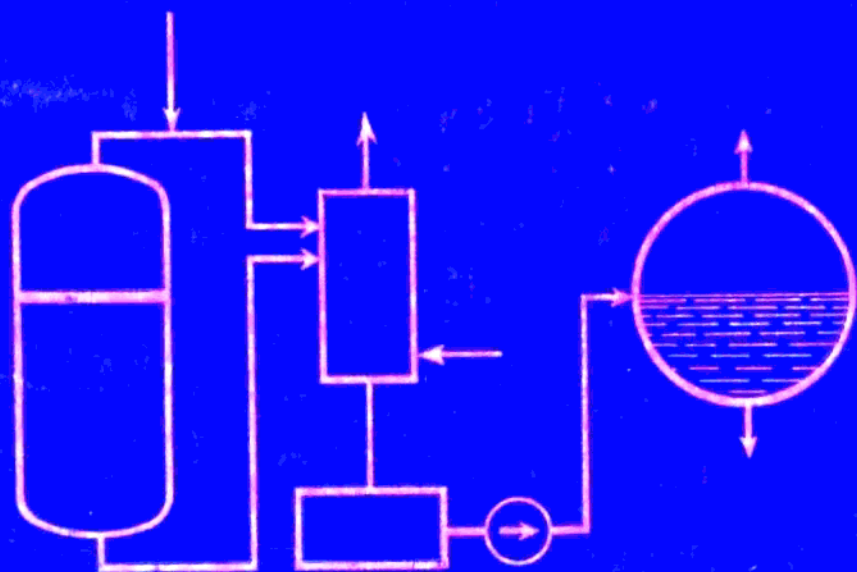


李培元 钱达中 王蒙聚 编

锅炉水处理



湖北科学技术出版社

锅炉水处理

李培元 钱达中 王蒙聚 编

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

咸宁地区印刷厂印刷

787×1192毫米 32开本 28.5印张 712千字

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

ISBN7-5352-0284-5/TK·2

印数: 1-11000 定价: 9.00元

内 容 提 要

本书比较全面系统地介绍了高、中、低压锅炉水处理中各个操作单元的基本原理、设备结构、运行方式及设计原则。内容包括：天然水的水质及锅炉水质标准，水的混凝，澄清与沉淀处理，过滤处理，吸附处理，离子交换，水的蒸馏，膜分离，凝结水处理，锅内处理，锅炉设备的腐蚀与防止，锅炉的化学清洗，冷却水处理，电厂废水处理和原子能电站水处理等。

本书可供从事锅炉水处理或其它水处理工作的工程技术人员和管理干部参考，也可作为在职人员的培训教材及高等学校应用化学专业、热能动力专业的教学参考用书。

前 言

蒸汽锅炉是能源工业设备的重要组成部分,即它不仅是火力发电厂中的主要热力设备,就是在其它许多工业中,如化工、冶金、石油等,也是主要动力设备。因此,锅炉的安全经济运行,对火力发电厂和其它许多企业,乃至整个工业都有很重要的意义。

目前,随着电力工业的不断发展,大容量的高压、超高压和亚临界蒸汽锅炉不断出现,对锅炉的水、汽质量提出了更高的要求。另外,工业的迅速发展,必然有更多的工业锅炉投入运行。为此,要保证这些蒸汽锅炉的安全运行,做好锅炉的水处理工作,是非常重要的。

锅炉水处理技术近些年来又有很大发展,出现了不少新的工艺和设备,在水处理的理论中又有不少新的概念。本书在编写过程中,一方面对锅炉水处理中现有成熟的理论、工艺和设备做了比较全面的归纳,另一方面对近几年来出现的新概念、新工艺和新设备也做了比较详细地介绍。在编写过程中,考虑到从事锅炉水处理的人比较多,要求也不完全相同,所以在选材上,一方面注意到从事火力发电厂大型锅炉水处理工作者的需要,另一方面也注意到各企业中从事低压工业锅炉水处理工作者的要求。

本书的主要内容包括:天然水的水质特性和蒸汽锅炉的水、汽质量标准,水的混凝处理,水的澄清与沉淀处理,水的过滤,水的吸附,离子交换,水的蒸馏,膜分离,凝结水处理,锅内炉水处理,冷却水处理,火力发电厂的废水处理和原子能电站水处理等。同时考虑到从事锅炉水处理读者的需要,在编写过程中,将锅炉的腐蚀与保护以及锅炉化学清洗等方面的内容也编入本书。无疑,这对许多读者是非常有益的。因此,它是目前在锅炉水处理方面内容比较全面的书。

本书均采用了目前国家所规定的法定计量单位。关于过去在锅炉水处理中,人们习惯用的物质浓度的 meq/L (eq/L 、 $\mu\text{eq/L}$)表示法,本书均改为 mmol/L (或 mol/L 、 $\mu\text{mol/L}$)。但为了能利用现有的公式、图、表、曲线和数据等,本书除有特殊说明之外,均采用以一价离子作为基本单元,对二价离子以其 $1/2$ 作为基本单元,对三价离子以其 $1/3$ 作为基本单元。

参加本书编写和审定的同志有李培元、钱达中、王蒙聚、宋建华和黄纪生。

由于本书内容广泛,涉及的学科较多,加之时间仓促和编者水平有限,不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者于武汉

1988年2月

目 录

第一章 天然水的水质及锅炉水质标准	(1)
第一节 水的一般性质	(1)
一、水分子的结构； 二、水的物理性质； 三、水的化学性质	
第二节 水的循环	(4)
一、水的自然循环； 二、水的社会循环	
第三节 天然水中的杂质	(6)
一、悬浮物； 二、胶体； 三、溶解物质； 四、微生物	
第四节 锅炉用水的水质指标	(10)
一、悬浮物(浑浊度)； 二、含盐量； 三、硬度； 四、碱度； 五、酸度；六、有机物	
第五节 天然水的分类	(15)
一、按主要水质指标分类； 二、按水处理工艺分类	
第六节 天然水中的碳酸化合物	(17)
一、碳酸化合物的存在形态； 二、碳酸化合物的形态与pH值的关系； 三、水中各种碳酸化合物成分的计算	
第七节 我国天然水的特点	(21)
第八节 锅炉用水的分类	(22)
第九节 锅炉给水、炉水及蒸汽的水质标准	(23)
一、低压锅炉的水质标准； 二、中、高压锅炉的水、汽标准；	
第二章 水的混凝处理	(31)
第一节 胶体化学基础	(32)
一、分散体系； 二、胶体颗粒的主要特性； 三、胶体颗粒带电的原因； 四、胶体的结构	
第二节 胶体颗粒的稳定性与脱稳方法	(35)
一、胶体颗粒的稳定性； 二、胶体颗粒的脱稳方法	
第三节 混凝处理原理	(38)
第四节 影响混凝处理效果的主要因素	(40)
一、水温； 二、水的pH值； 三、加药量； 四、原水水质； 五、接触介质	
第五节 混凝剂、助凝剂和电化学混凝	(43)
一、混凝剂； 二、助凝剂； 三、电化学混凝	
第六节 混凝试验	(49)
第七节 混凝剂的混合与絮凝反应	(51)
一、混凝剂的配制与投加方式 二、混合与絮凝反应	

第三章 水的澄清与沉淀处理	(57)
第一节 悬浮物沉淀过程的理论基础.....	(57)
一、悬浮物颗粒在静水中的自由沉淀； 二、悬浮物颗粒在静水中的拥挤沉淀；	
三、悬浮物颗粒在动水中的沉淀.....	(61)
第二节 水的沉淀软化处理.....	
一、石灰软化沉淀处理的原理； 二、石灰处理的沉淀过程； 三、石灰剂量	
第三节 沉淀处理设备.....	(64)
一、沉淀池； 二、澄清池	
第四节 澄清池的结构及其运行.....	(71)
一、澄清池的结构及其主要设计参数； 二、澄清池的运行和提高澄清池工作效率的方法	
第四章 水的过滤处理	(78)
第一节 过滤原理.....	(78)
一、粒状过滤器的过滤原理； 二、覆盖过滤器的过滤原理	
第二节 过滤过程中的水头损失.....	(82)
一、粒状过滤的水头损失； 二、覆盖过滤的水头损失	
第三节 滤料.....	(84)
一、粒度； 二、机械强度； 三、化学稳定性	
第四节 滤层设计和最佳过滤工况.....	(87)
第五节 过滤器的反洗.....	(90)
第六节 过滤设备的结构和类型.....	(92)
一、单流式过滤器； 二、双流式过滤器； 三、多层滤料过滤器；	
四、无阀滤池； 五、单阀滤池； 六、虹吸滤池； 七、变孔隙滤池	
第七节 混凝过滤.....	(97)
第五章 水的吸附处理	(99)
第一节 吸附原理.....	(99)
一、吸附原理； 二、吸附的类型	
第二节 吸附剂的性质与影响因素.....	(101)
一、吸附剂的性质； 二、影响因素	
第三节 吸附等温线与吸附速度.....	(103)
一、吸附等温线； 二、吸附速度	
第四节 活性炭的再生.....	(105)
一、加热再生法； 二、化学再生法； 三、水蒸汽法； 四、生物再生法	
第六章 离子交换原理	(108)
第一节 离子交换剂.....	(108)
一、分类； 二、结构； 三、树脂的命名； 四、树脂的物理性能；	
五、树脂的化学性能	
第二节 离子交换平衡.....	(121)
第三节 离子交换速度.....	(125)
第七章 水的离子交换处理	(128)

第一节 概述	(128)
一、离子交换的基本反应； 二、离子交换装置的分类； 三、树脂层中的离子交换过程； 四、树脂的再生	
第二节 钠离子交换法	(135)
第三节 部分钠离子交换法	(136)
第四节 氢钠离子交换法	(139)
一、采用强酸性H离子交换剂的H—Na离子交换； 二、采用弱酸性H离子交换剂的H—Na离子交换； 三、贫再生（磺化煤）H—Na离子交换； 四、不用盐再生的H—Na离子交换； 五、除碳器	
第五节 部分氢离子交换法	(144)
第六节 氨—钠离子交换法	(147)
一、 NH_4 —Na离子交换软化、除碱的原理； 二、 NH_4 —Na离子交换的系统与操作	
第七节 氨—钠离子交换法	(148)
第八节 一级复床除盐	(149)
第九节 固定床离子交换装置	(151)
一、顺流再生固定床； 二、逆流再生固定床； 三、浮动床； 四、双层床； 五、清洗床； 六、提升床； 七、双室双层浮动床；	
第十节 连续式离子交换装置	(172)
一、移动床； 二、流动床；	
第十一节 混合床除盐	(175)
一、原理； 二、固定床式混合床	
第十二节 再生系统	(180)
一、食盐溶液配制、输送系统； 二、酸液配制、输送系统； 三、碱液配制、输送系统；	
第十三节 新树脂的处理和树脂的贮存	(183)
一、新树脂的处理； 二、树脂的贮存	
第十四节 树脂的变质和污染	(184)
一、变质； 二、污染；	
第八章 水的蒸馏	(190)
第一节 表面式沸腾型蒸发装置制备蒸馏水	(190)
第二节 闪蒸蒸发装置制备蒸馏水	(192)
第三节 蒸发装置系统	(195)
一、单级蒸发装置系统； 二、多级蒸发装置系统	
第四节 蒸发器的结构	(198)
一、沸腾型蒸发器的结构； 二、闪蒸蒸发器的结构	
第五节 垢的形成及其防止	(200)
一、垢的种类和影响垢形成的因素； 二、防垢的方法	
第九章 膜分离	(204)
第一节 电渗析	(204)
一、基本原理； 二、离子交换膜； 三、电渗析器的结构与组装方式； 四、电渗析器的技术指标； 五、电渗析器的极化与防止； 六、电渗析器的工艺计算	

第二节 反渗透	(219)
一、反渗透原理； 二、反渗透膜； 三、醋酸纤维素膜的性能； 四、反渗透膜的除盐原理； 五、反渗透装置； 六、反渗透器的组合方式与工艺设计； 七、注意事项	
第十章 凝结水处理	(230)
第一节 凝结水的污染	(230)
第二节 凝结水的过滤处理	(231)
一、覆盖过滤器； 二、电磁过滤器	
第三节 凝结水的除盐	(236)
一、H—OH型混合床； 二、NH ₄ —OH型混合床； 三、混合床的反洗分离和再生； 四、NH ₄ —OH型混合床的运行	
第四节 凝结水净化系统及其布置	(240)
一、无前置过滤器的高速空气擦洗混合床系统； 二、微孔过滤器—混合床系统； 三、纤维素覆盖过滤器—混合床系统； 四、电磁过滤器—混合床系统； 五、电磁絮凝器—机械过滤器—混合床； 六、过滤—弱酸强碱混合床系统； 七、离子交换剂粉覆盖交换器系统； 八、三床式系统	
第十一章 处理系统的选择与计算	(243)
第一节 水处理方案的选择	(243)
一、常用离子交换除盐系统； 二、常用离子交换软化系统	
第二节 水处理系统的工艺计算	(246)
一、出力； 二、离子交换器； 三、除碳器	
第三节 水处理系统工艺计算例题	(251)
第十二章 水中杂质的危害与锅内处理	(257)
第一节 水垢和水渣的形成与危害	(257)
一、水垢和水渣的特性； 二、水垢的形成； 三、防止水垢的方法； 四、易溶盐类的暂时消失现象	
第二节 低压锅炉的炉水处理	(261)
一、纯碱防垢法； 二、天然碱性水防垢法； 三、纯碱—磷酸钠防垢法； 四、复合防垢剂法； 五、其他防垢法	
第三节 中、高压汽包锅炉的炉水处理	(265)
一、磷酸盐处理； 二、协调pH—磷酸盐控制	
第四节 蒸汽中杂质的危害	(268)
一、蒸汽中杂质的来源； 二、各种杂质在饱和蒸汽中的溶解特性； 三、蒸汽中杂质的危害	
第五节 改善蒸汽质量的方法	(275)
一、保证给水水质； 二、汽包内部装置； 三、调整锅炉的运行工况； 四、蒸汽冲管； 五、锅炉排污	
第六节 直流锅炉对水质的要求	(281)
一、直流锅炉的特点； 二、各种杂质在直流锅炉中的沉积； 三、直流锅炉对给水水质的要求	
第十三章 锅炉设备的腐蚀与防止	(284)
第一节 金属的电化学腐蚀原理	(285)

一、金属的电极电位；	二、金属的腐蚀电池；	三、极化和去极化；	
四、金属腐蚀的次生过程与保护膜；	五、金属腐蚀程度的表示方法		
第二节 锅炉设备的腐蚀			(290)
一、氧腐蚀；	二、酸腐蚀；	三、沉积物下腐蚀；	四、水蒸汽腐蚀；
五、应力腐蚀			
第三节 防止锅炉金属腐蚀的方法			(296)
一、除氧；	二、给水水质调节；	三、锅炉停用保护	
第十四章 锅炉的化学清洗			(309)
第一节 锅炉进行化学清洗的确定			(309)
一、新建锅炉；	二、运行锅炉；	三、锅炉化学清洗的范围	
第二节 化学清洗的原理与药剂			(310)
一、清洗剂；	二、缓蚀剂；	三、添加剂	
第三节 化学清洗的工艺过程			(317)
一、确定化学清洗方案的工艺条件；	二、化学清洗前的准备工作和安全措施；		
三、化学清洗的工艺过程；	四、化学监督		
第四节 化学清洗的系统			(322)
一、清洗泵；	二、清洗回路；	三、几种锅炉的化学清洗系统	
第五节 化学清洗后的效果评价与废水处理			(325)
一、清洗效果的评价；	二、清洗废水的处理		
第六节 其他清洗方法			(326)
一、中压锅炉的不停炉清洗；	二、锅炉启动前的加氧蒸汽清洗；	三、用硫酸氟化物溶液清洗大型锅炉	
第十五章 冷却水处理			(328)
第一节 冷却水系统与设备			(328)
一、冷却水系统；	二、敞开式循环冷却水系统		
第二节 水的冷却原理			(332)
一、水的蒸发散热；	二、水的接触传热		
第三节 敞开式循环冷却水系统内的水质变化			(333)
一、浓缩倍数；	二、排污水量、补充水量与浓缩倍数的关系；	三、循环系统中含盐量或离子浓度的变化；	四、循环系统中其他水质指标的变化
第四节 凝汽器铜管内碳酸盐水垢的形式			(337)
第五节 循环冷却水系统中析出碳酸盐水垢的水质判断			(338)
一、极限碳酸盐硬度法；	二、碳酸钙饱和指数；	三、碳酸钙稳定指数；	四、临界pH值法
第六节 凝汽器铜管内碳酸盐垢的防止			(343)
一、沉淀法；	二、离子交换法；	三、炉烟处理；	四、加酸处理；
五、阻垢剂处理；	六、加酸与阻垢剂的联合处理		
第七节 循环冷却水系统中的悬浮物与控制			(358)
一、循环冷却水系统中的悬浮物；	二、循环水中悬浮物的控制		
第八节 循环冷却水系统中的微生物与控制			(360)

一、循环冷却水系统中的微生物；	二、循环水系统中微生物的危害；	三、微生物的控制	
第九节 凝汽器铜管的腐蚀与防止			(367)
一、凝汽器铜管的腐蚀形式与机理；	二、腐蚀的防止		
第十节 凝汽器铜管的清洗			(374)
一、海绵球自动清洗；	二、化学清洗		
第十六章 火力发电厂的废水处理			(377)
第一节 火力发电厂的废水			(377)
一、热污染；	二、燃煤电厂水力除灰的废水；	三、水处理设备及凝结水净化设备产生的废水；	
四、锅炉的化学清洗和停炉保护排放废水；	五、含油废水；		
六、炉烟脱硫废水			
第二节 火力发电厂的废水处理			(380)
一、冲灰废水的处理；	二、水处理设备及凝结水净化设备废水的处理；	三、锅炉受热面清洗废水的处理；	
四、化学清洗废水的处理；	五、停炉保护废水的处理；		
六、含氟废水的处理			
第三节 水力冲灰系统的结垢与防止			(392)
一、冲灰系统的结垢；	二、防止冲灰管道结垢		
第四节 含油废水的处理			(394)
一、隔油池；	二、气浮法与工艺流程	三、药剂浮选法	
第五节 生物处理法			(397)
一、微生物的一些主要特性；	二、废水生物处理的分类；	三、好气生物处理的工艺流程	
第十七章 原子能电站水处理概述			(404)
第一节 原子能电站水处理概述			(404)
第二节 冷却剂中的杂质			(406)
第三节 原子能电站的放射性废液			(407)
第四节 原子能电站常用的水处理方法			(408)
一、沉淀法；	二、离子交换法；	三、蒸馏法；	四、其它水处理法
第五节 沉淀泥渣的处理			(414)
第六节 冷却剂的净化系统			(416)
一、净化系统的出力；	二、压力反应堆净化系统出力；	三、冷却剂净化系统的选择	
附录			(421)
附录 1 常用药剂的性能			(421)
附录 2 常用溶液的密度			(424)
附录 3 离子交换设备设计参考数据			(429)
附录 4 国内某些厂水处理设备主要尺寸			(432)
附录 5 电力系统水处理设备主要尺寸			(437)
附录 6 武汉锅炉辅机厂水处理设备主要尺寸			(442)

第一章 天然水的水质及锅炉水质标准

第一节 水的一般性质

一、水分子的结构

水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，分子式写为 H_2O 。但液态的水分子并不完全是由这种简单的 H_2O 分子所组成，而是还含有由两个、或两个以上缔合的复杂的 H_2O 分子以及少量的氢离子(H^+)和氢氧根离子(OH^-)。在单个水分子中，两个氢原子(H)与氧原子(O)是以共价键相结合的，而且两个H和一个O的中心也不是在一条直线上，它们之间有一个大约 105° 的夹角，如图1-1所示。

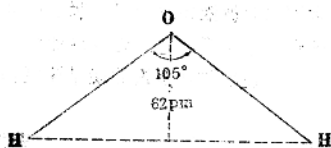


图1-1 水分子的结构示意

由图1-1可知，水分子的正、负电荷中心不重合，而且正、负电荷之间的距离很大，所以它是极性很强的极性分子，也是一种很强的溶剂。因为水分子中有裸露的氢原子核，氧原子有多余的电子对，所以 H_2O 分子之间可以形成氢键，产生缔合作用。

二、水的物理性质

纯水是无色、无味、无臭的液体，导电能力很弱，但如果水中溶有盐类时，可使导电性能增强。

1. 水的密度

物质的密度是指单位体积中所含该物质的质量。体积的单位通常采用mL或 cm^3 (C.C)，质量的单位采用g。

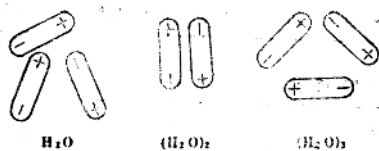


图1-2 水分子的缔合示意

水的密度和温度之间的关系与一般物质有些不同，一般物质的密度均随温度上升而减小，但水的密度是在 $4^\circ C$ （更准确地说是 $3.98^\circ C$ ）时最大，为 $1 g/cm^3$ 。高于或低于此温度时，其密度都减小。这是因为水分子之间有氢键，存在着水分子之间缔合现象，如图1-2

所示。由图1-2可知，双分子的水排列比较紧密，三分子水和单分子水的结构就比较疏松。在 $4^\circ C$ 时，大部分水分子是由双分子

(H_2O)₂组成的，所以密度最大。 $0^\circ C$ 以下时，全部 H_2O 分子结合在一起成为冰，此时体积最大，密度只有 $0.92 g/cm^3$ 。水温高于 $4^\circ C$ 时，双分子又解离成单个 H_2O 分子，分子数量

增多,但密度减小。

2. 水的比热

物质的比热是指1g物质的温度升高或降低1℃所吸收或放出的热量,单位是J/(g·℃)。几乎在所有的固态和液态物质中,水的比热最大。1g水温度升高或降低1℃,所吸收或放出的热量为4.1868J。这是因为水加热时,热量不仅消耗于水温升高,还消耗于缔合水分子的解离。由于水有这种性质,工业上常用水作为冷却介质。

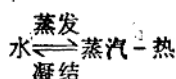
3. 水的粘度

液体的粘度是表示液体运动过程中所发生的内摩擦力,其大小与内能的损失有关。纯水的粘度(μ)取决于温度,与压力几乎无关。

4. 水的蒸汽压与沸点

如将水放在一个密闭容器内,水面上有一部分动能较大的水分子能够克服水分子之间的引力,逸出水面进入容器的上部空间,成为蒸汽,这一过程称为蒸发。水的温度越高和空间水蒸汽分子越少,这一过程就越快。进入容器空间的水蒸汽分子不断地运动,其中一部分水蒸汽分子碰到水面被液体水分子所吸引,又返回到水中,这一过程称为凝结。水的温度越低和空间水蒸汽分子越多,这一过程就越快。

当水的蒸发速度与水蒸汽的凝结速度相等时,液面上的蒸汽浓度就不再改变,即达到动态平衡。



在温度一定的情况下,达到上述平衡时的蒸汽就叫做该温度下的饱和蒸汽,这时的蒸汽压力就称为该温度下的饱和蒸汽压,简称蒸汽压。

由于水的蒸发过程是一个吸热过程,温度升高,平衡向生成蒸汽的方向移动。因此水的蒸汽压是随温度的升高而增大的。水的蒸汽压与温度之间的关系如表1-1所示。

当水的温度升高到一定值,其蒸汽压等于外界压力时,水就开始沸腾,这时的温度就叫做在该压力下的沸点,不同压力下水的沸点如表1-2所示。

表 1-1 水的蒸汽压与温度之间的关系

温 度(℃)	0	40	80	100	120	140	180	374
蒸汽压(Pa)	6.1×10^3	7.4×10^3	4.7×10^4	1.0×10^5	2.0×10^5	3.6×10^5	1.0×10^6	2.2×10^7

表 1-2 不同压力下的水的沸点

压 力(MPa)	0.196	0.392	0.588	0.98	1.96	21.37
沸 点(℃)	120	143	158	179	211	374

在表1-2中,水的沸点达到374℃时,称为气体的临界温度。所谓临界温度,是指气体高于这个温度时,不管加多大的压力都不能将气体液化,在临界温度下,使气体液化的压力称为临界压力,水的临界压力为21.37MPa。

应该说明,随着温度和压力的提高,蒸汽的密度增大,水的密度降低。温度和压力愈高,蒸汽和水的密度愈接近。当达到临界状态时,蒸汽和水的密度就相同了,这时汽、液两相之间的界面全部消失。另外,从锅炉产生出来的饱和蒸汽常带有少量的湿分,所以叫做湿饱和蒸汽,不含湿份的蒸汽叫干饱和蒸汽。如果湿饱和蒸汽中的湿分全部变成干饱和蒸汽后,再继续升高温度,干饱和蒸汽就变成过热蒸汽,过热蒸汽的温度高于对应压力下饱和蒸汽的温度。

5. 水的表面张力

液体中的分子是由于分子之间存在吸引力而聚合在一起的。在液体内部,每个分子受其相邻近分子的引力,所以每个分子的受力是平衡的。靠近表面的分子则不同,液体内部对它吸引力大,而外部空气则对它的吸引力小。因此,使液体表面上的分子受到一种向内的拉力,这就叫表面张力,如图1—3所示。各种液体的表面张力均随温度上升而减小,因为热运动减弱了分子之间的作用力。

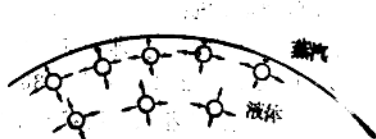


图1—3 液体的表面张力

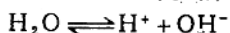
两种不相混的液体之间存在界面张力,界面张力的来源和含意与表面张力相同。最常见的情况是水为一相,不溶于水的有机溶质为另一相。两相之间(彼此饱和)的界面张力大致等于它们单独表面张力之差。在实际工作中很早就知道,各种溶质对水的表面张力有不同的

影响。有的溶质能使水的表面张力下降,这种物质叫做表面活性物质,如醇、醛等有机物;有的溶质能使水的表面张力增加,这种物质叫做表面非活性物质,如甘油等。将表面活性物质加入水中后,它在其水溶液表面的浓度比溶液主体中的浓度大,所以会影响气体穿过表面的速率。

6. 水的电导

完全不含杂质的纯水,实际上是没有的,我们只能从各种水处理工艺过程中得到接近于理想的纯水。因为水是很弱的电解质,能电离出少量的 H^+ 和 OH^- ,所以,即使是理想的纯水也有一定的导电能力。这种导电能力可用电导率来表示。

当水中没有杂质时,只有水分子和电离出来的 H^+ 和 OH^- ,即,



当25℃时, $[H^+] = [OH^-] = 1.00 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 。

因为 H^+ 和 OH^- 的浓度很低,离子之间的相互作用力可以忽略,所以理想纯水的电导率可以利用无限稀释溶液中的离子电导进行计算。在25℃的无限稀释溶液中,1 mol H^+ 的电导 $\Lambda_{H^+} = 349.8 \text{ s} \cdot \text{cm}^2$,而一升水中只含有 10^{-7} mol 的 H^+ ,故一升水中 H^+ 的电导 Λ_H 应为

$$\Lambda_H = [H^+] \cdot \Lambda_{H^+} = 349.8 \times 10^{-7} \text{ s} \cdot \text{cm}$$

同理

$$\Lambda_{OH^-} = [OH^-] \cdot \Lambda_{OH^-} = 197.6 \times 10^{-7} \text{ s} \cdot \text{cm}$$

所以,一升水的电导

$$\begin{aligned} \Lambda_{H_2O} &= \Lambda_H + \Lambda_{OH^-} = (349.8 + 197.6) \times 10^{-7} \\ &= 0.55 \times 10^{-4} \text{ s} \cdot \text{cm} \end{aligned} \quad (1-1)$$

25℃时，理想纯水的电导率为

$$\kappa_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\Lambda_{\text{H}_2\text{O}}}{1000} = \frac{0.55 \times 10^{-4}}{1000} \\ = 0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$$

则水的电阻率为

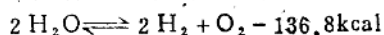
$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{\eta_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1}{0.55 \times 10^{-7}} = 1.82 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$$

由于水的电离度与 H^+ 和 OH^- 的电导都随温度升高而增大，所以温度变化时，理想纯水的电导率也要发生变化。因此，测定水的电导率时，应注明温度。

由以上计算可知，纯水的电导率是很小的，但当水中溶有少量电解质时，就会使电导率明显增加。

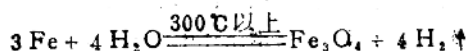
三、水的化学性质

水有很强的热稳定性，即使加热到2000℃，也只有0.588%的水解离为氢和氧，即

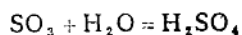
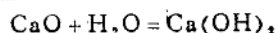


但当水和某些物质相接触时，却很容易发生化学反应。

水能与金属和非金属作用放出氢



水还能与许多金属和非金属氧化物反应，生成碱和酸



另外，水还是一种很强的溶剂，能溶解许多物质。

第二节 水的循环

水是地球上贮存最丰富、分布最广的物质，大约占地球面积的四分之三。水又是十分重要的自然资源，存在于地球上的水约有136000万立方公里，它可分为地面水和地下水。地面水包括海洋、河水、湖水、水库水、沼泽、冰地和冰川等；地下水包括深井水、浅井水和泉水等。地球上的水是处于川流不息的循环运动中：一种是自然循环，另一种是社会循环。

一、水的自然循环

水的自然循环是指由自然力促成的循环。地球上的水由于受到太阳热能的照射，不断从海洋和陆地蒸发为水蒸汽进入大气中成为云，云又随密度差不同的气流运动迁移到内陆。当与冷气流相遇时，凝结为雨和雪又降落到地面上来。降落下来的水在重力作用下，一部分渗

入地下成为地下水，大部分沿地表流动，最后流入河流又复归海洋。这两股水流在流动过程中又相互转化或补给。有人将海洋→内陆→海洋的循环称为大循环，将那些小自然区域内的循环称为小循环。水的这种自然循环运动示意如图 1—4。

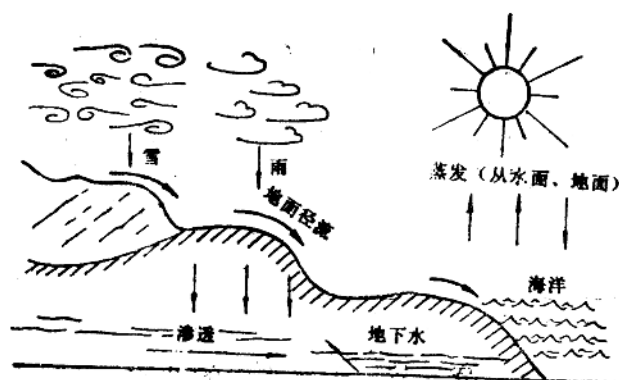


图 1—4 水的自然循环示意

二、水的社会循环

水的社会循环是指由人为因素促成的循环，它是直接为人们的生活和生产服务的。供人们生活用的水称为生活用水，如城市自来水，称为饮用水。供人们生产用的水，称为工业用水，其中又根据生产工艺不同可分为许多种用水，如供锅炉用的水称为锅炉用水。水经过人们使用后因丧失其使用价值而排放的水，称为废水。为了保证用水能满足人们使用的各种要求，取之自然界的水必须经过各种处理，这种处理工程设施称为给水工程。为了保证废水能安全可靠地排放，也必须经过各种处理，这种处理工程设施称为排水工程。水的社会循环就是由给水工程和排水工程构成的，如图 1—5 所示。

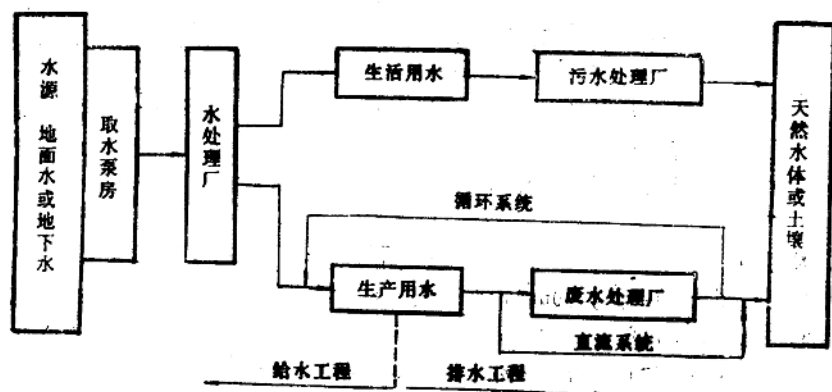


图 1—5 水的社会循环示意

水虽然是地球上最丰富的自然资源，但绝大部分是海水，不能直接供人们生活和生产使用，能供人们使用的淡水所占的比例还不到2.7%，而这些淡水的大部分又贮存在地球两极的冰山、冰川和深度在750m以上的地层中，仅有河流、湖泊、水库等地面水和地下水的一部分可供利用，还不到水资源的1%。表1—3示出地球上水资源的分布比例。

表1—3 地球上水的分布比例

地球上的水	淡水
海水 97.3%	冰山、冰川 77.2%
淡水 2.7%	地下水、土壤水 22.4%
	湖泊、沼泽 0.35%
	大气 0.04%
	河流 0.01%

第三节 天然水中的杂质

水在自然循环过程中，无时无刻不与外界接触。由于水极易与各种物质混杂，溶解能力又很强，所以任何天然水体都会不同程度地含有各种杂质。如果有生活污水或工业废水排入天然水体，杂质的数量和成分将更多更复杂。天然水的水质就是由所含杂质的数量和成分决定的。根据水中杂质的颗粒大小不同，一般可分为悬浮物、胶体和溶解物质三大类，见表1—4所示。

表1—4 水中杂质分类

类 别	溶解物质			胶 体		悬 浮 物			
颗粒直径	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1 μ m	10 μ m	100 μ m	1mm	10mm
外观特征	透 明			光照下浊度		浑 浊			
分辨工具	质子显微镜可见			超显微镜可见		显微镜可见		肉眼可见	
处理方法	离子交换、膜分离、蒸馏等			混 凝		澄清过滤		自然沉降	

应该说明，表中的杂质颗粒直径是按球形颗粒计算的，但分散于水中的各种颗粒并非全部为球体，而且各类杂质的尺寸界限也并非截然分开。例如，悬浮物和胶体之间的尺寸界限，常因颗粒形状和密度的不同而有所变化。所以，表中的数字仅能表示一个大体的尺寸概念。

一、悬浮物

悬浮物是指颗粒直径均为100nm至1 μ m以上的微粒。根据微粒大小和相对密度不同，可分为漂浮的、悬浮的和沉降的，如一些草本植物等其相对密度小于1，一般漂浮于水面；一些动植物有机体的微小碎片、纤维或死亡后的腐烂产物，其相对密度近似等于1，则悬浮于水中；一些砂子和粘土之类的无机化合物，其相对密度大于1，当水静止时，就会沉降于水底。因此，悬浮物在水中很不稳定，分布也很不均匀，是一种比较容易除去的杂质。

二、胶体

胶体是指颗粒直径大约为 $1\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ 之间的微粒，主要是铁、铝、硅的化合物以及动植物有机体的分解产物。它们往往是许多分子或离子的集合体。由于比表面积（比表面积是指单位体积物质所具有的表面积，物质分割得愈小，比表面积越大）很大，有明显的表面活性（液体和固体表面都有吸附能力，能吸附其他物质，称为表面活性），所以表面上常常吸附许多结构相似的分子和离子，而带正电荷或负电荷。天然水中的粘土胶体颗粒，一般都带负电荷，而氢氧化物胶体则带正电荷。同类胶体因带有同性电荷而互相排斥，不能互相粘合，从而阻止颗粒变大下沉。因此，这类杂质比较稳定，均匀地存在于天然水中，不易用自然沉降的方法除去。

天然水中的悬浮物和胶体两类杂质，由于对光线有反射和散射作用，是使水产生浑浊现象的主要根源。天然水中溶解的有机高分子物质，如腐植质等，虽然并不属于胶体范围，但由于分子量比较大，某些特性却与胶体有类似之处，而且比胶体颗粒更难以去除，所以它们都是水质澄清处理的主要对象。

三、溶解物质

溶解物质是指颗粒直径小于 1 nm 的微粒。它们往往以离子、低分子或气体状态存在于水中，成为均匀的分散体系，称为真溶液。这类杂质不能用混凝、沉降、过滤的方法除去。

1. 呈离子状态的杂质

天然水中常遇到的各种离子如表 1—5 所示，其中第一类是最常见的。

表 1—5 天然水中溶解离子的概况

类 别	阳 离 子		阴 离 子		浓 度 的 数 量 级
	名 称	符 号	名 称	符 号	
I	钠 离 子	Na^+	重碳酸根	HCO_3^-	自几mg/L 至几万mg/L
	钾 离 子	K^+	氯离子	Cl^-	
	钙 离 子	Ca^{2+}	硫酸根	SO_4^{2-}	
	镁 离 子	Mg^{2+}			
II	铵 离 子	NH_4^+	氟离子	F^-	自十分之几mg/L 至几mg/L
	铁 离 子	Fe^{2+}	硝酸根	NO_3^-	
	锰 离 子	Mn^{2+}	碳酸根	CO_3^{2-}	
III	铜 离 子	Cu^{2+}	硫氢酸根	HS^-	小于十分之一mg/L
	锌 离 子	Zn^{2+}	硼酸根	BO_2^-	
	镍 离 子	Ni^{2+}	亚硝酸根	NO_2^-	
	钴 离 子	Co^{2+}	溴离子	Br^-	
	铝 离 子	Al^{3+}	碘离子	I^-	
			磷酸氢根	HPO_4^{2-}	
			磷酸二氢根	H_2PO_4^-	

(1) 钙离子 (Ca^{2+})、镁离子 (Mg^{2+})、重碳酸根 (HCO_3^-) 和硫酸根 (SO_4^{2-}) 的来源，主要是含有游离 CO_2 的水流经地层时，对石灰石 (CaCO_3)、白云石 (MgCO_3)、