

164006

TK1-62  
2301

# 热工技术手册

# 4

---

电 厂 化 学

能源部西安热工研究所 主编

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本卷共分二十二章,主要内容有:天然水水质特性;锅炉补给水、给水和循环冷却水的处理;凝结水净化;锅内水化学工况和金属腐蚀及防护;锅炉和凝汽器的化学清洗;电力用油的分类及特性;废油再生技术和油中溶解气体分析及变压器故障检测;动力燃料的基本特性及采、制样;水、油、燃料等的试验方法和六氟化硫的检测;水汽系统化学监督仪表以及试验室常用仪器等。

本卷可供火电厂的化学水处理、水汽质量监督、油质监督(油务管理)和燃料监督(燃料管理)人员,以及供电局和变电站的油质监督(油务管理)人员使用;也可供从事设计、基建、制造、科研、教学和管理等的有关人员参考。

## 热 工 技 术 手 册

### 第 4 卷 电 厂 化 学

能源部西安热工研究所 主编

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

朝阳小红门印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 50.75印张 1143千字

1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数 0001—3690 册

ISBN 7-120-01680-6/TK·264

精装定价 45.10 元

## 热工技术手册编写委员会

主任委员 袁 颖

副主任委员 杜庆东 舒君展

委 员 (按姓氏笔划为序)

马士林 杜庆东 赵庆炜 袁 颖 高汉襄

夏宝鸾 秦金藻 钱钟彭 舒君展

秘 书 高维芳

本卷编写人员

主 编 秦金藻

副主编 何辉纯 孙桂兰

参 编 (按姓氏笔划为序)

方文沐 王玉德 王洁凡 石秋生 朱小莎 孙 永  
孙坚明 刘国平 李贵成 江俭军 李荣荣 朱琴英  
李新生 李瑞霖 孟玉蝉 邵 林 陈 洁 张 渡  
何辉纯 高秀山 惠仁泉 阎 锬 葛宝英 韩淦传  
魏洁慧

本卷审稿人员

主审单位 能源部电力司

审稿人员 (按姓氏笔划为序)

尹世安 王蒙聚 李天荣 李荫才 李培元 许崇武  
何 志 肖作善 芮侨生 陆 桐 张澄信 郑芳俊  
郝汉儒 钟金昌 徐 卫 唐文达 钱达中 顾亚倩  
曹长武 萧明湘 温念珠 彭珂如

# 前 言

建国40年来,电力工业发展迅速,至1987年末,全国发电装机容量已逾1亿千瓦,其中火电装机容量占70.5%,发电量占总发电量的80%。在今后30年的发展目标中,火电机组容量的比重仍将保持在70%左右。从事火电行业工作的人员日益增多,迫切要求有一部符合我国现代火电生产技术水平的热能动力工程方面的专业工具书。在原水利电力部生产司和现能源部电力司的重视和支持下,我们组织编写了这部《热工技术手册》,希望在一定程度上能满足广大读者的需要。

《手册》全书共分6卷,即火力发电厂、锅炉机组、汽轮机组、电厂化学、热工仪表与自动化、电厂金属,总字数约600万字。《手册》扼要阐述热力系统、主辅设备的工作原理,有实用价值的计算、测量、分析、试验、调整、控制、监督的方法,以及有关法规、规程、标准、导则等的主要内容。《手册》力图反映多年来我国火电厂运行管理的实践经验及技术革新和科研成果,也适当介绍国外先进经验。

对《手册》的选材和编写原则有两点说明:(1)根据国内火电厂一般规模,选材重点针对100MW及以上容量的机组,对较小容量机组亦可参考使用;(2)内容要求可靠、先进、准确、简明、实用,不过分追求知识的系统性和全面性,对关键技术内容的说明要有一定的深度,以利于解决实际问题。

本《手册》主要供从事火电厂生产、科研、设计、基建、管理、教学等工作人员查阅之用。

本《手册》由能源部西安热工研究所主编,个别卷及章节邀请所外专家参加编写工作;提纲及初稿曾经同行专家学者评审,并提出了宝贵意见;编写过程中得到了水利电力出版社的指导和协助。谨对以上为编写本《手册》做出过贡献的同志及其所属单位致以诚挚的谢意。

本《手册》首次出版,在选材及文风体例等方面难免有不当之处,衷心希望广大读者批评指正,俾使再版时充实完善。

能源部西安热工研究所  
《热工技术手册》编写委员会

1988年9月

## 本 卷 编 写 说 明

随着我国电力工业的迅速发展,大机组和超高压输变电设备不断投产,这不仅对电厂化学工作提出更高的要求 and 增添了新的技术内容,而且越来越显示出电厂化学专业,在保证火电厂热力设备和发供电充油电器设备安全经济运行中的重要性。本卷根据生产需要,并按本手册总的编写宗旨进行了选材编写。

能源部西安热工研究所化学研究室承担了编写本卷的主要任务。

本卷共分二十二章,内容有:天然水水质特性;锅炉补给水预处理和化学除盐;膜分离技术;凝结水净化和锅炉给水处理;锅内水化学工况;热力设备金属腐蚀和防护;循环冷却水处理;锅炉和凝汽器的化学清洗;电力用油的分类及特性;绝缘油、汽轮机油和抗燃油;废油再生技术;油中溶解气体分析及变压器故障检测;动力燃料的基本特性及采、制样;水、汽、垢、腐蚀产物、油质、六氟化硫和燃料的试验(检测)方法;水汽系统化学监督仪表和试验室常用分析仪器等。电厂排废水(包括冲灰水回收利用)的监测和处理未列入本卷中。

本卷编写人员有:第一章 王洁凡、江俭军;第二章 刘国平;第三章 葛宝英、朱小莎;第四章 邵林、李荣荣、韩津传;第五章 王洁凡、惠仁泉、高秀山、阎 锐;第六章 孙 永;第七章 李贵成;第八章 何辉纯;第九章 朱琴英;第十章 陈 洁;第十一章 石秋生;第十二章 张 渡 江俭军;第十三章 李新生;第十四章 孙坚明;第十五章 魏洁慧 李瑞霖;第十六章 李新生;第十七章 孙坚明;第十八、十九章 王玉德、孟玉婵;第二十、二十一章 方文沐;第二十二章和附录 江俭军。

本卷的统稿工作,是由秦金藻和孙桂兰两位同志完成的。由于我们水平有限,时间仓促,自揣错误及不当之处在所难免,敬希读者指正。

本书稿由能源部电力司主审。在审查手册编写提纲过程中,得到李天荣、李荫才、芮侨生、顾亚倩、曹长武等同志的大力支持和协助。在审稿过程中得到尹世安、王蒙聚、李天荣、李荫才、李培元、许崇武、何志、肖作善、芮侨生、陆桐、张澄信、郑芳俊、郝汉儒、钟金昌、徐卫、唐文达、钱达中、顾亚倩、曹长武、萧明湘、温念珠、彭珂如等同志的热情帮助,谨致谢意。

编 者

1991年1月

# 本卷常用计量单位换算表

| 量的名称             | 法定计量单位                       |                                             | 其他计量单位与法定计量单位的关系                                                                                                                                                                          |
|------------------|------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | 名称                           | 国际符号                                        |                                                                                                                                                                                           |
| 长 度              | 米<br>厘米<br>毫米<br>微米          | m<br>cm<br>mm<br>$\mu\text{m}$              | $1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$<br>$1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$<br>$1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$<br>$1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$                                                  |
| 质 量              | 吨<br>千克(公斤)<br>克<br>毫克<br>微克 | t<br>kg<br>g<br>mg<br>$\mu\text{g}$         | $1\text{t} = 10^3\text{kg}$<br>$1\text{g} = 10^{-3}\text{kg}$<br>$1\text{mg} = 10^{-6}\text{kg}$<br>$1\mu\text{g} = 10^{-9}\text{kg}$                                                     |
| 体 积              | 立方米<br>升<br>毫升<br>微升         | $\text{m}^3$<br>l, L<br>mL<br>$\mu\text{L}$ | $1\text{L} = 10^{-3}\text{m}^3$<br>$1\text{mL} = 10^{-6}\text{m}^3$<br>$1\mu\text{L} = 10^{-9}\text{m}^3$                                                                                 |
| 时 间              | 秒<br>分<br>[小]时<br>天(日)       | s<br>min<br>h<br>d                          | $1\text{min} = 60\text{s}$<br>$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$<br>$1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$                                                                       |
| 力                | 牛[顿]                         | N                                           | $1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$                                                                                                                                                           |
| 压 力              | 帕[斯卡]                        | Pa                                          | $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 1\text{at} = 9.8067 \times 10^4\text{Pa}$<br>$1\text{mmH}_2\text{O} = 9.806\text{Pa}$<br>$1\text{mmHg} = 133.332\text{Pa}$<br>$1\text{atm} = 101.325\text{Pa}$ |
| 界 面 张 力          |                              | N/cm<br>mN/m                                |                                                                                                                                                                                           |
| 运 动 粘 度          |                              | $\text{m}^2/\text{s}$                       | $1\text{st}(\text{斯[托克斯]}) = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$                                                                                                                                  |
| 功, 能(量)<br>热, 热量 | 焦[耳]<br>电子伏                  | J<br>eV                                     | $1\text{cal} = 4.1868\text{J}$                                                                                                                                                            |
| 热力学温度<br>(T)     | 开[尔文]                        | K                                           |                                                                                                                                                                                           |
| 摄氏温度<br>(t)      | 摄氏度                          | $^{\circ}\text{C}$                          | $t = T - T_0 = T - 273.15\text{K}$                                                                                                                                                        |
| 电 荷 [量]          | 库[仑]<br>微 库                  | C<br>$\mu\text{C}$                          | $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$                                                                                                                                                          |

续表

| 量的名称                         | 法定计量单位                 |                                                 | 其他计量单位与法定计量单位的关系                                                                       |
|------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | 名称                     | 国际符号                                            |                                                                                        |
| 电场强度                         | 伏/米<br>伏/毫米            | V/m<br>V/mm                                     |                                                                                        |
| 电位(电势)<br>电位差(电动势)<br>电压、电动势 | 伏[特]<br>毫伏<br>微伏       | V<br>mV<br>$\mu$ V                              | $1\text{ mV} = 10^{-3}\text{ V}$<br>$1\mu\text{ V} = 10^{-6}\text{ V}$                 |
| 电 容                          | 法[拉]<br>微法<br>微微法      | F<br>$\mu$ F<br>pF                              | $1\mu\text{ F} = 10^{-6}\text{ F}$<br>$1\text{ pF} = 10^{-12}\text{ F}$                |
| [直流]电阻                       | 欧[姆]                   | $\Omega$                                        |                                                                                        |
| [直流]电导                       | 西[门子]                  | S                                               |                                                                                        |
| 电 阻 率                        | 欧[姆]米                  | $\Omega\text{ m}$<br>$\mu\Omega \cdot \text{m}$ | $1\mu\Omega \cdot \text{cm} = 10^{-8}\Omega\text{ m}$                                  |
| 电 导 率                        | 西[门子]每米                | S/m                                             |                                                                                        |
| 波 长                          |                        | m, $\mu\text{ m}$ , nm, pm                      |                                                                                        |
| 转 速                          | 转/分                    | r/min                                           |                                                                                        |
| 密 度                          | 克/厘米 <sup>3</sup>      | g/cm <sup>3</sup>                               |                                                                                        |
| 物质的量                         | 摩 尔<br>毫摩尔<br>微摩尔      | mol<br>mmol<br>$\mu\text{ mol}$                 | $1\text{ mmol} = 10^{-3}\text{ mol}$<br>$1\mu\text{ mol} = 10^{-6}\text{ mol}$         |
| 摩尔质量                         | 克/摩尔                   | g/mol                                           |                                                                                        |
| 物质的量浓度                       | 摩尔/升<br>毫摩尔/升<br>微摩尔/升 | mol/L<br>mmol/L<br>$\mu\text{ mol/L}$           | $1\text{ mmol/L} = 10^{-3}\text{ mol/L}$<br>$1\mu\text{ mol/L} = 10^{-6}\text{ mol/L}$ |

## 本 卷 常 用 符 号

- $A$ ——失重腐蚀速率  $[g/(m^2 \cdot h)]$ ;  
 吸光度;  
 纯水透过系数;  
 过滤面积  $(m^2)$ ;  
 灰分 (%)
- ANSI——美国国家标准  
 ASTM——美国材料与试验协会标准  
 $a$ ——比表面积  $(m^2/m^3)$   
 $B$ ——深度腐蚀速率  $(mm/a)$   
 BS——英国国家标准  
 $b$ ——奥亚膨胀度 (%)  
 $C_1$ ——水的比热  $[J/(kg \cdot K)]$   
 CAN——加拿大标准  
 $D$ ——介电常数;  
 扩散系数  $(cm^2/s)$ ;  
 直径  $(m)$   
 DIN——联邦德国工业标准  
 $D_T$ ——变形温度  $(^\circ C)$   
 $d$ ——湿视密度  $(t/m^3)$ ;  
 油中颗粒直径  $(m)$ ;  
 平板电极间的距离  $(cm)$   
 $E$ ——电气强度  $(kV/m)$ ;  
 恩氏粘度  $(^\circ E)$ ;  
 热容量  $(J/^\circ C)$   
 $E_h$ ——氧化还原电位  $(mV)$   
 $F$ ——法拉第常数  $(C/mol)$ ;  
 水的空床线速度  $(m/min)$ ;  
 离心力  $(N)$   
 FC——固定碳含量 (%)  
 FI——污染指数  
 FS——美国联邦标准  
 FT——流动温度  $(^\circ C)$   
 $G$ ——旋转物体的质量  $(kg)$ ;  
 粘结指数  
 GB——中国国家标准  
 $g$ ——重力加速度  $(m/s^2)$   
 $I$ ——电流  $(A)$   
 IEC——国际电工委员会  
 IP——英国石油协会标准  
 $I_p$ ——磷酸钙饱和指数  
 ISO——国际标准化组织
- ISO/DIS——国际标准化组织标准草案  
 ISO/TC 28——国际标准化组织/石油产品技术委员会  
 $i$ ——比焓  $(J/kg)$   
 $i''$ ——加热蒸气比焓  $(J/kg)$   
 $i_H$ ——饱和水比焓  $(J/kg)$   
 $JD$ ——碱度  $(mmol/L)$   
 JIS——日本工业协会标准  
 $K$ ——络合稳定常数;  
 分配系数;  
 电离平衡常数;  
 携带系数;  
 循环冷却水浓缩倍率;  
 放大系数;  
 原油的特性因数;  
 油系统中油的循环倍率  
 $K_{M_1}^{M_2}$ ——离子  $M_2$  交换离子  $M_1$  的选择性系数  
 $K_w$ ——水的离子积  
 $L$ ——过滤介质的毛细管长度  $(m)$   
 $M$ ——水分 (%)  
 $M_A$ ——甲基橙碱度  $(mmol/L)$   
 $N$ ——油的酸值  $(mgKOH/g)$   
 NFT——法国标准  
 $n$ ——离心机旋转速度  $(r/min)$   
 $P$ ——锅炉排污率 (%);  
 压力  $(Pa)$   
 $p_A$ ——酚酞碱度  $(mmol/L)$   
 $p_M$ ——透光率 (%)  
 $Q$ ——流量  $(m^3/h)$ ;  
 油重量  $(kg)$ ;  
 发热量  $(J/g, MJ/kg)$   
 $Q_{ba}$ ——标准苯甲酸燃烧热  $(J/g)$   
 $q$ ——热负荷  $(W/m^2)$   
 $R$ —— $Na^+/PO_4^{3-}$  摩尔比  
 RG——溶解固体  $(mg/L)$   
 $r$ ——半径  $(m)$   
 $S$ ——标准偏差;  
 面积  $(cm^2)$   
 $S_A$ ——强碱性阴离子交换树脂  
 $S_C$ ——强酸性阳离子交换树脂  
 $S_P$ ——盐渗透率 (%)

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| $S_T$ ——软化温度 (°C)                 | 挥发分 (%)              |
| $T$ ——透光率 (%)                     | 油循环系统总油量 (t)         |
| $T_{501}$ ——2, 6-二叔丁基对甲酚          | $VTI$ ——苏联热工研究院可磨指数  |
| $T_{746}$ ——十二烯基丁二酸               | $W$ ——碱液用量 (kg)      |
| $t$ ——温度 (°C);                    | $W_A$ ——弱碱性阴离子交换树脂   |
| 时间 (s);                           | $W_C$ ——弱酸性阳离子交换树脂   |
| 离子在溶液中的迁移数                        | $\bar{X}$ ——测定数据的平均值 |
| $U$ ——电压 (kV)                     | $Y$ ——胶质层最大厚度 (mm)   |
| $V$ ——悬浮颗粒的体积 (cm <sup>3</sup> ); | $YD$ ——硬度 (mmol/L)   |
| 电位 (V);                           | ZBE——中国石油化工总公司标准     |
| 流速 (cm/s);                        |                      |

## 下 标 符 号

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| $ad$ ——空气干燥基     | $gr$ ——高位       |
| $ar$ ——收到基       | $inh$ ——内在      |
| $d$ ——干燥基        | $maf$ ——恒湿无灰基   |
| $daf$ ——干燥无灰基    | $mmf$ ——恒湿无砂物质基 |
| $dmmf$ ——干燥无砂物质基 | $nef$ ——低位      |
| $f$ ——外在或游离      | $t$ ——全部        |

## 希腊字母符号

|                                             |                                   |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| $\delta$ ——介质损耗角 (°);                       | $\lambda$ ——阻力系数                  |
| 膜面滞流层厚度 (cm);                               | $\mu$ ——动力粘度 (Pa·s)               |
| 扩散距离 (cm)                                   | $\nu$ ——运动粘度 (mm <sup>2</sup> /s) |
| $\operatorname{tg} \delta$ ——介质损耗角正切或介质损耗因数 | $\rho$ ——树脂的空隙度;                  |
| $\varepsilon$ ——电渗析除盐率 (%)                  | 密度 (kg/m <sup>3</sup> );          |
| $\zeta$ —— $\zeta$ 电位 (mV);                 | 电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )          |
| 系统局部阻力系数                                    | $\psi$ ——功率因素角 (°)                |
| $\eta$ ——电流效率 (%);                          | $\omega$ ——过滤速度 (m/s);            |
| 电比耗指数;                                      | 油中颗粒沉降速率 (m/s)                    |
| 动力粘度 (Pa·s);                                |                                   |
| 安定性指数;                                      |                                   |
| 缓蚀效率 (%)                                    |                                   |

# 目 录

前言

本卷编写说明

本卷常用计量单位换算表

本卷常用符号

## 第1章 天然水水质特性

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第1节 水及其特点                 | 1  |
| 第2节 天然水中的杂质及水质指标          | 5  |
| 1.2.1 天然水中的杂质             | 5  |
| 1.2.2 水质指标                | 7  |
| 第3节 天然水的物理特性              | 9  |
| 1.3.1 温度                  | 9  |
| 1.3.2 臭和味                 | 9  |
| 1.3.3 颜色和色度               | 10 |
| 1.3.4 浑浊度                 | 10 |
| 1.3.5 悬浮物质                | 11 |
| 1.3.6 电导率                 | 11 |
| 1.3.7 溶解气体                | 12 |
| 第4节 天然水的化学特性              | 12 |
| 1.4.1 天然水体是一个复杂的缓冲溶液系统    | 13 |
| 1.4.2 天然水体是一个复杂的氧化—还原混合系统 | 17 |
| 第5节 我国火电厂用的天然水            | 18 |

## 第2章 锅炉补给水的预处理

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第1节 水中杂质及水处理装置的进水水质指标 | 19 |
| 2.1.1 原水中的杂质          | 19 |
| 2.1.2 水处理装置的进水水质指标    | 20 |
| 2.1.3 水中杂质对水处理装置的危害   | 20 |
| 第2节 水的混凝澄清处理          | 21 |
| 2.2.1 混凝澄清机理          | 21 |
| 2.2.2 混凝澄清药剂及其投加方法    | 23 |
| 2.2.3 混凝澄清设备概述        | 27 |
| 2.2.4 机械搅拌澄清池         | 31 |
| 2.2.5 水力循环澄清池         | 32 |

|        |                      |    |
|--------|----------------------|----|
| 2.2.6  | 脉冲澄清池 .....          | 33 |
| 2.2.7  | 悬浮澄清池 .....          | 34 |
| 2.2.8  | 提高混凝效果的物理化学方法 .....  | 35 |
| 2.2.9  | 气浮澄清 .....           | 38 |
| 第3节    | 水的过滤处理 .....         | 41 |
| 2.3.1  | 快速过滤的机理 .....        | 41 |
| 2.3.2  | 过滤工艺的类型 .....        | 42 |
| 2.3.3  | 滤料的种类及其特性 .....      | 43 |
| 2.3.4  | 滤池的冲洗 .....          | 45 |
| 2.3.5  | 过滤设备的型式及选用 .....     | 48 |
| 2.3.6  | 普通快滤池 .....          | 49 |
| 2.3.7  | 虹吸滤池 .....           | 50 |
| 2.3.8  | 重力式无阀滤池 .....        | 51 |
| 2.3.9  | 压力式过滤器 .....         | 52 |
| 2.3.10 | 双流式过滤器 .....         | 54 |
| 2.3.11 | 变孔隙滤池 .....          | 54 |
| 第4节    | 活性炭吸附 .....          | 56 |
| 2.4.1  | 活性炭的性质 .....         | 56 |
| 2.4.2  | 影响吸附的因素 .....        | 56 |
| 2.4.3  | 活性炭的性能试验 .....       | 57 |
| 2.4.4  | 粒状活性炭吸附系统 .....      | 59 |
| 2.4.5  | 粉状活性炭吸附系统 .....      | 60 |
| 2.4.6  | 活性炭的再生 .....         | 60 |
| 第5节    | 气—液交换 .....          | 62 |
| 2.5.1  | 气—液交换的原理 .....       | 62 |
| 2.5.2  | 气—液交换法在预处理中的应用 ..... | 63 |
| 第6节    | 泥渣处理 .....           | 65 |
| 2.6.1  | 泥渣的来源和特性 .....       | 65 |
| 2.6.2  | 泥渣的浓缩脱水 .....        | 65 |
| 2.6.3  | 混凝剂的回收和泥渣最终处理 .....  | 67 |

### 第3章 膜分离技术

|       |                     |    |
|-------|---------------------|----|
| 第1节   | 反渗透技术概述 .....       | 69 |
| 3.1.1 | 概况 .....            | 69 |
| 3.1.2 | 反渗透脱盐的原理及渗透理论 ..... | 70 |
| 第2节   | 反渗透膜的种类及特性 .....    | 72 |
| 3.2.1 | 反渗透膜的分类 .....       | 72 |
| 3.2.2 | 反渗透膜的特性 .....       | 74 |
| 3.2.3 | 影响膜寿命的因素 .....      | 77 |
| 第3节   | 反渗透装置及辅助设备 .....    | 77 |
| 3.3.1 | 反渗透装置 .....         | 77 |

|        |                            |     |
|--------|----------------------------|-----|
| 3.3.2  | 辅助设备 .....                 | 80  |
| 第4节    | 反渗透系统的选择、设计及运行管理 .....     | 83  |
| 3.4.1  | 预处理及反渗透系统 .....            | 83  |
| 3.4.2  | 反渗透系统的设计计算 .....           | 86  |
| 3.4.3  | 反渗透系统的运行管理 .....           | 91  |
| 3.4.4  | 膜污染的清洗 .....               | 93  |
| 第5节    | 电渗析技术概述 .....              | 95  |
| 3.5.1  | 电渗析技术的发展与国内、外制造和应用情况 ..... | 95  |
| 3.5.2  | 电渗析除盐的原理 .....             | 96  |
| 第6节    | 电渗析离子交换膜的种类和特性 .....       | 97  |
| 3.6.1  | 离子交换膜的分类 .....             | 97  |
| 3.6.2  | 国内、外水处理用商品膜及其性能 .....      | 98  |
| 第7节    | 电渗析器及辅助设备 .....            | 99  |
| 3.7.1  | 电渗析器的组成 .....              | 99  |
| 3.7.2  | 电渗析器的主要部件 .....            | 99  |
| 3.7.3  | 辅助装置 .....                 | 101 |
| 第8节    | 电渗析器的除盐方式 .....            | 102 |
| 3.8.1  | 直流除盐 .....                 | 102 |
| 3.8.2  | 循环除盐 .....                 | 102 |
| 3.8.3  | 部分循环除盐 .....               | 102 |
| 3.8.4  | 浓水循环 .....                 | 103 |
| 第9节    | 电渗析器的运行 .....              | 103 |
| 3.9.1  | 运行参数和性能指标 .....            | 103 |
| 3.9.2  | 极化和极限电流密度的测定 .....         | 104 |
| 3.9.3  | 稳定运行的措施 .....              | 105 |
| 3.9.4  | 电渗析器的操作要点 .....            | 106 |
| 3.9.5  | 运行中常见故障 .....              | 106 |
| 第10节   | 频繁倒极工艺和节能型电渗析器 .....       | 107 |
| 3.10.1 | 频繁倒极工艺 .....               | 107 |
| 3.10.2 | 节能型电渗析器 .....              | 108 |

## 第4章 锅炉补给水的化学除盐

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 第1节   | 离子交换剂 .....       | 109 |
| 4.1.1 | 离子交换剂的分类 .....    | 109 |
| 4.1.2 | 离子交换树脂的结构 .....   | 109 |
| 4.1.3 | 离子交换树脂的命名 .....   | 110 |
| 第2节   | 离子交换树脂的物理性质 ..... | 113 |
| 4.2.1 | 粒度 .....          | 113 |
| 4.2.2 | 含水量 .....         | 115 |
| 4.2.3 | 密度 .....          | 115 |

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 4.2.4  | 转型膨胀率 .....                  | 117 |
| 4.2.5  | 机械强度 .....                   | 118 |
| 第3节    | 离子交换树脂的化学性质 .....            | 120 |
| 4.3.1  | 交换容量 .....                   | 120 |
| 4.3.2  | 酸碱性和滴定曲线 .....               | 121 |
| 4.3.3  | 离子交换平衡和选择性 .....             | 122 |
| 4.3.4  | 离子交换速度 .....                 | 125 |
| 4.3.5  | 热稳定性 .....                   | 129 |
| 4.3.6  | 抗氧化性、耐辐射性 .....              | 130 |
| 第4节    | 离子交换树脂的水力学性能 .....           | 132 |
| 4.4.1  | 水流阻力 .....                   | 133 |
| 4.4.2  | 反洗展开率 .....                  | 134 |
| 4.4.3  | 沉降速度 .....                   | 134 |
| 第5节    | 离子交换树脂的工艺性能 .....            | 136 |
| 4.5.1  | 工作交换容量的计算 .....              | 136 |
| 4.5.2  | 对流再生氢型强酸性阳树脂工作交换容量特性曲线 ..... | 137 |
| 4.5.3  | 顺流再生氢型强酸性阳树脂工作交换容量特性曲线 ..... | 139 |
| 4.5.4  | 弱酸性阳离子交换树脂工作交换容量 .....       | 141 |
| 4.5.5  | 对流再生强碱性阴树脂工作交换容量特性曲线 .....   | 142 |
| 4.5.6  | 顺流再生强碱性阴树脂工作交换容量特性曲线 .....   | 144 |
| 4.5.7  | 弱碱性阴离子交换树脂的工作交换容量 .....      | 145 |
| 4.5.8  | 再生剂比耗 .....                  | 147 |
| 4.5.9  | 清洗水耗 .....                   | 148 |
| 第6节    | 水的化学除盐 .....                 | 148 |
| 4.6.1  | 化学除盐原理 .....                 | 148 |
| 4.6.2  | 化学除盐系统中设备设置的原则 .....         | 149 |
| 4.6.3  | 化学除盐系统进水的水质指标 .....          | 149 |
| 4.6.4  | 化学除盐系统的出水水质 .....            | 150 |
| 4.6.5  | 化学除盐系统 .....                 | 150 |
| 第7节    | 离子交换工艺 .....                 | 152 |
| 4.7.1  | 离子交换工艺分类及比较 .....            | 152 |
| 4.7.2  | 顺流再生固定床 .....                | 153 |
| 4.7.3  | 逆流再生固定床 .....                | 156 |
| 4.7.4  | 分流再生固定床 .....                | 158 |
| 4.7.5  | 浮动床 .....                    | 161 |
| 4.7.6  | 提升床式浮动床 .....                | 165 |
| 4.7.7  | 移动床 .....                    | 166 |
| 4.7.8  | 混合床 .....                    | 169 |
| 4.7.9  | 联合应用工艺 .....                 | 173 |
| 4.7.10 | 双层床 .....                    | 175 |
| 4.7.11 | 双室床 .....                    | 176 |
| 4.7.12 | 双室浮床 .....                   | 177 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 4.7.13 | 变径双室浮床 .....              | 177 |
| 4.7.14 | 串联系统 .....                | 178 |
| 4.7.15 | 各种类型联合应用工艺设备的比较 .....     | 180 |
| 第8节    | 离子交换设备运行中出现的问题及解决方法 ..... | 180 |
| 4.8.1  | 出现问题的判断与分析 .....          | 180 |
| 4.8.2  | 离子交换树脂性能劣化 .....          | 182 |
| 4.8.3  | 运行及再生操作中的失误 .....         | 197 |
| 4.8.4  | 设备故障 .....                | 200 |
| 4.8.5  | 废酸、碱液的处理 .....            | 202 |

## 第5章 凝结水净化

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 第1节   | 凝结水净化工艺的选用及其系统和布置 .....     | 204 |
| 5.1.1 | 凝结水净化系统的设置原则 .....          | 204 |
| 5.1.2 | 凝结水净化系统中的除铁过滤器和混合床的设置 ..... | 205 |
| 5.1.3 | 凝结水净化系统和布置 .....            | 205 |
| 第2节   | 前置过滤器 .....                 | 206 |
| 5.2.1 | 覆盖过滤器 .....                 | 206 |
| 5.2.2 | 管式微孔过滤器 .....               | 210 |
| 5.2.3 | 电磁过滤器 .....                 | 212 |
| 第3节   | 混合床 .....                   | 226 |
| 5.3.1 | 体外再生混合床 .....               | 226 |
| 5.3.2 | 氨化混床 .....                  | 236 |
| 5.3.3 | 三层混床 .....                  | 254 |

## 第6章 锅炉给水处理

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 第1节   | 概述 .....       | 260 |
| 第2节   | 给水除氧 .....     | 261 |
| 6.2.1 | 热力除氧 .....     | 262 |
| 6.2.2 | 化学除氧 .....     | 262 |
| 6.2.3 | 凝汽器的真空除氧 ..... | 266 |
| 第3节   | 氨处理 .....      | 267 |
| 6.3.1 | 原理 .....       | 268 |
| 6.3.2 | 加药 .....       | 273 |
| 第4节   | 胺处理 .....      | 273 |
| 6.4.1 | 中和胺 .....      | 273 |
| 6.4.2 | 膜胺 .....       | 276 |
| 第5节   | 络合物处理 .....    | 276 |
| 6.5.1 | 原理 .....       | 277 |
| 6.5.2 | 条件 .....       | 279 |
| 6.5.3 | 加药 .....       | 279 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 6.5.4 效果 .....        | 280 |
| 第6节 加氧处理 .....        | 281 |
| 6.6.1 原理 .....        | 281 |
| 6.6.2 条件 .....        | 285 |
| 6.6.3 加药 .....        | 286 |
| 6.6.4 注意事项 .....      | 288 |
| 6.6.5 与全挥发性处理比较 ..... | 289 |

## 第7章 锅内水化学工况

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第1节 锅内沉积物的形成 .....         | 291 |
| 7.1.1 锅内各种杂质的来源 .....      | 291 |
| 7.1.2 沉积物的形成及其影响因素 .....   | 292 |
| 7.1.3 给水中杂质在直流锅炉内的沉积 ..... | 300 |
| 第2节 锅内沉积物的控制 .....         | 302 |
| 7.2.1 磷酸盐处理 .....          | 302 |
| 7.2.2 磷酸盐—pH协调控制 .....     | 304 |
| 7.2.3 全挥发性处理 .....         | 310 |
| 7.2.4 中性水处理和联合水处理 .....    | 314 |
| 第3节 影响蒸汽质量的因素 .....        | 314 |
| 7.3.1 影响机械携带的因素 .....      | 315 |
| 7.3.2 饱和蒸汽溶解携带的特点 .....    | 316 |
| 7.3.3 汽水分离系统和水质条件 .....    | 318 |
| 7.3.4 锅炉排污 .....           | 322 |
| 第4节 蒸汽通流部位沉积物的形成 .....     | 324 |
| 7.4.1 过热器内盐类的沉积 .....      | 324 |
| 7.4.2 汽轮机内的沉积物 .....       | 326 |

## 第8章 热力设备的腐蚀与防护

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第1节 概述 .....                 | 330 |
| 8.1.1 腐蚀的定义 .....            | 330 |
| 8.1.2 金属腐蚀的基本形态 .....        | 330 |
| 8.1.3 耐蚀性的评价 .....           | 332 |
| 8.1.4 腐蚀速率的换算 .....          | 333 |
| 第2节 金属在水、汽中的腐蚀 .....         | 334 |
| 8.2.1 金属在水、汽中腐蚀的基本反应过程 ..... | 334 |
| 8.2.2 金属保护膜的形成 .....         | 336 |
| 8.2.3 电位—pH图 .....           | 338 |
| 8.2.4 影响水质的因素 .....          | 342 |
| 8.2.5 腐蚀产物的种类和特性 .....       | 344 |
| 8.2.6 各种合金的允许使用温度 .....      | 347 |
| 8.2.7 空气中相对湿度对钢腐蚀的影响 .....   | 347 |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 8.2.8 | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 在含氨水中的溶解度 | 347 |
| 8.2.9 | 引起材料冲蚀的影响因素                       | 348 |
| 第3节   | 热力设备的腐蚀特征及防护原则                    | 353 |
| 8.3.1 | 锅炉腐蚀                              | 353 |
| 8.3.2 | 汽轮机腐蚀                             | 358 |
| 8.3.3 | 凝汽器管腐蚀                            | 362 |
| 8.3.4 | 给水泵腐蚀                             | 367 |
| 8.3.5 | 加热器管腐蚀                            | 367 |
| 第4节   | 热力设备的防腐方法                         | 368 |
| 8.4.1 | 合理设计和选材                           | 368 |
| 8.4.2 | 凝汽器管的合理选材                         | 368 |
| 8.4.3 | 去除水中的腐蚀性杂质                        | 371 |
| 8.4.4 | 水质调节处理                            | 372 |
| 8.4.5 | 热力设备的停(备)用防护                      | 372 |
| 8.4.6 | 电化学保护                             | 372 |

## 第9章 循环冷却水处理

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 第1节   | 概述             | 377 |
| 9.1.1 | 循环冷却水系统        | 377 |
| 9.1.2 | 凝汽器管内的附着物      | 378 |
| 9.1.3 | 循环冷却水系统中的盐类平衡  | 379 |
| 9.1.4 | 判断水质稳定性的方法     | 381 |
| 9.1.5 | 循环冷却水处理方法的选择   | 389 |
| 第2节   | 循环冷却水的防垢处理     | 391 |
| 9.2.1 | 排污法            | 391 |
| 9.2.2 | 酸化法            | 392 |
| 9.2.3 | 阻垢剂处理法         | 397 |
| 9.2.4 | 复合处理法          | 404 |
| 第3节   | 循环冷却水的补充水处理法   | 404 |
| 9.3.1 | 石灰处理法          | 404 |
| 9.3.2 | 弱酸氢离子交换法       | 409 |
| 9.3.3 | 强酸氢离子交换法       | 410 |
| 第4节   | 循环冷却水的旁流处理和零排污 | 412 |
| 第5节   | 循环冷却水系统中微生物的控制 | 414 |
| 9.5.1 | 循环冷却水系统中常见的微生物 | 414 |
| 9.5.2 | 微生物的危害         | 414 |
| 9.5.3 | 冷却水系统中微生物的控制   | 415 |
| 9.5.4 | 氧化型杀生剂         | 415 |
| 9.5.5 | 非氧化型杀生剂        | 418 |

## 第10章 锅炉和凝汽器的化学清洗

|     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| 第1节 | 锅炉化学清洗的概述 | 420 |
|-----|-----------|-----|