

火力发电厂水处理 及水质控制

武汉水利电力大学 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

武汉水利电力大学 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、设计原理及运行控制方法。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、消毒及吸附处理，水的离子交换除盐，水的膜分离及蒸馏法除盐，锅炉给水及炉水的水质与水质调节，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，共计十章二十六章。

本书是在电力、化工、石油、冶金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书，也可作为应用化学专业的参考教材和电厂培训用书。

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. —北京:中国电力出版社,1999.11

ISBN 7-5083-0184-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第63733号

中国电力出版社出版、发行

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

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年2月第一版 2000年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 47印张 1155千字

印数 0001—4000册 定价 60.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

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:

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

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

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

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

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

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峰高级工程师。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

目 录

前 言

第一篇 水质概述

第一章 天然水体的物质组成	1
第一节 生物圈与水循环	1
第二节 水的特性	2
第三节 天然水体的物质组成	6
第四节 影响陆地水化学组成的因素	14
第二章 锅炉用水概述	19
第一节 锅炉用水的水质指标	19
第二节 天然水体的分类	23
第三节 天然水体的水化学特性	26
第四节 天然水中的碳酸化合物	32

第二篇 水的预处理

第三章 水的混凝处理	38
第一节 水中胶体颗粒的主要特性	38
第二节 胶体颗粒的稳定性与脱稳方法	41
第三节 混凝处理原理	45
第四节 混凝剂、助凝剂和电混凝	49
第五节 絮凝反应与动力学过程	56
第六节 混凝处理设备	61
第四章 水的沉淀、沉降与澄清处理	67
第一节 水的沉淀处理	67
第二节 悬浮颗粒在静水中的沉降	73
第三节 平流式沉淀池	78
第四节 斜板斜管沉淀池	83
第五节 澄清池	88
第六节 ЦНИИ 型澄清池	91

第七节	脉冲澄清池	93
第八节	机械搅拌澄清池	95
第九节	水力循环澄清池	101
第十节	澄清池的运行管理与调整试验	102
第五章	水的过滤处理	105
第一节	滤床特性	105
第二节	过滤设备的工作过程	111
第三节	滤床的截污原理	113
第四节	水头损失	117
第五节	反洗	120
第六节	过滤设备	128
第六章	水的消毒与吸附处理	136
第一节	水的消毒处理	136
第二节	活性炭吸附处理	148
第三节	大孔吸附树脂在水处理中的应用	162

第三篇 水的离子交换除盐

第七章	离子交换树脂与离子交换原理	167
第一节	离子交换树脂	167
第二节	离子交换树脂的性能	175
第三节	离子交换反应与离子交换平衡	181
第四节	离子交换动力学	190
第五节	离子交换树脂的贮存及预处理	195
第八章	离子交换除盐	198
第一节	动态离子交换过程	198
第二节	水的阳离子交换处理	203
第三节	复床除盐	206
第四节	强弱型树脂联合应用的复床除盐	218
第五节	离子交换装置及运行操作	227
第六节	除碳器	241
第七节	混合床除盐	243
第八节	离子交换除盐系统	247
第九节	离子交换树脂的变质、污染和复苏	253
第九章	离子交换水处理工艺及装置的设计计算	258
第一节	系统选择和出力计算	258
第二节	除盐系统工艺计算	261
第三节	交换器本体设计	275

第四节	交换器外部部件设计及开孔补强	278
第五节	交换器排水装置的设计计算	281

第四篇 膜分离与蒸馏法除盐

第十章	膜分离的理论基础	286
第一节	反渗透水处理技术	286
第二节	反渗透膜的选择性透过原理	288
第三节	膜的性能	299
第四节	膜的制作	304
第十一章	反渗透和超滤的应用	319
第一节	反渗透系统的预处理	319
第二节	膜分离装置	325
第三节	反渗透膜元件(或组件)的排列形式	332
第四节	反渗透装置的设计	340
第五节	反渗透装置的安装、运行和管理	346
第六节	反渗透在水处理方面的应用	350
第七节	超滤在水处理方面的应用	359
第十二章	电渗析水处理技术	363
第一节	离子交换膜	363
第二节	电渗析的物理化学过程	364
第三节	电渗析装置	368
第十三章	蒸馏法除盐	371
第一节	用蒸馏法制取淡水	371
第二节	蒸馏法原理	372
第三节	单级、二级和多级蒸发装置	374
第四节	闪蒸蒸发装置	377
第五节	水垢的形成与防止	381
第六节	闪蒸蒸发装置应用实例	383

第五篇 锅炉给水水质调节

第十四章	锅炉金属腐蚀原理与类型	386
第一节	水、汽质在火电机组热力系统内的运行条件	386
第二节	锅炉给水水质的控制标准	397
第三节	热力系统金属腐蚀的基本原理	405
第四节	热力设备金属腐蚀的类型	407

第十五章 锅炉给水水质调节	411
第一节 锅炉给水水质调节的重要性	411
第二节 锅炉给水中腐蚀产物的存在形态	412
第三节 锅炉给水水质调节的基本原理	416
第四节 锅炉给水 pH 值的调节	426
第五节 锅炉给水的热力除氧	431
第六节 锅炉给水的化学除氧	432
第七节 联氨的代用品及膜胺的应用	446
第八节 锅炉给水的加氧处理	451
第九节 锅炉给水水质调节的运行方式	452

第六篇 汽包锅炉的炉水水质调节

第十六章 汽包锅炉的炉水水质调节	455
第一节 水垢和水渣的特性	455
第二节 汽包锅炉的炉水水质调节	460
第三节 锅炉的化学清洗	467
第十七章 蒸汽品质控制	474
第一节 蒸汽品质与污染	474
第二节 各种杂质在饱和蒸汽中的溶解特性	478
第三节 各种物质在过热器和汽轮机中的沉积	482
第四节 蒸汽纯度标准与控制方法	489

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	497
第一节 概述	497
第二节 离子色谱分析法	498
第三节 离子选择性电极在线检测技术	506
第四节 原子吸收分光光度法 (AAS)	510
第五节 流动注射分析技术	522
第十九章 火电厂水汽化学过程微机在线监测和控制	534
第一节 微机监测和控制系统的组成	534
第二节 火电厂化学过程微机监测和控制系统的功能	536
第三节 微机监测和控制系统的硬件类型	537
第四节 微机监测和控制系统的软件设计	540

第八篇 锅炉补给水处理程控

第二十章 可编程序控制器 (PC) 原理	543
第一节 PC 的定义及特点	543
第二节 PC 的结构与分类	548
第三节 PC 的工作原理	553
第四节 输入 / 输出处理及系统诊断	556
第五节 PC 程序设计	558
第六节 编程器及编程软件包的使用	577
第二十一章 PC 在补给水处理控制中的应用	585
第一节 系统设计及机型选择	585
第二节 过滤器的控制	591
第三节 阳床工艺过程自动控制	594
第四节 阴床工艺过程自动控制	597
第五节 混床工艺过程自动控制	598
第六节 补给水处理系统的自动控制	601

第九篇 凝结水精处理

第二十二章 凝结水精处理	608
第一节 概述	608
第二节 凝结水处理系统	612
第三节 深层混床的漏过机理	615
第四节 减少深层混床交叉污染的方法	619
第五节 消除交叉污染影响的措施	631
第二十三章 凝结水精处理系统程序控制	640
第一节 工艺流程	640
第二节 高速混床再生系统程序控制	642
第三节 上位机监控软件	648

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	651
第一节 冷却构筑物	651
第二节 水的冷却原理	655
第三节 冷却塔设计	659

第二十五章 循环冷却水处理	667
第一节 敞开式循环冷却水系统的特点	667
第二节 水质稳定性的判断	672
第三节 防垢处理	677
第四节 污垢的形成与防止	698
第五节 微生物控制	700
第六节 腐蚀控制	711
第二十六章 空冷技术	719
第一节 发电厂的空冷系统	719
第二节 空冷系统中的设备	724
第三节 空冷机组的水质特性及防腐处理	731
附 录	734
主要参考文献	739

水质概述

第一章 天然水体的物质组成

第一节 生物圈与水循环

一、生物圈

生物圈是指地球上所有的生物（包括人类）及其生存环境的总体。它是地球上最大的生态系统，其划分的范围在海平面以上 9km 到海平面以下 10km，它包括了上千万种物种。在这个范围内有正常的生命活动，有能量的流动和物质的循环，有构成生态系统的生产者、消费者、分解者和无生命物质四个组成部分。

二、水圈

地球是一个水量极其丰富的天体，这是它与其他星球不同之处，迄今为止天文学家还未发现有水的其他星球。海洋和陆地上的液态水和固态水构成了一个连续的圈层，覆盖着 3/4 以上的地球表面，称为水圈（hydrosphere），它包括江河湖海中一切淡水和咸水、土壤水、浅层与深层地下水以及两极冰帽和高山冰川的冰，还包括大气中的水滴和水蒸气。表 1-1 列出地球上各种水的分布和停留时间。

表 1-1 水的分布与停留时间

分 布	面 积 (10^6km^2)	水 量 (10^3km^3)	占总量的 (%)	平均停留时间
江河	-	1~2	0.0001	12~20 天
大气圈（云和水汽）	516	13	0.001	9~12 天
土壤水（潜水面以上）	130	67	0.005	15~30 天
盐湖与内陆海	0.5	104	0.007	$10\sim 10^2$ 年
淡水湖	0.85	125	0.009	$10\sim 10^2$ 年
地下水（800m 深度以上）	130	8300	0.59	$10^2\sim 10^3$ 年
冰川与冰帽	28.2	29200	2.07	10^4 年
海洋	361	1370000	97.31	$10^3\sim 10^4$ 年
总计	516	1407810	100	-

由表 1-1 中的数据可知，地球上水的总量达 $1.4 \times 10^9 \text{km}^3$ ，占地球质量的 0.02%，但能

供人类利用的水不多，因为水圈中海水占 97.3%，难以直接利用，淡水只占 2.7%，约合 $38 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。这些淡水的 99% 难以直接被人类利用。因为两极冰帽和大陆冰川的淡水储存量占 86%；浅层地下水储量约占淡水总量的 12%，必须凿井方能提取；最容易被人们直接利用的江、河、湖、沼水，还不到总淡水量的 1%。

三、水的自然循环运动

水圈中的水处于不断的循环中。因为这种循环是在自然力的作用下进行的，所以称为自然循环。图 1-1 示出水的这种自然循环运动。

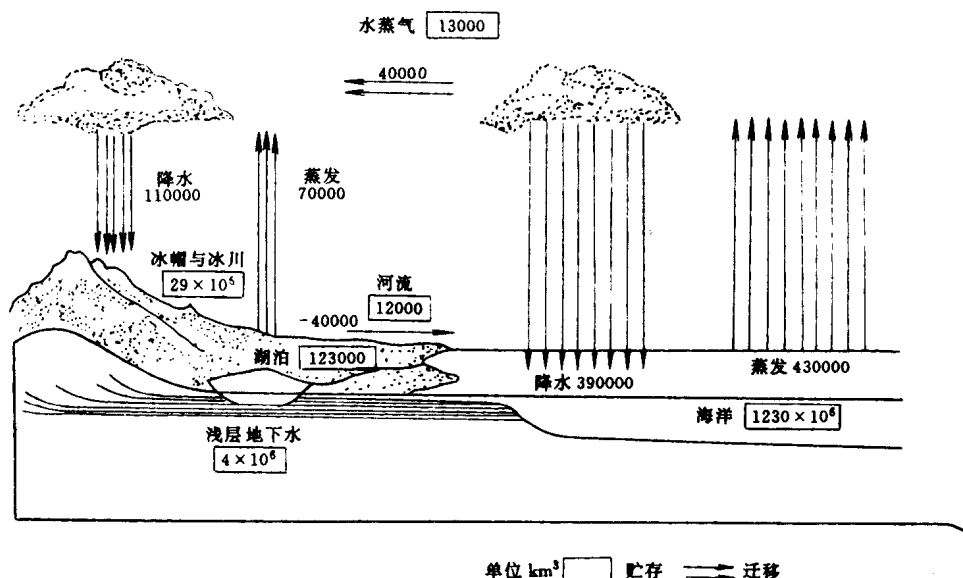


图 1-1 水的自然循环运动

天然水体在上述循环过程中，包括水的蒸发、水汽输送、冷凝降水、水渗入和地表水与地下水径流五个基本环节，它们相互独立、相互交错、相互影响。

天然水体的循环又可分为大循环和小循环。前者是指发生在全球海洋与陆地之间的水量交换过程，所以也称外循环。后者是指发生在海洋与大气之间或陆地与大气之间的水量交换过程，所以也称内循环。

第二节 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 的键角为 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 1-2 所示，所以水是单个分子 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。

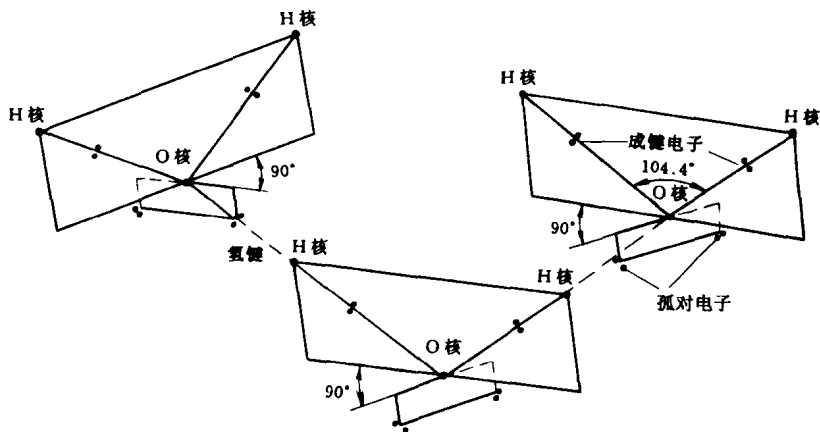


图 1-2 水分子结构及缔合现象

二、水的特性

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 1-3 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。火力发电厂的生产工艺就是利用水的这种三态变化来转换能量的。

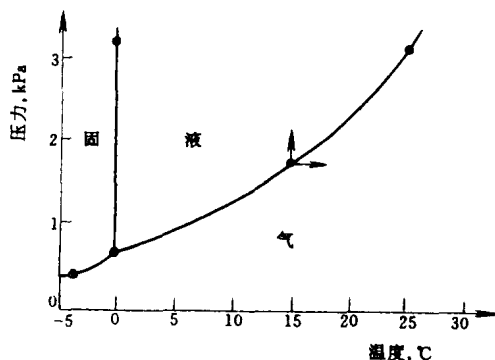


图 1-3 水的物态图

(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 $3.98^{\circ}C$ 时最大，为 $1g/cm^3$ 。高于或低于此温度时，其密度都小于 $1g/cm^3$ ，这通常由水分子之间的缔合现象来解释，即在 $3.98^{\circ}C$ 时，水分子缔合后的聚合物结构最密实，高于或低于 $3.98^{\circ}C$ 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，表 1-2 列出水在定压 ($0.1MPa$) 下的比热容。

(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。表 1-3 列出水的介电常数。

表 1-2 水的比热容 (不含空气的水在 0.1MPa 下的定压比热容)

温度 (°C)	比热容 [J/(kg·°C)]	温度 (°C)	比热容 [J/(kg·°C)]	温度 (°C)	比热容 [J/(kg·°C)]	温度 (°C)	比热容 [J/(kg·°C)]
0	4217.3098	20	4181.7330	50	4180.4771	90	4204.7533
5	4205.8833	25	4175.8733	60	4184.2443	100	4215.6356
10	4191.7782	30	4178.3846	70	4189.2669		
15	4185.5000	40	4178.3816	80	4195.9637		

表 1-3 水的介电常数

t (°C)	ε	t (°C)	ε	t (°C)	ε	t (°C)	ε
0	87.90	25	78.36	50	69.88	80	60.93
5	85.90	30	76.58	55	68.30	85	59.55
10	83.95	35	74.85	60	66.76	90	58.20
15	82.04	38	73.83	65	65.25	95	56.88
18	80.93	40	73.15	70	63.78	100	55.58
20	80.18	45	71.50	75	62.34		

(5) 水的表面张力 在水体内部, 由于每个水分子受其四方相邻水分子的引力, 所以每个水分子受力是平衡的。但靠近表面的水分子则受力不平衡, 水体内部对它的引力大, 外部空气对它的引力小, 从而使水体表面分子受到一种向内的拉力, 称为表面张力。水有最大的表面张力, 达到 $72.75 \times 10^{-5} \text{N/cm}$, 表现出异常的毛细、润湿、吸附等特性。

(6) 水的黏度 表示水体运动过程中所发生的内摩擦力, 其大小与内能损失有关。纯水的黏度取决于温度, 与压力几乎无关。表 1-4 列出水的动力黏度和运动黏度与温度的关系。

(7) 水的电导 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 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 、长 1cm 体积的水所测得的电阻, 单位是欧姆·厘米 ($\Omega \cdot \text{cm}$), 电导率的单位是西门子/厘米 (S/cm 或 $\mu\text{S/cm}$)。

表 1-5 列出水的电阻率和电导率, 25°C 时纯水的电阻率为 $1.83 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

表 1-4 水的动力黏度和运动黏度

温度 (°C)	动力黏度 (Pa·s)	运动黏度 (cm^2/s)	温度 (°C)	动力黏度 (Pa·s)	运动黏度 (cm^2/s)	温度 (°C)	动力黏度 (Pa·s)	运动黏度 (cm^2/s)
0	0.0017887	0.017887	35	0.0007205	0.007248	70	0.0004062	0.004154
5	0.0015155	0.015156	40	0.0006533	0.006584	75	0.0003795	0.003892
10	0.0013061	0.013065	45	0.0005958	0.006017	80	0.0003556	0.003659
15	0.0011406	0.011416	50	0.0005497	0.005546	85	0.0003341	0.003451
20	0.0010046	0.010064	55	0.0005072	0.005146	90	0.0003146	0.003259
25	0.0008941	0.008968	60	0.0004701	0.004781	95	0.0002981	0.003099
30	0.0008019	0.008054	65	0.0004395	0.004445	100	0.0002821	0.002944

表 1-5 水的电阻率和电导率

t (°C)	Δ_H	Δ_{OH}	$K_{H_2O} \times 10^{-14}$	电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
	(S·cm ² /mol)				
5	251	133	0.185	62.1×10^6	0.016
10	276	149	0.292	45.5×10^6	0.022
15	300	164	0.452	31.2×10^6	0.032
20	325	182	0.681	26.3×10^6	0.038
25	350	196	1.008	18.3×10^6	0.055
30	375	212	1.471	14.1×10^6	0.071
35	400	228	2.084	9.75×10^6	0.102
40	421	244	2.918	7.66×10^6	0.131
45	444	260	4.012	7.10×10^6	0.141
50	464	276	5.45	5.80×10^6	0.172

注 Δ_H 、 Δ_{OH-H^+} 和 Δ_{OH^-} 的摩尔电导率, S·cm²/mol; K_{H_2O} —水的离子积。

(8) 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 1-6。

表 1-6 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

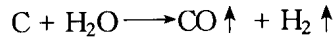
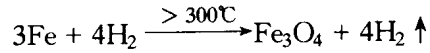
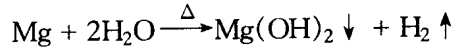
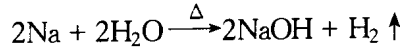
表 1-7 列出水的蒸汽压与温度之间的关系。

表 1-7 水中的蒸汽压与温度之间的关系

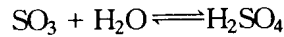
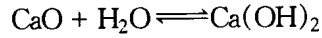
温度 (°C)	0	40	80	100	120	140	180	374
蒸汽压力 (Pa)	6.1×10^2	7.4×10^3	4.7×10^4	1.0×10^5	2.0×10^5	3.6×10^5	1.0×10^6	2.2×10^7

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°C,临界压力为 22.0MPa。

(9) 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。



第三节 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。它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。它们几乎包含了地壳中的大部分元素，表 1-8 是天然水中含量较多、比较常见的物质组成。

表 1-8 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	$\text{NH}_3, \text{NO}_3^-$	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	腐殖质	硅铝酸
SO_4^{2-}	K^+	I, Fe	CO_2	H_2S	$\text{NO}_2^-, \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		盐颗粒
HCO_3^-	Ca^{2+}	Cu, Ni		CH_4	HPO_4^{2-}	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		砂粒
CO_3^{2-}	Mg^{2+}	Co, Ra			H_2PO_4^-			粘土

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。

天然水体的水质就是由所含物质的数量和组成所决定的，因为这些物质从锅炉用水的角度上看都是有害的，所以称这些物质为杂质。

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 1-4 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 1-4 中的数字只能表示一个大体的尺寸概念。

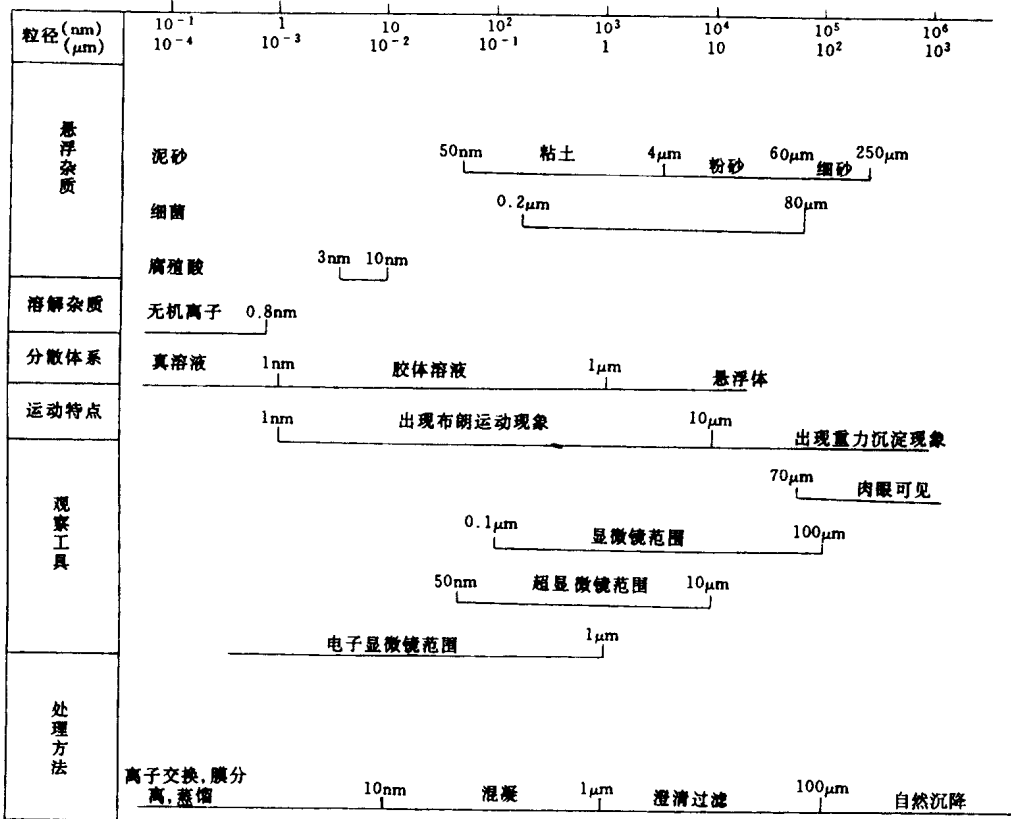


图 1-4 天然水体中各种物质尺寸大小与特征

(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；一些粘土、砂粒之类的无机物的相对密度大于 1，当