

热电联产机组技术丛书



# 化学水处理设备与运行

程世庆 姬广勤 史永春 等编著  
周广文 审阅



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

由凝汽器的上部排出。这种方式的优点为气、液流向相同，排气较顺畅，只要在凝液出口一个排气管即可。其缺点是新进的液变大的液与结垢较轻的下部铜管先接触。

第三种是上、下交替轮流进酸法，这样洗垢的效果好，但操作和监督比较复杂，一般采用。

程世庆 姬广勤

在水汽系统中，为了防止结垢，通常采取的措施是在汽水管道中安装阻垢剂，阻垢剂的作用是在管道内壁形成一层保护膜，防止结垢。此外，还可以采用超声波清洗技术，通过超声波的空化作用，将管道内壁的垢层剥离。还有采用机械清洗的方法，如采用刷子或刮刀等工具，对管道内壁进行物理清洗。这些方法各有优缺点，需要根据实际情况进行选择。



# 化学水处理设备与运行

程世庆 姬广勤 史永春 等编著  
周广文 审阅



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

### 内 容 提 要

本书结合中小型热电联产机组的实际情况，系统介绍了该类机组的水质、化学水处理和化学监督的工作内容。主要内容包括补给水处理工艺中的预处理、膜处理、离子交换处理；重点介绍处理工艺原理、设备结构、运行操作及故障处理；介绍了给水和炉水水质调节、循环水处理、供热站水处理等工艺；并介绍了锅炉、凝汽器及热力网换热器化学清洗的原理和工艺。

本书可供热电联产从业技术人员和管理人员阅读，也可以作为热能工程和相关专业设计、施工、研究人员及在校师生的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

化学水处理设备与运行/程世庆等编著. —北京: 中国电力出版社, 2008

(热电联产机组技术丛书)

ISBN 978-7-5083-5967-0

I. 化… II. 程… III. 水处理: 化学处理 IV. TQ85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 114429 号

化学水处理设备与运行

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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

程世庆 著  
文文 审

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 408 千字  
印数 0001—3000 册 定价 28.00 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

# 热电联产机组技术丛书

## 编 委 会

主 编 孙奉仲

副主编 黄新元 张洪禹 张居民 马传利 高玉君  
江心光 秦箴林 蔡新春 陈美涛 黄胜利

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁兴武 马思乐 王乃华 史月涛 任子芳  
刘伟亮 李光友 李树海 杨祥良 宋 伟  
张卫星 张开菊 张 明 陈莲芳 姬广勤  
高 明 盖永光 程世庆 潘贞存

# 前言

提高能源的利用效率，合理利用能源是关系到国民经济发展、建设节约型社会、实施循环经济的重要内容，而且影响到生态环境和人类的生存，也是从事能源研究的学者和工程技术人员重点研究的课题。热电联产和集中供热就是可以达到上述目的的重要技术规划和措施之一。热电联产，已经问世一百多年，我国发展热电联产也走过了半个多世纪的路程。由于热电联产对于节能和环境保护意义重大，尤其是在 21 世纪的今天，世界各国非常重视。1997 年制定的《中国 21 世纪议程》和《中华人民共和国节约能源法》、2000 年制定的《中华人民共和国大气污染防治法》等法规，都明确鼓励发展热电联产。2000 年原国家计划委员会、经济贸易委员会、建设部、环境保护总局联合下发的《关于发展热电联产的规定》，是指导我国热电联产发展的纲领性文件。国家发展和改革委员会 2004 年颁布的《节能中长期专项规划》中，明确把热电联产列入 10 项重点工程。规划指出：在严寒地区、寒冷地区的中小城市和东南沿海工业园区的建筑物密集、有合理热负荷需求的地方将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组；在工业企业（石化、化工、造纸、纺织和印染等用热量大的工业企业）中将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组；分布式电热（冷）联产的示范和推广；对设备老化、技术陈旧的热电厂进行技术改造；以秸秆和垃圾等废弃物建设热电联产供热项目的示范；对热电联产项目给予技术、经济政策等配套措施；到 2010 年城市集中供热普及率由 2002 年的 27% 提高到 40%，新增供暖热电联产机组 40GW。形成年节能能力 3500 万 t 标准煤。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中也把能源的综合利用放在了首要位置，在与热电联产技术有关的部分，指出应重点突破基于化石能源的微小型燃气轮机及新型热力循环等终端的能源转换技术、储能技术、热电冷系统综合技术，形成基于可再生能源和化石能源互补、微小型燃气轮机与燃料电池混合的分布式终端能源供给系统。

到 2003 年底，全国已建成 6MW 及以上供热机组 2121 台，总装机容量达到 43.7GW。预计到 2020 年，中国热电联产机组容量将达到 200GW，年节约 2 亿 t 标准煤，减少 SO<sub>2</sub> 排放 400 万 t 以上，减少 NO<sub>x</sub> 排放 130 万 t，减少 CO<sub>2</sub> 排放 718 亿 t。热电联产将为能源节约、环境保护、经济和社会发展做出重大贡献。

《热电联产机组技术丛书》的出版，是应时之作，是应需之作。该套丛书由七个分册组成，包括《热电联产技术与管理》、《热力网与供热》、《锅炉设备与运行》、《汽轮机设备与运行》、《电气设备与运行》、《化学水处理设备与运行》和《热工过程监控与保护》。内容涉及到热电联产机组的最新技术、管理知识；涉及到热力网的运行与管理维护，国内外的发展与政策，环境保护与节约能源，热电联产生产工艺中具体过程和设备的工作原理、基本结构、

工作过程、运行分析、事故处理、最新进展等；涉及到供热的可靠性分析；涉及到供热的分户计量；涉及到代表最新技术发展趋势的热力设备和热工过程的计算机控制技术等。可以说，热电联产的每一个重要环节均涉及到了。其中，不少内容是第一次出现在科技专著上。丛书主要面向热电联产的运行、检修、管理人员，从设备的结构、原理到运行以及事故处理，从系统组成到管理控制，从运行监督到经济性分析、可靠性分析等，既有传统的热力设备理论基础作为铺垫，又有现代科学技术的融入，兼顾到了各个层面，还介绍了具体的运行实例和事故实例。

该套丛书既体现了丛书的系统性、专业性、权威性，又体现了实用性。

随着我国对节约能源和环境保护的重视，热电联产事业将会得到更快的发展，热电联产技术水平也会获得快速提升，一批大容量、高参数的热电联产机组也将逐步建成投产。该套丛书的出版，将对发展热电联产，提高热电联产企业运行、检修技术和管理水平，具有重要意义！

丛书编委会

热电联产机组技术丛书

化学水处理设备与运行

## 编者的话

本书是《热电联产机组技术丛书》之一。近几年来，一大批热电联产机组相继投产，为满足广大技术人员和现场生产人员的工作需要，特编写了本书。

本书结合热电联产机组的实际情况，按照理论和实践相结合的原则，重点介绍了热电联产机组中各种用水的处理方法和设备结构、运行操作，并配以部分例题以便于读者实际操作。本书可供从事热电联产机组电厂化学专业设计、安装、调试等工程技术人员及管理人员阅读，可作为现场运行、检修人员的培训教材，也可作为高等院校电厂热动力工程、热力系统自动化、电厂化学等专业师生的参考资料。

本书由程世庆、姬广勤、史永春、程菲、冯玉滨、田园、孔德浩编著。山东省阳光设计院李武生高工在本书编写过程中提供了大量资料和宝贵意见，在此表示衷心感谢。本书由山东省电力科学研究院周广文高工审阅，他提出了很多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意！殷炳毅、尚琳琳、张海清、于俊红等同志在本书编写中做了大量资料整理工作，一并感谢。

由于目前热电联产机组水处理设备种类繁多，部分设备厂家资料不全，加之时间仓促，编者水平所限，难免存在疏漏与不足之处，敬请广大读者批评指正！

编者

2007年12月

目 录

前言 ..... 1

编者的话 ..... 1

**第一章 水处理概述** ..... 1

    第一节 溶液及其浓度 ..... 1

    第二节 水在火力发电厂中的作用 ..... 4

    第三节 电厂水处理的重要性 ..... 7

    第四节 天然水中的杂质 ..... 8

    第五节 水质指标 ..... 10

    第六节 电厂水汽质量标准 ..... 13

**第二章 水的预处理** ..... 17

    第一节 水的混凝处理 ..... 17

    第二节 水的沉淀软化 ..... 34

    第三节 水的过滤处理 ..... 44

    第四节 水的消毒处理 ..... 58

**第三章 膜脱盐处理** ..... 62

    第一节 膜分离技术概述 ..... 62

    第二节 电渗析技术 ..... 67

    第三节 反渗透技术 ..... 80

    第四节 电去离子脱盐技术 ..... 104

**第四章 离子交换处理** ..... 108

    第一节 离子交换基本知识 ..... 108

    第二节 水的离子交换处理 ..... 117

    第三节 固定床离子交换原理及设备 ..... 123

    第四节 混合床除盐原理及设备 ..... 139

    第五节 离子交换除盐系统 ..... 144

**第五章 给水水质调节** ..... 149

    第一节 锅炉给水水质调节的重要性 ..... 149

    第二节 锅炉给水中腐蚀产物的存在形态 ..... 152

    第三节 锅炉给水 pH 值的调节 ..... 156

    第四节 锅炉给水的热力除氧 ..... 159



第五节	锅炉给水的化学除氧	165
第六章	锅炉水水质调节	171
第一节	水垢和水渣的特性	171
第二节	锅炉水水质调节方法	175
第三节	蒸汽品质与污染	180
第四节	过热器和汽轮机积盐	183
第七章	循环冷却水处理	188
第一节	循环冷却水系统的特点	188
第二节	水质稳定性	192
第三节	循环水防垢处理	197
第四节	微生物控制	201
第五节	腐蚀控制	205
第八章	供热站水质处理	211
第一节	热网水质的特点	211
第二节	供热站水质处理方法	212
第九章	水汽系统化学监督	222
第一节	化学监督仪表的作用及配置	222
第二节	常用在线化学监督仪表	224
第三节	汽水取样装置	235
第四节	垢样的采集与鉴别	238
第十章	锅炉及凝汽器的清洗	242
第一节	锅炉化学清洗	242
第二节	锅炉清洗后的保养及停用保护	250
第三节	凝汽器清洗	254
参考文献		258

# 水处理概述

## 第一节 溶液及其浓度

### 一、溶液

溶液在工农业生产、科学实验以及日常生活中起着十分重要的作用，它在水处理工作中，也应用得相当广泛。

所谓溶液，是指由两种或两种以上物质所形成的均匀而没有界面分开的混合体系。若这种均匀的混合体系为固态，则称为固态溶液（或固溶体），如各种合金等；若混合体系为气态，则称为气态溶液，如空气。一般常见的为液态溶液，如各种水溶液。

溶液是由溶质和溶剂组成的。通常把溶液中含有量较少的物质称为溶质，而含量较多或与溶液聚集状态相同的物质称为溶剂。对于具体溶液，需指明溶质与溶剂的关系。水是最常用的溶剂，水处理中通常所说的溶液一般是指水溶液。

以上所介绍的溶液是指属于不浑浊、外观为均一状态的均匀体系。在这个体系里，溶质以分子或离子形式均匀地分布在溶剂分子间，通常把这种溶液叫做真溶液。

还有一种体系，被分散后的物质微粒是由较多的分子或离子所组成的，由于它们聚集的颗粒较小、肉眼仍然观察不到，外观也表现为均一的透明状态，但在光线照射下，却能看见由这些颗粒所散射的光束，这种现象叫丁达尔现象，这种体系称为胶体溶液。

如果分散在水中的颗粒很大，甚至用肉眼都能观察出来的，从外观看它就是不均一的，而且经过静置后，大部分分散物质会沉降下来，这种体系通常称为悬浊液，如江河中含有泥沙的水，即属悬浊液。

### 二、溶液的浓度

溶液浓度的表示方法很多，主要可分为两类：一类是用溶质和溶剂的相对量表示，也可用物质的量表示；另一类则是用一定体积溶液中含有溶质的物质的量表示，现分别介绍如下。

#### 1. 单位体积溶液中含有溶质的质量

对于单一溶质或某一类溶质，溶液的浓度通常采用单位体积溶液中含有的溶质的质量表示。溶液的体积通常用升（L）或毫升（mL）表示，溶质的质量通常用克（g）或毫克（mg）、微克（ $\mu\text{g}$ ）表示。天然水中溶质含量一般较少，比较普遍地采用 mg/L、 $\mu\text{g/L}$  等单位，如水中钙离子含量  $[\text{Ca}^{2+}] = 34\text{mg/L}$ ，含盐量为 200mg/L 等。

#### 2. 质量分数

用溶质的质量与全部溶液质量的比值来表示溶液中溶质的含量，称为质量分数，如以百分数表示则叫百分含量（质量百分比浓度）。这种表示方法比较简便，在生产中经常使用。溶质的质量分数计算式为

$$w = \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶质质量} + \text{溶剂质量}} \quad (1-1)$$

**【例 1-1】** 将 10gNaCl 固体溶于 100g 水中, 求此溶液中 NaCl 的质量分数。

解 
$$\omega_{\text{NaCl}} = \frac{10}{10+100} \times 100\% = 9.1\%$$

式中  $\omega_{\text{NaCl}}$ ——NaCl 的质量分数。

由于水的密度为 1g/mL, 稀溶液密度近似等于水的密度, 为了方便起见, 工程上常将 100mL 溶液中含有溶质的克数表示为百分数形式, 作为百分比浓度。例如, 在 100mL 溶液中含有 5gNaCl, 则此溶液表示为 5%浓度的 NaCl 溶液。

另外, 对于液体溶质, 也经常用溶质的体积占全部溶液体积的百分数来表示, 称为体积百分含量。如配制 10%乙醇溶液 1000mL, 则需要 100%的乙醇 100mL 和水 900mL。

### 3. 物质的量浓度

(1) 摩尔。摩尔是国际制单位中的基本单位, 用以表示物质的量。如果一个体系中含有  $6.022 \times 10^{23}$  个某种物质时, 那么这些物质的数量就称为 1 个摩尔。摩尔的缩写符号为 mol, 用字母  $n$  来表示。摩尔表示参与化学反应的基本单元, 它们可以是原子、分子、离子、电子、其他粒子或这些粒子的特定组合。例如:  $6.022 \times 10^{23}$  个碳原子称为 1 摩尔碳原子;  $6.022 \times 10^{23}$  个氯分子称为 1 摩尔氯分子;  $6.022 \times 10^{23}$  个氢离子称为 1 摩尔氢离子;  $6.022 \times 10^{23}$  个电子称为 1 摩尔电子。应当注意的是, 摩尔是物质的量的单位, 而不是物质质量的单位。

(2) 摩尔质量。1 摩尔物质的质量称为摩尔质量, 单位常用 g/mol 表示。当某元素、原子的摩尔质量单位为 g/mol 时, 其摩尔质量在数值上等于其原子量。同理, 可推广到分子、离子等微粒, 如水分子的摩尔质量为 18g/mol,  $\text{OH}^-$  的摩尔质量为 17g/mol。

(3) 物质的量浓度。

1) 物质的量。计算式为

$$n = \frac{m}{M} \quad (1-2)$$

式中  $m$ ——质量, g;

$M$ ——摩尔质量, 其值相当于基本单元的相对粒子质量, g/mol。

对于高价粒子, 常用其一价粒子作为基本单元来衡量其物质的量。如  $n\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ ,  $n\left(\frac{1}{3}\text{Al}^{3+}\right)$  等。

**【例 1-2】** 质量为 98mg 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 其物质的量为多少?

解 以  $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$  为基本单元,  $M_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4}$  为 49g/mol, 则

$$n_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4} = 2(\text{mol})$$

2) 物质的量浓度。用单位体积的溶液中所含溶质的物质的量来表示的溶液浓度称为物质的量浓度, 简称浓度, 以符号  $c$  表示。如果溶液的体积以 L 为单位, 物质的量以 mol 为单位, 则浓度的单位通常为 mol/L。计算式为

$$\text{物质的量浓度}(\text{mol/L}) = \frac{\text{溶质的物质的量}(\text{mol})}{\text{溶液的体积}(\text{L})}$$

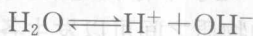
**【例 1-3】** 9.1%NaCl 溶液, 密度 ( $\rho$ ) 为 1.07g/mL, 求该 NaCl 溶液物质的量浓度。

解 NaCl 的摩尔质量为 58.5g/mol, 则该溶液的物质的量浓度  $c_{\text{NaCl}}$  为

$$c_{\text{NaCl}} = \frac{1000 \times 1.07 \times 9.1\%}{58.5} = 1.66(\text{mol/L})$$

### 三、水溶液的 pH 值

水是一种极弱的电解质, 只能微弱地电离出  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$ , 即



电离常数式计算为

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (1-3)$$

此处,  $[\text{H}_2\text{O}]$  表示水的浓度, 即每升水或水溶液中含有水分子的数量。在 25°C 时, 测得纯水中的  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{OH}^-]$  都是  $10^{-7}\text{mol/L}$ , 可见, 水的电离度很小, 因此, 纯水中已电离的水分子数相对于水分子总量来说可以忽略不计, 纯水几乎是不导电的。可将  $[\text{H}_2\text{O}]$  作为一个定值, 并以  $K_{\text{SH}}$  表示  $K_{\text{H}_2\text{O}}[\text{H}_2\text{O}]$ , 即

$$K_{\text{SH}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (1-4)$$

式中  $K_{\text{SH}}$ ——水的离子积, 此值随温度升高而升高, 在一定温度下为常数。

水溶液中如果  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{OH}^-]$  相等, 叫做中性溶液; 如果  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ , 叫做酸性溶液; 如果  $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ , 叫做碱性溶液。但无论在酸性溶液还是在碱性溶液中, 当温度一定时,  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{OH}^-]$  的乘积总是保持一个定值, 即等于该温度时的  $K_{\text{SH}}$ 。22°C 和 100°C 时, 水的离子积分别为  $10^{-14}$  和  $49.0 \times 10^{-14}$ 。

虽然可用  $[\text{H}^+]$  来表示溶液的酸碱性, 但在实际生产中, 常用溶液的酸性或碱性一般都很弱,  $[\text{H}^+]$  很小, 而在不同条件下它们的大小又常常有很大的差别。用物质的量浓度和其他浓度表示都很不方便。因此, 现在常用  $[\text{H}^+]$  的负对数来表示溶液的酸碱性, 这个数值称为水溶液的 pH 值, 即

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \quad (1-5)$$

中性溶液中,  $[\text{H}^+] = 10^{-7}\text{mol/L}$ , 则它的  $\text{pH} = -\lg 10^{-7} = 7$ 。在酸性溶液中,  $[\text{H}^+] > 10^{-7}\text{mol/L}$ ,  $\text{pH} < 7$ 。溶液的酸性越强, 则 pH 值越小。碱性溶液的  $[\text{H}^+] < 10^{-7}\text{mol/L}$ , 则它的 pH 值  $> 7$ , 溶液的碱性越强, pH 值越大。溶液的 pH 值、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$  和溶液酸碱性之间的关系见表 1-1。

表 1-1 溶液的 pH 值、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$  和溶液酸碱性之间的关系 (22°C)

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$[\text{H}^+]$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$
$[\text{OH}^-]$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
性质	← 酸性增强						中性	碱性增强 →					

例如, 22°C 时, 在 0.001mol/L HCl 溶液中,  $[\text{H}^+] = 10^{-3}\text{mol/L}$ , 则  $\text{pH} = -\lg 10^{-3} = 3$ , 而

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_{\text{SH}}}{[\text{H}^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11} (\text{mol/L})$$

## 第二节 水在火力发电厂中的作用

### 一、水的特性

水分子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，并与其形成分散体系。因此，在自然界中几乎不存在纯水。多种物质不但在水中有很大溶解度，并有很大的电离度，水中分散的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。

任何状态下的水分子都处在不断运动的状态中，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气空间，反之，液面上的水蒸气分子，由于受到液体分子的吸引或外界压力抵抗而能够回到液体中，这就是水的蒸发和凝聚过程。在一定条件下，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力，简称蒸汽压。

水的饱和蒸汽压力随着温度的升高而增大。蒸汽压力与温度的关系见表 1-2。

表 1-2 水的饱和蒸汽压力与温度的关系

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

在一定压力下，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水的沸点。水的沸点与外界压力的关系见表 1-3。

表 1-3 水的沸点与外界压力之间的关系

压力 (MPa)	0.196	0.392	0.588	0.98	1.96	21.37
沸点 (°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的蒸汽，称为干饱和蒸汽。

随着饱和温度和压力的提高，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 21.37MPa，在此压力下水的沸点为 374°C，称为临界温度。处于临界状态的水体汽液两相界面已消失，这时汽液的各种性质也基本相同。

我国制造的锅炉、汽轮机机组就是根据蒸汽参数（压力和温度）来进行分类的。中小型火力发电机组的蒸汽参数和容量见表 1-4。

表 1-4 火力发电机组的蒸汽参数和容量

机组名称	蒸汽压力 (MPa)		蒸汽温度 (°C)		机组容量范围 (MW)
	锅炉	汽轮机	锅炉	汽轮机	
低温低压机组	1.4	1.3	350	340	1.5~3
中温中压机组	4.0	3.5	450	435	6~50
高温高压机组	10.0	9.0	540	535	25~100

水是一种弱电解质。当水中没有任何杂质时,水体中有水分子( $\text{H}_2\text{O}$ )及电离出来的极少量的 $\text{H}^+$ 和 $\text{OH}^-$ ,因此,纯水也具有一定的导电能力。随着水中各种离子的增多,水的导电能力也增大。在火电厂水处理工艺中,衡量水的净化程度,通常都用电导率来表示,因为它测量方便、实用性强。电导率是电阻率的倒数,可以用电导仪测量。 $20^\circ\text{C}$ 时不同水质的电导率见表1-5。

表 1-5 不同水质的电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

水质名称	电导率	水质名称	电导率
高压锅炉和电子工业用水	0.1~0.3	天然淡水	50~500
新鲜蒸馏水	0.5~2	高含盐水	500~1000

## 二、水循环

水是地球上分布最广的物质之一,地球上水的总量为 $1.36 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。如果将这些水全部均匀地铺在地球表面上,厚度可达3km。海洋中的水占地壳总水量的97.2%,覆盖面积为地球总面积的70%以上。陆地上分布着的江河、湖泊、沼泽等构成地面水,其水量为 $2.3 \times 10^6 \text{ km}^3$ ,其中,淡水有一半左右,约占地壳总水量的万分之一。土坡、岩层及地下深层中所含的水叫做地下水,总量约为 $8.4 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。

在高山和南北极地区,积存有巨量的冰雪和冰川,它们大约占地面水总量的3/4。水还以蒸汽和云的形式分布在大气中。

自然界中的水在不断地循环运动着。地面水不断蒸发变成水蒸气,受气候条件变化的影响,水蒸气凝结成雨或雪降至大地,称为降水。降水分成两路流动:一路在地面上汇集成江河、湖泊,称为地面径流;另一路渗入地下,形成地下水层和水流,称为地下渗流。这两路水流,又相互交流转化,最后汇入海洋,如此完成了水在自然界中的循环运动。这种自然循环的推动力是太阳的热能和地球的重力。

人类为了满足生活和生产的需要,要从各种天然水体中取用大量的水。人体的生理用水量约为每日2.5L,一个人全部的生活用水量每日需几十至几百升。所有的各类生产部门的用水量都很大,且日益增长。生活用水和工业用水,在使用后就成为生活污水和工业废水,经过处理后,最终又流入天然水体。这样,水在人类社会中也构成了一个循环体系。这个局部循环体系称为社会循环。社会循环中所形成的生活污水和各种工业废水是天然水体最大的污染来源。

虽然自然循环的水量只占地球上总水量的0.031%左右,而其中经过径流和渗流的只有0.003%,社会循环从中取用的水量又不过是径流和渗流水量的2%~3%,这个数量只占地壳总水量的数百万分之一。然而,就是取用这些在比例上似乎微不足道的水,却在社会循环中表现出人与自然在水量和水质方面存在的巨大矛盾。这就需要我们不断调查研究和控制解决这些矛盾,以保证水的社会循环能够顺利进行,更好地满足人类的生活和生产需要。

## 三、水在火力发电厂中的作用

火力发电厂是依靠水作为传递能量的介质而进行发电的,也是依靠水作为冷却介质来完成能量交换工作的。因此,水在火力发电厂中起着十分重要的作用。

在火力发电厂中,水进入锅炉后,吸收燃料(煤、石油或天然气)燃烧放出的热能,转变成蒸汽后,被导入汽轮机,在汽轮机中,蒸汽的热能转变成机械能,然后汽轮机带

动发电机，将机械能转变成电能。所以，锅炉和汽轮机为火力发电的主要设备。为了保证它们正常运行，对锅炉用水的质量有很严格的要求，而且机组中蒸汽的参数越高，要求也越严格。

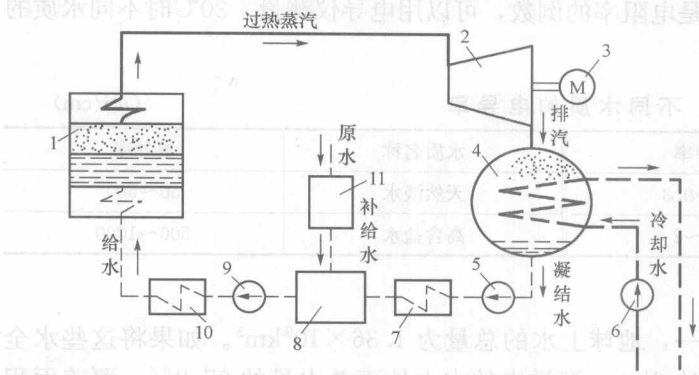


图 1-1 凝汽式发电厂水汽循环系统主要流程

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水泵；  
6—冷却水泵；7—低压加热器；8—除氧器；9—给水泵；  
10—高压加热器；11—水处理设备

在凝汽式发电厂中，水汽呈循环状运行。锅炉产生的蒸汽经汽轮机后进入凝汽器，在这里被冷却成凝结水，凝结水经凝结水泵送到低压加热器，加热后送入除氧器。再由给水泵将已除氧的水送到高压加热器，进入锅炉。发电厂水汽系统的主要流程如图 1-1 所示。

在上述系统中，汽水的流动虽然构成一定的循环，但这仅仅是其主流，并非全部，在实际运行中总不免有些损失。

为了维持发电厂热力系统的水汽循环运行正常，就要用水补充这些损失，这部分水称为补给水，前者称为循环水。凝汽式发电厂在正常运行情况下，补给水量一般不超过锅炉额定蒸发量的 2%~4%。例如，额定蒸发量为 100t/h 的锅炉，补给水量不超过 2~4t/h。

有些发电厂除发电外，还向附近的工厂和住宅区供生产用汽和生活用蒸汽或热水，这种电厂称为热电厂。在热电厂中，由于用户用热方式不同和供热系统复杂等原因，送出的蒸汽大部分不能回收，汽水损失很大，因此在热电厂中补给水量通常比凝汽式电厂大得多。热电厂水汽循环系统的主要流程如图 1-2 所示。

由于水在发电厂水汽循环系统中所经历的过程不同，在热力系统不同的位置，水质常有较大的差异。因此，根据实际的需要，常给予这些水不同的名称。

(1) 原水。原水是指未经任何处理的天然水（如江河、湖泊、地下水、海水）。原水是制取锅炉补给水的原料，也用来作为冷却转动机械、消防和工业水的介质。

(2) 补给水。原水经过各种方法净化处理后，用来补

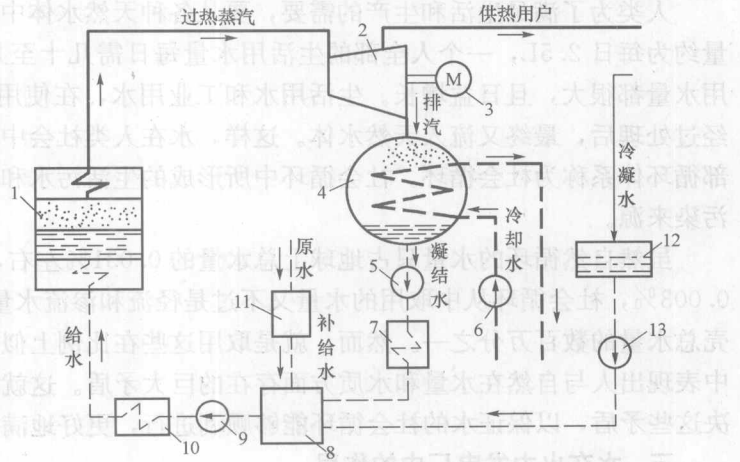


图 1-2 热电厂水汽循环系统主要流程

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水泵；6—冷却水泵；  
7—低压加热器；8—除氧器；9—给水泵；10—高压加热器；  
11—水处理设备；12—返回凝结水箱；13—返回水泵

充热力设备汽水循环过程中损失的水,称为锅炉补给水。锅炉补给水按其净化处理方法的不同,又可分为软化水、除盐水等。

(3) 凝结水。在汽轮机中做功后的蒸汽冷凝而成的水,称为凝结水。

(4) 疏水。各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽凝结水,称为疏水。它经疏水器汇集到疏水箱或并入凝结水系统中。

(5) 返回凝结水。热电厂向热用户供热后,回收的蒸汽冷凝水,称为返回凝结水,简称返回水。返回水又有热网加热器凝结水和生产返回凝结水之分。

(6) 给水。送往锅炉的水称为给水。凝汽式发电厂的给水,主要由凝结水、补给水和各种疏水组成。热电厂的给水组成中,还包括返回水。

(7) 锅炉水。在锅炉本体的蒸发系统中流动着的水,称为锅炉水,习惯上称为炉水。

(8) 循环冷却水。用作冷却介质的水称为冷却水。在电厂中,它主要是指通过凝汽器用以冷却汽轮机排汽的水。由于水资源紧缺,电厂冷却水通常采用循环方式运行。

### 第三节 电厂水处理的重要性

长期的实践使人们认识到,热力系统中水的品质,是影响发电厂热力设备(锅炉、汽轮机等)安全、经济运行的重要因素之一。没有经过净化处理的天然水中含有许多杂质,这种水如进入水汽循环系统,将会对热力设备造成各种危害。为了保证热力系统中有良好的水质,必须对水进行适当的净化处理,并且严格地监督汽水质量。

火力发电厂中,由于汽品质不良而引起的危害如下:

#### 1. 热力设备结垢

进入锅炉或其他热交换器的水质不良,则经过一段时间运行后,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,这些固体附着物称为水垢。因为水垢的导热性能比金属低的多,而这些水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中生成,所以结垢对锅炉(或热交换器)的危害性很大。

锅炉一旦结垢,可使结垢部位的金属管壁温度过高,引起金属强度下降。这样在管内压力的作用下,就会发生管道局部变形、产生鼓包,甚至引起爆管等严重事故。

结垢不仅危害机组安全运行,而且还会大大降低发电厂的经济性。例如,火力发电厂锅炉的省煤器中,结有1mm厚的水垢时,其燃料消耗量就比原来未结垢的多1.5%~2.0%。由于发电厂锅炉的容量一般都很大,每年使用的燃料量也很大,所以燃料的消耗量虽只有微小的增加率,绝对增加量却会给国家造成巨额的经济损失。

另外,在汽轮机凝汽器内结垢会导致凝汽器真空度下降,从而使汽轮机的热效率和出力下降。加热器内的结垢会使水的加热温度达不到设计值,使整个热力系统的经济性降低。而且,热力设备结垢以后,必须及时清洗工作,这就要停止运行,减少了设备的年利用小时数。此外,还要增加检修工作量和费用等。

#### 2. 热力设备的腐蚀

发电厂热力设备的金属经常与水接触,若水质不良,则会引起金属的腐蚀。火力发电厂的给水管道、各种加热器、锅炉省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等,都会因水质不良而遭到腐蚀。腐蚀不仅要缩短设备本身的使用期限,造成经济损失,而且金属腐蚀产物转



入水中,使给水中杂质增多,从而加剧在高热负荷受热面上的结垢过程,结成的垢又会加速锅炉炉管腐蚀。此种恶性循环,会迅速导致爆管事故。此外,金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中沉积下来后,也会严重地影响汽轮机的安全、经济运行。

### 3. 过热器和汽轮机的积盐

水质不良使锅炉不能产生高纯度的蒸汽,造成蒸汽污染。随蒸汽带出的杂质就会沉积在蒸汽通过的各个部位,如过热器和汽轮机,这种现象称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热甚至爆管;汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率,特别是高温、高压、大容量汽轮机,它的高压部分蒸汽流通的截面积很小,所以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,造成汽轮机振动甚至事故停机。

火力发电厂水处理工作就是保证热力系统各部分具有良好的水汽品质,以防止热力设备的结垢、腐蚀和积盐。因此,火力发电厂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。

火力发电厂的水处理工作,主要包括以下内容:

- (1) 净化原水,制备热力系统所需质量和数量的补给水。包括混凝、澄清、过滤等处理,用来除去天然水中的悬浮物和胶体状态杂质;软化处理,除去水中溶解的钙、镁离子等硬度成分;除盐处理,除去水中全部溶解盐类。补给水的处理,通常称为炉外水处理。
- (2) 对给水进行除氧、加药等处理,除去水中溶解气体,防止发生溶解氧腐蚀。
- (3) 对汽包锅炉进行炉水的加药处理和排污,使水中杂质不结成水垢,这些工作称为炉内水处理。
- (4) 在热电厂中,对生产返回水进行除油、除铁等净化处理。
- (5) 对冷却水进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。
- (6) 正确取样、化验,监督热力系统各部分(给水、炉水、蒸汽、凝结水等)的水汽质量。
- (7) 进行各种水汽调整试验、锅炉热化学试验以及热力设备的清洗工作。
- (8) 热力设备停用期间,做好设备防腐及化学监督工作。

## 第四节 天然水中的杂质

天然水中的杂质是多种多样的,杂质按其颗粒大小的不同,可分成三类:颗粒粒径最大的称为悬浮物,其次是胶体,最小的是离子和分子,即溶解物质。水中杂质分类见表 1-6。

表 1-6 水中杂质分类

颗粒尺寸 (mm)	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10
分散颗粒	溶解物 (分子、离子)		胶体颗粒			悬浮物			
特征	透明		光照下浑浊			浑浊			