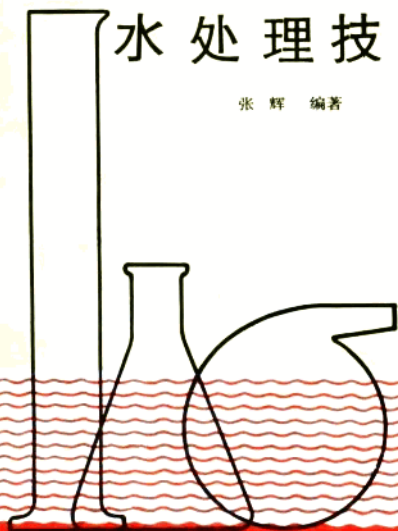


工业锅炉

水处理技术

张辉 编著



机械工业出版社

工业锅炉
水处理技术
张 辉 编著

•
城工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

沈阳市第五印刷厂印刷

•
开本787×1092 1/32 ·印张12 ·字数 260 千字
1986年6月北京第一版·1986年6月第一次印刷
印数 00,001—20,000 ·定价2.80元

•
统一书号 15033·673711

前 言

锅炉水处理工作,对确保锅炉安全经济运行,大力节约能源有着重要的意义,因此它是一项重要的技术基础工作。如果锅炉给水没有经过处理或处理不当,就会造成锅炉结生水垢、腐蚀、恶化蒸气品质,不但会缩短锅炉的使用寿命、浪费燃料,甚至于会造成人身、设备事故。

目前,我国有30多万台锅炉,每年消耗煤炭2亿多吨,因为水垢烧损的锅炉就有上千台,浪费煤炭数百万吨,因为锅炉没有搞水处理或水处理不好,造成的锅炉事故,占锅炉事故总数的30%以上。因此,如何正确地按照国家低压锅炉水质标准(GB1576—85)的要求,做到因炉、因水、因地制宜地选择有效、经济、简便的水处理方法,已经引起了锅炉使用单位的重视,成了水处理工作者的重要任务。

为了认真地总结一些行之有效的、适合于工业锅炉水处理的理论和方法,本书以作者在国家劳动人事部和部分省、市劳动部门的水处理技术培训班的讲稿、论文和编著的书籍为基础,并参照了近年来国内出现的新技术、新经验。在编写的内容安排上,力求理论联系实际;在方法、设备的选用上,紧密地结合我国的现实条件,为水处理工作者提供了必要的、实用的技术资料。因此,本书适合于从事锅炉运行管理工作的工程技术人员和水处理运行人员在工作中参考,也可做为水处理技术培训班的教材。

在编写的过程中,曾得到了辽宁省、沈阳市计经委、劳

动人事局和沈阳市锅炉压力容器检验研究所领导的支持、指导，全国锅炉水处理服务站情报网主任许兴炜工程师、沈阳铁路局化验所主任施勋生高级工程师、沈阳市节能服务中心水质监测站常逸传工程师、温州市锅炉压力容器检验所所长陈正炎工程师、乌鲁木齐市劳动局孙必中副局长、王辉曾科长、以及水质监测站的陈俊峰副主任等同志，给予了很大的帮助，对此表示衷心地感谢。

由于实践经验和理论水平有限，本书内容如有不当之处，恳请读者批评、指正。

作者

1986年1月

目 录

第一篇 锅炉用水水质及其对锅炉的影响

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 锅炉用水的基本知识 | 1 |
| 第一节 自然界中水的资源..... | 1 |
| 第二节 自然界中水的分类..... | 5 |
| 第三节 水的性质和纯度..... | 7 |
| 第四节 水中的杂质、危害和去除方法..... | 22 |
| 第五节 锅炉用水的主要评价指标..... | 31 |
| 第六节 锅炉用水和蒸气的基本概念..... | 39 |
| 第二章 水垢的结生、种类及其危害 | 42 |
| 第一节 水垢的结生过程..... | 42 |
| 第二节 水垢的种类及其简易鉴别方法..... | 44 |
| 第三节 水垢的危害性..... | 48 |
| 第三章 水垢的化学清除法 | 53 |
| 第一节 锅炉酸洗除垢法..... | 53 |
| 第二节 锅炉碱洗除垢法..... | 72 |
| 第三节 酸洗中的废水处理..... | 73 |
| 第四章 锅炉金属的腐蚀和防止办法 | 78 |
| 第一节 腐蚀的种类和特征..... | 78 |
| 第二节 影响金属腐蚀的主要原因..... | 80 |
| 第三节 锅炉金属的苛性脆化..... | 83 |
| 第四节 防止锅炉金属腐蚀的办法..... | 86 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 第五章 蒸气的污染和防止办法 | 94 |
| 第一节 蒸气污染的过程..... | 94 |
| 第二节 气水共腾的危害..... | 95 |
| 第三节 防止气水共腾的途径..... | 96 |

第二篇 锅炉水质标准及锅炉内水处理法

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第一章 低压锅炉水质标准的制订及有关计算 | 99 |
| 第一节 低压锅炉水质标准的制订..... | 99 |
| 第二节 低压锅炉水质标准中的有关计算..... | 105 |
| 第三节 锅炉的排污..... | 115 |
| 第四节 锅炉水的化验监督与指导..... | 119 |
| 第二章 锅炉内水处理法 | 125 |
| 第一节 概述..... | 125 |
| 第二节 锅炉内水处理常用药剂的种类和性能..... | 127 |
| 第三节 锅炉内水处理常用药剂配方和用量 计算..... | 135 |
| 第四节 水处理药剂的配制与使用..... | 144 |

第三篇 锅炉外水处理法

| | |
|---------------------------|-----|
| 第一章 水的净化处理 | 148 |
| 第一节 净化处理的主要工艺流程和工作原理..... | 148 |
| 第二节 水力循环澄清池..... | 152 |
| 第三节 重力式无阀滤池..... | 158 |
| 第二章 离子交换水处理法 | 162 |
| 第一节 离子交换树脂..... | 162 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 第二节 | 离子交换树脂的使用、保管和污染后的处理 | 185 |
| 第三节 | 离子交换水处理的基本原理 | 190 |
| 第四节 | 离子交换水处理的方式和过程 | 218 |
| 第五节 | 固定床离子交换水处理设备 | 243 |
| 第六节 | 连续式离子交换水处理设备 | 270 |
| 第七节 | 脱气塔及其再生设备 | 282 |
| 第三章 | 其他水处理法 | 294 |
| 第一节 | 水中铁、锰的去除 | 294 |
| 第二节 | 水的沉淀软化法 | 298 |
| 第三节 | 电渗析水处理法 | 301 |

第四篇 化验方法与药品配制

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 第一章 | 低压锅炉水质标准中主要指标的化验方法 | 316 |
| 第一节 | 悬浮物的测定 | 316 |
| 第二节 | 溶解固形物(蒸发残渣)的测定 | 317 |
| 第三节 | 氯离子(Cl^-)的测定 | 318 |
| 第四节 | pH值的测定 | 321 |
| 第五节 | 总碱度($A_{\text{总}}$)的测定 | 321 |
| 第六节 | 总硬度($H_{\text{总}}$)的测定 | 324 |
| 第七节 | 钙、镁离子的测定 | 327 |
| 第八节 | 溶解氧的测定 | 329 |
| 第九节 | 磷酸根的测定 | 332 |
| 第十节 | 含油量的测定 | 333 |
| 第十一节 | 亚硫酸盐的测定 | 334 |
| 第二章 | 有关溶液的配制和标定方法 | 336 |

| | |
|----------------|-----|
| 第一节 溶液的配制 | 336 |
| 第二节 标准溶液的配制与标定 | 339 |

附录

| | |
|--------------------------------|-----|
| 一、辽宁省企业标准 (辽Q1920—85) 缓蚀 | |
| 盐酸清除低压锅炉水垢技术标准 | 342 |
| 二、常用元素原子量 (1962) | 356 |
| 三、常用化合物的分子量和当量 | 357 |
| 四、水的主要理化常数 | 358 |
| 五、几种离子的毫克/升与毫克当量/升换算表 | 359 |
| 六、不同水质的水处理方法参考表 | 360 |
| 七、20°/4℃时盐酸溶液的浓度 | 361 |
| 八、20°/4℃时硫酸溶液的浓度 | 362 |
| 九、20°/4℃时氢氧化钠溶液的浓度 | 364 |
| 十、20°/4℃时氯化钠溶液的浓度 | 365 |
| 十一、各种硬度单位的换算表 | 365 |
| 十二、分析天然水、软化水、锅炉水的主要项目所需要的仪器和药品 | 366 |
| 十三、我国化学试剂的等级和标志 | 368 |
| 十四、蒸馏水的规格要求 | 368 |
| 十五、生活饮用水水质标准 (1976) | 369 |
| 十六、水处理常用药品在水中溶解度 | 370 |
| 十七、常用水处理药品的性质及规格 | 371 |
| 十八、国产离子交换树脂主要产品的规格性能 | 373 |
| 十九、筛目表 | 375 |
| 二十、各种单位换算表 | 375 |

第一篇 锅炉用水水质及 其对锅炉的影响

第一章 锅炉用水的基本知识

第一节 自然界中水的资源

一、自然界中水资源的分布

在自然界中，水是人类不可缺少的自然资源，与经济建设、人民生活紧密相连。水在地球上分布得最广泛的物质，仅被海、洋、江、河、湖等所覆盖的面积，约占地球表面的70%以上，总水量约为145000万立方公里，其中94%是海水。分布在陆地上的水量有8500多万立方公里（如表1—1—1），其中绝大部分是地下水，而且93%属深层地下水，矿化度较高。全世界淡水储量只有2800多万立方公里，而比较容易开发利用的，对人类生活和生产有密切关系的淡水储量约有400万立方公里，仅占地球总水量0.3%左右（如表1—1—2）。

自然界各种类型的水体都有其独特的变化规律，以河水流动性最大，是地球上水分循环中最活跃的部分，世界河床

地球上的水量分布

表 1—1—1

| 水体名称 | 水量 (立方公里) | 比例 (%) |
|------|---------------|--------|
| 海水 | 1,370,000,000 | 94 |
| 地下水 | 60,000,000 | 4.15 |
| 冰川 | 24,000,000 | 1.65 |
| 湖泊 | 230,000 | 0.016 |
| 河流 | 1,200 | 0.0001 |
| 大气水 | 14,000 | 0.001 |
| 土壤水 | 82,000 | 0.006 |
| 总计 | 1,454,327,200 | 100 |

全世界淡水储量

表 1—1—2

| 水体名称 | 水量 (立方公里) | 比例 (%) |
|-------------|------------|--------|
| 冰川 | 24,000,000 | 85 |
| 地下水 (积极交替带) | 4,000,000 | 14 |
| 淡水湖 | 125,000 | 0.44 |
| 土壤水 | 82,000 | 0.29 |
| 大气水 | 14,000 | 0.05 |
| 河水 | 1,300 | 0.005 |
| 总计 | 28,222,300 | 100 |

蓄水量为1300立方公里，而年径流量为 38150 立方公里，大约每12天就可更换一次。冰川最稳定，每年向海洋流入水量 2800立方公里，大约8600年才更换一次。

虽然淡水储量在地球总水量中所占比例很小，但从水分

循环的角度上来看，自然界水资源乃是“取之不尽，用之不竭”的宝贵财富。

二、我国的水资源

据估计全世界每年用水量为3308立方公里，约占年径流量的8.7%，其中消耗掉的近2086立方公里，这部分水量占年径流量的5.5%。

我国幅员辽阔，山高水长，河湖众多，径流资源特别丰富。据统计年径流量约为26000亿立方米，相当于全世界地表径流总量的6.8%，居世界第三位，仅次于巴西和苏联。按人口平均，每年每人可供地表径流量近3000立方米。就我国目前用水情况来看，仍然有将近80%的地表水径流入海洋。我国水资源丰富，从而为我国社会主义建设提供了极为有利的条件。

三、当前自然界中水资源开采、利用中存在的问题

1. 水资源分布不均衡

从全世界总的情况分析，自然界中水资源是能够满足人类用水要求的。但是水资源分布很不均衡，有的地区水资源非常丰富，有些地区水资源十分缺乏。如非洲的热带森林地区，每年降水量可达5000毫米，而在阿拉伯的干燥地带，降水量几乎等于零。以径流量来比较，拉丁美洲最丰富，约为世界平均水平的两倍，其次是欧洲、亚洲，而最低的是非洲，约为世界平均水平的一半。在我国也存在地表径流分布

不均衡的问题，大体上呈南多北少、东多西少的分布规律。

水资源地区分布不均衡与农田用水矛盾尤为突出。据估计目前全世界农业用水量每年约为2500立方公里，占世界总用水量的76%，是工业用水的6倍，但全世界的耕地面积中有40%处于干旱区，15%处于半干旱区。我国也是如此，50%以上的耕地面积在华北和西北地区，可是其径流量仅占全国径流量总量10%以下，而长江流域及其以南地区的径流量占全国径流总量的75%左右，而耕地面积却仅占全国耕地面积的30%。因此农业用水也存在着分布不均衡的问题。

同时，地表径流量非常不稳定，常受季节（气候）的影响，如多水年及丰水期大部分的水就白白流向大海，而少水年及枯水期却供不应求。

自然界水资源地区分布不均衡，时间变化不稳定，这是产生水资源供求矛盾的关键。

2. 水资源遭到污染

当前世界某些地区感到水源不足，供水紧张，其中既是水量问题，也是水质问题。由于水体遭到污染，不能适应生活、生产的要求，使得清洁的淡水越来越少。据不完全统计，全世界每年约有422立方公里的污水排入水体，被污染的水量竟达5500立方公里，占地表径流总量的14%以上，约为全世界总用水量的1.7倍。因此水污染是造成某些地区工业用水、生活用水紧张的主要根源。

3. 水资源的浪费

目前在水资源的利用方面，存在着很大的浪费，以生活用水为例，每日每人饮用5升水就可以维持生活，加上卫生方面的需要，一般只需40~50升水。但据统计，巴黎：450升/人·天；大阪：600升/人·天；芝加哥：820升/人·天；

美国城市平均用水量在 400~600 升/人·天，其中漏水量就达 60 升/人·天，占全部用水量的 10~15%。

工业用水浪费也大，据美国 1970 年统计，工业用水中的实际耗水量仅占用水量 1%，其余 99% 的用水均作废水排放。

综上所述，自然界水的资源从水分循环的角度来看，是能够满足人类用水需要的，但因世界水资源分布不均衡，时间变化不稳定，特别是因水质污染而降低了水源本身的使用价值，以及浪费用水等，就加剧了世界水资源的供求矛盾。以辽宁省为例，现有水资源 410 亿立方米，现有生产水平只能开采、利用 100 亿立方米，而全省实际需要量为 140 亿立方米；2000 年将达到 180 亿立方米。水资源本来就贫乏，开采水平又低，再加上盲目开采、水质污染及浪费严重，从而加剧了辽宁省用水的紧张状况。因此，为了解决水资源的开发和利用问题，应认真贯彻综合利用、全面规划的方针，积极治理“三废”，严格控制污染，合理用水，节约用水，保护水源，使我国丰富的水资源，为日益发展的工农业生产和人民生活服务。

第二节 自然界中水的分类

自然界中各种类型的水体，都有其独特的变化规律，如按其来源的不同，可以分为以下三类：

一、大气水（天空水）

大气水一般指以雨、雪、雹等状态降落的水。因为它是由水蒸气凝结而成的，是自然界中品质最好的水。但是由

于水的溶解能力很强，在蒸发与降水过程中，会吸收和溶解来自空气中的气体（如氧、氮、二氧化碳等），以及细菌、尘埃等杂质，其含量的多少，取决于空气的污染程度。一般大气水的硬度不超过0.1毫克当量/升^{*}，含盐量也不超过50毫克/升。只是由于它的来源受气象条件影响，又难以收集，所以不能直接用来做锅炉给水。

二、地表水

地表水主要是指河水、江水、湖泊水和水库水等。由于地表水是在地表面流动，溶解的矿物质较少。但是，由于冲刷、流动的结果，往往会混入大量的泥砂和有机物等杂质，使水的浑浊度较高。而且地表水的水质、水量受季节变化影响较大，如冬季时水量减少，水中泥砂等杂质含量较少，溶解的杂质含量较多；而夏季刚好相反。另外，地表水很容易遭到生活和生产排放的废水、废渣等污染。

总之，地表水的水质、水量，因受自然条件和水利资源的利用情况不同而有很大差别。就是同一条江河，除季节影响外，也常常因上游和下游、雨天和晴天，使水质有所不同，我国地表水的浑浊度从几十度到上万度；含盐量从几十毫克/升到几百毫克/升；硬度从零点几个毫克当量/升到几个毫克当量/升。我国南方很多锅炉取地表水作水源。

另外，海洋水也属于地表水，它的特点是含盐量很高。因此，海洋水不经过处理，既不能作锅炉用水，也不能作生活用水，可以说海洋水是一种特殊的地表水。

* 毫克当量 (E) = $\frac{\text{mol (摩尔)}}{n \text{ (化合价)}}$ 下同。

三、地下水

地下水主要是指井水、泉水、自流水和地面下的水。由于在水的循环过程中，水流经过地层的渗透和过滤，因此悬浮杂质含量很少，(浑浊度小)。但由于它通过土壤和岩层时，溶解了其中可溶性的杂质，因此它的含盐量比地表水高，其含盐量的多少及其成份，取决于地层的矿物成份、接触时间和水流路程的长短等。一般地下水的水质、水量比较稳定，受季节变化的影响也较小，除浅井水外，不易遭到污染。

我国地下水储量比较丰富，但水质、水量差别很大，就水质而言，其含盐量多在100~5000毫克/升之间；硬度通常在2~10毫克当量/升之间，而浑浊度只有几度到几十度，特殊的地下水也有高于上述数值的。我国北方多以地下水做为锅炉用水的水源。

第三节 水的性质和纯度

一、水的物理性质

1. 水的一般物理性质

纯水是无色、无臭、无味的液体。在4℃时密度最大，一千克纯水的体积约为一升，等于1000.027立方厘米；纯水在标准压力(1大气压=101325Pa下同)下的冰点是0℃，沸点是100℃；在所有固态和液态物质中水的比热最大，即在标准压力下，一立方厘米的水，温度升高1℃所需的热量为1卡路里(4.1868J下同)；水的溶解热为80卡路里(即1克0℃的冰融化为0℃的水所需要的热量)；在标准压力下，水的汽化热为539卡路里(即1克100℃的水，变为相同温度下的蒸气，需要539卡

路里的热量)。

2. 水的反常性

水和其他物质不同,大多数物质的体积与温度成正比,而水在 4°C 以上时,温度降低,体积缩小;但低于 4°C 时,温度降低,水的体积反而增大(即密度减小),这种现象叫做水的反常性(如表1—1—3)。

一千克水的体积及相对密度 表1—1—3

| 温度($^{\circ}\text{C}$) | 状 态 | 体积(升) | 相对密度 |
|--------------------------|-----|---------|--------|
| 0 | 冰 | 1.09 | 0.9174 |
| | 水 | 1.00013 | 0.9998 |
| 4 | 水 | 1.0 | 1.0 |
| 100 | 水 | 1.04315 | 0.9586 |
| | 蒸 气 | 1650 | 0.0006 |

3. 水的状态图

水的蒸气压和温度、冰的蒸气压和温度,以及冰的熔点和压力之间的关系,可以由水的状态图表示出来(如图1—1—1)。

图中O A线是水的蒸气压曲线,线上各点表示水和水蒸气成平衡时的温度和压力。

O B线是冰的蒸气压曲线,线上各点表示冰和水蒸气成平衡时的温度和压力。

O C线表示压力对冰的熔点影响,线上各点表示水和冰成平衡时的温度和压力。

O A、O B、O C三线交于O点,这点叫三相点。表示

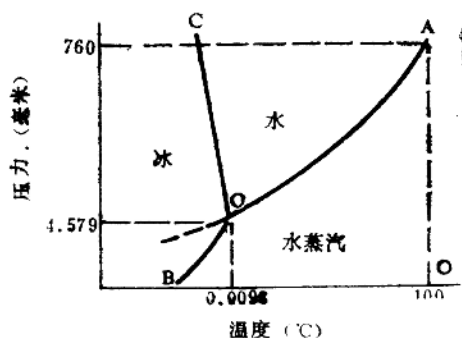


图 1—1—1 水的状态图

水、水蒸气和冰三相成平衡时的温度和压力。这点的温度是 0.0098°C ，压力是4.579毫米。曲线所分割的区域，分别表示水、水蒸气或冰单相存在时的温度和压力的范围。例如在相当于C O A区域内各点所表示的温度和压力时，水仅能呈液态存在。

4. 水的主要物理性质指标

(1) 水的色度

水是无色透明的，当水比较浅时，太阳光线几乎全部都能透过，其中光线的吸收、反射和散射都不显著，所以它是无色的；深水就不同了，它能吸收、反射和散射太阳光，因此常带有颜色。但是所谓水的色度，是指水中因混有杂质而造成的色度，如水中含有有机物质和铁盐时，可呈微黄色、棕红色和其他颜色。色度的表示方法，是过滤后的水样，与标准的铂钴等级标准色液相比较，以度数来表示。色度1度，相当于1升水中含1毫克铂。多数天然水的色度在15~25度