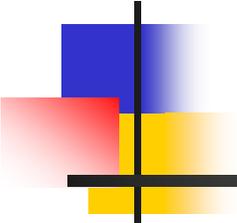


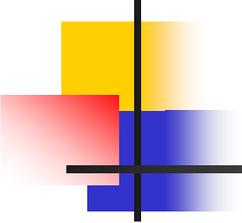
上海交通大學

应用催化



Applied Catalysis

主讲：马紫峰



绪论

■ 本课程的性质

是化学工程、化学工艺、应用化学、生物化工、工业催化、物理化学、有机化学、高分子化学与物理、制药工程与环境工程等化工类研究生专业必修课程。

■ 主要任务

通过学习催化作用的基本原理，了解催化过程的化学本质，熟悉催化过程和催化反应器的设计与开发的基本方法，掌握催化反应过程建模、过程优化与控制基础理论，并能够将新型催化剂与催化过程开发原理运用到资源的化工利用、化学制药、环境保护、生物工程技术和新材料和新能源等工业领域。

化学与化工是自然科学技术发展的基础学科之一

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的学科

化工是运用化学原理和机械原理，将物质的组成、结构、性质变成目标产品的过程工程学科

■ 化学 (*Chemistry*)

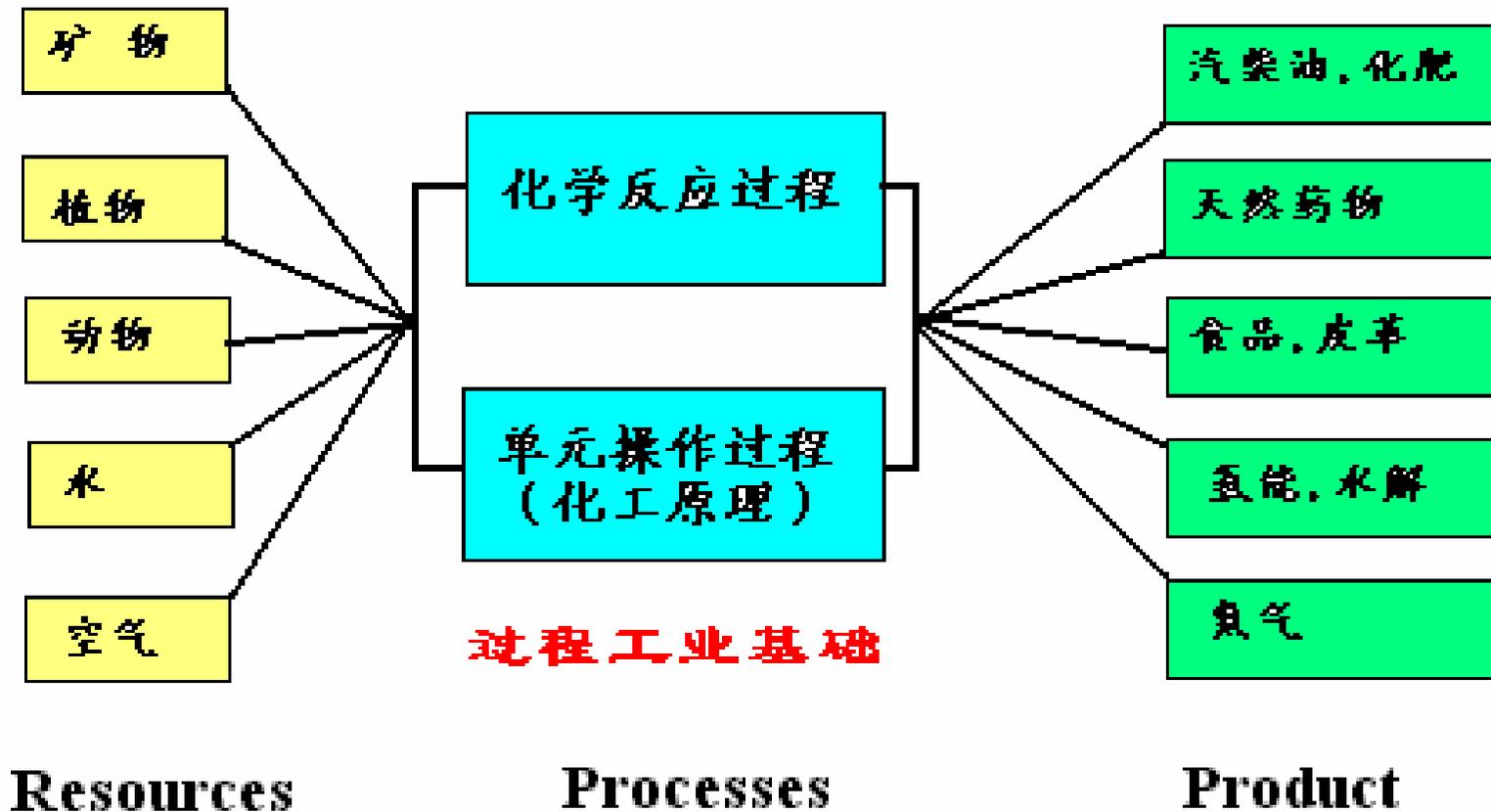
- 无机化学
- 分析化学
- 有机化学
- 物理化学
- 高分子化学与物理

■ 化学工程与工艺 (*Chemical Engineering and Technology*)

- 化学工程
- 化学工艺
- 生物化工
- 应用化学
- 工业催化

化工学科的特点

From Chemical Engineering to Process Engineering *



* 第190次香山科学会议, 2002, 9

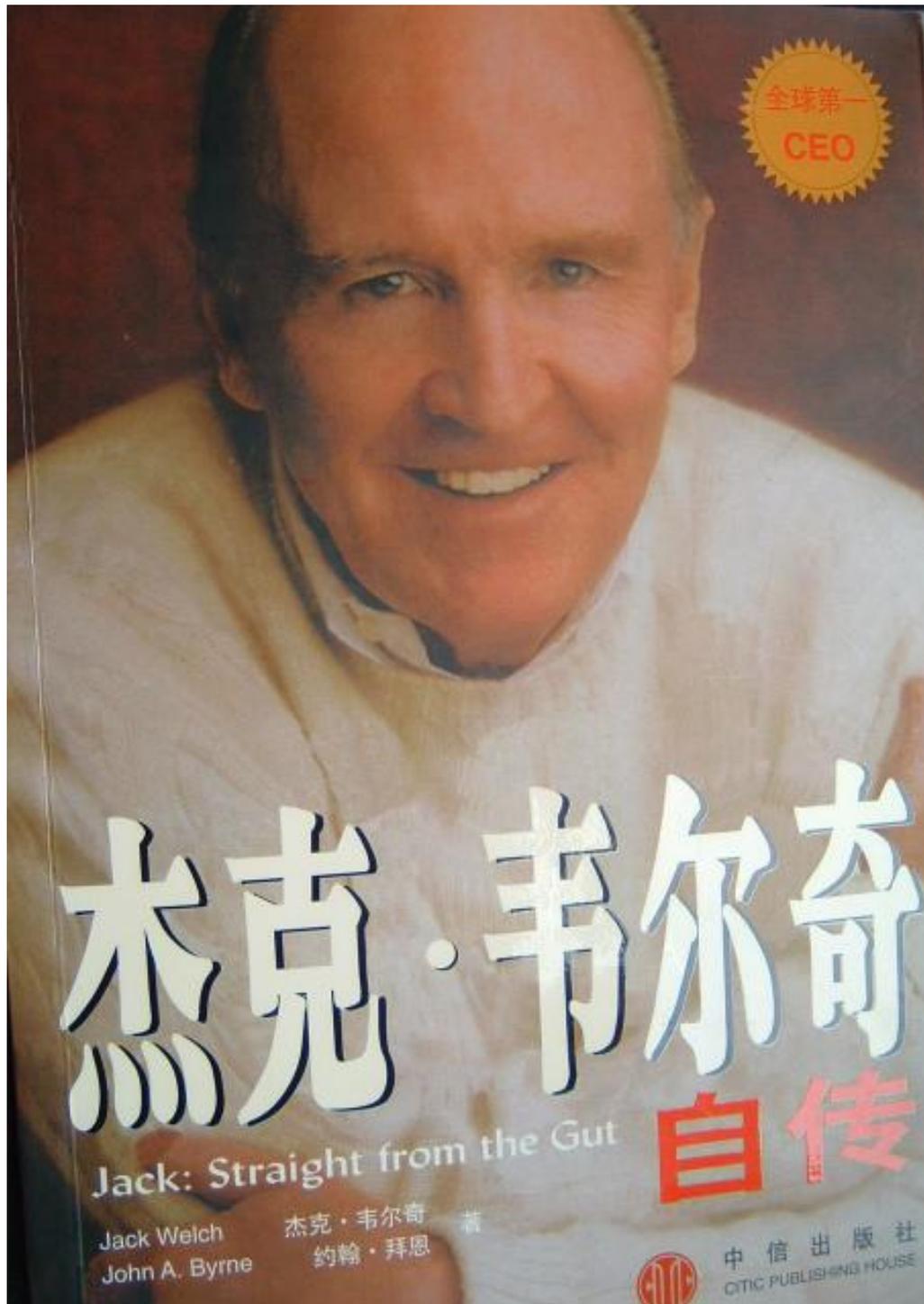
上海交通大学**1928**年建立化学系、**1946**年建立化学工程系。培养了徐光宪、高小霞、肖成基、徐晓白、胡英等著名的化学化工专家。**1979**年建立应用化学系，**1997**年建立化学化工学院，恢复化学系、化工系等。

上海交通大学首任化工系
系主任苏元复院士
(1910-1991)



社会的物质需求推动化学化工学科发展

20 世纪社会需要	化工技术进展
纯碱、硫酸	由工业化学与工艺学发展出化学工程技术，过程大型化、连续化
汽车工业兴起	炼油工艺革新 (MIT)
合成氨 (HB 法)	化工热力学分析
二次大战 (汽车、橡胶、药品等)	C ₄ 分离利用，丁苯橡胶乳液聚合、浓缩铀提炼、青霉素大规模生产
战后发展需要	石油化工高速发展，反应工程、催化剂工程
资源与能源有效利用	过程系统分析与优化、过程控制与管理



JACK Welch

1935年11月19日出生于美国麻萨诸塞州。

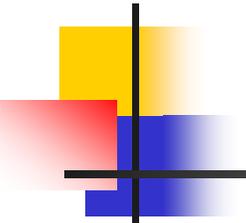
1957年获得马萨诸塞大学化学工程学士学位

1960年获得伊利诺伊大学化学工程博士学位，毕业后就进入GE公司

1971年成为GE化学与冶金事业部总经理

1979年8月，成为GE副董事长

1981年成为GE董事长兼CEO

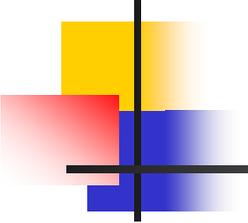


催化是什么？

- 催化是一种自然现象，早已在生物体中存在的现象。生物酶催化是生命的基础（在一个简单的生物细胞中约有3000个化学反应）
- 光合作用是一种能量储存与转换方式，叶绿素将光子吸收后，通过一系列酶催化过程将CO₂和水转化为人体所能吸收的糖份
- 人类很早就学会利用自然催化过程。如利用酵素将各种果子酿成美酒
- 系统的催化研究始于19世纪初，Davy (1815)进行了催化燃烧实验, Berzelius (1836) 通过一系列化学实验，创造了“catalysis”一词,给催化一个初步的定义

催化作用基础

- 催化作用定义:催化剂是一种物质,它能够加速反应的速率而不改变该反应的标准Gibbs自由焓变化
- 催化剂改变了中间反应途径,为反应物分子提供了一条较易进行的反应途径,加速化学反应趋于热力学平衡点
- 催化作用基本特征:
 1. 催化剂只能加速热力学上可行的反应,不能加速热力学上无法进行的反应
 2. 催化作用不能改变化学平衡,只能加速反应趋于平衡
 3. 催化作用通过改变反应历程而改变反应速度
 4. 催化剂对反应具有选择性

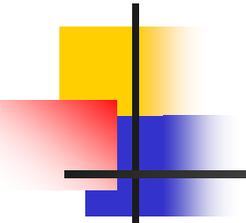


多相催化反应研究背景

- 催化作用是现代工业极其重要的过程，是现代世界最重要的技术之一，如果没有催化作用，现在的生活将与我们实际所看到的截然不同。目前，大约90%的化学品与材料是借助催化作用通过分步反应生产出来的。

催化作用合成了氨气，解决了全世界粮食问题





氨的催化合成 ——催化科学研究历史中里程碑

- 从**19**世纪后期**20**世纪初叶，催化应用加速了过程工业发展，如无机化工中的合成氨、硝酸和硫酸生产等
- **1909**年**7**月，**F Haber**发明高压法合成氨过程，获得**90**克产品。**Haber**因此而获得**1918**年**Nobel Prize**。**M Bosch**在**BASF**实验室发明的多组分熔铁催化剂推动了合成氨的工业化。**1917**年，运用**H-B**过程，在**BASF**形成**60**吨合成氨生产能力，**M Bosch**也获得了**1931**年**Nobel Prize**
- 目前，世界合成氨的产量已经达到**8000**万吨以上

我国化学工程与技术学科的发展 中里程碑

- 1935年8月我国化工的先驱吴蕴初先生建成上海天利氮气厂生产出液氨，吴先生还创办了天厨味精厂（1923）、天原电化厂（1929）和天盛陶器厂（1934），以及范旭东在天津创办的永利碱厂，这些化工原料的生产推动了我国化学工业的发展
- 合成氨工业的巨大成功推动了化学工业迅速发展，也带动了一系列化学工程基础理论工作，如化工热力学、化学工艺学、工业催化等。氨合成催化剂的研究与改进已经尝试10万多个配方，至今仍是催化界研究的方向



上海炼油厂之夜



利用催化作用（催化裂化、催化重整）将石油炼制生产出各种燃料（汽油、柴油和煤油）去驱动汽车、飞机等交通工具



催化科学进步使石油化工迅速发展成世界经济支柱产业

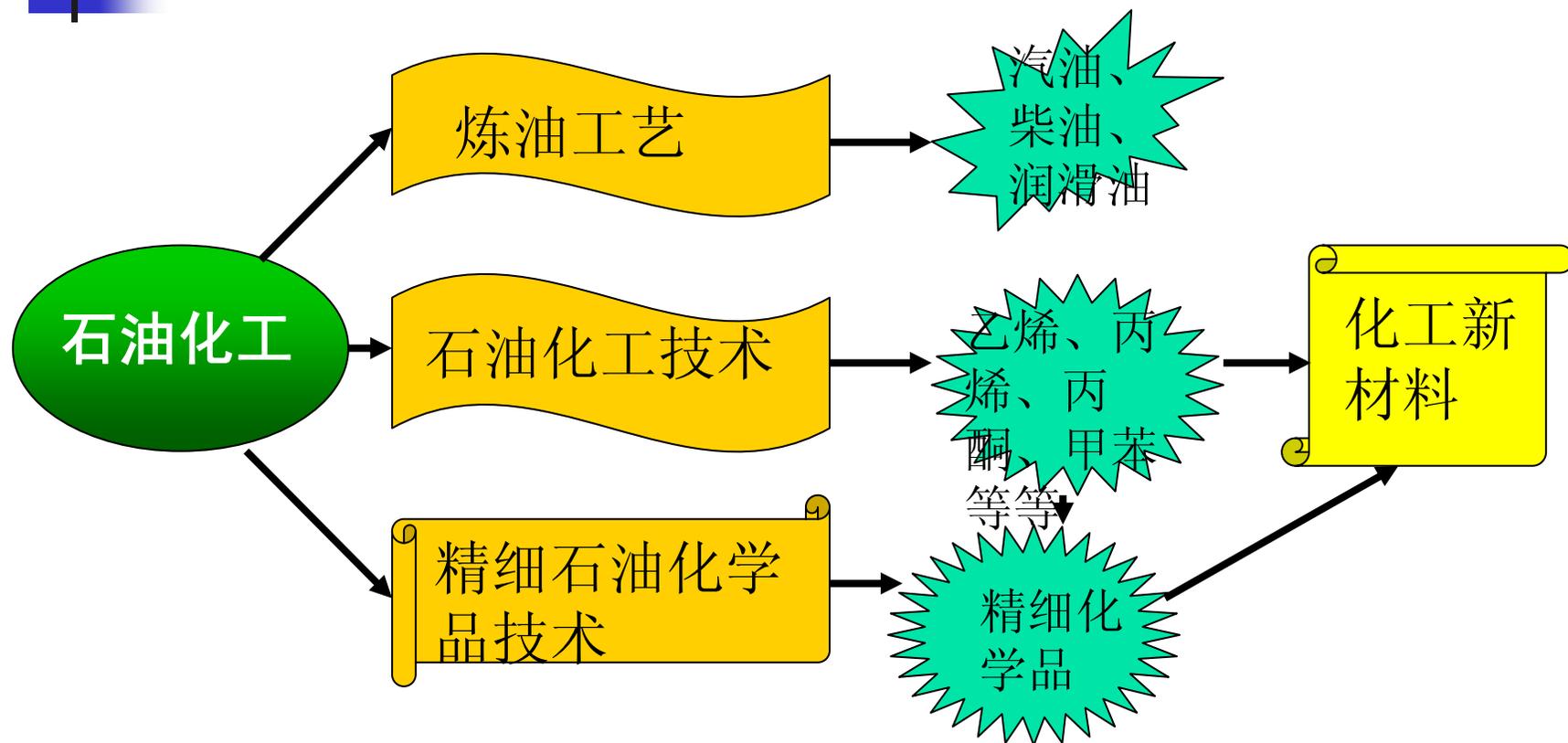
- 1928年发现的多孔白土催化剂应用于重油裂化过程(**cracking technology**)，生产了高辛烷值燃料(**higher octane fuel**)，使得二战期间盟军战斗机获得更好的燃料
- 20世纪60年代，美国Mobile公司将**原先用于分离过程的沸石分子筛**作为新催化材料应用于催化裂化后，催化裂化技术出现了重大突破，炼油工业产生新的飞跃。采用稀土促进的沸石分子筛裂化催化剂后，炼油装置的生产能力和汽、柴油产量大幅度提高。在美国只经过短短的四五年时间就取代了传统的硅铝催化剂，被誉为“**炼油工业的技术革命**”
- 1967年，发展了双金属重整催化剂 (**Pt-Re, Pt-Ir**)，提高了汽油品质



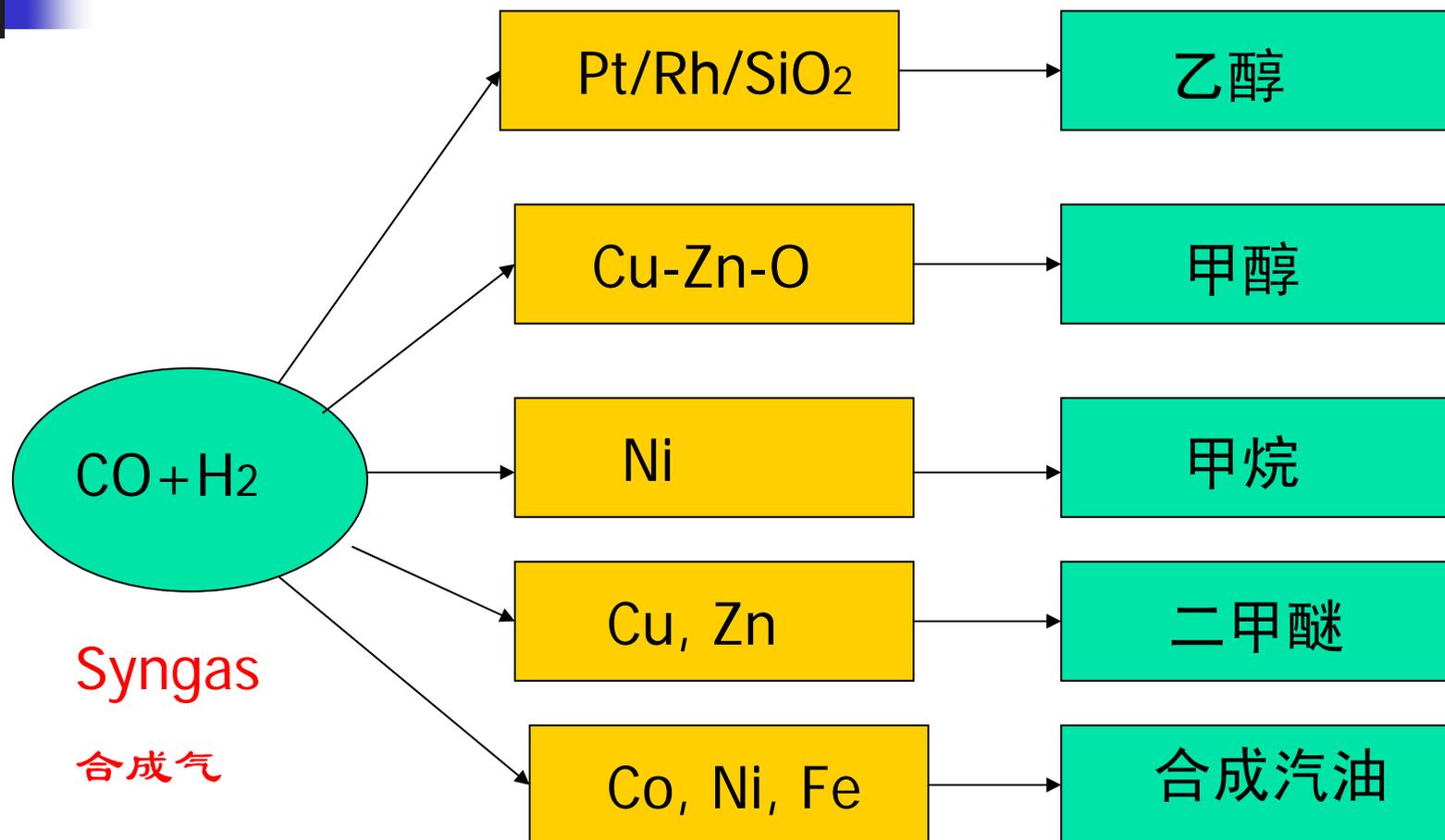
1957年Ziegler-Natta发明了用于烯烃聚合的催化剂体系的研究，使聚烯烃的大规模生产成为可能，推动了以塑料工业为标志的高分子材料工业的崛起，Ziegler-Natta分享了1963年诺贝尔化学奖。

我们依赖催化作用通过石油化工过程生产各种高分子材料（工程塑料、橡胶和功能高分子材料）

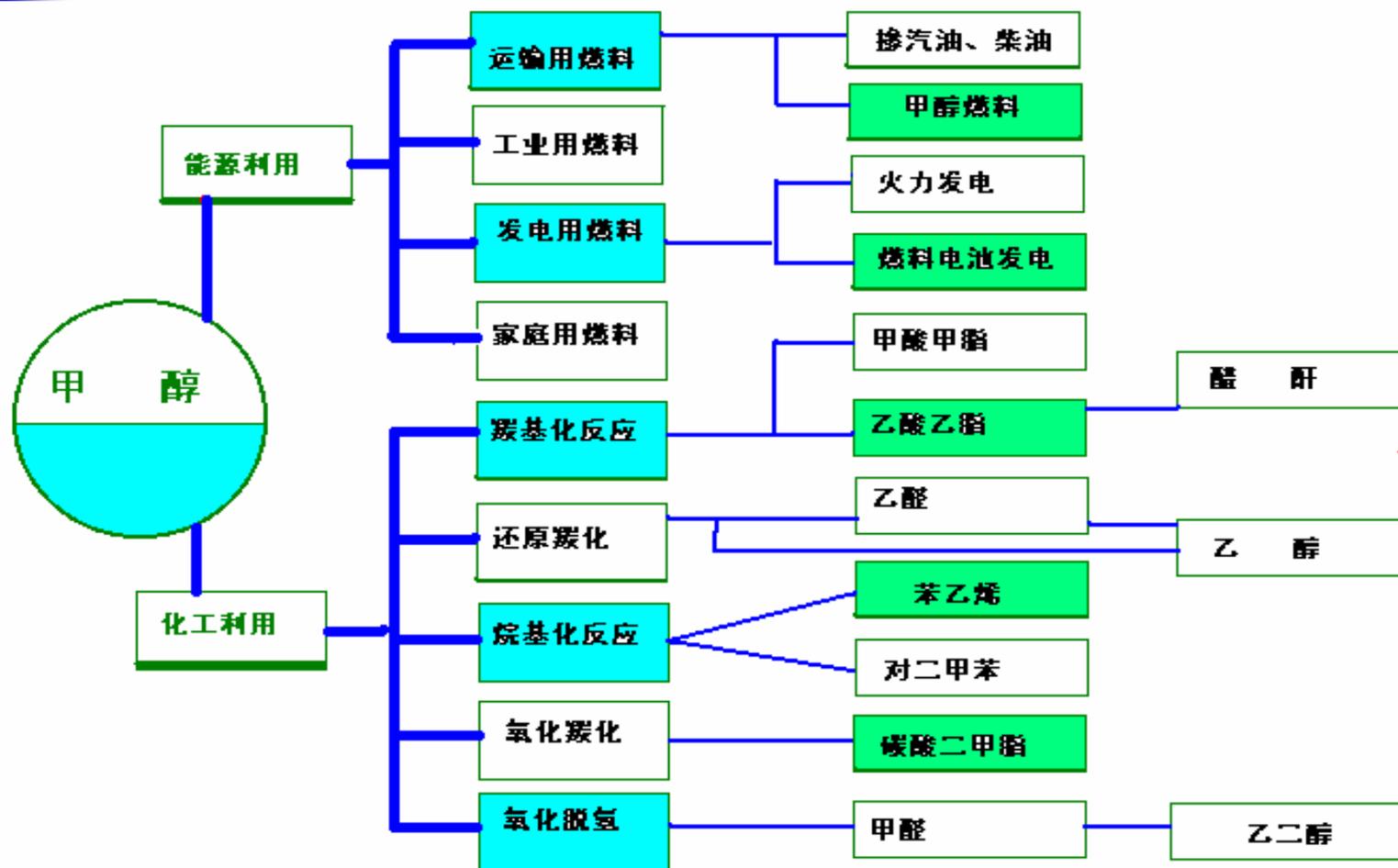
催化技术是变革石油化工过程的核心



催化作用改变反应途径和目标产物实例： 合成气选择性催化转化利用



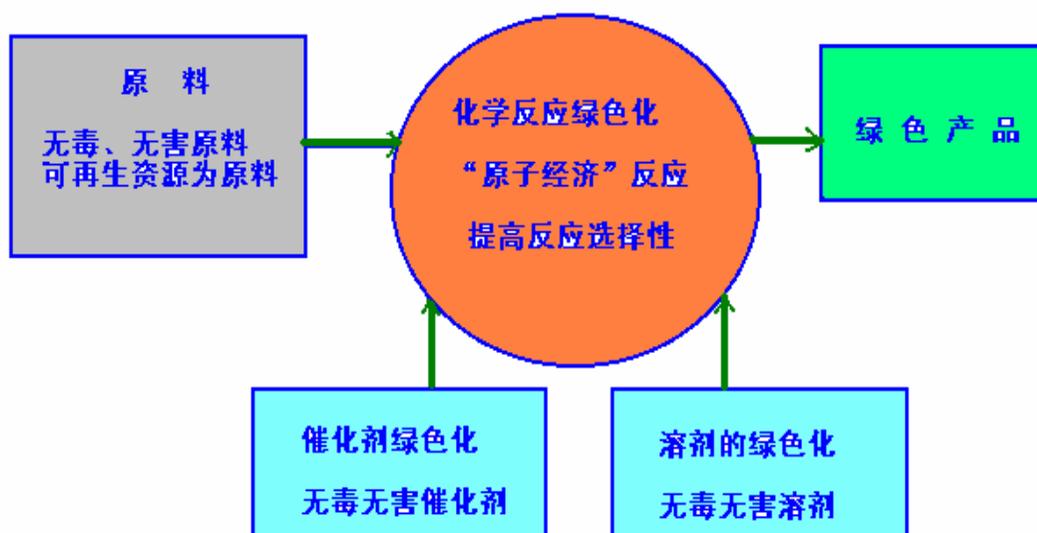
甲醇催化利用途径



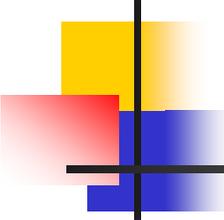
新催化剂的发明，是新工艺诞生的源泉，也是技术飞跃的动力。

- 改进现有催化剂体系，革新已有反应工艺路线，促进新工艺过程开发，提高目标产品的收率和选择性，改善产品质量
- **利用廉价的催化材料，开发低成本、高活性的催化剂**
- 通过新型催化剂的开发，更新化工生产原料路线，采用更廉价的起始原料，增加产品竞争能力
- **缓解工艺操作，达到节能降耗的目的**
- 为环境友好的化学工艺和化工新产品开发而研制催化剂
- **解决新能源、环境保护、新材料和生物技术等新技术领域中涉及的催化问题**

催化反应过程与绿色化学工艺



绿色化学是实现过程工业零排放的课题。而工程师的主要任务是给化学家出的课题。



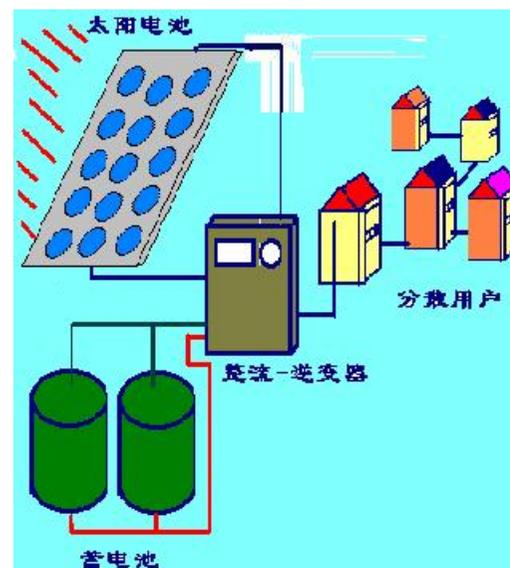
催化在新技术产业中的作用

现代工业科技的发展离不开催化技术的应用，尤其是化工、食品、制药、新材料、新能源、环境保护技术与生物科技等产业。催化研究新方向可具体概括成以下几个方面：

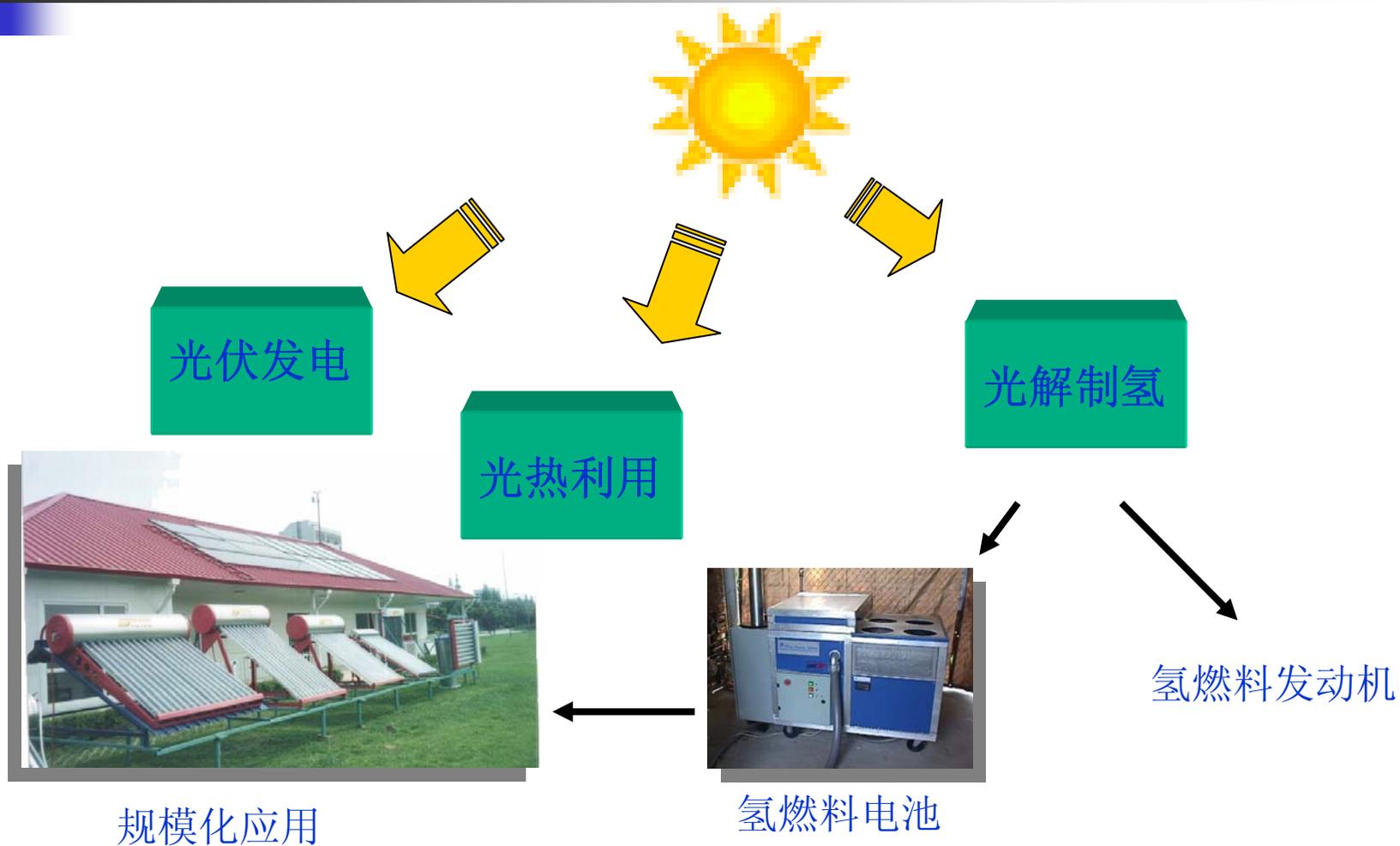
- **环境催化：1976年，汽车尾气排放控制催化剂产生，1980年运用于汽车工业，有效减少NO_x的排放（Pt/Al₂O₃ to Pt-Rh）**
- **不对称催化合成医药或医药中间体**
- **依赖（酶）催化作用增强人体机能（催化抗体、催化RNA）**
- **固定化酶和细胞：现状与未来**
- **多相催化剂表面的不均匀位**
- **利用催化还可以改进食品，如采用镍基催化剂进行食用油精制。**
- **新能源技术中催化作用**

新能源技术中的催化作用

- 电化学和光电化学中的催化剂（燃料电池、光敏化电池、太阳能电池等）
- 电动汽车
- 天然气催化氧化——未来能源科技的核心

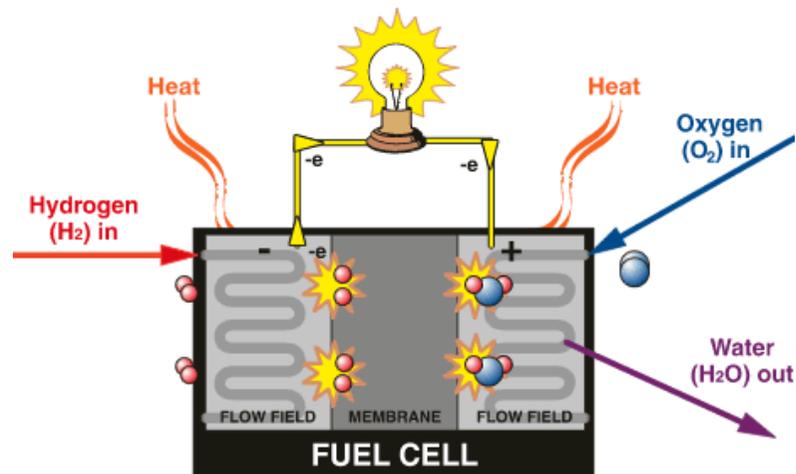
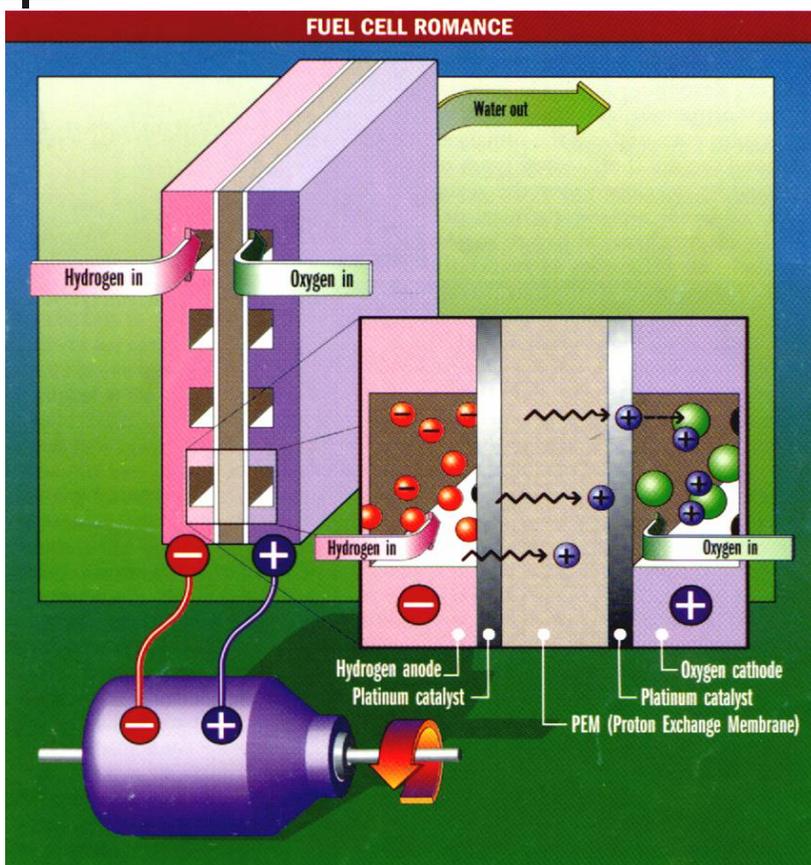


基于太阳能的可再生能源系统规模化应用途径

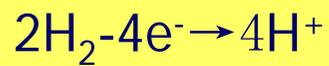


电催化:

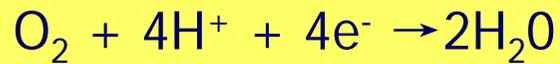
燃料电池电极催化反应过程

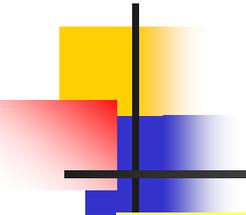


氢的阳极氧化:



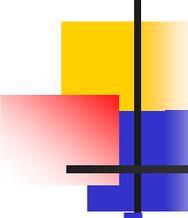
氧的阴极还原:





催化反应分类

- 非均相催化（多相催化） Heterogeneous catalysis: the catalyst and reactant are in different phases
- 均相催化 Homogeneous catalysis: the catalyst and reactant are in the same phase
- 按照不同催化方式分类：光催化、电催化、生物酶催化（Enzymatic catalysis）、相转移催化
- 按照反应类型进行分类：催化加氢、脱氢、氧化、羧基化、聚合、卤化、脂化、裂解、重整、水合
- 按照反应机理进行分类：酸碱型催化反应、氧化还原型反应



推荐阅读文献

- Michael Bowker, *The Basis and Applications of Heterogeneous Catalysis*, Oxford Press, 1998
- J.M.Thomas, W.J.Thomas, *Principles and practice of heterogeneous catalysis*, VCH, 1997
- 黄仲涛主编, 《工业催化》, 化学工业出版社, 2000
- 王尚弟, 孙俊全, 《催化剂工程导论》, 化学工业出版社, 2001
- 《催化学报》、《石油化工》、《分子催化》、《工业催化》和《化学反应工程与工艺》、《化工学报》和《高校化学工程学报》等中文期刊
- *AIChE Journal*
- *Journal of Catalysis*
- *Applied Catalysis A, B, C*
- *Catalysis Today*
- *Chemical Engineering Science*