

热 力 发 电 厂 水 处 理

上 册

第 三 版

武汉水利电力大学
施燮钧 王蒙聚 肖作善

中 国 电 力 出 版 社

内 容 提 要

《热电厂水处理》修订本仍分上、下两册出版。本册内容为水质的净化,主要包括:水的混凝、石灰软化等沉淀处理,水的离子交换软化、除碱和除盐处理。此外,对水的蒸馏、电渗析和反渗透除盐以及高参数热电厂中凝结水的净化处理,也作了较详细的介绍。

本书主要供新从事电厂水处理工作的专业人员学习,也可作为培训专业工人的教材,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热电厂水处理 上册/施燮钧等编著. -3版. -北京:中国电力出版社, 1996

ISBN 7-80125-084-2

I. 热… II. 施… III. 热力发电-发电厂-工业用水-水处理 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 19162 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1976 年 1 月第一版 1984 年 3 月第二版

1996 年 5 月第三版 1996 年 5 月北京第七次印刷

850×1168 毫米 32 开本 13.25 印张 349 千字

印数 56171—61650 册 定价 16.70 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

《热力发电厂水处理》(上、下册)自1976年第一版和1984年修订版发行以来,受到广大读者的欢迎。今为了满足读者的需要,重新作了修订,作第三版出版。在这次修订中,采用了我国法定计量单位,增添了许多近年发展起来的新技术,并删除了一些陈旧的内容。

本书第三版仍分上下两册,上册主要讲述水质的净化,下册主要讲述热力发电厂机炉系统水处理。修订中,力求内容简明易懂,切合实际;阐述原理,尽量说明物理与化学性能,避免繁复的公式推导;对于常用的水处理方法、系统、设备和数据,以及某些实践经验,都作了必要的介绍,以供读者参考。

本书内容的选材和安排,以我国现实情况为主,适当选用了一些对我国有一定参考价值的国外资料。

本书修订工作的分工如下:上册第一、二、三和七章:施燮钧,第四、五和六章:王蒙聚,第八章:肖作善,上册由施燮钧统稿;下册第十五章:施燮钧,第十六章:王蒙聚,其余各章均由肖作善修订,并由肖作善统稿。

本书第一版部分章节是由杨炳坤同志编写的。在修订第二版的过程中,陈绍炎、钱达中、黄锦松、赵连璞等校内外诸同志曾对一些章节提出了可贵的意见。这次第三版经窦照英同志全文审阅,他提供了许多宝贵的建议。作者谨对上列同志表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中一定尚有错漏和欠妥之处,诚恳希望读者批评指正。

作者写于武汉水利电力大学

1994年12月

153848

0898

热 力 发 电 厂 水 处 理

下 册

第 三 版

武汉水利电力大学
肖作善 施燮钧 王蒙聚



中国电力出版社

目 录

前 言

绪论	1
第一节 水在热电厂中的作用	1
第二节 热电厂中水处理的重要性	4
第一章 水质概述	7
第一节 常用化学名词概述	7
一、溶液 (7) 二、溶液中溶质的含量 (8) 三、质量作用定律和化学平衡 (12) 四、电离 (14) 五、水的电离, pH 值 (15) 六、溶度积 (18) 七、活度 (20)	
第二节 天然水中的杂质	22
一、悬浮物 (22) 二、胶体 (23) 三、溶解物质 (23)	
第三节 水质指标	27
一、悬浮物 (28) 二、溶解盐类 (29) 三、硬度 (31) 四、碱度和酸度 (33) 五、有机物和耗氧量 (34)	
第四节 天然水中几种主要化合物	35
一、碳酸化合物 (35) 二、硅酸化合物 (38) 三、铁的化合物 (40) 四、氮的化合物 (41)	
第五节 天然水的特点	41
一、按主要水质指标分类 (42) 二、按水处理工艺学分类 (43)	
第二章 水的沉淀处理	46
第一节 胶体化学基础	46
一、胶体的稳定性 (46) 二、胶体的亲水性与憎水性 (47) 三、胶体的双电层结构 (47) 四、胶体的电位 (49) 五、胶体颗粒间的作用力 (50) 六、胶体的脱稳 (51)	
第二节 水的混凝处理	53
一、概述 (53) 二、影响混凝效果的因素 (55) 三、混	

凝剂 (60) 四、有机高分子絮凝剂 (66) 五、混凝

试验 (68)

第三节 水的沉淀软化 71

一、沉淀软化原理 (71) 二、石灰处理 (71) 三、其他沉淀
软化处理 (81)

第四节 沉降原理 83

一、悬浮颗粒的絮凝性 (83) 二、离散沉降 (83)
三、絮凝沉降 (84) 四、层状沉降 (84)

第五节 沉淀处理设备 85

一、平流式沉淀池 (卧式沉淀池) (85) 二、斜管和斜板式沉淀
池 (89) 三、泥渣悬浮式澄清池 (91) 四、泥渣循环式澄清
池 (97) 五、澄清池的运行 (106) 六、澄清池的改进 (112)

第六节 沉淀处理系统和附属设备 113

一、沉淀处理系统 (113) 二、加药设备 (114) 三、混
合器 (118) 四、反应器 (120)

第三章 水的过滤处理 121

第一节 水的过滤过程 121

一、过滤原理 (121) 二、过滤过程中的水头损失 (123)
三、滤料 (125) 四、过滤工艺 (128) 五、滤池的维护 (133)

第二节 过滤器 135

一、普通过滤器 (135) 二、双流式过滤器 (139) 三、多
层滤料过滤器 (140)

第三节 滤池 142

一、无阀滤池 (143) 二、单阀和双阀滤池 (149) 三、虹
吸滤池 (150)

第四节 其他过滤方式 152

一、混凝过滤 (152) 二、变孔径过滤 (155) 三、纤维
过滤 (156) 四、吸附过滤 (158) 五、循环清洗高速过滤 (160)

第四章 离子交换的基本知识 162

第一节 离子交换剂的结构 164

一、磺化煤 (164) 二、离子交换树脂 (165)

第二节 离子交换树脂的命名 170

一、全称 (170)	二、型号 (171)	
第三节	离子交换原理	172
第四节	离子交换树脂的性能	173
一、物理性能 (174)	二、化学性能 (178)	
第五节	离子交换平衡	181
一、平衡常数 (181)	二、选择性系数 (182)	三、平衡
计算 (183)	四、选择性顺序 (186)	
第六节	离子交换速度	187
第五章	水的阳离子交换处理	192
第一节	固定床离子交换的原理	193
一、水中阳离子只有 Ca^{2+} 和 Na^+ 离子交换剂的交换 (193)		
二、水中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Na^+ 时和 H^+ 离子交换剂的交		
换 (196)		
第二节	离子交换软化和除碱	197
一、软化 (197)	二、软化和除碱 (200)	
第三节	固定床离子交换	209
一、顺流式 (209)	二、逆流再生式 (219)	三、分流再
生式 (225)	四、浮动床式 (226)	五、清洗床 (233)
第四节	连续床离子交换	233
一、移动床 (233)	二、流动床 (236)	
第五节	离子交换的辅助设备	238
一、喷射器输送系统 (238)	二、泵输送系统 (238)	
第六章	水的离子交换除盐	240
第一节	阴离子交换树脂的工艺性能	240
一、强碱性阴树脂的工艺性能 (241)	二、弱碱性阴树脂的工	
艺性能 (245)		
第二节	一级复床除盐	246
一、原理 (247)	二、运行 (247)	三、监督 (249)
第三节	混合床除盐	251
一、原理 (252)	二、固定床式混合床 (253)	
第四节	各种离子交换除盐系统	260
一、主系统 (260)	二、再生系统 (264)	

第五节 提高离子交换除盐经济性的措施	266
一、碱液加热 (267) 二、应用强碱性浮动床时改进操作条件 (267) 三、增设弱酸、弱碱性离子交换器和采用双层床交换器 (269) 四、采用对流再生式和前置式交换器 (271) 五、提高淡化高含盐水的经济性措施 (272) 六、回收废再生液和清洗水及其处理 (275)	
第六节 新离子交换树脂的处理和贮存	280
一、新树脂的处理 (280) 二、树脂的贮存 (281) 三、树脂的鉴别和分离 (281)	
第七节 树脂的变质和污染	284
一、变质 (284) 二、污染 (286)	
第八节 设备的防腐蚀	294
一、橡胶衬里 (294) 二、环氧树脂涂料 (295) 三、玻璃钢 (296) 四、聚氯乙烯塑料 (296) 五、工程塑料 (297) 六、不锈钢 (298)	
第七章 水的其他除盐方法	300
第一节 蒸馏	300
一、蒸发器的结构 (300) 二、蒸发器出力与其级数的关系 (302) 三、蒸发器的水质和经济性 (303)	
第二节 闪蒸	304
一、闪蒸的特点 (304) 二、闪蒸装置的结构 (306) 三、闪蒸装置的水质和经济性 (307)	
第三节 电渗析	308
一、电渗析原理 (308) 二、离子交换膜 (312) 三、电极材料 (315) 四、电渗析器的结构 (316) 五、电渗析器的技术性能 (319) 六、电渗析器运行中的一些技术问题 (321)	
第四节 反渗透	328
一、反渗透原理 (328) 二、半透膜 (328) 三、反渗透水处理装置 (331) 四、应用反渗透器的注意事项 (334)	
第八章 凝结水的处理	337
第一节 凝结水的污染	337
一、凝汽器的漏水 (337) 二、沾染金属腐蚀产物 (339)	

第二节 凝结水处理系统	340
一、凝结水处理流程 (340) 二、凝结水处理设备的连接 (340)	
三、凝结水处理设备的布置 (342)	
第三节 凝结水的过滤	342
一、覆盖过滤器 (342) 二、离子交换树脂粉覆盖过滤器 (347)	
三、磁力过滤器 (349) 四、管式微孔过滤器 (353)	
五、氢型阳床 (355)	
第四节 凝结水的除盐混床	355
一、高速混床所用的离子交换树脂 (355) 二、高速混床的结构特点 (356)	
三、高速混床的运行特性 (358) 四、高速混床的体外再生工艺 (359)	
五、 NH_4OH 型混合床 (364)	
第五节 凝结水除盐的新工艺	367
附录 I 水分析结果的审核	370
一、阳离子和阴离子的含量 (370) 二、蒸发残渣 (372)	
三、灼烧残渣和有机物 (372) 四、碱度 (373) 五、硬度 (374)	
六、pH 值 (374)	
附录 II 离子交换树脂的性能试验	381
一、样品的预处理 (381) 二、全交换容量的测定 (382)	
三、密度的测定 (384) 四、酸碱性的测定 (384)	
附录 III 某些国产离子交换树脂的主要性能	388
附录 IV 电力系统水处理设备主要尺寸	396
一、澄清设备——机械搅拌澄清池 (396) 二、过滤器 (396)	
三、离子交换器 (397)	
附录 V 常用药剂的性能	399
附录 VI 常用元素的相对原子质量	403
附录 VII 某些难溶物质的溶度积和溶解度	404
附录 VIII 常用溶液的密度	405
一、硫酸溶液的密度 (20℃) (405) 二、盐酸溶液的密度 (20℃) (406)	
三、氢氧化钠溶液的密度 (20℃) (406)	
四、氯化钠溶液的密度 (20℃) (407) 五、石灰乳的密度 (20℃) (407)	
六、氨水的密度 (20℃) (408)	
七、其他一些盐类水溶液的密度 (409)	
附录 IX 有关单位的换算	410

附录 X 常用符号字母表	412
一、汉语拼音字母 (412) 二、拉丁字母 (412)	
三、希腊字母 (413)	
参考文献	414

目 录

第九章 给水系统金属的腐蚀及其防止	415
第一节 金属的电化学腐蚀	415
一、电化学腐蚀概论 (416) 二、影响电化学腐蚀的因素 (423)	
三、防止金属电化学腐蚀的方法 (427)	
第二节 给水系统金属的腐蚀	428
一、溶解氧腐蚀 (428) 二、游离二氧化碳的腐蚀 (432)	
三、同时有溶解氧和游离二氧化碳的腐蚀 (433)	
第三节 给水系统金属腐蚀的防止	436
一、给水热力除氧 (437) 二、给水化学除氧 (448) 三、给水 pH 值的调节 (459) 四、给水氧化性水化学工况 (466)	
第十章 汽包锅炉水汽系统的腐蚀、结垢及其防止	470
第一节 水汽系统的腐蚀及其防止	470
一、氧腐蚀 (471) 二、沉积物下腐蚀 (472) 三、水蒸气腐蚀 (478)	
四、应力腐蚀 (479)	
第二节 水垢和水渣	484
一、水垢的特性 (484) 二、水渣的特性 (486)	
第三节 水垢的形成及其防止	487
一、钙、镁水垢 (487) 二、硅酸盐水垢 (490) 三、氧化铁垢 (491)	
四、铜垢 (494)	
第四节 易溶盐“隐藏”现象	496
一、发生的原因 (496) 二、危害 (498)	
第五节 锅炉水的磷酸盐处理	499
一、磷酸盐防垢处理 (499) 二、协调 pH-磷酸盐处理 (505)	
第六节 锅炉割管检查结垢、腐蚀状况的方法	513
一、割取管样的方法 (513) 二、检查管样上沉积物量的方法 (514)	
第十一章 汽包锅炉的蒸汽污染、积盐及其防止	516
第一节 蒸汽的污染	516

一、过热蒸汽的污染 (516)	二、饱和蒸汽的污染 (517)	
三、饱和蒸汽带水的影响因素 (518)	四、饱和蒸汽溶解携带的基本规律 (525)	
第二节 蒸汽流程中的盐类沉积物		530
一、过热器内的盐类沉积物 (530)	二、汽轮机内的盐类沉积物 (533)	
三、过热器和汽轮机内盐类沉积物的清除 (538)		
第三节 获得清洁蒸汽的方法		541
一、减少进入锅炉水中的杂质 (541)	二、锅炉排污 (541)	
三、汽包内部装置 (547)	四、调整锅炉的运行工况 (557)	
第十二章 汽包锅炉的水质、汽质监督		558
第一节 水质、汽质标准		558
一、蒸汽 (558)	二、锅炉水 (560)	三、给水 (561)
四、给水的各组成部分 (564)		
第二节 水、汽的取样方法		566
一、水的取样 (566)	二、蒸汽的取样 (568)	三、水汽取样分析装置 (572)
第三节 水质、汽质劣化时的处理		575
第四节 汽包锅炉的热化学试验		580
一、热化学试验的目的 (580)	二、热化学试验的准备工作 (581)	
三、热化学试验的方法 (584)	四、热化学试验结果的整理 (589)	
第五节 凝汽器漏水率的测定方法		590
第十三章 直流锅炉的水质		592
第一节 直流锅炉水汽系统概述		592
一、工作原理 (592)	二、结构特点 (593)	三、水质的重要性 (596)
第二节 直流锅炉对给水水质的要求		597
一、杂质在过热蒸汽中的溶解度 (597)	二、杂质在直流锅炉内的沉积特性 (600)	三、杂质在直流锅炉中的沉积部位 (605)
四、影响杂质沉积过程的因素 (607)	五、直流锅炉的给水水质标准 (609)	
第三节 直流锅炉水处理的特点		611
一、水质处理 (611)	二、水汽系统的清洗 (612)	
第四节 直流锅炉启动时的水洗		613
一、冷态清洗 (613)	二、热态清洗 (615)	
第五节 直流锅炉的热化学试验		616

一、目的 (616) 二、准备工作 (617) 三、试验方法 (618)

第十四章 锅炉的化学清洗和停用保护	620
第一节 锅炉的化学清洗	620
一、新建锅炉化学清洗的必要性 (620) 二、运行锅炉化学清洗期的确定 (621) 三、化学清洗的范围 (622) 四、化学清洗所用的药品 (623) 五、化学清洗方案的制定 (636) 六、化学清洗的准备工作 (643) 七、化学清洗的步骤 (645) 八、化学清洗废液的处理 (650) 九、化学清洗后的处置 (651)	
第二节 锅炉的停用保护	652
一、停用保护的必要性 (652) 二、停用保护的方法 (654)	
三、选择停用保护方法的原则 (659)	
第十五章 冷却水处理	660
第一节 污泥的形成及其防止	661
一、冷却水中的悬浮物 (661) 二、微生物的滋长 (661)	
三、杀菌处理 (663)	
第二节 凝汽器铜管内结垢及其防止	671
一、循环水的浓缩 (671) 二、水质净化 (676) 三、水质调整处理 (678)	
四、阻垢处理 (687) 五、阻垢水处理工艺 (693)	
第三节 凝汽器铜管内生成附着物的判断	698
一、生成附着物的象征 (699) 二、由水质来判断结垢 (699)	
三、循环水处理的模拟试验 (705)	
第四节 凝汽器铜管的清洗	707
一、海绵球自动清洗 (707) 二、化学清洗 (709)	
第五节 凝汽器铜管冷却水侧的腐蚀及其防止	713
一、腐蚀形式 (713) 二、铜管材料及其选择 (718)	
三、腐蚀的防止 (720)	
第十六章 水处理系统设计	726
第一节 水处理方案的选择	726
一、原始资料 (726) 二、锅炉补给水水质 (727)	
三、水处理方案选择 (730)	
第二节 水处理系统的工艺计算	731
一、出力 (731) 二、离子交换设备 (732) 三、除碳器 (739)	

四、酸碱系统 (743)	五、各种水箱 (745)	六、水流阻力 (745)
第三节 水处理系统工艺计算例题	750	
一、原始资料 (750)	二、水处理系统的选择和工艺计算 (751)	
附录 XI 真空除气器和水力喷射器的计算	769	
一、真空除气器的计算 (769)	二、水力喷射器的计算 (774)	
参考文献	781	

绪 论

第一节 水在热电厂中的作用

热力发电就是利用热能转变为机械能进行发电。现在我国用得比较普遍的热能来自各种燃料的化学能，此种发电称为火力发电。本书以火力发电为主，对其用水质量的处理加以探讨。

在火力发电厂中，水进入锅炉后，吸收燃料（煤、油或天然气）燃烧放出的热能，转变成蒸汽，导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能转变成机械能；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的要求，而且机组中蒸汽的参数愈高，对其要求也愈严。目前我国制造的锅炉、汽轮机机组的蒸汽参数和其容量如表 0-1 所示。

表 0-1 发电厂机组的容量和蒸汽参数

名 称	额定功率 (MW)	蒸 汽 参 数			
		锅 炉		汽 轮 机	
		汽压 (MPa)	汽温 (℃)	汽压 (MPa)	汽温 (℃)
中压机组	6, 12, 25	3.9	450	3.43	435
高压机组	50, 100	9.81	540	8.82	535
超高压机组	125	13.23	555	12.23	550
	200	13.73	540	12.74	535
亚临界压力机组	300	16.68	555	16.17	550
		18.27	541	16.66	537
	600	18.27	541	16.66	537

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，在这里它被冷却成凝结水，此凝结水经泵送到低压加热器，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后进入锅炉。图 0-1 所示就是这类发电厂水汽系统的主要流程。

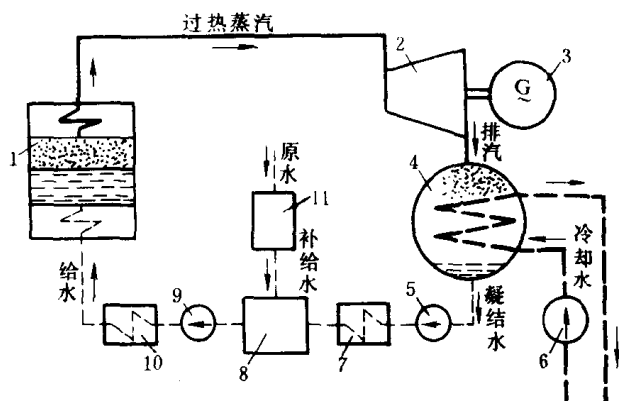


图 0-1 凝汽式发电厂水汽循环系统主要流程

- 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

在上述系统中，汽水的流动虽呈循环状，但这是主流，并非全部，在实际运行中总不免有些损失。造成汽水损失的主要原因有如下几个方面：

(1) 锅炉部分。锅炉的排污放水，锅炉安全门和过热器放汽门的向外排汽，用蒸汽推动附属机械（如气动给水泵），蒸汽吹灰和燃烧液体燃料（如油等）时采用蒸汽雾化法等，都要造成汽水损失。

(2) 汽轮机机组。汽轮机的轴封处要连续向外排汽，在抽气器和除氧器排气口处会随空气排出一些蒸汽，造成损失。

(3) 各种水箱。各种水箱（如疏水箱等）有溢流和热水的蒸发等损失。

(4) 管道系统。各管道系统法兰盘连接处不严密和阀门漏泄

等原因，也会造成汽水损失。

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。凝汽式发电厂在正常运行情况下，补给水量不超过锅炉额定蒸发量的 $2\% \sim 4\%$ 。例如额定蒸发量每小时为 100t 蒸汽的锅炉，其补给水量每小时不超过 $2 \sim 4\text{t}$ 。

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取暖用热水，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收回，汽水损失很大，因此在热电厂中补给水量经常比凝汽式电厂大得多。图 0-2 所示就是热电厂水汽循环系统的主要流程。

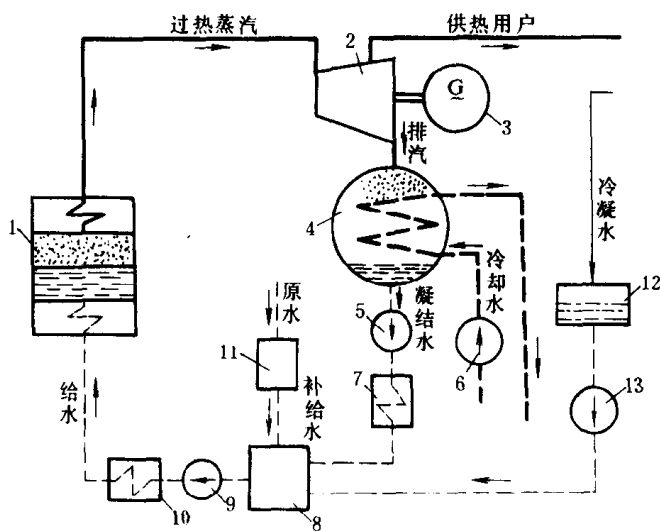


图 0-2 热电厂水汽循环系统主要流程

- 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

由于水在热力发电厂水汽循环系统中所经历的过程不同，水质常有较大的差别。因此，根据实用的需要，我们常给予这些水以不同的名称，现简述如下：