



21世纪

高等学校精品规划教材

电厂水处理技术

主 编 刘智安

副主编 沈炳耘 王乃光 邢世录



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校精品规划教材

电厂水处理技术

主 编 刘智安

副主编 沈炳耘 王乃光 邢世录



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了火力发电厂给水处理中各个处理单元的基本工作原理、设备结构及基本设计原理。全书共十二章，主要内容包括：天然水的特征及在电厂中的应用、水的混凝处理、水的沉淀与澄清处理、水的过滤处理、水的消毒杀菌与吸附处理、离子交换基础、离子交换水处理、膜分离及电渗析 EDI 精处理技术、凝结水处理、循环冷却水处理、锅炉给水系统的金属腐蚀与水质调节、火电厂空冷技术及水质特性等。

本书可作为高等学校电厂环境工程、应用化学、热能与动力工程等专业的本、专科教材，亦可作为电厂化学人员培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂水处理技术 / 刘智安主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

21 世纪高等学校精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6235 - 6

I. 电… II. 刘… III. 火电厂—水处理—高等学校—教材 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007079 号

书 名	21 世纪高等学校精品规划教材 电厂水处理技术
作 者	主编 刘智安 副主编 沈炳耘 王乃光 邢世录
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 21.75 印张 516 千字
版 次	2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

近年来,随着电力工业的发展,高参数、大容量发电机组在我国相继建设投产,对火电厂的水质处理也提出了越来越严格的要求。因此,培养和造就一大批既能从事电厂环境保护工作,又能胜任电厂化学车间工作的高级应用型人才的任务,摆在了我们面前,编写一本符合专业培养目标要求的教材,成为一件富有意义和紧迫感的工作。

本书在内容编选上,系统地介绍了火力发电厂水质处理各个操作单元的工作原理、设备结构等,符合专业培养目标的要求。

全书分为十二章,内容包括:天然水的特征及在电厂中的应用、水的混凝处理、水的沉淀与澄清处理、水的过滤处理、水的消毒杀菌与吸附处理、离子交换基础、离子交换水处理、膜分离及电渗析 EDI 精处理技术、凝结水处理、循环冷却水处理、锅炉给水系统的金属腐蚀与水质调节、火电厂空冷技术及水质特性等。

通过本课程的学习,学生能够较全面地掌握火力发电厂水质处理的基本理论、处理方法及主要设备的工作原理,了解火电厂水处理技术的基本流程及发展过程,为今后工作打下良好基础。

本次编写是对历年来教学讲义的总结,同时也参考了许多相关图书及教材,并部分引用了其中的内容,在此表示感谢!

本书由刘智安、沈炳耘、王乃光、邢世录组织编写,由刘智安任主编并统稿。各章节编写人员分工如下:刘智安:第一章的第一节至第三节,第六章,第七章,第十章的第一节至第四节;沈炳耘:第九章的第一节至第五节,第十章的第五节至第八节;王乃光:第九章的第六节,第十二章;邢世录:第五章,第八章的第一节至第六节、第八节;李桂兰:第四章,第八章的第七节;高俊如:第一章的第四节、第五节,第二章,第三章,第十一章。

由于大家都有工作在身,加之时间仓促,编写内容上难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2009年1月

目录

前言

第一章 天然水的特征及在电厂中的应用	1
第一节 水的物理化学性质	1
第二节 天然水的特征和分类	4
第三节 水质指标表示方法及指标间的关系	9
第四节 电厂热力系统及各种用水的特点.....	15
第五节 火电厂热力系统水汽质量的控制.....	21
第二章 水的混凝处理	25
第一节 胶体化学基础	25
第二节 水的混凝处理原理	30
第三节 影响混凝处理的因素	33
第四节 混凝处理设备	37
第五节 常用混凝剂与助凝剂	41
第六节 电混凝原理	43
第三章 水的沉淀与澄清处理	45
第一节 悬浮颗粒的自由沉降及层状沉降原理	45
第二节 平流式沉淀池的原理与设计	49
第三节 斜板斜管沉淀池的结构及特点	59
第四节 辐流式沉淀池的结构及特点	62
第五节 水的澄清处理原理	65
第六节 机械搅拌澄清池	67
第七节 脉冲澄清池	69
第八节 水力循环澄清池结构原理	72
第九节 澄清池的运行管理与调整	73
第四章 水的过滤处理	76
第一节 过滤技术的发展及过滤机理	76
第二节 滤料的选取及特性	77
第三节 过滤设备的工作过程及水头损失.....	84

第四节	滤层的清洗及配水系统	88
第五节	几种常用过滤设备结构及运行	94
第六节	微絮凝过滤原理及特点	98
第七节	盘式过滤与纤维过滤的原理及应用	100
第五章	水的消毒杀菌与吸附处理	105
第一节	水的消毒杀菌处理	105
第二节	活性炭吸附处理	113
第三节	大孔吸附树脂的吸附应用	124
第六章	离子交换基础	127
第一节	离子交换树脂	127
第二节	离子交换树脂的理化性能	131
第三节	离子交换树脂的交换特性	139
第四节	离子交换速度	141
第五节	离子交换平衡	143
第六节	离子的动态交换过程	148
第七节	离子交换树脂的预处理及污染后的复苏	153
第七章	离子交换水处理	157
第一节	一级复床除盐	157
第二节	带有弱型树脂的复床除盐	161
第三节	除碳器	167
第四节	混床除盐	169
第五节	离子交换除盐系统	173
第六节	水的软化和降碱	175
第七节	离子交换设备及运行	178
第八节	树脂的再生方法及再生系统	185
第八章	膜分离及电渗析 EDI 精处理技术	191
第一节	反渗透脱盐的基本原理	191
第二节	膜的性能	194
第三节	膜材料与结构	197
第四节	反渗透系统的预处理	201
第五节	反渗透装置	204
第六节	反渗透元件的性能和排列方式	207
第七节	超滤	209
第八节	填充床电渗析 EDI 精处理技术	214
第九章	凝结水处理	219
第一节	凝结水的污染	219

第二节	凝结水的过滤处理	222
第三节	凝结水除盐装置	226
第四节	混床的体外再生	233
第五节	后置过滤器	239
第六节	凝结水处理工艺系统	240
第十章	循环冷却水处理	243
第一节	冷却水系统及冷却设备	243
第二节	水的冷却原理	250
第三节	敞开式循环冷却水系统的水量平衡及水质变化	253
第四节	循环冷却水水质稳定性的判断	258
第五节	循环冷却水的阻垢处理	263
第六节	循环冷却水系统的腐蚀与控制	272
第七节	循环冷却水系统中微生物的危害及控制	286
第八节	循环冷却水的电磁处理技术	292
第十一章	锅炉给水系统的金属腐蚀与水质调节	299
第一节	锅炉给水系统金属腐蚀的基本原理和类型	299
第二节	锅炉给水的水质调节	308
第三节	锅炉给水的加氧处理	318
第四节	锅炉给水水质调节的运行方式	323
第十二章	火电厂空冷技术及水质特性	325
第一节	空冷系统及其特点	326
第二节	空冷机组的水质特性	333
第三节	空冷机组凝结水的处理	336
参考文献	340

第一章 天然水的特征及在电厂中的应用

水是地面上分布最广的物质，在大多数的情况下，天然水必须经净化处理后才能使用。发电厂中采用的水净化方法，是依据热力设备对水质的要求和天然水中杂质的含量来决定的。在研究水处理工艺时，首先需要了解天然水的物理化学性质、天然水的特征、电厂热力系统及各种用水的特点等。

第一节 水的物理化学性质

一、水分子的结构

水分子 (H_2O) 是由两个氢原子和一个氧原子构成的。在水分子中，氢氧原子核呈等腰三角形排列，氧原子核位于三角形的顶角上，两个氢原子核位于两个底角上，两腰夹角为 $104^{\circ}45'$ ，在 O—H 线从 O 原子算起约 0.6 键长处是构成 O—H 共价键的两个电子，在 HOH 的等分角线延长处垂直于 HOH 平面上上下各有一对 O 原子的孤对电子，如图 1-1 (a) 所示。两个水分子间会形成氢键，即一个水分子中的 H 原子与另一个水分子中的 O 原子通过氢键相连接，形成缔和水分子，如图 1-1 (b) 所示。

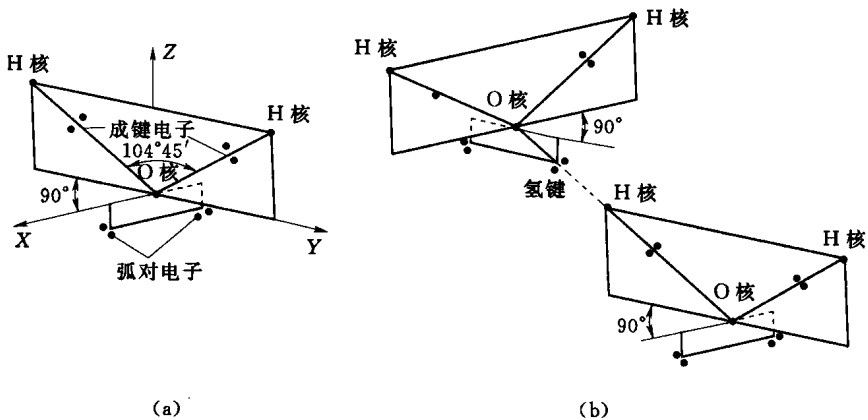


图 1-1 水分子结构示意图

由于水分子的独特结构，使得水表现为两个特殊性质：一是在 O 原子一端带负电，而在 H 原子一端带正电，表现出是一个极性较强的分子；二是 O 原子的孤对电子和另一水分子的 H 核可形成氢键，使得水除以单分子形式存在之外，若干水分子可形成由氢键联起来的缔和水分子簇，因此常表示为 $(H_2O)_n$ ，缔和水分子簇在水分子的热运动及外力的影响下，其组成的 n 值是不确定的。

增高或降低水温，缔和水分子的氢键会发生变化。水温增高时，氢键发生断裂， n 值降低，单个水分子数量增加，反之亦然。水温与水分子形式间的关系见表 1-1。

表 1-1 水温与水分子形式间的关系

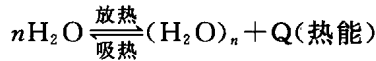
水温 水分子形式	冰	水			
	0℃	0℃	4℃	38℃	93℃
H ₂ O	0	19%	20%	29%	36%
(H ₂ O) ₂	41%	58%	59%	50%	51%
(H ₂ O) ₃	59%	23%	21%	21%	13%

二、水的特性

1. 水的缔合作用与密度

相邻水分子间由氢键联结，使水能以缔和水分子簇 (H₂O) _{n} 的巨型分子形式存在，这种由单分子水结合成多分子水而不引起水的化学性质改变的现象称为水分子的缔合作用。

水分子缔合可用下列平衡表示：



单体水 缔合体水

水的缔合随温度的升高而减弱，当温度为 4℃ 时，缔合程度最大，水的密度也最大。

自然界中的水只有以气态存在时才呈单分子状态，而以液态及固态存在时均呈多分子形式存在。(H₂O) _{n} 中的 n 主要取决于温度，一般认为在标准大气压和 20℃ 时， n 的平均值为 40 左右，只有水温接近 200~300℃ 时， n 值才接近 1，即具有单分子水的形式。

水的密度在 4℃ (严格讲为 3.98℃) 时，密度达到最大 1.0000g/cm³，超过或低于此温度时，体积增大，密度减小。0℃ 时，水的密度为 0.9999g/cm³，而 0℃ 时的冰体积增大，密度降为 0.9168g/cm³。

2. 水的表面张力

液体自由表面的分子，由于液体内部分子对它们的吸引，会受到一种要将它们向内部吸引的力，这就是表面张力，从而使液面具有缩小的趋势，即表面张力就是作用于液体表面边界单位长度上的力，水的表面张力随温度升高而减小，见表 1-2。

表 1-2 水温与表面张力的关系

温 度 (K)	273	323	373	473	523	573	623	647
表面张力 (×10 ⁻⁵ N/cm)	75.5	63.1	51.5	29.0	18.9	9.6	1.6	0

水依靠较大的表面张力产生毛细现象，而且在很大程度上也影响水溶液中的吸附现象，如水在 18℃ (291K) 时，表面张力为 73×10⁻⁵N/cm。可使直径为 0.1mm 的毛细管中的水位上升 15cm。水中加入溶解的盐类也可增加表面张力，加入表面活性剂可减小表面张力。

3. 水的热性质

水的热传导、比热容、熔化热、汽化热及热膨胀系数几乎比所有其他液体都高，同时具有很高的沸点。

所谓热传导是指物质传导热的能力，以导热系数表示；比热容是指单位质量物质升高 1°C 时所吸收的热量，水的摩尔比热容为 $75.3\text{J}/(\text{mol}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；熔化热是指 1mol 固体物质在熔点时由固态转变为液态所吸收的热量；汽化热是指 1mol 液体在沸点时从液态转变为气态所吸收的热量；热膨胀系数表示物体受热后所具有的膨胀能力。由于水具有上述热性质，起到调节自然界温度的作用，使得地球上的气候适合于人类居住及动植物的生长。

水在 101325Pa 的压力下沸点为 100°C ，水在达到沸点以前有着很长的液态阶段，这一特殊性是因为水分子偶极间引力大大超过一般液体，是水分子间强烈氢键缔合作用造成的。冰的熔化热为 $6.02\text{kJ}/\text{mol}$ ，水的汽化热为 $40.7\text{kJ}/\text{mol}$ 。

4. 黏度与流动性

水具有较小的黏度和较大的流动性，水分子的极性和氢键共同决定了水的这一特点。

当温度增高时，水的黏度减小；另一方面，当水中溶盐含量增高时，黏度增大，所以海水较淡水黏度高。

压力对水的黏度具有影响，当水处于中等压力时，黏度较小；当压力继续增加时，水的黏度将会随压力的增加而增大。

5. 水的导电性能

水具有很高的介电效应，介电效应一般用介电常数来表征，介电常数 ϵ 是指在某种介质中两电荷间引力或斥力比在真空或空气里减少的量。介电常数越大，两电荷质点间的引力越小；反之，则越大。在常温下，水的介电常数为 81 ，表示正负电荷在水中的相互吸引力比在真空或空气中减少 $1/81$ ；在 0°C 时，水的介电常数为 88 ； 100°C 时为 56 。

极纯的水几乎不导电，即它的电阻率很大。水本身为弱电解质，只有极少的分子分解成 H^+ 和 OH^- 。理论上的纯水在 25°C 时的电导率为 $0.054\mu\text{S}/\text{cm}$ ，电阻率为 $18.519\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 。在水中溶有电解质时，导电能力增加。

6. 水的光学性质

水的透明度与通过它的光线的波长有关，紫外线能完全透过水，而红外线则很难透过。水可吸收大部分可见光中的橙色和红色，故蓝色光可透过较厚的水层。

物质之所以呈现不同的颜色，是由于其对不同波长的光有不同程度的透射与反射的结果。对于透明的物质呈现的是透过光的颜色，对于不透明的物质呈现的是反射光的颜色。

溶液的颜色是因它选择性地吸收某波长的光而呈现吸收光互补色的颜色。水中细小的悬浮物与胶体粒子会降低水的透明度，并产生光的散射，使水浑浊。

7. 盐类离子的水化作用

由于水是极性分子，水分子中的正极（H）被水中阴离子所吸引，负极（O）则被水中阳离子所吸引。由于水中离子与水分子偶极间的相互吸引作用，使水中正、负离子周围为水分子所包围，这种作用称为盐类离子的水化作用，这也是多数盐类离子溶于水的主要原因。

离子水化后生成水合离子，如水合铁离子 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ 、水合亚铁离子 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、

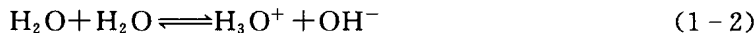
水合铝离子 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 和水合氢离子 H_3O^+ 等。

8. 水的电离及平衡

水分子的另一个重要特性是两性电解质，即水分子具有酸（提供质子 H^+ ）和碱（夺取质子）的双重性质。因而水具有电离作用，即：



在水溶液中，带正电荷的质子 H^+ 和极性水分子的带负电荷的一端结合在一起，成为水合氢离子（水和质子） H_3O^+ ，因此式（1-1）可以写为：



因而在水分子之间存在着质子的传递作用，这种作用的平衡常数称为水的离解常数，用 K 表示：

$$K = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \quad (1-3)$$

水合质子 H_3O^+ 常常简写为 H^+ ，因而式（1-3）可以简写为 $K = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ 。常数 K 也就是水的离子积，在 25°C 时，等于 10^{-14} ，因而：

$$K = 10^{-14} \quad \text{或} \quad \text{p}K = 14 \quad (1-4)$$

K 只与温度有关，而与溶液中 H^+ 及 OH^- 的浓度无关。水溶液中 H^+ 及 OH^- 的浓度反映了溶液的酸碱性。

大家知道，溶液中 H^+ 的有效浓度（活度）用负对数表示，即：

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] \quad (1-5)$$

水电离时所产生的 H^+ 和 OH^- 数量相等，在不含任何杂质的纯水中：

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (1-6)$$

用负对数形式表示时，则：

$$\text{pH} = \text{pOH} = 7$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

当 $\text{pH} = 7$ 时，表示水呈中性；当 $\text{pH} > 7$ 时，水中 $[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$ ，水呈碱性， pH 值越大，水的碱性越强；当 $\text{pH} < 7$ 时，水中 $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ ，水呈酸性， pH 值越小，水的酸性越强。

第二节 天然水的特征和分类

一、天然水中的杂质

天然水在地面上或在地下流动的过程中，接触了泥土、岩石和空气等自然界的物质，加上受到人为污染，水中就会有很多杂质。天然水中的杂质归纳起来可分为三大类：悬浮物、胶体物质和溶解物质。

1. 悬浮物

悬浮物的颗粒为 10^{-4} mm 及以上的微粒，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。在天然水常见的这类物质是砂子和黏土类无机物，它们的量常占悬浮物的绝大部分。比水轻的悬浮物，在水静置时会上升，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。

2. 胶体物质

胶体物质是一些 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm 间的颗粒，在水中做布朗运动，它们不能依靠静置的方法自水中分离出来。而且，胶体颗粒常常因表面带电，同类胶体之间有同性电荷的斥力不易相互黏合成较大的颗粒，所以胶体颗粒的水溶液比较稳定。

胶体颗粒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；属于后者的多是因动植物腐烂而生成的有机胶体，其中主要的是腐殖质。

3. 溶解物质

溶解物质的粒径小于 10^{-6} mm，多以分子或离子状态存在，可以分为盐类溶解物、溶解气体和有机物三类。

(1) 盐类溶解物：天然水中的盐类溶解物多以离子状态存在，大多是一些常见的离子。如按量的多少来区分，可以将这些离子归纳为表 1-3 的三种。其中第一种杂质的含量最多，是水处理过程中需要净化的主要对象。

表 1-3 天然水中的盐类溶解物

种类	阳离子		阴离子		浓度的数量级
	名称	符号	名称	符号	
I	钠离子 钾离子 钙离子 镁离子	Na ⁺ K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	碳酸氢根 氯离子 硫酸根	HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻	自几个毫克/升至几万毫克/升
II	铵离子 铁离子 锰离子	NH ₄ ⁺ Fe ²⁺ Mn ²⁺	氟离子 硝酸根 碳酸根	F ⁻ NO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻	自十分之几个毫克/升至几个毫克/升
III	铜离子 锌离子 镍离子 钴离子 铝离子	Cu ²⁺ Zn ²⁺ Ni ²⁺ Co ²⁺ Al ³⁺	硫氢酸根 硼酸根 亚硝酸根 溴离子 碘离子 磷酸氢根 磷酸二氢根	HS ⁻ BO ₂ ⁻ NO ₂ ⁻ Br ⁻ I ⁻ HPO ₄ ²⁻ H ₂ PO ₄ ⁻	小于十分之一毫克/升

从天然水中所含的离子来看，主要有 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺ 三种阳离子和 CO₃²⁻、SO₄²⁻、Cl⁻ 三种阴离子。水中 K⁺ 离子一般含量较少，约为 Na⁺ 离子的 4%~10%，但其性质与 Na⁺ 离子相似，所以在水质分析中常以 Na⁺+K⁺ 的形式表示。溶于水中的 Fe²⁺、Al³⁺、Zn²⁺、SiO₃²⁻ 等含量一般不大。

(2) 溶解气体：天然水中常见的溶解气体为氧 (O₂) 和二氧化碳 (CO₂)，有时还有硫化氢 (H₂S)、二氧化硫 (SO₂) 和氨 (NH₃) 等。在不同的温度下，当与水接触的气体中 O₂、CO₂ 和 H₂S 的分压为 0.101MPa (1 大气压) 时，它们在水中的溶解度见表 1-4。

表 1-4 O₂、CO₂和 H₂S 在水中的溶解度 单位: mg/L

温度 (°C)	CO ₂	O ₂	H ₂ S	温度 (°C)	CO ₂	O ₂	H ₂ S
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

天然水中 O₂ 的主要来源是大气中 O₂ 的溶解, 所以地下水的氧含量一般较少, 因为它们不与大气接触。至于地表水, 因来源不同而有较大的差异, 因为各地的水温和气压不同, 而且, 水中的有机物可与氧化合, 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 CO₂ 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 CO₂ 含量有很大差别, 可自每升不足 1mg 至几百毫克, 地表水的 CO₂ 含量常不超过 20~30mg/L, 地下水的 CO₂ 含量有时可达很高。

天然水中 CO₂ 并非大量来自大气, 而恰好相反, 它会向大气中析出, 因为大气中 CO₂ 只占 0.03%~0.04% (体积百分率), 与之相应的溶解度仅为 0.5~1.0mg/L。

(3) 有机物: 天然水体中溶解的有机物大多为大分子的有机酸群, 如腐殖酸、富里酸、氨基酸、糖类等。

4. 天然水中杂质的处理方法

天然水中的悬浮物、胶体物质和溶解物质在电厂水处理中属于要处理的对象, 通常按这些杂质的分散态粒径进行分类, 属于同一粒径的杂质的处理方法相同, 如表 1-5 所示。

表 1-5 天然水中杂质的处理方法

粒 径 (mm)	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10
分类	真溶液		胶体溶液		悬浮液				
特征	透明		光照下浑浊		浑浊			肉眼可见	
常用处理法	离子交换、电渗析、反渗透等		超滤		精密过滤		自然沉降、过滤		
			混凝、澄清、过滤						

二、天然水的特征

根据天然水分布的区域不同, 天然水通常分为地下水、地面水和海水, 它们的水质有很大的差别。

1. 地下水

地下水是由降水和地表水渗流至地层中而形成的, 因为它与地层中土壤和岩石接触过程中, 水质发生了变化。地下水的水质虽有很大差别, 但总的来说, 它们有以下特征: 地下水通过土壤层时被过滤, 所以没有悬浮物, 经常是透明的。由于它通过土壤和岩层时溶

解了其中各种可溶性矿物质，故它的含盐量比地面水大。地下水含盐量的多少决定于流经地层的矿物质成分、接触时间和水流过路程的长短。氯化钠 (NaCl)、硫酸钠 (Na₂SO₄)、硫酸镁 (MgSO₄)、氯化镁 (MgCl₂)、氯化钙 (CaCl₂) 和其他易溶盐类，最易溶于地下水中。

CaCO₃ 和 MgCO₃ 可溶于含有游离 CO₂ 的水中，由于钙、镁的碳酸盐常常存在于各种岩层中，如石灰石、白云石等，水中或多或少都含有钙、镁的碳酸氢盐。构成土壤的主要成分硅酸盐和铝硅酸盐几乎不溶于水，但当水中含有 CO₂ 和有机酸时，可以促进其溶于水。

地下水的含盐量在 100~5000mg/L 之间，在干旱地区如我国西北、内蒙古西部等地的地下水含盐量还可能更高些，如宁夏地区的地下水含盐量高达 10476mg/L。

我国地下水的硬度通常在 2~10mmol/L 之间，少数地区高达 10~25mmol/L，地下水的水质一般终年很稳定。

2. 地面水

(1) 江河水：江河水的水质因各地区的自然条件和对水利资源的利用情况不同有很大差别，我国幅员广大、河流纵横，即使是同一河流，也常常在上游和下游、夏季和冬季、雨天和晴天，水质有所不同。

华东、中南和西南地区因为土质和气候条件较好，草木丛生，水土流失较少，河水浑浊度一般很低。在一年中有较长时间河水很清，只有在雨季河水较浑浊，每年平均浊度都在 100~400 度之间或更低。东北地区河流的悬浮物含量也不大，一般其浊度在数百度以下。华北和西北的河流，特别是黄土地区，悬浮物含量高，变化幅度大，暴雨时挟带大量泥沙，河水中悬浮物含量在短短几小时内，可由几百毫克/升骤增至几万毫克/升。最突出的是黄河，冬季悬浮物含量只有几十度，夏季达几万毫克/升，洪峰时高达几十万毫克/升。

我国江河水的含盐量和硬度都比较低，含盐量一般在 70~900mg/L 之间，硬度在 1.0~8.0mmol/L 之间。表 1-6 所示为我国主要河流水质的概况。

表 1-6 我国主要河流水质的成分 单位: mg/L

成分 河流	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	含盐量
金沙江	37.5	8.0	9.9	133.0	17.0	8.0	213.4
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
松花江	12.0	3.8	6.8	64.4	5.9	1.0	93.9
塔里木河	107.6	841.5	10265	117.2	6052	14368	31751
闽江	2.6	0.6	6.7	20.2	4.9	0.5	35.5

(2) 湖泊和水库水：湖泊是由河流及地下水补给而成的，它的水质与补给水水质、气候、地质及生物等条件有密切关系，同时流入和排出的水量、日照和蒸发强度等也在很大程度上影响湖水的水质。如果流入和排出的河流水量都较大，而湖水蒸发量较小，则湖水含盐量较低，形成淡水湖，其含盐量一般在 300mg/L 以下。

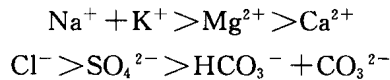
水库实际上是一种人造湖，其水质也与流入的河水水质和地质特点有关，但最终会形成与湖泊相似的稳定状态。

淡水湖水中离子组成与内陆淡水河流相似，多数是 $[Ca^{2+}] > [Na^+]$ 、 $[HCO_3^-] > [SO_4^{2-}] > [Cl^-]$ 的类型；少数是 $[Na^+] > [Ca^{2+}]$ ；个别的也有 $[SO_4^{2-}] > [HCO_3^-]$ 的。

(3) 海水：海水不宜直接作为工业水源，但由于淡水资源日益短缺和科学技术水平迅速发展，海水淡化等技术日益完善，已形成经济上可接受、技术上成熟的工业化技术，成了沿海城市发电用水的重要水源。

海水水质的主要特点是：①含盐量高，一般在 35g/L 左右；②腐蚀性大；③海水中动、植物多；④海水中各种离子组成比例基本上是稳定的；⑤pH 值变化小，海水表层 pH 值在 8.1~8.3 范围内，而在深层 pH 值则为 7.8 左右。

海水中主要离子的含量顺序是：



海水水质的化学组成如表 1-7 所示。

表 1-7 海水水质的化学组成 单位：mg/L

成分	含量	成分	含量	成分	含量
Cl ⁻	18980	Sr ²⁺	13	P	0.001~0.1
Na ⁺	10560	SiO ₂	6	Ba ²⁺	0.05
SO ₄ ²⁻	2560	NO ₃ ⁻	2.5	I	0.05
Mg ²⁺	1272	B	4.6	Cu	0.001~0.09
Ca ²⁺	400	F ⁻	1.4	Fe	0.002~0.02
K ⁺	380	Rb ⁺	0.2	Mn	0.001~0.01
HCO ₃ ⁻	142	Al ³⁺	0.16~1.9	As	0.003~0.02
Br ⁻	65	Li ⁺	0.1	总含盐量约 34400mg/L	

三、天然水的分类

在工业用水上为了便于问题的探讨，需要将天然水分类，一般有两种分类方法：一是按主要的水质指标；另一是按水中盐类的组成。

天然水可以按其硬度或含盐量进行分类，这两种指标可以代表水质受污染的程度。

(1) 按硬度分类：

极软水	<1.0mmol/L	<50mg/L(CaCO ₃)
软水	1.0~3.0mmol/L	50~150mg/L(CaCO ₃)
中等硬度水	3.0~6.0mmol/L	150~300mg/L(CaCO ₃)
硬水	6.0~9.0mmol/L	300~450mg/L(CaCO ₃)
极硬水	>9.0mmol/L	>450mg/L(CaCO ₃)

(2) 按含盐量分类：

低含盐量水	——含盐量在 200mg/L 以下
中等含盐量水	——含盐量为 200~500mg/L

较高含盐量水——含盐量为 500~1000mg/L

高含盐量水——含盐量在 1000mg/L 以上

我国江河水大都属于低含盐量和中等含盐量水，地下水大部分是中等含盐量水。

第三节 水质指标的表示方法及指标间的关系

水质指标有两种：一种表示水中杂质的离子组成，称水质全分析指标；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质，这些指标是由于技术上的需要专门拟订的，称技术指标，表 1-8 列出了火电厂用水的各种水质指标及单位。

表 1-8 水质分析的各种指标及单位

项 目	符 号	单 位		项 目	符 号	单 位	
		名 称	符 号			名 称	符 号
全固体	TS	毫克/升	mg/L	铁	Fe	微克/升	μg/L
溶解固体	DS	毫克/升	mg/L	氨	NH ₃	毫克/升	mg/L
悬浮固体	SS	毫克/升	mg/L	联氨	N ₂ H ₄	毫克/升	mg/L
灼烧减少固体		毫克/升	mg/L	溶解氧	O ₂	微克/升	μg/L
灼烧残渣		毫克/升	mg/L	钠	Na ⁺	微克/升	μg/L
电导率	κ	微西/厘米	μS/cm	游离二氧化碳	CO ₂	毫克/升	mg/L
pH 值	pH			硝酸盐	NO ₃ ⁻	毫克/升	mg/L
二氧化硅	SiO ₂	微克/升	μg/L	亚硝酸盐	NO ₂ ⁻	毫克/升	mg/L
钙	Ca ²⁺	毫克/升	mg/L	游离氯(余氯)	Cl	毫克/升	mg/L
镁	Mg ²⁺	毫克/升	mg/L	腐殖酸盐(H)		毫摩尔/升	mmol/L
硬度	H	毫摩尔/升	mmol/L	化学耗氧量	COD	毫克/升	mg/L
氯化物	Cl ⁻	毫克/升	mg/L	温度	T	度	°C
铝	Al	微克/升	μg/L	透明度		厘米	cm
酸度	S	毫摩尔/升	mmol/L	浊度		福马胂单位	FTU
碱度	A	毫摩尔/升	mmol/L	硫酸盐凝聚剂量		毫摩尔/升	mmol/L
硫酸盐	SO ₄ ²⁻	毫克/升	mg/L	有机物		毫克/升	mg/L
磷酸盐	PO ₄ ³⁻	毫克/升	mg/L	亚硫酸盐	SO ₃ ²⁻	毫克/升	mg/L
铜	Cu	微克/升	μg/L	油		毫克/升	mg/L

主要水质指标的含义及关系如下。

一、悬浮物与浊度

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。所以通常采用较易测定的“浊度”作为衡量悬浮物的指标。浊度的大小除了与水中悬浮固体有关外，还指示水中胶体，所以浊度实质上是这两类物质的综合指标。

浊度的表示方法有多种，早期采用经特殊精制的高岭土或硅藻土的悬浮液配制的，因为它们的主要化学成分是二氧化硅，所以也叫做二氧化硅标准。由于这种浊度仪是用杰克逊(Jackson)烛光浊度仪测定的，所以这种浊度单位称为杰克逊浊度单位(JTU)，杰克

逊浊度仪属于透射式浊度仪，只是以人目代替电监测仪，由于人目不能分辨极弱的光强度差别，因此目视浊度仪的应用受到限制。随后，又发展了一种用化学药品配制的标准液，称为福马肼（Formazine）标准，福马肼标准液的配制方法是：

溶液 A：取 1g 硫酸肼（ $N_2H_4H_2SO_4$ ），溶于少量除盐水中，然后用除盐水稀释至 100mL。

溶液 B：取 10g 六次甲基四胺 [$(CH_2)_6N_4$ 乌洛托平]，少量除盐水加热溶解，冷却后用除盐水稀释至 100mL。

使用时各取 5.0mL 混合稀释至 100mL 配制而成，这时的福马肼浊度定义为 400FTU。

福马肼浊度的单位是 NTU 或 FTU，（1NTU=1FTU）。福马肼浊度仪属于散射式浊度仪，表明仪器在与入射光成 90° 角的方向上测得的散色光强度，可用现代光学仪器观测并显示。常用的浊度单位“度”相当于 NTU 或 FTU。

二、溶解固体与含盐量

1. 溶解固体

溶解固体是指水中除溶解气体之外各种溶解物的总量，是将一定量体积的水样，经蒸发并放在 $105\sim 110^\circ C$ 下恒重后的重量，近似表示水中溶解物的含量。

2. 含盐量

水中各种阴阳离子的总和称为含盐量，可以根据水质全分析的结果，通过计算求得。

通常，溶解固体（DS）是代表含盐量的指标。但是由于实验操作上的原因，严格来说溶解固体与含盐量并不相等，原因一是过滤操作时，不属于溶解盐类的杂质如胶体硅酸、铁铝氧化物及水溶性有机物等穿过滤纸进入水样中；原因二是水样烘干时，由于 HCO_3^- 变成 CO_2 和 H_2O 挥发损失，水中的重碳酸根发生了变化。因此，溶解固体（DS）与含盐量有如下关系：

$$\text{溶解固体} = \text{含盐量} - \left\{ \left[\frac{1}{2} HCO_3^- \right] + [SiO_2] + [R_2O_3] \right\} + \text{灼烧减少固体}$$

式中： $[SiO_2]$ 为全硅含量，mg/L； $[R_2O_3]$ 为铁铝氧化物的含量，mg/L。

溶解固体和含盐量有时简化成如下关系式：

$$TDS = \text{含盐量} - 1/2[HCO_3^-]$$

含盐量有两种表示方法：一种是摩尔表示法，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；另一种是重量表示法，即将水中各种阴、阳离子的含量换算成 mg/L，然后全部相加。

三、蒸发残渣和灼烧残渣

1. 蒸发残渣

蒸发残渣是取一定体积的过滤水样蒸干，最后将残渣 $105\sim 110^\circ C$ 下干燥至恒重即得，单位用 mg/L 表示。在蒸发残渣中，水中原有的重碳酸盐都转变成了碳酸盐。

2. 灼烧残渣

将蒸发残渣在 $800^\circ C$ 时灼烧即得灼烧残渣。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