



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水污染控制工程

第三版
下 册

高廷耀 顾国维 周 琪 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水污染控制工程

第三版 下册

高廷耀 顾国维 周琪 主编



高等教育出版社

Higher Education Press

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,其第二版是面向 21 世纪课程教材。本书在第二版的基础上,根据近年来水污染控制工程在理论、技术等方面的进展,对章节做了较大调整,对内容做了较为全面的修订和补充。

本书为《水污染控制工程》的下册,共十一章。内容包括污水水质和污水出路、污水的物理处理、污水生物处理的基本概念和生化反应动力学基础、活性污泥法、生物膜法、稳定塘和污水的土地处理、污水的厌氧生物处理、污水的化学与物理化学处理、城市污水回用、污泥的处理与处置、污水处理厂设计等。

本书可供高等院校环境工程专业、给水排水专业本科生作为教材,也可供广大科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程.下册/高廷耀,顾国维,周琪主编.

3版.—北京:高等教育出版社,2007.7

ISBN 978-7-04-021707-0

I.水… II.①高…②顾…③周… III.水污染-污染控制-高等学校-教材 IV.X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 078751 号

策划编辑 陈文 责任编辑 谭燕 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 金辉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京北苑印刷有限责任公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16
印 张 27.5
字 数 510 000

版 次 1989 年 2 月第 1 版
2007 年 7 月第 3 版
印 次 2007 年 7 月第 1 次印刷
定 价 31.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21707-00

第三版前言

《水污染控制工程》自出版以来受到广大读者的好评,在国内高等院校获得较广泛的应用。其第一版于1989年出版,1990年获第二届全国优秀教材一等奖;第二版于1999年出版,2002年获全国普通高等学校优秀教材二等奖;2003年获上海市优秀教材一等奖;第三版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

《水污染控制工程》(第二版)自出版至今已有7年。7年来,循环经济、保护环境、可持续发展的理念已深入人心。人们对水污染控制方面的认识在不断深化,水污染控制的理论和技术也在不断发展。因此,根据学科发展现状和教学的要求,《水污染控制工程》(第三版)在第二版的基础上进行了较大的修改和补充。

全书仍分为上、下两篇。上篇为排水管渠系统部分,共八章;下篇为污水处理部分,共十一章。

《水污染控制工程》(第三版)由周增炎(第一、二、三、五、八章、第四章第一、三、四、五节),全洪福、郑贤谷(第六章),朱保罗、郑贤谷(第七章),周琪(绪论、第十四、十五、十八章),周琪、章非娟(第十一章),徐竟成(第九、十七、十九章、第四章第二节),徐竟成、章非娟(第十三章),杨殿海、章非娟(第十章),杨殿海、顾国维(第十二章),高廷耀、李国建(第十六章)等同志改编;由高廷耀、顾国维、周琪担任主编。

由于编者水平有限,在本书的编写过程中难免会出现漏误之处,热忱希望读者提出批评和意见。

编者

2006年10月

第二版前言

本书的第一版是1989年印刷的。出版后,在国内高等院校获得较广泛的应用,并多次重印。

第一版教材出版至今已有10年。10年来,保护环境、可持续发展的理念已经深入人心。人们在水污染控制方面的认识也在深化,技术上有了新的进展,这些理应在教材中有所反映。同时,第一版教材中包括了给水工程方面的内容,对多数读者是不必要的;且由于有些内容过于繁复,不够精练;第一版教材中,还存在不少印刷上的错误,给读者带来很多不便。因此,我们决心对原教材作较大的修改和补充,以克服上述的缺点。

全书仍分为上、下两篇。上篇为污水沟道部分,共九章;下篇为污水处理部分,共十二章。

本书由周增炎(第二、三、四、七章)、杨海真(总论、第九章)、屈计宁(第一、二十章)、郑贤谷(第五、六章)、胡家骏(第八章)、章非娟(第十、十一、十二、十三章)、顾国维(第十四、十八、十九章)、高廷耀(第十四章第六节、第十五、十六、十七、二十一章)等同志改编;由高廷耀、顾国维担任主编。全书经胡家骏教授审改。

由于我们的水平限制,本教材还可能有错误,热忱希望读者提出批评和意见。

编者

1999年3月

目 录

第九章 污水水质和污水出路	1
第一节 污水性质与污染指标	1
一、污水的类型与特征	1
二、污水的性质与污染指标	2
第二节 污染物在水体环境中的迁移与转化	7
一、水体的自净作用	7
二、污染物在水体中的迁移转化	10
第三节 污水出路与排放标准	10
一、污水出路	10
二、污水排放标准	11
思考题与习题	13
参考文献	13
第十章 污水的物理处理	14
第一节 格栅和筛网	14
一、格栅的作用	14
二、格栅的种类	15
三、格栅的设计与计算	23
四、筛网	25
五、破碎机	26
第二节 沉淀的基础理论	27
一、概述	27
二、沉淀类型	27
三、自由沉淀与絮凝沉淀分析	28
四、沉淀池的工作原理	31
第三节 沉砂池	34
一、平流式沉砂池	34
二、曝气沉砂池	37

三、旋流沉砂池	40
第四节 沉淀池	42
一、沉淀池概况	42
二、沉淀池的一般设计原则及设计参数	44
三、平流式沉淀池	45
四、竖流式沉淀池	50
五、辐流式沉淀池	52
六、斜板(管)沉淀池	54
七、提高沉淀池沉淀效果的有效途径	56
第五节 隔油池	57
一、含油废水的来源与危害	57
二、隔油池	58
三、乳化油及破乳方法	60
第六节 气浮池	61
一、气浮法的类型	62
二、加压溶气气浮法的基本原理	66
三、压力溶气气浮法系统的组成及设计	71
思考题与习题	79
参考文献	80
第十一章 污水生物处理的基本概念和生化反应动力学基础	81
第一节 概述	81
第二节 污水生物处理基本原理	82
一、发酵与呼吸	82
二、好氧生物处理	84
三、厌氧生物处理	85
四、脱氮除磷基础理论	86
第三节 微生物的生长规律和生长环境	87
一、微生物的生长规律	87
二、微生物的生长环境	90
第四节 反应速率和反应级数	91
一、反应速率	91
二、反应级数	92
第五节 微生物生长动力学	94
一、微生物群体的增长速率	94
二、底物利用速率	95
三、微生物增长与有机底物降解	98

思考题与习题 100

参考文献 100

第十二章 活性污泥法 101

第一节 基本概念 101

一、活性污泥 101

二、活性污泥法的基本流程 103

三、活性污泥降解污水中有机物的过程 104

第二节 活性污泥法的发展 106

一、活性污泥法曝气反应池的基本形式 106

二、活性污泥法的发展和演变 109

三、污水生物脱氮除磷工艺的发展 119

四、膜生物反应器(MBR) 120

第三节 活性污泥法数学模型基础 121

一、建立模型的假设 121

二、劳伦斯和麦卡蒂(Lawrence - Mc Carty)模型 122

第四节 气体传递原理和曝气设备 127

一、气体传递原理 127

二、氧转移的影响因素 130

三、氧转移速率与供气量的计算 132

四、曝气设备 134

第五节 去除有机污染物的活性污泥法过程设计 139

一、曝气池容积设计计算 140

二、剩余污泥量计算 142

三、需氧量设计计算 143

第六节 脱氮、除磷活性污泥法工艺及其设计 147

一、生物脱氮工艺 147

二、生物除磷工艺 156

三、生物脱氮、除磷工艺 158

四、常用生物脱氮除磷工艺设计参数和特点 162

五、生物脱氮、除磷系统的影响因素 164

第七节 活性污泥法系统设计方法的深化 165

一、水质特征的特征 165

二、活性污泥法模型简介 168

第八节 二次沉淀池 174

一、基本原理 174

二、二沉池的构造 176

三、二沉池的设计计算	177
第九节 活性污泥法处理系统的设计、运行与管理	179
思考题与习题	188
参考文献	189
第十三章 生物膜法	190
第一节 基本原理	190
一、生物膜的结构及净化机理	190
二、影响生物膜法污水处理效果的主要因素	194
三、生物膜法污水处理特征	196
四、生物膜法反应动力学介绍	197
第二节 生物滤池	201
一、概述	201
二、生物滤池的构造	201
三、生物滤池法的工艺流程	205
四、滤床高度的动力学计算方法	211
五、生物滤池的设计计算	214
六、生物滤池的运行	219
第三节 生物转盘法	220
一、概述	220
二、生物转盘的构造	220
三、生物转盘法的工艺流程	222
四、生物转盘的设计计算	224
五、生物转盘法的应用和研究进展	226
第四节 生物接触氧化法	228
一、概述	228
二、生物接触氧化池的构造	229
三、生物接触氧化法的工艺流程	231
四、生物接触氧化法的设计计算	232
第五节 生物膜法的进展	234
一、曝气生物滤池	234
二、生物流化床	240
三、其他新型生物膜法工艺	244
思考题与习题	245
参考文献	245
第十四章 稳定塘和污水的土地处理	247

第一节 稳定塘	247
一、概述	247
二、好氧塘	248
三、兼性塘	252
四、厌氧塘	255
五、曝气塘	257
第二节 污水土地处理	258
一、概述	258
二、污水土地处理系统的净化原理	258
三、污水土地处理系统的工艺类型	261
第三节 人工湿地处理	265
一、概述	265
二、人工湿地的净化机理	267
三、人工湿地的类型	270
四、人工湿地的设计	272
思考题与习题	273
参考文献	273
第十五章 污水的厌氧生物处理	274
第一节 污水厌氧生物处理的基本原理	274
一、厌氧消化的机理	274
二、厌氧消化的影响因素	275
第二节 污水的厌氧生物处理工艺	277
一、化粪池	277
二、厌氧生物滤池	278
三、厌氧接触法	279
四、上流式厌氧污泥床反应器	280
五、分段厌氧处理法	281
六、厌氧膨胀床和厌氧流化床	282
七、厌氧生物转盘	282
八、两相厌氧法	283
第三节 厌氧生物处理法的设计计算	283
一、流程和设备的选择	284
二、厌氧反应器的设计	284
三、消化池的热量计算	285
思考题与习题	286
参考文献	286

第十六章 污水的化学与物理化学处理	287
第一节 中和法	287
一、湿投加法	288
二、过滤法	289
第二节 化学混凝法	290
一、混凝原理	290
二、混凝剂和助凝剂	293
三、影响混凝效果的主要因素	295
四、化学混凝的设备	296
第三节 化学沉淀法	301
一、溶解度和溶度积	301
二、沉淀剂用量计算	302
第四节 氧化和还原法	303
一、氧化法	304
二、高级氧化技术	305
三、还原法	306
第五节 吸附法	309
一、吸附原理	309
二、吸附剂	314
三、吸附工艺和设备	315
四、吸附法在污水处理中的应用	318
第六节 离子交换法	319
一、离子交换剂	320
二、离子交换树脂的选用	320
三、离子交换的工艺和设备	323
四、离子交换法在废水处理中的应用	325
第七节 萃取法	327
一、萃取剂的选择	328
二、萃取工艺	329
三、萃取设备	332
四、萃取法在废水处理中的应用	334
第八节 膜析法	335
一、渗析法	335
二、电渗析法	337
三、反渗透法	339
四、超滤法	341
第九节 超临界处理技术	341

一、概述	341
二、两类常用的超临界流体	343
三、超临界技术的应用	344
思考题与习题	346
参考文献	347
第十七章 城市污水回用	348
第一节 回用途径	348
第二节 回用水水质标准	349
一、回用水水质基本要求	349
二、回用水水质标准	349
第三节 污水回用系统	353
一、污水回用系统类型	353
二、城市污水回用系统组成	354
第四节 回用处理技术方法	356
一、预处理技术	356
二、深度处理技术	356
三、处理技术组合与集成	357
第五节 污水回用安全措施	359
一、风险评价的主要内容	359
二、安全措施和监测控制	361
思考题与习题	362
参考文献	362
第十八章 污泥的处理与处置	364
第一节 污泥的来源、特性及数量	364
一、污泥的来源	364
二、污泥的特性	365
三、污泥量	367
四、污泥中的水分及其对污泥处理的影响	369
第二节 污泥的处理工艺	370
第三节 污泥浓缩	371
一、重力浓缩	371
二、气浮浓缩	377
三、离心浓缩	380
第四节 污泥稳定	381
一、污泥的生物稳定	381

二、污泥的化学稳定	387
第五节 污泥脱水	388
一、污泥调理	388
二、污泥脱水	389
第六节 污泥的最终处置	395
一、污泥的综合利用	396
二、湿式氧化	396
三、污泥的焚烧	397
思考题与习题	398
参考文献	398
第十九章 污水处理厂设计	399
第一节 概述	399
一、主要设计资料	399
二、设计原则	400
三、设计步骤	401
四、设计文件编制	402
第二节 厂址选择	403
第三节 工艺流程选择确定	404
第四节 平面布置与高程布置	407
一、平面布置	407
二、高程布置	408
三、配水与计量	412
第五节 技术经济分析	416
第六节 污水处理厂运行和控制	419
一、工程验收和调试运行	419
二、运行管理及水质监测	419
三、运行过程自动控制	420
思考题与习题	421
参考文献	421

第九章

污水水质和污水出路

第一节 污水性质与污染指标

一、污水的类型与特征

污水根据其来源一般可以分为生活污水、工业废水、初期污染雨水及城镇污水。其中,城镇污水是指由城镇排水系统收集的生活污水、工业废水及部分城镇地表径流(雨雪水),是一种综合污水,也是本书讨论的主要内容。各种类型污水的特征及其影响因素如下。

1. 生活污水

生活污水主要来自家庭、商业、机关、学校、医院、城镇公共设施及工厂的餐饮、卫生间、浴室、洗衣房等,包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗衣排水、沐浴排水及其他排水等。生活污水的主要成分为纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质等有机物质,氮、磷、硫等无机盐类及泥沙等杂质,生活污水中还含有多种微生物及病原体。影响生活污水水质的主要因素有生活水平、生活习惯、卫生设备、气候条件等。

2. 工业废水

工业废水主要是在工业生产过程中被生产原料、中间产品或成品等物料所污染的水。工业废水由于种类繁多,污染物成分及性质随生产过程而异,变化复杂。一般而言,工业废水污染比较严重,往往含有有毒有害物质,有的含有易燃、易爆、腐蚀性强的污染物,需局部处理达到要求后才能排入城镇排水系统,是城镇污水中有毒有害污染物的主要来源。影响工业废水水质的主要因素有工业类型、生产工艺、生产管理水平等。

3. 初期雨水

初期雨水是雨雪降至地面形成的初期地表径流。初期雨水的水质水量随区域环境、季节和时间变化,成分比较复杂。个别地区甚至可以出现初期雨水污染物浓度超过生活污水的现象。某些工业废渣或城镇垃圾堆放场地经雨水冲淋后

产生的污水更具危险性。影响初期雨水被污染的主要因素有大气质量、气候条件、地面及建筑物环境质量等。

4. 城镇污水

城镇污水包括生活污水、工业废水等,在合流制排水系统中包括雨水,在半分流制排水系统中包括初期雨水。城镇污水成分性质比较复杂,不仅各城镇间不同,同一城市中的不同区域也有差异,需要进行全面细致的调查研究,才能确定其水质成分及特点。影响城镇污水水质的因素较多,主要为所采用的排水体制以及所在地区生活污水与工业废水的特点及比例等。

二、污水的性质与污染指标

水质污染指标是评价水质污染程度、进行污水处理工程设计、反映污水处理厂处理效果、开展水污染控制的基本依据。

污水所含的污染物质成分复杂,可通过分析检测方法对污染物质作出定性、定量的评价。污水污染指标一般可分为物理性质、化学性质和生物性质三类。

(一) 污水的物理性质与污染指标

表示污水物理性质的污染指标主要有温度、色度、嗅和味、固体物质等。

1. 温度

许多工业企业排出的污水都有较高的温度,排放这些污水会使水体水温升高,引起水体的热污染。氧在水中的饱和溶解度随水温升高而减少,较高的水温又加速耗氧反应,可导致水体缺氧与水质恶化。

2. 色度

色度是一项感官性指标。纯净的天然水是清澈透明无色的,但带有金属化合物或有机化合物等有色污染物的污水呈现各种颜色。将有色污水用蒸馏水稀释后与蒸馏水在比色管中对比,一直稀释到两个水样没有色差,此时污水的稀释倍数即为其色度。污水排放标准对色度也有严格的要求。

3. 嗅和味

嗅和味同色度一样也是感官性指标。天然水是无臭无味的,当水体受到污染后会产生异样的气味。水的异臭来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机物和氯气等污染物质。盐分会给水带来异味,如氯化钠带咸味,硫酸镁带苦味,铁盐带涩味,硫酸钙略带甜味等。

4. 固体物质

水中所有残渣的总和称为总固体(TS),总固体包括溶解性固体(DS)和悬浮固体(在国家标准和规范中,又称悬浮物,用SS表示)。水样经过滤后,滤液蒸干所得的固体即为溶解性固体(DS),滤渣脱水烘干后即是悬浮固体(SS)。固体残渣根据挥发性能可分为挥发性固体(VS)和固定性固体(FS)。将固体在

600℃的温度下灼烧,挥发掉的量即是挥发性固体(VS),灼烧残渣则是固定性固体(FS)。溶解性固体一般表示盐类的含量,悬浮固体表示水中不溶解的固态物质含量,挥发性固体反映固体的有机成分含量。

饮用水、工业用水、渔业用水和灌溉用水等对悬浮固体和溶解性固体均有不同的要求。悬浮固体和挥发性悬浮固体是重要的水质指标,也是污水处理厂设计的重要参数。

(二) 污水的化学性质与污染指标

表示污水化学性质的污染指标可分为有机物指标和无机物指标。

1. 有机物

生活污水和某些工业废水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪等有机化合物在微生物作用下最终分解为简单的无机物质、二氧化碳和水等。这些有机物在分解过程中需要消耗大量的氧,故属耗氧污染物。耗氧有机污染物是使水体产生黑臭的主要因素之一。

污水中有机污染物的组成较复杂,分别测定各类有机物的周期较长,工作量较大,通常在工程中必要性不大。有机物的主要危害是消耗水中溶解氧。因此,在工程中一般采用生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD或OC)、总有机碳(TOC)、总需氧量(TOD)等指标来反映水中有机物的含量。

(1) 生化需氧量(BOD):水中有机污染物被好氧微生物分解时所需的氧量称为生化需氧量(以 mg/L 为单位),间接反映了水中可生物降解的有机物质。生化需氧量愈高,表示水中耗氧有机污染物愈多。有机污染物被好氧微生物氧化分解的过程,一般可分为两个阶段:第一阶段主要是有机物被转化成二氧化碳、水和氨;第二阶段主要是氨被转化为亚硝酸盐和硝酸盐。污水的生化需氧量通常只指第一阶段有机物生物氧化所需的氧量。微生物的活动与温度有关,测定生化需氧量时以 20℃ 作为测定的标准温度。生活污水中的有机物一般需 20 天左右才能基本上完成第一阶段的分解氧化过程,即测定第一阶段的生化需氧量至少需 20 天时间,这在实际应用中周期太长。目前以 5 天作为测定生化需氧量的标准时间,简称 5 日生化需氧量(用 BOD_5 表示)。据试验研究,生活污水 5 日生化需氧量约为第一阶段生化需氧量的 70% 左右。

(2) 化学需氧量(COD):化学需氧量是用化学氧化剂氧化水中有机污染物时所消耗的氧化剂量(以 mg/L 为单位)。化学需氧量愈高,也表示水中有机污染物愈多。常用的氧化剂主要是重铬酸钾和高锰酸钾。以高锰酸钾作氧化剂时,测得的值称 COD_{Mn} 或简称 OC。以重铬酸钾作氧化剂时,测得的值称 COD_{Cr} , 或简称 COD。重铬酸钾的氧化能力强于高锰酸钾,所测得的 COD 值是不同的,在污水处理中,通常采用重铬酸钾法。如果污水中有机物的组成相对稳定,则化学需氧量和生化需氧量之间应有一定的比例关系。一般而言,重铬酸钾化学需

氧量与第一阶段生化需氧量之比,可以粗略地表示有机物被好氧微生物分解的可能程度。

(3) 总有机碳(TOC)与总需氧量(TOD):目前应用的5日生化需氧量(BOD_5)测试时间长,不能快速反映水体被有机物污染的程度。可以采用总有机碳和总需氧量的测定,并寻求它们与 BOD_5 的关系,实现快速测定。

总有机碳(TOC)包括水样中所有有机污染物的含碳量,也是评价水样中有机污染物的一个综合参数。有机物中除含有碳外,还含有氢、氮、硫等元素,当有机物全都被氧化时,碳被氧化为二氧化碳,氢、氮及硫则被氧化为水、一氧化氮、二氧化硫等,此时需氧量称为总需氧量(TOD)。

TOC和TOD的测定都是燃烧化学氧化反应,前者测定结果以碳表示,后者则以氧表示。TOC、TOD的耗氧过程与BOD的耗氧过程有本质不同,而且由于各种水样中有机物质的成分不同,生化过程差别也较大。各种水质之间TOC或TOD与BOD不存在固定的相关关系。在水质条件基本相同的条件下,BOD与TOC或TOD之间存在一定的相关关系。

(4) 油类污染物:油类污染物有石油类和动植物油脂两种。工业含油污水所含的油大多为石油或其组分,含动植物的污水主要产生于人的生活过程和食品工业。

油类污染物进入水体后影响水生生物生长、降低水体的资源价值。油膜覆盖水面阻碍水的蒸发,影响大气和水体的热交换。油类污染物进入海洋,改变海面的反射率和减少进入海洋表层的日光辐射,对局部地区的水文气象条件可能产生一定的影响。大面积油膜将阻碍大气中的氧进入水体,从而降低水体的自净能力。

随着石油工业的发展,石油类物质对水体的污染愈来愈严重。石油污染对幼鱼和鱼卵的危害很大。石油类污染还能使鱼虾类产生石油臭味,降低水产品的食用价值。

(5) 酚类污染物:酚类化合物是有毒有害污染物。水体受酚类化合物污染后影响水产品的产量和质量。水体中的酚浓度很低时已能影响鱼类的洄游繁殖,酚的质量浓度(后文也简称为浓度)达 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg/L}$ 时鱼肉有酚味,浓度高时引起鱼类大量死亡,甚至绝迹。酚的毒性可抑制水中微生物(如细菌、藻等)的自然生长速率,有时甚至使其停止生长。

(6) 表面活性剂:生活污水与使用表面活性剂的工业废水,含有大量表面活性剂。表面活性剂有两类:①烷基苯磺酸盐,俗称硬性洗涤剂(英文缩写为ABS),含有磷并易产生大量泡沫,属于难生物降解有机物,20世纪60年代前常用;②直链烷基苯磺酸盐,俗称软性洗涤剂(英文缩写为LAS),属于可生物降解有机物,代替了ABS,泡沫大大减少,但仍然含有磷。