

普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材

SHUIZHI GONGCHENGXUE

水质工程学（下）

主编 龚为进



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材

水质工程学

(下)

主 编 龚为进

副主编 彭赵旭 刘 玥 程 静

陈启石 赵富旺 栗静静



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书分上下两册,上册1~6章,下册7~14章,上册主要内容为水质标准与水处理概论,格栅,混凝,沉淀、澄清和气浮,过滤,消毒。下册主要内容为污水生物处理——活性污泥法,污水脱氮除磷技术,污水生物处理——生物膜法,污水生物处理——稳定塘与人工湿地,污水厌氧生物处理技术,污水深度处理技术,污泥的处理与处置和水厂的设计。

本书不仅介绍给水、污水和废水处理的基本原理与方法,更注重其在水处理工程实践中的应用。书中将基本原理、基本知识和专业规范、设计手册以及工程实例紧密结合起来,每章均附有例题和练习题。

本书可作为给排水科学与工程专业、环境工程等相关专业教材,也可作为相关专业工程技术人员和决策、管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水质工程学. 下 / 龚为进主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.9
普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4768-1

I. ①水… II. ①龚… III. ①水质处理—高等学校—教材 IV. ①TU991.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第233165号

书 名	普通高等教育环境与市政类“十三五”规划教材 水质工程学(下) SHUIZHI GONGCHENGXUE
作 者	主编 龚为进
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18印张 450千字
版 次	2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



随着我国社会经济水平的不断发展,水资源短缺和水环境污染问题日益严重,并且已经成为我国经济发展的重要制约因素之一。水危机问题的解决不仅需要国家从政治、经济各个方面投入大量的人力、财力和物力,而且需要水行业从业者不断研究、开发水处理技术,提高水环境治理的效果和水资源利用的效率。

“水质工程学”是给排水科学与工程专业核心主干课程,主要介绍给水、污水和废水处理的基本原理与方法。通过本课程的学习,使学生能够掌握水质指标的分类和含义、各种用水水质标准和污水排放标准的分类和适用对象,掌握各种水处理工艺单元(物理处理方法、化学处理方法和生物处理方法)的基本原理、基本知识和基本概念,并能根据水源水质、用水要求和排放标准设计水处理工艺流程,并能进行各种水处理工艺单元的设计计算。

本书在编写过程中参考了大量经典教材和文献,并结合水处理相关的国家标准和设计规范,强调理论联系实际,在介绍基本原理、基本概念的同时,注重其在水处理工程实践中的应用。将基本原理、基本知识和专业规范、设计手册以及工程实例紧密结合起来,每章均附有例题和练习题。

本书共分14章,分别为:水质标准与水处理概论,格栅,混凝,沉淀、澄清和气浮,过滤,消毒,污水生物处理——活性污泥法,污水脱氮除磷技术,污水生物处理——生物膜法,污水生物处理——稳定塘与人工湿地,污水厌氧生物处理技术,污水深度处理技术,污泥的处理与处置和水厂的设计。其中,第1、2、4、14章由中原工学院龚为进编写,第2、4章部分章节由山东建筑大学栗静静编写,第3、5章由中原工学院赵富旺编写,第6、12章由中原工学院刘玥编写,第7章由中原工学院陈启石编写,第8、9章由武汉理工大学程静编写,第10、11、13章由郑州大学彭赵旭编写。

本书在编写过程中汲取了许多同类优秀书籍的精华,引用了大量的文献资料,由于资料庞杂,文献名未能一一列出,特向这些文献作者们表示衷心感谢。

本书的出版得到国家自然科学基金项目(项目编号:U1404523;51308561),河南省科技攻关项目(项目编号:122102310561),及河南省高等学校重点科研项目计划(编号:15A560002)的资助,以及中国水利水电出版社

的大力支持，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，恳请同行及读者给予批评指正。

编 者

2016 年 3 月

前言

第7章 污水生物处理——活性污泥法	1
7.1 污水生物处理的基本原理	1
7.1.1 发酵与呼吸	1
7.1.2 污水生物处理技术的分类	2
7.1.3 微生物的生长环境	4
7.2 活性污泥法的理论基础	6
7.2.1 活性污泥	6
7.2.2 活性污泥法的工艺流程	6
7.2.3 活性污泥净化过程与机理	7
7.2.4 活性污泥的性能指标	7
7.2.5 活性污泥增长规律与净化作用	9
7.3 活性污泥法运行方式	10
7.3.1 曝气池的池型	10
7.3.2 活性污泥法主要运行方式	12
7.4 活性污泥法的反应动力学基础	18
7.4.1 污水生物处理的基本动力学方程	19
7.4.2 活性污泥法数学模型基础	22
7.5 曝气	25
7.5.1 曝气的理论基础	26
7.5.2 曝气设备	30
7.6 传统活性污泥法系统工艺设计	34
7.6.1 曝气池(生物反应池)容积的计算	35
7.6.2 剩余污泥量及污泥回流系统的设计计算	37
7.6.3 曝气系统设计计算	38
7.6.4 最终出水水质的计算	40
7.7 氧化沟的工艺原理与设计	40
7.7.1 氧化沟的主要类型	40
7.7.2 氧化沟的设计计算及主要设计参数	43
7.8 SBR 工艺原理与设计	48
7.8.1 SBR 工艺的主要类型	48

7.8.2 SBR 工艺设计	54
7.9 活性污泥法系统的运行管理	57
7.9.1 活性污泥的培养和驯化	57
7.9.2 活性污泥法的常见故障原因分析及对策	59
习题	64
第 8 章 污水脱氮除磷技术	66
8.1 概述	66
8.2 污水脱氮技术	66
8.2.1 物化脱氮技术	67
8.2.2 生物脱氮原理	75
8.2.3 生物脱氮工艺	81
8.3 污水除磷技术	85
8.3.1 化学法除磷技术	85
8.3.2 生物除磷原理	87
8.3.3 生物除磷工艺	87
8.4 生物同步脱氮除磷技术	91
8.4.1 传统生物脱氮除磷工艺的现状	91
8.4.2 传统生物脱氮除磷工艺存在的问题	92
8.4.3 生物脱氮除磷技术的新发展	92
8.5 生物脱氮除磷工艺设计与应用	94
8.5.1 A ² /O 工艺脱氮除磷工程实例	94
8.5.2 氧化沟工艺脱氮除磷工艺工程实例	95
习题	97
第 9 章 污水生物处理——生物膜法	99
9.1 概述	99
9.1.1 生物膜及其形成过程	99
9.1.2 生物膜的构造及净化机理	100
9.1.3 生物膜中的微生物相	102
9.1.4 生物膜法工艺流程	104
9.1.5 生物膜反应器	104
9.1.6 生物膜法的特征	106
9.2 生物滤池	108
9.2.1 普通生物滤池	108
9.2.2 高负荷生物滤池	110
9.2.3 塔式生物滤池	116
9.3 生物转盘	118
9.3.1 生物转盘的构造及原理	118
9.3.2 生物转盘的特点	119

9.3.3	生物转盘工艺流程	120
9.3.4	生物转盘的设计计算	121
9.3.5	生物转盘处理技术的发展	125
9.4	生物接触氧化法	126
9.4.1	生物接触氧化池的构造	126
9.4.2	生物接触氧化池的类型	127
9.4.3	生物接触氧化工艺流程	128
9.4.4	生物接触氧化池的设计与计算	129
9.4.5	生物接触氧化的特点	132
9.5	曝气生物滤池	132
9.5.1	曝气生物滤池 (BAF) 的本质	133
9.5.2	曝气生物滤池 (BAF) 的构造	135
9.5.3	影响曝气生物滤池运行效果的因素	136
9.5.4	曝气生物滤池 (BAF) 工艺流程	137
9.5.5	曝气生物滤池 (BAF) 的设计计算	138
9.6	生物流化床	140
9.6.1	两相流化床	140
9.6.2	三相流化床	141
9.6.3	机械搅动流化床	142
9.7	其他新型生物膜法工艺	143
9.7.1	微孔膜生物反应器	143
9.7.2	移动床生物膜反应器	143
9.7.3	复合式、联合式生物膜处理工艺	144
	习题	145
第 10 章	污水生物处理——稳定塘与人工湿地	146
10.1	概述	146
10.2	稳定塘	146
10.2.1	稳定塘的分类及特点	147
10.2.2	稳定塘的污水净化机理	148
10.2.3	稳定塘的设计计算	152
10.3	人工湿地	156
10.3.1	人工湿地的分类及特点	156
10.3.2	人工湿地的污水净化机理	160
10.3.3	人工湿地的设计计算	161
10.3.4	人工湿地应用实例	164
	习题	165
第 11 章	污水厌氧生物处理技术	166
11.1	厌氧生物处理理论基础	166

11.1.1	厌氧生物处理原理	166
11.1.2	厌氧生物处理的特点	168
11.1.3	厌氧生化反应动力学	169
11.1.4	厌氧生物处理过程中的微生物	170
11.1.5	影响厌氧生物处理的因素	171
11.2	UASB 工艺	172
11.2.1	UASB 工艺组成与原理	172
11.2.2	UASB 工艺的设计计算	175
11.2.3	UASB 工艺的应用实例	180
11.3	新型厌氧生物处理工艺	182
11.3.1	厌氧生物处理工艺的发展历史	182
11.3.2	厌氧生物处理新工艺	184
11.3.3	厌氧生物处理工艺的发展趋势	188
11.4	沼气的利用	189
11.4.1	沼气脱硫	190
11.4.2	厌氧生物处理产沼气技术的经济性分析	190
11.4.3	国内外沼气利用的现状	191
11.4.4	沼气利用工程实例	191
	习题	192
第 12 章	污水深度处理技术	193
12.1	概述	193
12.2	难降解有机物的去除	193
12.2.1	活性炭吸附	193
12.2.2	高级氧化技术	198
12.3	溶解性无机盐的去除	205
12.3.1	离子交换	205
12.3.2	膜处理技术	214
	习题	223
第 13 章	污泥的处理与处置	224
13.1	污泥的来源与性质	224
13.1.1	污泥的分类	225
13.1.2	污泥的特性	225
13.2	污泥的产量与输送	230
13.2.1	污泥产量的计算	230
13.2.2	污泥的输送	232
13.2.3	污泥流动的水力特性与水力计算	233
13.3	污泥的浓缩、消化与脱水	235
13.3.1	污泥的浓缩	236

13.3.2	污泥的消化	241
13.3.3	污泥的脱水	246
13.3.4	污泥的好氧发酵	252
13.4	污泥的干化与焚烧	253
13.4.1	污泥的干化	253
13.4.2	污泥的焚烧	254
13.5	污泥的最终处置	255
	习题	257
第 14 章	水厂的设计	258
14.1	概述	258
14.1.1	水处理工程建设设计程序	258
14.1.2	水处理工程设计资料	258
14.2	给水处理厂的设计	260
14.2.1	设计原则	260
14.2.2	厂址的选择	260
14.2.3	水处理工艺流程和构筑物选择	261
14.2.4	水厂平面与高程布置	266
14.3	污水处理厂的设计	268
14.3.1	设计原则和要求	268
14.3.2	厂址的选择	269
14.3.3	污水处理工艺流程选择	269
14.3.4	平面与高程布置	270
	参考文献	276

第7章 污水生物处理——活性污泥法

活性污泥法是利用悬浮生长的微生物絮体对废水中的有机物进行好氧处理的一种工程方法，它是目前有机废水生物处理的主要方法。自从1914年英国 Arden 和 Locket 取得活性污泥法工艺试验成功以来，该方法在城镇污水和工业废水处理中得到广泛应用。如今，活性污泥法已成为有机污水处理的主体技术。本章主要对活性污泥法工艺的基础理论和相关工程问题加以介绍。

7.1 污水生物处理的基本原理

7.1.1 发酵与呼吸

污水生物处理技术已有100多年的历史，与物理法、化学法相比，生物处理技术具有经济、高效的特点，可实现无害化和资源化。因此，生物处理技术一直是污水处理的主要技术，在城镇污水和工业废水的处理中发挥着巨大的作用。

污水生物处理是通过微生物的新陈代谢作用，对污水进行净化的过程。污水中的污染物主要是有机物，也含有一定量的无机物。有机物通常以悬浮颗粒、胶体颗粒和溶解态的形式存在于废水中。采用单纯的物理法和化学法很难将废水中的这些污染物同时去除，而大部分有机物和部分无机物可以作为微生物的营养源而被微生物所利用，称之为底物或基质。因此，在工程上常采用微生物对这些污染物进行转化。

微生物的新陈代谢由分解代谢和合成代谢两个过程组成。分解代谢也称为异化作用，是指将底物通过酶的催化作用降解成较小的、较简单物质的过程，又称为生物氧化。分解代谢是物质由复杂到简单、由不稳定到稳定并释放能量的过程。合成代谢又称为同化作用，是微生物利用另一部分底物或分解代谢过程中产生的中间产物，合成微生物细胞的过程是生物体将较简单的物质转化为复杂细胞物质的过程，合成代谢所需的能量由分解代谢过程提供。

根据生物氧化过程中最终电子受体（或最终受氢体）的不同，可将生物氧化分成3类，即发酵、好氧呼吸和无氧呼吸。

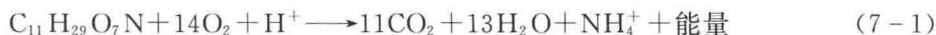
1. 发酵

发酵是厌氧微生物获取能量的主要方式。在发酵过程中，有机物是电子供体，其不完全氧化的某种中间产物是最终电子受体，产物是比原来底物简单的有机物。因此，发酵的特点是：有机物氧化不彻底；释放能量较少；其余能量保留在最终产物中。

2. 好氧呼吸（有氧呼吸）

好氧呼吸是指微生物氧化底物时，以分子氧（ O_2 ）作为最终电子受体的氧化作用。好氧呼吸的电子供体则与微生物的种类有关。

（1）异养型微生物以有机物为底物（电子供体），其终点产物为 CO_2 、氨和水等无机物，同时放出能量，即



活性污泥法、生物膜法、污泥的好氧消化等都属于这种类型的呼吸。

(2) 自养型微生物以无机物为底物(电子供体),如它在呼吸过程中,可以氧化硫化氢、氨和铁等,其终点产物也是无机物,同时放出能量,即



好氧呼吸过程的特点是:底物氧化彻底;产生的能量较多。

好氧呼吸可分为外源性呼吸和内源性呼吸。微生物利用外界供给的底物进行呼吸,叫外源性呼吸。如果外界没有供给底物,而是利用自身内部储存的能源性物质(如脂肪、多糖、聚 β -羟基丁酸等)进行呼吸,则叫内源性呼吸(简称内源呼吸)。

3. 无氧呼吸(厌氧呼吸)

凡是以 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、 CO_2 等无机氧化物代替分子氧作为最终电子受体(受氢体)的生物氧化作用,称为无氧呼吸作用。

无氧呼吸中的基质,通常是有机物,如葡萄糖、乙酸、甲醇等,通过厌氧呼吸作用可被降解成 CO_2 。能进行无氧呼吸的微生物是专性厌氧菌和兼性细菌。与好氧呼吸相比,无氧呼吸产生的能量较少。

7.1.2 污水生物处理技术的分类

生物处理技术可以从3个方面进行分类:①污染物的生化转化;②生化环境中的最终电子受体;③反应器的构型。根据这种分类可以选择合适的生物处理单元。

7.1.2.1 污染物的生化转化

污水中的污染物可以分为4类,即溶解性有机物、不溶性有机物、溶解性无机物和不溶性无机物。

1. 溶解性有机物的生物去除

生物处理单元在废水中的主要用途就是去除溶解性有机物。去除时,有机污染物中的大部分碳被氧化成二氧化碳,因此,溶解性有机物的生物去除也称为碳氧化。

当溶解性有机物的浓度比较低时,如可降解COD低于50mg/L时,生物吸附是比较经济的处理方法。而当COD介于50~4000mg/L之间时,采用好氧生物处理特别合适。对于高浓度有机废水,采用厌氧微生物处理比较合适。厌氧微生物也可用于处理COD低至1000mg/L的废水。当可降解COD大于50000mg/L时,采用蒸发和焚烧则可能更为经济。以上浓度均为溶解性有机物浓度。对于悬浮或胶体态有机物,用物理或化学方法更容易去除。但是,对于由溶解性、胶体和悬浮态混合组成的有机废水,通常采用生化法进行去除。

2. 不溶性有机物的去除

把污染物转化为不可被微生物降解的,对环境不会造成危害的稳定产物的过程称为稳定化。污水中含有大量的有机胶体粒子,用沉降方法不易去除,但在去除溶解性有机物的工艺中,胶体性有机物也可被微生物捕获并被稳定化。

对于颗粒较大的不溶性有机物,可以先通过沉淀进行浓缩,然后再用生化处理进行稳定。好氧和厌氧方法都可以对其进行稳定化。



3. 溶解性无机物的去除

氮和磷是引起水体富营养化的两个主要因素。生活污水中的磷有无机磷和有机磷。无机磷有正磷酸盐、聚磷酸盐（如焦磷酸盐、三聚磷酸盐）等，有机磷有磷脂、糖磷酸盐和核苷等。聚磷酸盐和有机磷可通过微生物的作用转化为正磷酸盐，而正磷酸盐可以通过聚磷菌吸收而去除。生活污水中的氮以氨和有机氮（如氨基酸、蛋白质和核苷）的形态存在。当有机物被降解时，有机氮转化为氨。氨可以被硝化菌通过硝化作用转化为硝酸盐和亚硝酸盐，硝酸盐和亚硝酸盐可以被反硝化菌通过反硝化作用转化为氮气而去除。

7.1.2.2 生化环境中的最终电子受体

电子受体是微生物生物氧化过程中最重要的因素之一，主要有 3 种类型，即氧气、化合态氧（如硝酸盐、亚硝酸盐、硫酸盐等）和有机化合物。根据生化环境中电子受体的不同，一般将污水生物处理划分为好氧生物处理和厌氧生物处理。

1. 好氧生物处理

当溶解氧供应充足而不会成为限制因素时，属好氧环境。在好氧环境中，利用好氧微生物（包括兼性微生物，但主要是好氧细菌）对废水中的有机污染物进行转化处理的方法称为好氧生物处理。这种方法处理的主要对象是溶解态和胶体态的有机物。这种方法要求向废水生化处理反应器中提供足量的氧，以确保好氧微生物对氧的需求。活性污泥法和生物膜法均属好氧生物处理法。

在好氧生物处理过程中存在着以下几种过程。

有机污染物的氧化分解 [用 (CHONSP) 表示有机污染物]，即



新细胞 ($\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2\text{P}$) 的合成 (以氨为氮源、磷酸盐为磷源)，即



内源呼吸 (氧化分解)，即



好氧生物处理时，有机污染物被微生物吸收后，约有 1/3 被氧化分解成简单无机物，并释放出微生物生命活动所需的能量。约 2/3 的有机物作为微生物生长繁殖所需要的构造物质，转化成新的细胞物质，成为生物污泥（即活性污泥和生物膜）的来源。当废水中营养物质缺乏时，微生物会通过内源呼吸作用分解细胞内的物质，获得生命活动所需的最低限度的能量。参与内源呼吸的约 80% 的细胞物质会被分解为简单无机物，20% 会最终转为生物残渣，成为生物污泥的一部分。通过内源呼吸微生物的量会减少。

好氧生物处理由于以氧作为电子受体，反应速率快，处理单位废水所需处理设备较小，处理过程中散发的臭气较少。当供氧速率能够满足生物氧化的耗氧速率时，才能采用好氧生物处理。因此，目前对于中、低浓度的有机污水，或者 $\text{BOD}_5 < 500\text{mg/L}$ 的有机污水，基本上采用好氧生物处理法。

2. 厌氧生物处理

厌氧生物处理是在污水中没有游离氧存在的条件下，以有机物和二氧化碳作为主要电子受体，利用厌氧和兼性微生物的生命活动过程，使废水中的有机物转化为较简单的有机物和无机物，同时释放能量。有机物的厌氧降解过程可以综合为 3 个概念性步骤：第一步，颗粒态的有机物水解成溶解性基质；第二步，溶解性基质发酵产生乙酸、二氧化碳和氢气，在这



一步,有机物是电子受体;第三步,乙酸、氢气和部分二氧化碳转化为甲烷,在这一步,二氧化碳是最终电子受体。

在厌氧处理中,有机底物被依次转化为有机酸、醇类等中间产物以及 CH_4 、 CO_2 、 H_2 、 H_2S 和 NH_3 等最终产物,并为细胞合成提供能量,少量有机底物则被转化、合成为新的细胞物质。

厌氧生物处理法降低污水的 COD 主要依靠将有机污染物转化为 CH_4 并从水中逸出,如果没有 CH_4 产生, COD 减少得就非常少,只是与 H_2 的产生和逸出有关。

在厌氧处理过程中,所需的电子受体是生化反应过程的产物,因此,该方法不需另外提供电子受体,更不需外加氧源,故运行费用低,可以回收能量(甲烷)。此外,仅有少量的有机污染物被转化成新的微生物,故该方法相对于好氧处理法污泥生成量少。该方法主要缺点是反应速率和微生物生长速率低,处理单位废水所需设备较大,而要提高反应速率就必须维持较高的反应温度,这将消耗能量。此外,该方法要求绝对厌氧环境,对其他环境条件(pH 值、温度等)要求甚严,会释放出 H_2S 和 NH_3 等恶臭物质,卫生条件差。

一般情况下,当处理有机污泥或污水中 $\text{BOD}_5 > 2000\text{mg/L}$ 时,采用厌氧生物处理法。

7.1.2.3 按微生物生长方式分类

根据微生物生长方式的不同,生物处理方法可分为悬浮生长法和附着生长法两类。采用悬浮生长法时,污水中的微生物需要通过搅拌等方法保持悬浮状态,并与相关污染物充分接触以达到一定的处理效率。活性污泥法是典型的悬浮生长生物处理法工艺。生物接触氧化法、生物滤池、生物转盘等都属于附着生长法,一般也称为生物膜法,这种方法中的微生物附着在固体载体上并形成生物膜。在生产实践中,也有人将悬浮生长法与附着生长法结合起来使用。

7.1.3 微生物的生长环境

影响微生物生长繁殖的环境因素较多,主要有营养物质、水温、pH 值、溶解氧、有毒物质等。

7.1.3.1 营养条件

在废水的生物处理中,要取得良好的净化效果,就要为微生物提供充足的营养,以保证其发挥正常的新陈代谢功能。各种微生物体内含的元素和需要的营养元素大体一致。细菌的化学组成化学式为 $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$,霉菌化学式为 $\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{O}_6\text{N}$,原生动物为 $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_3\text{N}$ 。所以在培养微生物时,可按菌体的主要成分比例供给营养。营养物质包括碳源、氮源、无机盐类(如磷、硫、镁、铁、钾、钙)和微量元素等,其中主要的营养物质是碳、氮、磷等。磷是微生物所需矿质元素中最主要的,占细胞全部矿质元素的 50% 左右。

在废水的好氧生物处理中,微生物群体对碳源、氮源和磷源的需求比例一般为 $\text{BOD}_5 : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$;厌氧微生物群体对碳氮磷比要求为 $\text{BOD}_5 : \text{N} : \text{P} = 200 : 5 : 1$ 。

一般来说,废水中的 BOD_5 最少不应低于 100mg/L 。但 BOD_5 浓度也不应太高;否则氧化分解时会消耗过多的溶解氧。一旦耗氧速度超过溶氧速度,就会出现厌氧状态,使好氧过程遭到破坏。好氧生物处理中 BOD_5 最大为 $500 \sim 1000\text{mg/L}$,具体视充氧能力而定。

生活污水所含的营养物质可以满足生物法处理时微生物的营养需求,但有些工业废水含碳量低,有些则缺乏氮或磷,会影响微生物的新陈代谢,从而影响生物处理效果,这时需要另加碳源、氮源或磷源。可作为碳源的有生活污水、甲醇、乙酸钠、米泔水、淀粉浆料等;



可作为氮源的有尿素、硫酸铵、硝酸盐、粪水等，无机氮最容易被利用；通过投加磷酸钾、磷酸钠和磷酸氢二钠等可以补充磷源。目前在污水的生物处理中，多采用工业废水与生活污水合并处理，既节约处理成本，又可提高处理效果。

7.1.3.2 水温

水温是影响微生物生理活动的重要因素。温度适宜，能够促进、强化微生物的生理活动。在微生物的酶系统不受变性影响的温度范围内，温度上升会使微生物生理活动旺盛，能够提高生化反应速率。

根据温度对微生物的约束作用，将其分为最适生长温度，即在一定温度范围内，随着温度上升微生物生长加快；最低生长温度，即低于这一温度微生物停止生长，但并不死亡；最高生长温度，即高于这一温度生物停止生长，并最终导致死亡。

好氧生化处理的实际工艺温度一般多在 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，水温为 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 时处理效果最好。这就是城市污水在夏季易于进行生物处理，而在冬季净化效果降低的原因。当水温低于 10°C 或高于 40°C 时，可通过降低污泥负荷来保持与正常水温同样的净化功能。

根据温度不同，厌氧生化处理一般可分为中温消化 ($30\sim 35^{\circ}\text{C}$) 和高温消化 ($50\sim 55^{\circ}\text{C}$) 两大类。高温消化比中温消化所需的生化反应时间短，但所需的热量也大，因此从经济角度考虑，一般多采用中温消化。目前，低温厌氧消化 ($15\sim 20^{\circ}\text{C}$) 工艺已得到应用，可以大大降低运行费用。采用何种温度，在实际工作中要考虑污水的原有温度及改变温度的经济可行性。

7.1.3.3 pH 值

由于水中氢离子浓度直接影响酶的活性，故 pH 值对微生物的新陈代谢有重要影响。大多数自然环境中 pH 值为 $5\sim 9$ ，许多微生物的生长也在此范围内，只有少数种类可生长在 pH 值低于 2 或高于 10 的环境中。

好氧生物处理中，系统在中性环境中运行最佳，一般 pH 值在 $6.5\sim 8.5$ 范围内最好。当曝气池 $\text{pH}>9.0$ 时，原生动物将由活跃转为呆滞，菌胶团黏性物质解体，活性污泥结构受到破坏，处理效果显著下降。当 $\text{pH}<6.5$ 时，霉菌生长占优势，易引发污泥膨胀。

活性污泥中细菌经驯化后对酸碱度适应范围可进一步提高，但当 $\text{pH}>11$ 时，活性污泥会被破坏，处理效果会下降。此外，微生物对 pH 值的波动十分敏感，即使在其生长范围内，pH 值突然改变也会导致细菌活动的明显减弱。在厌氧生物处理系统中，超过适宜的 pH 值范围往往引起严重后果，低于 pH 值下限时，会导致产甲烷菌活力丧失而乙酸菌大量繁殖，引起反应器系统的酸化，以致难以恢复到原有状态。

一般来说，污水中大多含有碳酸、碳酸盐类、铵盐及磷酸盐等物质，具有一定缓冲能力，但这种缓冲能力毕竟是有限的，一旦有强酸或强碱工业污水排入城市污水管道后，应对其是否超过缓冲能力并引起 pH 值变化进行仔细观测，以免影响污水处理厂的正常运行。

7.1.3.4 溶解氧

污水的好氧生物处理中，必须使反应器中有足够的溶解氧，使微生物进行有氧呼吸，如果溶解氧不足，微生物代谢活动受影响，处理效果明显下降。在好氧生物反应器中，溶解氧一般以 $2\sim 4\text{mg/L}$ 为宜。

厌氧细菌有专性厌氧细菌和兼性厌氧细菌。专性厌氧菌除通过发酵、光合作用获得能量外，有的能把硫酸盐等无机氧化物作为最终电子受体而加以利用。在兼性厌氧菌中，有氧存



在时是借助呼吸,氧不存在时是借助发酵来获得能量,如反硝化细菌。厌氧细菌对氧很敏感,在有氧存在的条件下,生长会受到抑制,甚至导致死亡。在活性污泥系统中,控制缺氧区溶解氧浓度为 $0.2\sim 0.5\text{mg/L}$,厌氧区小于 $0.2\sim 0.5\text{mg/L}$ 。

7.1.3.5 有毒物质

对微生物有抑制和毒害作用的物质主要有:①重金属离子,如镉、铬、铅、汞、铜、银、铁、镍等;②有毒有机物,如酚、醛、苯、氯苯等;③有毒无机物,如氰化物、硫化物、硫酸铜、高锰酸钾、石灰水等。有些物质对微生物的毒害作用主要表现在细胞的正常结构遭到破坏,以及菌体内的酶变性等。重金属易与细胞蛋白质结合使之变性,或与酶的-SH基结合而使酶失去活性。

微生物对有毒物质的承受力有一定的浓度范围。对生物处理来讲,废水中存在的有毒物浓度的允许范围至今没有统一资料。毒物的毒害作用与pH值、水温、溶解氧、有无其他毒物及微生物的数量和微生物是否驯化等因素有关。最好经过试验确定。

7.2 活性污泥法的理论基础

7.2.1 活性污泥

活性污泥是由细菌、菌胶团、原生动物、后生动物等微生物群体及吸附的污水中有机和无机物质组成的、具有一定活力和良好的净化污水功能的絮绒状污泥。

1. 活性污泥的性状

在显微镜下,正常的活性污泥为类似矾花状的不定型絮凝颗粒、粒径为 $0.02\sim 0.2\text{mm}$,正常颜色为茶褐色或黄褐色,供氧不足或厌氧状态时呈现黑色,供氧过多或营养不足时呈灰白色。活性污泥结构疏松,比表面积通常在 $20\sim 100\text{cm}^2/\text{mL}$ 之间,表面积较大。曝气池混合液相对密度为 $1.002\sim 1.003$,回流污泥相对密度为 $1.004\sim 1.006$ 。正常的活性污泥略显酸性,具有类似土壤的气味并挟带霉味。

2. 活性污泥的组成

在正常的活性污泥上,栖息着大量的细菌、真菌、原生动物和微型后生动物等多种微生物群体。微生物群体常以菌胶团的形式存在,游离状态的较少。菌胶团是由细菌分泌的多糖类物质包覆细菌而形成的团块,是活性污泥的结构和功能中心。当污水和污泥絮体接触时,絮体中的微生物(主要是细菌)便以易降解的有机物等物质为底物进行新陈代谢,同时通过污泥絮体的絮凝和吸附,去除污水中的悬浮或胶体态的其他物质。通过这一过程,微生物得以生长繁殖,污水也得到净化。除了微生物以外,活性污泥还凝聚和吸附有一些无机物、未被微生物分解的有机物以及微生物自身代谢的残留物。

7.2.2 活性污泥法的工艺流程

活性污泥法的工艺流程主要由曝气池、二次沉淀池、污泥回流和剩余污泥排除系统组成,如图7-1所示。

污水与回流污泥同时进入曝气池,采用压缩空气向曝气池混合液曝气。曝气的作用,一是为活性污泥中的好氧微生物提供充足溶解氧,二是起搅拌作用使活性污泥保持悬浮状态。曝气池是一个生物反应器,通过好氧代谢作用处理相关污染物。曝气池流出的混合液进入二次沉淀池进行固液分离。从二次沉淀池出来的沉淀污泥一部分回流至曝气池,称为回流污



泥。回流污泥的重要作用在于它使固体停留时间,或者微生物的停留时间大于溶解态污染物的停留时间,使得曝气池内的微生物保持一定的量和浓度。曝气池中的生化反应使得微生物增殖,增殖的微生物经过二次沉淀池固液分离后从底泥中排出,以维持曝气池活性污泥总量和浓度的稳定,这一部分污泥称为剩余污泥。显然,一定时间内剩余污泥的排放量应等于活

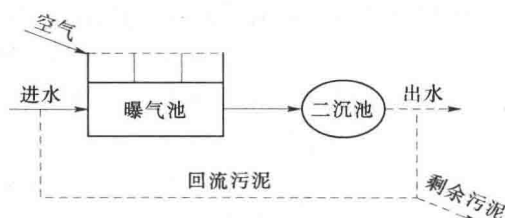


图 7-1 活性污泥法基本工艺流程

性污泥的增殖量,以保持曝气池内污泥浓度的稳定。若增殖的污泥不及时排除,会使池中微生物浓度太高,造成缺氧;如果排出量大于增殖量,会造成池内微生物的量不足,影响处理效果。

从基本流程可以看出,要使活性污泥法有效,活性污泥除了具有良好的氧化分解有机物的能力外,还应具有良好的絮凝沉淀性能,以利于污泥在沉淀池中进行泥水分离,使出水达标。

7.2.3 活性污泥净化过程与机理

活性污泥去除有机污染物是由吸附和稳定两个阶段组成,污水中的有机物先被活性污泥吸附,然后逐渐被微生物所利用。

在吸附阶段,由于活性污泥具有巨大的表面积,而在这些表面上活性微生物细胞壁外围又存在着多糖类黏性物质,使得活性污泥具有良好的吸附性能。在污水和活性污泥接触后,污水中的有机物能够很快地被吸附到活性污泥上来。只要条件适当,活性污泥在与污水初期接触的 20~30min 内,就可以去除 75% 以上的 BOD,吸附过程一般在 45min 左右即可完成。

稳定阶段是微生物降解和利用有机物的过程。溶解性有机物被吸附到细胞表面后,随即透过细胞膜;呈胶体态的大分子有机物被吸附后,首先在胞外水解酶的作用下被分解成小分子物质,然后这些小分子物质选择性地透过细胞膜。透过细胞膜的有机物即可被微生物降解。稳定过程较吸附过程要慢,延续时间也较长,因此如果要将有有机物稳定,传统活性污泥法的曝气时间一般为 6~8h。

活性污泥吸附有机物的吸附量和污水中有机物的形态有关,如果污水中悬浮态的或胶体态的有机物含量高,则吸附量也大。此外,还与污泥的状态有关:如果吸附与稳定失去适当的平衡,原吸附的有机物未氧化分解完全,则吸附量就小;如果原吸附于污泥上的有机物代谢彻底,则二次吸附时的吸附量就大。但若回流污泥经历了长时期曝气,使微生物进入内源呼吸期,活性降低,则再吸附能力也降低,吸附量也就低。

从上述去除有机物的机理可以知道,从污水中去除有机物的量并不是完全等于被微生物氧化分解和利用的量,去除量包含被微生物利用的量和吸附量两部分。被微生物利用的量包括被微生物氧化分解所生成的产物的量和微生物的增殖量。吸附量包括微生物能利用而尚未利用的量和微生物不能利用的量。

7.2.4 活性污泥的性能指标

1. 混合液悬浮固体浓度

混合液悬浮固体浓度 (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) 又称污泥浓度,是指