

121481

TK223.5
0898

高等学校教材

火力发电厂水质净化

武汉水利电力学院 施燮钧 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了火力发电厂水质净化处理的工作原理、工艺过程和设备及其运行等。内容包括：用于水质澄清的混凝、沉淀和过滤处理；用于水质软化和除盐的离子交换处理；电渗析和反渗透等膜净化技术；以及冷却水处理等。

本书为大专院校的教材，也可作为有关工程技术人员 的培训教材、自学读物和参考书。



前 言

水质净化是一种应用技术，它涉及无机化学、有机化学、物理化学、水力学、电磁学和化学工程等许多学科。对于这样一种牵涉面较广的应用技术，很难从学术上进行系统的叙述，为此，编者只能按照水净化的工艺特征，分列章节，编写这本书，希望它能有助于我国电厂水质净化的教学与科技工作。

这里，需要说明一点，本书采用的计量单位为1984年颁布的“中华人民共和国法定计量单位”。由于这种计量单位刚开始使用，所以在应用时曾遇到许多问题。本书对这些问题作了如下处理：

1. 引用文献中的非法定计量单位均已换算成法定计量单位，有时还将原有单位表达的数据附上。

2. 本书所用物质的量摩尔，除文中标明意义的以外，都是指电化摩尔质量，即其基本单元为相当于具有一个电荷的粒子。例如，硬度、碱度、含盐量、摩尔分率等的意义，分别为：

$$\text{硬度} = \left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right] + \left[\frac{1}{2} \text{Mg}^{2+} \right]$$

$$\text{碱度} = \text{滴定所用} [\text{H}^+]$$

$$\text{含盐量} = \left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right] + \left[\frac{1}{2} \text{Mg}^{2+} \right] + [\text{Na}^+] + \dots\dots$$

$$\text{Ca}^{2+}、\text{Na}^+ \text{混合液中钙离子的摩尔分率} = \frac{\left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right]}{\left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right] + [\text{Na}^+]} \quad \text{在以上各式中，符号}$$

[] 表示相应物质的量浓度。

本书第一、三、四、六、七、八、九、十、十一章由施燮钧编写，第二、五章由钱达中编写，全书由施燮钧统稿。

本书由能源部科技情报研究所宋珊卿高级工程师进行了详细的审核，并提出了许多宝贵的意见，编者谨向她表示深切的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，以至错误，敬希读者不吝赐教，以便再版时订正。

施燮钧 钱达中

写于武汉水利电力学院

一九八九年六月

目 录

前言

绪论..... 1

- 一、水在火力发电厂中的作用(1) 二、现代高参数电厂中的水质问题(1) 三、汽水品质不合格的危害性(1) 四、水处理工作者的任务(2)

第一章 水质概述..... 3

第一节 天然水中的杂质..... 3

- 一、悬浮物(3) 二、胶体(4) 三、溶解物质(4)

第二节 水质指标..... 5

- 一、色(6) 二、悬浮物与浊度(6) 三、溶解固形物(7) 四、硬度(9) 五、碱度与酸度(11) 六、有机物(12)

第三节 天然水的特征及其分类.....13

- 一、天然水特征(13) 二、天然水分类(14)

第四节 天然水中几种主要化合物的化学特性17

- 一、碳酸化合物(17) 二、硅酸化合物(21) 三、铁的化合物(23) 四、氮的化合物(23)

第五节 火力发电厂用水.....24

- 一、热力设备中汽水的流程(24) 二、火力发电厂中生产用水的分类(24)

第二章 水的混凝处理.....26

第一节 混凝处理的物理化学基础.....26

- 一、胶体的稳定性与结构(26) 二、胶体微粒间的排斥力和吸引力(28) 三、胶体的脱稳(29)

第二节 混凝处理原理.....30

- 一、金属混凝剂的水化学(30) 二、混凝过程(31)

第三节 影响混凝效果的因素.....32

- 一、pH值的影响(32) 二、混凝剂剂量(33) 三、水力条件对混凝效果的影响(34) 四、水温的影响(34) 五、水中阴离子组成的影响(34) 六、接触介质的影响(35)

第四节 电混凝.....35

- 一、电混凝基本知识(36) 二、电混凝装置的运行(37)

第五节 混凝剂和混凝辅助剂.....38

- 一、混凝剂(38) 二、有机高分子絮凝剂(39) 三、助凝剂(40)

第六节 絮凝动力学.....41

第三章 沉降和沉淀池.....43

第一节 离散沉降.....43

第二节 絮凝沉降.....46

第三节 层状沉降.....47

第四节 平流式沉淀池的结构和工作原理	50
一、结构(50) 二、离散颗粒在沉淀池中的沉降(50) 三、絮凝体在沉淀池中的沉降(52) 四、沉淀池结构的参数(52)	
第五节 沉淀池中水流的均匀性	54
一、沉淀池的容积利用系数(54) 二、水流的流态——雷诺数(55) 三、水流的稳定性——弗罗德数(56)	
第六节 平流式沉淀池的设计	56
一、沉淀池的类型(57) 二、进水与出水装置(58) 三、工艺计算(58)	
第七节 斜管、斜板式沉淀池概述	61
一、浅床式沉淀池(61) 二、斜管、斜板式沉淀池原理(62) 三、斜管、斜板式沉淀池的组成(63)	
第八节 斜板式沉淀池中沉降过程的分析和工艺计算	64
一、异向流斜板式沉淀池中沉降过程的分析(64) 二、斜板的结构对沉降效果的影响(65) 三、工艺计算(66)	
第四章 沉淀处理和澄清池	69
第一节 碳酸钙和氢氧化镁的沉淀反应	69
一、溶解度(69) 二、平衡计算(70) 三、 CaCO_3 沉淀溶解平衡的Caldwell-Lawrence计算图(71) 四、溶解度与络合反应(74)	
第二节 石灰处理	76
一、化学反应(77) 二、加药量的估算(78) 三、沉淀物的析出(82) 四、处理后的水质(83)	
第三节 澄清池概述	85
一、悬浮泥渣层的工作原理(85) 二、澄清池分类(85) 三、澄清池的组成(86) 四、澄清池的工艺特征(86) 五、澄清池的优缺点(87)	
第四节 ЦНИИ型澄清器	87
一、结构(87) 二、工作情况(89) 三、工艺参数(89)	
第五节 矩形锥底澄清池	90
一、结构(90) 二、工作情况(90) 三、工艺参数(91)	
第六节 脉冲澄清池	91
一、原理(91) 二、结构(91) 三、工作情况(91) 四、设备特点(92) 五、脉冲发生器(93) 六、工艺参数(93)	
第七节 机械搅拌澄清池	93
一、工作原理和结构(93) 二、优缺点(95) 三、工艺参数(95)	
第八节 水力循环澄清池	95
一、结构(95) 二、工作情况(95) 三、优缺点(96) 四、工艺参数(96)	
第九节 澄清池的运行	96
一、准备工作(96) 二、物料衡算(97) 三、运行要点(98) 四、监督(99) 五、调试(99)	
第十节 澄清池工艺计算举例	100
第五章 过滤	103
第一节 粒状介质过滤机理	103
第二节 过滤材料	106

一、粒度(106) 二、机械强度(108) 三、化学稳定性(108) 四、颗粒的形状(109)	
五、滤层孔隙率 ϵ (109)	
第三节 过滤过程中的水头损失	109
第四节 滤层的清洗与配水系统	111
一、过滤装置的反冲洗(111) 二、原水加氯处理(112) 三、过滤装置的配水系统(112)	
第五节 压力式过滤器	114
一、单层滤料过滤器(114) 二、双流式过滤器(115) 三、多层滤料过滤器(116)	
第六节 各种滤池	117
一、无阀滤池(117) 二、单阀滤池(119) 三、虹吸滤池(119)	
第七节 混凝过滤	120
一、直流混凝过滤(121) 二、接触混凝过滤(121) 三、变孔隙过滤(121) 四、高速双 流过滤(122)	
第八节 覆盖过滤器	122
一、原理(122) 二、结构(123) 三、运行(123)	
第九节 高梯度磁力过滤器	125
一、结构与原理(125) 二、运行(126)	
第十节 微孔过滤	126
一、高分子材料烧结滤元(127) 二、聚丙烯绕线滤元(127) 三、过氯乙烯超细纤维滤布 (127)	
第六章 离子交换概论	128
第一节 离子交换树脂	129
一、制造(129) 二、类型(132)	
第二节 离子交换原理	134
一、晶格理论(134) 二、双电层理论(134)	
第三节 离子交换树脂的物理与化学性能	135
一、物理性能(136) 二、化学性能(138)	
第四节 离子交换树脂的吸着作用	141
一、非电解质与弱电解质的吸着(141) 二、强电解质的排斥(141) 三、“位置共用”现象 (142)	
第五节 离子交换平衡	142
一、离子交换热力学(142) 二、选择性系数(143) 三、平衡计算(144) 四、选择性顺 序(147)	
第六节 离子交换动力学	149
一、速度控制步骤(149) 二、离子交换过程中的扩散(150) 三、影响膜扩散和内扩散的因 素(150) 四、简化公式(151)	
第七节 离子交换柱的工作过程	152
一、离子交换柱运行中树脂型态的转变(152) 二、用于水处理的离子交换柱中树脂的型态 (153) 三、有利平衡和不利平衡(155) 四、保护层与工作层(155)	
第七章 离子交换水处理	158
第一节 顺流式固定床软化	158
一、离子交换反应(158) 二、离子交换平衡(159) 三、床层中树脂的型态(159) 四、 设备(160) 五、运行(161) 六、二级Na离子交换(163)	

第二节 软化与除碱	164
一、强酸性H树脂的离子交换(164) 二、弱酸性H树脂的离子交换(165) 三、H-Na离子交换联合系统(166) 四、除碳器与曝气器(169)	
第三节 对流式离子交换	170
一、逆流再生(171) 二、浮床(172) 三、提升床(173) 四、清洗床(173)	
第四节 移动床式离子交换	174
一、交换塔(175) 二、再生塔(175) 三、清洗塔(175)	
第五节 复床式除盐	175
一、筒式除盐系统(176) 二、带有弱、强型树脂的多床除盐系统(179) 三、双层床和双层双室床离子交换(182)	
第六节 混床和各种除盐系统	184
一、H-OH混床(184) 二、常规除盐系统(186) 三、改良型除盐系统(186)	
第七节 离子交换树脂的污染和变质	189
一、树脂的破损和流失(189) 二、树脂的污堵(190) 三、树脂的有机物污染(192) 四、树脂的变质(194)	
第八节 水的淡化	196
一、采用热再生离子交换树脂(196) 二、碳酸氢盐法(Desal法)(198) 三、硫酸氢盐法(198)	
第八章 膜处理技术	200
第一节 反渗透概述	200
一、发展简况(200) 二、渗透与反渗透(201) 三、渗透机理(201) 四、半透膜的作用(202)	
第二节 反渗透膜	203
一、醋酸纤维素膜(203) 二、聚酰胺膜(204) 三、其他膜(204)	
第三节 反渗透设备和运行	205
一、反渗透器(205) 二、原水的预处理(206) 三、反渗透器的工作过程(208) 四、反渗透的浓差极化(209) 五、反渗透膜的清洗(210)	
第四节 超滤	210
第五节 电渗析概述	211
一、离子交换膜的选择透过性(211) 二、电渗析过程中的放电和脱盐(213)	
第六节 离子交换膜的分类和性能	214
一、物理性能(214) 二、化学性能(215) 三、电化学性能(215)	
第七节 电渗析器的结构	217
一、隔室(218) 二、隔板(218) 三、电渗析器分类(218)	
第八节 电渗析器的通电过程	219
一、极化(219) 二、极限电流(220) 三、电流效率(222) 四、电能消耗(223)	
第九节 电渗析器的运行与故障	224
一、通水(224) 二、通电(224) 三、温度(225) 四、运行中的故障(225) 五、运行改进(226)	
第九章 凝结水净化和酸、碱排放液处理	227
第一节 凝结水污染	227
一、凝汽器漏水(227) 二、金属腐蚀产物的污染(228) 三、热电厂返回水夹带杂质(228)	

第二节 凝结水净化	228
一、H-OH混床(229) 二、NH ₄ -OH混床的工作特征(230) 三、NH ₄ -OH混床的再生问题(231) 四、带丝离子净化交换器的复床除盐(234) 五、树脂床层的清洗(235) 六、阳混床系统(235) 七、离子交换树脂粉覆盖过滤器(236)	
第三节 酸、碱排放液的处理	236
一、排放液的回收和再利用(236) 二、酸液排至需酸的地方(236) 三、中和处理(237)	
第十章 冷却水处理	239
第一节 循环水中盐类的浓缩	239
一、循环水系统的水量衡算(240) 二、浓缩过程(240) 三、浓缩倍率(241) 四、药剂浓度的降低规律(242)	
第二节 碳酸钙垢的形成	243
一、极限碳酸盐硬度(243) 二、稳定度(244) 三、饱和指数(Langelier指数)(244) 四、稳定指数(Ryznar指数)(246) 五、临界pH(247)	
第三节 防止碳酸钙垢的水质处理	247
一、排污(247) 二、补充水软化(248) 三、循环水水质调整(249) 四、“零排污”系统(252)	
第四节 阻垢处理	253
一、阻垢机理(253) 二、阈限效应(threshold effect)(254) 三、阻垢剂(255)	
第五节 污泥的形成及其防止	259
一、形成污泥的原因(259) 二、冷却水受空气中灰尘的污染(259) 三、微生物的滋生(260) 四、污泥的防止(260)	
第六节 杀菌处理	261
一、氯(262) 二、漂白粉(264) 三、二氧化氯(264) 四、臭氧(265) 五、季铵盐类(265) 六、氯酚(265)	
第十一章 水处理系统设计	266
第一节 锅炉补给水处理系统的选择	266
一、设计的原始资料(266) 二、补给水水质(266) 三、软化与除盐系统的出水水质(267) 四、水处理系统的选择原则(267)	
第二节 水处理系统的工艺计算	268
一、水处理系统的出力(269) 二、离子交换设备的出力(269) 三、离子交换器设计参数(269) 四、离子交换器的工艺计算(272) 五、过滤器和澄清器的选择(273) 六、除碳器的工艺计算(273) 七、各种水箱的估算(275) 八、水流阻力的估算(276)	
第三节 水质净化的附属设备	278
一、加药设备(278) 二、再生液系统(280)	
第四节 设计例题	282
一、原始资料(282) 二、水处理系统的选择(283) 三、工艺计算(283)	

绪 论

一、水在火力发电厂中的作用

在火力发电厂的生产工艺中，水既是热力系统的工作介质，也是某些热力设备的冷却介质。当火力发电厂运行时，几乎所有的热力设备中都有水或汽在流动，所以水质的优劣，即水中是否带有某些有害杂质的问题，是影响发电厂安全经济运行的重要因素。水处理工作者的主要任务，便是改善水质或采取其他措施，以消除由于水质而引起的危害。

二、现代高参数电厂中的水质问题

人们早已从理论上证实，火力发电厂中锅炉机组的参数愈高，其热能利用率也就愈高，发电的经济性也愈好。可是，在向高参数机组发展的过程中，曾遇到过许多技术上的难题，水的净化便是其中之一。随后，在解决了这些难题后，才得以实现今日的高参数机组。

在高参数电厂中水处理问题尤为重要的原因，是与现代机组的特点有关的。这些特点为：

(1) 为了节省金属消耗量，力求达到最大的蒸汽生产率，锅炉的局部热负荷较过去的设计为高。所以，给水中含有少量杂质，就会在水冷壁管、过热器管或汽轮机上生成沉积物，从而影响设备的安全经济运行；

(2) 高温高压汽轮机中采用的合金材质，在经热处理提高强度后，对蒸汽纯度很敏感，极易引起腐蚀龟裂；

(3) 各种盐类在蒸汽中的溶解度，随着蒸汽参数的提高而有所增大。

三、汽水品质不合格的危害性

在火力发电厂中，如汽水品质不符合规定，则可能引起的危害，有以下几个方面。

1. 热力设备的结垢

如果进入锅炉的水中有易于沉积的杂质，则在它们的运行过程中会发生结垢的现象。垢的导热性比金属差几百倍，且它又极易生成在热负荷很高的部位，所以垢对锅炉的危害性很大。它可使金属壁的温度过高，引起金属强度下降，以致使锅炉的管道发生局部变形、鼓包，甚至爆管。而且，锅内的垢还会降低锅炉的热效率，从而影响发电的经济性。例如，当火电厂锅炉的省煤器中结有1 mm厚的垢时，其燃料用量将比原来的多消耗约10%。由于发电厂锅炉的容量一般都很大，所以燃料的消耗率即使只有微小的增加，也会造成巨大的经济损失。

锅炉给水中的硬度盐类是造成结垢的主要物质，而对于高参数的大型锅炉，由于给水中硬度已被全部消除，故会形成的主要是铁的沉积物。

在汽轮机凝汽器内，因冷却水水质问题而结的垢，会导致凝汽器真空度下降，汽轮机的热效率和出力降低。

最后，还必须知道，热力设备中结垢后需要清洗，这便增加了检修工作量和费用，而且使热力设备的年运行时间减少。

2. 热力设备的腐蚀

因为火力发电厂中热力设备的金属是经常和水接触的，所以还会由于水质问题而引起金属腐蚀。易于发生腐蚀的设备有给水管、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。

对于高参数热力系统的腐蚀，其特征有下列一种或几种因素的存在：有苛性水或酸性水的形成；有将杂质含量从 ppb 级或 ppm 级提高至百分数级的进程；有对腐蚀敏感的材料；有拉应力。

腐蚀不仅会缩短设备本身的使用期，而且由于金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多。其结果是这些杂质会促进炉管内的结垢过程，结成的垢转而又加剧炉管的腐蚀，形成恶性循环。如果金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中，则会因它们沉积下来而严重地影响汽轮机的安全和运行的经济性。

3. 过热器和汽轮机内积盐

水质问题还会引起锅炉产生的蒸汽不纯，而使蒸汽带出的杂质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温度过高，以至爆管；汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率。特别是高温高压的大容量汽轮机，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。当汽轮机内积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

四、水处理工作者的任务

火力发电厂水处理工作者的任务，不仅仅是为了制取水质合格的给水而从事水质净化工作，而且还应在下列各方面采取有效的措施：

- (1) 防止或减缓热力设备和系统的腐蚀；
- (2) 防止或减缓受热表面上垢或沉积物的形成；
- (3) 保证高纯度的蒸汽品质。

为了达到这些要求，从机组的设计到安装、运行和停用保养的各个阶段，都有一些工作需要水处理工作者的参与。

第一章 水质概述

第一节 天然水中的杂质

地球上有着丰富的水资源，诸如海洋、江河、湖泊、冰川以及蕴藏在地层中的地下水。但是，这些天然水都是不纯的，因为水是一种溶解能力很强的溶剂，能溶解大气中、地表面和地下岩层里的许多物质。而且，在天然水的流动过程中还常夹带有一些固体物质。所以，在工业上一般是不能直接利用天然水的，至于在火力发电厂中，由于对水质的要求很高，因此需要进行水的深度净化。

天然水中杂质的种类很多，但在一般情况下，它们都是由一些常见元素所组成的酸、碱、盐之类的化合物，只有少量是呈单质或其他复杂化合物的形态。

在水质净化工艺中，我们通常按这些杂质的分散态进行分类，因为属于同一分散体系的杂质，其处理方法常常相同。

分散体系是按分散质颗粒的大小来区分的，大致如表1-1所示。分散颗粒最大的，即颗粒半径大于 10^{-4} mm的分散体系称为悬浮液；颗粒半径在 10^{-4} 至 10^{-6} mm之间的称为胶体溶液；颗粒小于 10^{-6} mm的称为真溶液。表1-1中还列出了各类分散体系的特征及常用处理方法。

表 1-1 水中杂质的分类

粒 径 (mm)	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
分 散 体 系	真 溶 液		胶 体 溶 液		悬 浮 液				
外 观	透 明		光照下浑浊		浑 浊		肉眼可见		
观 测 工 具					显 微 镜				
	电 子 显 微 镜								
运 动 特 点			布 朗 运 动			重 力 沉 淀			
常 用 处 理 法	离子交换		超 滤		精 密 过 滤		自然沉降与过滤		
	电 渗 析								
	反 渗 透		混 凝、澄 清 与 过 滤						

根据此种分类法，天然水中的杂质可相应地分成悬浮物、胶体和溶解物质。以下介绍这些物质的概况。

一、悬浮物

悬浮物的颗粒较大，所以它们在水中是不稳定的，在重力或浮力的作用下易于分离出来。比水重的悬浮物，当水静置时或流速较慢时会下沉。在天然水中，常见的此类物质是

砂子和粘土类无机物，它们的量常占悬浮物的绝大部分。比水轻的悬浮物，在水静置时会上浮，这类物质中常见的是动植物生存过程中产生的物质或死亡后腐败的产物，它们大都是一些有机物。

二、胶体

胶体颗粒在水中有布朗运动，它们不能依靠静置的方法自水中分离出来。而且，胶体常常因表面带电，同类胶体之间有同性电荷的斥力，不易相互粘合成较大的颗粒，所以胶体的水溶液比较稳定。

胶体大都是由许多不溶于水的分子所组成的集合体，有些溶于水的高分子化合物也被看作胶体，因为它们的分子较大，具有与胶体相同的性质。在天然水中，属于前一种胶体的，主要是铁、铝和硅的化合物，是一些无机物；属于后者的是因动植物腐烂而生成的有机胶体，其中主要的是腐殖质。

三、溶解物质

天然水中的溶解物质大都呈离子或溶解气体状态，现概述于下。

1. 离子态杂质

天然水中含有离子的种类甚多，但在一般的情况下，它们总是一些常见的离子。如按含量的多少来区分，可以将这些离子归纳为表1-2中的三类。其中第I类杂质的含量常最多，是水处理过程中需要净化的主要对象。

天然水中离子态杂质来自水流经地层时溶解的某些矿物质，如石灰石(CaCO_3)和

表 1-2 天然水中溶有离子的概况

类 别	阳 离 子		阴 离 子		含 量 范 围
	名 称	符 号	名 称	符 号	
I	钙 离 子	Ca^{++}	碳酸氢根	HCO_3^-	自几个mg/L至几万mg/L
	镁 离 子	Mg^{++}	氯 离 子	Cl^-	
	钠 离 子	Na^+	硫酸根	SO_4^{--}	
	钾 离 子	K^+			
II	铁 离 子	Fe^{++}	氟 离 子	F^-	自十分之几mg/L至几个mg/L
	锰 离 子	Mn^{++}	硝酸根	NO_3^-	
	铵 离 子	NH_4^+	碳酸根	CO_3^{--}	
III	铜 离 子	Cu^{++}	硫氢酸根	HS^-	小于十分之一mg/L
	锌 离 子	Zn^{++}	硼 酸 根	BO_3^-	
	镍 离 子	Ni^{++}	亚硝酸根	NO_2^-	
	钴 离 子	Co^{++}	溴 离 子	Br^-	
	铝 离 子	Al^{++}	碘 离 子	I^-	
			磷酸氢根	HPO_4^{--}	
			磷酸二氢根	H_2PO_4^-	

石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。 CaCO_3 在水中的溶解度虽然很小,但当水中含有游离 CO_2 时 CaCO_3 被转化为较易溶的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 而溶于水中,其反应为



又如白云石 ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) 和菱镁矿 (MgCO_3), 也会被含游离 CO_2 的水溶解, 其中 MgCO_3 的反应可表示为



2. 溶解气体

天然水中常见的溶解气体为氧 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2), 有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。

在不同温度下, 当与水接触的气体中 O_2 、 CO_2 和 H_2S 的分压为 0.101MPa (1 大气压) 时, 它们在水中的溶解度见表 1-3。

表 1-3 CO_2 、 O_2 和 H_2S 在水中的溶解度 (mg/L)

温度 (°C)	CO_2	O_2	H_2S	温度 (°C)	CO_2	O_2	H_2S
0	3350	69.5	7070	30	1260	35.9	2980
5	2770	60.7	6000	40	970	30.8	2360
10	2310	53.7	5110	50	760	26.6	1780
15	1970	48.0	4410	60	580	22.8	1480
20	1690	43.4	3850	80		13.8	765
25	1450	39.3	3380	100		0	0

注 CO_2 、 O_2 和 H_2S 的分压为 0.101MPa。

天然水中 O_2 的主要来源是大气中 O_2 的溶解, 所以地下水的氧含量一般较少, 因为它们不与大气相接触。至于地表水氧含量, 因来源的不同而有较大的差别, 因为各地的水温和气压不同, 而且, 水中有机物可与氧化合, 从而消耗水中的氧。天然水的氧含量一般在 0~14mg/L 之间。

天然水中 CO_2 的主要来源为水中或泥土中有机物的分解和氧化, 也有因地层深处进行的地质化学过程而生成的。

各种天然水中 CO_2 有很大差别, 可自每升不足 1mg 至几百毫克。地表水的 CO_2 含量常不超过 20~30mg/L, 地下水的 CO_2 含量有时可达很高。

天然水中 CO_2 并非来自大气, 而恰好相反, 它会向大气中析出, 因为大气中 CO_2 只占 0.03%~0.04% (体积百分率), 与之相应的溶解度仅为 0.5~1mg/L。天然水中 CO_2 还会消耗于与碳酸盐岩石相反应和植物的光合作用。

第二节 水质指标

在各种工业生产过程中, 由于水的用途不同, 对水质的要求以及采用的水质指标都可能不一样。水质指标有两种, 一种表示水中杂质的离子组成, 此种指标的意义非常明确, 这里不赘言。另一种指标不代表某种纯物质, 而是表示某些化合物之和或表征水溶液的某

种性能。这些指标是由于技术上的需要而专门拟定的，故称为技术指标，表1-4 所列的 为火力发电厂净水工艺中常用的技术指标。

表 1-4 水 的 技 术 指 标

指 标 名 称	符 号	单 位	指 标 名 称	符 号	单 位
色		度	酸 度	A	mmol/L
悬 浮 物		mg/L	硬 度	H	mmol/L
浊 度		mg/LSiO ₂ (度)	碳酸盐硬度	H _T	mmol/L
透 明 度		cm	非碳酸盐硬度	H _F	mmol/L
溶解固形物	DS	mg/L	耗 氧 量		mg/LO ₂
蒸发残渣		mg/L	化学需氧量	COD	mg/LO ₂
灼烧残渣		mg/L	生化需氧量	BOD	mg/LO ₂
电 导 率		μS/cm	总有机碳	TOC	mg/L
含 盐 量	S	mg/L	油 含 量		mg/L
	c	mmol/L	稳 定 度		
碱 度	B	mmol/L			

下面叙述某些技术指标的意义。

一、色

水本身是无色的，只有在水层很深时才显示出蓝色，但当天然水受到污染时会有颜色。使天然水带色的主要杂质是腐殖质类有机物。腐殖质的颜色常常是深浅不同的黄绿色至褐色，也有一些腐殖质类化合物不带色或色很浅，所以天然水的颜色和腐殖质含量之间没有一定的关系。腐殖质含量较多的水通常来自湖泊或沼泽地区的地面水。此外，天然水也可能因含有胶态铁化合物，大量水草的繁殖或某些工业排放的废料而带色。

在有些工业生产中，水的颜色并不是一个重要的指标，例如对于锅炉用水，颜色只体现水中含有某些杂质，颜色本身并无害处。但也有一些工业非常重视水的颜色，例如造纸、人造纤维、赛璐珞、淀粉和染料等工业，因为在这些工业中水的颜色会转移到产品中，从而使其质量下降。

天然水的颜色大都呈黄绿色，所以通常只需用色度来表示其颜色的深浅。色度的测定可以用比色计，其标准常采用铂钴溶液。每升标准液中含有1mg铂为1个色度单位。

校核色度所用标准液的配制法为：用10% HCl作为溶剂，配成含有K₂PtCl₆ 1.245g/L和CoCl₂·6H₂O 1.000g/L的溶液。以此作为贮备溶液，它的色度为500单位。使用时可将其稀释成色度为5、10、15、20、25、30、35、40、50、70等单位的一个系列。

如果水中有悬浮物，则在比色前应先用离心分离法消除之。如果水的色度大于70，则应将样品适当稀释后再比色。

二、悬浮物与浊度

水中悬浮物是各种水处理工艺中都需监督的项目。在任何净水系统中，都必须首先清除悬浮物，否则，它们会沉积在管道内，水箱中或其他配件中而引起故障，也会影响其他水净化设备的正常运行。

悬浮物的含量可以用重量分析法测定，但此法需要将水样过滤，滤出的悬浮物需经烘

干和称量等手续,操作麻烦,不宜用作现场运行的监督指标。所以,通常宁可采用较易测定的“浊度”作为衡量悬浮物的指标。

浊度表征溶液对光的散射性。其方法为,将样品在90°角度下的散射光强度与用标准溶液在同样条件下的散射光强度相比较。此种测定通常采用装备有光电池的仪器,它的操作简单而且迅速。浊度的大小除了与水中悬浮固体有关外,还指示水中胶体,所以它实质上是这两类物质的综合指标。

浊度的表示法有多种,以前普遍采用经特殊精制的漂白土或硅藻土的悬浮液为标准。因为当时都是用杰克逊烛光浊度仪测定的,所以此种浊度单位称为杰克逊浊度单位(JTU)。

随后,创造了一种用化学药品制成的标准浑浊液,这称为福马胂(Formazine)标准。此浑浊液的配制方法如下:

溶液A:称取1g硫酸胂($N_2H_4H_2SO_4$),溶于少量无浊水中,然后用无浊水稀释至100mL;

溶液B:称取10g六次甲基四胺 $[(CH_2)_6N_4]$ 乌洛托平],用少量无浊水加热溶解,冷却后用无浊水稀释至100mL。

使用时,将5mLA溶液与5mLB溶液倒至量瓶中,混匀后在 $25 \pm 3^\circ C$ 放置24h,此时溶液变浑。用无浊水将此溶液稀释至100mL,便可配得福马胂浊度单位(FTU)为400的标准液。此标准液在30℃以下放置,可使用一周。此液可以用无浊水稀释成一系列标准液。

现代仪器显示的是散射浊度计的浊度单位,称NTU或TU,它与JTU和FTU相比较,有表1-5所示的关系。

表 1-5

浊 度 单 位 对 照 表

JTU	FTU	NTU	JTU	FTU	NTU
3300	4000	4000	10	9.8	9.8
1000	1200	1200	5	4.6	5
500	612	612	1	0.94	1
100	120	120	0.5	0.49	0.5
50	56	56	0.1	0.14	0.1

三、溶解固形物

溶解固形物是指水中除溶解气体之外各种溶解物的总量。许多对水质要求高的工业,如电子工业和备有高压锅炉的火力发电厂等,对水的溶解固形物都有严格的规定。

溶解固形物包括水中许多物质,它是一种理论上的指标,现在还找不到与它涵义完全相同的测定方法。所以,人们常常采用一些与其涵义相近似的指标来指示水在这方面的特征。以下列述这些指标。

1. 含盐量

含盐量表示水中含有溶解盐类的总和,可以根据水质全分析的结果,通过计算求得。

含盐量有两种表示法：其一是摩尔表示法，即将水中各种阳离子（或各种阴离子）均按带一个电荷的离子为基本单元，计算其含量（mmol/L），然后将它们全部相加；其二是重量表示法，即将水中各种阴、阳离子的含量换算成mg/L，然后全部相加。

2. 矿物残渣

矿物残渣是表示水中溶有矿物质的总量。它也是用计算法求取的，其方法与计算用mg/L表示的含盐量相似，只是将 HCO_3^- 换算成 CO_3^{2-} ，并将非离子态的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 加上。

从理论上，由矿物残渣量加非挥发性有机物的量就可求得溶解固形物量。而实际上，由于有机物量很难测定，故用此法仍然不能求得正确的溶解固形物量。

含盐量和矿物残渣量两种指标都是根据水全分析结果进行计算的，不宜用于运行监督，因为全分析是繁重的工作，费时又费力。

3. 蒸发残渣

这是指将过滤水样在一定条件下蒸干所得的残渣量。它与水中溶解固形物相近，但不完全相等，因为在测试条件下（105~110℃），有许多物质的湿分和结晶水不能除尽，某些有机物会发生氧化。

在蒸发残渣中，水中原有的碳酸氢盐都转变成了碳酸盐。

4. 灼烧残渣

这表示蒸发残渣在800℃时灼烧所得的残渣量。在灼烧蒸发残渣时有机物大都被烧成气体，残存的湿分和结晶水挥发掉，所以其残渣量近似于矿物残渣量。但它们还是有差别，因为在灼烧时，矿物残渣中有一部分氯化物也会挥发，一部分碳酸盐会分解，有时还有一些硫酸盐被滤纸的碳质所还原。

蒸发残渣量和灼烧残渣量之差称为灼烧减量，它大致地表征有机物量。

5. 电导率

衡量水中含盐量最简便和迅速的方法是测定水的电导率，因为组成天然水含盐量的主要物质为离子，而离子具有导电性能，但此法也有许多局限性，今讨论如下。

水本身的电导率非常小，所以只要水中含有少量杂质离子，它的电导率便可反映水中杂质离子的多少。一般情况是水的电导率愈大，其含盐量也就愈大，但仅凭电导率不能计算含盐量，因为水电导率的大小除了与水中离子含量有关外，还决定于离子的本质。然而，在水中杂质离子的组成比较稳定的情况下，可以根据试验求得的电导率与含盐量的关系，将测得的电导率换算成含盐量。

电导率的单位为S/m（S称为西，表示西门子Siemens， $1\text{S}=1\text{AV}^{-1}$ ）或 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ①。

测定电导时必须注意以下两点：

（1）水中离子的导电性能与温度有较大关系，因此正确的表示法应标有温度，或将它换算至某一标准温度；

（2）水中溶解气体虽不属于含盐量，但有些气体溶于水时会产生离子，例如 CO_2 和

① 过去，常用 Ω/cm 或 $\mu\Omega/\text{cm}$ 为单位， Ω 称为姆， $\Omega=\Omega^{-1}=\text{s}$ 。

NH₃，所以它们的存在会反映在电导率的数值上。

对于很纯的水，人们常常采用电导率（或电阻率）的大小来表征它的纯度。此时，必须知道，水本身也可导电，它的电导率（如表1-6）为纯水制备工艺所能达到的极限。

表 1-6 水的电导率

t (℃)	Δ_H	Δ_{OH}	$K_{SH} \times 10^{14}$	电 阻 率	电 导 率
	(S·cm ² /mol)			(Ω·cm)	(μS/cm)
5	251	133	0.185	62.1×10 ⁶	0.016
10	276	149	0.292	45.5×10 ⁶	0.022
15	300	164	0.452	31.2×10 ⁶	0.032
20	325	182	0.681	26.3×10 ⁶	0.038
25	350	196	1.008	18.3×10 ⁶	0.055
30	375	212	1.471	14.1×10 ⁶	0.071
35	400	228	2.084	9.75×10 ⁶	0.102
40	421	244	2.918	7.66×10 ⁶	0.131
45	444	260	4.012	7.10×10 ⁶	0.141
50	464	276	5.45	5.80×10 ⁶	0.172

注 Δ_H, Δ_{OH} —分别为H⁺和OH⁻的摩尔电导率，μS·cm²/mol； K_{SH} —水的离子积。

表1-6中的纯水电导率，可按它含有的H⁺和OH⁻的量来估算

$$\chi_{H_2O} = c_H \Delta_H + c_{OH} \Delta_{OH} \quad (1-3)$$

式中 χ_{H_2O} ——水的电导率，μS/cm；

c_H, c_{OH} ——分别为H⁺和OH⁻的量浓度，mol/cm³；它们的值可根据水的离子积 K_{SH} 计算，因为对于纯水有(1-4)式的关系

$$1000c_H = 1000c_{OH} = \sqrt{K_{SH}} \quad (1-4)$$

这样，就可估算 χ_{H_2O} ，例如当25℃时

$$\begin{aligned} \chi_{H_2O} &= \frac{350 \times 10^6 \times \sqrt{1.008 \times 10^{-14}}}{1000} + \frac{196 \times 10^6 \times \sqrt{1.008 \times 10^{-14}}}{1000} \\ &= 0.0548 \mu S/cm \end{aligned}$$

水溶液的电导率(χ)为

$$\chi = \sum c_i \Delta_i \quad (1-5)$$

式中 c_i, Δ_i ——分别表示物质*i*的量浓度和摩尔电导率，*i*表示水中各种离子。

对于含盐量很小的水，有时将测得的电导率表示成NaCl的相对含量。它的涵义是假定水的电导都是由于水中溶有NaCl的关系，因此将测得的电导率换算成NaCl含量。

四、硬度

硬度是指水中某些易于形成沉淀物的金属离子，它们都是二价或二价以上的离子。在天然水中，形成硬度的物质主要是钙、镁离子，所以通常认为硬度就是指这两种离子的量。

水的硬度在工业上危害性极大，例如在锅炉或其他热交换器的受热面上形成水垢，在纺织和造纸等制造工业上影响产品质量等。所以，对各种工业用水都有硬度小的要求。