



全国高校素质教育教材研究编审委员会审定

杨润昌 主 编

苏金钰 谢 磊 副主编

水 污 染 控 制 工 程



中国教育文化出版社

中国标准书号：155001·0100

水污染控制工程

杨润昌 主编

苏金钰 谢磊 副主编

水污染控制工程
杨润昌 主编

452/7

责任编辑	张
封面设计	张
出版发行	中国环境文化出版社
社址	北京市文慧园中
印刷	北京印刷厂
开本	787mm×1092mm
印张	21.4
字数	506千字
版次	2006年12月第1版
印次	2006年12月第1次
书号	ISBN 988-93477-0-1
定价	33.00元

中国环境文化出版社
地址：北京市文慧园中
电话：010-64011111

图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制工程/杨润昌 主编, —中国: 中国教育文化出版社, 2006 年元月

ISBN 988—97477—0—7

I .水… II .杨… III . 水利工程—水源开发—水资源管理—水污染控制
IV .TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006)

水污染控制工程

杨润昌 主编

杨润昌 主编

水污染控制工程

杨润昌 主编

责任编辑: 邱 巍

封面设计: 张骐年

出版发行: 中国教育文化出版社

排 版: 科士洁文印中心

印 刷: 新颖印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 21.4

字 数: 508 千字

版 次: 2006 年元月第 1 版

印 次: 2006 年元月第 1 次印刷

书 号: ISBN 988—97477—0—7/G · 353

定 价: 33.00 元

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 请将本书寄回编委会由我们负责为您调换

地址: 北京市海淀区交大东路 62 号 307 室

前 言

本教材系统地阐述了水污染控制单元技术的基本原理、基本概念、设计计算及操作控制,其内容按原理分类阐述。结合高等院校环境工程专业学生的特点,重视基本理论、基本概念的介绍,并强调工程设计和技术操作管理能力的培养,强调用工程观点分析实际问题能力的培养,对污水处理中常见的单元技术沉淀与上浮、滤池过滤、混凝、吸附、活性污泥法、生物膜法、厌氧生化法、污泥处理作重点介绍,一些重点章节附有计算例题,使读者能尽快地将所学理论知识与实践结合起来。

本书为高等院校环境工程专业《水污染控制工程》专业课教材,也适合高等职业技术学院环境工程专业及相关专业、给水排水专业作专业课教材,及有关技术人员作培训和参考用书。

本书由杨润昌主编,苏金钰、谢磊副主编。其中,杨润昌教授编写第一、二、八、十、十一、十二、十六、二十、二十一、二十二章及附录,湖南环境生物学院苏金钰编写第十三、十四、十五、十七、十八章,华南理工大学谢磊博士编写第三、四、五、六章,中山大学萨如拉博士编写第七章,湖南农业大学颜智勇博士编写第九章,长沙环境保护职业技术学院金波编写第十九章。全书由杨润昌统稿。

本书之后所列的参考文献为本书编写提供了大量有益的资料和数据,在此向这些文献的作者致以深切的敬意和谢意。

由于作者水平有限,书中错误和缺点在所难免,敬请读者批评指正。

2006年元月于
湖南环境生物学院

内容简介

本教材系统地阐述了水污染控制单元技术的基本原理、基本概念、设计计算及操作控制。其内容按原理分类,分为六篇二十二章。内容包括水资源与水污染、水污染控制、均衡与调节、筛滤、沉淀与上浮、滤池过滤、混凝、中和与化学沉淀、化学氧化还原、吸附、离子交换、膜分离、其它分离方法、循环冷却水处理、污水生化处理理论基础、活性污泥法、生物膜法、厌氧生化法、污水的自然生物处理、污水脱氮除磷、污泥处理、污水处理厂设计及运行,一些章节附有计算例题。附录提供了污水处理设计中一些常用的设计规范、水质标准及标准图的索引。本书为高等院校环境工程专业《水污染控制工程》专业课教材,也适合高等职业技术学院环境工程专业、给水排水专业作专业课教材及有关技术人员作培训和参考用书。

二〇〇九年六月

清华大学出版社

目 录

第一篇 总论

第一章 水资源与水体污染	3
第一节 水资源与水体污染	3
第二节 污水来源及水质特性	5
第三节 水质标准	10
第四节 水体的自然净化	11
思考题与习题	15
第二章 水污染控制	17
第一节 水污染控制技术的发展	17
第二节 污水收集系统及处理方法	19
第三节 污水的处理程度	22
第四节 污水处理后的回用	23
第五节 水处理反应器	24
思考题与习题	28
第二篇 污水处理物理方法	
第三章 均衡与调节	33
一、均量池	33
二、均质池	34
三、均化池	35
思考题与习题	36
第四章 筛滤	37
第一节 格栅	37
第二节 筛网	39
思考题与习题	40
第五章 沉淀与上浮	41
第一节 沉淀的基本理论	41
第二节 沉砂池	47

第三节 沉淀池	48
第四节 隔油池	58
第五节 气浮	59
思考题与习题	62
第六章 滤池过滤	63
第一节 普通快滤池	63
第二节 过滤理论	69
第三节 快滤池操作控制	71
第四节 快滤池设计	74
第五节 其它滤池	78
思考题与习题	80
第三篇 污水处理化学方法	
第七章 混凝	83
第一节 混凝的基本理论	83
第二节 混凝剂	87
第三节 混凝过程及设备	92
第四节 澄清池	95
思考题与习题	96
第八章 中和及化学沉淀	97
第一节 中和	97
第二节 化学沉淀	101
思考题与习题	105
第九章 化学氧化还原	106
第一节 空气氧化	106
第二节 湿式氧化	107
第三节 臭氧氧化	109
第四节 其它氧化技术	113
第五节 化学还原法	116
思考题与习题	118
第四篇 污水处理物理化学方法	
第十章 吸附	121
第一节 吸附的基本理论	121

第二节 吸附剂及吸附剂的解吸再生	127
第三节 吸附装置设计	131
思考题与习题	140
第十一章 离子交换法	141
第一节 离子交换剂	141
第二节 离子交换的基本理论	143
第三节 离子交换工艺	145
第四节 离子交换设备及计算	148
思考题与习题	150
第十二章 膜分离	151
第一节 电渗析	151
第二节 反渗透	158
第三节 超滤	162
思考题与习题	163
第十三章 其它分离方法	165
第一节 电解	165
第二节 吹脱、汽提	171
第三节 萃取法	175
思考题与习题	178
第十四章 循环冷却水处理	179
第一节 冷却水系统	179
第二节 水垢及其控制	180
第三节 金属腐蚀及其控制	183
第四节 冷却水系统的微生物及控制	186
思考题与习题	187
第五篇 污水生化处理方法	
第十五章 污水生化处理理论基础	191
第一节 水处理微生物基础	191
第二节 酶及酶反应	192
第三节 微生物生长动力学	196
第四节 污水的可生化性	200
思考题与习题	203

第十六章 活性污泥法	204
第一节 活性污泥法原理	204
第二节 充氧	209
第三节 曝气池	215
第四节 活性污泥系统的运行管理	227
第五节 活性污泥法进展	232
思考题与习题	236
第十七章 生物膜法	237
第一节 基本原理	237
第二节 生物滤池	239
第三节 其它形式的生物膜法	249
第四节 生物膜法的操作控制	253
思考题与习题	254
第十八章 厌氧生化法	255
第一节 厌氧消化机理	255
第二节 厌氧消化的影响因素	258
第三节 厌氧消化的工艺与设备	261
第四节 厌氧消化池的设计	265
第五节 厌氧消化装置的启动与运行管理	269
思考题与习题	270
第十九章 污水的自然生物处理	271
第一节 稳定塘	271
第二节 污水土地处理系统	276
思考题与习题	280
第二十章 污水脱氮除磷	281
第一节 污水生物脱氮除磷	281
第二节 污水物理化学脱氮除磷	287
思考题与习题	292
第六篇 污泥处理及污水处理厂设计	
第二十一章 污泥处理	295
第一节 污泥的分类及性质指标	295
第二节 污泥调理	298
第三节 污泥浓缩	300

第四节 污泥脱水	304
第五节 污泥稳定	308
第六节 污泥焚烧与最终处置	310
思考题与习题	311
第二十二章 污水处理厂设计及运行	313
第一节 设计程序	313
第二节 污水处理厂设计	315
第三节 污水处理厂的运行管理	319
思考题与习题	321
附录	322
附录一 排水及污水处理工程设计规范一览表	322
附录二 常用水质标准索引	323
附录三 常用标准图索引	324
附录四 GB8978-1996 污水综合排放标准	325
附录五 地表水环境质量标准 (GB3838-2002)	327
附录六 城市污水处理厂设计参考资料	328
主要参考文献	332

第一篇 总 论

第一章 水资源与水体污染

第一节 水资源与水体污染

水是生命之源，是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源。保护水资源，防治水污染是人类共同的责任和义务。

一、水资源与水污染

(一) 水资源及其分布

水资源包括地表水和地下水。地球上的水总量为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，似乎是取之不尽、用之不竭的，但其中绝大部分水存在于大洋、浅海及海洋沉积物中，淡水所占的比例不到 2.7%，而且淡水的大部分以两极的冰盖、冰河和以地下水的形式存在。与人类生活和生产关系密切的淡水，仅是河流、湖泊等地表水和地下水的一部分，其储量约为 $8.5 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，仅占地球总水量 0.64%。可见，能供人类直接利用而且易于取得的淡水资源是十分有限的。地球上水资源的分布及分配比见表 1-1。

表 1-1 地球上水资源的分布及分配比

分布类型	体积/ km^3	分配比/%
地表水		
淡水湖	125000	0.009
咸水湖	104000	0.008
河流	1250	0.0001
地表以下的水		
土壤及渗透水	67000	0.005
地下水（地面至地下 750m）	4170000	0.31
其他水		
冰盖及冰河	29200000	2.15
大气	13000	0.001
海洋	1320000000	97.2
生物体	6000	0.0005
总计	1357856250	100

水资源的地域分布极不均匀，有些地区水资源相当匮乏。按国际通行标准，淡水消耗量占本国淡水总量的 20%~40%，即视为中高度缺水国家；淡水消耗量超过本国淡水总量的 40%，即视为高度缺水国家。

(二) 中国水资源的特点

中国河川年径流量约为 $2.7 \times 10^9 \text{m}^3$, 居世界第 6 位, 但按人均占有量 (约 2200m^3) 计算, 只有世界人均占有量的 $1/4$, 排在世界的 121 位, 已被联合国列为 13 个水资源贫乏国家之一。因此, 中国水资源并不丰富, 并存在如下特点。

1、在地区上分布不平衡。水资源分布与降水分布基本一致, 呈东南多、西北少, 由东南沿海地区向西北内陆递减, 分布不均匀。长江流域以北的淮河、黄河、海滦河、辽河、黑龙江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 900m^3 , 其中海滦河流域则更少, 仅有 400 多立方米。

2、在时间分配上很不均匀。由于受季风气候影响, 降水量在年内分配不均, 季节变化很大。中国大部分地区冬春少雨, 多春旱; 夏秋多雨, 多洪涝。全年降水多集中在夏季。此外年际变化也很大, 丰水年、枯水年降水量相差可达 5~6 倍之多。

3、水土资源组合不相适应。东北、西北、黄淮河流域径流量只占全国总量的 17%, 但土地面积却占全国的 65%; 长江以南江河径流量占全国的 83%, 土地面积仅占 35%。此外, 对水资源的开发利用各地也很不平衡, 南方多水地区水的利用程度较低, 北方少水地区地表水、浅层地下水开发利用程度较高。

随着经济的迅速发展, 用水量将日益增加, 与此同时, 水资源由于受到工业废水和生活污水的污染, 水质日益恶化。因此, 正确认识中国水资源的特点, 合理开发利用, 防止水污染, 保护水资源是刻不容缓的任务。

(三) 水体污染

水体是指被地表水覆盖的自然综合体, 水体不仅包括水, 而且也包括水中的悬浮物、底泥及水中生物等。水体污染是指排入水体的污染物在数量上超过了该物质在水体中的本底含量和水体环境容量, 从而导致了水体的物理、化学及微生物特性发生变化, 破坏了水中固有的生态系统, 破坏了水体的功能及其在经济发展和人民生活中的作用。

水污染的发生取决于污染物、污染源及承受水体三方面的特征及其相互作用和关系。水污染可分为自然污染和人为污染两大类。自然污染是指由自然因素所产生的污染, 例如降水对各种矿石的溶解作用和对大气的淋洗以及地表径流挟带各种污染物质进入水体而形成的污染。但是一般来说, 自然污染只发生在局部地区, 因此危害也往往具有地区性。

所谓人为污染是指人类在生产 and 生活中产生的“三废”对水体的污染。其中工业废水是造成水体污染的主要污染源。

自 20 世纪 80 年代以来, 随着工业化和城镇化的发展, 工业和生活污水的大量排放, 人为污染水源, 水质恶化越来越严重。据 2002 年《中国环境状况公报》, 七大水系 741 个重点监测断面中, 29.1% 的断面满足 I~III 类水质要求, 30.0% 的断面属 IV、V 类水质, 40.9% 断面属劣 V 类水质。其中辽河、海河水系污染严重, 劣 V 类水体占 60% 以上。七大水系污染程度由重到轻依次为: 海河、辽河、黄河、淮河、松花江、珠江、长江。主要污染指标为石油类、生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、挥发酚和汞等。

主要湖泊氮、磷污染较重, 导致富营养化问题突出。滇池为重度富营养状态, 13 个水质监测点均属劣 V 类, 氮磷污染十分突出。太湖全湖处于中富营养状态, 101 个水质

监测点中Ⅴ类和劣Ⅴ类比例为 65.4%，主要污染指标为总磷、总氮和高锰酸盐指数。洞庭湖、洪泽湖水质较差，白洋淀污染严重。

第二节 污水来源及水质特性

一、污水来源

污水是生活污水、工业废水、被污染的雨水的总称。

生活污水是人类在日常生活中使用过的水，并被生活废料所污染的水。

工业废水是在工矿企业生产活动中使用过的水。工业废水可分为生产污水与生产废水两类。生产污水是指在生产过程中形成、并被生产原料、半成品或成品等废料所污染，也包括热污染（指生产过程中产生的、水温超过 60℃的水）；生产废水是指在生产过程中形成，但未直接参与生产工艺、未被生产原料、半成品或成品污染或只是温度稍有上升的水。生产污水需要进行净化处理；生产废水不需要净化处理或仅需作简单的处理，如冷却处理。

被污染的雨水，主要是指初期雨水。由于初期雨水冲刷了地表的各种污物，污染程度很高，故需作净化处理。

生活污水与生产污水（或以工矿企业局部处理后的生产污水）的混合污水，称为城市污水。

二、污水水质特性

污水和受纳水体的物理、化学和生物等方面的特性是用水污染指标来表示的，同时水污染指标也是水体评价、利用和制定污水治理方案的依据，是掌握污水处理设施运行状态的依据。国家对水质的分析和检测制定出许多标准。现就水污染的物理性指标、化学性指标和生物性指标分述如下：

（一）物理性指标

污水的物理性指标包括水温、色度、臭味、固体物质含量等。

1、水温 污水的水温对污水的物理性质、化学性质及生物性质有直接的影响。所以水温是污水水质的重要物理指标之一。

生活污水水温较稳定，年变化在 10~20℃之间。工业污水的水温变化很大。城市污水的水温，与排入排水系统的工业废水性质、所占比例有关。污水的水温过低（如低于 5℃）或过高（如高于 40℃）都会影响污水的生物处理的效果。

2、色度 生活污水的颜色呈灰色。但当污水的溶解氧降低至零，污水所含有有机物腐烂，则水色转呈黑褐色并有臭味。工业污水的色度视工矿企业的性质而异，差别极大，如印染、造纸、农药、焦化、冶金及化工等的生产污水，都有各自的特殊颜色。色度往往给人以感观不悦。

色度可由悬浮固体、胶体或溶解物质形成。悬浮固体形成的色度称为表色。胶体或溶解物质形成的色度称为真色。水的颜色用色度作为指标。

3、臭味 生活污水的臭味主要由有机物腐烂产生的气体造成。工业污水的臭味主要由挥发性化合物造成。

臭味给人以感观不悦，甚至会危及人体生理，造成呼吸困难、胸闷、恶心、呕吐等。故臭味也是物理性质的主要指标。

4、固体物质含量 固体物质按存在的形态不同可分为悬浮的、胶体的和溶解的三种。按性质的不同可分为有机物、无机物与生物体三种。固体含量用总固体量作为指标（英文缩写 TS）。

把一定量水样在 105~110℃烘箱中烘干至恒重，所得的质量即为总固体量（TS）。总固体包括溶解物质（DS）和悬浮固体物质或叫悬浮物（SS）。水样经过滤后，滤液蒸干所得的固体即为胶体和溶解性固体（DS），滤渣脱水烘干后即是悬浮固体（SS）。悬浮固体根据挥发性能可分为挥发性固体（VSS）和非挥发性固体或灰分（NVSS）两种。将悬浮固体在 600℃的温度下灼烧，挥发掉的量即是挥发性固体也称灼烧减量，灼烧残渣则是非挥发性固体。生活污水中，前者约占 70%，后者约占 30%。

胶体（颗粒粒径为 0.001~0.1μm）和溶解固体或称为溶解物也是由有机物与无机物组成。生活污水中的溶解性有机物包括尿素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质及洗涤剂；溶解性无机物包括无机盐等。工业污水的溶解性固体成分极为复杂，视工矿企业的性质而异，主要包括种类繁多的合成高分子有机物及重金属离子等。溶解固体的浓度与成分对污水处理方法的选择及处理效果产生直接的影响。

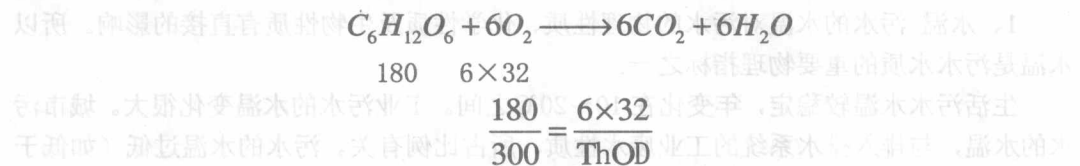
（二）耗氧有机物

由于水体中的有机污染物的组成比较复杂，要想分别测定各种有机物的含量比较困难，所以在实际工作中一般采用一些综合指标来表示水中耗氧有机物的含量。如果水中有机物含有毒物，就分别测定这些有毒物质的数量。

表示有机物的综合指标可分为两大类：以氧表示的指标和以碳表示的指标。单位常以 mg/L 表示。

1、以氧（O₂）表示的指标

（1）理论需氧量（theoretical oxygen demand, 简称 ThOD） 理论需氧量是根据化学方程式计算求得的有机物全部分解（氧化）所需要的氧量，例如含有 300mg/L 葡萄糖溶液的理论需氧量可以计算如下：



ThOD（以氧表示）=320mg/L

欲计算污水的理论需氧量，必须对污水进行全面的化学分析，故在实际上很少应用。

（2）生化需氧量（bio-chemical oxygen demand, 简称 BOD）在有氧条件下，由于微生物（主要是细菌）的生活活动降解有机物所需要的氧量。图 1-1 表示有机物氧化过程的需氧关系。

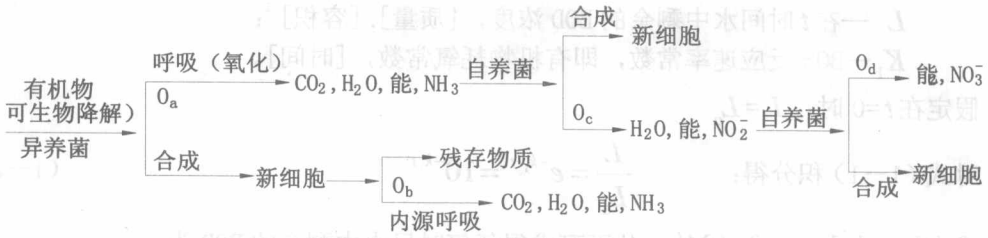


图 1-1 有机物氧化过程需氧关系

由图可见，在有氧条件下，污水可生物降解的有机物降解过程可分为两个阶段：第一阶段是碳氧化阶段，即在异养菌的作用下，含碳有机物被氧化（或称碳化）为 CO_2 和 H_2O ，含氮有机物被氧化（或称氨化）为 NH_3 ，所消耗的氧以 O_a 表示，与此同时合成新细胞（异养型）；第二阶段是硝化阶段，即在自养菌（亚硝化菌）的作用下， NH_3 被氧化为 NO_2 和 H_2O ，所消耗的氧量用 O_c 表示，再在自养菌（硝化菌）的作用下， NO_2 被氧化为 NO_3^- ，所消耗的氧量用 O_d 表示，与此同时合成新细胞（自养型）。上述两个阶段，都释放出供微生物生活活动所需要的能。合成新的细胞，在生命活动中，进行着新陈代谢，即自身氧化的过程，产生 CO_2 、 H_2O 与 NH_3 ，并放出能与氧化残渣（残存物质），这种过程叫做内源呼吸，所消耗的氧量用 O_b 表示。

耗氧量 O_a+O_b 称为第一阶段生化需氧量（或称为总碳氧化需氧量、总生化需氧量、完全生化需氧量）用 BOD_a 表示。耗氧量 O_c+O_d 称为第二阶段生化需氧量（或称谓氮氧化需氧量、硝化需氧量）用硝化 BOD 或 NOD_b 表示。

上述两阶段氧化过程，也可用曲线图表示，在直角坐标纸上，以横坐标表示时间（d），纵坐标表示生化需氧量 BOD（mg/L），见图 1-2。

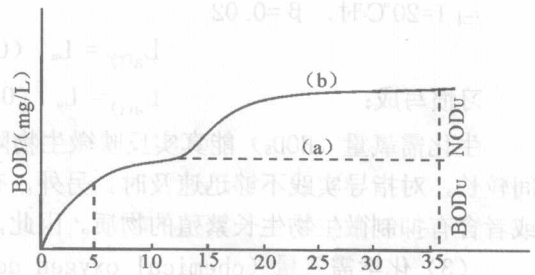


图 1-2 碳化和硝化需氧曲线

曲线 (a) 表示在第一阶段生化需氧量曲线（即总碳氧化需氧量曲线），曲线 (b) 表示第二阶段生化需氧量曲线（即氮氧化氧量曲线）。

在实际测定生化需氧量时，温度规定为 20°C 。此时一般有机物需 20d 左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程，其需氧量用 BOD_{20} 表示，它可视为完全生化需氧量 BOD_u 。

在实际测定时，20d 仍嫌太长，一般采用 5d 作为测定时间，称为 BOD_5 。如图 1-2，对一定的污水而言， BOD_5 与 BOD_{20} 的比值相对固定，如一般生活污水的比值为 0.7 左右。因此可以把 20°C 、5d 测定的 BOD_5 作为衡量污水的有机物浓度指标。

BOD 与时间、温度之间的关系可用数学关系式来表达。BOD 测定试验服从一级速率方程，即 BOD 去除率与任一时刻剩余的 BOD 数量成正比，则用数学式表示为：

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (1-1)$$

式中 $\frac{dL}{dt}$ — BOD 去除速率，[质量]·[容积] $^{-1}$ ·[时间] $^{-1}$ ；