

CHENGZHEN WUSHUI

CHULI JI ZAISHENG LIYONG GONGYI SHOUCHE

城镇污水

处理及再生利用工艺手册

刘 操 主编

中国环境出版社

城镇污水处理及再生利用工艺手册

刘 操 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

城镇污水处理及再生利用工艺手册/刘操主编. —北京:
中国环境出版社, 2015.3
ISBN 978-7-5111-2262-9

I. ①城… II. ①刘… III. ①城市污水处理—
手册②城市污水—废水综合利用—手册 IV. ①X703-62
②X799.303-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 037336 号

出版人 王新程
责任编辑 丁莞歆
责任校对 尹芳
封面设计 岳帅

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)
010-67175507 (科技标准图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 4 月第 1 版
印 次 2015 年 4 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 5.75
字 数 135 千字
定 价 28.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

编委会

主 编：刘 操

参编人员：何 刚 黄炳彬 顾永钢 邱彦昭

序

为加强污水处理和再生水利用工作，破解污水处理设施建设滞后于城市发展速度的难题，北京市政府于2012年6月发布了《关于进一步加强污水处理和再生水利用工作的意见》，并于2013年4月出台了《加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案（2013—2015年）》，进一步明确了污水处理和再生水利用工作在首都生态文明建设中的重要性和紧迫性。要求到“十二五”末建成一批再生水厂、配套管线以及污泥无害化处理设施，构建完善的运营及监管体制，实现首都水环境的明显好转。

本手册的编制结合北京市水务工作特点和北京地区水污染控制与治理的具体实际，总结国内外城镇污水处理及再生水利用领域的常见工艺，重点针对现行新标准的要求，结合案例分析，介绍若干种能满足相关出水水质标准的工艺组合方案，以及城镇污水处理厂的建设流程，为加快污水处理和再生水利用设施建设提供技术参考。

王洪臣

2015年3月

目 录

第 1 章 概 述.....	1
1.1 北京市社会经济发展概况.....	1
1.2 北京市投运污水处理设施.....	2
1.3 北京市污水处理和再生水利用设施建设需求.....	3
第 2 章 常规处理工艺.....	4
2.1 传统活性污泥工艺.....	5
2.1.1 概述.....	5
2.1.2 工艺特征.....	6
2.1.3 常见问题及对策.....	8
2.2 A ² /O 及其变型工艺	14
2.2.1 概述.....	14
2.2.2 工艺特征.....	15
2.2.3 A ² /O 的变型工艺	16
2.2.4 小结.....	20
2.3 氧化沟工艺.....	20
2.3.1 概述.....	20
2.3.2 工艺特征.....	21

2.3.3	工艺分类.....	25
2.3.4	小结.....	33
2.4	SBR 工艺.....	34
2.4.1	概述.....	34
2.4.2	工艺特征.....	34
2.4.3	SBR 的变型工艺.....	36
2.4.4	小结.....	40
2.5	生物膜工艺.....	40
2.5.1	概述.....	40
2.5.2	工艺特征.....	42
2.5.3	工艺分类.....	44
2.6	其他工艺.....	51
2.6.1	IFAS 工艺.....	51
2.6.2	MBBR 工艺.....	54
2.7	本章小结.....	59
第 3 章	深度处理工艺.....	65
3.1	混凝沉淀.....	65
3.1.1	概述.....	65
3.1.2	混凝原理及混凝剂.....	66
3.1.3	影响混凝效果的因素.....	70
3.1.4	沉淀.....	73
3.2	介质过滤.....	81
3.2.1	概述.....	81
3.2.2	过滤分类.....	82

3.2.3	深层过滤工艺.....	82
3.2.4	表面过滤工艺.....	90
3.2.5	小结.....	92
3.3	膜分离工艺.....	96
3.3.1	膜分离概述.....	96
3.3.2	膜与膜组件.....	97
3.3.3	膜过程.....	106
3.3.4	膜生物反应器 (MBR)	114
3.3.5	小结.....	119
3.4	消毒工艺.....	123
3.4.1	液氯消毒.....	123
3.4.2	二氧化氯.....	128
3.4.3	紫外线消毒.....	132
3.4.4	臭氧消毒.....	139
3.4.5	小结.....	144
3.5	其他工艺.....	147
3.5.1	高级氧化.....	147
3.5.2	活性炭吸附.....	150
3.5.3	离子交换.....	153
第 4 章	推荐组合工艺与案例.....	158
4.1	概述.....	158
4.2	二级处理+混凝沉淀+ (过滤) +消毒	159
	案例: Snake River 污水处理厂	160
4.3	二级处理+过滤+消毒	162

案例: Walton 污水处理厂	162
4.4 二级处理+生物滤池+(过滤)+消毒	165
案例一: Howard F.Curren 污水处理厂: 生物处理+ DNF+消毒	166
案例二: 锡拉丘兹城市污水处理厂	170
4.5 二级处理+膜分离+消毒	170
案例: 北京清河再生水厂	171
4.6 一级处理+MBR+消毒	173
案例: 德国北运河污水处理厂	174

第 1 章 概 述

1.1 北京市社会经济发展概况

2013 年北京市常住人口和地区生产总值，详见表 1-1。

表 1-1 2013 年年末北京市常住人口和地区生产总值

地区	常住人口/ 万人	常住人口密度/ (人/km ²)	地区生产总值/ 亿元
全市	2 114.8	1 289	19 501
首都功能核心区	221.2	23 942	4 397
东城区	90.9	21 715	1 571
西城区	130.3	25 787	2 826
城市功能拓展区	1 032.2	8 090	9 172
朝阳区	384.1	8 440	3 964
丰台区	226.1	7 394	1 008
石景山区	64.4	7 638	365
海淀区	357.6	8 302	3 835
城市发展新区	671.5	1 067	4 117
房山区	101.0	508	482
通州区	132.6	1 463	500
顺义区	98.3	964	1 232

地区	常住人口/ 万人	常住人口密度/ (人/km ²)	地区生产总值/ 亿元
昌平区	188.9	1 406	557
大兴区	150.7	1 454	432
北京经济技术开发区			913
生态涵养发展区	189.9	217	781
门头沟区	30.3	209	124
怀柔区	38.2	180	200
平谷区	42.2	444	169
密云县	47.6	214	195
延庆县	31.6	158	92

由表 1-1 可知, 2013 年北京市全市常住人口 2 114 万人, 其中朝阳、海淀和丰台区人口最多, 分别为 384.1 万人、357.6 万人和 226.1 万人。北京市常住人口密度各地区相差较大, 其中首都功能核心区人口密度达 23 942 人/km², 而生态涵养发展区人口密度仅为 217 人/km²。2013 年, 北京市地区生产总值达 19 501 亿元, 其中第一、第二、第三产业地区生产总值分别为 162 亿元、4 352 亿元和 14 986 亿元。因此, 北京市城镇污水以生活污水为主, 工业废水比例很小。

1.2 北京市投运污水处理设施

截至 2014 年 4 月, 北京市共有 77 个污水处理设施, 日处理能力达 355 万 m³, 各类工艺如表 1-2 所示。其中, 活性污泥工艺包括传统活性污泥法、氧化沟、A²O 和 SBR 等仍占据主要地位。MBR 主要应用于再生水厂, 例如北小河、清河再生水厂。

表 1-2 北京市污水处理所用工艺类型

工艺	污水处理厂/个
传统活性污泥工艺	18
氧化沟及其改良	16
A ² /O 及其改良	13
SBR 及其改良	16
生物膜法	8
MBR	6

然而，由于北京市经济社会的快速发展及人口的过快增长，致使现有污水处理设施能力不足。清河、小红门等污水处理厂超负荷运行，每天有 50 万~60 万 t 污水未经处理污水直接排入河道。

1.3 北京市污水处理和再生水利用设施建设需求

根据《北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案（2013—2015 年）》指出，到“十二五”末，全市需新建再生水厂 47 座，所有新建再生水厂主要出水指标一次性达到地表水 IV 类标准；升级改造污水处理厂 20 座，新增污水处理能力 228 万 m³/d。因此，北京市亟须建设一批再生水厂。本手册旨在介绍城镇污水处理及再生利用常用工艺及其组合工艺，为加快北京市污水处理设施提供技术参考。

第 2 章 常规处理工艺

目前，城镇污水处理厂的生物处理单元主要由活性污泥工艺和生物膜工艺组成。活性污泥法主要有普通活性污泥法及其变型工艺、氧化沟工艺、SBR 工艺等组成。活性污泥法的主要工艺分类见图 2-1。

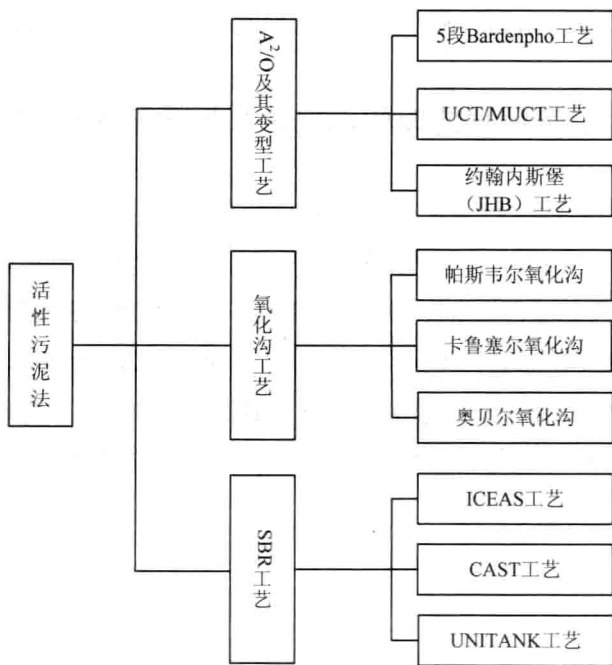


图 2-1 活性污泥处理工艺分类图

生物膜法主要由生物滤池工艺、生物转盘工艺、生物接触氧化工艺、生物流化床工艺等组成。生物膜法的主要工艺分类见图 2-2。还有将活性污泥与生物膜结合为一体的工艺，如 IFAS 与 MBBR 工艺。

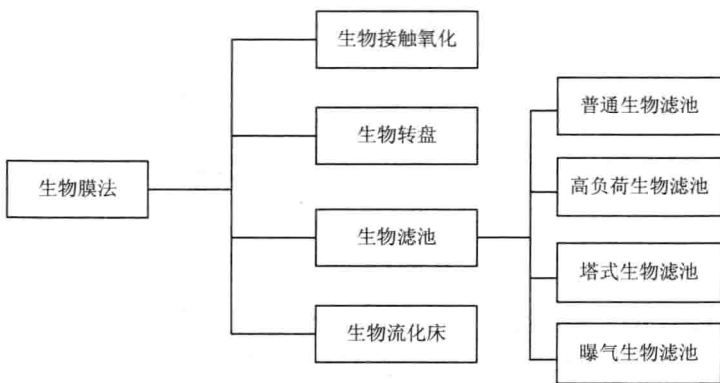


图 2-2 生物膜处理工艺分类图

2.1 传统活性污泥工艺

2.1.1 概述

普通活性污泥工艺，又称传统活性污泥工艺（Conventional Activated Sludge Process），原污水从曝气池首段进入池内，由二次沉淀池回流的回流污泥也同步注入曝气池。这里的曝气池是完全好氧状态，不是缺氧或厌氧池，如图 2-3 所示。污水与回流污泥形成的混合液在池内呈纵向混合的推流式流动，在池的末端留出池外进入二次沉淀池，在二次沉淀池中处理后的污水与活性污泥分离，部分

污泥回流至曝气池，部分污泥作为剩余污泥排出系统。

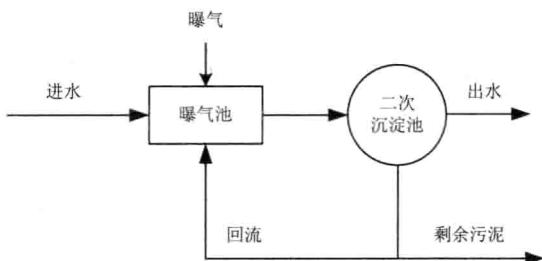


图 2-3 传统活性污泥工艺示意图

传统活性污泥工艺是最基本的活性污泥工艺，其他的各种工艺（A/O、A²/O、氧化沟等工艺）都是在此基础上发展而成的。就水质而言，传统活性污泥工艺的主要目的是去除有机物和悬浮物（SS），对于典型的生活污水，传统活性污泥工艺能使出水 BOD₅<20 mg/L、SS<20 mg/L。

一般理解上，传统活性污泥工艺不具备去除氨氮的能力，但在实际的污水处理厂中，经常会观察到硝化的现象，而且对于池容较为宽裕的污水处理厂，合理的优化运行调控往往能达到较为理想的硝化效果。

2.1.2 工艺特征

一般而言，传统活性污泥工艺在进水质量、水质相对稳定的条件下可以获得良好的出水效果，这一点已经在世界各地的污水处理厂得到证实。对于典型的生活污水，传统活性污泥法对于 BOD₅ 和悬浮物的去除率都很高，达到 90%~95%。运行良好的传统活性污泥法可以得到如下的出水水质：COD40~60 mg/L，BOD₅ 10~

20 mg/L, SS 10~20 mg/L。如果在沉淀池之后辅以过滤措施,出水水质可以进一步降低,一般过滤之后的出水 $BOD_5 < 5 \text{ mg/L}$ 、 $SS < 5 \text{ mg/L}$ 。

传统活性污泥工艺对进水 COD 有较高的承受能力,对于 COD $< 1\,000 \text{ mg/L}$ 的生活污水,传统活性污泥工艺都没有问题。实际上,即使是 COD $> 1\,000 \text{ mg/L}$ 的污水,传统活性污泥工艺也能处理,但此时就变得不那么经济,厌氧处理则显得更为合适。

活性污泥工艺不仅对有机物有良好的去除效果,还对病原微生物有相当的去除效果。活性污泥工艺对病原微生物的去除主要是通过沉淀、吸附与污泥絮体结合在一起,去除效果一般为 40%~99%。例如活性污泥工艺对蛔虫卵的去除主要是通过泥水分离来实现的,曝气过程本身对蛔虫卵、隐孢子虫和贾第鞭毛虫并没有多少去除效果。肠道微生物的去除主要是通过吸附、沉淀附着于污泥絮体上,因此污泥上的病原微生物的含量非常高。

然而,传统活性污泥工艺也存在自身的局限性:

(1) 剩余污泥量大。对于活性污泥工艺,去除有机物的同时也必然形成大量的污泥,这是活性污泥工艺无法回避的问题,当然也是活性污泥工艺的一大弊端。很多污水处理厂在设计之初往往低估了产泥量,造成日后污泥脱水运行困难,脱水机超负荷运行。

(2) 池容大,能耗高。曝气池首端有机污染负荷高,好氧速率也高,为避免由于缺氧而形成厌氧状态,进水有机负荷不宜过高。因此,在处理同样水量时,与其他类型的活性污泥法相比,曝气池容积相对庞大,能耗也高。

(3) 耐冲击负荷差。传统活性污泥工艺耐冲击负荷能力差,进水水质水量变化剧烈时运行困难。因此,传统活性污泥工艺适用于

大中型污水处理厂(日处理能力在 20 万 t 以上),对小规模的生活污水、娱乐场所排出的生活污水及水质水量变化较大的工业废水,如不采取调节措施,则不宜采用。

2.1.3 常见问题及对策

活性污泥工艺常见问题主要是污泥膨胀和泡沫现象,下文将详细介绍这两类主要问题的分类、成因以及控制方法。

2.1.3.1 污泥膨胀

污泥膨胀是活性污泥工艺中常见的一种异常现象,是指活性污泥由于某种因素的改变,导致污泥沉降性能恶化,污泥随二沉池出水流失。发生污泥膨胀后,流失的污泥极易使出水悬浮物超标,如不采取控制措施,污泥继续流失会使曝气池微生物量锐减,不能满足氧化分解污染物质的需要。活性污泥的 SVI 值在 100 左右,其沉性性能较佳;当 SVI 值超过 150 时,预示着活性污泥即将或已经发生膨胀现象,应立即采取控制措施。

(1) 污泥膨胀的分类

污泥膨胀可以分为丝状菌膨胀和非丝状菌膨胀两大类。

① 丝状菌膨胀

丝状菌污泥膨胀是指活性污泥絮体中的丝状菌过度繁殖而导致的污泥膨胀。活性污泥中通常含有一定数量的丝状菌,丝状菌形成活性污泥絮体的骨架。如果丝状菌数量过低,活性污泥则不能形成较大的絮状体,沉降性能不好;如果丝状菌过度繁殖,则极易形成丝状菌膨胀。