

21世纪高等学校教材

# 水处理工程

SHUI CHULI GONGCHENG

胡勇有 刘 绮 主编

华南理工大学出版社

21 世纪高等学校教材

# 水 处 理 工 程

胡勇有 刘 绮 主编

华南理工大学出版社

· 广州 ·

## 内 容 简 介

水处理工程是环境工程专业、环境科学专业的一门专业主干课。本书是在总结编者多年教学经验的基础上编写的。全书以水污染控制的技术方法、原理以及相关案例为主线,各章密切结合水处理工艺的应用,力求体现理论与实践相结合、方法技术与案例相结合。全书共分22章,系统而详细地讨论了各种水污染控制的技术方法、原理和设备计算,按污染物的不同存在形态,将各种处理技术归纳为分离技术和转化技术两大类,专项阐述不溶污染物的分离技术、污染物的生物化学转化技术、污染物的化学转化技术、溶解态污染物的物理化学转化技术、循环水的冷却与处理、废水的深度处理、处理后废水的排放与回用、污泥处理与处置技术等。

本书可供环境工程、环境科学、环境化学、环境生物、市政工程等专业本科生及研究生作为教学用书,也可供各类环境保护工作者参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

水处理工程/胡勇有,刘绮主编. —广州:华南理工大学出版社,2006.9  
ISBN 7-5623-2466-2

I. 水… II. ①胡…②刘… III. 水处理 IV. TU991.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第091133号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

营销部电话:020-87113487 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:吴兆强 孟宪忠

印刷者:佛山市浩文彩色印刷有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:487千

版次:2006年9月第1版第1次印刷

印数:1~3000册

定价:30.00元

版权所有 盗版必究

## 前 言

我国环境保护事业发展至今，污染控制已由简单的单项治理向系统化的高层次管理过渡。相应地，水处理工程的理论、方法和技术也正在迅速发展与完善。

水处理工程是环境工程专业、环境科学专业的一门专业主干课。本书是在总结编者多年教学经验的基础上编写的，具有如下特点：

(1) 全书以水污染控制的理论、方法、技术与案例为主线，各章密切结合水处理工艺的应用，力求体现理论与实践相结合、方法技术与案例相结合。

(2) 本书较全面、系统地介绍了水处理工程这门学科的发展概貌及其发展过程。

(3) 鉴于近年来水污染控制领域发展较快，本书在反应动力学等方面增加了内容。

(4) 本书强调采用可操作性强的一些水处理工艺，阐述了某些传统工艺在应用上的不足之处，并提出了改进措施。

本书可作为高等院校环境工程专业、环境科学专业和环境生物科学专业的本科生和研究生教学用书，亦可供环境保护工程技术人员和科学研究人员参考使用。

本书由胡勇有、刘绮任主编，伍建东、胡贵平、谢磊参加了编写工作。

限于编者水平，书中不妥之处在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

2006年8月于广州

# 目 录

<b>第一章 总论</b> .....	(1)
第一节 水资源与水循环 .....	(1)
第二节 废水的来源与特征 .....	(3)
第三节 水质标准 .....	(7)
第四节 水处理方法概要 .....	(9)
<b>第二章 废水的预处理</b> .....	(14)
第一节 调节与均和 .....	(14)
第二节 废水的提升 .....	(16)
第三节 格栅与筛网 .....	(18)
<b>第三章 重力沉降法</b> .....	(22)
第一节 概述 .....	(22)
第二节 沉砂池 .....	(23)
第三节 自由沉淀 .....	(25)
第四节 絮凝沉淀 .....	(28)
第五节 沉淀池 .....	(31)
<b>第四章 混凝</b> .....	(37)
第一节 胶体的结构与特性 .....	(37)
第二节 混凝处理流程及设备 .....	(41)
<b>第五章 浮力浮上法</b> .....	(45)
第一节 隔油 .....	(45)
第二节 气浮与浮选 .....	(49)
<b>第六章 过滤</b> .....	(61)
第一节 过滤原理及工艺过程 .....	(61)
第二节 快滤池的设计 .....	(65)
<b>第七章 化学消毒法</b> .....	(74)
第一节 概 述 .....	(74)
第二节 化学消毒原理 .....	(75)
第三节 氯消毒法 .....	(77)
第四节 其他消毒法 .....	(81)
<b>第八章 活性污泥法</b> .....	(84)
第一节 活性污泥法的原理 .....	(84)

第二节	活性污泥法的性能指标及运行影响因素 .....	(87)
第三节	曝气系统的设计 .....	(90)
第四节	活性污泥法的运行方式 .....	(98)
第五节	活性污泥的运行管理 .....	(102)
第六节	活性污泥的发展 .....	(105)
<b>第九章</b>	<b>生物膜法 .....</b>	<b>(107)</b>
第一节	概述 .....	(107)
第二节	生物滤池 .....	(110)
第三节	生物转盘 .....	(125)
<b>第十章</b>	<b>厌氧生化法 .....</b>	<b>(133)</b>
第一节	厌氧生物处理的基本原理 .....	(134)
第二节	厌氧消化的影响因素 .....	(136)
第三节	厌氧消化的工艺与设备 .....	(141)
第四节	厌氧消化设备的运行管理 .....	(149)
第五节	厌氧消化动力学 .....	(150)
第六节	厌氧产气量计算 .....	(154)
第七节	厌氧消化法处理工业废水技术及实例 .....	(157)
<b>第十一章</b>	<b>中和法 .....</b>	<b>(166)</b>
第一节	中和反应及中和药剂 .....	(166)
第二节	药剂中和 .....	(168)
第三节	过滤中和 .....	(173)
第四节	烟道气中和 .....	(176)
<b>第十二章</b>	<b>化学沉淀法 .....</b>	<b>(178)</b>
第一节	概述 .....	(178)
第二节	氢氧化物沉淀法 .....	(179)
第三节	其他化学沉淀法 .....	(181)
<b>第十三章</b>	<b>氧化还原法 .....</b>	<b>(184)</b>
第一节	空气氧化法和臭氧氧化法 .....	(184)
第二节	氯化法 .....	(187)
第三节	还原法 .....	(188)
第四节	电化学法 .....	(190)
<b>第十四章</b>	<b>吸附 .....</b>	<b>(192)</b>
第一节	吸附的基本理论 .....	(192)
第二节	吸附工艺过程及设备 .....	(201)

<b>第十五章</b>	<b>离子交换法</b>	(209)
第一节	离子交换树脂的结构特征、分类与特性	(209)
第二节	离子交换平衡与离子交换速度	(215)
第三节	离子交换工艺过程及设备	(217)
第四节	离子交换系统的设计	(223)
第五节	离子交换法在废水处理中的应用	(224)
<b>第十六章</b>	<b>膜分离</b>	(226)
第一节	电渗析	(226)
第二节	反渗透	(227)
第三节	超滤	(230)
<b>第十七章</b>	<b>溶解态污染物的其他处理方法</b>	(232)
第一节	萃取法	(232)
第二节	吹脱法与汽提法	(234)
<b>第十八章</b>	<b>循环水的冷却与稳定处理</b>	(239)
第一节	概述	(239)
第二节	循环冷却水的冷却处理	(239)
第三节	循环冷却水出现的问题与水质稳定性的鉴别	(247)
第四节	循环冷却水的稳定处理	(251)
<b>第十九章</b>	<b>脱氮除磷与城市污水深度处理</b>	(255)
第一节	氮的去除	(255)
第二节	磷的去除	(261)
第三节	厌氧-缺氧-好氧生物脱氮除磷工艺	(266)
第四节	城市污水深度处理实例	(267)
<b>第二十章</b>	<b>污泥的处理与处置</b>	(270)
第一节	概述	(270)
第二节	污泥的浓缩、脱水、调理与稳定	(275)
<b>第二十一章</b>	<b>水处理后的排放与水体自净</b>	(282)
第一节	水处理后的排放对水体生态系统的影响	(282)
第二节	水体污染与水体自净	(283)
<b>附录一</b>	<b>美国国家环保局列出的主要有机污染物</b>	(290)
<b>附录二</b>	<b>部分行业最高允许排水量(1998年1月1日以后建设单位)</b>	(305)
<b>附录三</b>	<b>废水处理技术中常用名词的英文缩写及中英对照</b>	(308)
<b>参考文献</b>		(310)

# 第一章 总论

## 第一节 水资源与水循环

### 一、水资源

水是分布广泛而又十分重要的自然资源。它孕育和滋养了地球上的一切生物，并从各个方面为人类社会服务。水的用途大致有以下几方面：生活用水、工业用水、农业用水、渔业用水、交通运输用水等。一般情况下，与人类生活和生产密切相关的前三种用水不能大规模取用海洋咸水，而只能取用淡水。

虽然地球表面的2/3被水覆盖，但淡水资源仅占其中的2.5%，人类可利用的淡水只占全球水总量的0.26%，而人类可以从江河湖泊中取用的淡水只占全球水总量的0.014%。根据联合国统计，自20世纪初以来，全球淡水消耗量的增长速度提高了2倍。

水资源指可供人们经常使用的水量，即大陆上由大气降水补给的各种地表、地下淡水体的储存量和动态水量。

地表水包括河流、湖泊、冰川等，其动态水量为河流径流量，即地表水资源是由地表水体的储存量和河流径流量组成。

地下水的动态水量为降水渗入和地表水渗入补给的水量，即地下水资源是由地下水的储存量和地下水的补给量组成的。

我国的水资源总量约为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ （其中地下水8000亿 $\text{m}^3$ ），居世界第六位，但按人均占有量约为2200 $\text{m}^3$ ，只有世界人均占有量的1/4，相当于美国的1/5、俄罗斯的1/7，排在世界第100位以后，故中国已被列入全球贫水国家的名单。水污染更加剧了水的危机。据估计，全世界每年排放的污水达4000亿~5000亿 $\text{m}^3$ ，占全球径流量的14%以上。有人认为，到2025年，全世界人口增至83亿时，如果不合理开发利用水资源，将有1/2的人口遭受中高度或高度缺水的压力和危机。

我国水资源空间分布很不均匀。长江流域以北的淮河、黄河、海滦河、辽河、黑龙江等五个流域水资源量合计仅占全国总量的14.4%，而人口却占全国总量的43.5%。所以这五个流域的人均水资源占有量只是略高于900 $\text{m}^3$ 。其中海滦河流域则更少，仅有400多立方米。因此，水资源对我国来说是十分宝贵的，保护水资源的一个不可忽视的方面就是防治水污染。

### 二、水循环

水循环是指自然界中的水通过蒸发、凝结、降水（雪）、渗透和径流等作用，无终止地往复循环的过程。



地球上水的储量是有限的，自然界中的水是不能新生的，只能通过大循环而再生。水圈是指地壳表面的液态水层，占地球外层 5km 地壳的 50% 以上。水是地球上最丰富的化合物，大约是在 30 亿年前形成的。地球上这些水在不断地进行着循环，处于平衡状态。因此，江河奔流不息，地下水位相对稳定，海拔没有明显的变化。这样，就形成了水的无终止往复循环过程。水的循环分为自然循环和社会循环两种。

### 1. 自然循环

地球上的水在阳光照射下，通过江河、湖泊、海洋等地面水、表土水的蒸发，植物茎叶的蒸腾，形成水蒸气，进入大气，遇冷凝结，以雨、雪、雹等形式重返地面。返回地面的水，一部分渗入地下成为土壤水和地下水，再供植物蒸腾，或直接从地面蒸发；一部分流入江河、湖泊、海洋，再经这些水面蒸发或植物蒸腾等，无终止地往复循环。水的自然循环如图 1-1 所示。

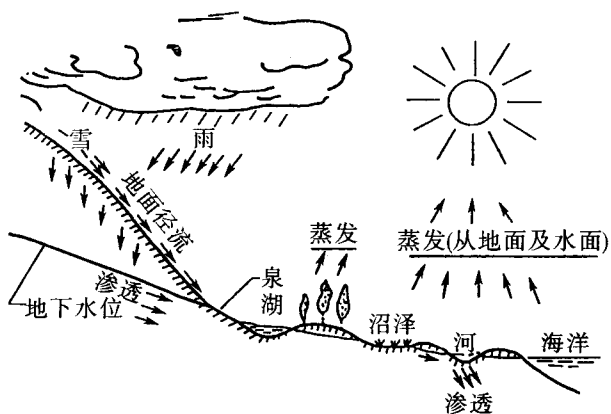


图 1-1 自然界水的循环

自然界中的水在太阳照射和地心引力等的影响下不停地流动和转化，通过降水、径流、渗透和蒸发等方式循环不止，构成水的自然循环，形成各种不同的水源。

水在自然界循环中几乎在每个环节都有杂质混入，使水质发生了变化。

### 2. 社会循环

人类为满足生产与生活需要，要从自然界获取大量的水。这些水经使用后就成为生活污水和生产废水，排入自然水体。这样，水在人类社会又构成了一个局部的循环体系，即水的社会循环。

每人每天至少需要 5L 水，加上卫生方面的需要，全部生活用水量日人均均为 40 ~ 50L 以上。生活水准越高，用水量也越大。一般来说，发展中国家人均日用水量为 40 ~ 60L，发达国家则达到 200 ~ 300L。当然，用水量的大小与不同地区的气候条件、生活习惯有关。

工业更是用水大户。据统计，工业用水一般要占城市用水的 70% ~ 80%，各种行业，如发电、冶金、石油、化工、纺织、印染、造纸都是用水大户。

农业则是另一用水大户，不少国家尽管工业用水量很大，但农业用水量仍大大超过工业用水量。即使发达国家如美国、日本，其农业用水量约为工业用水量的 2 ~ 3 倍。中国是一个农业大国，农业是主要的用水与耗水部门。据统计，长江流域每亩水稻田的需水量为 250 ~ 500m<sup>3</sup>；北方地区的主要农作物为小麦、玉米和棉花，其需水量分别为 200 ~ 300m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、150 ~ 250m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、80 ~ 150m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## 第二节 废水的来源与特征

### 一、水的异常特征

#### 1. 水的三态变化

水的冰点为 $0^{\circ}\text{C}$ ，沸点为 $100^{\circ}\text{C}$ ，在常温下为液体。在自然环境中，水也可以固体存在，并有相当部分成为蒸汽，从而可以实现水的自然循环，生产中也应用水的三态变化来转换能量。

#### 2. 温度、体积效应

水在 $3.98^{\circ}\text{C}$ 时有最大密度，为 $1.000\text{g}/\text{cm}^3$ 。与一般物质不同，水在结冰时体积膨胀。由此特性，天然水体才能形成冬季冰盖，使水下生物得以生存。

#### 3. 热容量最大

在所有液体和固体物质中，水具有最大的比热容，同时有很大的蒸发热和熔解热。这使天然水体可以调节气候温度，同时，工业生产中水也成为冷却其他物体或者储存及传送热量的优良载体。

#### 4. 溶解及反应能力极强

水作为一种溶剂，是其他物质所不能与之相比的。水的溶解能力极强，而且由于介电常数很大，使溶质离解的能力也极强。水中溶解的物质可以进行多种化学反应，而且水本身与许多金属氧化物、非金属氧化物以及活泼金属等都可产生化合作用，其生成物再进一步参加不同物质的各种反应。水有时还可作为一种催化剂，极微量的水有时会对化学反应的进行起重大作用。

#### 5. 界面特性突出

在所有常温下的流体中，除汞以外，水具有最大的表面张力。水的各种界面特性如润湿、吸附等都是很突出的，这在各种物理化学作用以及自然界机体生命活动中起着显著影响。

#### 6. 有机物和生命物质中氢元素的来源

生物从水分解中取得的氢元素，所花费的能量最少，因此生命与水是不可分开的。没有水及其异常特性，也就没有现在的自然环境和人类社会。

### 二、水中污染物来源

水体污染有两类：一类是自然污染，另一类是人为污染，而后者是主要的。自然污染主要是自然因素所造成，如特殊的地质条件使某些地区的某些或某种化学元素大量富集，天然植物在腐烂过程中产生某种毒素，以及降雨淋洗大气和地面后挟带各种物质流入水体，都会影响该地区的水质。人为污染是人类生活和生产活动中产生的废污水对水体的污染，包括生活污水、工业废水、农业废水等。此外，污染气体及气溶胶的沉降，废渣和垃圾倾倒在 水中或岸边，或堆积在土地上，经降雨淋洗流入水体，都能造成污染。

#### 1. 生活污水

生活污水是指居民在日常生活中所产生的废水，主要有生活废料和人的排泄物，包括

厨房洗涤、沐浴、洗衣等废水以及冲洗厕所等污水。废水的成分及其变化取决于居民的生活状况、生活水平及生活习惯。污染物的浓度则与用水量有关。

生活污水的水质特征是水质较稳定，浑浊、色深且具有恶臭，呈微碱性，一般不含有毒物质。由于生活污水适于各种微生物的生长繁殖，所以往往含有大量的细菌、病毒和寄生虫卵。

生活污水中所含固体物质占总质量的0.1%~0.2%，其中溶解性固体占固体总量的3/5~2/3，主要是各种无机盐和可溶性的有机物质，悬浮固体占总量的1/3~2/5，而其中有机成分几乎占3/4以上。此外，生活污水中还含有氮、磷等营养物质。表1-1所列城市生活污水的典型组成。

表1-1 城市生活污水的典型组成

单位：mg/L

项 目	无机的	有机的	总 量	BOD <sub>5</sub>	项 目	无机的	有机的	总 量	BOD <sub>5</sub>
可沉固体	40	100	140	55	总固体	275	380	655	160
不可沉固体	25	70	95	65	氮	15	20	35	
溶解固体	210	210	420	40	磷	5	3	8	

## 2. 工业废水

工业废水是指工业生产所排放的废水。由于工业类型、生产工艺及用水水质、管理水平不同，使各类工业废水的成分与性质千差万别。工业废水中除冷却水等较清洁的生产废水外，都含有各种各样的污染物：有的含有大量的有机污染物质；有的含有毒有害物质；有的物理性状十分恶劣，成分十分复杂。这类工业废水必须经处理后方能排入水体或城市下水道系统。表1-2所列工业废水的主要来源。

表1-2 工业废水的主要来源

废水种类	废水的主要来源
重金属废水	采矿、冶炼、金属处理、电镀、电池、特种玻璃及化工等工业
放射性废水	铀、钍、镭矿的开采加工、核动力站运转、医院同位素试验室等
含铬废水	采矿冶炼、电镀、制革、颜料、催化剂等工业
含氰废水	电镀、提取金银、选矿、煤气洗涤、焦化、金属清洗、有机玻璃生产等工业
含油废水	炼油、机械厂、选矿厂及食品厂等
酚类废水	焦化、炼油、化工、煤气、染料、木材防腐、塑料、合成树脂等工业
硝基苯类废水	染料工业、炸药生产等
有机废水	化工、酿造、食品、造纸等工业
含砷废水	制药、农药、化工、化肥、采矿、冶炼、涂料、玻璃等工业
酸性废水	化工、矿山、金属酸洗、电镀、钢铁等工业
碱性废水	造纸、印染、化纤、制革、化工、炼油等工业

## 3. 农业废水

随着农药与化肥的大量使用，农业径流排水已成为水体的主要污染源之一。施用于农田的农药与化肥除一小部分被植物吸收外，大部分残留在土壤或漂浮于大气中，经降水洗

淋、冲刷及农田灌溉排水，残留的农药与化肥最终会随降水及灌溉排水径流排入地面水体或渗入地下水中。此外，农业废弃物（包括农作物的秆、茎、叶以及牲畜粪便等）也会随各种途径带入水体中，造成水体的污染。

### 三、污染物种类与水质指标

水质是指水与水中杂质共同表现的综合特征。水中杂质具体衡量的尺度称为水质指标。水质指标可分为物理指标、化学指标和生物指标。水质指标是对水体进行监测、评价、利用以及污染治理的主要依据。污水水质指标有生化需氧量、化学需氧量、总需氧量、悬浮物、总有机碳、有机氮、pH 值、有毒物质、细菌总数、大肠菌数、溶解氧等。

#### 1. 悬浮物 (SS)

悬浮物指不能通过过滤器（滤纸或滤膜）的固体物质。污水中的固体物质包括悬浮固体和溶解固体两类。悬浮固体指悬浮于水中的固体物质。悬浮固体也称悬浮物质或悬浮物，通常用 SS 表示。悬浮物透光性差，使水质浑浊，影响水生生物的生长，大量的悬浮物还会造成河道阻塞。

#### 2. 化学需氧量 (COD)

化学需氧量是指在酸性条件下，用强氧化剂将有机物氧化为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  所消耗的氧量。氧化剂一般采用重铬酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强，所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原物质（但不包括硝化所需的氧量），此时化学需氧量用  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  或 COD 表示。如采用高锰酸钾作为氧化剂，则写作  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 。

与  $\text{BOD}_5$  相比， $\text{COD}_{\text{Cr}}$  能够在较短的时间内（规定为 2h）较精确地测出废水中耗氧物质的含量，不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物碱化的有机物质。此外，废水中的还原性无机物也能消耗部分氧，造成一定误差。

如果废水中各种成分相对稳定，那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般说来， $\text{COD}_{\text{Cr}} > \text{BOD}_{20} \geq \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。其中  $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$  比值可作为废水是否适宜生化法处理的一个衡量指标。比值越大，越容易被生化处理。一般认为  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理方法。

#### 3. 生化需氧量 (BOD)

所谓生化需氧量 (BOD)，是指在有氧的条件下，由于微生物的作用，水中能分解的有机物质完全氧化分解时所消耗氧的量。它是水样在一定的温度（如  $20^\circ\text{C}$ ）下，在密闭容器中，保存一定时间后溶解氧所减少的量 (mg/L) 来表示的。当温度在  $20^\circ\text{C}$  时，一般的有机物质需要 20 天左右时间就能基本完成氧化分解过程，而要全部完成这一分解过程就需 100 天。但是，这么长的时间对于实际生产控制来说就失去了实用价值。因此，目前规定在  $20^\circ\text{C}$  下，培养 5 天作为测定生化需氧量的标准。这时候测得的生化需氧量就称为 5 日生化需氧量，用  $\text{BOD}_5$  表示。

如果污水中的有机物的数量和组成相对稳定，则两者之间可能有一定的比例关系，可以互相推算求出。生活污水的 BOD 与 COD 的比值大致为 0.4 ~ 0.8。对于一定的污水而言，一般说来， $\text{COD}_{\text{Cr}} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5$ 。

#### 4. 总需氧量 (TOD)

有机物中含 C、H、N、S 等元素，当有机物全部被氧化时，这些元素分别被氧化为

CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>，此时的需氧量称为总需氧量（TOD）。

总需氧量测定原理和过程是向有氧的载气中注入一定数量的水样，并将其送入以铂网为触媒的燃烧管中，以 900℃ 的高温加以燃烧，水样中的有机物因被燃烧而消耗了载气中的氧，剩余的氧用电极测定，并用自动记录器加以记录，从载气原有的氧量中减去水样燃烧后剩余的氧，即为总需氧量。

此指标的测定，与 BOD、COD 的测定相比，更为快速简便，其结果也比 COD 更接近于理论需氧量。

#### 5. 总有机碳（TOC）

有机物都含有碳，通过测定废水中的总含碳量可以表示有机物含量。总有机碳（TOC）的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在 900℃ 高温下燃烧，用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的 CO<sub>2</sub> 量，再折算出其中的含碳量，就是总有机碳 TOC 值。为排除无机碳酸盐的干扰，应先将水样酸化，再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。TOC 的测定时间也仅需几分钟。

#### 6. 有机氮

有机氮是反映水中蛋白质、氨基酸、尿素等含氮有机化合物总量的一个水质指标。若使有机氮在有氧的条件下进行生物氧化，可逐步分解为 NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 等形式，NH<sub>3</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 称为氨氮，NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 称为亚硝酸氮，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 称为硝酸氮，这几种形态的含量均可作为水质指标，分别代表有机氮转化为无机物的各个不同阶段。

总氮（TN）则是一个包括从有机氮到硝酸氮等全部含量的水质指标。

#### 7. 酸碱污染物

酸碱污染物主要由工业废水排放的酸碱以及酸雨带来。水质标准中以 pH 值来反映其含量水平。

酸碱污染物使水体的 pH 值发生变化，抑制微生物生长，妨碍水体自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。各种生物都有自己的 pH 值适应范围，超过该范围，就会影响其生存。对渔业水体而言，pH 值不得低于 6 或高于 9.2，当 pH 值为 5.5 时，一些鱼类就不能生存或生产率下降。农业灌溉用水的 pH 值应为 5.5 ~ 8.5。此外，酸性废水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。

#### 8. 有毒物质

有毒物质是指在污水中达到一定的浓度后，能够危害人体健康、危害水体中的水生生物，或者影响污水的生物处理的物质。

由于这类物质的危害较大，因此，有毒物质含量是污水排放、水体监测和污水处理中的重要水质指标。有毒物质是人们所普遍关注的。有毒物质可分为无机毒物和有机毒物。

#### 9. 细菌总数

细菌总数是指 1mL 水中所含有各种细菌的总数，反映水所受细菌污染程度的指标。

在水质分析中，是把一定量水接种于琼脂培养基中，在 37℃ 条件下培养 24 h 后，数出生长的细菌菌落数，然后计算出每毫升水中所含的细菌数。

#### 10. 大肠菌数

大肠菌数是指 1L 水中所含大肠菌个数。大肠菌本身虽非致病菌，但由于大肠菌在外部环境中的生存条件与肠道传染病的细菌、寄生虫卵相似，而且大肠菌的数量多，比较容

易检验，所以把大肠菌数作为生物污染指标。比较常见的病原微生物有伤寒、肝炎病毒、腺病毒等，同时也存在某些寄生虫。

#### 11. 溶解氧 (DO)

溶解氧是指溶解在水中的游离氧 (用 DO 表示)，单位以 mg/L 表示。

在水生物的生存中，溶解氧 (DO) 是不可缺少的，在自然净化中作用很大，是有机污染的重要指标。污水污染越严重，污水中溶解氧 (DO) 越少。

#### 12. 色度

污水由于含有各种不同杂质，常显现出不同的颜色。

当污水进入环境后，会对环境造成表现的污染。有色污水排入水体后，会减弱水体的透光性，影响水生生物的生长。

色度是一种通过感官来观察污水颜色深浅的程度，洁净水应是无色透明的，若被污染了的水，其色泽加深，人们一般从污水的色度可以粗略地判断水质的好坏，如二类污水色度 (稀释倍数) 一级标准为 50 ~ 80，二级标准为 80 ~ 100。

#### 13. 浊度

水中含有泥土、粉砂、微细有机物、无机物、浮游生物等悬浮物和胶体物都可以使水体变得浑浊而呈现一定浊度。在水质分析中规定，1 L 水中含有 1mg SiO<sub>2</sub> 所构成的浊度为一个标准浊度单位，简称 1 度。

### 第三节 水质标准

水质标准可分为两类：一类是根据水的不同用途而制定的水质标准，即针对不同的用途而建立起相应的物理、化学和生物学的水质质量标准；另一类是为了保护环境、保护水体的正常用途，对排入水体的生活污水和工业废水水质提出一定的限制与要求，即污水排放标准。

一般排放标准有《工业“三废”排放试行标准 (GB J4—1973)》、《污水综合排放标准 (GB 8978—1988)》、《农业污泥中污染物控制标准 (GB 4284—1984)》等。行业排放标准涉及各种行业，如《石油炼制工业水污染物排放标准 (GB 3551—1983)》、《制革工业水污染物排放标准 (GB 3549—1983)》、《医院污水排放标准 (GB J48—1983)》、《造纸工业水污染物排放标准 (GB 3544—1992)》、《钢铁工业水污染物排放标准 (GB 13456—1992)》、《纺织染整工业水污染物排放标准 (GB 4287—1992)》、《肉类加工工业水污染物排放标准 (GB 13457—1992)》、《合成氨工业水污染物排放标准 (GB 13458—1992)》等，可作为规划、设计、管理与监测的依据。

以下重点介绍应用最广泛的《污水综合排放标准 (GB 8978—1988)》。该标准根据废水污染物危害程度把污染物分为两类：第一类污染物能在环境或在动植物体内积蓄，对人类健康产生长远的影响。规定含此类污染物的污水必须在车间或车间处理设施排放口处取样分析，同时其含量必须符合表 1-3 的规定。第二类污染物的长远影响小于第一类，规定的取样地点为排污单位的排出口，其最高允许排放浓度要按地面水使用功能的要求和污水排放去向，分别执行表 1-4 中的一、二、三级标准。

表 1-3 第一类污染物最高允许排放质量浓度

单位: mg/L

污染物	最高允许排放质量浓度	污染物	最高允许排放质量浓度	污染物	最高允许排放质量浓度
总汞	0.05 <sup>①</sup>	总铬	1.5	总铅	1.0
烷基汞	不得检出	六价铬	0.5	总镍	1.0
总镉	0.1	总砷	0.5	苯并[a]比 <sup>②</sup>	0.00003

注: ①烧碱行业(新建、扩建、改建企业)采用0.05mg/L。

②为试行标准, 二级、三级标准暂不考核。

表 1-4 第二类污染物最高允许排放质量浓度

单位: mg/L

标准分级	一级标准		二级标准		三级标准
	新扩改	现有	新扩改	现有	
规模标准值污染物					
pH 值	6~9	6~9	6~9	6~9 <sup>①</sup>	6~9
色度(稀释倍数)	50	80	80	100	
悬浮物	70	100	200	250 <sup>②</sup>	400
生物需氧量(BOD <sub>5</sub> )	30	60	60	80	300 <sup>③</sup>
化学需氧量(COD <sub>Cr</sub> )	100	150	150	200	500 <sup>③</sup>
石油类	10	15	10	20	30
动植物油	20	30	20	40	100
挥发酚	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0
氰化物	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
硫化物	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
氨氮	15	25	25	40	
氟化物	10	15	10	15	20
			20 <sup>④</sup>	30 <sup>④</sup>	
磷酸盐(以 P 计) <sup>⑤</sup>	0.5	1.0	1.0	2.0	
甲醛	1.0	2.0	2.0	3.0	
苯胺类	1.0	2.0	2.0	3.0	5.0
硝基苯类	2.0	3.0	3.0	5.0	5.0
阴离子合成洗涤剂(LAS)	5.0	10	10	15	20
铜	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
锌	2.0	2.0	4.0	5.0	5.0
锰	2.0	5.0	2.0 <sup>⑥</sup>	5.0 <sup>⑥</sup>	5.0

注: ①现有火电厂和粘胶纤维工业, 二级标准 pH 值放宽到 9.5。

②磷肥工业悬浮物放宽至 300mg/L。

③对排入带有二级污水处理厂的城镇污水管网的造纸、皮革、食品、洗毛、酿造、发酵、生物制药、肉类加工、纤维板等工业废水, BOD<sub>5</sub>可放宽至 600mg/L; COD<sub>Cr</sub>可放宽至 1000mg/L。具体限度还可以与市政部门协商。

④为低氟地区(系指水体含氟量 &lt; 0.5mg/L)容许排放浓度。

⑤为排入蓄水河流和封闭性水域的控制指标。

⑥合成脂肪酸工业新扩改为 5mg/L, 现有企业为 7.5mg/L。

表 1-5 为世界卫生组织及某些国家部分水质标准比较。

表 1-5 世界卫生组织及某些国家部分水质标准比较

单位: mg/L

项 目	WHO* 规定		日 本		美 国	中 国	
	标准	最大允许	排放	环境	饮用	饮用	地面
铝	0.1		1.0	0.1	0.05		0.1
镉	0.01		0.1	0.001	0.01	0.01	0.001
汞	0.001		0.02	0.02	0.005	0.001	0.0005
铜	0.05	1.5	3.0	1.0	1.0	1.0	0.01
砷	0.05	0.2	0.5	0.05	0.05	0.02	0.05
铬(六价)	检不出	0.05	0.5	0.05	0.05		0.01
氰化物	检不出	0.01	1.0	检不出	0.01	0.01	0.005
甲基汞			检不出(0.001)	检不出(0.001)			
PAH	0.0002						0.0025
pH 值	7.0 ~ 8.5	6.2 ~ 9.2	6.8 ~ 8.6		7.0 ~ 10.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 8.5

注:\* 世界卫生组织。

上面提到的排放标准都是质量浓度标准。这类标准存在明显的缺陷: 不论废水接纳水体的大小和状况, 不论污染源的大小, 都采用同一个标准。因此, 即使满足排放标准, 如果排放总量大大超过接纳水体的环境容量, 也会对水体造成不可逆的严重后果。此外, 质量浓度标准也无法防止某些工厂用清水稀释来降低排放质量浓度以满足排放标准的现象。

针对这一状况, 近年来总量控制标准受到了重视。该标准根据一定范围内的水体环境容量和自净能力, 计算出允许排入该水域的污染物总量, 然后再按照一定的原则, 将这些允许的排污总量合理地分配给区内各污染源。

按照适用范围的大小, 总量控制可分几个层次: 规定一个工厂(或企业)每个排放口的排污总量; 规定一个范围内(包括若干工厂)的排放总量, 由各厂协商分配, 只要各厂总量不超过该范围所允许的排放总量即可; 一条河流的流域往往在地理上与若干城市有关, 可以规定流经某城市的河段所允许的排污总量。

总量控制可以避免质量浓度标准的缺点, 但要实行总量控制先需要做很多基础工作, 如污染源调查、环境质量评价、水体自净规律和污染物迁移转化规律的研究、污染治理边际费用研究等。在没有这些条件以前, 总量控制难以实施或奏效。

## 第四节 水处理方法概要

### 一、给水处理与废水处理间的界限变化过程

20 世纪 50 年代以前, 给水处理与废水处理涵义的划分是很清楚的。从天然水源取水, 为供生活或工业的使用(特别是生活使用)而进行的处理, 称为给水处理。为了排放的目的, 对于使用过的水所进行的处理, 称为废水处理。自从水的污染日益严重、水源逐渐紧张以来, 给水处理与废水处理间的界限也就逐渐模糊起来。现在, 废水可以作为水



源，经处理后以供工业用水甚至生活用水。水的再用（reuse）以及再生（revonation）这类术语的出现就反映了这种情况。为了废水的再生或再用所进行的处理，就其水质来说是废水处理，就其处理的目的来说则为给水处理。在这种新形势下，使用水处理或水质控制这样的术语，不再划分给水与废水可能较为方便；而水源、水处理与用水三者之间应作为一个整体来看待，如图 1-2 所示。

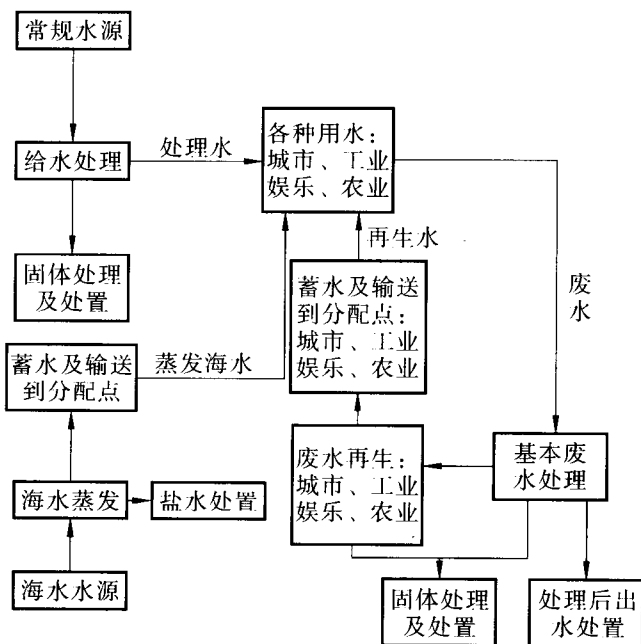


图 1-2 水的使用、处理和处置系统

## 二、水处理的目的是与方法分类

水处理的目的是有三个：①去除水中影响使用水质的杂质以及污泥的处置；②为了满足用水的要求，在水中加入新的成分以改变水的化学性质，如食用水中加氟以防止龋齿病，循环冷却水中加缓蚀剂及缓垢剂以控制腐蚀及结垢等；③改变水物理性质的处理，如水的冷却、降低水的黏滞度等。

图 1-3 为废水处理及固体处理的各种方法。

这里介绍几种常用的水处理方法。

(1) 重力沉降和自然浮上法：在不施药剂条件下，悬浮液中粒子依靠自重而沉降或依靠自身较小密度而浮上的方法。

(2) 凝聚沉降和凝聚浮上法：通过施药剂（絮凝剂、浮选剂）使悬浮粒子发生沉降或浮上的方法，应用这种方法主要能除去废水中细微颗粒物和胶体物质。

(3) 过滤法：以砂、无烟煤、石榴石、塑料之类粒状物组成填充层，使水流通过，过滤除去悬浮杂质。

(4) 超过滤法和反渗透法：超过滤法是使水流在加压下流过膜材料，过滤除去相对分子质量大于 500 的有机物、胶体颗粒或细菌等。对于被截留污染物的相对分子质量不大