

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

火电厂 水处理技术

许立国 主 编
毕孝国 郝丽芬 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

火电厂 水处理技术

主 编 许立国
副主编 毕孝国 郝丽芬
编 写 李艳萍 李珊珊
主 审 钱达中



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书主要讲述了火力发电厂水处理基本知识和基础理论, 如工业用水的预处理技术, 火电厂锅炉及其水汽质量标准, 水处理除盐技术, 锅炉水处理技术, 水汽系统的腐蚀、结垢及其防止, 锅炉蒸汽污染及其防止, 火电厂循环冷却水处理技术等。此外还扼要介绍了锅炉的化学清洗、停用保护及水质分析技术在火电厂的应用。

本书可作为大专院校电厂化学专业教材, 也可作为电厂化学应用型本科专业的教材, 同时可作为其他相关专业师生的参考书, 并可供水处理专业技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂水处理技术/许立国主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7 - 5083 - 4630 - 0

I. 火... II. 许... III. 火电厂—水处理—高等学校—教材 IV. TM621.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 093003 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>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 619 千字
印数 0001—3000 册 定价 38.00 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

随着现代化电力工业的发展,大容量高参数发电机组的投运不断增多,火力发电机组对水质要求越来越高,水处理技术尤为重要,它直接关系到电厂和发电机组的效益和设备的安全稳定及经济运行,更关系到水资源充分利用、更好服务于社会的问题。随着新技术和新产品的应用,水处理技术得到充分发展。因此,在高等学校电厂化学专业教学过程中,需进行全面规范的电厂水处理技术的基础理论和基本知识教学,也应同时提高电厂化学水处理专业技术人员的业务水平。本书的编写,就是为大专院校化学水处理专业或电厂化学应用型本科专业提供一本既有基本理论知识,又紧密结合火电厂水处理技术生产实际及应用情况的教科书,以满足教学工作的需要。

本书内容,力求在讲授水处理专业基础理论、基本知识、基本技能的同时,结合当今电力生产水处理工作的实际情况,适当选用一些国外资料以及在电力生产中开始应用的新技术。

全书分五篇共二十一章。其中,第一章至第四章及第七章由太原电力高等专科学校郝丽芬副教授编写,第五章、第六章、第八章至第十二章由沈阳电力高等专科学校毕孝国副教授、李珊珊副教授编写,第十三章至第十八章及二十一章由山东电力高等专科学校许立国副教授编写,第十九章至第二十章由山东电力高等专科学校李艳萍副教授编写。全书许立国任主编,毕孝国、郝丽芬任副主编。

本书由武汉大学钱达中教授认真审阅,并得到了山东电力高等专科学校化环系的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

本书编写过程时间较紧,内容涉及面较广,且本人的知识有限,因此书中难免有不妥或错误之处。在此请各位专家和学者多加批评指正。谢谢!

许立国

2006年4月6日于山东电力高等专科学校

目 录

前言

第一篇 火电厂用水及水的预处理

第一章 水资源及电力工业用水	1
第一节 水资源	1
第二节 电力工业用水及其特点	6
第三节 节约水资源和防止水污染的重要性	9
本章思考题	11
第二章 火力发电厂用水的预处理	12
第一节 天然水中的杂质	12
第二节 水的预处理	15
本章思考题	36

第二篇 水的离子交换处理和膜处理

第三章 离子交换树脂及离子交换基本原理	37
第一节 离子交换树脂及其性能	37
第二节 离子交换基本原理	47
第三节 离子交换树脂层的工作过程	53
第四节 离子交换树脂的使用	55
第五节 离子交换树脂的变质、污染与复苏	58
本章思考题	62
第四章 离子交换水处理	63
第一节 动态离子交换水处理	63
第二节 钠离子交换软化及 H—Na 软化脱碱水处理	67
第三节 离子交换除盐水处理	70
第四节 离子交换装置及运行操作	81
第五节 混合床除盐	93
第六节 除碳器	96
第七节 离子交换水处理系统的选择	99

第八节 离子交换水处理设备的自动控制	106
第九节 离子交换设备运行中的故障及消除方法	111
本章思考题	117
第五章 膜法除盐水处理	118
第一节 电渗析除盐水处理	118
第二节 反渗透脱盐	126
第三节 膜法除盐水处理的应用	133
本章思考题	136
第六章 凝结水处理(净化)	138
第一节 凝结水前置过滤器	138
第二节 凝结水的除盐	143
第三节 凝结水净化系统的分类	147
第四节 凝结水精处理的氨化运行管理	149
本章思考题	151

第三篇 火电厂水汽系统水化学工况

第七章 锅炉及其水汽质量标准	152
第一节 锅炉的基本组成及锅炉的工作过程	152
第二节 火电厂锅炉水、汽质量标准	156
本章思考题	161
第八章 给水系统金属腐蚀及防止	162
第一节 金属的电化学腐蚀	162
第二节 给水系统金属的腐蚀	166
第三节 给水系统金属腐蚀的防止	170
本章思考题	180
第九章 锅炉水汽系统的腐蚀、结垢及防止	181
第一节 锅炉系统设备的水汽腐蚀	181
第二节 水垢的形成及其防止	186
本章思考题	192
第十章 锅炉水处理方法	193
第一节 锅内加药处理概述	193
第二节 锅内加药处理方法	194
第三节 锅内水处理的加药方法及装置	201
第四节 直流锅炉水处理的特点	203
本章思考题	208

第十一章 汽包锅炉的蒸汽污染及其防止	209
第一节 蒸汽的污染	209
第二节 蒸汽流程中的盐类沉积物	212
第三节 获得清洁蒸汽的方法	214
第四节 热力设备腐蚀、结垢的检查监督	225
本章思考题	230
第十二章 热力设备的化学清洗及停用保护	231
第一节 锅炉化学清洗的基础知识	231
第二节 热力设备的停用保护	243
本章思考题	246

第四篇 循环冷却水处理

第十三章 循环冷却水系统及其水处理概况	248
第一节 循环冷却水系统	248
第二节 敞开式循环冷却水处理的任务	254
本章思考题	256
第十四章 循环冷却水系统中的沉积物及其控制	257
第一节 循环冷却水系统中的沉积物	257
第二节 循环冷却水系统中沉积物的控制	270
第三节 阻垢剂及分散剂	273
本章思考题	282
第十五章 循环冷却水系统中金属的腐蚀及其控制	283
第一节 冷却水中金属腐蚀速度的测量及表示方法	283
第二节 火电厂冷却水中金属腐蚀机理及形态	284
第三节 火电厂冷却水中金属腐蚀的影响因素	289
第四节 火电厂冷却水中金属腐蚀控制方法	293
本章思考题	298
第十六章 循环冷却水系统中的微生物及其控制	299
第一节 循环冷却水中的微生物及其危害	299
第二节 循环冷却水中微生物控制方法	307
第三节 冷却水杀菌剂	308
本章思考题	313
第十七章 冷却水系统的清洗和预膜	314
第一节 冷却水系统中的沉积物及其来源	314
第二节 冷却水系统的清洗方法	315

第三节	化学清洗后的预膜处理	319
第四节	化学清洗的质量标准	321
	本章思考题	324
第十八章	循环冷却水系统的日常运行和维护	325
第一节	运行过程中水质的变化	325
第二节	节水与浓缩倍率	326
第三节	循环水处理加药及控制	329
第四节	循环水系统水质监督及日常维护	334
	本章思考题	338

第五篇 火电厂水处理中的分析与监测

第十九章	水质分析	339
第一节	水质分析基础	339
第二节	水的物理性质检测	349
第三节	水中阳离子的测定	354
第四节	水中阴离子的测定	358
第五节	游离 CO ₂ 、化学耗氧量的测定	362
第六节	水质全分析结果的校核	364
	本章思考题	369
第二十章	沉积物分析	370
第一节	试样的采集、制备和分解	370
第二节	沉积物的定性分析和系统分析程序	372
第三节	沉积物的定量分析	374
	本章思考题	386
第二十一章	常用水处理剂分析、试验	387
第一节	水处理剂分析的基本内容	387
第二节	火电厂常用水处理剂分析检测	388
第三节	水处理剂应用相关试验简介	390
	本章思考题	395
参考文献	396

第一篇 火电厂用水及水的预处理

第一章 水资源及电力工业用水

第一节 水资源

一、水资源分布概况

1. 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。

2. 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，天文学家还未发现其他有水的星球。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 列出了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 ($\times 10^6 \text{ km}^2$)	水量 ($\times 10^3 \text{ km}^3$)	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	10~100 年
淡水湖	0.85	125	0.009	10~100 年
地下水 (800m 深度以上)	130	8300	0.59	100~1000 年
冰川与冰帽	28.2	29200	2.07	10000 年
海洋	361	1370000	97.31	1000~10000 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并不多，因为水圈中海水占 97.3%，难以直接利用，淡水只占 2.7%，约合 $38 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。两极冰帽和大陆冰川的淡水储存量占 86%；浅层地下水储存量约占淡水总量的 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%。

3. 中国水资源分布

水是人类赖以生存和从事生产不可缺少的资源。随着人口增长、经济发展及人类生活水平的提高,人类对水的需求日益增长。水资源又是一种有限的,而且是不可替代的宝贵资源。迄今为止,有不少国家和地区的水资源问题已成为国民经济发展的制约因素。因此,对水资源的合理开发利用,受到普遍关注和重视。

由于人们对水资源研究和开发利用角度不同,因此对水资源概念的理解也不同。关于水资源概念,基本上可归纳为:

(1) 广义概念。水资源指包括海洋、地下水、冰川、湖泊、土壤水、河川径流、大气水等在内的各种水体。

(2) 狭义概念。水资源指上述广义水资源范围内逐年可以得到恢复更新的那一部分淡水。

(3) 工程概念。水资源仅指上述狭义水资源范围内可以恢复更新的淡水量中,在一定技术经济条件下,可以为人们所用的那一部分水以及少量被用于冷却的海水。

上述概念是人们从不同角度对水资源含义的理解,如第一种概念主要是从地质学、水文学、气象学角度出发;第二种概念主要从生态环境与水资源综合利用角度考虑;第三种概念主要从城市和工业给水及农田水利工程角度考虑。

应当指出,当涉及水资源概念时,应注意区分它的含义以及在不同场合下水资源概念的转化。例如,当提到某区域水资源问题时,往往指的是第二种含义;当提到水资源数量不足时,往往指的是第三种含义,即“可以被人们取用的那一部分水”。

就城市水资源而言,它的含义又有一定区别。如城市与工业水源供不应求,为扩大水源满足社会生活、生产需要,城市水资源不仅仅局限于淡水,还包括海水利用,废水回用等。

全球广义水资源总量约为 140 亿 m^3 ;其中除去海水、冰川、深层高矿化地下水外,可开发利用的且逐年更新的淡水(即狭义的水资源),其总量为 47 万亿 m^3 ,仅占水资源总量的 0.03%,而在一定技术经济条件下可以为人们取用的水量则更少。因此,联合国报告预测,21 世纪淡水将成为全世界最紧缺的自然资源。1997 年 12 月,国际人口研究组织发表研究报告认为,在未来 50 年里,全世界至少有 1/4 人口将会面临水资源短缺。

我国水资源总量约 2.8 万亿 m^3 ,位居世界前几位,其中地表水资源约占 94%,地下水资源仅占 6%左右。虽然我国水资源总量并不少,但人均水资源量仅 2400 m^3 左右,只相当于不到世界人均占有量的 1/4,居世界第 110 位,被列入 13 个贫水国家名单之内。据分析,由于受技术经济条件限制,我国即使采用相应的工程措施,2000 年对应于 75%保证率的河川年径流总量中的可用水量,也只有 7000 亿 m^3 左右。值得注意的是,我国河川径流量还具有时空分布极不均匀的特点。我国水资源分布情况见图 1-1 所示。

从地区分布而言,我国地表水资源是东南多,西北少,由东南沿海向西北内陆递减。表 1-2 为我国径流地带区划及降水、径流分区情况。年地表水资源量可近似以年径流量表示,而年径流量是由年降水量决定的。干旱与否,一般以年降水深 400mm 为分界线。我国约有 45%国土处于 400mm 以下,属干旱少水地区。我国沿海地区与内蒙古、宁夏等地区相比,年降水量相差达 8 倍以上,年径流深相差达 90 倍之多。可见,我国地表水资源在地区分布上是极其不均衡的。为了从根本上改变我国北方水资源紧缺状况,现已提出跨流域调水,以实现水资源在地区上的再分配,但任务将十分艰巨。

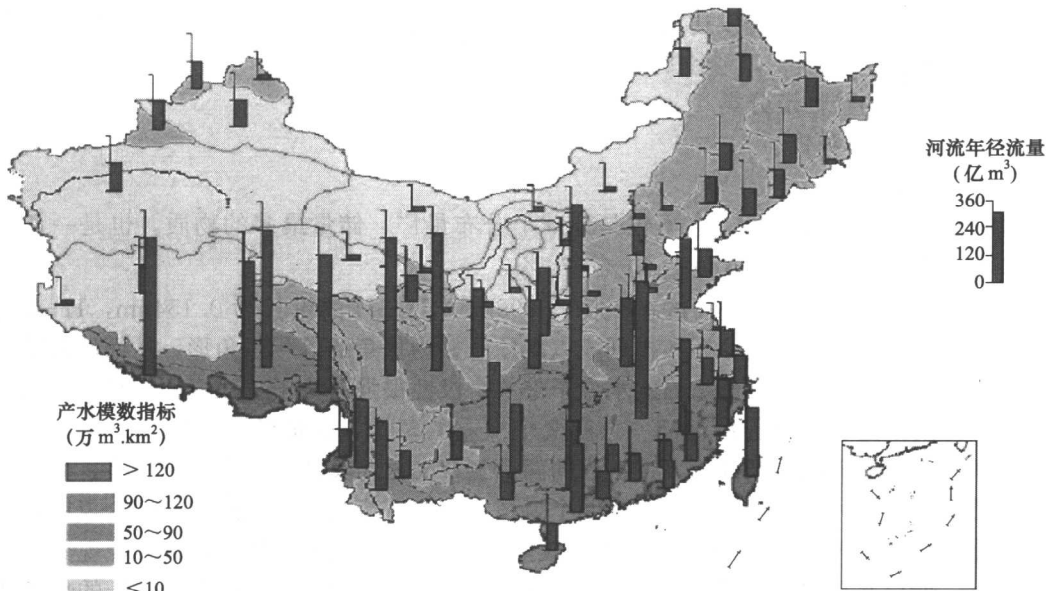


图 1-1 中国水资源分布

表 1-2 我国径流地带区划及降水、径流分区情况

降水分区	年降水深 (mm)	年径流深 (mm)	径流分区	大致范围
多雨	>1600	>900	丰水	海南、广东、福建、台湾大部、湖南山地、广西南部、云南西南部、西藏东南部、浙江
湿润	800~1600	200~900	多水	广西、云南、贵州、四川、长江中下游地区
半湿润	400~800	50~200	过渡	黄淮海大平原、山西、陕西、东北大部、四川西北部、西藏东部
半干旱	200~400	10~50	少水	东北西部、内蒙古、甘肃、宁夏、新疆西部和北部、西藏北部
干旱	<200	<10	缺水(干涸)	内蒙古、宁夏、甘肃的沙漠, 柴达木盆地、塔里木和准噶尔盆地

从时程分布而言,我国地表水资源的时程分布也极不均匀。地表水资源的时程分布主要是由降水季度(月份)决定的。在我国的东北、华北、西北和西南地区,降水量一般集中在每年的6~9月份,正常年份其降水量约占年降水量的70%~80%;而12~2月份,降水量却极少,气候干旱。

我国地表水资源在时程上这种分布极不均匀性,不仅会造成频繁的水灾、旱灾,而且对地表水资源的开发利用也是十分不利的。同时还会加剧缺水地区的用水困难。

我国在水资源开发利用方面也存在不少问题。例如,一个地区或一个流域的工业、农业及城市生活用水分配,地表水和地下水的开采利用,当地经济发展结构与水资源的协调等等,往往缺乏全面规划,统筹安排。此外,与发达国家相比,我国水的有效利用程度较低,往往以浪费水资源为代价取得粗放型经济增长。目前,我国工业每万元产值平均取水量约 200 m^3 ,而有的经济发达国家仅 $20 \sim 30 \text{ m}^3 / \text{万元}$,相差近10倍。我国工业用水的重复利用率

目前只有 50%~60%，经济发达国家则在 70%以上，其中钢铁、化工和造纸业中水的重复利用率竟分别高达 98%、92%和 85%。

二、天然水的特性及分类

(一) 天然水的特性

1. 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、储量最多的物质，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 的键长为 0.154nm，H—O—H 键的夹角为 104.4° ，两个氢原子核排列成以氧原子核为顶角的等腰三角形，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， $(H_2O)_n$ 称为水分子的集集体或聚合物。

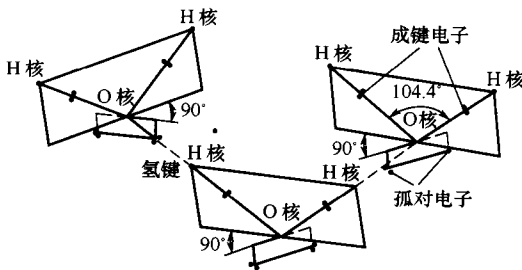


图 1-2 水分子结构及缔合现象

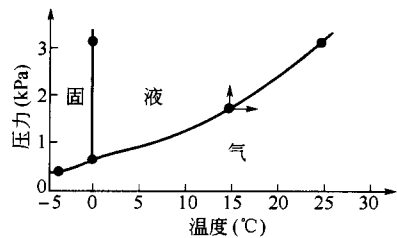


图 1-3 水的物态图

2. 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。

(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 $1g/cm^3$ ，这通常可以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。

(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 $72.75 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$ ，表面出现异常的毛细、润湿、吸附等特性。

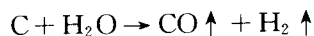
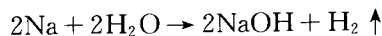
(6) 水的黏度。表示水体运动过程中所发生的内摩擦力，其大小与热力学能损失有关。纯水的黏度取决于温度，与压力几乎无关。

(7) 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 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 、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 $\mu\text{S/cm}$)。25℃时纯水的电阻率为 $1.83 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

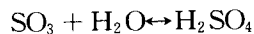
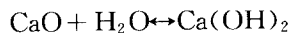
(8) 水的沸点与蒸汽压。水的沸点与蒸汽压力有关。如将水放在密闭容器中，水面上就有一部分动能较大的水分子能克服其他水分子的吸引力，逸出水面进入容器上部空间成为蒸汽，这一过程称为蒸发。进入容器上部空间的水分子不断运动，其中一部分水蒸气分子碰到水面，被水体中的水分子吸引，又返回到水中，这一过程称为凝结。当水的蒸发速度与水蒸气的凝结速度相等时，水面上的水分子数量不再改变，即达到动态平衡。

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压力，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。当蒸汽高于某一温度时，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。

(9) 水的化学性质。水能与金属和非金属作用放出氢气：



水还能与许多金属和非金属的氧化物反应，生成酸和碱：



(二) 天然水的分类

1. 按水的含盐量分类

- (1) 低含盐量：含盐量在 200mg/L 以下。
- (2) 中等含盐量：含盐量在 200~500mg/L 以下。
- (3) 较高含盐量：含盐量在 500~1000mg/L 以下。
- (4) 高含盐量：含盐量在 1000mg/L 以上。

2. 按水的硬度分类

- (1) 极软水：硬度在 1.0mmol/L 以下。
- (2) 软水：硬度在 1.0~3.0mmol/L。
- (3) 中等硬度水：硬度在 3.0~6.0mmol/L。

- (4) 硬水：硬度在 6.0~9.0mmol/L。
- (5) 高硬水：硬度在 9.0mmol/L 以上。

第二节 电力工业用水及其特点

一、电力工业用水的各种水源及其特点

电力工业用水的各种水源取于天然水体。天然水体是海洋、河流、湖泊、沼泽、水库、冰川、地下水等地表及地下贮存水体的总称。它包含水及水中各种物质、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。天然水的来源不同，其特点也不同。

1. 地表水的特点

(1) 具有悬浮物。江河水中悬浮物较多，含量随季节变化而变化，一般为几十至几百毫克/升，雨水季节有些江河水中悬浮物可高达几千克/立方米。湖泊、海水中，由于自然分离作用，悬浮物的含量较低，但由于流动性差，日照条件好，有利于水生生物生长，所以藻类较多。

(2) 含盐量较低的淡水，硬度和 CO_2 含量较低。在枯水季节，由于水面蒸发量大于降水量，含盐量和硬度会增大；在雨水季节，由于雨水的稀释作用，水的含盐量和硬度会降低。

(3) 一般情况下，地表水中的含氧量呈饱和状态。

(4) 地表水易被污染水污染。由于污染源不同，含有的污染杂质也不同。

2. 地下水的特点

(1) 地下水是地表水通过土壤和沙砾的过滤形成的。通过过滤去除了水中大部分悬浮物和菌类。

(2) 水质和水温较稳定。

(3) 溶解氧含量低，游离二氧化碳含量较高。

(4) 含盐量和硬度较高。

(5) 不易被污染。

二、电力生产用水的特性

在基础化学中，有关水的性质已有较详细的介绍，但对于火力发电厂生产用水，以下几个特性不容忽视。

1. 水的分散作用

水是一种极性很强的分子，它对许多物质（包括金属）具有很强的分散能力，并可与其形成分散体系。因此，在天然水中不存在纯水。

水的分散能力是任何其他物质都不能与之相比的。由于水的介电常数很大，对分散质的电离能力也极强，多种物质不但在水中有很大溶解度，并有最大的电离度，水中分散的各种物质之间可以发生各种化学反应，而且水本身很容易参与化学反应。因此各种水溶液都有极为复杂的性质。

随着火力发电厂锅炉运行参数的提高，对给水纯度的要求也愈来愈高。这种水不但分散能力很强，对热力设备金属有侵蚀作用，而且缓冲能力极弱，对外来酸碱物质的侵入十分敏

感，主要表现在 pH 值的变化上。深度除盐水与空气接触后 pH 值的变化如表 1-3 所示。

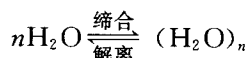
表 1-3 深度除盐水与空气接触后 pH 值的变化

与空气接触时间 (min)	1	2	5	10	25
pH 值	7.6	7.32	7.22	6.58	5.82

2. 水的缔合作用

分子的缔合作用指由简单分子结合成为较复杂的分子集团，而不引起物质化学性质改变的过程。

水分子由于氢键的作用，分子间极容易发生缔合



液态水中除含有简单分子 H_2O 外，同时还含有缔合分子 $(\text{H}_2\text{O})_n$ ，它们处于平衡状态。缔合是放热过程，解离是吸热过程，因此，温度升高，水的缔合作用降低 (n 减小)，高温时，水主要以单分子状态存在，水蒸气中水分子都是以单分子存在的。温度降低，水的缔合作用增大 (n 增大)； 0°C 时水结成冰，全部分子缔合在一起，成为一个巨大分子。因此，水在热力系统流动过程中，其分子状态也在不断地变化。

当水受热时，热量一方面消耗在水体温度升高上，另一方面消耗在缔合分子的解离上，因此水的容量最大。这就是在生产中水作为冷却其他物质或者作为储存及传递热量的优良介质的原因。

3. 水的汽化作用

任何状态下的水分子都处于不断运动状态，例如在液态水中，动能较大的分子足以冲破表面张力的影响进入空间，反之，液面上的水蒸气分子，由于受到液面分子的吸引获外界压力抵抗而回到液体中，这就是水的蒸发和凝聚过程。在一定条件下，当这两个过程达到平衡时的蒸汽称为饱和蒸汽，饱和蒸汽所产生的压力称为饱和蒸汽压。饱和蒸汽压随温度的升高而增大，如表 1-4 所示。

表 1-4 水的蒸汽压与温度之间的关系

温度 ($^\circ\text{C}$)	0	40	80	100	120	140	180	374
蒸汽压 (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

当水的温度升高到一定值时，水就开始沸腾，此时的温度称为在该压力下的沸点，水的沸点与外界压力关系如表 1-5 所示。

表 1-5 水的沸点与外界压力关系

压力 (MPa)	0.196	0.392	0.588	0.98	1.96	22.0
沸点 ($^\circ\text{C}$)	120	143	158	179	211	374

从锅炉产生出来的饱和蒸汽常带有少量水分，通常称为湿饱和蒸汽，通过过热器进一步加热，清除饱和蒸汽中的湿分后，称为干饱和蒸汽。

随着温度和压力的提高，蒸汽密度增大，水的密度降低，当温度和压力提高到一定程度时，蒸汽和水的密度相同，此时称为临界状态。水的临界压力为 22.0MPa，在此压力下水

的沸点为 374℃，称为临界温度。处于临界状态水体的汽液两相界面已消失，此时汽液的各种性质也基本相同。

4. 水的导电作用

水是一种弱电解质，当水中没有任何杂质时，水体中只有水分子及电离出来的极少量的 H^+ 和 OH^- ，因此纯水也具有导电能力。随着水中各种离子的增多，水的导电能力也增大。表 1-6 所示为在 20℃ 时不同水质的电导率。

表 1-6 20℃ 时不同水质的电导率

水质名称	电导率 ($\mu S/cm$)	水质名称	电导率 ($\mu S/cm$)
超高压锅炉与电子工业用水	0.1~0.3	天然淡水	50~500
新鲜蒸馏水	0.5~2	高含盐量水	500~1000

由表 1-6 可知，高参数机组用水是纯度极高的水。在火电厂水处理工艺中，水的净化程度通常都采用电导率来表示，因为它是测量方便、实用性强的指标。

三、火电厂水处理的重要性

热力系统中水的品质是影响热力设备安全、经济运行的重要因素之一，因未经净化处理的天然水含有许多杂质，这种水直接进入水汽循环系统会引起以下危害：

(1) 热力设备结垢。进入锅炉或其他热交换器的水若水质不良，运行一段时间后，在与水接触的受热面上会生成一些固体附着物，这种现象称为结垢，受热面上固体附着物称为水垢。水垢的传热能力只有金属的几十分之一到几百分之一，水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中产生，会对锅炉造成极大的危害。它使结垢部位金属管壁过热，金属强度下降，在管内压力作用下，会造成局部炉管变形、鼓包，甚至引起爆管严重事故。如结有铁垢，还会引起垢下腐蚀。结垢不仅危害安全运行，还会造成燃料损失及降低发电厂的经济性。当凝汽器管结有水垢时，会造成凝汽器的真空度下降，汽轮机的热效率和出力降低。热力设备结有水垢必须进行清洗时，就要停止运行，否则将减少设备的年利用小时数，还会增加检修工作量和费用等。

(2) 热力设备腐蚀。水质不良会引起热力设备金属腐蚀。腐蚀会导致设备的使用寿命缩短。金属腐蚀产物转入水中，给水中杂质增多，加剧了高热负荷受热面上结垢过程，结成的垢又会加剧炉管的腐蚀，形成恶性循环，会迅速导致爆管事故。水中某些杂质和金属腐蚀产物还会被蒸汽带到过热器和汽轮机中沉积下来，将严重影响过热器和汽轮机的安全、经济运行。

(3) 过热器和汽轮机积盐。水质不良会导致蒸汽品质不良，蒸汽带出的杂质会在过热器和汽轮机内沉积，称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热甚至爆管。汽轮机内积盐会降低汽轮机的效率和出力，特别是高参数、大容量机组，它的高压段的蒸汽通道截面积很少量的积盐也会大大增加蒸汽流通的阻力，使汽轮机的出力下降。当汽轮机积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

火力发电厂水处理工作就是保证热力系统各部分水汽有良好的品质，防止热力设备腐蚀和积盐，所以在火力发电厂中，水处理工作对保证发电厂的安全、经济运行具有十分重要的意义。

第三节 节约水资源和防止水污染的重要性

一、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 1-4 示出了水的这种自然循环运动。

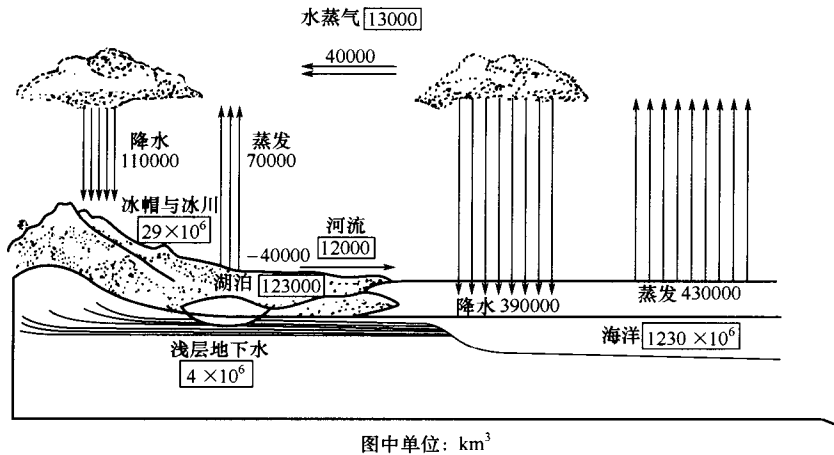


图 1-4 水的自然循环运动

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。

二、节水和防止水污染的重要性

水资源是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源，一旦我们污染了这个循环周期的任何一部分，我们就可能污染了整个水循环。我国水资源是相当紧缺的。所谓水资源缺乏，应包括三种情况：一是资源型缺水，如我国北方一些地区水量很少；二是污染型缺水，如我国南方一些地区虽水源丰富但污染严重而不能利用；三是管理型缺水，包括不合理开发利用和水的浪费等。城市和工业缺水，一方面影响人民生活，另一方面制约了国民经济持续发展。因此，保护水源，治理污染，合理开发利用水资源，节约用水 [包括提高水的重复利用率，废（污）水回用及改革生产设备和工艺以降低单位产品用水量] 等等，是实现我国社会经济可持续发展的重要条件。

1. 世界性水荒日益严重

当一个地区的需水量大于水资源的供水能力时，则会出现缺水现象，人们称之为“水荒”。1972年，在瑞典斯德哥尔摩举行的联合国人类环境会议上，许多国家的报告中都提到城市缺水问题。会议提要中指出：“遍及世界的许多地区，由于工业的膨胀和人均消费量的提高，需水量已增长到超过天然来源的境地。地下水被取竭，而且受到污染。为不断增长的人口和膨胀的工业提供清洁水，已是许多国家的一个技术、经济和政治上的复杂问题，而且