

地下水水文学

Groundwater Hydrology

讲授：肖长来

吉林大学环境与资源学院
水文水资源系
2004年9月



第六章 地下水的化学成分及其形成作用

提 要

掌握地下水的基本物理性质，地下水温度的垂直分带，能利用地下水温大致推算地下水的循环深度；
牢固掌握地下水的化学特征，包括主要气体成分、主要离子成分和其它成分及其可能的环境条件；
重点掌握水化学形成作用（溶滤、浓缩、脱碳酸、脱硫酸、阳离子交替吸附、混合作用）及基本类型；
掌握水分析内容及分类图示。



第六章 地下水的化学成分及其形成作用

目 录

- 6.1 地下水的物理性质
- 6.2 地下水的化学特征
- 6.3 地下水化学成分的形成作用
- 6.4 地下水化学成分的基本成因类型
- 6.5 地下水化学成分的分析内容与分类图示



6.1 地下水的物理性质

地下水的物理性质 (physical properties of groundwater) 是地下水的(1)比重(specific weight)、(2)温度(temperature)、(3)透明度(diatphaneity, transparency)、(4)颜色(color)、(5)味(taste)、(6)嗅味(smell)、(7)导电性(conductance)、(8)放射性(radioactivity)等物理特性的总和。

水温的变化是影响水的化学成分、水化学作用的重要因素。

悬浮固体(悬浮物) (suspended solids)是指水中悬浮的泥砂、硅土、有机物和微生物等难溶于水的胶体或固体微粒。

电导率(比电导) (specific conductance)是指电阻率的倒数，是度量水中离子含量的指标之一。



6.1 地下水的物理性质

6.1.1 地下水中的物质及颜色

表 6-1 水中的物质及颜色

水中含有物质	硬水	低价铁	高价铁	硫化氢	硫细菌	锰	腐殖酸
水的颜色	浅蓝	灰兰	黄褐	翠绿	红色	暗红	暗黄、灰黄

6.1.2 地下水中的物质及味道

表 6-2 水中的物质及味道

水中含有物质	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl MgSO ₄	大量 有机质	铁盐	腐殖质	H ₂ S 碳酸气	CO ₂ 及 Ca(HCO ₃) ₂ Mg(HCO ₃) ₂
水的口味	咸	涩	苦	甜	涩	沼泽	酸	可口

6.1.3 地下水透明度的野外分级

表 6-3 地下水的透明度分级

透明度分级	特 征
透明的	无悬浮物及胶体，60 cm 水深可见 3mm 的粗线
微浊的	有少量的悬浮物，大于 30 cm 水深可见 3mm 的粗线
混浊的	有较多的悬浮物，半透明状
极浊的	有大量的悬浮物或胶体，似乳状，水深很小也不能清楚看见 3mm 的粗线



6.1 地下水的物理性质

6.1.4 地下水的温度

地壳表层的热源：太阳的辐射、地球内部的热流。地壳表层分带：

(1) **变温带**是受太阳辐射影响的地表极薄的地带，厚度1~2m，下限15~30 m。

(2) **常温带**是其地温基本等于当地平均年气温的地带，高出1~2 °C。

(3) **增温带**是地温受地球内热影响的地带，地温梯度为n °C/100m，一般为3 °C/100m，介于1.5~4.0 °C/100m之间。西藏羊八井地温梯度为300 °C/100m（地热异常）。

地下水的温度受其赋存与循环所处的地温控制。

(1) 变温带的浅埋地下水显示微小的水温季节变化。

(2) 常温带中的地下水水温与当地年平均气温很接近。

(3) 增温带中的地下水，其水温随其赋存与循环深度的加大而升高，可成为热水乃至蒸汽。



6.1 地下水的物理性质

地下水按水温分类

名称	水温(°C)	名称	水温(°C)
过冷水	<0	热水	37-42 (37-50)
极冷水	0-4	高热水	42-100 (50-100)
冷水	4-20	过热水	>100
温水	20-37		

已知年平均气温(t)、年常温带深度(h)、地温梯度(r)时,可估算某一深度(H)的地下水水温(T): $T = t + (H-h)r$ 。

利用地下水水温,可以估算其循环深度 H :

$$H = \frac{T - t}{r} + h$$



6.2 地下水的化学特征

6.2.0 基本概念

地下水是一种复杂的溶液,而不是化学纯的 H_2O 。岩石中的地下水,与岩石发生化学反应,与大气圈、水圈和生物圈进行水量交换和化学成分交换。人类活动对地下水化学成分有明显的影晌。

(1) **地下水化学成分** (Chemical composition of groundwater) 是地下水中所含的无机和有机的化学成分,包括**常见离子**、**微量组分**、**气体成分**等。地下水化学成分是地下水中各类化学物质之总称。它包括离子、气体、有机物、微生物、胶体以及同位素成分等。

地下水化学成分是地下水与环境(自然环境、地质环境和人类活动)长期相互作用的产物。可用其追溯水文地质历史,阐明地下水的起源于形成。



6.2 地下水的化学特征

(2) **水化学** (hydrochemistry) 是研究天然水化学成分的形成、分布和演变的学科。

水文地球化学 (hydrogeochemistry) 是研究地下水化学成分的形成和变化规律以及地下水地球化学作用的学科。

地下水水质 (groundwater quality) 是地下水的物理、化学和生物物质之总称。

水文地球化学环境 (hydrogeochemical environment) 是指控制地下水中化学成分的形成、存在形式以及演变的环境条件。

常量元素(宏量元素) (common element in groundwater, macroelement) 是地下水中经常出现、分布最广、含量较多并能决定地下水化学基本类型和特点的元素。

微量元素 (microelement) 是地下水中出现较少、分布局限、含量较低的化学元素。它们不决定地下水的化学类型,但却赋予地下水一些特殊性质和功能。



6.2 地下水的化学特征

(3) 地下水的**总矿化度**又称**总溶解固体**(总溶解固形物),是指地下水中各种离子、分子与化合物的总量,单位 g/l 。通常用105-110 时将水蒸发所得的干涸残余物总量表征;亦可用阴阳离子总和减去 HCO_3^- 含量之半表征。

Total dissolved solids is the total amount in milligrams of solid material dissolved in one liter of water (mg/l). GG

水良好的溶剂,它溶解沿途的组分,搬运这些组分,并在某些情况下从水中析出。水是地球元素迁移、分散与富集载体。许多地质过程都涉及地下水的化学作用。不同用水,对水质有一定要求,需要进行水质评价。

工业原料: 地下水中含有大量盐类(NaCl、KCl)及富集Br、I、B、Sr等。

液体矿产: 特殊物理性质与化学成分---医疗保健作用。

找矿标志: 特定化学元素的分布晕圈。

污染防治: 物质运移、分散规律,位置。



6.2 地下水的化学特征

6.2.1 地下水中的气体成分

主要有 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 、Rn等。一般含量为 $n \sim n \times 10 mg/l$ 。可以说明地下水所处的地球化学环境;有些气体增加溶解盐类的能力,促进某些化学反应。

(1) O_2 、 N_2 : 源自大气,DO (Dissolved Oxygen) 高,有利于氧化作用;只有 N_2 地下水起源于大气,且为还原环境。(Ar+Kr+Xe)/ $N_2 = 0.0118$ 时,为大气起源;比值小时有生物、变质起源之 N_2 。

(2) **甲烷** CH_4 、 **H_2S** : 表明还原环境,有有机质存在,其中 H_2S 为 SO_4^{2-} 的还原产物。

(3) CO_2 : 主要来源于土壤有机残骸发酵、植物呼吸,深部高温,可有 $CaCO_3 \xrightarrow{400^\circ C} CaO + CO_2$, CO_2 高,碳酸盐岩容易溶解,结晶岩容易风化。

工业生活应用化石燃料,产生大量的 CO_2 ,使大气中的 CO_2 迅速增高,290ppm (1850年)增高到338ppm (1980年)。目前每年生产 CO_2 气体53亿t,产生了温室效应。



6.2 地下水的化学特征

6.2.2 地下水中的主要离子成分

* 地下水中主要离子成分 (major ionic species)

地下水中常见的**主要离子成分**中,阴离子 (anions) 有 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} ; 阳离子 (cations) 是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 。

次要成分中,阴离子有 OH^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} ; 阳离子是 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 、 H^+ 。

常见阳离子	Common cations	常见阴离子	Common Anions	次要成分	Minor Constituents		
Ca^{2+}	Calcium	CO_3^{2-}	Carbonate	OH		Fe^{2+}	Iron (Fe)
Mg^{2+}	Magnesium	HCO_3^-	Bicarbonate	NO_2^-	Nitride	Fe^{3+}	Ferrous ion
Na^+	Sodium/natium	SO_4^{2-}	Sulfate	NO_3^-	Nitrate	Mn^{2+}	Manganese
K^+	Potassium/kalin	Cl	Chloride	SiO_3^{2-}	metasilicate	NH_4^+	Boron (B)
				PO_4^{3-}	phosphate	H^+	Hydrogen ion/hydroxyl ion
				F	Fluoride (F)	Se	Selenium
				SiO_2	Silica	Al	Aluminium



6.2 地下水的化学特征

盐类溶解度与温度的关系

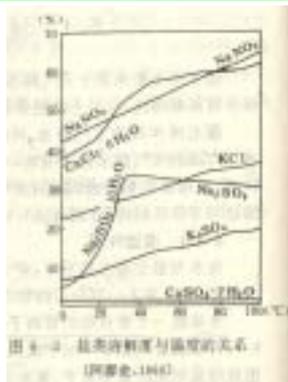


图 3-4 盐类溶解度与温度的关系 (阿基舍, 1943)



6.2 地下水的化学特征

地下水中离子成分富集的原因:

地壳中含量高、较易溶于水的元素O₂, Ca, Mg, Na, K;

地壳中含量不大、极易溶于水的元素S (以SO₄²⁻的形式存在)、Cl;

地壳中含量很大、难溶于水的元素Al, Si, Fe。

地壳中主要元素的丰度

元素	O	Ca	Mg	Na	K	S	Cl
丰度(%)	46.6	3.63	3.09	2.83	2.59		0.020



6.2 地下水的化学特征

地下水中主要离子成分与矿化度有何关系?

地下水中主要离子成分随矿化度(总溶解固体)的变化而变化。溶解度由大而小的顺序是Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻。

低矿化水中HCO₃⁻、Ca²⁺、Mg²⁺为主;

高矿化水中Cl⁻、Na⁺为主;

中等矿化水中阴离子SO₄²⁻为主, 阳离子以Na⁺、Ca²⁺为主。

卤水中以CaCl₂为主。

按矿化度对水的分类

矿化度 (g/l)	<1.0	1-3	3-10	10-50	>50
水的分类	淡水	微咸水	咸水	盐水	卤水
	Fresh water	Brackish water	Saline water	Salt water	Brine water



6.2 地下水的化学特征

地下水中的主要阴离子

(1) 地下水中的氯离子Cl⁻的来源

含量一般为n mg/l~100g/l。Cl⁻不为植物和细菌摄取, 不被土壤颗粒表面吸附, 溶解度大, 在水中最为稳定, 随矿化度增大, 其含量增大。其来源有:

沉积岩中盐岩、氯化物的溶解;

岩浆岩含氯矿物氯磷灰石Ca₅(PO₄)₃Cl、方钠石NaAlSi₃O₇·NaCl的风化溶解;

火山喷发物的溶滤;

海水;

人为污染: 工业、生活污水和粪便。



6.2 地下水的化学特征

(2) 地下水中的硫酸根离子SO₄²⁻来源

石膏CaSO₄·2H₂O、沉积硫酸盐岩的溶解; 硫化物的氧化, 2FeS₂+7O₂+2H₂O=FeSO₄+4H⁺+2SO₄²⁻。(黄铁矿)

煤系地层含有很多黄铁矿FeS₂、金属硫化物矿床;

化石燃料的燃烧, 人为产生SO₂与氮氧化物(2.0~2.5亿t/a), 进入空气中形成酸雨。中国目前1800万t/a的SO₂。

(3) 地下水中的重碳酸根离子HCO₃⁻来源

碳酸盐岩的溶解: Ca/MgCO₃+H₂O+CO₂=2HCO₃⁻+Ca²⁺/Mg²⁺;

岩浆岩、变质岩地区铝硅酸盐矿物风化溶解(钠、钙长石):

Na₂Al₂Si₆O₁₆+2CO₂+3H₂O=2HCO₃⁻+2Na⁺+H₄Al₂Si₂O₉+4SiO₂;

CaO·2Al₂O₃·4SiO₂+2CO₂+5H₂O=2HCO₃⁻+Ca²⁺+2H₄Al₂Si₂O₉。



6.2 地下水的化学特征

地下水中的主要阳离子来源

(1) 地下水中的钾离子K⁺来源

参与形成不溶于水的次生矿物(水云母、蒙脱石、绢云母等), 为植物摄取, 在地下水中的含量低。来源:

钾岩的溶解; 含钾矿物的风化溶解。

(2) 地下水中的钠离子Na⁺来源

盐岩、钠岩的溶解; 海水; 含钠矿物的风化溶解。

(3) 地下水中的钙离子Ca²⁺来源

碳酸盐岩、石膏的溶解;

含钙矿物的风化溶解。



6.2 地下水的化学特征

(4) 地下水中的镁离子 Mg^{2+} 来源

含镁的白云岩、泥灰岩的溶解；
含镁矿物的风化溶解。

6.2.3 地下水中的其它成分

(1) **次要离子**：包括 H^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 、 OH^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 等。

(2) **微量组分**：Br、I、F、B、Sr等。

(3) **胶体**： $Fe(OH)_3$ 、 $Al(OH)_3$ 、 H_2SiO_3 。

(4) **有机质**：可增加地下水的酸度，有利于还原。

(5) **微生物**： 氧化环境：硫细菌、铁细菌等； 还原环境：脱硫酸细菌等； 污染水：致病细菌。



6.2 地下水的化学特征

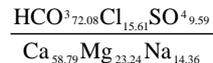
6.2.4 地下水化学成分表达式

库尔罗夫式 Kurilov formation

以类似数学分式形式表示单个水样化学成分的含量和组成的方。表示式为：

微量元素(g/l) 气体成分(g/l) 矿化度(g/l) $\frac{\text{阴离子 (mmol\% > 10\% 者由大到小列入)}}{\text{阳离子 (mmol\% > 10\% 者由大到小列入)}}$

必要时分式中可将 $mmol\% < 10\%$ (以前使用 $meq\%$)者列入用。表示分式后端可列出水温(T)和涌水量(L/s)。



6.3 地下水化学成分的形成作用

水文地球化学作用 (hydrogeochemical process) 是在一定地球化学环境下，影响地下水化学成分形成、迁移和变化的作用。

- 溶滤作用
- 蒸发浓缩作用
- 脱碳酸作用
- 脱硫酸作用
- 脱硝(氮)作用、硝化作用
- 阳离子交替吸附作用
- 混合作用
- 人类活动



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.1 溶滤作用

溶滤作用 (Lixivation) 是指地下水与岩土相互作用、岩土中一部分物质转入到地下水中的作用。地下水与岩石相互作用使岩石中一部分可溶成分转入水中，而不破坏矿物结晶格架的作用。

水解作用 (hydrolytic dissociation) 是地下水与岩石相互作用成岩矿物的晶格中发生阳离子被水中氢离子取代的过程。

矿物盐类与水溶液接触，发生两种作用，一是**溶解作用** (resolubilization)，离子由结晶格架转入水中；另一种是**结晶作用** (crystallization)，离子由液体中固着于晶体格架中。当溶液达到饱和时溶液中某种盐类的含量称为溶解度 (dissolubility, solubility)。温度上升时，溶解度增大。

一个地区经受的溶滤愈强烈，时间愈长久，地下水的矿化度愈低，愈是以难溶离子为其主要成分。溶滤作用具有时间上的阶段性和空间上的差异性。



6.3 地下水化学成分的形成作用

溶滤作用的强度是岩土中的组分转入水中的速率。其大小取决于：

组成岩土的矿物盐类的溶解度，盐岩 $NaCl$ 易溶， SiO_2 难溶解；

岩土的空隙特征：致密基岩，水与矿物难以接触，难溶滤。水的溶解能力：低矿化水的强，高矿化水的弱；决定着溶滤作用的强度。

水中 CO_2 、 O_2 等气体成分的含量，决定着某些盐类的溶解能力，有易形成 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} ，有 O_2 易溶解硫化物。

水的流动状况：是关键因素，地下水的径流与交替强度是决定溶滤作用强度的最活跃、最关键的因素。



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.2 蒸发浓缩作用

蒸发浓缩作用 (evaporation-concentration process) 是地下水通过蒸发排泄而引起水中成分的浓缩，使水中盐分浓度增大、矿化度增高的现象。

必备条件：干旱半干旱的气候，低平地势控制下的地下水埋深小，松散岩土颗粒细小，毛细作用强，一般发生于地下水流动系统的排泄处，具有时间和空间的尺度。

6.3.3 脱碳酸作用

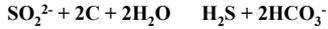
脱碳酸作用 (decarbonation) 是在温度升高、压力降低的情况下 CO_2 自水中逸出而 HCO_3^- 含量则因形成碳酸盐沉淀减少的过程。典型的例子是来自深部地下水的泉口的钙华。



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.4 脱硫酸作用

脱硫酸作用 (desulphidation) 是在封闭缺氧的还原环境中, 在有机物和脱硫酸细菌作用下, 硫酸盐被分解成 H_2S 和 HCO_3^- 的生物化学过程。



封闭的地质构造为其有利环境, 油水中有 H_2S , 为找油标志。

脱硝(氮)作用 (denitration) 是水中氮氧化物在去氮菌作用下分解亚硝酸盐和硝酸盐、最后排出自由氮的过程, 是水中富含 N_2 和 CO_2 。

硝化作用 (nitrification) 是有机质分解产生的酸在硝化菌作用下使铵氧化生成亚硝酸盐和硝酸盐的过程。



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.5 阳离子交替吸附作用

阳离子交替吸附作用 (cation exchange and adsorption) 是地下水与岩石相互作用, 岩石颗粒表面吸附的阳离子被水中阳离子置换, 并使水化学成分发生改变的过程。

吸附能力: $H^+ > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$

阳离子交替吸附作用取决于岩石的吸附能力、岩石的比表面积、离子的相对浓度。

6.3.6 混合作用

混合作用 (mixing hydrochemical action in groundwater) 是指两种或两种以上不同成分水之间的混合, 使原有水的化学成分发生改变的作用。有时发生化学反应, 例如:



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.6 人类活动对地下水化学成分影响

近年来, 人类活动对地下水化学成分的影响越来越大, 表现在生产生活产生的废弃物污染地下水, 人类活动改变了地下水形成条件也改变了地下水的化学成分。

(1) **工业生产的废水、废气和废渣, 以及农业上大量使用化肥、农药**, 使地下水富集了原来含量很低的有害元素, 如酚、氰、汞、砷、铬、亚硝酸等。



6.3 地下水化学成分的形成作用

6.3.6 人类活动对地下水化学成分影响

(2) **人类活动通过改变地下水形成条件而改变地下水的化学成分**, 表现在:

滨海地区过量开采地下水引起海水入侵。

不合理的打井采水使咸水运移。

干旱半干旱地区不合理地引入地表水灌溉, 会使浅层地下水位上升, 引起大面积次生盐渍化, 并使浅层地下水变咸。

原来分布有地下咸水的地区, 通过挖渠打井, 降低地下水位, 减少蒸发量, 可使地下水淡化。

在地下咸水分布区, 引来区外淡的地表水, 合理补给地下水, 也可使地下水变淡。



6.4 地下水化学成分的基本成因类型

地球上的水圈是原始地壳生成后, 氢和氧随同其它易挥发组分从地球内部层圈逸出而形成的。地下水起源于深部层圈。其成因类型主要有三个。

6.4.1 溶滤水

溶滤水 (Lixivation water) 是指由富含 CO_2 和 O_2 的水渗入补给并溶滤其所流经岩土而获得主要化学成分的地下水。其成分受岩性、气候、地貌等因素的影响。在大范围上, 受气候控制而有分带性。

(1) **岩性:** 石灰岩、白云岩分布区, 水中 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主;

含石膏的沉积岩区, 水中 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 均较多;

酸性岩浆岩地区, 多为 HCO_3^- -Na型水;

基性岩浆岩地区, 水中常富含 Mg^{2+} ;

煤系地层、金属硫化物矿床分布区, 多为硫酸盐水。



6.4 地下水化学成分的基本成因类型

(2) **地形地貌:** 会干扰气候的分带性, 水的化学成分和矿化度均呈现分带现象。

(3) **气候:** 干旱地区的山间盆地, 气候、岩性、地形表现为统一的分带性, 地下水化学分带也最为典型。往往边缘洪积扇顶部为低矿化重碳酸盐水带, 过渡带为中等矿化硫酸盐水, 盆地中部为高矿化的氯化物水。

自然界中的绝大部分地下水属于溶滤水, 常常具有水平分带性和垂直分带性。

水文地球化学分带 (hydrogeochemical zoning) 是指地下水中化学成分及水文地球化学环境指标在空间呈带状变化的规律。

水文地球化学水平分带 (horizontal hydrogeochemical zoning) 是地下水中化学成分和矿化度在水平方向上呈带状变化的规律性。

水文地球化学垂直分带 (vertical hydrogeochemical zoning) 是地下水中化学成分和矿化度在垂直剖面上随深度变化的规律性。



6.4地下水化学成分的基本成因类型

6.4.2沉积水

沉积水(埋藏水) (connate water, buried water) 是在沉积过程中保存在成岩沉积物空隙中的水。即与沉积物大体同时形成的古地下水。

海水平均成分：矿化度35g/l, Cl¹⁹⁰/Na^{77M18}, rNa/rCl=0.85, Cl/Br=29.3。

海相淤泥通常含有大量有机质和各种微生物，处于缺氧环境，有利于生物化学作用。淤泥中水的化学特征：

矿化度很高，可达300g/l；

SO₄²⁻减少或消失；

钙Ca²⁺含量相对增加，Na⁺减少，rNa/rCl<0.85；

富集Br、I，Cl/Br变小；

出现H₂S、CH₄、铵、氮；

pH值增高。



6.4 地下水化学成分的基本成因类型

6.5.3内生水

又称**原生水(初生水)** (juvenile water, native water) 是源自地球深部层圈的地下水，亦即来自地球内部在岩浆冷却等地质作用下形成的地下水。



6.5 地下水化学成分的分析内容与分类图示

6.5.1 地下水化学成分分析内容

(1) **简分析**：物理性质(温度、颜色、透明度、嗅味、味道等)、HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、CO₃²⁻；Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺；总硬度、pH值；NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、H₂S、耗氧量。单位为mg/l, mmol/l。

(2) **全分析**：化学成分HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、CO₃²⁻、NO₃⁻、NO₂⁻；Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺、NH₄⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、Mn²⁺；H₂S、CO₂、耗氧量；总硬度、pH值、干涸残余物。单位为mg/l, mmol/l。

(3) **专项分析**：细菌类、放射性、I⁻等。



6.5 地下水化学成分的分析内容与分类图示

6.6.2 地下水化学分类与图示方法

- 舒卡列夫分类
- 派珀三线图解
- 阿廖金分类
- 布罗茨基分类



6.5 地下水化学成分的分析内容与分类图示

6.6.2 地下水化学分类与图示方法

(1) 舒卡列夫分类

地下水化学类型的舒卡列夫分类是根据地下水中6种主要离子(Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻，K⁺合并于Na⁺)及矿化度划分的。具体步骤如下：

第一步，根据水质分析结果，将6种主要离子中含量大于25% (mmol/l)的阴离子和阳离子进行组合，可组合出49型水，并将每型用一个阿拉伯数字作为代号。

第二步，按矿化度(M)的大小划分为4组。

A组——M≤1.5g/L；

B组——1.5 < M≤10g/L；

C组——10 < M≤40g/L；

D组——M > 40g/L。



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

第三步，将地下水化学类型用阿拉伯数字(1~49)与字母(A、B、C或D)组合在一起的表达式表示。例如，1—A型，表示矿化度(M)不大于1.5g/L的HCO₃-Ca型水，沉积岩地区典型的溶滤水；49—D型，表示矿化度大于40g/L的Cl-Na型水，该型水可能是与海水及海相沉积有关的地下水，或是大陆盐化潜水。

舒卡列夫分类一览表

阴离子 \ 阳离子	HCO ₃	HCO ₃ +SO ₄	HCO ₃ :H+SO ₄ :Cl	HCO ₃ +Cl	SO ₄	SO ₄ :Cl	Cl
Ca	1	8	15	22	29	36	43?
Ca+Mg	2	9	16	23	30	37	44
Mg	3	10	17?	24?	31	38?	45
Ca+Na	4	11	18	25	32	39	46
Na+Ca+Mg	5	12	19	26	33	40	47
Na+Mg	6	13	20?	27	34	41	48
Na	7	14	21	28	35	42	49
?	未发现						



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

(2) 派珀 (A. M. Piper, 1944) 三线图解

三线图解 (Trilinear diagram): 任一水样的阴阳离子的相对含量在两个三角形中以带标号的圆圈表示, 引线在菱形中的交点处以圆圈表示, 其大小与矿化度成正比。

派珀三线图解分区代号说明

1. 碱土金属离子 > 碱金属离子	6. 非碳酸盐硬度 > 50%
2. 碱土金属离子 < 碱金属离子	7. 碱金属离子、强酸为主
3. 弱酸 > 强酸	8. 碱土金属离子、弱酸为主
4. 弱酸 < 强酸	9. 任一一对阴阳离子含量 > 50%
5. 碳酸盐硬度 > 50%	



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

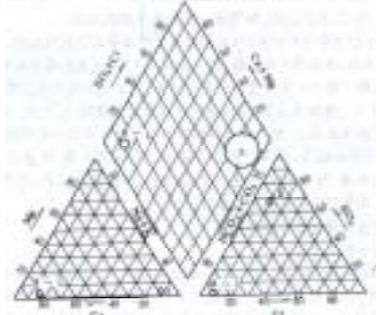


图 6-4 派珀三线图解



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示



图 6-5 派珀三线图解分区

派珀三线图解分区代号说明

1. 碱土金属离子 > 碱金属离子	6. 非碳酸盐硬度 > 50%
2. 碱土金属离子 < 碱金属离子	7. 碱金属离子、强酸为主
3. 弱酸 > 强酸	8. 碱土金属离子、弱酸为主
4. 弱酸 < 强酸	9. 任一一对阴阳离子含量 > 50%
5. 碳酸盐硬度 > 50%	



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

(3) **阿廖金分类:** 6种离子, 按阴离子最高含量分三类(C, S, Cl), 按阳离子最高含量分三个组, 每组3型, 共27种水4种不同类型。

阿廖金分类法是由俄国学者O. A. Al'ekin提出的, 按水体中阴阳离子的优势成分和阴阳离子间的比例关系确定水质化学类型的一种方法。该方法的具体操作步骤如下:

第一步, 列出各个计算分区中具有代表性水样的 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等3个阴离子和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等3个阳离子的浓度含量 (均以毫克当量表示)。

第二步, 根据各水样中含有最多的阴离子将这些水样分为三类: 重碳酸类 (以C表示)、硫酸类 (以S表示)、氯化类 (以Cl表示), 它们的矿化度依次增加, 水质变差。

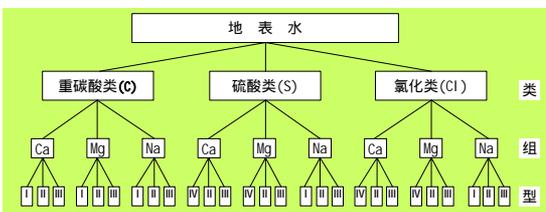
第三步, 在每类中再根据水样中含有最多的阳离子进一步分为钙质 (Ca)、镁质 (Mg)、钠质 (Na, 钾和钠) 三组。

第四步, 按各水样中阴阳离子含量的比例关系分为四个型。



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

- 型:** $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 在S类与Cl类的Ca及Mg组中均无此型;
- 型:** $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, 多数浅层地下水属于此型;
- 型:** $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 或 $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$, 此型为高矿化水;
- 型:** $\text{HCO}_3^- = 0$ 。此型为酸性水, C类各组及S和Cl类的Na组中无此型。



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

第 型水: $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 。这一型水是含有大量 Na^+ 与 K^+ 的**火成岩地区**形成的。水中主要含 HCO_3^- 并且含较多 Na^+ , 这一型水多半是低矿化度的硬度小、水质好。

第 型水: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, 硬度大于碱度。从成因上讲, 本型水与各种**沉积岩**有关, 主要是混合水。大多属低矿化度和中矿化度的河水。湖水和地下水属于这一类型 (有 SO_4^{2-} 硬度)。

第 型水: $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 或者为 $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$ 。从成因上讲, 这型水也是**混合水**, 由于离子交换使水的成分激烈地变化。成因是天然水中的 Na^+ 被土壤底泥或含水层中的 Ca^{2+} 或 Mg^{2+} 所交换。大洋水、海水、海湾水, 残留水和许多高矿化度的地下水水属于此种类型 (有氯化物硬度)。

第 型水: $\text{HCO}_3^- = 0$, 即本型水为酸性水。在重碳酸类水中不包括此型, 只有硫酸盐与氯化物类水中的 Ca^{2+} 组与 Mg^{2+} 组中才有这一型水。天然水中一般无此类型 ($\text{pH} < 4.0$)。



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

水的上述类型的差异是水体所处自然地理环境造成的，一般来讲，它们有一定的地理分布规律。

第五步，根据各水样的类、组和型，确定出各水样的阿廖金分类的表达式。表达式以“类”为基号，以组为上脚号，以型为下脚号，如C类Ca组II型可表示为，又如Cl类Mg组IV型表示为。此外，有时还可标上矿化度（精确度至0.1g/L），表达式为。



6.6 地下水化学成分的分析内容与分类图示

(4) 布罗茨基分类

6种离子和矿化度，36种水型，若干亚类。

布罗茨基分类一览表

		HCO ₃		SO ₄		Cl	
		Cl	SO ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	HCO ₃
Ca	Mg						
	Na						
Na	Ca						
	Mg						
Mg	Ca						
	Na						

备注： <0.5g/l ; 0.5-1.0g/l ; 1.0-5.0g/l ; 5-30g/l ; >30g/l

? 沉积岩区水化学变化；

---? 火山岩、变质岩区溶滤水的化学成分变化。

