

高等学校试用教材

给 水 工 程

下 册

(第二版)

杨 钦 严煦世 主编

许保玖 主审

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

给 水 工 程

下 册

(第二版)

杨 钦 严煦世 主编

许保玖 主审

中国建筑工业出版社

本书系统阐述了给水工程的基本理论、基本概念和设计计算方法，并附有相应的例题。

本书分上、下两册。上册内容包括总论、给水管网和取水工程；下册内容为给水处理、水的冷却和循环冷却水水质处理。

上册主要介绍给水系统的布置、设计用水量、给水系统工作情况、管网定线、管网设计和计算、管网技术管理、水源选择、地下水和地表水取水构筑物设计计算等。下册主要介绍水源水质和水质标准、水的混凝、沉淀、澄清、过滤、消毒、软化、除盐、冷却、稳定等处理的基本理论、设计计算原理和方法。

本书可作为高等院校给排水工程和环境工程专业的教材，也可供从事给排水工作的工程技术人员参考。

本书由同济大学杨钦、严煦世主编，清华大学许保玖主审。各章编写人员如下：

第一章至第十章，同济大学严煦世；第十一、十二章，哈尔滨建筑工程学院朱启光；第十三章，重庆建筑工程学院刘荣光、鲁汉珍；第十四、十五、十七、二十章，同济大学范瑾初；第十六、十八、十九章，同济大学孙立成；第二十一、二十二章，兰州铁道学院王乃忠；第二十三章，天津大学安鼎年；第二十四章，天津大学王训俭。

高等学校试用教材

给 水 工 程

下 册

（第 二 版）

杨 钦 严煦世 主编

许保玖 主审

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17 插页：1 字数：411千字

1987年7月第二版 1987年7月第四次印刷

印数：64,651—83,250册 定价：2.75元

统一书号：15040·5234

目 录

第四篇 给 水 处 理

第十四章	给水处理概论	1
第一节	水源水质概述	1
第二节	水质标准	4
第三节	给水处理方法概述	8
第十五章	混凝	10
第一节	混凝机理	10
第二节	混凝剂和助凝剂	15
第三节	水温、pH值和碱度对混凝效果的影响	18
第四节	混凝剂的配制和投加	20
第五节	混凝工艺的要求和设备	22
第十六章	沉淀和澄清	34
第一节	悬浮颗粒在静水中的沉淀	34
第二节	平流式沉淀池	39
第三节	斜板与斜管沉淀池	54
第四节	澄清池	58
第五节	机械搅拌澄清池的设计和计算	64
第十七章	过滤	72
第一节	过滤概述	72
第二节	快滤池过滤工艺	73
第三节	滤料和承托层	82
第四节	快滤池的冲洗	87
第五节	普通快滤池设计与计算	102
第六节	虹吸滤池	109
第七节	无阀滤池	112
第八节	移动冲洗罩滤池	117
第九节	压力滤池	119
第十八章	消毒	120
第一节	氯消毒	120
第二节	其他消毒法	127
第十九章	水的其他处理方法	130
第一节	地下水除铁除锰	130
第二节	活性炭吸附	137
第三节	水的除氟	138
第二十章	水厂设计	140

第一节 设计步骤、要求和设计原则140

第二节 厂址选择141

第三节 水厂工艺流程选择142

第四节 水厂平面布置143

第五节 水厂高程布置145

第二十一章 软化147

第一节 软化的目的和方法147

第二节 水的药剂软化法148

第三节 离子交换基本原理150

第四节 离子交换软化方法与系统156

第二十二章 咸水淡化与除盐174

第一节 概述174

第二节 离子交换除盐方法与系统175

第三节 电渗析法淡化与除盐188

第四节 反渗透与超滤199

第五篇 水的冷却和循环冷却水水质处理

第二十三章 水的冷却211

第一节 冷却构筑物分类211

第二节 冷却塔的工艺构造214

第三节 水冷却的理论基础226

第四节 冷却塔的设计与计算245

第二十四章 循环冷却水水质处理253

第一节 循环冷却水水质处理的基本概念253

第二节 防水垢的处理257

第三节 防腐蚀的处理259

第四节 循环冷却水中微生物和污垢的防止与处理261

第五节 循环冷却水的综合处理262

附表 1 居住区生活用水量标准264

附表 2 工业企业内工作人员淋浴用水量264

附表 3 城市（或居住区）室外消防用水量265

附表 4 工厂、仓库和民用建筑同时发生火灾次数265

附表 5 室外消防一次灭火用水量265

第四篇 给 水 处 理

给水处理与废水处理有许多是相同的。为避免与《排水工程》过多重复，气浮法、活性炭吸附法和臭氧消毒，将在《排水工程》中重点讲授，本书仅作简单介绍。

第十四章 给 水 处 理 概 论

第一节 水 源 水 质 概 述

一、原水中的杂质

取自任何水源的水中，都不同程度地含有各种各样的杂质。这些杂质不外乎两种来源：一是自然过程，例如，地层矿物质在水中的溶解，水中微生物的繁殖及其死亡残骸，水流对地表及河床冲刷所带入的泥沙和腐植质等等。二是人为因素即工业废水及生活污水排入水体所带入的。无论哪种来源的杂质，都包括无机物、有机物以及微生物等。从给水处理角度考虑，这些杂质可按尺寸大小分成悬浮物、胶体和溶解物三类，见表14-1。

水 中 杂 质 分 类 表 14-1

杂 质	溶 解 物 (低分子、离子)	胶 体	悬 浮 物
颗粒尺寸	0.1nm 1nm	10nm 100nm	1μm 10μm 100μm 1mm
分 辨 工 具	电子显微镜可见	超显微镜可见	显微镜可见 肉眼可见
水 的 外 观	透 明	浑 浊	浑 浊

表中的颗粒尺寸系按球形计，是一种理想化的情况，因此，各类杂质的粒度所分尺寸只是大体的概念，而不是绝对的，如悬浮物和胶体之间的尺寸界限，根据颗粒形状和密度不同而略有变化。一般说，粒径在 100nm~1μm 之间应属于胶体和悬浮物的过渡阶段。小颗粒悬浮物往往也具有一定的胶体特性，只有当粒径大于 10μm 时，才与胶体有明显差别。

(一) 悬浮物和胶体杂质

悬浮物尺寸较大，易于在水中下沉或上浮。如果比重小于水，则可上浮到水面。易于下沉的一般是大颗粒泥沙及矿物质废渣等；能够上浮的一般是体积较大而比重小的某些有

机物。

胶体颗粒尺寸很小，在水中具有稳定性（见第十五章第一节）经长期静置也不会下沉。水中所存在的胶体通常有粘土、某些细菌及病毒、腐植质及蛋白质等。有机高分子物质通常也属于胶体一类。工业废水排入水体，会引入各种各样的胶质或有机高分子物质，例如人工合成的高聚物通常来自生产这类产品的工厂所排放的废水中。天然水中的胶体一般带负电荷，有时也含有少量带正电荷的金属氢氧化物胶体。

悬浮物和胶体是使水产生浑浊现象的根源。其中有机物，如腐植质及藻类等，还会造成水的色、臭、味。随生活污水排入水体的病菌、病毒及致病原生动动物会通过水传播疾病。

悬浮物和胶体一般是生活饮用水处理的去除对象。粒径大于0.1mm的泥沙去除较易，通常在水中可自行下沉。而粒径较小的悬浮物和胶体杂质，须投加混凝剂方可去除。其中高分子物质的去除比较困难，往往需投加大量混凝剂才行。

（二）溶解杂质

溶解杂质是指水中的低分子和离子。它们与水构成均相体系，外观透明，称真溶液。但有的溶解杂质可使水产生色、臭、味。溶解杂质是某些工业用水的去除对象，处理的方法也和去除悬浮物和胶体的方法不同。

在未受工业废水或生活污水污染的天然水体中，溶解杂质主要有以下几种：

溶解气体 天然水中的溶解气体主要是氧、氮和二氧化碳，有时也含有少量硫化氢。

天然水中的氧主要来源于空气中氧的溶解，部分来自藻类和其他水生植物的光合作用。地表水中溶解氧的量与水温、气压及水中有机物含量等有关。不受工业废水或生活污水污染的天然水体，溶解氧含量一般为5~10mg/L。最高含量不超过14mg/L。当水体受到废水污染时，溶解氧含量降低。严重污染的水体，溶解氧甚至为零。

地表水中的二氧化碳主要来自有机物的分解；地下水中的二氧化碳除来源于有机物的分解外，还有在地层中所进行的化学反应。因为按亨利定律，水中 CO_2 含量已远远超过来自空气中 CO_2 的饱和溶解度。地表水中（除海水以外） CO_2 含量一般小于20~30mg/L；地下水中 CO_2 含量约几十mg/L至一百mg/L，少数竟高达数百mg/L。海水中 CO_2 含量很少。水中 CO_2 约99%呈分子状态，仅1%左右与水作用生成碳酸。

水中氮主要来自空气中氮的溶解，部分是有机物分解及含氮化合物的细菌还原等生化过程的产物。

水中硫化氢的存在与某些含硫矿物（如硫铁矿）的还原及水中有机物腐烂有关。由于 H_2S 极易氧化，故地表水中含量很少。如果发现地表水中 H_2S 含量较高，往往与含有大量含硫物质的生活污水或工业废水污染有关。

离子 天然水中所含主要阳离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ ；主要阴离子有 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 。此外还含有少量 K^+ 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 等阳离子及 HSiO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 等阴离子。所有这些离子，主要来源于矿物质的溶解，也有部分可能来源于水中有机物的分解。例如，当水流接触石灰石（ CaCO_3 ）且水中 CO_2 含量足够时，可溶解产生 Ca^{2+} 和 HCO_3^- ；当水流接触白云石（ $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ）或菱镁矿（ MgCO_3 ）且水中有足够 CO_2 时，可溶解产生 Mg^{2+} 和 HCO_3^- ； Na^+ 和 K^+ 则为水流接触含钠盐或钾盐的土壤或岩层溶解产生的； SO_4^{2-} 和 Cl^- 则为接触含有硫酸盐或氯化物的岩石或土壤时溶解产生

的。水中 NO_3^- 一般主要来自有机物的分解，但也可能由盐类溶解产生。

由于各种天然水源所处环境、条件及地质状况各不相同，所含离子种类及含量也将有很大差别，后面将予以介绍。

当水源受到工业废水严重污染时，水中杂质更趋复杂。而且，其中许多物质可能是有毒或有害的。例如，已为人们所关注的无机物有：汞（Hg）、镉（Cd）、铅（Pb）、铬（Cr）、银（Ag）、锌（Zn）、砷（As）、硒（Se）、氰化物、氟、硝酸盐及亚硝酸盐等。有机物更是种类繁多，例如，已在有关国家饮用水水质标准或饮用水水源标准中对浓度加以限制的有酚类、多环芳烃类、多氯联苯、阴离子合成洗涤剂及各种杀虫剂等多种有毒和有害物质近年来，在饮用水中已可检出数百种微量有机物，并发现其中有一部分具有程度不同的毒性，少数物质还有致癌作用。因此，有机物污染及重金属污染引起了世界各国的关注。在饮用水加氯消毒过程中，有些有机物会与氯反应生成有致癌作用的三卤甲烷，也引起人们重视。此外，有些工业废水还带有放射性物质排入水体。总之，水源污染日益严重的现象，已给给水处理带来了新的问题。

二、各种天然水源的水质特点

鉴于受污染水源情况复杂，水质特点变异很大，故下面主要就自然环境下各种水源水质特点并结合我国水源情况作简要叙述。

地下水 水在地层渗滤过程中，悬浮物和胶质已基本或大部去除，水质清澈，且水源不易受外界污染和气温影响，因而水质、水温较稳定，一般宜作为生活饮用水和工业冷却用水的水源。

由于地下水流经岩层时溶解了各种可溶性矿物质，因而水的含盐量通常高于地表水（海水除外）。至于含盐量多少及盐类成分，则决定于地下水流经地层的矿物质成分、地下水埋深和与岩层接触时间等。我国水文地质条件比较复杂。各地区地下水中含盐量相差很大，但大部分地下水的含盐量在 $200\sim 500\text{mg/L}$ 之间。一般情况下，多雨地区，如东南沿海及西南地区，由于地下水受到大量雨水补给，可溶盐大部早经溶失，故含盐量较低；干旱地区，如西北、内蒙等地，地下水含盐量较高。

地下水硬度高于地表水。我国地下水总硬度通常在 $60\sim 300\text{mg/L}$ （以 CaO 计）之间，少数地区有时高达 $300\sim 700\text{mg/L}$ 。

我国含铁地下水分布较广，比较集中的地区是松花江流域和长江中、下游地区。黄河流域、珠江流域等地也都有含铁地下水。我国地下水的含铁量通常在 10mg/L 以下，个别可高达 30mg/L 。

地下水中的锰常与铁共存，但含量比铁少。我国地下水含锰量一般不超过 $2\sim 3\text{mg/L}$ 。个别也有高达 10mg/L 的。

由于地下水含盐量和硬度较高，故用以作为某些工业用水水源未必经济。地下水含铁、锰量超过生活饮用水卫生标准时，需经过除铁除锰处理后方可使用。

江河水 江河水易受自然条件影响。水中悬浮物和胶态杂质含量较多，浊度高于地下水。由于我国幅员辽阔，大小河流纵横交错，自然地理条件相差悬殊，因而各地区江河水的浊度也相差很大。甚至同一条河流，上游和下游、夏季和冬季、晴天和雨天，浑浊度也颇相悬殊。我国西北及华北地区流经黄土高原的黄河水系及海河水系等，水土流失严重，河水含沙量大。暴雨时，少则几 kg/m^3 ，多则几十 kg/m^3 乃至上百 kg/m^3 。浊度变化

幅度也很大。冬季浊度有时仅几十度至几百度，暴雨时，几小时内浊度会突然增加。

凡土质、植被和气候条件较好地区，如华东、东北和西南地区大部分河流，浊度均较低。一年中大部分时间内河水较清，只是雨季河水较浑。一般年平均浑浊度在 50~400 度之间。

江河水的含盐量和硬度较低。含盐量一般在 50~500mg/L 之间。河水含盐量和硬度与地质、植被、气候条件及地下水补给情况有关。我国西北黄土高原及华北平原大部分地区，河水含盐量较高，约 300~400mg/L；秦岭及黄河以南次之；东北松黑流域及东南沿海地区最低，含盐量大多小于 100mg/L。我国西北及内蒙古高原大部分河流，河水硬度较高，可达 100~150mg/L（以 CaO 计）甚至更大；黄河流域、华北平原及东北辽河流域次之；松黑流域和东南沿海地区，河水硬度较低，一般均在 15~30mg/L（以 CaO 计）以下。总的说来，我国大多数河流，河水含盐量和硬度一般均无碍于生活饮用。

江、河水最大缺点是，易受工业废水、生活污水及其它各种人为污染，因而水的色、臭、味变化较大，有毒或有害物质易进入水体。水温不稳定，夏季常不能满足工业冷却用水要求。

湖泊及水库水 湖泊和水库水，主要由河水补给，水质与河水类似。但由于湖（或水库）水流动性小，贮存时间长，经过长期自然沉淀，浊度较低。只有在风浪时以及暴雨季节，由于湖底沉积物或泥沙泛起，才产生浑浊现象。水的流动性小和透明度高又给水中浮游生物特别是藻类的繁殖创造了良好条件。因而，湖水一般含藻类较多，使水产生色、臭、味。同时，水生物死亡残骸沉积湖底，使湖底淤泥中积存了大量腐植质，一经风浪泛起，便使水质恶化。湖水也易受废水污染。

由于湖水不断得到补给又不断蒸发浓缩，故含盐量往往比河水高。按含盐量分，有淡水湖、微咸水湖和咸水湖三种。这与湖的形成历史、水的补给来源及气候条件有关。干旱地区内陆湖由于换水条件差，蒸发量大，含盐量往往很高。微咸水湖和咸水湖含盐量在 1000mg/L 以上直至数万 mg/L。咸水湖的水不宜生活饮用。我国大的淡水湖主要集中在雨水丰富的东南地区。

海水 海水含盐量高，而且所含各种盐类或离子的重量比例基本上一定，这是与其它天然水源所不同的一个显著特点。其中氯化物含量最高，约占总含盐量 89% 左右；硫化物次之；再次为碳酸盐；其它盐类含量极少。海水一般须经淡化处理才可作为居民生活用水。

第二节 水质标准

水质标准是指用户所要求的各项水质参数应达到的指标。随着“饮用水与健康”的科学研究的深入、工业工艺过程的发展所引起的水质新要求，以及水质检验技术的进步，水质标准是随之不断修改的。

一、生活饮用水水质标准

生活饮用水水质与人们身体健康和日常生活使用直接有关。由于工业废水污染日益严重，引起人们对水质与健康关系的特别关注。二十世纪初，水质标准主要包括水的外观和预防传染病的项目，各国根据自己具体情况制定。五十年代后出现国际性的饮用水水质标准。世界卫生组织于 1982 年修订了原来的国际《饮用水水质标准》。我国 1976 年修订颁发

的《生活饮用水卫生标准》也正在修订中。但是，对已经从饮用水中检出的某些被认为有害的微量污染物质，对人体健康危害程度究竟如何，还缺乏确切的结论。

表14-2为我国1976年颁发的《生活饮用水卫生标准》。

生活饮用水卫生标准		表 14-2
编 号	项 目	标 准
	感官性状指标:	
1	色	色度不超过15度, 并不得呈现其它异色
2	浑 浊 度	不超过 5 度
3	臭 和 味	不得有异臭和异味
4	肉眼可见物	不得含有
	化学指标:	
5	pH 值	6.5~8.5
6	总硬度(以CaO计)	不超过250mg/L
7	铁	不超过0.3mg/L
8	锰	不超过0.1mg/L
9	铜	不超过1.0mg/L
10	锌	不超过1.0mg/L
11	挥发酚类	不超过0.002mg/L
12	阴离子合成洗涤剂	不超过0.3mg/L
	毒理学指标:	
13	氟 化 物	不超过1.0mg/L, 适宜浓度0.5~1.0mg/L
14	氰 化 物	不超过0.05mg/L
15	砷	不超过0.04mg/L
16	硒	不超过0.01mg/L
17	汞	不超过0.001mg/L
18	镉	不超过0.01mg/L
19	铬(六价)	不超过0.05mg/L
20	铅	不超过0.1mg/L
	细菌学指标:	
21	细菌总数	1毫升水中不超过100个
22	大肠菌群	1升水中不超过3个
23	游离性余氯	在接触30分钟后应不低于 0.3mg/L。集中式给水除出厂水应符合上述要求外, 管网末梢不低于0.05mg/L

下面对《标准》中的感官性状、化学、毒理学和细菌学四类指标的意义作简要叙述。

感官性状指标 感官性状有时又称物理性状, 是指水中某些物质对人的视觉、味觉和嗅觉的刺激。清洁的水应无色(水深时呈浅蓝色)、无异臭和异味。但当水中含有浮游生物、腐植质或受到废水污染时, 往往使水产生各种颜色(如腐植质可使水呈黄绿色甚至褐色)和异臭(如沼泽气味、鱼腥气味、芳香气味等)、异味(如酸、苦、咸、涩等)。它们虽然不属于危害人体健康的直接指标, 但色、臭、味的存在给使用者以厌恶感。同时, 色、臭、味严重的, 也可能是水中含有有害物质的标志。

浊度超过10度时便令人感到不快。而且, 病菌、病毒以及其它有害物质, 往往依附于产生浊度的悬浮物中。因此降低水的浊度, 不仅为满足感官性状要求, 对限制水中病菌、病毒及其它有害物质的含量, 也具有积极的意义。

化学指标 水中存在的某些化学物质，一般情况下虽然对人体健康并不直接构成危害，但往往对生活使用产生种种不良影响，其中也包括感官性状方面的不良影响。例如，硬度过高的水，洗涤衣服时浪费肥皂，开水壶容易结垢；含铁浓度超过一定限度会使水产生红褐色以至出现沉淀物，用水器皿和洗涤的衣服会染色，并具有金属味，含铁过高的水还容易使铁细菌繁殖；铜含量超过1 mg/L时，可用水器皿和洗涤的衣服染上绿色，并具有涩味；锌含量超过5 mg/L时，便有明显涩味；阴离子合成洗涤剂超过0.5mg/L时，即有异味，并使水产生泡沫；pH 值过低将对管道产生腐蚀作用，pH 值过高会使水中析出溶解盐类，并降低氯消毒效果。此外，有的物质虽具有毒性，但当它们的含量尚未达到致毒浓度时，已对人们感官产生强烈刺激的，通常不是根据毒理学要求而是根据感官性状要求来制订它们的指标，这对保证人体健康是偏于安全的。例如，水中酚含量达到9~15 mg/L时，显出明显毒性，鱼类将不能生存；但饮用水中挥发酚含量超过0.01mg/L时，已产生异臭，含量超过0.002mg/L时，加氯消毒时所形成的氯酚便开始出现异臭。因此，挥发酚含量应按感官性状要求制订。由此可知，化学指标与感官性状指标在某些方面实际上是有联系的。

毒理学指标 有些化学物质，在饮用水中达到一定浓度时，就会对人体健康造成危害，这些属于有毒化学物质。在不受污染的水体中，有毒物质含量极少（个别除外，如高氟水源），一般说对人体健康并无影响。威胁人体健康的主要是由工业废水所带入的有毒物质。有些有毒物质能引起急性中毒。大多数有毒物质可在人体内积蓄，引起慢性中毒。当然，有毒物质并非全部通过饮用水进入人体，也可通过食物或呼吸进入人体。危害人体健康的有毒物质的允许限量，应综合考虑各种进入人体的途径。但通过饮用水进入人体的允许量，从事给水工程者必须严格遵守。

各种有毒物质的毒性表现各不相同。例如，人体摄入过量氟能引起牙斑釉和骨骼硬化，但人体含氟量过少又会引起龋齿；氰化物有剧毒，一次摄入50~60mg可致死，低剂量摄入会慢性中毒，引起甲状腺激素生成量减少；人体内砷化物过量会引起毛细血管、新陈代谢和神经系统病变，一次摄入约100mg即可致死；硒在人体内积蓄过量对人的肝、肾、骨髓和中枢神经有破坏作用，且有致癌可能；汞可在人体内积蓄，主要对神经系统有毒害作用，对心脏、肾脏和胃肠道亦有毒害；镉的毒性较强，且能在人体内积蓄，引起新陈代谢失常和肾脏病变，并会引起“骨痛病”；六价铬毒性较强，可在人体内积蓄，摄入量一定时有致癌作用，经口摄入时对肠胃有毒害作用，对皮肤和粘膜有强烈腐蚀作用；铅可在人体内积蓄，中毒后引起神经系统和血液系统病变。

必须指出，我国现行《生活饮用水卫生标准》所订项目还很不完整。例如，具有明显致癌作用的多环芳烃、能在人体内积蓄而引起中毒的多种农药及一些放射性物质等等，都未列入。但修订后的新标准也不可能把有危害性的项目列全，因此给水工作者必须认识到存在这种情况，对于水源的选择和水质处理采取相应的措施。

细菌学指标 病原菌对人体健康的威胁是不言而喻的。如伤寒、霍乱、痢疾等肠道传染病，一般均通过饮用水进行传播。可是，要直接测定水中病原菌，并以之作为水质分析的例行项目，还不能做到。测定水中细菌总数和大肠菌群比较方便，并可反映水体受到污染程度及水处理的效率。大肠菌群多半来源于人类粪便的污染。它们本身虽非致病菌，但数量大，生存条件与肠道病原菌比较接近。因此，当饮用水中大肠菌已不存在或为数极少

时，其它病原菌也基本消灭。

至于病毒，目前尚无完善的技术可供例行检测。还不能作为直接指标应用于水质标准中。水中大肠菌群符合标准，尚不能作为病毒已经去除的依据。但是，水厂中的混凝沉淀、过滤及消毒的一整套完善的处理措施，对去除和抑制病毒活动肯定是有效果的。

余氯量是指用氯消毒时，加氯后经过一定接触时间，水中尚含的剩余游离性氯量。它保证在供水过程中继续维持消毒效果，抑制水中残存的病原微生物在管网中再度繁殖，并可作为水质受到再度污染的指示信号。

二、工业用水水质标准

工业用水种类繁多，水质要求各不相同。甚至同一种类型工业产品，不同生产部门所制订的给水水质标准也不完全一致。水质要求高的工艺用水，不仅要求去除水中悬浮杂质和胶体杂质，而且还需要不同程度地去除水中的溶解杂质。

食品、酿造及饮料工业的原料用水，水质要求基本上同生活饮用水。

纺织、造纸工业用水，要求水质清澈，且对易于在产品上产生斑点从而影响印染质量或漂白度的物质含量，应加以严格的限制。如铁和锰会使织物或纸张产生锈斑。水的硬度过高也会使织物或纸张产生钙斑。

对锅炉补给水水质的基本要求是，凡能导致锅炉、给水系统及其它热力设备腐蚀、结垢及引起汽水共腾现象的各种杂质，都应大部或全部去除。锅炉压力和构造不同，水质要求也不同。汽包锅炉和直流锅炉的补给水水质要求相差悬殊。锅炉压力愈高，水质要求也愈高。如低压锅炉（压力小于2450kPa即25公斤/厘米²），主要应限制给水中的钙、镁离子含量、含氧量及pH。当水的硬度符合要求时，即可避免水垢的产生。表14-3为压力小于2450kPa的工业锅炉给水和炉水水质指标。表14-4为直流锅炉给水水质标准。

25表大气压以下锅炉给水和炉水水质指标 表 14-3

锅炉型式	过热器	水 冷	给 水				炉 水	
			总 硬 度 (mg当量/L)	含 氧 量 (mg/L)	含油量 (mg/L)	pH值	碱 度 (mg当量/L)	含盐量 (mg/L)
水管锅炉	有	有	0.035	0.05	2	7~8.5	12.5	3000
		无	0.035	0.05	2	7~8.5	14	3000
	无	有	0.1	0.1	5	7~8.5	14	5000
		无	0.3	0.1	5	7~8.5	18	5000
锅 壳 炉	—	—	0.5	—	5	7~8.5	23	5000

直 流 锅 炉 给 水 水 质 标 准 表 14-4

蒸气压力 (at)	Na ⁺ (μg/L)	全 硅 (以SiO ₂ 表示) (μg/L)	硬 度 (μg当量/L)	全Fe (μg/L)	全Cu (μg/L)	O ₂ (μg/L)	过 剩 N ₂ H ₄ (μg/L)	pH	总二氧化 化 碳 (mg/L)
60~159	≧10	≧20	~0	≧20	≧5	≧7	20~50	8.5~9.2	~0
160~170	≧10	≧20	~0	≧10	≧5	≧7	20~50	8.5~9.2	~0

在电子工业中，零件的清洗及药液的配制等，都需要纯水。特别是半导体器件及集成

电路的生产,几乎每道工序均需“高纯水”进行清洗。高灵敏度的晶体管和微形电路所需高纯水,总固体残渣应小于1mg/L。电阻率(在25℃左右)应大于 $10 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 。水中微粒尺寸即使在1 μm 左右,也会直接影响产品质量甚至造成次品。

此外,许多工业部门在生产过程中都需要大量冷却水,用以冷凝蒸气以及工艺流体或设备降温。冷却水首先要求水温低,同时对水质也有要求。如水中存在悬浮物、藻类及微生物等,会使管道和设备堵塞;在循环冷却系统中,还应控制在管道和设备中由于水质所引起的结垢、腐蚀和微生物繁殖。

总之,工业用水的水质优劣,与工业生产的发展和产品质量的提高关系极大。各种工业用水对水质的具体要求须向有关部门了解。

第三节 给水处理方法概述

给水处理的任务是通过必要的处理方法以改善原水水质,使之符合生活饮用或工业使用所要求的水质。水处理方法应根据水源水质和用水对象对水质的要求确定。在给水处理中,有的处理方法除了具有某一特定的处理效果外,往往也直接或间接地兼收其它处理效果。为了达到某一处理目的,往往几种方法结合使用。本节仅列出给水处理方法的几种类型。

澄清和消毒 这是以地表水为水源的生活饮用水的常规处理工艺系统。但工业用水也常需澄清工艺。

澄清工艺系统通常包括混凝、沉淀和过滤。处理对象是水中悬浮物和胶体杂质。原水加药后,经混凝使水中悬浮物和胶体形成大颗粒絮凝体,而后通过沉淀池进行重力分离。澄清池是絮凝和沉淀综合于一体的构筑物。过滤是利用粒状滤料截留水中杂质的构筑物,常置于混凝、沉淀构筑物之后,用以进一步降低水的浑浊度。完整而有效的混凝、沉淀和过滤,不仅能有效地降低水的浊度,对水中某些有机物、细菌及病毒等的去除也是相当有效的。根据原水水质不同,在上述澄清工艺系统中还可适当增加或减少某些处理构筑物。例如,处理高浊度原水时,往往需设置泥沙预沉池或沉沙池;原水浊度很低时,可以省去沉淀构筑物而进行原水加药后的直接过滤。但在生活饮用水处理中,过滤是必不可少的。大多数工业用水也往往采用澄清工艺作为预处理过程。如果工业用水对澄清要求不高,可以省去过滤而仅需混凝、沉淀即可。

消毒是消灭水中致病微生物,通常在过滤以后进行。主要消毒方法是在水中投加消毒剂以杀灭致病微生物。当前普遍采用的消毒剂是氯,也有采用漂白粉、二氧化氯及次氯酸钠等。臭氧消毒也是一种重要的消毒方法。

除臭、除味 这是生活饮用水净化中所需的特殊处理方法。当原水中臭和味严重而采用澄清和消毒工艺系统不能达到水质要求时方才采用。除臭、除味的方法取决于水中臭和味的来源。例如,对于水中有机物所产生的臭和味,可用活性炭吸附或氧化剂氧化法去除;对于溶解性气体或挥发性有机物所产生的臭和味,可采用曝气法去除;因藻类繁殖而产生的臭和味,可在水中投加硫酸铜除藻;因溶解盐类所产生的臭和味,可采用适当的除盐措施等等。

除铁、除锰 当溶解于地下水中的铁、锰含量超过生活饮用水卫生标准时,需采用除

铁、锰措施。最广泛的除铁、锰方法是：氧化法和接触氧化法。前者通常设置曝气装置、氧化反应池和砂滤池；后者通常设置曝气装置和接触氧化滤池。工艺系统的选择应根据是否单纯除铁还是同时除铁除锰、原水铁、锰含量及其它有关水质特点确定。还可采用药剂氧化、生物氧化法及离子交换法等。通过上述处理方法（离子交换法除外），使溶解性二价铁和锰分别转变成三价铁和四价锰并产生沉淀物而去除。

软化 处理对象主要是水中钙、镁离子。软化方法主要有：离子交换法和药剂软化法。前者在于使水中钙、镁离子与阳离子交换剂上的离子互相交换以达到去除的目的；后者系在水中投入药剂，如石灰、苏打以使钙、镁离子转变为沉淀物而从水中分离。

淡化和除盐 处理对象是水中各种溶解盐类，包括阴、阳离子。将高含盐量的水如海水及“苦咸水”处理到符合生活饮用或工业用水要求时的处理过程，一般称为咸水“淡化”；制取纯水及高纯水的处理过程称为水的“除盐”。淡化和除盐主要方法有：蒸馏法、离子交换法、电渗析法及反渗透法等。离子交换法的基本原理同上述，但需经过阳离子交换剂和阴离子交换剂两种交换过程；电渗析法系利用阴、阳离子交换膜能够分别透过阴、阳离子的特性，在外加直流电场作用下使水中阴、阳离子被分离出去；反渗透法系利用高于渗透压的压力施于含盐水以使水通过半渗透膜而盐类离子被阻留下来。电渗析法和反渗透法属于膜分离法，通常用于高含盐量水的淡化或作为离子交换法除盐的前处理工艺。

鉴于当前水源污染日益严重，特别是有机物污染比较突出，重金属污染也相当严重，因而，世界各国对饮用水与健康关系都极为重视。除了尽力控制水源污染外，在给水处理技术方面也进行了大量研究工作。虽然混凝、沉淀、过滤和消毒的一套常规处理方法，可以去除水中很多有毒或有害污染物质。但实践证明，单用常规处理方法并不能彻底、有效地解决有机物污染问题。因此，给水处理必须根据水源污染情况，在进一步改善现有常规处理的基础上，增加预处理或深度处理措施。近十年来，在受污染原水处理新技术研究方面，受到比较广泛重视的是生物氧化法和活性炭吸附法。此外，在化学氧化（如臭氧化处理）和折点加氯消毒方面也作了大量研究。在作为预处理的生物氧化法中，正在继续研究或已在国外部分水厂中实际应用的有：生物滤池，流化床生物滤池；作为深度处理的有生物活性炭法等。我国在这些新技术方面的研究也取得了一定成果，但广泛应用于生产还需要继续研究。

第十五章 混 凝

混凝阶段所处理的对象，主要是水中悬浮物和胶体杂质，它是水处理工艺中十分重要的一个环节。实践证明，混凝过程的完善程度对后续处理如沉淀、过滤影响很大，应予以充分重视。

投药是混凝工艺的必要前提。混合和反应是混凝工艺的两个阶段。为了提高混凝效果，结合原水水质选用性能良好的药剂，创造适宜的化学和水力条件，是混凝工艺上的技术关键。本章将叙述有关这方面的理论和技术问题。

第一节 混 凝 机 理

一、水中胶体的稳定性

第十四章已经提到，大颗粒悬浮物可在重力作用下沉降，而胶体杂质及微小悬浮物，却能在水中长时间内保持分散悬游状态，这种现象，可统称“分散颗粒的稳定性”。实际上，“稳定性”的概念是相对的。例如，粒径为 $1\mu\text{m}$ 的粘土微粒，在水中沉降 10cm 约需一天而高分子物质实际上不存在沉降现象。按胶体化学的概念，粘土类憎液胶体是“不稳定的”，高分子亲液胶体才是真正“稳定的”。但按水处理的观点，胶体以及沉降十分缓慢的悬浮物均可认为是“稳定的”，因为这些沉降极缓慢的颗粒不可能在停留时间很短的水处理构筑物中沉降下来，它们的沉降性可以忽略不计。

胶体微粒稳定性的主要原因有三：微粒的布朗运动、胶体颗粒间的静电斥力和胶体颗粒表面的水化作用。

分散于水中的各种固体颗粒，无时不受水分子热运动的撞击。对于大颗粒悬浮物如泥沙来说，每一颗粒从各方向受到水分子同时撞击的次数很多，各方向撞击力可以平衡抵消，且因颗粒质量大，故能在重力作用下下沉。而胶体微粒尺寸很小，同时受到水分子撞击次数较少，各方向撞击力平衡抵消的机率较小，且因微粒质量甚小而重力影响甚微，致使微粒在水中作无规则的高速运动并趋于均匀分散状态。这种运动，即为“布朗运动”。由此而导致的稳定性，称动力稳定性，又称沉降稳定性。

如果水中不存在妨碍颗粒相互接触的因素，则布朗运动又提供了微粒在无规则运动中相互碰撞接触的机会。如所周知，颗粒愈小，表面吸附能愈大，一旦碰撞接触，各微粒必将彼此吸附凝聚，颗粒逐渐变大，最终使布朗运动消失而导致重力沉淀。这时布朗运动又是微粒不稳定因素之一。问题在于原水中胶体微粒虽然作布朗运动，但彼此无法接触。妨碍它们相互接触的因素是带有同性电荷胶体微粒间的静电斥力和水化膜。

天然水中的胶体微粒大多属于负电荷胶体如粘土类胶体。粘土胶团结构见图15-1。胶团内部滑动面上存在 ζ 电位，胶团 ζ 电位变化见图15-1中电位曲线I。由胶体化学知， ζ 电位愈高，两胶粒间静电斥力愈大，胶粒愈不易相互接触以至凝聚。此外，胶体颗粒表面水

化膜也会阻碍颗粒凝聚。这种使胶粒保持单个分散状态而不凝聚的现象，称为凝聚稳定性。如果凝聚稳定性破坏，动力稳定性也将随之破坏，小颗粒便凝聚成大颗粒而下沉。因此，胶体稳定性的关键是凝聚稳定性。

胶体颗粒（带同性电荷）之间除了排斥作用以外，还存在相互吸引作用。这种吸引力称范德华引力。如果暂且不考虑水化膜的作用，则水中胶体颗粒能否相互接近乃至结合，取决于布朗运动的动力、静电斥力和范德华引力的综合表现。或者说取决于上述三种力所产生的能量对比。布朗运动的动能主要与水温有关，在一定水温下，这种动能基本上是一定的。静电斥力和范德华引力所产生的势能与微粒间距有关。胶体微粒间的范德华引力本质上与分子间范德华引力相同，但由于胶粒尺寸远大于分子，因此，两胶粒间范德华引力所具有的吸引势能并非与胶粒间距的6次方成反比，而是近似地与胶粒间距的2次方或3次方成反比。当两胶体微粒的扩散层未发生重叠时，亦即两者间距大于两胶体半径之和时，静电斥力不存在。当扩散层发生重叠时，胶粒之间产生静电斥力，其静电排斥势能与胶粒间距大体按指数关系成反比例变化。将排斥势能和吸引势能随颗粒表面间距而变化的关系用图表示，见图15-2。图中排斥势能为正，吸引势能为负。合成势能为排斥势能和吸引势能两者的代数和。

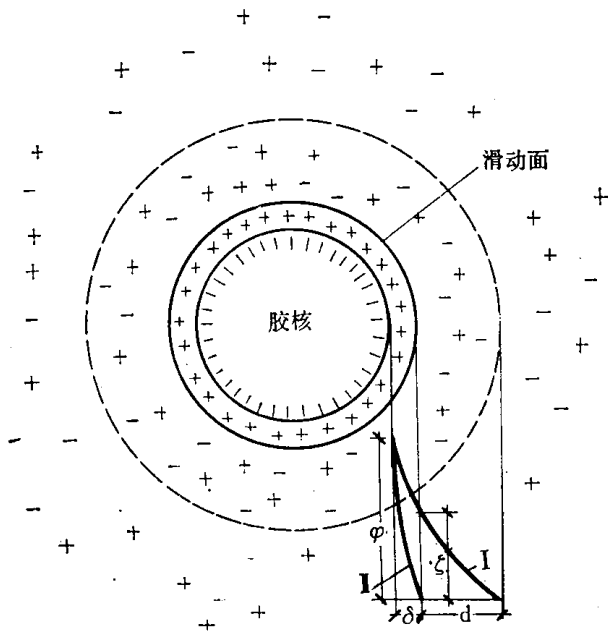


图 15-1 胶体结构及双电层示意

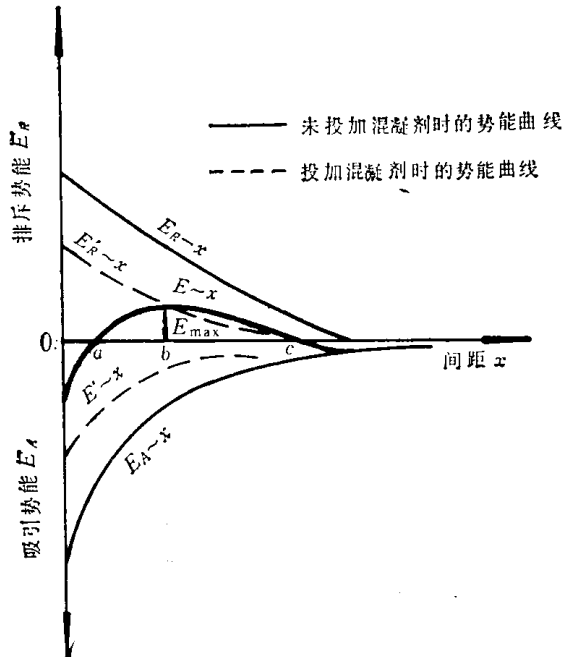


图 15-2 相互作用势能与颗粒间距关系

由图可知，当两胶粒表面间距为 $0-a$ 时，排斥势能最大，称为排斥能峰 E_{max} 。当两胶粒间距小于 $0-a$ 或大于 $0-c$ 时，表现为吸引作用。由于间距大于 $0-c$ 时吸引势能很小，一般不足以将两胶粒结合起来，所以胶粒通常不会凝聚。只有当两胶粒间距小于 $0-a$ 时，吸引势能随着间距减少而急剧增大，才会发生凝聚。但要使两胶粒间距小于 $0-a$ ，布朗运动的动能首先要能克服排斥能峰 E_{max} 。设布朗运动的动能以 E_b 表示，则可认为：当 $E_b > E_{max}$ 时，两胶粒可以相互接近，直至发生凝聚；当 $E_b < E_{max}$ 时，两胶粒无法靠近，凝聚也就不会发生。胶粒布朗运动的平均动能 $E_b = 1.5kT$ （式中 k 为波兹曼常数， T 为水的热力学温度），据有关资料认为，水中胶粒排斥能峰 E_{max} 比 E_b 约大几百甚至数千倍，故胶粒处于稳定状态。利用颗粒间相互作用能来阐述胶粒稳定性和凝聚作用的是由德加根(Derja-

guin)、兰道(Landon)及伏维(E.J.W.Verwey)和奥伏贝克(J.Th.G.Overbeck)完成的,所以上述颗粒间势能的概念简称DLVO理论。

关于水化膜对胶体凝聚的影响,尚不十分清楚。DLVO理论是建立在静电斥力基础上的。毫无疑问,要克服水化膜对胶体颗粒相互凝聚集的阻碍作用,必须给予一定能量以排除两颗粒之间的水膜。因此,DLVO理论尚不能充分表达具有水化膜胶体的稳定性和凝聚现象。不过,如果水化膜是由于胶体电荷引起的,则当胶体电荷降低或消失时,水化膜也随之降低或消失。这种水化膜就与胶体双电层结构有关,天然水中粘土胶体便是如此。如果水化膜并非由胶体电荷引起的,例如,高分子物质由于极性基团吸引了大量极性水分子而形成水化膜,则胶体稳定性主要决定于水化作用。

二、混凝机理

混凝机理是迄今尚未完全解决的一个理论问题。不同类型混凝剂,作用机理有所不同。即使同一种混凝剂,对于不同的水质条件以及不同投加量,作用机理也有所不同。这里仅介绍一些基本概念。

压缩双电层和电性中和作用 由图15-2可知,要使胶体微粒碰撞结合,必须降低或消除排斥势能峰,使 $E_{\max} < E_0$ 。吸引势能与胶体电荷无关,它主要决定于构成胶粒的物质种类、颗粒大小和密度。对于一定的水质,胶粒的这些特性是不变的。

因此,降低排斥势能峰的有效措施,即是降低或消除胶粒 ζ 电位。在水中投入电解质可达到此目的。

对于天然水中粘土等负电荷胶体而言,投入的电解质——混凝剂应能提供大量正离子。由于正离子浓度增加,为保持胶团电性中和所要求的扩散层厚度减薄,胶体滑动面上的 ζ 电位从而降低。 ζ 电位的降低,引起了胶粒间相互作用势能的变化,如图15-2中虚线所示。图中 E' 为 ζ 电位降低后的综合势能。由图15-2可知,当电解质浓度达到一定程度时,在任意距离内, E' 均为吸引势能。当 ζ 电位降至零时,如图15-1中曲线II所示,胶粒间排斥势能完全消失,胶粒最易发生凝聚。 $\zeta = 0$ 称等电状态。实际上,只要 ζ 电位降至某一程度而使胶粒间排斥势能峰小于布朗运动动能时,胶粒便开始明显凝聚,这时的 ζ 电位称临界电位。这种通过投加电解质压缩扩散层以导致胶粒间相互凝聚的作用,简称压缩双电层作用机理。胶粒因 ζ 电位降低以致失去凝聚稳定性的过程,称胶体脱稳。

根据叔采-哈代法则,高价反离子(对负电荷胶体而言,反离子即为正离子,反之亦然)压缩胶体扩散层,远比低价反离子有效。例如,要使负电荷胶体脱稳,所需正1价、2价和3价离子的投加量之比,大致为 $1:10^{-2}:10^{-3}$ 。

当三价铝盐或铁盐投量过多时,水中原来带负电荷的粘土胶体将有可能变成带正电荷的胶体,这是胶核表面吸附了过多正离子的结果,从而使粘土胶体重新稳定。这种吸附作用,绝非单纯静电作用,还存在其它物理化学作用,例如范德华力,共价键或氢键等。由此只要混凝剂投量适当,通过吸附作用,可直接使胶体电荷中和,简称吸附-电性中和作用。其结果,同样使胶体扩散层厚度减小, ζ 电位降低。

理论和实践表明,低价反离子主要局限于按静电学原理直接压缩双电层以降低 ζ 电位;高价反离子及聚合离子或多核配离子可通过吸附-电性中和作用降低 ζ 电位。前者不存在胶体颗粒电荷变号问题;后者有可能产生胶体电荷变号问题,当混凝剂投量超过电性中和所需剂量时。在水处理中,虽然不能完全排斥直接压缩扩散层对凝聚的影响,但更重要的