



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

环境水化学

● 蒋辉 主编



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

环境水化学

主 编 蒋 辉
责任主审 陈家军
审 稿 何孟常 许嘉琳

化学工业出版社
教材出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境水化学/蒋辉主编. —北京: 化学工业出版社,
2003. 5
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7-5025-4006-7

I. 环… II. 蒋… III. 环境化学: 水化学-专业
学校-教材 IV. X131. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030849 号

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

环境水化学

主 编 蒋 辉
责任主审 陈家军
审 稿 何孟常 许嘉琳
责任编辑: 杨 菁
文字编辑: 徐延荣
责任校对: 郑 捷
封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京管庄永胜印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15¼ 插页 1 字数 370 千字
2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4006-7/G · 1159

定 价: 21.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

环境水化学是环境化学的分支学科，也是环境科学的重要组成部分。它是近年来在应用环境化学理论和环境科学研究的实践中产生的，是适应工农业的发展、社会的进步和环境保护工作的要求而发展起来的一门新兴学科。它主要从溶液理论的角度研究水环境、水质、污染防治等问题。近年来，我国中、高职环境类专业得到迅速发展，为适应学科发展和环境保护工作的需要，环境保护与监测专业等环保类专业均开设了环境水化学课程，为满足教学之需，我们编写了这本《环境水化学》教材。本书也可供从事环境保护工作的有关人员及环境、水利、水文地质、城建等方面的技术人员参考。

本教材为国家规划教材，书中内容是依据教育部颁发的中等职业学校环境保护与监测专业《环境水化学教学大纲》（试行）的要求而编写的。环境水化学是理论性、应用性和综合性较强的学科，为此，在编写本书时注意做到理论与应用并重，加强基础，突出重点，深入浅出，简明易懂，便于学习。并注意基本概念、基本理论的系统性和内容的起点、深度以及与相关学科的衔接与联系，注意理论联系实际，学以致用。编写本书时，充分体现素质教育的要求，在保持理论知识体系完整的基础上，突出技能的培养。强调科学性、先进性、实用性。为便于不同类别的学校和专业使用，本书内容为模块结构，全书共分七章，主要内容为水化学基础、天然水的化学成分、天然水化学成分的形成与特征、水环境污染、重金属污染物在水环境中的迁移转化规律、有机物在水环境中的降解和迁移转化、环境水化学的研究方法等。

由于环境水化学是新兴学科，编写该书时参考吸收了大量的国内外有关此领域的最新研究资料和成果，参阅了大专院校的有关教材和讲义，并收集了有关生产实际资料，在此向有关作者深表谢意。

本书由郑州工业贸易学校蒋辉主编。蒋辉编写第一章至第六章及附录，杨国华编写第七章。最后由蒋辉统编定稿。北京师范大学环境科学研究所陈家军教授、何孟常教授、许嘉琳教授作为本书的责任主审和审稿人，认真审阅了全书，对本书提出了许多建设性修改意见。郑州中州大学魏振枢教授审阅了全书，也提出了许多修改意见。郑州工业贸易学校王德明先生和有关老师审读了本书，提出了许多宝贵意见。本书部分插图由李娜达同志绘制，在此一并表示衷心感谢。

由于本学科内容广泛，发展迅速，某些内容还不十分成熟，加之作者水平有限，时间仓促，书中缺点错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，以便进一步修正，使其日臻完善。

编者

2003年3月

本书常用符号说明

符 号	说 明	量纲或常用单位
Q	化学反应释放或吸收的热量	J 或 kJ
ϵ	介电常数	
$T_{\frac{1}{2}}$	放射性元素的半衰期	[T]
K	平衡常数	
p_A	某气体 A 的分压	101325Pa
ΔH_f	标准生成焓	kJ/mol
ΔH_r	某一反应的标准焓变化	kJ/mol
ΔG_f	标准生成自由能	kJ/mol
ΔG_r	标准自由能变化	kJ/mol
R	气体常数, $R=8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol} \cdot \text{K}$	J/mol · K, kJ/mol · K
T	热力学温度, $T=^{\circ}\text{C} + 273.15\text{K}$	[K]
a	某物质的活度	[M/L], mg/L
M	摩尔浓度	mol/L
r	某离子的活度系数	
Z	某离子的电价	
I	离子强度 (离子力)	
K_H	某气体的亨利系数	
c	液相溶质浓度	mol/L
S、X 或 C	某物质的溶解度	mol/L, mg/L
	平衡时固相所吸附的溶质浓度	mg/kg
K_{sp}	某物质的溶度积常数	
Q_i	离子活度积 (浓度积)	
K_w	水的离子积, $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14}$	
pH	表示水的酸碱性指标, $\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+)$	
e^- 或 e	电子	
E°	标准氧化还原电位	V, mV
E	氧化还原电位	V, mV
pE	电子活度的对数值, 表示氧化还原性, $\text{pE} = -\lg a(e^-)$	
K_a	酸电离常数	
K_b	碱电离常数	
pK	平衡常数的负对数, $\text{pK} = -\lg K$	
α_0	H_2CO_3^* ($\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$) 在总碳酸中的分配系数	
α_1	HCO_3^- 在总碳酸中的分配系数	
α_2	CO_3^{2-} 在总碳酸中的分配系数	
n	化学反应中电子得失数	

	孔隙度	
F	法拉第常数, $F=96.564\text{kJ/V}=96485\text{C/mol}$	
K_L	某物质的离解常数 (不稳定常数)	
K_f	某物质的生成常数 (稳定常数)	
K_i (或 β_i)	某物质的积累稳定常数	
CEC	某岩土阳离子交换容量	mmol/100g
K_d	分配系数 (或称分布系数)	L/kg
S_m	最大吸附量	mg/L
V	水的流速	[L/T]
ρ	岩土密度	[M/L ³]
M	某水质的矿化度	mg/L
TDS	溶解性总固体, TDS=M	mmol/L, mg/L
COD	化学需氧量	mg/L
BOD	生化需氧量	mg/L
BOD ₅	五日生化需氧量	mg/L
DO	溶解氧	mg/L
TOD	总需氧量	mg/L
TOC	总有机碳	mg/L
SS	悬浮物	mg/L
TS	总固体	mg/L
Me ⁿ⁺	金属离子	
pM	金属离子的浓度负对数, 即 $pM=-\lg c(\text{Me}^{n+})$	
k	自净系数	
d	距离	[L]
PAH _s	多环芳烃	
PCB	多氯联苯	

内 容 提 要

本书主要介绍环境水化学的基本知识、基本原理和基本技能（实验及实训）。本教材是国家规划教材，书中内容是依据教育部颁发的《环境水化学教学大纲》而编写的。全书共分七章，主要内容为水化学基础、天然水的化学成分、天然水化学成分的形成特征、水环境污染、重金属污染物在水环境中的迁移转化规律、有机物在水环境中的降解和迁移转化、环境水化学的研究方法等。书末附有有关计算附录和水质标准。本书在内容安排上力争做到理论联系实际，加强基础，突出重点，深入浅出，简明易懂，强调科学性、先进性和实用性。为便于不同类别的学校和专业使用，本书采用模块结构。本书编排形式新颖，每章都附有学习指南，章后小结，复习思考题与习题，技能训练（实验）、阅读材料等，以利于学生学习，增加实用性和趣味性。

本书可作为中等和高等职业学校及3+2高职环境保护与监测专业或其他环境类专业的基本教材，也可作为成人大专环境类专业的参考教材以及环境类技术人员和管理人员的培训教材，还可供环境保护部门及有关科技人员参考或作为自学用书。

目 录

第一章 水化学基础	1
第一节 水的结构、特性及环境效应	1
一、水的结构	1
二、水的特异性质及同位素组成	2
三、水的环境效应	6
第二节 溶解平衡	15
一、化学平衡定律	15
二、焓、自由能与化学反应	16
三、活度及活度系数	19
四、气体在水中的溶解平衡	20
五、天然水中的溶解—沉淀	24
第三节 酸碱平衡	28
一、水的酸碱性	28
二、酸碱质子理论及酸碱强度	29
三、碳酸平衡	32
第四节 氧化还原作用	35
一、氧化还原平衡基本原理	35
二、氧化还原平衡图示法	38
三、水环境中的氧化还原反应	44
第五节 配合平衡	47
一、水环境中的配合物	47
二、配合物的离解平衡及稳定性	52
第六节 吸附作用	54
一、吸附种类及吸附机理	55
二、离子交换吸附	56
三、等温吸附方程	58
四、溶质迁移迟后方程	59
本章小结	60
复习思考题与习题	60
技能训练 1-1 碳酸种类与 pH 关系测定实验	63
技能训练 1-2 建立等温吸附方程的实验方法	64
第二章 天然水的化学成分	67
第一节 天然水成分的一般组成	67
一、天然水的组成分类	67
二、天然水的一般成分	68

第二节 天然水的化学特性	72
一、大气降水的成分特征	72
二、海水的成分特征	73
三、河水的成分特征	74
四、湖泊及水库水的成分特征	76
五、地下水的成分特征	77
第三节 水化学成分的资料分析与整理	78
一、水化学成分的综合指标	78
二、水化学成分的数据审查与分析	81
三、水化学分类	82
四、水化学成分的图示法	83
本章小结	85
复习思考题与习题	85
技能训练 水化学资料的分析整理	86
第三章 天然水化学成分的形成与特征	88
第一节 地表水化学成分的形成与特征	88
一、河水化学成分的形成与分带特征	88
二、湖水化学成分的形成与变化特征	91
三、海水溶质成分的形成与特征	93
第二节 地下水化学成分的形成与特征	96
一、地下水主要化学成分的形成	96
二、地下水化学成分的形成作用	99
三、地下水化学成分的基本成因类型	102
四、表生带渗入成因地下水成分的形成与特征	104
五、地下热水化学成分的形成与特征	107
本章小结	110
复习思考题与习题	110
阅读材料 我们究竟该喝什么水?	110
第四章 水环境污染	113
第一节 水污染的形成原因	113
一、污染源	113
二、水中的污染物	117
三、水污染方式及污染途径	119
第二节 典型水污染的特征	121
一、无机无毒物污染	121
二、需氧有机物污染	125
三、毒污染	128
四、油污染	132
五、富营养化污染	134
六、病原微生物污染	137

七、固体污染物及地面径流·····	138
八、感官性污染物和热污染·····	139
九、放射性污染·····	140
本章小结·····	141
复习思考题与习题·····	141
阅读材料 近半数世界人口缺乏洁净水，我国水污染也较为严重·····	142
第五章 重金属污染物在水环境中的迁移转化规律 ·····	144
第一节 重金属化合物的沉淀—溶解作用 ·····	145
一、氢氧化物·····	145
二、硫化物·····	146
三、碳酸盐·····	147
第二节 重金属离子的水解作用 ·····	149
一、金属离子的分级水解·····	149
二、常见重金属的水解特征·····	151
三、氢氧化物沉淀生成与羟基配离子生成之间的关系·····	152
第三节 水环境中配位体对重金属的配合作用 ·····	154
一、水环境中的无机配位体对重金属的配合作用·····	154
二、水环境中的有机配位体对重金属的配合作用·····	156
第四节 水环境中的胶体对重金属离子的吸附作用 ·····	158
一、水环境中胶体的种类·····	158
二、吸附作用对水体中金属离子浓度的控制作用·····	159
第五节 几种重金属污染物在水中的行为 ·····	160
一、汞·····	161
二、镉·····	166
三、铅·····	169
四、铬·····	172
五、砷·····	173
本章小结·····	175
复习思考题与习题·····	175
阅读材料 日本水俣病事件·····	176
第六章 有机物在水环境中的降解和迁移转化 ·····	177
第一节 概述 ·····	177
一、水环境中有机物种类及主要物理、化学和生物反应·····	177
二、有机物的氧化性及氧化还原反应·····	178
第二节 河流中需氧有机污染物质的自净 ·····	179
一、耗氧作用与复氧作用·····	179
二、影响需氧有机物自净的因素·····	181
第三节 代表性需氧有机物的生化降解过程 ·····	182
一、碳水化合物的降解·····	182
二、脂肪和油类的降解·····	183

三、蛋白质降解·····	183
第四节 有毒有机污染物·····	186
一、水体中的芳烃类污染物·····	186
二、水体中的酚类污染物·····	190
三、水体中的合成洗涤剂污染物·····	192
四、有机农药和多氯联苯·····	193
本章小结·····	194
复习思考题与习题·····	194
选做实验 6-1 天然水的净化·····	195
选做实验 6-2 污水简易处理趣味实验·····	195
第七章 环境水化学的研究方法·····	197
第一节 环境水化学野外现场调查研究·····	197
一、概述·····	197
二、采样点布设原则·····	198
三、水样的采集与保存·····	202
第二节 环境水化学研究中的实验室方法·····	206
一、水化学分析实验·····	206
二、实验模拟·····	207
本章小结·····	211
复习思考题与习题·····	212
技能训练 需氧有机物降解的水槽模拟实验·····	212
现场教学 参观实习·····	213
附录 1 标准状态下 (25℃, 101325Pa) 某些物质的标准生成自由能 (ΔG_f^\ominus) 及标准生成焓 (ΔH_f^\ominus)·····	214
附录 2 某些物质在水中的溶度积常数 (25℃, 101325Pa)·····	218
附录 3 某些弱酸弱碱的电离常数、配合物的稳定常数和标准电极电位·····	220
附录 4 地表水环境质量标准 (GB 3838—2002)·····	224
附录 5 地下水质量标准 (GB/T 14848—1993)·····	228
附录 6 海水水质标准 (GB 3097—1997)·····	229
附录 7 生活饮用水卫生标准 (GB 5749—85)·····	230
参考文献·····	231
元素周期表	

第一章 水化学基础

学习指南 本章的主要内容是：水的结构、特性及环境效应、溶解平衡、酸碱平衡、氧化还原作用、配合平衡、吸附作用等。本章是该书的基础和重点。本章内容涉及化学知识较多，很多内容是化学基础理论在环境科学中的应用，在编排本章内容时，我们力求做到重点突出，难点分散，知识点明确，最终达到教学目标。读者在学习过程中，应注意知识的迁移和衔接。本章公式较多，应通过具体计算和练习掌握。在实践技能方面安排了碳酸种类与pH关系测定实验等，实验时要认真严密细致做好每一个步骤，树立实事求是的科学作风，如实写出实验报告。为拓宽知识面，在章后选编了阅读材料。读者在学习时应注重基本概念、基本理论和基本技能，学以致用。

天然水的化学成分是在漫长的历史时期形成的。在其形成过程中，除与水自身的结构、特性及所流经岩石（土）的种类和性质有关外，其成分的演变还受到各种化学作用的严格控制。这些作用主要是溶解平衡作用、酸碱平衡作用、氧化还原作用、配合作用、吸附作用（界面化学平衡作用）等。本章的主要目的是从理论上简明地阐述上述作用的基本原理，为合理解释天然水化学成分形成和演变提供理论基础，并为其定量研究提供适用的方法。

第一节 水的结构、特性及环境效应

一、水的结构

在水分子中，氢、氧原子核呈等腰三角形排列，氧核位于两腰相交的顶角上，而两个氢核则位于等腰三角形的两个底角上，两腰夹角为 $104^{\circ}45'$ [图 1-1(a)]。水分子核外有 10 个电子 ($1\text{H}^2 \cdots 1s^1$; $8\text{O}^{16} \cdots 1s^2 2s^2 2p^4$)，水分子中的氧原子受到四个电子对包围，其中两电子对与两个氢原子共享，形成两个共价键，另外两对是氧原子本身所特有的孤对电子。核外电子云有呈四面体结构的倾向，整个水分子核则浸于核外 10 个电子所组成的电子云中 [图 1-1(b)]。水分子的半径为 0.138nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ，下同)。

水分子中氢、氧原子的这种排列，使水分子在结构上正负电荷静电引力中心不重合，从而使水分子是偶性分子，即位于氧原子一端为负极，而位于氢原子一端为正极。

一个偶性分子极性程度的大小，可根据其偶极矩的大小来判断。所谓偶极矩，是指

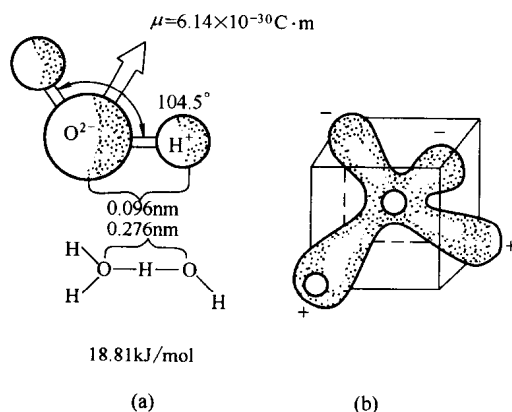
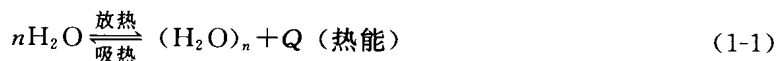


图 1-1 水分子结构特点
(a) 水分子的结构；(b) 水分子的电子云
 $1\text{nm}(\text{纳米}) = 10^{-9}\text{m}$

如果一个分子中有两个带相反电荷 $\pm q$ 的质点，其点间距离为 d ，则偶极矩定义为 $\mu=q \cdot d$ 。偶然矩是一个表征电场性质的物理量，是一种矢量，其方向为由正到负。水分子的偶极矩 $\mu=6.14 \times 10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$ ，其偶极矩比许多其他物质都大，具有较强的极性。因此，当水分子相互靠拢时，相邻水分子间由于具有偶极性而发生相互静电吸引。也即，由于水分子中氧原子的电负性较强(3.5)，能对相邻水分子中的氢原子产生静电吸引，从而使相邻的水分子联结起来。这种两个水分子之间由氢—氧原子间的静电引力而形成的联结力称氢键。水分子之间就是靠氢键相联结的。氢键具有饱和性和方向性。水分子间氢键力为18.81kJ/mol，约为O—H共价键的1/20，冰溶化成水或水挥发成气，都首先需要外界供给能量，破坏这些氢键。

相邻水分子间由于有氢键联结，使水能以 $(\text{H}_2\text{O})_n$ 巨型分子存在，但它不会引起水的化学性质的改变。这种由单分子水结合成比较复杂的多分子水而不引起水的化学性质变化的现象，称为水分子的缔合作用。水分子缔合可用下列平衡式表达：



水的缔合程度随温度降低而增强。当温度为4℃时，缔合程度最大，水的密度也最大。

事实上，自然界中的水只有以气态存在时才呈单分子水，而以液态固态存在时，均呈巨型分子形式存在。具体说， $(\text{H}_2\text{O})_n$ 中的 n ，一般变化于12~860之间，主要取决于温度变化。仅在200~300℃时， n 值接近1，即水具有 H_2O 形式。

二、水的特异性质及同位素组成

(一) 水的特异性质

由于水的结构很特殊，这就导致水与一般液体相比，在物理化学性质方面有一些不符合一般规律的现象，具有一系列的独特性质，概述如下。

1. 水具有独特的热理性质

(1) 水的生成热很高。生成热是指由稳定单质生成1mol化合物时的反应热。水的生成热(ΔH_f)为-285.8kJ/mol，故水的热稳定性很高，在2000℃的高温下，其离解不及百分之一，约为0.588%，所以，水能在地球初期的炽热温度下存留下来。

(2) 水具有很高的沸点(101325Pa下，为100℃)和达到沸点以前极长的液态阶段。这一特性是水分子偶极间引力大大超过一般液体之故，是水分子间强烈氢键缔合作用造成的。

水是氧的氢化物，将它与氧的同周期和同族的相应各元素的氢化物的性质相比较(表1-1)，可以看出，这些元素的氢化物的热理性质随相对分子质量减少而有规律地降低。按此规律，水的熔点和沸点应分别为-106℃和-81℃，这和实际上的熔点相差甚远。

表 1-1 VI主族元素氢化物的某些热理性质

性 质	H ₂ O	H ₂ S	H ₂ Se	H ₂ Te	性 质	H ₂ O	H ₂ S	H ₂ Se	H ₂ Te
相对分子质量	18.1	34.1	81.0	129.6	分子熔化热/(kJ/mol)	6.02	2.38	2.51	4.18
熔点/℃	0	-86	-66	-49	分子汽化热/(kJ/mol)	40.7	18.7	19.3	23.2
标准沸点/℃	100	-61	-41	-2					

水具有如此高的熔点和沸点以及很高的分子熔化热和汽化热，致使水分子由冰到水到气

的相态转化需要很多热能，以破坏众多氢键。也正因为这一反常特性，使地球上得以有液态水的存在，才能有生命物质的繁衍。

(3) 水的热传导、比热容、溶化热、汽化热以及热膨胀几乎比所有其他液体都高。所谓热传导是指传导热的能力，以导热系数表示。比热容是指单位质量的物质 (1kg 物质) 在温度升高 (或降低) 1°C 时所需的热量。水的摩尔热容为 75.3J/(mol·°C)。溶化热是指单位质量 (如 1mol) 的固体物质在熔点时，从固态转为液态所吸收的热量。汽化热是指单位质量 (如 1mol) 液体在沸点时，从液体转化为气体所吸收的热量。热膨胀是物体受热后所具有的膨胀能力。由于水的这种特性，水能起到调节自然界温度的作用，防止温差变化过大，使地球上的气候适于人类居住与动植物生长。相反，在无水的月球，昼夜温差高达 200°C。

2. 水具有较大的表面张力 水溶液液面层分子均受到一个朝向液体内部的合力作用，从而使液面具有缩小的趋势。表面张力就是作用于液体表面边界单位长度上的力。水与其他液体相比，具有较大的表面张力 (汞除外)。水的表面张力随温度升高而减小 (见表 1-2)。水靠其较大的表面张力产生毛细现象，而且，在很大程度上也影响着水溶液中的吸附现象。水的表面张力对研究包气带水的地球化学现象具有重要意义。

表 1-2 水的表面张力

温度 / K	273	323	373	473	525	573	623	647
表面张力 / $\times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{cm}^{-1}$	75.5	63.1	51.5	29.0	18.9	9.6	1.6	0

3. 水具有较小的黏滞度和较大的流动性 黏滞度是一种表征液体内部质点间阻力 (内摩擦) 程度的性质。一般来说，液体的运动可视为液体的变形，而黏滞性就是一种阻抗液体点间形变的能力，它使变形滞缓。水分子的极性和氢键共同决定了水的黏滞度小，流动性大。据已有资料表明，在 1V/cm 的电场下，水分子的 H^+ (质子) 的活动性为 $32.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ， OH^- 的活动性为 $17.8 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，而其他离子的活动性只有 $6 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 。同时，水分子在热运动过程中，经常不断地进行新的排布和联结。

4. 水具有高介电效应 在水中盐类离子晶体发生离解时，一些水分子围绕着每个离子形成一层抵消外部静电引力 (或斥力) 的外膜，它会部分中和离子的电荷，并且阻止正、负离子间的再行键合。这种水分子的封闭外壳类似绝缘介质的作用，起到绝缘效应 (或屏蔽效应)，称为介电效应。水具有较高的介电效应。

介电效应一般用介电常数表征。介电常数 (ϵ) 是指在某种介质中两电荷间引力或斥力比在真空或空气里减少的倍数。介电常数值越大，两电荷质点间的引力越小，反之则越大。

水的介电常数 ϵ ，在常温下为 81，0°C 时为 88，100°C 时为 56。常温下水的介电常数 $\epsilon = 81$ ，表示正、负电子在水中的相互吸附力比在真空或空气中减小 81 倍。

5. 水具有使盐类离子产生水化作用的能力 水是偶极分子，并有很大的极性。水分子的正极 (氢端) 与水中阴离子相吸引，负极 (氧端) 与水中阳离子相吸引。由于水中离子与水分子偶极间的相互吸引作用，使水中正、负离子周围为水分子所包围，这种过程称为盐类离子的水化作用 (或称离子的溶剂化作用)。这种作用是多数盐类能溶于水的主要原因。

离子水化后生成水合离子，水合金属离子的通式可写成 $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_x]^{n+}$ ，如 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 、 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 等。水合氢离子 H_3O^+ 在水中也很普遍。

6. 水具有良好的溶解性能 水具有良好的溶解性能是水最突出的特性。水对固体的溶解性能主要是由于水是极性分子，介电效应高，能使盐类离子产生水化作用等特性有关。

前已述及，水是由一个带负电的氧离子和两个带正电的氢离子组成的。由于氢和氧分布不对称，在接近氧原子一端形成负极，氢离子一端形成正极，成为偶极分子（图 1-2）。岩土与水接触时，组成结晶格架的盐类离子，被水分子带相反电荷的一端所吸引；当水分子对离子的引力足以克服结晶格架中离子间的引力时，离子脱离晶架，被水分子所包围，溶入水中，例如 NaCl 的溶解见图 1-2。

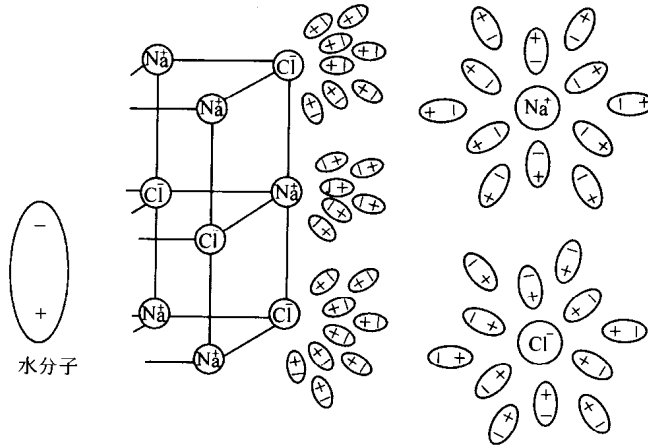


图 1-2 水溶解盐类过程示意图

左侧表示水的极化分子吸引结晶格架中的离子，右侧表示结晶格架破坏，离子溶入水中

实际上，当矿物盐类与水溶液接触时，同时发生两种方向相反的作用：溶解作用与结晶作用；前者使离子由结晶格架转入水中，而后者使离子由溶液中固着于晶体格架上。随着溶液中盐类离子增加，结晶作用加强，溶解作用减弱。当同一时间内溶解与析出的盐量相等时，溶液达到饱和。此时，溶液中某种盐类的含量即为其溶解度。

在高温高压下，天然水是一种活性水，其水分子结构处于亚稳状态。这时水的导电性、溶解能力、pH 等物理和化学性质的变异，使水具有更高的侵蚀性，因而其溶解能力增大。例如，前苏联学者用热压器中的活性水对 CaCO_3 进行溶解试验，发现活化后的水对 CaCO_3 的溶解度比活化前大 1.15~2.6 倍。

表 1-3 对水的特异性质及意义作了简要归纳。

表 1-3 水的某些特异性质及其意义

性 质	特 点	意 义
状态	一般为液态	提供生命介质、流动性
热容	非常大	良好的传热介质，调节环境和有机体的温度
熔解热	非常大	使水处于稳定的液态，调节水温
蒸发热	非常大	对水蒸气的大气物理性质有意义，调节水温
密度	4℃时极大	水体冰冻始于表面，控制水体中温度分布，保护水生生物
表面张力	非常大	生理学控制因素，控制液滴等表面现象
介电常数	非常大	高度溶解离子性物质并使其电离

性质	特点	意义
水合	非常广泛	对污染物是良好溶剂和载体,改变溶质生物化学性质
离解	非常少	提供中性介质
透明度	大	透过可见和长波段紫外线,在水体深处可发生光合作用

(二) 水的同位素组成

原子核内质子数 (p) 相同, 而中子数 (n) 不同的一类核素称为同位素。即同一化学元素原子量不同的两种以上原子互为同位素。同位素通常用符号 A_ZX (或简化为 AX) 表示, 其中 X 代表化学元素, A 代表原子核的质量数, 即核子 (质子和中子总数), p 为原子核中的质子数或电子数, 也即周期表中的原子序数。

氕 (H)、氘 (D)、氚 (T) 是水中氢元素的三种同位素 (图 1-3)。氕、氘是氢的稳定同位素。氚是氢的放射性同位素, 衰变时发射 β^- 射线, 生成氦: ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \beta^-$, 半衰期 ($T_{1/2}$)^① 为 12.43 年, 它在水中以氚水 (HTO) 形式存在。¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O 是氧元素的三种同位素, 都是稳定同位素。它们的核结构及在水中的丰度见表 1-4。

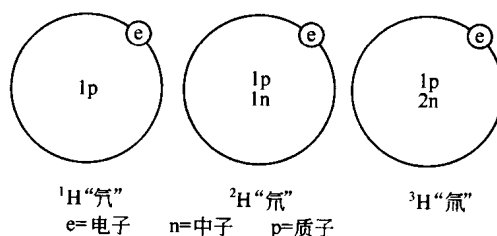


图 1-3 氢的同位素

表 1-4 氢氧同位素的核结构及在水中的丰度

同位素	e	p	n	A	丰度/%	类型	同位素	e	p	n	A	丰度/%	类型
	(电子)	(质子)	(中子)	(质量数)				(电子)	(质子)	(中子)	(质量数)		
${}^1\text{H}$ (氕)	1	1		1	99.984	稳定, 记为“H”	${}^{16}\text{O}$	8	8	8	16	99.76	稳定
${}^2\text{H}$ (氘)	1	1	1	2	0.016	稳定, 记为“D”	${}^{17}\text{O}$	8	8	9	17	0.04	稳定
${}^3\text{H}$ (氚)	1	1	2	3	$0 \sim 10^{-15}$	放射性, 半衰期 12.43a, 记为“T”	${}^{18}\text{O}$	8	8	10	18	0.20	稳定

若一种元素有几种同位素, 则对于一种化合物来说, 有许多同位素变种, 可统称为同位素分子。若不考虑痕量 ${}^3\text{H}$ (氚), 天然水中氢氧同位素可以有 9 种不同的同位素分子 (表 1-5)。

天然水中同位素分子以 $\text{H}_2{}^{16}\text{O}$ 为主, 丰度为 99.76%, 其他丰度较大的有以下几种: $\text{H}_2{}^{18}\text{O}$ (0.2%), $\text{H}_2{}^{17}\text{O}$ (0.042%), HD^{16}O (0.032%), 而 HTO 只有 $n \times 10^{-16}\%$ 。

表 1-5 天然水同位素分子

同位素	${}^{16}\text{O}$	${}^{17}\text{O}$	${}^{18}\text{O}$
H_2	$\text{H}_2{}^{16}\text{O}$ (18)	$\text{H}_2{}^{17}\text{O}$ (19)	$\text{H}_2{}^{18}\text{O}$ (20)
HD	HD^{16}O (19)	HD^{17}O (20)	HD^{18}O (21)
D_2	$\text{D}_2{}^{16}\text{O}$ (20)	$\text{D}_2{}^{17}\text{O}$ (21)	$\text{D}_2{}^{18}\text{O}$ (22)

注: 括号内为相对分子质量。

① 半衰期是指任一原始放射性物质在数量上减少一半所需要的时间, 以符号 $T_{1/2}$ 表示。