



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高 职 高 专 系 列 教 材

水处理工程

(第二版)

WATER TREATMENT ENGINEERING

赵奎霞 主编
夏宏生 韩永萍 副主编
宋慰祖 主审

中国环境科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专系列教材

水处理工程

(第二版)

	赵奎霞	主 编
夏宏生	韩永萍	副主编
	宋慰祖	主 审

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水处理工程/赵奎霞主编. —2 版. —北京: 中国环境科学出版社, 2008.8

(高职高专系列教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-80209-733-9

I. 水… II. 赵… III. 水处理—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 063981 号

责任编辑 高速进
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2008 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 23.25
字 数 440 千字
定 价 40.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

本书于 2006 年被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书是在全国高等专科学校城镇建设试点专业系列教材之一——《水处理工程》(第一版)的基础上编写的。《水处理工程》(第一版)于 2000 年出版发行后,在国内高职高专院校获得较广泛的应用。

《水处理工程》(第一版)出版至今已有 8 年。8 年来,不仅水处理技术有了新的进展,而且高职高专的培养目标及模式也有了颠覆性的改变,高职教育更加重视培养和提高学生的上岗操作能力及职业技能水平。根据编者多年从事专科教学的体会,将给水处理和污水处理内容分开效果更好。因此,我们对原教材从编排顺序及内容方面均做了较大的修改和补充。《水处理工程》(第二版)内容分为给水处理和污水处理两个模块,包括常规和新型多种处理技术,按各工艺的处理过程进行单元编排,并补充了给水厂和污水处理厂的运行管理、微污染水处理技术、污水的深度处理与三级处理技术、污水处理新技术等内容。

全书分为上、下两篇,共 16 章。上篇给水处理共 6 章;下篇污废水处理共 10 章。

本书由北京联合大学的韩永萍(第一、二章)、上海第二工业大学的关杰(第三、四、八、十、十六章)、广东水利电力职业技术学院的夏宏生(第五、六、十二、十三、十五章)、广东水利电力职业技术学

院的赵奎霞（第七、九章和第十一章的第一、二、三节及附录）、中国矿业大学（北京）的于妍（第十一章的第四节、十四章）等编写，全书由赵奎霞统稿，宋慰祖主审。广东水利电力职业技术学院的杜敬、吕满英为本书的编写做了部分工作，在此一并表示感谢。

本书可作为高职高专院校给水排水、环境工程、环境保护与监测、市政工程、城镇建设等专业教材，也可作为中高级技工、技师技能考证和水厂技术人员的培训教材。

虽然参加本书编写的人员大多是长期从事高职高专教学并有水厂工作经验的教师，但是由于时间仓促，本书难免有不足之处，恳请广大读者不吝指教。

编 者

2008年2月

目 录

上篇 给水处理

第一章 给水处理概论	3
第一节 水资源与水循环	3
第二节 水源水质与水质标准	5
第三节 给水处理技术概述	10
习题与思考题	12
第二章 常规给水处理技术	13
第一节 混 凝	13
第二节 沉 淀	29
第三节 过 滤	42
第四节 消 毒	72
习题与思考题	80
第三章 微污染水源水处理技术	81
第一节 藻类控制技术	81
第二节 臭味去除技术	86
第三节 有机物去除技术	89
习题与思考题	94
第四章 水中无机离子的去除技术	95
第一节 水中钙镁离子的去除技术	95
第二节 苦咸水的淡化与除盐技术	100
第三节 地下水的除铁除锰技术	106
第四节 水的除氟技术	109

习题与思考题	110
第五章 给水处理厂的规划设计	111
第一节 概 述	111
第二节 给水处理工艺流程选择	115
第三节 给水处理厂的平面与高程布置	119
习题与思考题	123
第六章 给水管网的运行管理与维护	124
第一节 概 述	124
第二节 常规处理单元工艺的运行管理	125
第三节 水厂泵站的运行管理与维护	128
第四节 水厂检测与自动化控制	131
习题与思考题	133
下篇 污废水处理	
第七章 概 述	137
第一节 污废水水质与水体污染	137
第二节 污水排放与水污染防控	140
第三节 城市污水的污染特征与处理	141
第四节 工业废水的污染特征与处理	144
习题与思考题	146
第八章 污废水的物理化学处理技术	147
第一节 污废水的物理处理技术	147
第二节 工业废水的化学处理技术	165
第三节 污废水的物理化学处理技术	172
习题与思考题	188
第九章 污水的好氧活性污泥法处理技术	189
第一节 活性污泥法	189
第二节 曝气及曝气装置	198
第三节 曝气池	207
第四节 活性污泥法处理系统的工艺设计	216

习题与思考题	237
第十章 好氧生物膜法处理技术	238
第一节 概 述	238
第二节 生物滤池	240
第三节 生物转盘	247
第四节 生物接触氧化法	252
习题与思考题	255
第十一章 污水的厌氧生物处理技术及污泥处理	256
第一节 厌氧生物处理技术概述	256
第二节 污废水厌氧生物处理方法	259
第三节 污水处理厂的污泥处理与处置技术	263
习题与思考题	274
第十二章 污水的天然生物处理技术	275
第一节 稳定塘处理	275
第二节 污水的土地处理技术	279
习题与思考题	284
第十三章 城市污水的三级处理与深度处理技术	285
第一节 城市污水的三级处理	285
第二节 城市污水的深度处理	287
习题与思考题	294
第十四章 污水处理新技术与应用	295
第一节 SBR 工艺	295
第二节 CASS 工艺	301
第三节 折流式厌氧反应器与厌氧序批式反应器	303
第四节 生物法同步脱氮除磷技术	306
第五节 膜生物反应器	309
习题与思考题	314

第十五章 污废水厂（站）的规划设计	315
第一节 概 述	315
第二节 污废水厂（站）处理工艺流程的选择	317
第三节 污废水厂的平面与高程布置	321
习题与思考题	329
第十六章 污水处理厂的运行管理与维护	330
第一节 概 述	330
第二节 活性污泥法污水处理系统的运行管理与维护	335
第三节 污泥处理系统的运行管理与维护	342
第四节 污水处理厂专业机械设备的运行管理与维护	348
第五节 污水处理过程控制与自动化调节系统	351
习题与思考题	355
附 录	356
附录 1 我国鼓风机产品规格	356
附录 2 氧在蒸馏水中的溶解度	356
附录 3 空气管道计算图	357
附录 4 泵型曝气叶轮的技术规格	358
附录 5 平板叶轮计算图（一）	359
附录 6 平板叶轮计算图（二）	360
参考文献	361

上 篇

给 水 处 理

第一章 给水处理概论

众所周知，水是生命的起源，水是人类得以生存和繁衍的物质之一。水也是自然界中广泛存在的物质之一，在地球表面有 70% 的面积被海洋所覆盖，人类可以饮用和利用的淡水资源仅占水资源总量的 $\frac{1}{3}$ ，然而有限的淡水资源又在不断遭受水质污染。给水处理的主要任务就是对所取的源水进行处理以保证饮用水使用安全或达到工业用水标准。

第一节 水资源与水循环

一、我国的水资源特点

我国水资源仅占世界水资源总量的 6%，却承担着世界 25% 人口的经济和生产需要，人均水资源为世界人均水量的 $\frac{1}{4}$ ，居世界第 110 位，被联合国列为全世界 13 个贫水国之一。随着人口和经济的发展，更多的城市和地区将会呈现严重的缺水问题。而且水资源时空分布不均，总的来说南多北少，开发利用难度大。全国已有 $\frac{1}{3}$ 的大中城市和部分地区出现水荒，水资源危机正笼罩着中国。

我国有限的淡水资源受到水质恶化和水生态系统破坏的威胁。由于长期以来我国约 80% 污水未经处理直接排入水域，造成 $\frac{1}{3}$ 以上的河段受污染，90% 以上城市水域污染严重，近 50% 的重点城镇水源地不符合国家现有饮用水标准。全国有监测系统的 1 200 多条河流中，有 850 条受到不同程度的污染。其中淮河流域、松花江流域、海河流域，河段全年平均水质达不到Ⅲ类，Ⅳ、Ⅴ类水质的河段已超过 20%。湖泊污染和富营养化也相当严重，太湖、白洋淀、洞庭湖、滇池平均每 10 年湖内水质下降一个等级。近岸海域尤其是河口及城市附近海域 N、P 污染更为严重，赤潮时有发生。另一方面，由于大量围垦，不合理使用农药、化肥以及水土流失等造成水生态系统破坏，淡水生物资源（尤其是渔业）受到威胁。这对于我国有限的淡水资源无疑是雪上加霜，对给水处理技术提出了更大的挑战。

二、水循环

水循环可分为自然循环和社会循环两种。

(一) 自然循环

自然界中的水并不是静止不动的。在太阳能的作用下，水分通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及土壤表面、植物茎叶的蒸发和蒸腾形成水汽，上升到空中凝结成云，在大气环流作用下移动到各处。在适当的条件下又以雨、雪、雹等形式降落到地面。降到地面的水分一部分汇集成为地表径流进入江河湖泊；另一部分渗入地下，形成地下渗流。与此同时，一部分水经过地面和水面的蒸发以及经植物吸收后由茎叶的蒸腾再次进入大气圈。这种川流不息、循环往复的过程叫做水的自然循环（图 1-1）。

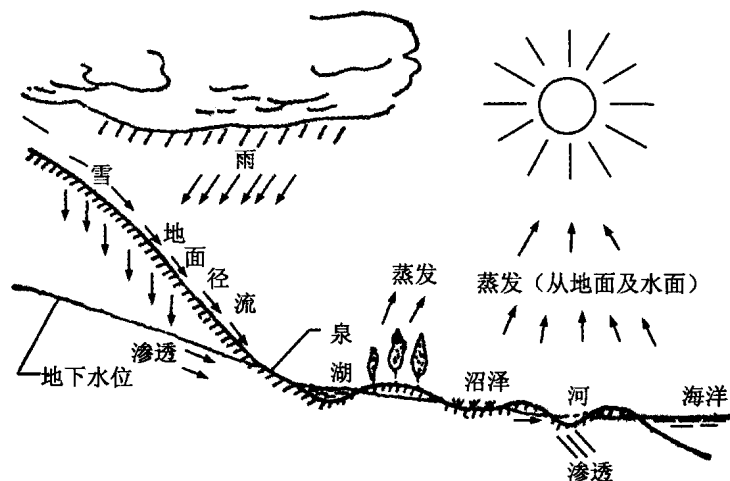


图 1-1 水的自然循环

据推算，每年的自然循环水量仅占地球上总水量的 0.03%。这些循环水量中约有 1/4 降落到地面。这些降水经过多年平衡，约有 56% 的水量为植物蒸腾、土壤和地面水体蒸发所消耗，34% 形成地表径流，10% 通过下渗补给地下水，现成地下渗流。

水在自然循环当中，当流经特殊地质条件的某些地区时，会带入某些化学元素，天然植物在水体中腐烂产生某种有害物质，以及降雨淋洗大气和冲刷地面后携带各种物质流入水体，都会影响当地水质，造成污染。这种污染方式又叫自然污染。

（二）社会循环

人类社会为了满足生活和生产的需要，要从各种天然水体中取用大量的水。这些水经过生活和生产使用后就成为生活污水和生产废水。它们被排放，最终又流入天然水体。这样，水在人类社会构成了一个局部的循环体系，叫社会循环。

通常，人们的生活水平越高，生活用水量也越大。目前，发展中国家平均生活用水量为 $40\sim 60\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$ ，而发达国家则达到 $200\sim 300\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$ ，在一些现代化的大城市里还要更高一些。当然，用水量大小也与不同地区的气候条件和人们的生活习惯有关。

工业生产更离不开水。据统计，工业用水一般占城市用水量的 $70\%\sim 80\%$ 。各种工业，无论是发电、冶金、化工、石油，还是纺织、印染、食品、造纸等都需要大量的水。各种工业产品的单位用水量可因原料、工艺过程、管理水平等有所不同。

随着世界人口的增长、生活水平的提高以及工农业的快速发展，用水量日益增加。而另一方面，用水量增加的结果会使废水量也相应增大。这些水因携带有大量的人类生活和生产过程中产生的废物而对水质构成严重污染。这种污染方式又叫人为污染。未经妥善处理的废水如果任意排入水体就会造成严重的污染，使本来已经不充裕的水资源更加紧张，这就是在水的社会循环中表现出来的人与自然在水量和水质方面存在着的巨大矛盾。

第二节 水源水质与水质标准

一、水质特点

（一）水中的杂质

取自任何水源的水都不同程度地含有各种各样的杂质。按尺寸大小可分成悬浮物、胶体和溶解物三类（表 1-1）。

表 1-1 中为颗粒尺寸按球形计时各类杂质的尺寸界限大体范围。一般来说，粒径在 $100\text{ nm}\sim 1\text{ }\mu\text{m}$ 属于胶体和悬浮物的过渡阶段，而当粒径大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 时，与胶体有明显区别。

表 1-1 水中杂质分类

杂质	溶解性杂质		胶体		悬浮物			
颗粒尺寸	0.1 nm	1 nm	10 nm	100 nm	1 μm	10 μm	100 μm	1 mm
分辨工具	电子显微镜		超显微镜		显微镜		肉眼可见	
水的外观	透明		浑浊		浑浊			

1. 悬浮物和胶体杂质

悬浮物尺寸较大，易在水中下沉或上浮。易于下沉的悬浮物一般是大颗粒泥砂及矿物质废渣，而能上浮的一般是体积较大而密度小的某些有机物。

胶体颗粒尺寸很小，在水中经过长期静置也不会下沉。水中所存在的胶体通常有黏土、某些细菌及病毒、腐殖质和蛋白质等，有机高分子通常也属于胶体一类。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，如腐殖质及藻类等往往会造成水的色、嗅、味。随着生活污水排入水体的病菌，病毒及原生动物等病原体通过水传染疾病。因此，悬浮物和胶体是饮用水处理的主要去除对象。粒径大于 0.1 mm 的泥砂去除较易，通常在水中可很快自行下沉。而粒径较小的悬浮物和胶体杂质，须投加混凝剂去除。

2. 溶解性杂质

溶解性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，部分溶解性杂质可使水产生色、嗅、味。对于未受工业废水或生活污水污染的天然水体，溶解性杂质主要为溶解性气体和无机盐离子。

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。其中的氧主要来源于空气中氧的溶解，藻类和其他水生植物的光合作用也对溶解氧有一定贡献。未受工业废水或生活污水污染的天然水体，溶解氧质量浓度一般为 5~10 mg/L。最高质量浓度不超过 14 mg/L。当水体受到污染时，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， CO_2 质量浓度一般小于 20~30 mg/L；而地下水中的 CO_2 主要来源于地层中碳酸盐酸化反应，每升水含量高达几十毫克至 100 mg。海水中 CO_2 含量很少，其中 99% 以分子形态存在，仅有 1% 左右与水作用生成盐酸。

水中的氮主要来源于大气，另一部分来源于水体中硝化细菌和亚硝化细菌对水体中含氮有机物的转化过程。

水中硫化氢的存在与某些含硫矿物的还原及水中有机物腐烂有关。由于硫化

氢极易被氧化,故地表水中含量较低。

天然水体中所含的主要阳离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} ;主要阴离子有 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 。此外还含有少量的 K^{+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 等阳离子及 HSiO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^{-} 等阴离子。这些离子大部分来源于矿物质的溶解及水中有机物的分解。

溶解性杂质是纯净水及某些工业用水的主要去除对象,处理方法也与悬浮物和胶体不同。

(二) 各种天然水源的水质特点

1. 地下水

由于地下水在地层渗滤过程中悬浮物和胶体已基本或大部分被去除,水质清澈且水源不易受外界污染和气候因素影响,因而水质、水温较稳定,一般宜做饮用水和工业用水的水源。

由于地下水流经岩层时溶解了各种可溶性矿物质,造成地下水含盐量通常高于地表水。就我国而言,尽管水文地质条件较复杂,各地区地下水中含盐量相差很大,但大部分地下水的盐质量浓度为 $200\sim 500\text{ mg/L}$,其中地下水的硬度通常为 $60\sim 300\text{ mg/L}$ 。个别地区高达 $300\sim 700\text{ mg/L}$;另外,我国铁矿石分布较广,地下水的铁质量浓度一般约为 10 mg/L ,经常出现铁锰共存的现象。因此,在利用地下水做水源时应考虑除铁锰。

2. 地表水

江、河汇集了大量的地表径流,其水质和水量直接受沿途降雨量等自然条件影响,水中悬浮物和胶体杂质含量较高,浊度明显高于地下水。江、河水的含盐量和硬度较低,其含量与地质、植被、气候条件及地下水补给情况有关。未被污染的江河水作为水源时应主要考虑去除悬浮物和胶体杂质。但江、河水易受工业废水、生活污水及其他各种人为污染,因而水的色、嗅、味变化较大,有毒或有害物质易进入水体,水温随季节变化较大。

湖泊及水库水主要由河水供给,水质与河水类似。但由于湖水流动性小、储存时间长,经过长期自然沉淀,浊度较低。这为湖水中的藻类繁殖提供了条件,藻类的大量繁殖使水产生色、嗅、味。同时,水生物死亡残骸沉积湖底,一经风浪泛起湖底积累的大量腐殖质就会造成水质恶化。此外,湖水不断蒸发浓缩,其含盐量往往比河水高。

海水中盐含量较高,而且所含各种盐离子的比例基本一定。其中氯化物含量较高,约占含盐量 89%;硫化物次之,碳酸盐再次,其他盐类含量极少。近年来,由于淡水资源的匮乏,海水淡化在给水中比例日益增大。

二、水质标准

水质标准是用水对象所要求的各项水质参数应达到的指标或限值。水质指标因用途不同而不同。随着科学技术的进步和水源污染的日益严重，水质标准总是在不断修改、补充之中。

(一) 饮用水卫生标准

饮用水直接关系到人们的日常生活和身体健康，因此供给居民安全、足量的饮用水是最基本的卫生条件之一。

我国 1956 年开始制订了第一个《生活饮用水卫生标准（试行）》（GB 5749—85），其中有 16 项水质指标。1976 年项目修订增加到 23 项，1985 年共 35 项，关于有机物指标只有 6 项。2001 年 6 月我国再次推出新标准，与 GB 5749—85 相比水质指标由 35 项增加至 106 项（增加了 71 项，修订了 8 项），其中水质常规指标及限值和饮用水中消毒剂常规指标及要求见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 水质常规指标及限值

指 标		限 值	
微生物指标	总大肠菌群	不得检出	
	耐热大肠菌群	不得检出	
	大肠埃希氏菌	不得检出	
	菌落总数	100	个/ml
毒理指标	砷	0.01	mg/L
	镉	0.005	mg/L
	铬（VI）	0.05	mg/L
	铅	0.01	mg/L
	汞	0.001	mg/L
	硒	0.01	mg/L
	氰化物	0.05	mg/L
	氟化物	1.0	mg/L
	硝酸盐（以 N 计）	10 地下水源地限制时为 20	mg/L mg/L
	三氯甲烷	0.06	mg/L
	四氯化碳	0.002	mg/L
	溴酸盐	0.01	mg/L
	甲醛	0.9	mg/L
	亚氯酸盐	0.7	mg/L
	氯酸盐	0.7	mg/L