



污水处理厂

测量、自动控制 与故障诊断

陈兆波 任月明 主编



化学工业出版社

国家“863”项目 (2007AA06Z348) 资助项目

污水处理厂

测量、自动控制

与故障诊断

陈兆波 任月明 主编

呼冬雪 郑国香 蔡威 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是以作者长期从事污水处理数学建模、自动控制和故障诊断的研究为基础,归纳总结了大量国内外研究成果编写而成。全书共分 18 章,主要介绍现代城市污水处理厂测量技术、自动控制技术和故障诊断技术等内容,较全面地反映了国内外在这一领域的研究、开发和应用现状,具有较强的系统性、实用性和可操作性。

本书可供环境工程及相关科研、生产和设计院所工程技术人员参考,也可用作高等院校环境科学与工程专业教材及教师参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理厂测量、自动控制与故障诊断/陈兆波,任月明主编. —北京:化学工业出版社,2008.7
ISBN 978-7-122-03401-4

I. 污… II. ①陈… ②任… III. ①污水处理厂-测量②污水处理厂-自动控制③污水处理厂-故障诊断
IV. X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 107782 号

责任编辑:刘兴春 邹 宁

责任校对:边 涛

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24½ 字数 636 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前 言

水资源问题是当前我国社会经济可持续发展最突出的问题之一。为适应经济发展和人民生活水平不断提高的要求,兴建自动化程度高的城市污水处理厂已刻不容缓。

污水处理过程是一种典型的复杂动态生物反应工程系统,具有非线性、时变性、随机性和不确定性等特点,难以建立精确的数学模型。随着污水处理工艺水平迅猛发展,对污水处理的自动化要求也越来越高。为使污水处理系统处于良好的运行工况,获得更好的出水水质,必须及时取得污水处理系统的重要过程参数及水质参数。但城市污水处理厂长期稳定运行是较为困难的,在一些污水处理厂中,处理效果不佳、运行费用高和污染环境等现象常常是由运行的问题引起的。长期以来运行人员往往根据多年积累的经验对污水处理厂进行管理。传统的污水处理过程控制系统需要专业人员到现场进行手工的操作和监视,导致对系统的意外事件反应较慢,而且无法对水质的变化做出反应和调整,从而限制了污水处理的稳定性和处理质量。然而这些经验的积累要求具有较长时间的实际操作经验和广泛的知识,所以建立城市污水处理的故障诊断专家系统和在线检测系统十分必要。

本书强调理论和应用相结合,对现代城市污水厂的测量技术、自动控制技术及设计、故障诊断技术的基本原理和技术做了系统和全面的介绍,还通过工程应用实例反映了其在污水处理厂中的最新成果应用与发展的趋势。本书共分18章,其中第1章~第6章主要介绍了城市污水厂测量技术;第7章~第14章主要介绍了污水处理厂自动控制技术及其应用实例;第15章~第18章重点介绍了现代污水处理厂异常问题检测、诊断与修复。

本书由陈兆波、任月明主编,呼冬雪、郑国香和蔡威副主编;其中,第1章、第3章、第4章、第6章由陈兆波、呼冬雪编写,第2章、第5章、第12章、第15章、第17章、第18章由陈兆波编写,第7章~第9章、第11章由任月明、郑国香和蔡威编写,第10章、第13章、第14章、第16章由任月明编写。全书由陈兆波和任月明共同整理和定稿。本书在编写的过程中得到了哈尔滨工业大学任南琪教授和田禹教授的悉心指导和关注,并提出了宝贵的修改意见,陈兆鹏、周爱娟、朱海博等为编写前期的资料查找做了大量的工作,宗慧、邱洪伟为全书的插图制作做了大量的工作,在此向他们表示衷心的感谢。

本书旨在让读者全面地了解污水厂现代化的测量仪表及技术、自动控制技术和故障诊断技术,所以在编写过程中参阅了大量的自动控制、故障诊断等相关专业的硕士和博士论文、国内外近年来发表的相关论文和学术著作。参考他人的专著及其他多位作者的文章,对于丰富本书的内容,拓宽本书的深度和广度起到很大的作用,在此谨向本书编写过程中参阅的原文作者致以诚挚的谢意。

本书内容丰富、信息量大、叙述详尽,可供环境保护领域的科研人员、工程技术人员和高等院校环境工程专业本科生及研究生参考使用。由于污水处理自控及故障诊断技术的迅速发展,科研成果层出不穷,有关文献浩如烟海,加之作者学识有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者和相关人士批评指正,不胜感激。

编者

2008年6月于哈尔滨

目 录

1 污水处理工艺流程及水质参数	1
1.1 常见的污水处理方法	1
1.2 污水的三级处理工艺	5
1.2.1 一级处理工艺	5
1.2.2 二级处理工艺	6
1.2.3 三级处理工艺	10
1.3 污水处理技术的新发展	11
1.4 污水处理厂工艺和水质参数	12
1.4.1 污水处理厂工艺参数	12
1.4.2 污水处理厂水质参数	15
1.5 污水处理厂水质测量	16
1.5.1 污水水质测量技术现状	16
1.5.2 污水水质测量中现存的问题	17
1.5.3 实现污水处理厂水质参数测量的意义	18
2 污水处理厂传感器及测量	19
2.1 传感器简介	20
2.1.1 传感器的定义	20
2.1.2 传感器的分类	20
2.1.3 传感器的特性	21
2.2 几种常见的传感器	22
2.2.1 温度传感器	22
2.2.2 光电传感器	23
2.2.3 电阻式传感器	25
2.2.4 流量传感器	25
2.2.5 生物传感器	27
2.3 pH值和碱度的测量	29
2.3.1 测定 pH 值的方法	29
2.3.2 市场上现有的 pH 计	30
2.3.3 碱度的测量	30
2.4 氧化还原电位的测量	32
2.4.1 ORP 的基本概念和测量原理	32
2.4.2 ORP 在污水生物处理中的应用	33
2.4.3 市场上现有的数显 ORP 计	34
2.5 溶解氧的测量	35
2.5.1 湿化学法测定 DO	35
2.5.2 膜电极法测定 DO 浓度	36
2.5.3 市场上的 DO 传感器	37
2.6 有机物浓度的测量	38

2.6.1	生化需氧量的测量	38
2.6.2	化学需氧量的测量	42
2.6.3	总有机碳的测量	45
2.6.4	有机酸的测量	47
2.7	氮和磷(营养物)的测量	48
2.7.1	氨氮的测量	48
2.7.2	硝酸氮和亚硝酸氮的测量	50
2.7.3	有机氮的测量	50
2.7.4	总氮的测量	51
2.7.5	可溶性正磷酸盐的测量	52
2.7.6	氨磷检测传感器的设计	52
2.8	光学探头和采样系统	54
2.8.1	光学探头	54
2.8.2	采样系统	54
2.9	活性污泥性质的测量	55
2.9.1	活性污泥呼吸速率的测量	55
2.9.2	污泥沉降比和污泥体积指数的测量	59
2.9.3	污泥浓度的测量	60
3	软测量技术	62
3.1	软测量技术基本原理	63
3.1.1	辅助变量	63
3.1.2	数据采集及预处理	63
3.1.3	主导变量与辅助变量之间的时序匹配	71
3.2	软测量模型	73
3.2.1	软测量的数学描述	73
3.2.2	影响软测量模型性能的主要因素	74
3.2.3	软测量模型的在线校正与维护	76
3.2.4	软测量模型的设计步骤	76
3.2.5	软测量模型存在的问题	78
3.3	软测量建模方法	79
3.3.1	基于机理分析的软测量建模方法	79
3.3.2	基于对象数学模型的软测量建模方法	79
3.3.3	基于统计回归分析的软测量建模方法	80
3.3.4	基于统计学习理论的软测量建模方法	82
3.3.5	基于人工智能的软测量建模方法	83
3.3.6	混合建模方法	87
3.4	软测量技术在污水处理领域应用现状及前景展望	89
3.4.1	软测量技术在污水处理领域的研究现状	89
3.4.2	软测量技术在污水处理系统中的应用前景	91
4	基于人工神经网络的软测量技术	94
4.1	人工神经网络理论	94
4.1.1	人工神经网络的概念	94
4.1.2	神经网络的发展历史	95

4.1.3	人工神经网络的特点	96
4.1.4	人工神经网络的分类	96
4.1.5	人工神经网络的结构	97
4.1.6	神经元特征函数	97
4.1.7	人工神经网络在污水处理中的应用	98
4.2	建立人工神经网络模型的技术路线	99
4.2.1	确定问题	99
4.2.2	解决方法	100
4.2.3	建立人工神经网络模型	100
4.2.4	模型的应用及信息反馈	104
4.3	基于人工神经网络的污水处理软测量模型	104
4.3.1	基于 BP 神经网络的污水处理系统软测量模型	104
4.3.2	基于 RBF 神经网络的污水处理系统软测量模型	114
5	基于统计回归的软测量技术	119
5.1	基于 MLR 的软测量技术	119
5.1.1	MLR 的基本原理	119
5.1.2	基于 MLR 的污水处理软测量模型	120
5.2	基于 MSR 的软测量技术	126
5.2.1	基本原理	126
5.2.2	基于 MSR 的软测量模型	129
5.3	基于 PCR 的软测量技术	131
5.3.1	PCR 的基本原理	131
5.3.2	基于 PCR 的污水处理软测量模型	132
5.3.3	基于 PCR 和 MLR 的软测量模型比较	135
5.4	基于 PLS 的软测量技术	135
5.4.1	PLS 方法概述	136
5.4.2	PLS 与 PCR 的比较	138
5.4.3	PLS 方法研究现状	140
5.4.4	基于 PLS 的污水处理软测量模型	146
6	污水处理厂测量仪表	149
6.1	仪器仪表	149
6.2	传统仪表	150
6.3	智能仪表	150
6.3.1	智能仪表的特点	150
6.3.2	智能仪表的结构	151
6.3.3	智能仪表的基本功能	151
6.3.4	国内外智能仪表的发展现状	152
6.3.5	智能仪表的发展趋势	152
6.4	综合仪表	153
6.4.1	常规智能仪表的不足	153
6.4.2	综合仪表的特点	154
6.5	污水处理厂测量仪表	154
6.5.1	工艺流程	155

6.5.2	污水处理过程仪表和传感器	155
6.5.3	污水处理厂计量监测仪表的配置	159
6.5.4	检测点的设置	161
6.5.5	仪表的设计选型原则	162
6.5.6	我国污水处理厂仪表应用的现状	162
6.5.7	智能仪表在污水处理厂的使用	162
6.6	在线软测量仪表	164
6.6.1	软测量技术的实现方法	164
6.6.2	软测量仪表的总体结构设计	164
6.6.3	软测量仪表的人机交互设计	165
7	污水处理厂自动控制概述	168
7.1	实现污水处理自动控制的技术背景	168
7.1.1	概述	168
7.1.2	控制系统概念	168
7.1.3	自动控制技术发展史	169
7.2	污水控制系统的发展过程	169
7.3	污水处理厂自动控制技术研究进展	171
7.3.1	我国污水处理厂自控系统发展状况	171
7.3.2	国外污水处理厂自控系统发展状况	172
7.4	污水处理控制技术的难点	173
7.5	污水处理自动控制的发展方向	174
7.6	污水处理厂智能控制技术	175
7.7	污水处理厂自动化控制的意义	177
8	现代污水处理厂三种控制技术	178
8.1	集散型计算机控制系统	178
8.1.1	概述	178
8.1.2	DCS 的网络结构及特点	178
8.1.3	DCS 的稳定性	179
8.2	现场总线控制系统	180
8.2.1	现场总线基本概念	180
8.2.2	现场总线产生的意义	180
8.2.3	现场总线的特点	181
8.2.4	五种典型的现场总线	182
8.2.5	现场总线的网络结构	184
8.2.6	基于现场总线的集散式计算机控制系统	188
8.2.7	现场总线技术展望与发展趋势	190
8.3	工业以太网控制系统	190
8.3.1	工业以太网技术概述	190
8.3.2	工业以太网技术的发展现状	191
8.3.3	工业以太网通讯协议	192
8.3.4	工业以太网关键问题	193
9	可编程逻辑控制器	201
9.1	可编程控制器的定义	201

9.2	PLC 的功能和特点	201
9.3	PLC 的分类和各部组成	203
9.3.1	分类	203
9.3.2	各部组成	203
9.4	PLC 的主要技术指标	204
9.5	PLC 的工作原理	205
9.6	PLC 的编程语言和过程控制	206
9.7	PLC 控制系统的发展趋势	207
9.8	PLC 控制系统冗余技术	207
9.9	PLC 在污水处理控制系统中的应用	209
9.9.1	污水处理控制系统的工艺流程及设备控制要求	209
9.9.2	污水处理控制系统的 PLC 选型和资源配置	210
9.9.3	污水处理控制系统程序设计和调试	211
9.9.4	污水处理控制系统 PLC 程序	213
10	污水处理厂计算机监控及数据分析系统	221
10.1	监控系统介绍	221
10.1.1	监控系统的含义及发展状况	221
10.1.2	监控系统的特点	221
10.1.3	监控系统的分类	222
10.1.4	监控系统的功能及结构	222
10.2	监控系统的设计	222
10.2.1	设计的原则	222
10.2.2	监控系统的技术要求	223
10.3	监控系统组成	223
10.4	工业组态软件	224
10.4.1	组态软件的特点	224
10.4.2	上位机组态软件的选择	225
10.4.3	工业组态软件介绍	225
10.5	数据分析系统	234
10.6	数据分析系统与监控系统的接口	234
11	污水处理自动控制系统设计	238
11.1	控制系统的设计要求	238
11.2	控制系统的结构设计	238
11.3	城市污水处理控制系统建立的功能	240
11.4	控制系统运行模式	240
11.5	控制系统方案	241
11.6	控制策略	241
11.7	自控系统设备及软件	243
11.7.1	控制系统上位机	243
11.7.2	控制系统下位机	245
11.8	上下位机通信方式的选用	248
11.8.1	数据通信基础知识	248
11.8.2	控制系统网络	249

12 污水处理厂各处理构筑物自动控制	252
12.1 过程仪表选择	252
12.2 粗格栅间控制	252
12.3 细格栅、沉砂池控制	256
12.4 鼓风机房过程控制	257
12.5 污泥脱水过程控制	260
12.6 变配电所过程控制	261
12.7 报警及报表	262
13 污水处理厂过程参数模糊控制	263
13.1 模糊控制的发展和应用	263
13.2 模糊控制的特点	264
13.3 模糊控制在污水处理中的应用	264
13.4 模糊控制器的理论分析	265
13.4.1 模糊控制系统	265
13.4.2 模糊控制器的控制原理与设计	266
13.5 污水处理 COD 模糊控制算法应用	275
13.6 污水处理 DO 模糊控制应用	280
14 污水处理厂自动控制应用实例	285
14.1 四川省新都污水处理厂自动控制	285
14.2 河南省鹤壁市污水处理厂自动控制	288
14.3 济源市污水处理厂自动控制	296
14.4 大连泉水污水处理厂自动控制	299
15 故障诊断的基本问题	308
15.1 故障诊断的一些基本概念	309
15.1.1 系统故障	309
15.1.2 故障诊断	310
15.2 故障诊断的任务和内容	310
15.3 故障诊断的过程	311
15.3.1 故障检测方法	311
15.3.2 故障诊断过程	312
15.4 故障诊断系统性能评价指标	313
15.5 故障诊断的代表性方法	313
15.5.1 基于解析模型的故障诊断方法	314
15.5.2 基于信号处理的方法	317
15.5.3 基于知识的故障诊断方法	318
15.6 故障诊断的智能化	320
15.7 故障诊断目前存在的主要问题和的发展趋势	321
15.7.1 故障诊断目前存在的主要问题和的发展趋势	321
15.7.2 智能故障诊断技术的发展趋势	322
16 污水处理厂异常问题诊断与修复	323
16.1 活性污泥生物处理工艺的主要运行问题	324
16.2 活性污泥系统异常问题产生的原因	324
16.2.1 活性污泥系统受损的原因	324

16.2.2	产生污泥膨胀的原因	325
16.2.3	产生生物浮沫的原因	326
16.3	异常问题诊断与修复体系	327
16.3.1	污泥系统异常问题的诊断技术	327
16.3.2	污水生物处理系统异常问题的解决对策	328
16.4	现代污水处理厂异常运行问题评定与控制方法	330
16.4.1	污泥膨胀、浮渣和泡沫中丝状菌的评定方法	330
16.4.2	污泥膨胀、浮渣和泡沫中丝状菌的控制方法	330
16.5	污泥系统受损的快速诊断指标	332
17	污水处理厂故障检测	334
17.1	污水处理工艺过程故障检测的意义	334
17.2	支持向量机用于故障检测的优势	335
17.3	支持向量机理论	335
17.3.1	统计学习理论与支持向量机	335
17.3.2	基于 SVM 的二值分类	339
17.3.3	支持向量机多分类算法	342
17.3.4	粗糙集-支持向量机混合方法	343
17.4	SVM 用于污水处理工艺过程故障检测的实例	345
17.4.1	加权 SVM 算法用于污水处理工艺过程故障检测	346
17.4.2	RS-SVM 方法用于污水处理工艺过程故障检测	347
18	污水处理工艺过程故障诊断系统设计 with 实现	349
18.1	智能故障诊断技术在污水处理领域的应用现状	349
18.2	基于专家系统的故障诊断方法	350
18.2.1	专家系统的基本概念与发展现状	351
18.2.2	专家系统的组成	351
18.2.3	专家系统与数据库的结合——专家数据库系统	354
18.2.4	专家系统在污水处理故障诊断中的应用	354
18.3	模糊专家系统概述	358
18.3.1	模糊变量的处理	359
18.3.2	模糊专家系统在解决实际问题中的优点	360
18.3.3	模糊专家系统的结构	361
18.3.4	模糊专家系统用于故障诊断	361
18.4	污水处理工艺过程故障诊断系统设计	363
18.4.1	数据库	363
18.4.2	模糊知识表示	364
18.4.3	推理机制的实现	368
18.4.4	解释机的实现	370
18.5	开发环境及工具	370
	参考文献	372

1 污水处理工艺流程及水质参数

流动的水体有自净能力，即一种使污染物转变成有用、无害物质的自然能力。这种自然过程是通过混合、活性生物作用、部分悬浮物的沉淀和清水稀释等在水量充足的河流中发生的。一个类似于自然净化作用的工艺，是从空气中吸收氧（好氧工艺），用设备促进微生物和藻类的生长繁殖，并通过它们进行污水中有机物的降解。当排污量超过水体的负荷能力时，氧气被耗尽，需氧过程停止，厌氧（缺氧）过程开始。污水处理的作用在于加速了自然净化的过程，使该过程以自然过程的几倍的速度重复进行。

1.1 常见的污水处理方法

目前城市污水和工业废水处理技术作为环境学科的一个分支，整体上已有了很大的进步，但还落后于我国城市发展的水平。近年来，国家和地方政府也非常重视污水处理事业，正以前所未有的速度推进城市污水处理工程的建设，有数百座污水处理厂正在工程设计和建设中，预计到2010年，我国要新建城市污水处理厂1000余座，污水厂的投资将达1800亿元。在这一进程中，城市污水处理工艺的选择，将是工程界面临的首要问题。目前，我国城市污水处理新兴工艺层出不穷，并以使用国外引入的工艺技术为主导潮流。就当前国际上污水处理科技发展现状看，并不存在适用于任何场合、有百利无一弊的所谓“最先进”技术，每一种工艺都有一个适用性问题。熟悉了解国内外这些工艺，对其利弊进行客观辩证的分析，因地制宜地合理选择适用技术，对城市污水处理工程设计和建设都有重要意义。

污水处理的分类方法很多，按采用的方法分主要有物理法、化学法、物理化学法和生物法（表1-1）。这些方法可以单一使用，也可以针对不同的污水水质组合使用。

表 1-1 常用的污水处理方法

物理法	化学法	物理化学法	生物法	物理法	化学法	物理化学法	生物法
格栅	混凝	吸附	好氧活性污泥	气浮	电解	吹脱与汽提	厌氧活性污泥
沉淀	消毒	离子交换	好氧生物膜	离心分离	化学沉淀	膜分离	厌氧生物膜
过滤	中和	萃取	氧化塘	调节匀和	氧化还原	蒸发与结晶	土地处理法

物理方法原理：通过物理作用分离、回收污水中不溶解的呈悬浮状的污染物质（油膜和油珠）。常用方法有重力分离法、离心分离法、过滤法及气浮法。

化学方法原理：向污水中投加某种化学物质，利用化学反应来分离、回收污水中的某些污染物质或使其转化为无害物质。常用方法有：化学沉淀法、混凝法、中和法、氧化还原法。

物理化学法原理：这是利用物理和化学的综合作用使废水得到净化方法。常用方法有液-液萃取法、吸附法、离子交换法、蒸发结晶法。

生物法原理：利用微生物的新陈代谢功能，使污水中呈溶解和胶体状态的有机污染物被降解并转化为无害的物质，可分为好氧生物处理和厌氧生物处理两个过程。

除了上述常见方法外,还有一种组合工艺处理法。组合工艺处理法可分为:物理+化学,物理+好氧生物处理,物理+厌氧生物处理,物理+组合生物处理,化学+物化,化学+好氧生物处理,化学+厌氧生物处理,化学+组合生物处理,物化+好氧生物处理,物化+厌氧生物处理,物化+组合生物处理。

污水生物处理法是 19 世纪末出现的污水处理技术。发展至今,它已经成为世界各国处理污水的主要手段,在污水处理领域中占有重要地位。我国现阶段的城市污水处理主要以生物法为主,物理法和化学法起辅助作用。生物处理法又可分为:普通活性污泥法,完全混合活性污泥法,AB 两段活性污泥法,厌氧-好氧活性污泥法(生物除磷),投药活性污泥法(除磷),强化硝化活性污泥法,缺氧-好氧活性污泥法(生物脱氮),好氧-缺氧-好氧活性污泥法(生物脱氮),厌氧-缺氧-好氧活性污泥法(生物同步除磷脱氮),序批式活性污泥法(SBR、ICEAS、CAST、CASS、DAT-IAT、MSBR、UNITANK),氧化沟(普通氧化沟、Orbal 氧化沟、Carrousel 氧化沟、交替工作型氧化沟、双沟 DE 型氧化沟、鼓风曝气型氧化沟),深井曝气活性污泥法,富氧活性污泥法,水解酸化好氧活性污泥法,阶段曝气活性污泥法,吸附再生活性污泥法,延时曝气活性污泥法,高负荷活性污泥法;生物滤池,生物转盘,生物接触氧化法,生物流化床,曝气生物滤池;厌氧生物处理法,厌氧接触法,上流式厌氧污泥床工艺,厌氧折流板反应器工艺,厌氧生物滤池,厌氧生物膨胀床,厌氧生物流化床,厌氧生物转盘。常见的污水生物处理法如下。

(1) 活性污泥法

自 1914 年英国曼彻斯特建成首家活性污泥处理试验厂以来,活性污泥法已经有 90 多年的历史。人们对活性污泥法的净化机理、反应规律、运行管理进行了深入的研究。

活化污泥法是根据絮凝动力学和生物吸附理论提出的“絮凝吸附-沉淀-活化”城市污水强化一级处理工艺。该工艺对污染物去除的强化作用主要包括污泥的絮凝、吸附和生物代谢 3 种,以前两者的作用为主。该工艺的特点是未经沉淀的生活污水原水与生物污泥同时进入

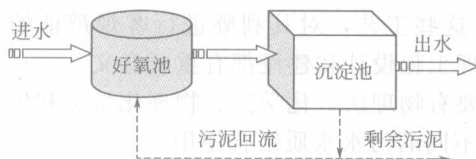


图 1-1 活性污泥法的工艺流程

混合反应器(絮凝吸附池),两者在机械搅拌作用下充分混合,经充分絮凝吸附反应后,大量污染物质被絮凝吸附进入污泥絮体,出水进入沉淀池,实现固液分离,而沉淀池出水就是最终出水(图 1-1)。为了恢复沉淀池饱和污泥的生物絮凝吸附活性,将沉淀污泥短时间曝气活化,

以部分降解吸附的有机物,产生适量的微生物絮凝物质,改善污泥的沉降性能,同时保持污泥的好氧状态,避免变黑、发臭。此过程在污泥活化池里进行,能耗远低于二级生物氧化反应。该工艺是适用于环境状况亟待改善而经济欠发达地区的一种实用技术。

活性污泥法的主要处理构筑物是曝气池和沉淀池。在曝气池停留一段时间后,污水中的有机物绝大部分被曝气池中的微生物吸附,氧化分解成无机物。在沉淀池中,呈絮状的微生物絮体(活性污泥)下沉,而上清液溢流排放。为保持曝气池中污泥的浓度,沉淀后的部分活性污泥又回流到曝气池中。活性污泥法的工艺流程见图 1-1。

多年的应用实践表明,此方法稳定可靠,已经积累了丰富的设计和管理经验,配套设备生产已经系列化。但该工艺容易产生污泥膨胀现象,除磷和脱氮效果差。

(2) A/O 法

A/O 法是在传统活性污泥法基础上发展起来的一种缺氧-好氧生物法处理工艺。由于该工艺中好氧池和缺氧池形成硝化-反硝化系统,具有明显的脱氮作用,但对曝气量和停留时间需要进行严格的控制,管理水平的要求比较高。A/O 法工艺流程见图 1-2。

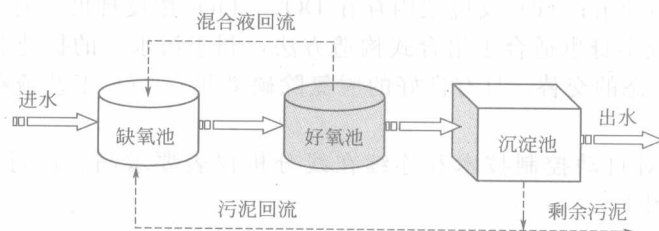
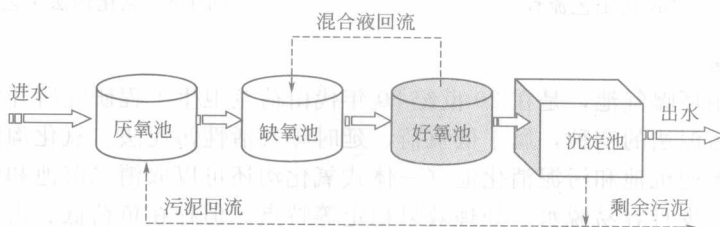


图 1-2 A/O 法工艺流程

(3) A²/O 法

A²/O 法即厌氧/缺氧/好氧工艺。它把除磷、脱氮和降解有机物三个生化过程巧妙地结合起来。但工艺条件比较复杂。A²/O 法工艺流程见图 1-3。

图 1-3 A²/O 法工艺流程

(4) A/B 法

A/B 法是吸附生物降解法 (Absorption Bio-degradation) 的简称，是德国亚深工业大学 Bohnke 教授于 20 世纪 70 年代中期开发的一种新工艺。该工艺不设初沉池，由污泥负荷较高的 A 段和污泥负荷较低的 B 段串联组成，并分别有独立的污泥回流系统。该工艺从 80 年代开始应用于生产实践。由于具有一些独特的优势，越来越受到污水处理界的青睐。但 A/B 法也存在污泥量大、构筑物及设备较多、运行管理复杂的缺点。A/B 法工艺流程见图 1-4。

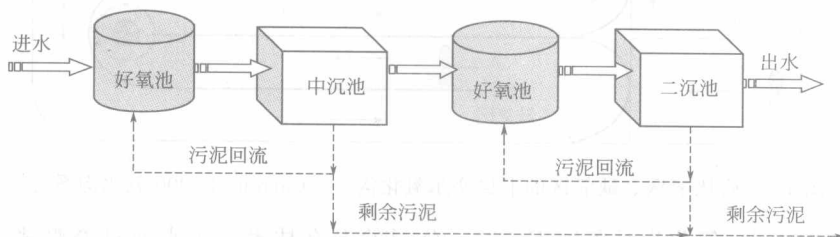


图 1-4 A/B 法工艺流程

(5) SBR 法

SBR (Sequencing Batch Reactor) 是序列间歇式活性污泥法的简称，是一种按间歇曝气方式运行的活性污泥处理技术，又称序批式活性污泥法。

SBR 技术采用时间分割的操作方式替代空间分割的操作方式，以非稳定生化反应替代稳态生化反应，以静置理想沉淀替代传统的动态沉淀。它的主要特征是运行的有序性和间歇操作，SBR 技术的核心是 SBR 反应池，该池集初沉、生物降解、二沉等功能于一体，无污泥回流系统。正是 SBR 工艺的这些特殊性使其具有以下优点：(a) 理想的推流过程使生化反应推动力增大，污水在理想的静止状态下沉淀，需要的时间短、效率高，运行效果稳定，出水水质好；(b) 耐冲击负荷，池内有滞留的处理水，对污水有稀释、缓冲作用，有效抵

抗水量和有机污物的冲击；(c) 反应池内存在 DO 、 BOD_5 浓度梯度，有效控制活性污泥膨胀；(d) SBR 法系统本身也适合于组合式构造方法，利于污水厂的扩建和改造；(e) 实现好氧、缺氧、厌氧状态的交替，具有良好的脱氮除磷效果；(f) 工艺流程简单、占地面积小、造价低。

但 SBR 法存在对自动控制技术和连续在线分析仪表要求高、运行管理复杂的缺点。SBR 法工艺流程见图 1-5。

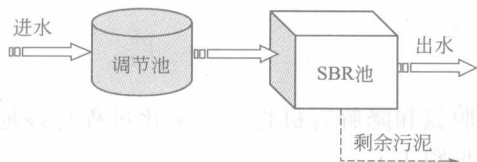


图 1-5 SBR 法工艺流程

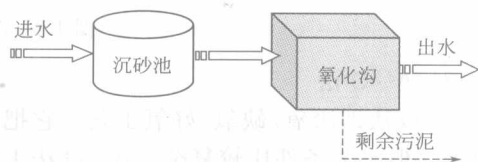


图 1-6 氧化沟法工艺流程

(6) 氧化沟法

氧化沟又称循环曝气池，是在 20 世纪 50 年代由荷兰卫生工程研究所开发的一种工艺技术。该法是活性污泥法的变种，属于低负荷、延时曝气活性污泥法。氧化沟法具有处理工艺及构筑物简单、无初沉池和污泥消化池（一体式氧化沟还可以取消二沉池和污泥回流系统）、泥龄长、剩余污泥少且容易脱水、处理效果稳定等特点。但存在负荷低、占地大的缺点。氧化沟法工艺流程见图 1-6。图 1-7 为带厌氧区、缺氧区的卡鲁塞尔氧化沟——Carrousel 2000 氧化沟系统。

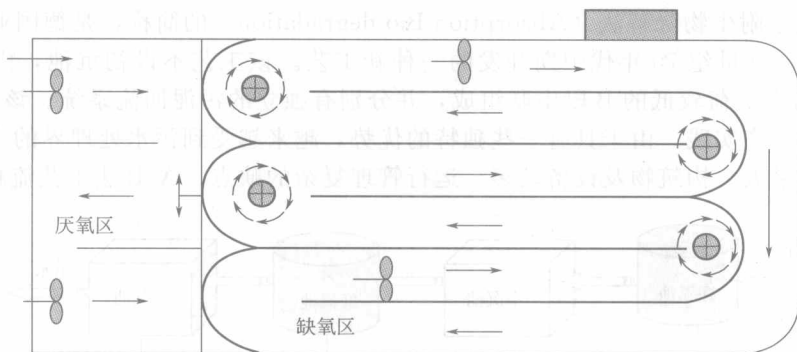


图 1-7 带厌氧区、缺氧区的卡鲁塞尔氧化沟——Carrousel 2000 氧化沟系统

奥贝尔 (Orbal) 氧化沟是美国 Envirex 公司的专有技术。污水通过淹没式输水口从一条渠道顺序流入下一条渠道。水深 3~3.6m，渠道中污水流速 0.3~0.9m/s。三条串联的渠道形成溶解氧浓度梯度。第 0 渠道溶解氧浓度一般为 0~0.3mg/L，第 1 渠道中溶解氧浓度控制在 1mg/L 左右，第 2 渠道中溶解氧浓度控制在 2mg/L 左右（图 1-8）。

(7) MBR 法

MBR(Membrane Bioreactor) 是膜生物反应器的简称，是由膜分离技术和传统的生物技术相结合而产生的一种先进、高效的污水生物处理技术。该法由膜分离技术代替了传统的二沉池，且又具有处理水质好而稳定、设备简单紧凑、能耗低、剩余污泥产量低等优点而受到人们的普遍重视。日本等发达国家早在 20 世纪 70 年代就进行了大量的研究。近年来，这种工艺作为一种新型高效的废水处理技术，在高层建筑的中水处理、粪便废水处理以及工业废水处理等方面得到越来越广泛的关注。膜生物反应器的基本原理与常规活性污泥法相似，不

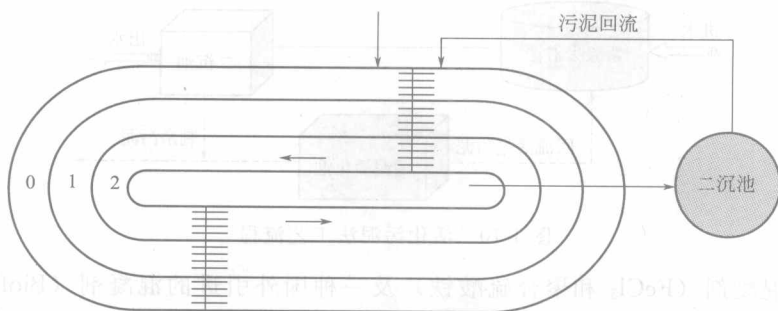


图 1-8 奥贝尔 (Orbal) 氧化沟——转盘或者转刷

同的是它结合了高效膜分离技术，将活性污泥几乎全部截留在反应器内，实现水力停留时间 (HRT) 和污泥泥龄 (SRT) 的完全分离，使反应器内微生物浓度大大提高，从而提高装置的容积负荷。具有占地面积小、污染物去除效率高、出水水质好、污泥产量低等优点。但对膜的日常维护要求比较高。近年来有关 MBR 的研究在国外已有报道，而国内的研究却起步较晚。但 MBR 以其独特的优势越来越受到污水处理界的关注。MBR 法工艺流程见图 1-9。

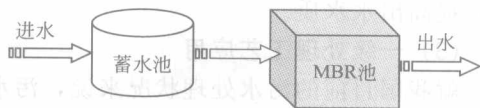


图 1-9 MBR 法工艺流程

1.2 污水的三级处理工艺

虽然污水处理的工艺种类繁多，但通常认为污水处理要达到要求的处理效果（良好的出水水质）必须包括以下几个步骤：（a）一级处理（预处理），用物理过程去除水中粗大颗粒或悬浮物，利用格栅去除沙粒和油脂，用沉淀池进行重力沉淀去除污水中原有的污泥；（b）二级处理，有溶解氧存在的生物处理（好氧工艺），常规的方法又可分为氧化塘、滴滤池、活性污泥法以及以上方法的不同组合；（c）三级处理，有常规工艺、MBR 技术和 LM 深度处理技术。

1.2.1 一级处理工艺

一级强化处理技术分为两类：一类侧重于物化机理；另一类侧重于微生物的絮凝吸附原理。目前国内外研究的一级处理工艺主要如下。

（1）活化污泥法

活化污泥法是根据絮凝动力学和生物吸附理论提出“絮凝吸附-沉淀-活化”的城市污水强化一级处理工艺。该工艺对污染物去除的强化作用主要包括污泥的絮凝、吸附和生物代谢三种，以前两者的作用为主。活化污泥法工艺流程见图 1-10。

（2）混凝沉淀强化法

混凝沉淀强化法目前主要应用于给水处理和部分工业废水处理。由于需要投加大量的混凝剂且污水水质常常急剧变化，限制了其在城市污水处理领域中的应用，一般仅应用于城市污水的深度处理中。

近年来，随着许多新型、高效、廉价的混凝剂的出现和自动化技术的广泛应用，混凝法与污水生物处理法相比具有较强的竞争力。例如，对北京市城市污水进行试验，结果表

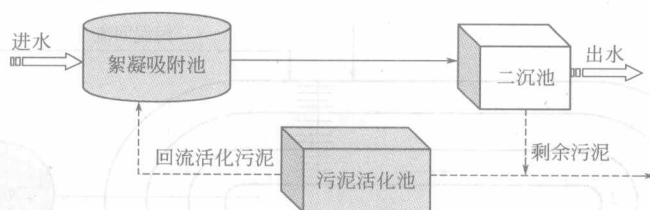


图 1-10 活化污泥法工艺流程

明，两种传统混凝剂（ FeCl_3 和聚合硫酸铁）及一种国外引进的混凝剂（Biofloc），经过混凝沉淀强化一级处理后，污水中 COD 的去除率可达 50%~80%，而处理成本仅为二级处理的 1/5~1/3，既能有效地削减污染物总量，又节约了治理资金，在现阶段十分符合我国国情。此外，经强化一级处理后的污水再进行二级处理时，停留时间可以大大缩短，减少能耗，提高出水水质。

(3) 一级处理工艺应用

就我国目前的污水处理状况来说，污水处理率一直较低，而解决城市污水污染的根本措施是建设以生物处理为主体工艺的二级城市污水处理厂，但这需要大量的投资和高额运行费用。对我国不少地区，特别是经济欠发达地区和中小城市而言，有必要应用投资低、污染物去除率较高的城市污水强化一级处理工艺。根据我国目前水处理的发展状况，混凝沉淀强化一级处理工艺在我国应用较多。目前一级处理工艺的发展主要集中在研究和应用高效、廉价的絮凝剂以及微生物絮凝剂，同时研究无机絮凝剂与其他各类絮凝剂协同作用效果，以及对一级处理工艺设备的优化选型等方面。

1.2.2 二级处理工艺

二级处理工艺流程的发展主要是在原有的传统处理工艺流程上进行某一个方面的强化处理，使某一处理水的某一或某几个指标达到一定的标准。

(1) 序批式工艺

① 传统的 SBR 法 SBR 工艺即间歇式活性污泥法，它由一个或多个曝气反应池组成，污水分批进入池中，经活性污泥净化后，上清液排出池外即完成一个运行周期。每个工作周期顺序完成进水、反应、沉淀、排放 4 个工艺过程。SBR 工艺的特点是具有一定的调节均化功能，可缓解进水水质、水量波动对系统带来的不稳定性。工艺处理简单，

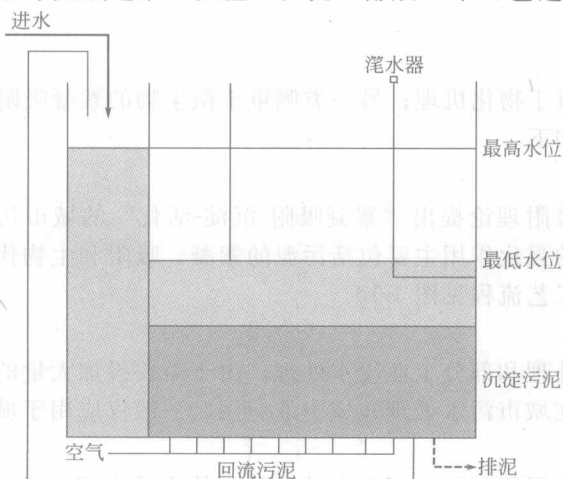


图 1-11 CASS 工艺流程

处理构筑物少，曝气反应池集曝气、沉淀、污泥回流于一体，可省去初沉池、二沉池及污泥回流系统，且污泥量少，易于脱水，控制一定的工艺条件可达到较好的除磷效果，但也存在对自动控制和连续在线分析仪器仪表要求高的缺点。

② CASS 工艺 CASS 工艺（Cyclic Activated Sludge System）是一种连续进水式 SBR 曝气系统，不仅具有 SBR 工艺简单可靠、运行方式灵活、自动化程度高的特点，且除磷脱氮效果明显。这一功能主要实现于 CASS 池通过隔墙