



热力发电厂水处理

上册

武汉水利电力学院电厂化学教研室编

水利电力出版社

热力发电厂水处理

上册

武汉水利电力学院电厂化学教研室編

水利电力出版社

热力发电厂水处理

上册

武汉水利电力学院电厂化学教研室编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1976年1月北京第一版

1976年1月北京第一次印刷

印数 00001—9160册 精装每册 1.70元

书号 15143·3171

内 容 提 要

《热力发电厂水处理》分上、下两册出版。上册介绍的是水的净化问题，主要内容包括：水的混凝、石灰软化和镁剂除硅等沉淀处理，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力发电厂中凝结水的净化处理，也作了详细的叙述。

本书主要供给新从事电厂水处理工作的专业人员学习，也可供有关工人和技术人员参考。

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

自然科学是人们争取自由的一种武装。

理论的基础是实践，又反过来为实践服务。

前 言

经过无产阶级文化大革命和批林批孔运动，我们伟大祖国的社会主义革命和社会主义建设，正在胜利地沿着毛主席的革命路线阔步前进。电力工业也在这样一派大好的形势下蓬勃发展。

社会主义革命是使社会生产力发展的强大推动力。近十年来，我国电力系统中，高参数、大容量的汽轮发电机组日益增多，对锅炉给水水质提出了更严格的要求。因此，水处理技术对热力发电厂的安全、经济运行，也越来越起着重要的作用。近年来，我国广大工人、革命干部和技术人员，为了适应新的形势，发扬独立自主、自力更生的革命精神，对水处理工艺和设备进行了不少革新和创造，使水处理技术有了很大的发展。

为了认真总结经验，满足电厂广大青年工人自学的迫切需要，我们组织编写了这本《热力发电厂水处理》。本书分上、下两册，上册主要讲述的是水的净化，下册主要讲述的是热力发电厂机炉系统内的水处理。为了便于从事水处理工作的工人学习，在编写时，力求内容简明易懂、实用；对于各种水处理的工艺过程，尽量从说明其物理、化学本质着眼，避免复杂的公式推导；为了在工作中参考方便，对于水处理方面常用的方法、系统、设备和数据，以及一些单位的实践经验，都作了必要的介绍，以期对从事电厂水处理工作的工程技术人员也有一定的参考价值。

本书的选材和内容安排，以我国现实情况为主，同时根据“洋为中用”的原则，也适当选用了一些对我们有一定参考价值的国外资料。

在编写过程中，得到许多电厂、电力系统的中心试验所、科研、设计和学校等单位的大力支持，给我们提供了不少宝贵意

见、经验和资料，对此我们表示衷心感谢。

由于我们学习得不够，实践经验和理论水平有限，书中一定存在不少错漏和欠妥的地方，诚恳希望读者批评指正。

武汉水利电力学院电厂化学教研室

1975年7月

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；二、浓度；三、质量作用定律和化学平衡；四、电离；	
五、活度；六、水的电离，pH值；七、溶度积	
第二节 天然水中的杂质	22
一、悬浮物；二、胶体；三、溶解物质	
第三节 水质指标	27
一、悬浮物；二、溶解盐类；三、硬度；四、碱度和酸度；	
五、水中有机物和水的耗氧量	
第四节 天然水中几种主要化合物	34
一、碳酸化合物；二、硅化合物；三、铁的化合物；四、氮的	
化合物	
第五节 天然水的特点	39
一、按主要水质指标分类；二、按水处理工艺学分类	
第二章 水的沉淀处理	45
第一节 水的混凝处理	45
一、胶体化学基础；二、混凝原理；三、影响混凝效果的因素；	
四、混凝剂和混凝辅助剂	
第二节 水的沉淀软化	63
一、沉淀软化原理；二、石灰处理；三、其它沉淀软化处理	
第三节 水的镁剂沉淀除硅	73
一、镁剂沉淀除硅原理；二、影响镁剂沉淀除硅效果的因素	
第四节 沉淀处理设备	76
一、沉淀池；二、澄清池	

第五节 加药设备	107
一、湿法加药；二、干法加药；三、乳状液加药	
第三章 水的过滤处理	119
第一节 水的过滤过程	119
一、过滤原理；二、过滤过程中的水头损失；三、滤料；四、影响过滤的因素；五、滤池的维护	
第二节 压力式过滤器	131
一、单流式过滤器；二、双流式过滤器；三、双层滤料过滤器	
第三节 滤池	137
一、无阀滤池；二、单阀滤池；三、虹吸滤池	
第四节 混凝过滤	156
一、直流混凝；二、接触混凝	
第四章 离子交换的基本知识	159
第一节 离子交换剂的结构	161
一、磺化煤；二、离子交换树脂	
第二节 离子交换的原理	167
第三节 离子交换剂的性能	169
一、物理性能；二、化学性能	
第四节 离子交换的平衡	177
第五节 离子交换的速度	179
第五章 水的离子交换处理	183
第一节 固定床离子交换的原理	184
一、水中含有 Ca^{2+} 时和 Na 离子交换剂的交换；二、水中含有 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 和 Na^{+} 时和 H 离子交换剂的交换；三、各种吸着离子在交换剂层中的分布规律	
第二节 离子交换的软化 and 除碱系统	189
一、软化；二、软化和除碱	
第三节 固定床离子交换	203
一、顺流式；二、逆流式	
第四节 连续式离子交换	223
一、移动床；二、流动床	
第五节 离子交换的辅助设备	236
一、喷射器输送系统；二、泵输送系统	

第六章 水的化学除盐	239
第一节 阴离子交换树脂的工艺特性	239
一、强碱性阴树脂的工艺特性；二、弱碱性阴树脂的工艺特性	
第二节 一级复床除盐	254
一、原理；二、运行；三、监督	
第三节 混合床除盐	261
一、原理；二、固定床式混合床；三、移动床式混合床	
第四节 各种化学除盐系统	274
一、主系统；二、再生系统	
第五节 提高化学除盐经济性的措施	280
一、碱液加热；二、增设弱酸、弱碱性离子交换器和采用双层床 交换器；三、采用逆流再生和设置前置式交换器；四、选用移动 床；五、提高淡化高含盐水的经济性措施；六、废再生液和清洗 水的回收	
第六节 新离子交换树脂的处理和贮存	293
一、新树脂的处理；二、树脂的贮存；三、树脂的鉴别和分离	
第七节 除盐设备的防腐	296
一、橡胶衬里；二、环氧树脂涂料；三、玻璃钢；四、聚氯乙烯 塑料；五、工程塑料；六、不锈钢	
第七章 水的其它除盐方法	303
第一节 蒸馏	303
一、蒸发器的结构；二、定压下水的加热过程；三、蒸发器出力 与其级数的关系；四、蒸发器的水质和经济性	
第二节 扩容蒸发	311
一、扩容蒸发器的特点；二、扩容蒸发器的结构；三、扩容蒸发 器的水质和经济性	
第三节 电渗析	317
一、电渗析原理；二、离子交换膜；三、电极反应和电极材料； 四、电渗析器的结构；五、电渗析器的技术性能；六、电渗析器 的运行方式；七、电渗析器运行中的几个问题	
第四节 反渗透	337
一、反渗透原理；二、半透膜；三、反渗透水处理装置；四、反 渗透法的除盐能力	

第八章 凝结水的净化	343
第一节 凝结水的污染	343
一、凝汽器的漏水；二、沾染金属腐蚀产物；三、热电厂返回水 夹带杂质	
第二节 凝结水的过滤	347
一、覆盖过滤器；二、磁力过滤器	
第三节 凝结水的除盐	359
一、H-OH型混合床；二、NH ₄ -OH型混合床；三、离子交换 树脂粉覆盖过滤器	
第四节 凝结水净化设备在热力系统中的布置	364
一、纤维素覆盖过滤器-混合床除盐；二、混合床除盐-电磁过滤 器；三、混合床除盐-树脂粉覆盖过滤器；四、离子交换树脂粉覆 盖过滤器	

附 录

附录 I 水分析结果的审核	367
一、阳离子和阴离子的含量；二、蒸发残渣；三、灼烧残渣和有机 物；四、碱度；五、硬度；六、pH值	
附录 II 离子交换树脂的性能试验	377
一、样品的预处理；二、全交换容量的测定；三、密度的测定； 四、酸碱性的测定	
附录 III 水处理中常用的国产离子交换树脂的主要性能	384
附录 IV 国产离子交换器的技术数据	387
一、某厂生产的Na离子交换器；二、某厂生产的阴、阳离子交换 器；三、某厂生产的混合床离子交换器	
附录 V 常用药剂的性能	392
附录 VI 常用元素的原子量和当量	395
附录 VII 某些难溶物质的溶度积和溶解度	396
附录 VIII 常用溶液的密度	397
一、硫酸溶液的密度(20°C)；二、盐酸溶液的密度(20°C)；三、 氢氧化钠溶液的密度(20°C)；四、氯化钠溶液的密度(20°C)；五、 石灰乳的密度(20°C)；六、氨水的密度(20°C)；七、其它一些盐 类水溶液的密度(克/厘米 ³)	

附录Ⅳ 有关单位的换算	402
一、硬度单位的换算；二、重量单位的换算；三、体积、容积单 位的换算；四、压力单位的换算；五、流量单位的换算；六、速 度单位的换算；七、筛目表	
附录Ⅴ 钢管水力计算表	406
一、钢管(水、煤气管)的1000 <i>δ</i> 和 <i>v</i> 值；二、钢管 <i>d_G</i> =125~350 毫米的1000 <i>δ</i> 和 <i>v</i> 值	
附录Ⅵ 常用符号字母表	433
一、汉语拼音字母；二、拉丁字母；三、希腊字母	

绪 论

第一节 水在热电厂中的作用

热力发电是利用热能转变为机械能进行发电的，在我国用得比较普遍的是利用各种燃料的化学能转变为热能发电。本书以火力发电为主，对其用水质量的处理加以探讨。

在这种热电厂中，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，发电机将机械能转变成电能，送至电网。所以锅炉和汽轮机属于热电厂的主要设备，为了保证它们正常的运行，对锅炉用水的质量有很严的要求。而且这些机组的蒸汽参数愈高，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 发电厂机组的蒸汽参数和容量

名 称	汽 压 (大气压●)		汽 温 (°C)		机 组 容 量 的大致范围
	锅 炉	汽 轮 机	锅 炉	汽 轮 机	
低温低压机组	14	13	350	340	1500~3000千瓦机组
中温中压机组	40	35	450	435	6000~5万千瓦机组
高温高压机组	100	90	540	535	2.5~10万千瓦机组
超高压机组	140	135	540	535	12.5~20万千瓦机组
亚临界压力机组	170	165	570	565	30万千瓦机组

● 本书所用的大气压均为工程大气压，1工程大气压等于1公斤/厘米²。

蒸汽经汽轮机后进入凝汽器，被冷却成凝结水，又由凝结水

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后进入锅炉。图 0-1 所示的就是这类凝汽式发电厂水汽循环系统的主要流程。

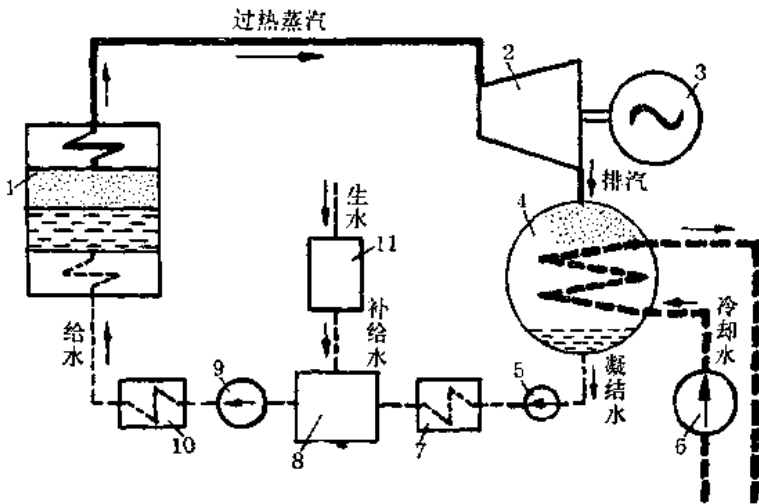


图 0-1 凝汽式发电厂水汽循环系统主要流程

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，汽水虽是循环运行的，但总不免有些损失。造成这些汽水损失的主要原因，有如下几点：

(1) 锅炉部分。由于锅炉的排污放水，锅炉有时要打开安全门和过热器放汽门向外排汽，用蒸汽推动附属机械（如汽动给水泵），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也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结不严密和阀门漏泄

等原因，也会造成汽水损失。

为了维持发电厂热力系统的正常水汽循环运行，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2~4%。例如额定蒸发量每小时为100吨蒸汽的锅炉，其补给水量每小时不超过2~4吨。

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，往往使送出的蒸汽大部分不能收回，造成很大的汽水损失，所以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。

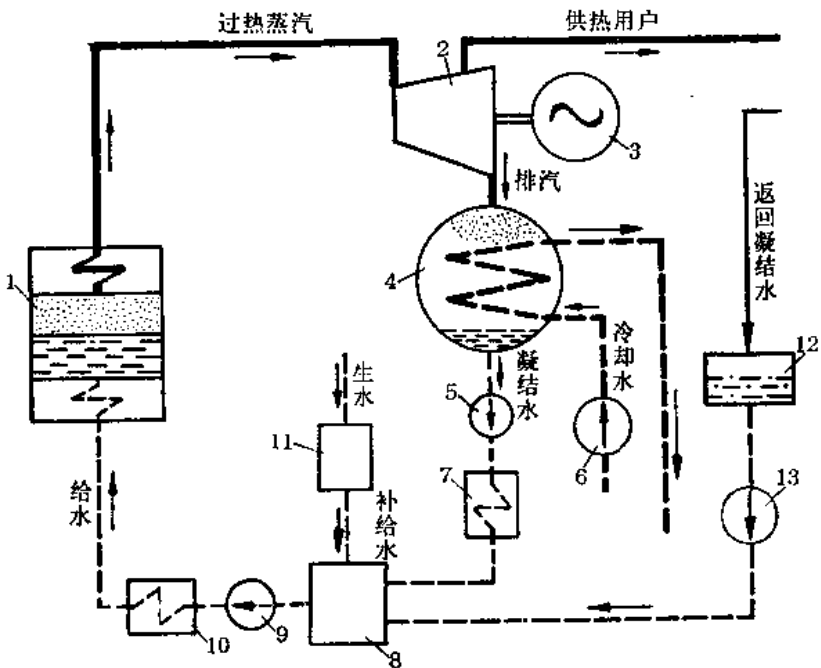


图 0-2 热电厂水汽循环系统主要流程

- 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，其水质常有较大的差别。所以，根据实际上的需要，我们常给予这些水以不同的名称，现简述如下：

(1) 生水。生水是未经任何处理的天然水（如江河、湖、地下水等等）。在热力发电厂中生水是制取补给水的原料，或用来冷却转动机械的轴承，以及作为消防用水等。

(2) 锅炉补给水。生水经过各种方法净化处理后，用来补充热力发电厂汽水损失的水，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、蒸馏水和除盐水等。

(3) 汽轮机凝结水。在汽轮机中作功后的蒸汽经冷凝成的水，称为汽轮机凝结水。

(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。热力发电厂中疏水系统往往比较复杂，在图 0-1 和图 0-2 中为了说明水汽循环的主要系统，所以没把它表示出来。

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

(6) 给水。送进锅炉的水称为给水。凝汽式发电厂的给水，主要由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成。热电厂的给水组成中，还包括返回凝结水。

(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，简称炉水。

(8) 冷却水。作为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。

第二节 热力发电厂中水处理的重要性

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，其中含有许多杂质，这种水是不允许进入水汽循环系统的。为了保证热力系统中有良好的水质，必须对水进行正确的净化处理和严格地监督汽水质量。

现将热力发电厂中，由于汽品质不良而引起的危害，简述如下：

(1) 热力设备结垢。如果进入锅炉或其它热交换器的水质不良，则经过一段时间运行后，在和水接触的受热面上，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。结垢对锅炉（或热交换器）的安全、经济运行有很大危害。这是因为水垢的导热性能比金属差几百倍，而这些水垢又易于生成在热负荷很高的锅炉炉管中。此时会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。结垢不仅危害到安全运行，而且还会大大降低发电厂的经济性。例如，热力发电厂锅炉的省煤器中，结有1毫米厚的水垢时，其燃料用量就比原来的多消耗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，所以燃料的消耗率虽只有微小的增加，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降低，从而使汽轮机的热效率和出力下降。加热器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，热力设备结垢以后还必须及时进行清洗工作，这就要停止运行，减少了设备的年利用小时数，此外，还要增加检修的工作量和检修费用等。

(2) 热力设备的腐蚀。发电厂热力设备的金属经常和水接触，若水质不良，则会引起金属的腐蚀。热力发电厂的给水管道、各种加热器、锅炉的省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等，都会因水质不良而引起腐蚀。腐蚀不仅要缩短设备本身的使用期限，造成经济损失，同时还由于金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，从而又加剧在高热负荷受热面上的结垢过程，而结成的垢转而又会促进锅炉炉管的腐蚀。此种恶性循环，