和谐发展[EB/OL], 知识论坛, 2000年2月28日, <http://www.cntzs.com/bbs/dispbbs.asp?boardID=5&ID=1299>; 天柱论坛, 2000年2月28日, http://www.tzs.com.cn/luntan/showtopic.asp?TOPIC_ID=975&Froum_ID=13
- [10]张国庆, 再论和谐发展[EB/OL], 天柱论坛, 2001年1月8日, <http://tianzhushan.net/bbs/dispbbs.asp?boardID=5&ID=1351>
- [11]张国庆, 论和谐发展与和谐林业[J], 绿色中国(B版)2003, (3, 4合刊): 79~83
- [12]张国庆, 我的发展观: 和谐发展——兼议发展科学[J/OL], 学说连线, 2004年9月14日, <http://www.xslx.com/htm/sxgc/sxhh/2004-09-14-17303.htm>
- [13]张国庆, 和谐的学问: 发展学[J/OL], 学说连线, 2006年1月23日, <http://www.xslx.com/htm/xssy/xkjs/2006-01-23-19656.htm>
- [14]张国庆, 文化、生态文化与中国和谐森林文化体系建设[J/OL], 学说连线, 2006年4月11日, <http://www.xslx.com/htm/szrp/gsm/2006-04-11-19910.htm>
- [15]张国庆, 和谐发展: 生态文明之路[J/OL], 科学网, 2008年1月11日, http://www.sciencenet.cn/blog/user_content.aspx?id=14287
- [16]张国庆, 和谐林业: 生态文明建设的基础[J/OL], 科学网, 2007年12月15日, http://www.sciencetimes.com.cn/blog/user_content.aspx?id=12723
- [17]张国庆, 生物灾害学[M/OL], 科学网, 2012年5月25日, <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=3344&do=blog&id=574783>
- [18]张国庆, 简论生态观[J/OL], 科学网, 2007年12月9日, http://www.sciencetimes.com.cn/blog/user_content.aspx?id=12300
- [19]张国庆, 简论生态观、生态思想与和谐思想[J/OL], 科学网, 2008年1月11日, http://www.sciencetimes.com.cn/blog/user_content.aspx?id=14284
- [20]张国庆, 论和谐发展与生态建设[J], 安徽农业, 2003(学术版): 69~79
- [21]张国庆, 论和谐发展与和谐林业[J], 绿色中国(B版)2003, (3-4): 79~83
- [22]张国庆, 按需育林, 和谐发展[N], 安庆日报, 2002年1月19日: 第1版
- [23]张国庆, 全民参与, 按需育林, 和谐发展中国现代林业[J], 安徽农业, 2002(学术版): 163
- [24]张国庆, 试论和谐林业[J], 世界林业研究, 2003, 16(6): 45~49
- [25]张国庆, 论和谐林业与我国林业能力建设·经济林产业化与可持续发展研究[C], 北京: 中国林业出版社, 2007: 246~253

- [26]张国庆, 简论当前人类群体智力与行为 [J/OL], 科学网, 2007 年 12 月 23 日, http://www.sciencetimes.com.cn/blog/user_content.aspx?id=13126
- [27]张国庆, 生态论概述[EB/OL], 科学网, (2012 年 4 月 13 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=19547>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-558716.html>
- [28]张国庆, 生态论与经济生态化研究[J], 现代农业科技, 2012, (10): 28~29
- [29]张国庆, Time-Space Dynamic Analysis About Event (TSDA) [EB/OL], 科学网, (2009 年 8 月 5 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/upload/blog/file/2009/8/200985173135969134.pdf>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-247630.html>
- [30]张国庆, 生态健康概论[EB/OL], 科学网, (2012 年 4 月 10 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=19323>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-557531.html>
- [31]张国庆, 生态论: 复杂系统研究[J/OL], (2013 年 3 月 27 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/data/attachment/home/201304/01/082301npp13fnh5bllmra3.attach>, <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=3344&do=blog&id=674444>
- [32]张国庆, 系统学概论[J/OL], (2013 年 3 月 27 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/data/attachment/home/201303/30/181342mjoagoqx5j1u3xwa.zip>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-675354.html>
- [33]张国庆, 林业标准化基本原理研究[J], 现代农业科技, 2012, (1): 223~224
- [34]张国庆, 论标准化基本原理[J], 现代农业科技, 2011, (21): 35
- [35]张国庆, 标准的分类及命名[J], 现代农业科技, 2011, (21): 28~30
- [36]张国庆, 标准学[M/OL], 科学网, (2011 年 7 月 8 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=8390>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-469416.html>
- [37]张国庆, 林业标准学[M/OL], 科学网, (2011 年 2 月 20 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=8389>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-469414.html>
- [38]张国庆, 林业的特点与林业标准化原理研究[J/OL], 科学网, 2010 年 10 月 23 日, http://www.sciencenet.cn/blog/user_content.aspx?id=376252
- [39]张国庆, 论标准化原理[J/OL], 科学网, 2010 年 10 月 16 日, http://www.sciencenet.cn/blog/user_content.aspx?id=373878
- [40]张国庆, 生态健康概论[EB/OL], 科学网, 2012 年 4 月 10 日, <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=3344&do=blog&id=557531>
- [41]张国庆, 生态健康评价及生态系统管理方法[J], 现代农业科技, 2012, (11): 245~246
- [42]张国庆, 生物灾害学 [M/OL], 科学网, (2012 年 5 月 25 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=21810>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-574783.html>
- [43]张国庆, 灾害学概论[EB/OL], 科学网, (2012 年 3 月 16 日) [2013 年 3 月 30 日], <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=18034>, <http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-548423.html>
- [44]闫林海, 中国系统法学研究[D], 武汉: 华中科技大学, 2009
- [45]熊继宁, 系统法学导论[M], 北京: 知识产权出版社, 2006
- [46]于洪军, 系统法学大纲[M/OL], (2010 年 2 月 17 日) [2013 年 3 月 30 日] http://blog.sina.com.cn/s/blog_6514c82d0100h4af.html

- [47]李宝明, 中国系统法学研究回顾与展望[J/OL], (2003 年 10 月 27 日) [2013 年 3 月 30 日] <http://www.110.com/ziliao/article-3423.html>
- [48]高志亮, 李忠良, 系统工程方法论[M], 西安: 西北工业大学出版社, 2004
- [49]王连成, 工程系统论[M], 北京: 中国宇航出版社, 2002
- [50]高志亮, 李忠良, 系统工程方法论[M], 西安: 西北工业大学出版社, 2002
- [51]汪应洛, 系统工程(第四版)[M], 北京: 机械工业出版社, 2009
- [52]互动百科, http://tupian.baike.com/a2_76_44_01300000164642123020443031107_jpg.html
- [53]康渝生, 和谐发展的理论渊源及其在当代的实践[J], 学习与探索, 2006, 162(1): 144~147
- [54]伊全胜, 论构建和谐社会与科学发展观理论渊源及内在统一性[J], 齐齐哈尔大学学报(哲学社会科学版), 2009, (5): 60~62
- [55]卢斌, 论构建社会主义和谐社会的理论渊源[J], 求实, 2006, (3): 9~10
- [56]夏东民, 綦玉帅, 论科学发展观的理论渊源、理论结构与现实价值[J], 江苏社会科学, 2011, (1): 131~135
- [57]李莉, 论社会主义和谐社会思想的理论渊源、提出背景与实现途径[D], 武汉: 湖北大学, 2010
- [58]邹韩, 试论社会主义和谐社会理论的思想渊源[J], 党史文苑, 2009, (10): 55~56
- [59]古诗文网, 2012 年 10 月 3 日, <http://www.gushiwen.org/>
- [60]佛学在线, 2012 年 10 月 3 日, <http://fofa.foxue.org/fjyw/>
- [61]陈宝清, 论佛教中的和谐思想[D], 西宁: 青海民族大学, 2009
- [49]本报评论员, 论和谐——学习十六届五中全会精神系列评论之三[N], 光明日报, 2005 年 10 月 25 日, 第 001 版
- [62]陈理, 构建社会主义和谐社会重大战略思想的形成与发展[EB/OL], 中国共产党新闻网, 2012 年 10 月 3 日, <http://dangshi.people.com.cn/GB/18002734.html>
- [63]汪文斌, 和谐世界思想: 中国外交理论的新境界[EB/OL], 中国共产党新闻网, 2011 年 7 月 5 日, <http://theory.people.com.cn/GB/15070603.html>
- [64]黄丹, 席酉民, 和谐管理理论基础: 和谐的诠释[J], 管理工程学报, 2001, 15(3): 69~72
- [65]席酉民, 尚玉钊, 和谐管理思想与当代和谐管理理论[J], 西安交通大学学报, 2001, 21(3): 23~26
- [66]刘文瑞, 和谐管理理论评析[J], 管理学报, 2009, 6(12): 1566~1577
- [67]席酉民, 唐方成, 郭士伊, 和谐理论[M], 西安: 西安交通大学出版社, 2004
- [68]巴湘, 和谐论[M], 北京: 世界知识出版社, 2010
- [69]王奋赓, 和谐论[M], 新疆五家渠: 新疆生产建设兵团出版社, 2009
- [70]左其亭, 和谐论: 理论、方法、应用[M], 北京: 科学出版社, 2012
- [71]刘长明, 发展的革命——从可持续发展到和谐发展[J], 济南大学学报, 2002, 12(1): 5~14
- [72]刘长明, 和谐文明论纲[J], 学术界, 2005(1): 79~105
- [73]刘长明, 和谐是生产力之祖[J], 济南大学学报, 2003, 13(1): 4~13
- [74]刘长明, 对和谐发展观的在阐释[J], 烟台大学学报(哲学社会科学版), 2005(1): 1~7
- [75]刘长明, 和谐发展与简单性原则[J], 自然辩证法研究, 2006, 22(12): 5~16
- [76]刘长明, 论和谐精神[J], 自然辩证法研究, 2005, 21(5): 73~76
- [77]刘长明, 论“和谐剃刀”[J], 烟台大学学报(哲学社会科学版), 2006(1): 1~7

- [78]袁吉福,从代价论视角看和谐发展之代价[J],广西民族学院学报(哲学社会科学版),2006(3):112~115
- [79]刘明辉,试论政治和谐[J],福建论坛(人文社会科学版),2005(9):43~46
- [80]刘明,论社会公正与社会和谐[J],湖南文理学院学报(社会科学版),2006(1):32~35
- [81]苏宝梅,刘宗贤,刘长明,和谐伦理学宣言[J],济南大学学报,2002,12(5):1~10
- [82]李庆臻,李易,论生态和谐伦理[J],济南大学学报,2003,13(4):1~10
- [83]苏宝梅,我的和谐伦理观[J],济南大学学报,2003,13(3):1~10
- [84]刘志扬、日月河,和谐伦理:和谐发展的伦理学基础[J],自然辩证法研究,2007,23(3):13~16
- [85]刘长明,和谐经济学初论[J],山东师范大学学报(人文社会科学版),2005(2):79~86
- [86]席酉民,汪应洛,李怀祖,和谐理论[J],系统工程学报,1989,4(2):79~89
- [87]刘长明,和谐发展研究(第一辑)[M],北京:社会科学文献出版社,2007
- [88]王景龙,和谐发展[M],北京:中国环境科学出版社,2008
- [89]鲁勇,和谐发展论:新型工业化与新型城市化契合[M],北京:清华大学出版社,2007
- [90]张国清,和谐社会研究:从政治学到政治科学[M],北京:人民出版社,2006
- [91]王岗峰,何贻纶,陈桂蓉,社会和谐发展论[M],北京:社会科学文献出版社,2006
- [92]李克强,关于法治系统控制过程的探讨[A],中国政法大学法制系统科学研究会,系统科学论著选(1),北京:中国政法大学出版社,1987
- [93]吴世宦等,论法治系统工程[M],北京:群众出版社,1986
- [94]苏惠渔,张国全,史建三,胡继光,量刑方法研究专论[M],上海:复旦大学出版社,1991
- [95]苏惠渔,张国全,史建三,胡继光,量刑与电脑[M],上海:百家出版社,1989
- [96]张国庆,林产品溯源系统研究[J],现代农业科技,2011,(22):224
- [97]张国庆,林产品标识溯源系统框架设计[J/OL],科学网,2008年1月9日,<http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=3344&do=blog&id=14170>
- [98]张国庆,生命地球论[EB/OL],科学网,2009年7月6日,<http://blog.sciencenet.cn/blog-3344-242084.html>
- [99]丁昌慧,蔡辉,祁新辉,综合效益评价中数据的直线化无量纲化方法[J],中国医院统计,2001,8(3)
- [100]丁昌慧,蔡辉,综合效益评价中数据的非直线化无量纲化方法[J],中国医院统计,2003,10(1)
- [101]董肇君,系统工程与运筹学(第二版)[M],北京:国防工业出版社,2007年
- [102]杜栋,庞庆华,现代综合评价方法与案例精选[M],北京:清华大学出版社,2005年
- [103]郭亚军,综合评价理论、方法及应用[M],北京:科学出版社,2007年
- [104]郝海,踪家峰,系统分析与评估方法[M],北京:经济科学出版社,2007年
- [105]马立平,统计数据标准化[J],北京统计,2000,121(3)
- [106]Л.Д.朗道,Е.М.栗弗席兹,统计物理学 I(第五版)[M],北京:高等教育出版社,2011年
- [107]Е.М.栗弗席兹,Л.Д.皮塔耶夫斯基,统计物理学 II(第四版)[M],北京:高等教育出版社,2008年
- [108]徐自来,张雪峰,统计物理学[M],北京:科学出版社,2012年
- [109]苏汝铿,统计物理学(第二版)[M],北京:高等教育出版社,2004年

- [110]汪志诚, 热力学•统计物理学(第四版)[M], 北京: 高等教育出版社, 2008 年
- [111]E.M.栗弗席兹, Л.Д.皮塔耶夫斯基, 流体力学(第五版)[M], 北京: 高等教育出版社, 2013 年
- [112]陈义良, 朱旻明, 物理流体力学(第五版)[M], 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008 年
- [113]吴望一, 流体力学[M], 北京: 北京大学出版社, 1982 年
- [114]王其藩, 高级系统动力学[J/OL], 2012 年 9 月 19 日, <http://ishare.iask.sina.com.cn/download/explain.php?fileid=33942852&sudaref=www.baidu.com&retcode=0>
- [115]王其藩, 系统动力学(修订版)[M], 北京: 清华大学出版社, 1994 年
- [116]钟永光, 贾晓菁, 李旭等, 系统动力学[M], 北京: 科学出版社, 2009 年
- [117]刘兴堂, 梁炳成, 刘力, 何广军等, 复杂系统建模理论、方法与技术[M], 北京: 科学出版社, 2008 年
- [118]汪小帆, 李翔, 陈关荣等, 复杂网络理论及其应用[M], 北京: 清华大学出版社, 2006 年
- [119]王志平, 王众托, 超网络理论及其应用[M], 北京: 科学出版社, 2008 年
- [120]百度文库, 司法监督、法律监督、行政监督[J/OL], <http://wenku.baidu.com/view/607dceddce2f0066f5332281.html>