

火力发电厂 水处理及水质控制 (第二版)

武汉大学 李培元 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火力发电厂 水处理及水质控制 (第二版)

武汉大学 李培元 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了火力发电厂水质处理及控制过程中各个操作单元的工作原理、设备结构、设计原则及运行控制方法。内容包括：天然水体的水质及锅炉用水水质指标，水的混凝、沉淀与澄清处理，水的过滤及吸附处理，水的离子交换除盐，水的膜分离（包括 RO 技术、UF 技术及 ED 和 EDI 技术）及蒸馏法除盐，锅炉设备的金属腐蚀原理与防止，锅炉给水的 AVT 水工况和 CWT 水工况，汽包锅炉的炉水水质和蒸汽质量控制，热力设备的清洗，锅炉水汽质量的现代分析检测与微机诊断，锅炉补给水的程序控制，凝结水的精处理及程序控制，冷却塔的原则设计及循环冷却水处理和空冷技术，共计十篇二十六章。

本书可作为在电力、化工、石油、冶金、环保等单位从事水处理工作的工程技术人员和管理人员的工作参考用书，也可作为水质科学与技术专业和应用化学专业的本科生、研究生、青年教师参考教材和电厂运行人员培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电厂水处理及水质控制/李培元主编. —2 版.

北京：中国电力出版社，2008

ISBN 978-7-5083-6027-0

I. 火… II. 李… III. ①火电厂-水处理②火电厂-水质控制 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 130730 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 2 月第一版

2008 年 1 月第二版 2008 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 41 印张 1007 千字

印数 9001—12000 册 定价 65.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《火力发电厂水处理及水质控制（第二版）》

编审人员名单

主 编	李培元		
编写人员	第一~四章	李培元	
	第五章	周柏青	
	第六章	李培元	
	第七~九章	陈志和	
	第十、十一章	周柏青	
	第十二章	夏中明	李培元
	第十三章	李培元	
	第十四、十五章	李正奉	
	第十六、十七章	李培元	李正奉
	第十八、十九章	曹顺安	
	第二十、二十一章	杨万生	
	第二十二章	陈志和	
	第二十三章	杨万生	
	第二十四~二十六章	李培元	
审 稿 人	第一~六、十三、十六、十七、 二十四~二十六章	钱达中	
	第七~十二、十四、十五、二十二章	李培元	
	第十八、十九章	钟金昌	
	第二十、二十一、二十三章	郑芳俊	

《火力发电厂水处理及水质控制》，自 2000 年 2 月第一次印刷出版以来，已重印两次，受到了广大读者的厚爱和支持。但自进入 21 世纪以来，我国电力工业得到飞速发展，单机容量已从 200~300MW 向 600~1000MW，甚至 1200MW 发展，300~600MW 机组已成为 21 世纪的主力机组。由于亚临界压力和超临界压力机组对水汽质量提出了更高的要求，水处理技术及水质控制技术也有了很大发展，因此，我们对本书进行了修订，以满足目前水处理技术人员的实际需要。

第二版编写过程中，在仍以第一版的基本框架和基本内容为主，并保持了原有逻辑性、系统性和完整性的基础上，增加了一些 600~1000MW 亚临界和超临界压力机组及国外引进机组的资料，如 UF 技术、EDI 技术、蒸汽加氧吹扫技术、AVT 水工况、CWT 水工况、凝汽器不锈钢管和钛管的腐蚀及其防止等；删去了一部分内容，如水的消毒处理、阳离子交换处理、电渗析除盐和一些药剂标准等；重新改写了一部分内容，如水的澄清、沉降和过滤处理、水的吸附处理、热力设备的腐蚀与防止、热力设备的清洗、凝结水精处理等。另外，对少部分章节只是进行了文字修正。

第二版和第一版一样，全部采用国家规定的法定计量单位，在锅炉水处理中过去所表示的物质的量浓度单位 meq/L（或 eq/L、 $\mu\text{eq/L}$ ）全部改为 mmol/L（或 mol/L、 $\mu\text{mol/L}$ ），但都是指电化学摩尔质量，即其基本单元相当于具有一个电荷的粒子。

在第二版的编写过程中，邀请了武汉大学动力与机械学院水质科学与技术系的陈志和、周柏青、曹顺安教授，杨万生、李正奉、夏中明副教授参与部分章节的编写工作。

在本书第二版的审稿过程中，武汉大学的钟金昌、钱达中、郑芳俊教授，对各章节进行了审订，他们提出了许多宝贵的意见和建议，在此向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促、水平有限，书中难免有不妥或错误之处，敬请各位读者批评指正。

主编

2007 年 5 月

第一版前言

随着高参数、大容量热力设备的不断出现，对火力发电厂水处理技术，水汽质量控制及管理水平，都提出了更高的要求。为此，我们根据近些年来国内外的大量文献资料和科研成果，编成此书，以供有关工程技术人员、管理人员及在校本科生、研究生和教师参考。

本书全部采用国家规定的法定计量单位，在锅炉水处理中过去所表示的物质的量浓度单位 meq/L（或 eq/L、 $\mu\text{eq/L}$ ）全部改为 mmol/L（或 mol/L、 $\mu\text{mol/L}$ ），但都是指电化学摩尔质量，即其基本单元相当于具有一个电荷的粒子。因此，书中硬度、碱度、含盐量及摩尔浓度分率的含义分别为：

$$\text{硬度} = [1/2\text{Ca}^{2+}] + [1/2\text{Mg}^{2+}]$$

$$\text{碱度} = \text{滴定中所用的} [\text{H}^+] \text{量}$$

$$\text{含盐量} = [1/2\text{Ca}^{2+}] + [1/2\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + \dots$$

$$\text{在 } \text{Ca}^{2+}、\text{Na}^+ \text{ 混合液中，} \text{Ca}^{2+} \text{ 的摩尔浓度分率} = \frac{[1/2\text{Ca}^{2+}]}{[1/2\text{Ca}^{2+}] + [\text{Na}^+]}$$

$$\text{Na}^+ \text{ 的摩尔浓度分率} = \frac{[\text{Na}^+]}{[1/2\text{Ca}^{2+}] + [\text{Na}^+]}$$

在以上各式及书中，符号 $[\]$ 表示相应物质的量浓度。

为了便于从事火力发电厂水处理工作的人员学习、参考，将水汽质量控制中所涉及到的现代分析检测技术及微机诊断技术，以及水处理设备、凝结水精处理设备的程控技术等内容，也同时编入本书，这是非常有益的。

本书的编写，除邀请了武汉水利电力大学电厂化学教研室的陈志和、周柏青教授，杨万生、曹顺安和于萍副教授外，还特别邀请了西安热工研究院副总工程师杨东方高级工程师和高秀山高级工程师，湖北电力试验研究所许维宗教授级高级工程师，美国海德能公司徐平博士和张烽高级工程师。这对提高本书的学术水平和丰富本书的内容都是很重要的，在此向他们表示深切的谢意。

在本书的审稿过程中，武汉水利电力大学的钟金昌、钱达中、郑芳俊教授，对各章节进行了审订，他们都提出了许多宝贵的意见和建议，在此向他们表示衷心的感谢。

由于本书所涉及的内容非常广泛和时间仓促，加之我们的水平有限，书中难免有不妥或错误之处，敬请各位读者批评指正。

主编

1999年10月

第二节	滤床的截污原理	91
第三节	水头损失	93
第四节	过滤设备的工作过程	96
第五节	过滤设备	106
第六章	水的吸附处理	117
第一节	吸附处理原理与类型	117
第二节	活性炭的性能	119
第三节	活性炭的吸附容量与吸附速度	122
第四节	活性炭床的运行与管理	126

第三篇 水的离子交换除盐

第七章	离子交换基础理论	129
第一节	离子交换树脂	129
第二节	离子交换树脂的性能指标	137
第三节	离子交换反应与离子交换平衡	143
第四节	离子交换速度	151
第五节	动态离子交换过程	155
第八章	离子交换除盐	161
第一节	复床除盐	161
第二节	带有弱型树脂交换器的复床除盐	170
第三节	离子交换装置及运行操作	177
第四节	除碳器	191
第五节	混合床除盐	194
第六节	离子交换除盐系统	198
第七节	离子交换树脂使用中注意的问题	203
第九章	离子交换水处理工艺及装置的设计计算	210
第一节	水处理系统的选择	210
第二节	出力计算	212
第三节	除盐单元的工艺计算	215
第四节	除碳器的工艺计算	221
第五节	辅助设备及系统的选择	227
第六节	交换器本体设计	231

第四篇 膜分离与蒸馏法除盐

第十章	反渗透除盐	238
第一节	基本原理	238
第二节	反渗透膜	241

388	第三节	膜元件(膜组件)	248
388	第四节	给水预处理	257
388	第五节	反渗透装置及其运行	268
388	第六节	反渗透装置的故障与对策	278
	第十一章	超滤	281
388	第一节	超滤原理	281
388	第二节	超滤膜及其膜组件	282
388	第三节	超滤系统的运行	288
388	第四节	超滤过程污染与控制	292
	第十二章	ED 与 EDI 水处理	296
388	第一节	电渗析(ED)	296
388	第二节	电去离子(EDI)	301
	第十三章	蒸馏法除盐	312
388	第一节	蒸馏法除盐原理	312
388	第二节	蒸发(器)装置	314
388	第三节	闪蒸蒸发装置	317
388	第四节	水垢的形成与防止	321
388	第五节	闪蒸蒸发装置应用实例	324

第五篇 锅炉金属腐蚀与给水调节

	第十四章	热力设备的金属腐蚀与类型	330
388	第一节	金属腐蚀的基本概念与原理	330
388	第二节	火力发电机组的蒸汽参数与水汽系统	340
388	第三节	热力设备的氧腐蚀	345
388	第四节	热力设备的酸性腐蚀	347
388	第五节	停用腐蚀与停用保护	350
388	第六节	热力设备的介质浓缩腐蚀和应力腐蚀	353
388	第七节	凝汽器冷却水管的腐蚀与控制	355
	第十五章	锅炉给水水质调节	361
388	第一节	锅炉给水水质调节的重要性	361
388	第二节	锅炉给水水质调节方式与水质标准	362
388	第三节	锅炉给水中腐蚀产物的存在形态	365
388	第四节	AVT 水化学工况	367
388	第五节	CWT 水化学工况	377

第六篇 汽包锅炉的炉水调节与化学清洗

	第十六章	汽包锅炉的炉水蒸汽质量控制	382
--	-------------	----------------------------	------------

848	第一节	水垢和水渣的特性	382
849	第二节	汽包锅炉的炉水水质调节	386
868	第三节	蒸汽品质与污染	395
875	第四节	各种杂质在饱和蒸汽中的溶解特性	400
181	第五节	各种杂质在过热器和汽轮机中的沉积	402
183	第六节	蒸汽纯度标准与控制方法	407
	第十七章	热力设备的清洗	416
889	第一节	热力设备清洗的必要性	416
893	第二节	水清洗和蒸汽加氧吹洗	417
899	第三节	热力设备的化学清洗原理	419
906	第四节	化学清洗的工艺过程	424
101	第五节	化学清洗的质量检查和废液的处理	431

第七篇 现代水质分析与微机测控技术

	第十八章	现代水质分析与监测技术	434
133	第一节	概述	434
351	第二节	离子色谱分析法	435
	第三节	离子选择性电极在线检测技术	443
	第四节	原子吸收分光光度法 (AAS)	447
	第十九章	火电厂水汽化学过程微机在线监测和控制	460
333	第一节	微机监测和控制系统的的基本组成	460
339	第二节	火电厂化学过程微机监测和控制系统的的基本功能	462
340	第三节	微机监测和控制系统的硬件类型	463
342	第四节	微机监测和控制系统的软件设计	466

第八篇 锅炉补给水处理程控

	第二十章	可程序控制器 (PC) 原理	469
136	第一节	PC 的定义及特点	469
138	第二节	PC 的结构与分类	474
303	第三节	PC 的工作原理	479
326	第四节	输入/输出处理及系统诊断	482
343	第五节	PC 程序设计	484
373	第六节	编程器及编程软件包的使用	504
	第二十一章	PC 在补给水处理控制中的应用	510
	第一节	系统设计及机型选择	510
	第二节	过滤器的控制	516
383	第三节	阳床工艺过程自动控制	519

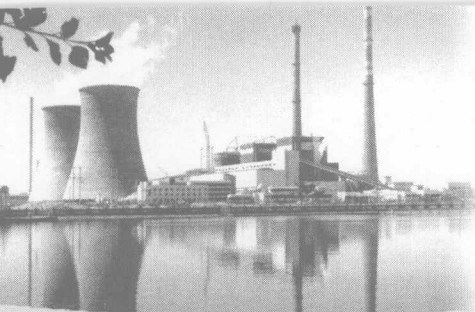
第四节	阴床工艺过程自动控制	522
第五节	混床工艺过程自动控制	524
第六节	补给水处理系统的自动控制	526

第九篇 凝结水精处理

第二十二章	凝结水精处理	532
第一节	概述	532
第二节	凝结水过滤	535
第三节	凝结水混床除盐	538
第四节	凝结水精处理系统及运行	541
第五节	盐的漏过机理及铵化混床	548
第六节	混床树脂的分离及体外再生	553
第二十三章	凝结水精处理系统程序控制	562
第一节	工艺流程	562
第二节	高速混床再生系统程序控制	562

第十篇 循环水的冷却与处理

第二十四章	循环冷却水的冷却构筑物与设计	570
第一节	冷却构筑物	570
第二节	水的冷却原理	573
第三节	冷却塔设计	577
第二十五章	循环冷却水处理	584
第一节	敞开式循环冷却水系统的特点	584
第二节	水质稳定性的判断	590
第三节	防垢处理	592
第四节	污垢的形成与防止	611
第五节	微生物控制	614
第二十六章	空冷技术	627
第一节	发电厂的空冷系统	627
第二节	空冷系统中的设备	632
第三节	空冷机组的水质特性及防腐处理	639
参考文献		642



第一章 天然水体的物质组成

第一节 水的特性

一、水分子的结构

水的基本化学式为 H_2O ，它不仅是地球上分布最广、贮量最多的物质，也是一切生命体的基本成分，如人体的含水量达 60%~70%。

在水分子的结构中，O—H 的键长为 0.096nm，H—H 键长为 0.154nm，H—O—H 的夹角为 104.4° ，两个氢原子核排列成以氧原子核为顶的等腰三角形，从而使氧的一端带负电荷，氢的一端带正电荷。因此水分子是一个极性很强的分子，即氧的一端为负极，氢的一端为正极。由于水分子在正极一方有两个裸露的氢核，在负极一方有氧的两对孤对电子，这样就使每一个水分子都可以把自己的两个氢核交出与其他两个水分子共有，而同时氧的两对孤对电子又可以接受第三个、第四个氢核，使这五个水分子之间形成四个氢键，其中每一个外围分子又再与另外的分子继续生成氢键，这种现象称为水分子的缔合现象，如图 1-1 所示。因此，水是单个分子 H_2O 和 $(H_2O)_n$ 的混合物， $(H_2O)_n$ 称为水分子的集聚体或聚合物。

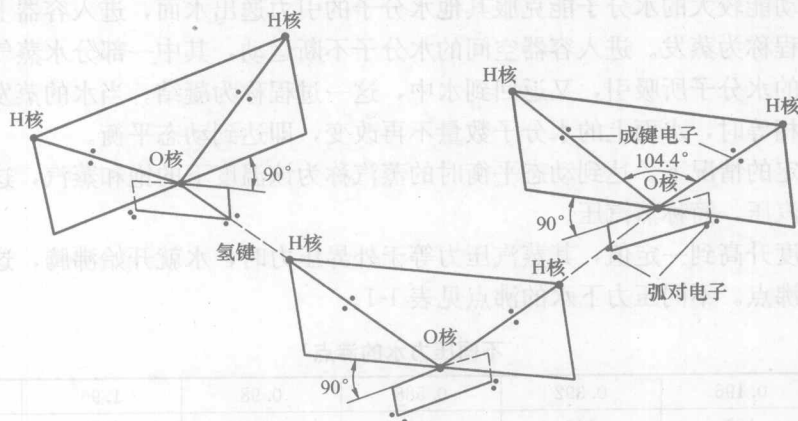


图 1-1 水分子结构及缔合现象

二、水的主要特性

由于水分子的上述结构特点，呈现出以下几种特性：

(1) 水的状态。水在常温下有三态。水的熔点为 $0^\circ C$ ，沸点为 $100^\circ C$ ，在自然环境中可以固体存在，也可以液体存在，并有相当部分变为水蒸气。图 1-2 是水的物态图(或称三相图)，图中表明了冰—水—汽、冰—汽、水—汽和冰—水共存的温度、压力条件。火力发电

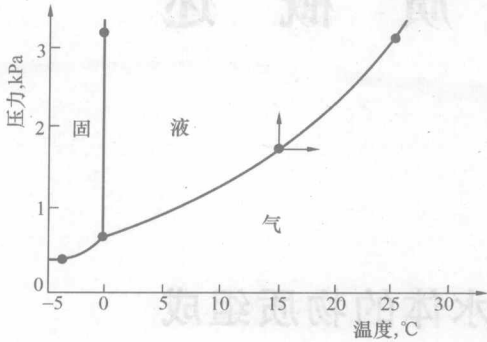


图 1-2 水的物态图

厂的生产工艺就是利用水的这种三态变化来转换能量的。

(2) 水的密度。水的密度与温度关系和一般物质有些不同，一般物质的密度均随温度上升而减小，而水的密度是 3.98℃ 时最大，为 1g/cm³，高于或低于此温度时，其密度都小于 1g/cm³。这通常由水分子之间的缔合现象来解释，即在 3.98℃ 时，水分子缔合后的聚合物结构最密实，高于或低于 3.98℃ 时，水的聚合物结构比较疏松。

(3) 水的比热容。几乎在所有的液体和固体物质中，水的比热容最大，同时有很大的蒸发热和溶解热。这是因为水加热时，热量不仅消耗于水温升高，还消耗于水分子聚合物的解离。所以，在火力发电厂和其他工业中，常以水作为传送热量的介质。

(4) 水的溶解能力。水有很大的介电常数，溶解能力极强，是一种很好的溶剂。溶解于水中的物质可以进行许多化学反应，而且能与许多金属的氧化物、非金属的氧化物及活泼金属产生化合作用。

(5) 水的电导率。因为水是一种很弱的两性电解质，能电离出少量的 H⁺ 和 OH⁻，所以即使是理想的纯水，也有一定的导电能力，这种导电能力常用电导率来表示。

电导率是电阻率的倒数。电阻率是对断面为 1cm×1cm、长为 1cm 的体积的水所测得的电阻，单位是欧姆·厘米(Ω·cm)，电导率的单位是西门子/厘米(S/cm 或 μS/cm)。25℃ 时，纯水的电阻率为 1.83×10⁷Ω·cm，电导率为 0.055μS/cm。

(6) 水的沸点与蒸汽压。水的沸点与蒸汽压力有关。如将水放在一个密闭容器中，水面上就有一部分动能较大的水分子能克服其他水分子的引力逸出水面，进入容器上部空间成为蒸汽，这一过程称为蒸发。进入容器空间的水分子不断运动，其中一部分水蒸气分子碰到水面，被水体中的水分子所吸引，又返回到水中，这一过程称为凝结。当水的蒸发速度与水蒸气的凝结速度相等时，水面上的水分子数量不再改变，即达到动态平衡。

在温度一定的情况下，达到动态平衡时的蒸汽称为该温度下的饱和蒸汽，这时的蒸汽压力称为饱和蒸汽压，简称蒸汽压。

当水的温度升高到一定值，其蒸汽压力等于外界压力时，水就开始沸腾，这时的温度称为该压力下的沸点。不同压力下水的沸点见表 1-1。

表 1-1 不同压力水的沸点

压力(MPa)	0.196	0.392	0.588	0.98	1.96	22
沸点(°C)	120	143	158	179	211	374

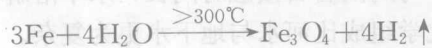
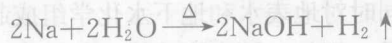
表 1-2 列出水的蒸汽压与温度之间的关系。

表 1-2 水中的蒸汽压与温度之间的关系

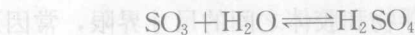
温度(°C)	0	40	80	100	120	140	180	374
蒸汽压力(Pa)	6.1×10 ²	7.4×10 ³	4.7×10 ⁴	1.0×10 ⁵	2.0×10 ⁵	3.6×10 ⁵	1.0×10 ⁶	2.2×10 ⁷

当气体高于某一温度时，不管加多大压力都不能将气体液化，这一温度称为气体的临界温度。在临界温度下，使气体液化的压力称为临界压力。水的临界温度为 374℃，临界压力为 22.0MPa。

(7) 水的化学性质。水能与金属和非金属作用放出氢



水还能与许多金属和非金属的氧化物反应，生成碱和酸



第二节 天然水体的物质组成

一、天然水体的物质组成

天然水体是海洋、河流、湖泊、沼泽、水库、冰川、地下水等地表与地下贮水体的总称，包括水和水中各种物质、水生生物及底质。从自然地理的角度看，水体是指地表水覆盖的自然综合体。

天然水体分为海洋水体和陆地水体，陆地水体又可分为地表水体和地下水水体。这些天然水体在自然循环运动中，无时不与大气、土壤、岩石、各种矿物质、动植物等接触。由于水是一种很强的溶剂，极易与各种物质混杂，所以天然水体是在一定的自然条件下形成的，是含有许多溶解性的和非溶解性的物质、组成成分又非常复杂的一种综合体。化学概念上那种理想的纯水在自然界中是不存在的。

天然水中混杂的物质，有的呈固态，有的呈液态或气态，它们大多以分子态、离子态或胶体颗粒存在于水中。这些几乎包含了地壳中的大部分元素，表 1-3 是天然水中含量较多、比较常见的物质组成。

表 1-3 天然水的物质组成

主要离子		微量元素	溶解气体		生物生成物	胶体		悬浮物质
阴离子	阳离子		主要气体	微量气体		无机	有机	
Cl ⁻	Na ⁺	Br、F	O ₂	N ₂	NH ₃ 、NO ₃ ⁻	SiO ₂ ·nH ₂ O	腐殖质	硅铝酸
SO ₄ ²⁻	K ⁺	I、Fe	CO ₂	H ₂ S	NO ₂ ⁻ 、PO ₄ ³⁻	Fe(OH) ₃ ·nH ₂ O		盐颗粒
HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Cu、Ni		CH ₄	HPO ₄ ²⁻	Al ₂ O ₃ ·nH ₂ O		砂粒
CO ₃ ²⁻	Mg ²⁺	Co、Ra			H ₂ PO ₄ ⁻			黏土

天然水体的物质组成不仅与它的形成环境有关，也与和水相接触的物质组成及物理化学作用所进行的条件有关。其中，包括溶解—沉淀、氧化—还原、水相—气相间离子平衡、固—液两相之间离子交换、有机物的矿质化、生物化学作用等，从而使天然水体的物质组成相差非常悬殊。

影响天然水体物质组成的直接因素主要有岩石、土壤和生物有机体，这些因素可使水增加或减少某些离子和分子。例如：流经石灰岩地区的天然水中富含 Ca^{2+} 和 HCO_3^- ；当水透过土壤时，溶解氧的含量减少，而 CO_2 的含量增多；生物排泄物和残体增加了水中的某些组分含量，生物呼吸作用影响着水中气体的含量。间接因素主要有气候和水文特征，气候是一切水化学作用进行的背景，同时对地表水和地下水化学组成起着总控制作用；天然水体的水文特征使水的组成有很大差异。例如：河水流速快，与河床接触时间短，河水中离子含量一般较低；地下水流速缓慢，与周围岩石接触时间长，水中溶解物的含量比地表水高，但气体组成相对减少；而湖水的化学组成比河水与地下水更为复杂。

二、天然水中物质的特征与来源

从水的净化和处理的需要，假定水中的物质均呈球形，并按其直径大小分成悬浮物、胶体和溶解物质三大类，如图 1-3 所示。但是水中的各种物质并非全部为球形，各种物质的尺寸界限也不能截然分开，特别是悬浮物和胶体之间的尺寸界限，常因形状和密度的不同而有所变化，所以图 1-3 中的数字只能表示一个大体的尺寸概念。

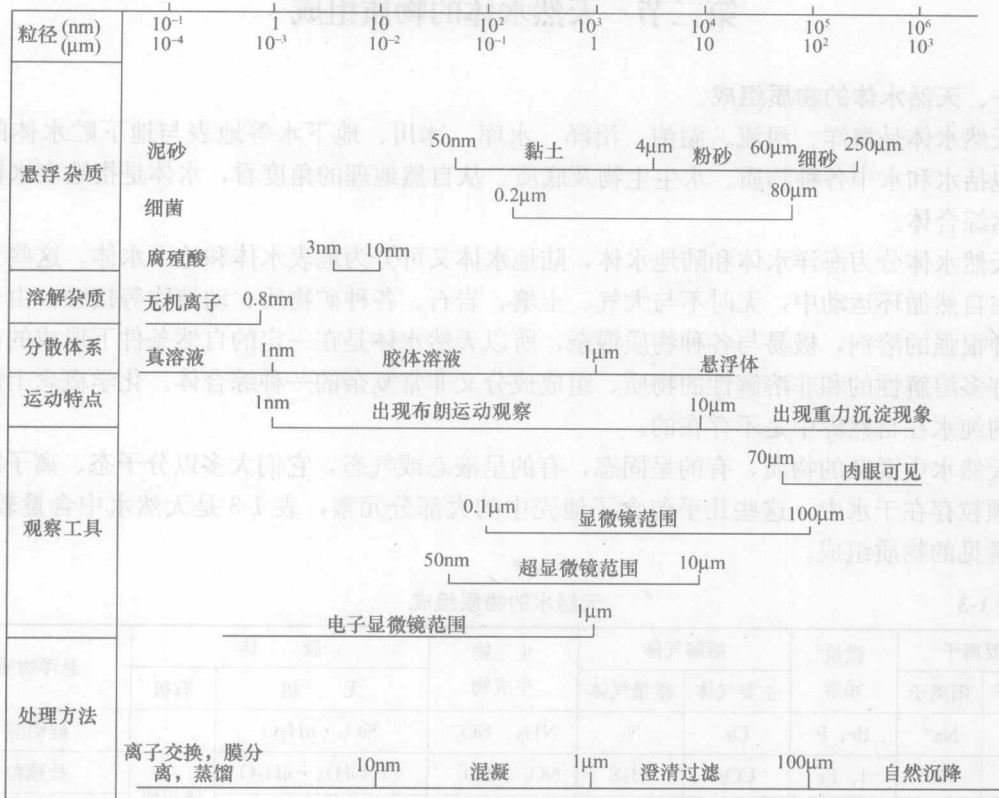


图 1-3 天然水体中各种物质尺寸大小与特征

(一) 悬浮物

悬浮物是指颗粒直径为 100nm~1μm 以上的物质微粒，按其微粒大小和相对密度的不同，可分为漂浮的、悬浮的和可沉降的。如一些植物及腐烂体的相对密度小于 1，一般漂浮于水面，称为漂浮物；一些动植物的微小碎片、纤维或死亡后的腐烂产物的相对密度近似等

于1,一般悬浮于水中,称为悬浮物;一些黏土、砂粒之类的无机物的相对密度大于1,当水静止时沉于水底,称为可沉物。因此,悬浮物在水中很不稳定,分布也很不均匀,是一种比较容易除去物质。

(二)胶体

胶体是指颗粒直径大约为1~100nm之间的微粒,主要是铁、铝、硅的化合物以及动植物有机体的分解产物、蛋白质、脂肪、腐殖质等,它们往往是许多分子或离子的集合体。由于这种颗粒比表面积大,有明显的表面活性,表面上常常带有某些正电荷或负电荷离子,而呈现出带电性。天然水体中的黏土颗粒一般都带负电荷,而一些金属离子的氢氧化物则带正电荷。因为带相同电荷的胶体颗粒互相排斥,不能聚集,所以胶体颗粒在水中是比较稳定的,分布也比较均匀,难以用自然沉降的方法除去。

腐殖质是分子量在300~30000以上的有机高分子化合物,按其在酸、碱溶液中的溶解特性分为三类:富里酸,是指既溶于酸也溶于碱的部分,分子量从几百到数千;腐殖酸,是指只溶于稀碱溶液不溶于酸的部分,分子量从数千到数万;腐里物,是指在酸、碱溶液中都不可溶的部分。在腐殖质的分子结构中,除含有苯环以外,还含有大量的—OH基团和—COOH基团,它们在水中解离,形成带有负电荷的长链阴离子。由于活性基团相互排斥,分子结构伸展,亲水性增强,具有稳定性,故在水处理中也划为胶体范畴。

天然水体中的悬浮物和胶体颗粒,由于对光线有散射效应,是造成水体浑浊的主要原因,所以它们是各种用水处理首先清除的对象。

(三)溶解物质

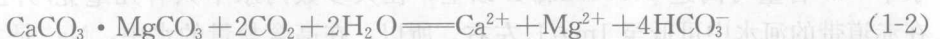
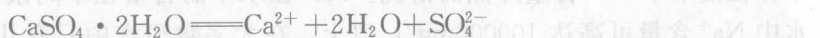
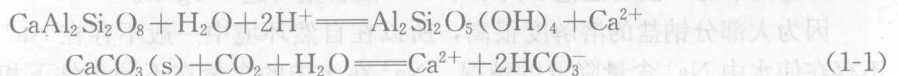
溶解物质是指颗粒直径小于1nm的微粒,它们往往以离子、分子或气体的状态存在于水中,成为均匀的分散体系,称为真溶液。这类物质不能用混凝、沉降、过滤的方法除去,必须用蒸馏、膜分离或离子交换的方法才能除去。

1. 呈离子状态的物质

如表1-3所示,天然水体中含有的主要离子有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等八种离子,它们几乎占水中溶解固体总量的95%以上。另外,水中还有一定的生物生成物、微量元素及有机物。生物生成物主要是一些氮的化合物(如 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^-),磷的化合物(HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 PO_4^{3-}),铁的化合物和硅的化合物。微量元素是指含量小于10mg/L的元素,主要有 Br^- 、 I^- 、 F^- 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ra^{2+} 等。

下面着重介绍天然水中主要离子的来源。

(1) 钙离子(Ca^{2+})。钙离子是大多数天然淡水的主要阳离子,是火成岩(链状硅酸盐——辉石、钙长石)、变质岩和沉积岩(方解石、文石、石膏等)的基本组分。当水与这些矿物接触时,这些矿物会缓慢溶解,使水中含有钙离子,如



式(1-1)和式(1-2)说明,当天然水溶解方解石和白云石时,水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量随大气中 CO_2 含量的增加而增加。在土壤或岩层中,由于植物根系的呼吸作用或微生物对死

亡植物体的分解作用,使 CO_2 的分压比地面大气中 CO_2 的分压高10~100倍,所以一般地下水 Ca^{2+} 的浓度比地表水高。

当天然水中含有较多的 H^+ 时,可使 CaCO_3 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 CaSO_4 同时溶解,使水中 Ca^{2+} 浓度大大超过 HCO_3^- 的浓度。

水中 Ca^{2+} 不仅能与有机阴离子形成络合物,而且能与 HCO_3^- 生成 CaHCO_3^+ 离子对。当水中 SO_4^{2-} 的含量超过1000mg/L时,可有50%以上的 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 生成 CaSO_4 离子对。在碱性条件下, OH^- 、 CO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 也可与 Ca^{2+} 生成 CaOH^+ 、 CaCO_3 、 CaPO_4^- 离子对,在一般天然水体中没有这种情况。

不同的天然水中钙离子的含量相差很大。一般在潮湿地区的河水中,水中 Ca^{2+} 的含量比其他任何阳离子都高(在20mg/L左右)。在干旱地区的河水中,水中 Ca^{2+} 含量较高。在封闭式的湖泊中,由于蒸发浓缩作用,可能会出现 CaCO_3 沉淀或 CaSO_4 沉淀,从而使水的类型由碳酸盐型演变为硫酸盐型或氯化物型。

(2) 镁离子(Mg^{2+})。镁离子几乎存在于所有的天然水中,是火成岩镁矿石(橄榄石、辉石、黑云母)和次生矿(绿泥石、蒙脱石、蛇纹石)及沉积岩(菱镁石、水镁石)的典型组分。当水遇到这些矿物时,镁离子进入水中。

由于镁离子的离子半径比 Ca^{2+} 、 Na^+ 都小,所以有较强的电荷密度,对水分子有较大的吸引力。在水溶液中,每一个 Mg^{2+} 周围有6个水分子,形成一层较厚的水膜,水化后 Mg^{2+} 表示为 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ 。 Mg^{2+} 可与 SO_4^{2-} 、 OH^- 生成 MgSO_4 、 $\text{Mg}(\text{OH})^+$ 离子对,其中 $\text{Mg}(\text{OH})^+$ 称为羟基络合物。当水中 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 的含量大于1000mg/L时, Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 形成络合物。

因为菱镁石(MgCO_3)的溶解度比方解石(CaCO_3)约大两倍,而水化菱镁石($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)的溶解度又明显地大于菱镁石,所以在与白云石接触的天然水中, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的含量几乎相等,但在过饱和的水溶液中,由于 CaCO_3 析出,使水中 Mg^{2+} 的含量高于 Ca^{2+} 。

镁离子在天然水中的含量仅次于 Na^+ ,很少见到以 Mg^{2+} 为主要阳离子的天然水体。在淡水中 Ca^{2+} 是主要阳离子,在咸水中 Na^+ 是主要阳离子。在大多数的天然水体中, Mg^{2+} 含量一般在1~40mg/L。当水中溶解固体的含量低于500mg/L时, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的摩尔比为4:1~2:1。当水中溶解固体的含量高于1000mg/L时, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的摩尔比降至2:1~1:1。当水中溶解固体含量进一步增大时, Mg^{2+} 的含量可能高出 Ca^{2+} 许多倍。

(3) 钠离子(Na^+)。钠主要存在于火成岩的风化产物和蒸发岩中,钠几乎占地壳矿物组分的25%,其中以钠长石中的含量最高。这些矿物在风化过程中易于分解,释放出 Na^+ ,所以在与火成岩相接触的地表水和地下水中普遍含有 Na^+ 。在干旱地区,岩盐是天然水中 Na^+ 的重要来源,被岩盐饱和的水中 Na^+ 的含量可达150g/L。

因为大部分钠盐的溶解度很高,所以在自然环境中一般不存在 Na^+ 的沉淀反应,也就不存在使水中 Na^+ 含量降低的情况。 Na^+ 在水中的含量在不同条件下相差非常悬殊,在咸水中 Na^+ 含量可高达100000mg/L以上,在大多数河水中只有几毫克/升至几十毫克/升,在赤道带的河水中可低至1mg/L左右。所以,在高含盐量的水中, Na^+ 是主要阳离子,如海水中 Na^+ 含量(按重量计)占全部阳离子的81%。

当 Na^+ 的含量低于1000mg/L时,水中的 Na^+ 主要以游离状态存在。在高含盐量的水