

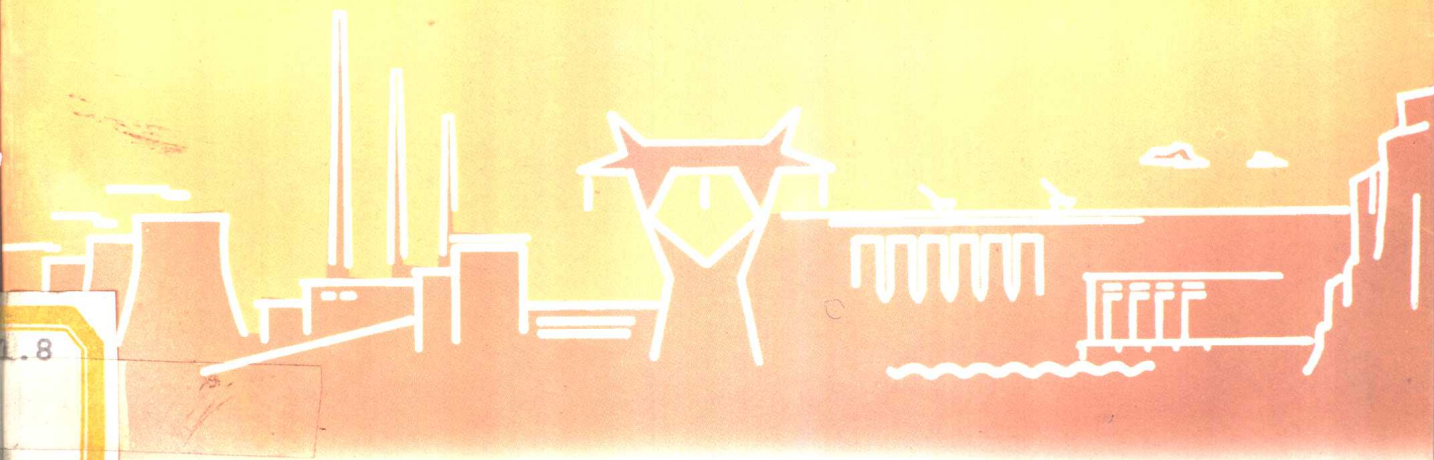


普通高等学校热能动力类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

发电厂水处理工程

武汉水利电力大学 钱达中 主编



中国电力出版社

996716

普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

发电厂水处理工程

武汉水利电力大学 钱达中 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了火力发电厂水质净化处理中各个操作单元的基本工作原理、设备结构、运行方式及设计原理。内容包括：天然水的水质，水的混凝、澄清与沉淀处理，过滤处理，吸附处理，离子交换水处理，凝结水处理，膜分离和水的蒸馏，冷却水处理等。

本书为高等学校应用化学专业本科生教材，也可作为热能工程类各专业本、专科生的教学参考书和有关工程技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据


发电厂水处理工程/钱达中主编. —北京：中国电力出版社，1998

高等学校教材

ISBN 7-80125-501-1

I. 发… II. 钱… III. 发电厂-水处理-高等学校-教材 IV. TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19165 号

 中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998年5月第一版 1998年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.75印张 442千字

印数 0001—1730册 定价：19.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

随着电力工业的迅速发展，大容量、高参数的热力设备不断出现，对水汽质量提出了更高的要求，因此水处理技术近年来有了较快的发展，出现了不少新的工艺和设备，形成了水处理理论新概念。为此，编者根据多年教学经验，对近年来国内外的大量文献资料、科研成果进行了归纳整理，使之系统化，在此基础上编成此书。

需指出的是，本书所用物质的量摩尔，都是指电化学摩尔质量，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：

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

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

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

$$\text{Ca}^{2+}、\text{Na}^+ \text{混合液中钙离子的摩尔分率} = \frac{\left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right]}{\left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right] + [\text{Na}^+]}$$

在以上各式中，符号 [] 表示相应物质的量浓度。

本书第二、九章由钱达中编写，第三、十章由李培元编写，第七章由张澄信编写，第六章由陈志和编写，第一、四章由姚继贤编写，第五、八章由丁桓如编写。全书由钱达中主编。

本书由石景山发电总厂教授级高级工程师刘玉仁主审，编者谨向他表示深深的谢意。由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬希读者不吝赐教，以便再版时订正。

编 者

1996.12.30.

3-1-5-1

目 录

前言

第一章 水质概论	1
第一节 水在火力发电厂中的作用	1
一、火力发电厂中汽水的流程 二、火力发电厂生产用水的分类	
第二节 水的特征	2
一、水的分散作用 二、水的缔合作用 三、水的汽化作用 四、水的导电作用	
第三节 天然水的水质概况	5
一、天然水中的杂质 二、天然水的特点	
第四节 水质指标	8
一、表示水中悬浮物及胶体的指标 二、表示水中溶解物的指标 三、表示水中易结垢物的指标 四、表示水中酸、碱物质的指标 五、表示水中有机物的指标	
第五节 水质指标间的关系	14
一、阳离子与阴离子之间的关系 二、含盐量与溶解固体之间的关系 三、硬度与碱度的关系 四、pH值与碳酸化合物之间的关系 五、pH值与碱度之间的关系 六、pH值与硅酸化合物之间的关系	
第二章 水的混凝处理	23
第一节 混凝处理的物理化学基础	23
一、胶体的稳定性与结构 二、胶体微粒间的排斥势能和吸引势能 三、胶体的脱稳	
第二节 混凝处理原理	27
第三节 影响混凝效果的主要因素	30
一、pH值 二、混凝剂剂量 三、水温 四、原水水质 五、接触介质 六、水力条件	
第四节 混凝剂和混凝辅助剂	33
一、混凝剂 二、助凝剂 三、有机高分子絮凝剂	
第五节 混凝设备	36
一、混凝剂的配制和投加方式 二、混合	
第六节 电混凝	37
一、电混凝原理 二、电混凝装置的运行	
第三章 沉降与澄清处理	40
第一节 悬浮颗粒在静水中的沉降	40
一、离散颗粒在静水中的自由沉降 二、絮凝颗粒的自由沉降 三、层状沉降 四、压缩沉降	
第二节 平流式沉淀池	45
一、结构 二、离散颗粒在沉淀池中的沉降 三、絮凝性颗粒在沉淀池中的沉降 四、影响平流式沉淀池沉淀效率的因素 五、平流式沉淀池的设计	
第三节 斜板斜管沉淀池	55
一、斜板、斜管沉淀池的特点 二、上向流斜板斜管沉淀池的结构 三、上向流斜板沉淀池中沉降过程的分析 四、工艺计算	

第四节 澄清池	61
一、工作原理 二、澄清池的组成 三、澄清池的工艺要求和优缺点	
第五节 ЦНИИ型澄清池	64
一、设备结构 二、工艺设计参数	
第六节 脉冲澄清池	66
一、工作原理 二、工艺设计 三、钟罩式脉冲发生器	
第七节 机械搅拌澄清池	69
一、工作原理 二、工艺设计	
第八节 水力循环澄清池	73
一、基本原理 二、工艺设计 三、设计举例	
第四章 过滤	79
第一节 过滤概述	79
一、过滤过程 二、过滤中的两种介质状态	
第二节 过滤机理	80
一、过滤机理 二、滤料层截留杂质的规律	
第三节 影响过滤的因素	82
一、滤速的影响 二、滤料的影响 三、滤层的影响	
第四节 过滤过程的水头损失	86
一、起始水头损失 二、过滤到 t 时间后的水头损失 三、表层水头损失	
第五节 滤层的清洗与配水系统	89
一、滤池的冲洗 二、配水系统	
第六节 过滤设备的结构和类型	91
一、过滤设备的分类 二、压力式过滤器 三、重力式滤池 四、接触过滤 五、精密过滤	
第五章 水的吸附处理	100
第一节 活性炭概况	100
一、活性炭的结构及吸附原理 二、活性炭的制取 三、活性炭型号 四、活性炭的一般理化性能指标 五、活性炭的吸附性能 六、影响活性炭吸附性能的因素	
第二节 活性炭吸附在水处理中的应用	109
一、活性炭的选用 二、活性炭吸附处理工艺的设计计算 三、活性炭的再生	
第三节 大孔吸附树脂及其应用	117
第六章 离子交换概论	119
第一节 离子交换剂	119
一、磺化煤 二、离子交换树脂 三、离子交换树脂的命名	
第二节 离子交换原理	125
第三节 离子交换树脂的性能	126
一、物理性能 二、化学性能 三、离子交换树脂的交换特性	
第四节 离子交换平衡	135
一、离子交换的平衡常数 二、选择性系数 三、平衡计算 四、分离系数和选择性顺序 五、平衡交换容量	
第五节 离子交换动力学	141
一、离子交换动力过程 二、离子交换速度的控制步骤 三、离子交换过程的扩散速度 四、速度控制步骤的判断 五、工艺条件对离子交换速度的影响	

第六节 动态离子交换过程	145
一、RNa与水中 Ca^{2+} 的交换	
二、RH与水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 的交换	
三、工作层	
四、工作交换容量和残余交换容量	
五、失效树脂的再生	
第七章 离子交换水处理	151
第一节 一级复床除盐概述	151
一、一级复床除盐的定义	
二、制水运行中的离子交换反应	
三、再生中的离子交换反应	
四、阴离子交换在系统中的位置	
第二节 离子交换设备及运行操作	154
一、设备分类及工作原理	
二、顺流再生固定床	
三、逆流再生床	
四、浮(动)床	
第三节 强酸性树脂 H^+ 交换	164
一、制水运行时树脂层内的交换过程	
二、生产实际中的层态变化及顺、对流再生的对比分析	
三、制水运行监督	
四、运行技术经济指标的计算	
五、001 \times 7强酸性阳树脂的工艺性能	
第四节 DI13弱酸性树脂 H^+ 交换	175
一、基本性能	
二、运行特性	
三、运行监督与技术经济指标	
四、工艺性能	
五、适用的水质	
第五节 除碳器	181
一、鼓风除碳器	
二、真空除碳器	
第六节 强碱性树脂 OH^- 交换	183
一、运行周期中树脂层内的交换过程	
二、制水运行中的监督	
三、运行技术经济指标的计算	
四、201 \times 7强碱性阴树脂的工艺性能	
五、其他强碱性树脂的应用	
第七节 弱碱性树脂的交换	188
一、基本性能	
二、运行曲线的特点	
三、D301弱碱性树脂的工艺性能	
第八节 混合床除盐	192
一、工作原理	
二、体内再生混床的结构	
三、混床的运行	
四、混床运行的特点	
第九节 除盐系统	196
第十节 软化和降碱	197
一、软化	
二、软化和降碱	
第十一节 再生系统	199
一、贮存	
二、计量	
三、配制再生液	
四、碱液加热	
五、系统举例	
第八章 凝结水处理	202
第一节 凝结水处理概述	202
一、凝结水处理的目的	
二、凝结水处理的适用范围和系统	
第二节 凝结水过滤处理	205
一、覆盖过滤器	
二、电磁过滤器	
三、管式微孔过滤器	
四、氢型阳床	
五、空气擦洗高速混床	
六、中空纤维过滤器	
第三节 凝结水除盐	212
一、体外再生混床	
二、氢—氢氧型混床和氨化混床	
三、提高混床树脂再生度的方法	
第四节 凝结水处理的实际应用	220
一、常用系统	
二、低压凝结水处理与中压凝结水处理	
三、空冷机组凝结水处理	
第九章 膜分离技术和蒸馏法	224
第一节 反渗透	224
一、反渗透原理	
二、反渗透膜种类及其性能	
三、反渗透膜透过机理	
四、反渗透器	
五、反渗透装置的性能参数和运行	
六、反渗透装置的组合方式	

第二节 超滤和微滤	236
一、超滤过程中的浓差极化 二、超滤膜的污染及其防止和清洗 三、微孔过滤	
第三节 电渗析	239
一、工作原理 二、离子交换膜 三、电渗析器的结构 四、电渗析器的组装 五、电渗析器运行中的几个问题 六、电渗析器的技术指标	
第四节 水的蒸馏	249
一、蒸馏法 二、蒸发器的结构 三、垢的形成与防止	
第十章 冷却水处理	257
第一节 冷却水系统与设备	257
一、冷却水系统 二、换热设备(凝汽器) 三、冷却设备	
第二节 水的冷却原理	261
一、湿空气的有关性质 二、水的蒸发散热 三、水的接触传热	
第三节 敞开式循环冷却水系统的特点	263
一、水量平衡与估算 二、盐量平衡与水质变化 三、循环冷却水系统的水质特点 四、补充水量的计算	
第四节 水质稳定性的判断	269
一、极限碳酸盐硬度(H'_T)法 二、饱和指数 I_B 法(Langelier指数法) 三、稳定指数 I_w (Ryznar指数)法 四、临界 pH_L 值法 五、推动力指数 I_T 法 六、侵蚀指数 I_Q 法 七、碳酸钙饱和指数法	
第五节 防垢处理	273
一、石灰沉淀法 二、加酸处理 三、离子交换法 四、阻垢剂法	
第六节 污垢的形成与防止	294
一、污垢的形成 二、污垢的防止	
第七节 微生物的控制	297
一、氯 二、漂白粉 三、二氧化氯 四、臭氧 五、氯酚 六、季胺盐类 七、二硫氰基甲烷	
参考文献	305

第一章 水质概论

第一节 水在火力发电厂中的作用

火力发电厂是依靠水作为传递能量的介质而进行发电的，也是依靠水作为冷却介质来完成热量交换工作的。因此，水在火力发电厂中起着十分重要的作用。

一、火力发电厂中汽水的流程

图 1-1 所示为凝汽式发电厂热力设备中水汽流程。由图中可以看出，水在火力发电过程中主要有两个循环系统：一是热力循环系统；二是冷却循环系统。为了补偿在循环过程中的汽水损失，需要不断地向循环系统补充水，为了区别起见，前者称为补给水，后者称为补充水。在火力发电厂中，对水的使用、监测、处理和管理是电厂化学工作者的重要任务之一。

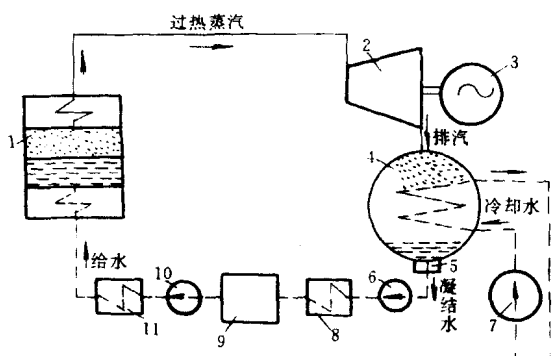


图 1-1 凝汽式发电厂水汽系统的流程
1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—热井；
6—凝结水泵；7—冷却水泵；8—低压加热器；
9—除氧器；10—给水泵；11—高压加热器

二、火力发电厂生产用水的分类

在火力发电厂中，为了明确生产用水所处的地位不同，将其冠以不同的名称。

1. 原水

原水是未经任何净化处理的天然水。

2. 清水

清水是原水经过沉淀、过滤处理除去悬浮杂质的水。

3. 补给水

清水经过物理或化学方法，除去水中部分离子或绝大部分离子杂质后，用来补充热力设备汽水循环过程中损失掉的水，被称为锅炉补给水。

根据锅炉用水要求不同，补给水分为只除去 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的软化水和除去绝大部分阴、阳离子的除盐水。

4. 汽轮机凝结水

在汽轮机中做功后的蒸汽经冷凝形成的水，称为汽轮机凝结水，简称凝结水。

5. 疏水

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。由于疏水系统比较复杂，所以在图 1-1 中没有表示出来。

6. 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，简称回水。其中又有热网加热器凝结水和生产返回凝结水之分。

7. 给水

送进锅炉的水，也就是从除氧器送至锅炉的水称为锅炉给水，简称给水。凝汽式发电厂的给水是由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成的。热电厂的给水中还包括用户返回凝结水。

8. 锅炉水

在锅炉本体内蒸发系统中流动的水称为锅炉水。通常简称炉水。

9. 循环冷却

用来冷却从汽轮机中排出蒸汽的水，称为冷却水。由于大多数电厂的冷却水是循环利用的，它又称为循环冷却水，简称循环水。

此外，为了调节锅炉水和冷却水的水质，需定期排放部分水，称为排污水。

第二节 水的特性

在基础化学中，有关水的性质已有较详细的介绍，但对于火力发电厂生产用水，以下几个特性不容忽视。

一、水的分散作用

水是一种极性很强的分子，它对许多物质（包括金属）具有很强的分散能力，并与其形成分散体系。因此，在天然水中不存在纯水。

水的分散能力是任何其他物质都不能与之相比的。由于水的介电常数很大，对分散质的电离能力也极强，多种物质不但在水中有大的溶解度，并有最大的电离度，水中分散的各种物质之间可以发生各种化学反应，而且水本身很容易参与化学反应。因此各种水溶液都有极为复杂的性质。

随着火力发电厂锅炉运行参数的提高，对给水纯度的要求也愈来愈高。这种水不但分散能力很强，对热力设备金属有侵蚀作用，而且缓冲能力极弱，对外来酸碱物质的侵入十分敏感，主要表现在 pH 值的变化上。表 1-1 表明了深度除盐水与空气接触后，由于 CO₂ 的侵入，pH 值的变化。

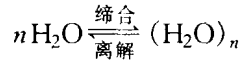
表 1-1 深度除盐水与空气接触后 pH 值的变化

与空气接触时间 (min)	1	2	5	10	25
pH 值	7.6	7.32	7.22	6.58	5.82

二、水的缔合作用

分子的缔合作用指由简单分子结合成为较复杂的分子集团，而不引起物质化学性质改变的过程。

水分子由于氢键的作用，分子间极容易发生缔合：



液态水中除含有简单分子 H_2O 外，同时还含有缔合分子 $(\text{H}_2\text{O})_n$ ，它们处于平衡状态。缔合是放热过程，解离是吸热过程，因此，温度升高，水的缔合作用降低（ n 减少），高温时，水主要以单分子状态存在，水蒸气中水分子都是以单分子存在的。温度降低，水的缔合作用增大（ n 增大）， 0°C 时水结成冰，全部分子缔合在一起，成为一个巨大分子。因此，水在热力系统流动过程中，其分子状态也在发生不断地变化。

当水受热时，热量一方面消耗在水体温度升高上，另一方面消耗在缔合分子的解离上，因此水的热容量最大。这就是在生产中水作为冷却其他物体或者作为储存及传递热量的优良介质的原因。

三、水的汽化作用

任何状态下的水分子都处在不断地运动状态，例如在液态水中，动能较大的分子足以冲破表面张力的影响进入空间，反之，液面上的水蒸气分子，由于受到液面分子的吸引或外界压力抵抗而回入液体中，这就是水的蒸发和凝聚过程。在一定条件下，当这两个过程达到平衡时的蒸汽称为饱和蒸汽，饱和蒸汽所产生的压力称为饱和蒸汽压，简称蒸汽压。水的蒸汽压是随温度的升高而增大。蒸汽压与温度的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 水的蒸汽压与温度之间的关系

温度 ($^\circ\text{C}$)	0	40	80	100	120	140	180	374
蒸汽压 (Pa)	6.1×10^2	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

当水的温度升高到一定值时，水就开始沸腾，此时的温度称为在该压力下的沸点，水的沸点与外界压力关系如表 1-3 所示。

表 1-3 水的沸点与压力之间的关系

压力 (MPa)	0.196	0.392	0.588	0.98	1.96	21.37
沸点 ($^\circ\text{C}$)	120	143	158	179	211	374

从锅炉产生出来的饱和蒸汽常带有少量水分，通常称为湿饱和蒸汽，通过过热器进一步加热，清除饱和蒸汽中的湿分后，称为干饱和蒸汽。

随着温度和压力的提高，蒸汽密度增大，水的密度降低，当温度和压力提高到一定程度时，蒸汽和水的密度相同，此时称为临界状态。水的临界压力为 21.37MPa ，在此压力下水的沸点为 374°C ，称为临界温度。处于临界状态水体的气液两相界面已消失，这时气液的各种性质也基本相同。

我国制造的锅炉、汽轮机机组就是根据蒸汽参数（压力和温度）来进行分类的。火力发电厂机组的蒸汽参数和容量如表 1-4 所示。

表 1-4

火力发电厂机组的蒸汽参数和容量

蒸汽参数 机组名称	汽 压 (MPa)		汽 温 (℃)		机组容量范围 (kW)
	锅 炉	汽轮机	锅 炉	汽轮机	
低温低压机组	1.4	1.3	350	340	1500~3000
中温中压机组	4.0	3.5	450	435	6000~50000
高温高压机组	10.0	9.0	540	535	25000~100000
超高压机组	14.0	13.5	540	535	125000~200000
亚临界压力机组	17.0	16.5	575	540	300000
超临界压力机组	25.0	24.0	545	540	500000 以上

四、水的导电作用

水是一种弱电解质，当水中没有任何杂质时，水体中只有水分子 H_2O 及电离出来极少量的 H^+ 和 OH^- ，因此纯水也具有导电能力。随着水中各种离子的增多，水的导电能力也增大，表 1-5 为在 $20^\circ C$ 时不同水质的电导率。

表 1-5

不同水质的电导率 ($20^\circ C$)

水质名称	电 导 率 ($\mu S/cm$)	水质名称	电 导 率 ($\mu S/cm$)
超高压锅炉和电子工业用水	0.1~0.3	天然淡水	50~500
新鲜蒸馏水	0.5~2	高含盐量水	500~1000

由表 1-5 可知，高参数机组用水是纯度极高的水。在火电厂水处理工艺中，衡量水的净化程度，通常都采用电导率来表示，因为它是测量方便、实用性强的指标。

纯净水的电导率不仅受含盐量影响，而且受水的温度及水在大气中放置时间长短的影响，如表 1-6 及表 1-7 所示。

表 1-6

水温与水的电导率的关系

水 温 ($^\circ C$)	0	18	26	34	50
电导率 ($\mu S/cm$)	0.016	0.044	0.067	0.096	0.19

表 1-7

水和大气接触时间与电导率的关系

接触时间 (min)	0	0.5	1	5	10	15
电导率 ($\mu S/cm$)	0.054	0.19	0.31	0.49	0.55	0.55

第三节 天然水的水质概况

一、天然水中的杂质

天然水体在与周围环境的接触中，极容易形成较为复杂的分散体系。按照分散相颗粒的大小，常把分散体系区分为粗分散系（悬浮物）、胶体分散系（胶体）和分子分散系（溶解物）三类，如表 1-8 所示。

表 1-8 水中杂质分类

分散颗粒	溶解物 (低分子、离子)		胶体颗粒		悬浮物			
颗粒尺寸	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1 μ m	10 μ m	100 μ m	1mm
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	
分散系外观	透明		光照下浑浊		浑浊			

小颗粒悬浮物往往也具有一定的胶体特征，只有微粒大于 10 μ m 时，才与胶体有明显区别。

随着我国工业的发展及人口密集度的增加，大量的工业废水和生活污水排入水体，造成水中杂质更趋复杂及水质日渐变差，然而新建的高参数大容量机组，不但用水量增加，而且对水质要求越来越高，这就形成一个明显的矛盾，同时也给水处理工作者提出了一个严峻的课题。

1. 悬浮物

悬浮物是分散在水体中颗粒较大的物质，由于这类物质的存在，水体变为浑浊。根据悬浮物颗粒的大小和相对密度的不同，在静止的水中有些会上浮到水面（如动植物肢体在水中分解的碎片等有机质），有些在自身重力作用下而下沉水底（如泥沙及矿渣等无机质）。这类杂质在水中不稳定，在水流平稳时容易从水中分离出来。

2. 胶体

胶体颗粒是介于悬浮物和溶解物之间，在水中属于多相体系。由于它们的比表面积很大，表面活性强，具有特殊的表面性能，如表面电荷及水化膜等，因此将胶体作为分散体系的特殊一类来加以研究。

天然水中的胶体主要有两种成分，一是无机类胶体，大多是铁、铝、硅的化合物；另一类是有机类胶体，主要是动植物肢体分解产物，它们表面大多带有负电荷，由于相同胶体的静电斥力，它们难以聚结成大颗粒，在水中相当稳定，虽经长时间静止也不会自然沉降。因此，将它们从水中分离出来是十分困难的。

另外，溶于水中的有机高分子物质，如腐殖质等，是使水产生色、嗅、味的主要原因，它们虽然不属于胶体，但由于分子量较大，其某些特性与胶体有类似之处。在水处理工艺中，通常采用与胶体和悬浮物相同的处理方法将它们从水中除去，但在实施中较前两

种杂质困难得多。

3. 溶解物

溶解物是水体流经地层过程中被溶解的一些矿物盐类，它们在水中几乎都被电离成为阴、阳离子。另外是水体与大气接触中而溶解的某些气体分子。这些杂质与水体组成的分散体系都属于单相体系，通常称为真溶液，在水净化工艺中不能采用与悬浮物胶体相同的方法将它们从水体中除去。

天然水中最常见的阳离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ ，阴离子有 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 。某些地区的地下水中还含有较多的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。在盐碱地带， F^- 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 的含量较高；由于矿物质溶解度低或氧化水解作用，其他离子成分在水中不稳定，含量很低，在火力发电厂水净化工艺中对它们很少监测。

以分子状态存在于天然水中的杂质主要是某些气体，其中最为关注的溶解气体是 CO_2 和 O_2 ，它们的存在是使金属发生腐蚀的主要原因。

如果天然水体受到污染，那么水中的离子成分会有很大的变化，这是值得注意的问题。

二、天然水的特点

天然水是分布在自然界的水体，根据分布的区域不同，通常分为地下水、地面水和海水。由于它们接触环境的差异，其水质各具有较明显的特点。表 1-9 摘要例出我国各类天然水的水质成分。

表 1-9 我国天然水水质 (mg/L)

水源	地 点	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Fe^{2+}	Mn^{2+}	CO_2	含盐量
江 河	长 江	28.9	9.6	8.6	128.9	13.4	4.2	—	—	—	193.6
	黄 河	39.1	17.9	46.3	162.0	82.6	30.0	—	—	—	377.9
	黑 龙 江	11.6	2.5	6.7	54.9	6.0	2.0	—	—	—	83.7
	西 江	18.5	4.8	8.1	91.5	2.8	2.9	—	—	—	128.6
	松 花 江	12.0	3.8	6.8	64.4	5.9	1.0	—	—	—	93.9
	闽 江	2.6	0.6	6.7	20.2	4.9	0.5	—	—	—	35.5
	塔 里 木 河	107.6	841.5	10265	117.2	6052	14368	—	—	—	31751.3
湖 泊 水 库	武 汉 南 湖	18.9	1.83	17.9	70.7	15.8	13.7	—	—	—	138.7
	长 春 新 立 城 水 库	20.5	5.61	3.17	79.9	5.0	7.1	—	—	—	121.3
	湖 北 洪 湖	22.4	3.17	11.4	75.3	10.3	4.55	—	—	—	127.12
	海 水	400	1272	10560 + 380	142	2560	18980	—	—	—	34294
地 下 水	石 家 庄 井 水	82.9	19.8	16.2	219.6	37.3	28.0	—	—	—	403.8
	哈 尔 滨 井 水	78.2	12.8	23.5	317.2	8.0	21.34	0.02	—	11.5	416.0
	佳 木 斯 水 源	37.2	12.6	20.4	140	15	40	10	1.0	60	276.2
	宁 夏 同 心 县 井 水	481.0	437.8	2790.0	488.2	3938.5	2127.6	—	—	—	10476
	湖 南 岳 阳 井 水	2.83	1.56	5.29	9.76	8.95	2.55	1.4 ~2.1	—	79.4	38.0
	天 津 塘 沽 地 下 水	8.0	3.7	317	464	48	200	—	—	—	—

1. 地下水

地下水是存在地下水层的水，是由雨水和地表水经过地层的渗流而形成的。水在地层渗流过程中，通过土壤和砂砾的过滤作用，去除了大部分悬浮物和菌类，所以地下水的浑浊度普遍较低。

地层中的水体不直接接触大气，在深度 10m 以上时就不再受气温影响而保持稳定。溶解氧在地层中消耗后得不到补充，所以溶解氧量很少，如果有有机物在土壤中含量较多，氧气消耗于生物氧化，有机物发生厌氧分解，产生 CO_2 、 H_2S 等气体进入水中，使水具有酸性和还原性。酸性水会使一些难溶盐类溶解。还原性水与高价铁锰矿石反应，使它们以低价离子形态进入到水中，因此地下水游离二氧化碳量、含盐量高并普遍含有 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。

地下水按其深度可分为表层水、层间水和深层水。水层愈深，地下水的特点就愈明显。

(1) 表层水包括土壤水和潜水，也就是不透水层以上的水，其渗流经过的渗层较薄，所以在很大程度上具有地表水的特点，例如小容量锅炉用的浅井水和农村井水大多是这类水层的地下水，当表层地下水有一定深度时，水质也可能比较好。

(2) 层间水是指不透水层以下的层间水，距离地面补给水源较远，经过长途渗流到达此层，通常承受压力高于大气压，有些地区可能形成自流井或泉水。这种水不直接与外界相通，受外部环境的影响较少，所以水质较稳定，具有明显的地下水特点。

(3) 深层水是指几乎与外界隔绝的地下水层，含有较多的盐类和某些气体（如 CO_2 、 H_2S ）。地下水的含盐量随深度而增大，它的离子组成也是从低含盐量的淡水型（即 $[\text{Ca}^{2+}] > [\text{Na}^+]$ ， $[\text{HCO}_3^-] > [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{Cl}^-]$ ），转化为高含盐量的苦咸水型（即 $[\text{Na}^+] > [\text{Ca}^{2+}]$ ， $[\text{Cl}^-] > [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{HCO}_3^-]$ ）。

近年来，我国沿海工业发展迅速。在沿海平原地区，常常出现海水侵入使地下水发生盐化现象，这种变化称为水质变异。若水井的取水层上部粘土类不透水层较厚，即使动水位比海平面低很多，则也不易受到海水的污染；当粘土层较薄或取水层与海岸线连通时，则因抽水关系，使海水进入到取水层。地下水被海水污染后水质变化趋势是 $[\text{HCO}_3^-] / [\text{总离子}]$ 减少， $[\text{Na}^+] / \text{总阳离子}$ 增加，或用水中阴离子或阳离子的浓度的比值的变化的变化来判断污染的程度，如表 1-10 所示。

表 1-10 地下水被海水污染程度的判断

$[\text{Cl}^-] / \left[\frac{1}{2} \text{CO}_3^{2-} \right] + [\text{HCO}_3^-]$	污染程度	$\left[\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} \right] / \left[\frac{1}{2} \text{Mg}^{2+} \right]$
0.5	未被污染的地下水	> 0.5
1.3	轻微污染的地下水	0.34 ± 0.05
6.6	已受污染的地下水	0.2 左右
15.5	严重污染的地下水	

2. 地面水

地面水是指流动或静止在陆地表面的水，它包括的范围很广，诸如江河、湖泊、水库等。海水虽然属于地面水，但由于其特殊的水质，另加介绍。

江河水发源于高山冰川或地下泉水，与雨雪水（统称降水）地面径流汇集而成。由于流域面积十分广阔，又是敞开流动的水体，所以，水质易受自然条件影响，诸如水温极不稳定而且随季节变化幅度大；悬浮物和胶体杂质含量较多，且随地区和季节的不同，差异很大。如我国东北、华东和中南地区的大部分河流流经地区，由于土质植被和气候条件较好，浑浊度均较低，一年大部分时间内河水较清，只是雨季时河水较浑浊，每年平均浑浊度约在 50~400mg/L 之间。而西北和华北地区的流经黄土高原的黄河水系及海河水系，水土流失严重，悬浮物、含砂量大，浊度变化幅度也很大，冬天枯水季节，浊度有时仅几十至几百毫克/升，夏秋多雨季节可能骤增到几克至数百克/升。

地面水（除咸水湖外）的含盐量、硬度及 CO_2 含量普遍较低，主要原因是其由含杂质很少的降水汇聚形成的。另外，水体在流动过程中，时而形成瀑布，时而流经浅滩，进行自然曝气作用，二氧化碳不断地从水中逸出。在枯水季节，地表水的蒸发量大于降水的补给量，所以地面水的含盐量及硬度均较高；在多雨季节，由于降水的稀释作用，含盐量及硬度较低。

地面水中有机物含量在正常情况下很低，这是由于天然水体的有机物不断地进行生物降解，在适宜的条件下，将逐步达到无机化而消除了其污染性，这一过程称为水体自净。地面水的溶解氧，一般情况下呈饱和状态。受到有机物污染时，地面水会出现缺氧状态；当有机物被氧化后，又可能恢复正常，这是地面水体自净的规律。

地面水最大的缺点是易受工业废水、生活污水及其它各种人为的污染，造成水质变坏，增大水处理的难度。

3. 海水

各地海洋水质基本上是相似和稳定的，其显著特点是含盐量较高，约 35g/L 左右。各主要离子之间的比例关系基本上是一定的，只有 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 变化较大。它们含量的固定次序是： $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 。在海水中，氯化物含量约占 89%。

海水必须经过淡化处理才能应用，未经处理的海水主要限于用来冷却热交换设备。位于海滨的热力发电厂，主要用海水作为凝汽器的冷却水，但要注意海生动植物对取水口和输水管道的堵塞问题，用时还要充分注意海水对水泵、凝汽器铜管及其他金属设备和器材的腐蚀问题。

第四节 水质指标

各种水体都是由水和杂质组成的，水与杂质相互作用而并非单纯的混和，它们共同决定水体的特性。因此，所谓水质是指水和其中杂质共同表现的综合特性。

表示水中杂质的个体成分或整体性质的项目，称为水质指标。

水质指标通常分为两种：一种表示水中杂质成分（如离子和化合物）的含量，称为成分指标；一种表示某一类杂质的共同特征，这是根据用水对象的需要而制定的，称为技术指标。由于各行各业的用水需求不同，所制定的水质指标也有差别，现将火力发电厂锅炉用水的各种水质指标及其代表符号及使用单位列于表 1-11 中。

表 1-11 水质分析项目、代表符号、单位

项 目	符 号	单 位	
		中 文	法 定 单 位
全固体	QG	毫克/升	mg/L
溶解固体	RG	毫克/升	mg/L
悬浮固体	XG	毫克/升	mg/L
灼烧减少固体	SG	毫克/升	mg/L
灼烧残渣	SC	毫克/升	mg/L
电导率	κ	微西/厘米	$\mu\text{S}/\text{cm}$
pH 值	pH		
二氧化硅	SiO ₂	毫克/升, 微克/升	mg/L, $\mu\text{g}/\text{L}$
钙	Ca ²⁺	毫克/升	mg/L
镁	Mg ²⁺	毫克/升	mg/L
硬度 (1/2Ca ²⁺ , 1/2Mg ²⁺)	H	毫摩尔/升, 微摩尔/升	mmol/L, $\mu\text{mol}/\text{L}$
氯化物	Cl ⁻	毫克/升	mg/L
铝	Al	微克/升	$\mu\text{g}/\text{L}$
酸度	S	毫摩尔/升,	mmol/L
碱度	A	毫摩尔/升, 微摩尔/升	mmol/L, $\mu\text{mol}/\text{L}$
硫酸盐	SO ₄ ²⁻	毫克/升	mg/L
磷酸盐	PO ₄ ³⁻	毫克/升	mg/L
铜	Cu	微克/升	$\mu\text{g}/\text{L}$
铁	Fe	微克/升	$\mu\text{g}/\text{L}$
氨	NH ₃	毫克/升	mg/L
联氨	N ₂ H ₄	毫克/升, 微克/升	mg/L, $\mu\text{g}/\text{L}$
溶解氧	O ₂	微克/升	$\mu\text{g}/\text{L}$
钠	Na ⁺	微克/升	$\mu\text{g}/\text{L}$
游离二氧化碳	CO ₂	毫克/升	mg/L
硝酸盐	NO ₃ ⁻	毫克/升	mg/L
亚硝酸盐	NO ₂	毫克/升	mg/L
游离氯 (余氯)	Cl ₂	毫克/升	mg/L
腐殖酸盐 (H)	FY	毫摩尔/升	mmol/L
化学耗氧量	COD	毫克/升	mg/L
安定性指数	AS	—	—
透明度	TD	厘米	cm
浊度	ZD	福马胂单位	FTU
硫酸盐凝絮剂量	LN	毫摩尔/升	mmol/L
有机物	YW	毫克/升	mg/L
亚硫酸盐	SO ₃ ²⁻	毫克/升	mg/L
油	Y	毫克/升	mg/L