



水污染 控制工程及设备

A landscape photograph of a calm lake reflecting distant mountains under a cloudy sky. A large blue geometric shape, consisting of two triangles meeting at a diagonal line, is overlaid on the left side of the image.

吴向阳
李 潜 主编
赵如金

SHUIWURAN
KONGZHI GONGCHENG JI SHEBEI

中国环境出版社



2015-2-020

水污染控制工程及设备

吴向阳 李 潜 赵如金 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程及设备/吴向阳等主编. —北京: 中国环境出版社, 2015.11

ISBN 978-7-5111-2503-3

I. ①水… II. ①吴… III. ①水污染—污染控制—高等学校—教材 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 201192 号

出版人 王新程
责任编辑 葛莉 董蓓蓓
责任校对 尹芳
封面设计 彭杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (教材图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 8 月第 1 版
印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 21 插页 3
字 数 500 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

环 保 设 备 工 程 系 列 教 材

专家委员会

主 任 周 琪

副 主 任 胡洪营 燕中凯 沈建

委 员 韩 伟 王家廉 赵由才 蒋文举 李彩亭 宁平

编写委员会

主 任 周 琪

副 主 任 王振波 张俊丰 吴向阳 关杰

编 委 王德义 刘迎云 丁 成 胡钰贤 傅海燕 胡献国

黄河清 郑天柱 张宝安

编写人员 王宗明 戴友芝 解清杰 周明远 高明军 吕俊文

金建祥 王守信 代智能 唐志国 孟冠华 殷 进

孙治谦 黄 妍 李 潜 戴 珏 贺笑春 张晓文

全桂香 冯国红 阳艾利 马培勇 陈宜华 林鹏飞

肖利平 张 波 袁 昊 杨启霞 邓钦文 沈 丹

盛广宏 王建军 张秀霞 耿春香 刘 芳 远 野

武智瑛 张立娟 宋 扬 邵 暖

本书编写组

主 编 吴向阳 李 潜 赵如金

编写人员 张红梅 刘 宏 丁 成

解清杰 邵晓玲

序

为适应国家大力发展绿色经济、低碳经济、环保技术等重要战略性新兴产业的需要,2012年教育部将环保设备工程专业正式列为《普通高等学校本科专业目录(2012年)》中的特色专业,一批高等院校陆续设置了该专业。2013年,国内较早设置环保设备工程专业的9所高校在中国石油大学(华东)召开了“首届全国环保设备工程专业(方向)课程建设及人才培养研讨会”,共同探讨环保设备工程专业的定位、学科体系和支撑体系建设、教材体系构架等关键问题,教育部环境科学与工程专业教学指导委员会、环境保护部宣教司、中国环保产业协会以及部分环保企业的领导和专家出席了会议。这次研讨会的召开标志着新专业建设开启了有组织、规范化的合作探索模式。其后又分别于2014年11月在湘潭大学、2015年1月在江苏大学召开了第二届、第三届全国环保设备工程专业建设研讨会,环保设备工程专业建设在稳步推进。

2015年1月,教育部环境科学与工程教学指导委员会批准建立了“教育部环境科学与工程教学指导委员会环保设备工程专业建设小组”,负责制定本专业的战略发展规划、教学质量国家标准、教学规范以及开展课程建设、教材建设等方面的工作。通过新专业的顶层设计,将极大提升专业建设的科学性和规范性。其后在2015高校环境类课程教学系列报告会期间,设置了环保设备工程专业分会场讨论系列教材的建设和专业的发展。卓有成效的交流与研讨工作对该专业获得社会的广泛认知和认可、吸引更多高校参与到新专业建设中来都起到了重要的推动作用。

环保设备工程专业特色教材体系建设是历届专业研讨会的主题之一。在连续召开的三次专业建设研讨会上,相关高校在全面研究已有相近专业培养方案、课程体系和教材体系的基础上,逐步确立了环保设备工程专业的核心教材体系,组建了由中国环境出版社作为总协调的全国环保设备工程专业教材编委会,启动了《环保设备工程专业系列教材》的编写工作。经过三年来教材的探讨与编写,《环保设备工程专业系列教材》即将陆续出版。相信随着这一专业特色教材

体系的逐渐完善,对于专业教育的课程体系乃至专业人才培养定位、培养规格都将起到极为重要的支撑作用,也必将吸引越来越多的院校和行业企业参与到这一新兴专业的建设中来。

感谢中国环境出版社为环保设备工程专业建设与发展所做出的贡献。早在2012年环保设备工程专业批准设置之初,中国环境出版社便积极参与到新专业建设工作中来,在环保设备工程专业的课程建设与人才培养方面开展了一系列卓有成效的工作,搭建的校际交流及教材建设平台为新专业建设起到了重要的桥梁和纽带作用。应该说,中国环境出版社作为国家行业出版社,为环保新兴产业人才的培养做了一件非常有意义的事情。

感谢教育部环境科学与工程教学指导委员会、环保部宣教司、中国环保产业协会以及相关行业企业,正是在他们的大力支持和指导下,环保设备工程专业才能够得以健康、快速的发展。感谢教育部环境科学与工程教学指导委员会副主任委员、同济大学周琪教授,秘书长、清华大学胡洪营教授对新专业建设给予了专业的指导。感谢同济大学周琪教授、赵由才教授,四川大学蒋文举教授、中国环保产业协会燕中凯主任对教材大纲进行的认真审定,提出了许多建设性意见,使得教材在结构框架和知识点上有了准确的定位和把握。感谢开设新专业的各高校教师在教材编写中的通力合作以及提出的建议和意见。

作为战略性新兴产业相关的环保设备工程专业的人才培养是关乎环保产业发展源动力的关键,今天我们所做的一切必将引领这个行业的人才走向,我们的责任和担子无比重大,在环境保护部的大力支持下,在教育部教学指导委员会、行业协会和各校通力合作下,我们必将推动环保设备工程专业的健康、快速发展。

专业四年,囿于其间,寥寥数语,序不尽言!

环保设备工程系列教材编委

前 言

环保产业是我国战略性新兴产业之一，环保设备工程本科专业是教育部根据环保产业对人才的需求而特设的新专业，《水污染控制工程及设备》是该专业的一门主干课程，本书是根据教育部高等学校环境科学与工程类专业教学指导委员会的教学要求，在江苏大学编写的《水污染控制工程》教材的基础上，专门为环保设备工程专业编写的教材。

本书第一章是绪论，对水污染、水污染控制技术、污水处理系统和处理设备做简要概述；第二章至第九章按照不同的污水处理方法分别介绍各种处理法的原理、工艺、设备以及应用，着力介绍污水处理工程的单体设备和处理单元；第十章主要介绍典型的组合式污水处理设备；第十一章是污水处理厂设计及实例。本书编写时特别针对环保设备工程专业的教学需要，按照《环境保护设备分类与命名》（HJ/T 11—1996）全面系统地介绍了各种污水处理设备，同时注重吸收污水处理的新理论和新技术，力求理论联系实际，用工程观点分析问题，把水污染控制理论、工程实践与设备融于一体，要求内容精练，适用于 60~90 学时的教学需要。

本书还可供高等院校环境工程、环境科学、给排水工程等专业师生作为教学用书，也可供从事水处理和环境保护的研究、设计与运行管理等相关技术人员参考。

本书的编写分工如下：第一章：江苏大学吴向阳；第二章：江苏大学李潜、赵如金；第三章：江苏大学邵晓玲、赵如金；第四章：江苏大学赵如金、李潜；第五、第六章：江苏大学李潜；第七、第八章：盐城工学院张红梅、江苏大学李潜；第九章：盐城工学院丁成、张红梅；第十章：江苏大学刘宏；第十一章：江苏大学李潜、解清杰；全书由吴向阳负责统稿。本书编写得到了江苏大学缪应琪老师的关心和支持，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在一些缺点和错误，诚恳希望广大读者和同行专家批评指正。

吴向阳

2015 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 水资源与水循环	1
第二节 水污染	3
第三节 水污染控制	4
第四节 水污染处理设备及分类	8
思考题	11
第二章 物理处理法	12
第一节 均化法	12
第二节 拦截法	15
第三节 重力分离法	22
思考题	47
第三章 化学处理法	49
第一节 混凝法	49
第二节 中和法	58
第三节 化学沉淀法	62
第四节 氧化还原法	66
第五节 电解法	74
思考题	77
第四章 物理化学处理法	79
第一节 吸附法	79
第二节 离子交换法	89
第三节 气浮法	95
第四节 膜分离法	105
第五节 其他物理化学处理法	115
思考题	126

第五章 生物处理基础	128
第一节 微生物基础	128
第二节 动力学基础	132
第三节 污水生物处理	136
第四节 污水的可生化性	141
思考题	146
第六章 活性污泥法	147
第一节 基本原理	147
第二节 活性污泥法参数	150
第三节 曝气原理及曝气设施	157
第四节 活性污泥法工艺类型	168
第五节 活性污泥法工艺设计	179
思考题	203
第七章 生物膜法	205
第一节 基本原理	205
第二节 生物滤池	209
第三节 生物接触氧化池	222
第四节 其他形式的生物膜反应器	227
思考题	233
第八章 厌氧生物处理法	234
第一节 基本原理	234
第二节 污水厌氧生物处理反应器	239
第三节 厌氧生物处理的设计	247
第四节 厌氧与好氧生物处理联用工艺	249
思考题	258
第九章 自然净化处理	259
第一节 稳定塘	259
第二节 土地处理系统	267
第三节 人工湿地系统	273
思考题	277

第十章 组合式污水处理与中水回用设备	278
第一节 组合式污水处理设备	278
第二节 组合式中水回用设备	287
思考题	296
第十一章 污水处理厂设计	297
第一节 设计内容与设计程序	297
第二节 厂址选择与工艺流程选定	299
第三节 平面布置与高程布置	302
第四节 城市污水处理厂设计实例	315
思考题	320
参考文献	322

第一章 绪 论

第一节 水资源与水循环

一、水资源

水是人类生存和社会发展必不可少的物质，是地球上最宝贵的一种自然资源。

地球上水的总量为 14.5 亿 km^3 ，其中淡水只占 2.5%，且主要分布在南北两极的冰雪中。目前，人类可以直接利用的只有地下水、湖泊淡水和河床水，三者总和约占地球总水量的 0.77%，除去不能开采的深层地下水，人类实际能利用的水仅占地球总水量的 0.26% 左右。

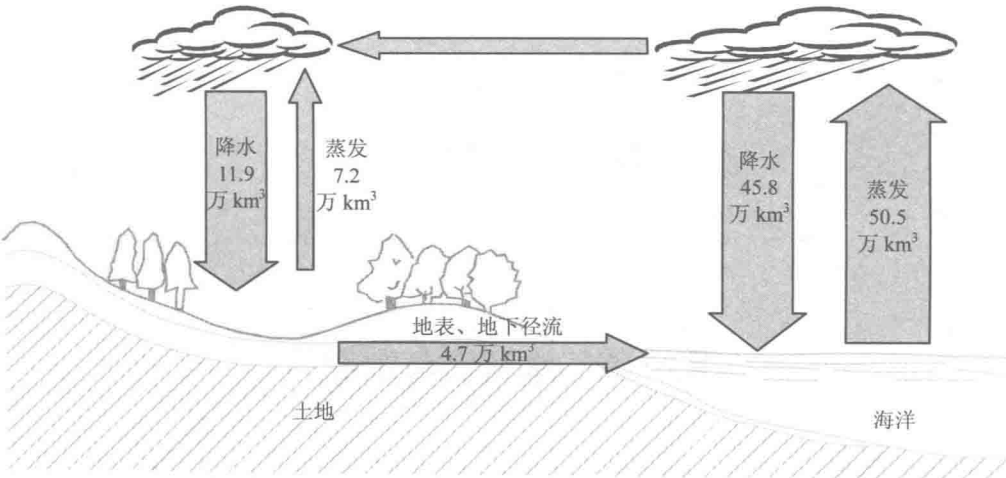
我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ，人均 2 173 m^3 ，仅为世界人均水平的 1/4。其特点是水资源不足、用水浪费、水污染严重，资源型缺水、工程型缺水和水质型缺水并存。并且我国水资源空间分布不平衡，总体上“南多北少”，长江以北水系流域面积占全国国土面积的 64%，而水资源量仅占 19%。目前全国 600 多个城市中，有 400 多个缺水，其中 100 多个严重缺水，以北京、天津等大城市的供水形势最为严峻。

二、水循环

地球上的水始终处于循环运动之中，水循环具有自然循环和社会循环两种类型。

（一）自然循环

地球表面上的水在太阳辐射下受热蒸发为水蒸气，水蒸气升至空中形成云，并被气流输送至各地，在适当条件下凝结而形成降水，降落在陆地上的雨雪转化为地表径流和地下径流，最后又回归海洋。因此自然界的水通过蒸发、输送、降水、渗透等环节不停地流动和转化，从海洋到天空和陆地，最后又回到海洋，这种循环就构成了水的自然循环，如图 1-1 所示。全世界自然水文循环总量为 57.7 万 km^3/a ，地表、地下径流总量 4.7 万 km^3/a 。



注：数值为每年的值。

图 1-1 水的自然循环

(二) 社会循环

人类以各种自然水体为水源用于生活和生产，使用后的水就变成被污染的水，简称为废水或污水，被排出的污水最后又流入自然水体，这样在人类社会中构成的局部循环系统称为水的社会循环，如图 1-2 所示。

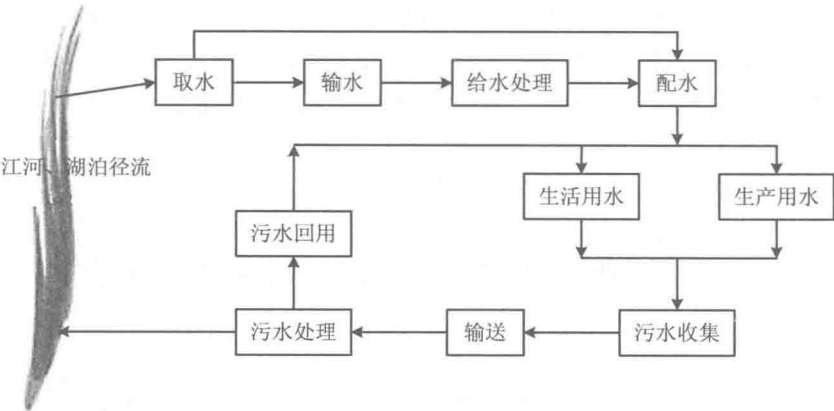


图 1-2 水的社会循环

在水的社会循环中，显示出人与自然在水量和水质方面存在巨大矛盾，集中表现在废水的排放对水体、土壤、大气等的污染，即水污染。

第二节 水污染

一、水体污染

水体污染是指污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水等水体，使水体的水质和沉积物的物理性质、化学性质或生物群落组成发生变化，从而降低水体的使用价值和使用功能的现象。污染物进入水体的主要途径为人口集中区域的生活污水排放、工业生产过程中的废水排放，使用农药或化肥的农田排水、大气中的污染物随降水进入地表水体，固体废弃物堆放场地因雨水冲刷、渗漏，或固体废弃物被抛入水体等，从而使水体造成污染。其中废水排放是造成水污染的主要原因。

废水的分类有多种方法，根据废水的来源可分为生活污水和工业废水两大类，通常将城镇生活污水、工业废水和雨水的混合废水称为城市污水，它是城市通过下水管道收集到的所有排水；按照污染物的化学类别，废水又可分为无机废水和有机废水；废水还可以根据毒物的种类分类，以表明主要毒物；也可以按照工业行业或生产工艺名称来分类。

二、水体污染物

水体污染物种类繁多，可以用不同方法、标准或从不同的角度进行分类。从环境工程的角度，水体污染物可以分为固体污染物、需氧污染物、有毒污染物、营养性污染物、生物污染物、酸碱污染物、感官污染物、油类污染物和热污染等。

三、水体污染的危害

水体污染造成的危害极大，包括对人类健康、公共事业、工业生产、农业生产、生态系统、水资源、旅游资源等诸多方面的危害。对人类的危害主要表现在以下三个方面。

（一）对人类健康的危害

水体污染对人类健康的危害最严重，特别是重金属、有毒有害有机污染物和病原微生物等。目前，已知疾病中约 80% 与水污染有关，一方面许多疾病通过水体媒介传播，另一方面，许多化学药品、重金属污染人类饮用水水源，引发癌症、心血管病等多种疾病。

（二）对工农业生产的危害

电子工业、食品工业等行业对用水水质的要求比较高，水中污染物会影响产品质量。此外，废水中的有毒有害物质不仅污染土壤，恶化土质，而且会造成农作物、森林等受损或死亡。

（三）对生态系统的危害

水体污染会严重干扰自然界的生态系统，水中的有毒有害有机物、重金属、石油、农药等会使水生生物（如鱼类等）大量死亡；水中的环境激素（又称为内分泌干扰物）对水生动物的生殖系统产生影响，会造成某些物种灭绝，又因其迁移转化和生物富集等对人类产生潜在危害。

第三节 水污染控制

一、污水水质与水质指标

水质是指水和其中所含的杂质共同表现出来的综合特性，包括物理、化学、生物学性质三个方面。污水水质的好坏常用水质指标来衡量，与污水的物理、化学、生物学性质相对应，水质指标也可分为物理性、化学性和生物性水质指标三类。

（一）物理性水质指标

污水的物理性质可以用物理性水质指标衡量。物理性水质指标主要有温度、色度、浊度、透明度、臭与味、固体含量和电导率等，其中温度、色度、浊度和臭与味称为感官物理性水质指标；总固体量（TS）是指污水在 103~105℃ 蒸发后余下的所有残余物的总量，包括悬浮物（SS）和溶解性固体（DS）。根据测定的电导率可以得知水中溶解性盐类的含量。

（二）化学性水质指标

污水中常含有需氧有机物、植物营养素、重金属、无机非金属化合物和有毒有害有机污染物等化学物质，其种类及含量可用化学性水质指标来表征。这类指标主要包括生化需氧量（BOD）、化学需氧量（COD）、总需氧量（TOD）和总有机碳（TOC）等表示有机物的综合性指标；氨氮、凯氏氮、亚硝酸盐、硝酸盐、总氮和总磷等表示植物营养素的指标；汞、镉、铅、镍和铬等重金属指标；总砷、硒、硫化物、氰化物和氟化物等无机非金属化合物指标；酚类化合物、有机磷农药、有机氯农药、有机染料、有机金属化合物、多氯联苯和多环芳烃等有毒有害有机污染物指标。

（三）生物性水质指标

生物性水质指标主要有细菌总数、大肠菌群数、各种病原体和病毒等。

二、水质标准

（一）地表水环境质量标准

《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）适用于全国领域内江河、湖泊、水库、运河、渠道等具有使用功能的地表水域。依据地表水水域环境功能和保护目标，按功能高低依次将水域功能划分为 5 类。

I 类：主要适用于源头水、国家自然保护区；

II 类：主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等；

III类：主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区；

IV类：主要适用于一般工业区及人体非直接接触的娱乐用水区；

V类：主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

同一水域兼有多类使用功能的，执行最高功能类别对应的标准值。

（二）水污染物排放标准

我国对工业废水和城镇污水制定了一系列排放标准，主要有《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）（一般性排污单位的主要项目的一级排放标准见表 1-1 和表 1-2）、《污水排入城镇下水道水质标准》（CJ 343—2010）（主要污染物排放指标见表 1-3）、《生活污水排放标准》（GB 18918—2002）、《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）及各种行业排放标准等。

表 1-1 工业污水第一类污染物最高允许排放浓度 单位：mg/L

序号	污染物	最高允许排放浓度	序号	污染物	最高允许排放浓度
1	总汞	0.05	8	总镍	1.0
2	烷基汞	不得检出	9	苯并[a]芘	0.000 03
3	总镉	0.1	10	总铍	0.005
4	总铬	1.5	11	总银	0.5
5	六价铬	0.5	12	总α放射性	1 Bq/L
6	总砷	0.5	13	总β放射性	10 Bq/L
7	总铅	1.0			

注：摘自《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）。

表 1-2 工业污水第二类污染物最高允许排放浓度 (pH 除外) 单位: mg/L

序号	污染物	一级标准	序号	污染物	一级标准
1	pH 值 (无量纲)	6~9	12	氟化物	10
2	色度 (稀释倍数)	50	13	磷酸盐	0.5
3	悬浮物 (SS)	70	14	甲醛	1.0
4	生化需氧量 (BOD ₅)	20	15	苯胺类	1.0
5	化学需氧量 (COD)	100	16	硝基苯类	2.0
6	石油类	5	17	阴离子合成洗涤剂 (LAS)	5.0
7	动植物油	10	18	总铜	0.5
8	挥发性酚	0.5	19	总锌	2.0
9	总氰化合物	0.5	20	总锰	2.0
10	硫化物	1.0	21	元素磷	0.1
11	氨氮	15	22	有机磷农药 (以 P 计)	不得检出

注: 摘自《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)。

表 1-3 污水排入城镇下水道水质等级标准 (最高允许排放浓度, pH 除外) 单位: mg/L

控制项目名称	A 等级	B 等级	C 等级	控制项目名称	A 等级	B 等级	C 等级
水温/℃	35	35	35	苯胺类	5	5	2
色度/倍	50	70	60	硝基苯类	5	5	3
pH 值	6.5~9.5	6.5~9.5	6.5~9.5	挥发酚	1	1	0.5
易沉固体/ [mL/ (L·15 min)]	10	10	10	阴离子表面活性剂 (LAS)	20	20	10
悬浮物 (SS)	400	400	300	总汞	0.02	0.02	0.02
溶解性固体	1 600	2 000	2 000	总镉	0.1	0.1	0.1
动植物油	100	100	100	总铬	1.5	1.5	1.5
石油类	20	20	15	六价铬	0.5	0.5	0.5
生化需氧量 (BOD ₅)	350	350	150	总砷	0.5	0.5	0.5
化学需氧量 (COD)	500 (800)	500 (800)	300	总铅	1	1	1
氨氮 (以 N 计)	45	45	25	总镍	1	1	1
总氮 (以 N 计)	70	70	45	总铍	0.005	0.005	0.005
总磷 (以 P 计)	8	8	5	总银	0.5	0.5	0.5
总氰化物	0.5	0.5	0.5	总硒	0.5	0.5	0.5
总余氯 (以 Cl ₂ 计)	8	8	8	总铜	2	2	2
硫化物	1	1	1	总锌	5	5	5
氟化物	20	20	20	总锰	2	5	5
氯化物	500	600	800	总铁	5	10	10
硫酸盐	400	600	600	甲醛	5	5	2
有机磷农药 (以 P 计)	0.5	0.5	0.5	三氯甲烷	1	1	0.6
苯系物	2.5	2.5	1	五氯酚	5	5	5

注: ①摘自《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010);

②括号内数值适用于有城镇污水处理厂的城镇下水道系统。