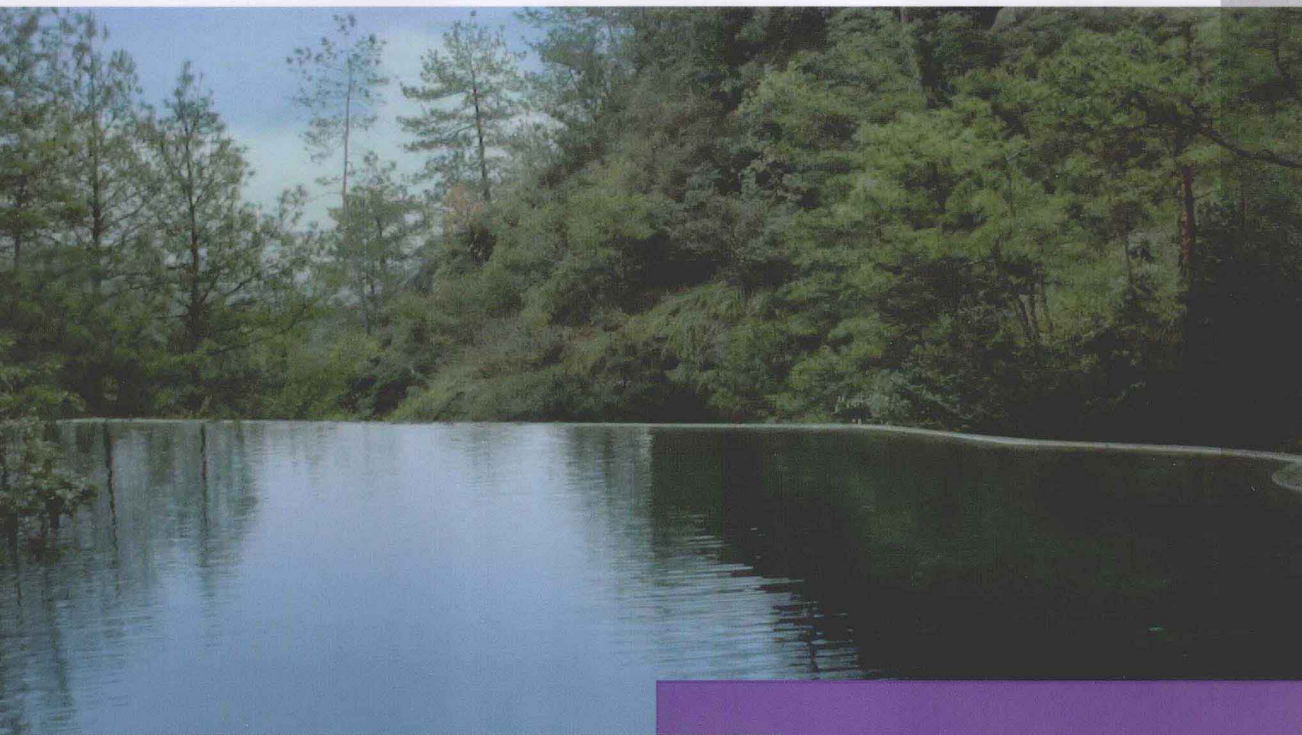


环境工程案例教程丛书

水污染控制 案例教程

张尊举 伦海波 张仁志 编

SHUIWURAN KONGZHI
ANLI JIAOCHENG



化学工业出版社

环境工程案例

水污染控制 案例教程

张尊举 伦海波 张仁志 编



化学工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了常用城市生活污水和工业废水处理技术的发展、基本原理、工艺类型、工艺构造及工艺流程,并收集了相应工程实例。所选实例均是近年来比较典型的具有代表性的污水处理工程,涵盖不同工艺类型、不同行业、不同出水水质要求以及不同规模的水处理工程。实例中介绍了工程概况、设计要点、工艺流程及特点,主要构筑物及设备和运行效果,还介绍了技术经济指标。

本书可供从事水污染控制工程的设计人员、技术人员以及市政给排水专业设计人员参阅和学习,也可作为高等学校环境工程专业、水污染控制工程相关课程的案例教材、实习培训和毕业设计的重要参考资料。



图书在版编目(CIP)数据

水污染控制案例教程/张尊华,张伦,张海波,张广编.
北京:化学工业出版社,2013.9
(环境工程案例教程丛书)
ISBN 978-7-122-18203-6

I. ①水… II. ①张…②伦…③张… III. ①水污染-
污染控制-教材 IV. ①X520.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 188875 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:宋 夏

装帧设计:关 飞

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 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 400 千字 2014 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:58.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着我国经济和社会的发展,环境保护受到了各级政府和公众的重视,绿色经济和可持续发展的理念已深入人心,政府对水环境污染严峻的现实以及控制水污染紧迫性的认识不断提升。水污染控制的工艺技术不断发展,为了更广泛地传播水污染处理技术和知识,提高读者对常规水处理工艺的认知,快速了解我国近年来主要水处理工艺的应用情况,为新建、改建、扩建污水处理工程设计提供借鉴,推广水污染控制的成功经验和案例,我们编写了《水污染控制案例教程》一书。

本书选择了城市生活污水和工业废水处理的常规技术和工艺,介绍了氧化沟工艺、间歇式活性污泥工艺、脱氮除磷工艺、生物接触氧化工艺、生物滤池工艺、厌氧生物处理工艺等污水生物处理技术的发展、工艺原理、特点、构造和工艺类型,收集整理了相关工艺的污水、废水处理工程实例,这些工程实例均是近年来比较典型的且在实际运行中获得成功的典型案例,具有一定的实用性和借鉴性。

本书可作为高等学校环境工程专业、水污染控制工程相关课程的案例教材,为学生尽快了解水污染控制工程技术提供实际帮助,也可供从事水污染控制工程的设计人员、技术人员以及市政给排水专业设计人员参阅和学习,为城市和企业污废水处理运营技术人员提供参考,也可以作为环境保护行政管理、项目论证审批、环境监督管理、总量控制与减排、环境监测等相关专业的技术人员了解水污染控制技术的重要参考资料。

本书由中国环境管理干部学院张尊举、伦海波、张仁志编写,孙蕾、张一婷等参加了部分编写工作,在此表示感谢。

由于编写人员学术水平、工程经验以及时间所限,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013年6月于秦皇岛

目 录

1 氧化沟活性污泥处理工艺	1
1.1 氧化沟工艺简介	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 氧化沟工艺原理	1
1.1.3 氧化沟工艺特点	2
1.2 常用的氧化沟工艺类型	3
1.2.1 卡鲁塞尔 (Carrousel) 氧化沟	3
1.2.2 奥贝尔 (Orbal) 氧化沟	4
1.2.3 交替工作式氧化沟	5
1.2.4 一体化氧化沟	6
1.3 氧化沟工艺的优化	6
1.3.1 氧化沟工艺单池系统优化	6
1.3.2 氧化沟工艺曝气方式的优化	7
1.3.3 氧化沟工艺的工况参数优化	8
1.4 氧化沟工艺的工程应用实例	9
1.4.1 卡鲁塞尔氧化沟工艺在城市污水处理改造工程中的应用	9
1.4.2 改良型氧化沟工艺在城市生活污水处理的应用	14
1.4.3 一体化氧化沟工艺在城市污水处理的应用	19
1.4.4 氧化沟工艺在制糖废水处理中的应用	25
1.4.5 氧化沟工艺在制革废水处理中的应用	28
1.4.6 氧化沟工艺在造纸废水处理中的应用	33
2 间歇式 SBR 活性污泥处理工艺	36
2.1 SBR 活性污泥处理工艺介绍	36
2.1.1 概述	36
2.1.2 工作原理	36
2.1.3 SBR 法的工艺特点	37
2.1.4 SBR 工艺的适用范围	38
2.2 常用的 SBR 工艺类型	38
2.2.1 间歇循环延时曝气活性污泥法 (ICEAS)	38

2.2.2	循环式活性污泥法 (CASS)	40
2.2.3	连续和间歇曝气工艺 (DAT-IAT)	41
2.2.4	MSBR 工艺	42
2.2.5	其他新型 SBR 的研究及开发	44
2.3	SBR 工艺的工程应用实例	44
2.3.1	CAST 工艺在城市生活污水处理中的应用	44
2.3.2	DAT-IAT 工艺在城市生活污水处理中的应用	49
2.3.3	两段 SBR 法在食品加工废水处理中的应用	52
2.3.4	CASS 工艺在钢材加工废水处理中的应用	55
2.3.5	SBR 工业在造纸废水处理中的应用	57
2.3.6	SBR 法在化工废水处理中的应用	60
2.3.7	CASS 在垃圾渗滤液处理中的应用	63
2.3.8	CASS 法在医院废水处理中的应用	67
2.3.9	CASS 法在养殖废水处理中的应用	69

3 生物脱氮除磷工艺 74

3.1	生物脱氮除磷工艺介绍	74
3.1.1	概述	74
3.1.2	生物脱氮除磷的工作原理	75
3.2	典型的生物脱氮除磷工艺	79
3.2.1	生物脱氮工艺	79
3.2.2	生物除磷工艺	80
3.2.3	同步脱氮除磷工艺	82
3.3	生物脱氮除磷工艺的工程应用实例	84
3.3.1	A ² /O 工艺在城市生活污水处理中的应用	84
3.3.2	A ² /O 工艺在城市污水处理中的应用	89
3.3.3	UCT 工艺在城市污水处理中的应用	96
3.3.4	A/O 工艺在小区污水处理中的应用	103
3.3.5	A/O 工艺在油脂废水处理中的应用	108
3.3.6	A ² /O 工艺在大豆制油废水处理中的应用	111
3.3.7	A/O 工艺在化肥行业废水处理中的应用	114

4 生物接触氧化处理工艺 118

4.1	生物接触氧化工艺简介	118
4.1.1	概述	118
4.1.2	生物接触氧化工艺原理	118
4.1.3	生物接触氧化工艺特征	119
4.1.4	生物接触氧化池的类型	120
4.2	生物接触氧化工艺的工程应用实例	120
4.2.1	BOC 在淀粉生产废水处理中的应用	120

4.2.2	BOC 工艺在屠宰废水处理中的应用	123
4.2.3	BOC 工艺在啤酒生产废水处理中的应用	128
4.2.4	BOC 工艺在皮革加工生产废水处理中的应用	130
4.2.5	BOC 工艺在印染废水处理中的应用	134
4.2.6	BOC 工艺在垃圾渗滤液处理中的应用	137
5	生物滤池处理工艺	141
5.1	生物滤池工艺简介	141
5.1.1	概述	141
5.1.2	生物滤池工艺原理	141
5.1.3	生物滤池的构造	143
5.1.4	生物滤池工艺特点	144
5.2	常见的生物滤池工艺	145
5.2.1	生物滤池的基本流程与分类	145
5.2.2	普通生物滤池	145
5.2.3	曝气生物滤池	147
5.2.4	其他形式的生物滤池	149
5.3	生物滤池工艺的工程应用实例	149
5.3.1	生物滤池在生活污水处理回用中的应用	149
5.3.2	生物滤池在啤酒水处理中的应用	154
5.3.3	生物滤池在制糖废水处理中的应用	162
5.3.4	生物滤池在食品废水处理中的应用	166
5.3.5	生物滤池在农药生产废水处理中的应用	169
5.3.6	生物滤池在养猪粪便废水处理中的应用	173
6	厌氧生物处理工艺	177
6.1	厌氧生物处理工艺简介	177
6.1.1	概述	177
6.1.2	厌氧工艺原理	178
6.1.3	厌氧工艺特点	178
6.2	常见的厌氧生物处理工艺	179
6.2.1	普通厌氧消化池	180
6.2.2	厌氧接触法	181
6.2.3	升流式厌氧污泥床反应器	182
6.2.4	膨胀颗粒污泥床	183
6.2.5	其他厌氧处理工艺	184
6.3	厌氧生物处理工艺的工程应用实例	186
6.3.1	厌氧生物反应器在化工废水处理中的应用	186
6.3.2	升流式厌氧污泥床反应器在造纸废水处理中的应用	189
6.3.3	膨胀颗粒污泥床在淀粉废水处理中的应用	194

6.3.4 厌氧折流板反应器在医药生产废水处理中的应用	197
7 MBR 处理工艺	201
7.1 MBR 处理工艺简介	201
7.1.1 概述	201
7.1.2 MBR 工艺原理	201
7.1.3 MBR 工艺的特点	202
7.1.4 MBR 工艺的缺陷	203
7.2 常见的 MBR 工艺类型	204
7.2.1 曝气膜-生物反应器	204
7.2.2 萃取膜-生物反应器	205
7.2.3 固液分离型膜-生物反应器	205
7.3 MBR 处理工艺的工程应用实例	207
7.3.1 MBR 工艺在污水处理厂改造中的应用	207
7.3.2 MBR 工艺在垃圾渗滤液处理中的应用	210
7.3.3 MBR 工艺在啤酒废水处理中的应用	214
7.3.4 MBR 工艺在小区中水回用中的应用	217
附录 水污染治理工程技术导则 (节选)	220
参考文献	244

1.1 氧化沟工艺简介

1.1.1 概述

氧化沟也称为连续循环曝气池，是活性污泥法的一种变形。氧化沟污水处理工艺是在 20 世纪 50 年代由荷兰卫生工程研究所研制成功的。自 1954 年在荷兰首次投入使用以来，由于其出水水质好、运行稳定、管理方便等特点，已广泛应用于生活污水和工业废水的处理。

20 世纪 80 年代以来，随着我国城镇化进程的加快，氧化沟工艺以其显著的优势成为了中小城市污水处理厂的首选工艺，其流程简单、运行稳定、运行方式灵活、管理方便、处理费用低。在我国新建的城市（镇）污水处理工艺中，运用最多的是氧化沟工艺。

近年来，随着水资源的日益匮乏、水污染形势的严峻、人们环保意识的增强及我国水质标准和法规的日趋严格，对于大多数中小城市来说，城市污水的治理成了财政上的负担，因此城市污水处理需要投资少、运行费用低、低能耗的污水处理技术，氧化沟污水处理技术能够满足城市污水处理的要求。

1.1.2 氧化沟工艺原理

氧化沟工艺是一种首尾相连的循环流曝气沟渠，通常采用延时曝气，连续进出水，一般不需要设初沉池。另外，所产生的微生物污泥在污水曝气净化的同时得到稳定，不需要设置污泥消化池，从而大大简化了处理设施。如图 1-1 所示，氧化沟工艺的曝气池呈封闭的环形沟渠形，池体狭长，曝气装置多采用表面曝气器。污水和活性污泥的混合液通过曝气装置特

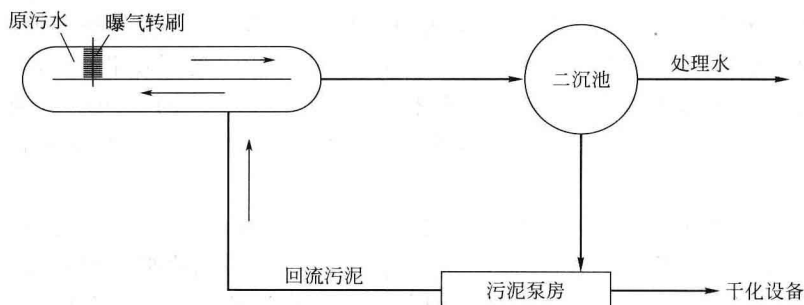


图 1-1 氧化沟工艺流程

定的定位布置而产生曝气和推动，在闭合渠道内做不停地循环流动。污泥在推流作用下呈悬浮状态，得以与污水充分混合、接触，最后通过二沉池或固液分离器进行泥水分离，从而使污水得到净化。

1.1.3 氧化沟工艺特点

氧化沟工艺与一般的活性污泥法工艺相比，它具有独特的技术性能特征，主要表现在以下几方面。

(1) 构造方面的特征

① 氧化沟工艺沟型一般呈环形沟渠状，平面多为圆形或椭圆形，总长可达几十米甚至上百米；氧化沟工艺的沟深主要取决于曝气设备，一般情况下为 3~7m。

② 氧化沟工艺的单池进水装置比较简单，只要伸入一根进水管即可，但若两池或两池以上平行工作时则应设置配水井。当采用交替工作系统时，配水井内还应设置自动控制装置，用以变换水流投配方向。

(2) 水流混合方面的特征

在氧化沟工艺沟内的流态上，氧化沟工艺兼具完全混合和推流的特征。一般情况下，污水在沟内的平均流速为 0.4m/s，当氧化沟工艺的总长为 100~500m 时，污水在沟内完成一个循环所需时间约为 4~20min，如果水力停留时间定为 24h，则污水在整个水力停留时间内要做 72~350 次循环，从这个意义上说，可以认为氧化沟工艺沟内混合液的水质几乎相同，氧化沟工艺沟内的流态是完全混合式的；而从主体污水的流动方向来看，氧化沟工艺又具有推流式的特征，在曝气设备的下游，溶解氧浓度呈逐渐降低的变化趋势，远离曝气设备的下游甚至可能出现缺氧区。

氧化沟工艺这种独特的水力流态特征，不仅有利于活性污泥的生物凝聚作用，而且可以将其划分为好氧区和缺氧区，实现污水的硝化和反硝化作用，取得很好的脱氮效果。氧化沟工艺污水中的氨氮，在亚硝酸菌、硝酸菌的作用下进行亚硝化和硝化反应，被转化为亚硝酸盐和硝酸盐，使得氨氮的转化率高、去除效果好。

(3) 工艺方面的特征

① 操作单元少 氧化沟工艺可不设初沉池，有机性悬浮物在沟内能够达到好氧稳定的程度；还可以不单独设置二次沉淀池，将氧化沟沟体与二次沉淀池合建，可省去污泥回流装置并节省占地面积。

② 耐冲击负荷能力强 氧化沟工艺具有完全混合的特征，且沟中有大量的活性污泥，使得有机负荷、水力负荷及有害物质的冲击负荷对其工作的影响并不明显，这就提高了系统对这些不良因素的抵抗能力。

③ 处理效果好且运行稳定 氧化沟工艺中的活性污泥总量比普通曝气池高 10~30 倍，在供氧充足的情况下，氧化沟工艺沟中的污水能被完全净化，处理效果好，即使是在寒冬季条件下运行，其出水水质仍能达到排放标准；氧化沟工艺的 BOD_5 负荷只要不超过 $0.15\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ，都可得到高质量的出水，其出水 BOD_5 平均含量可在 20mg/L 以下。

④ 水力停留时间 (HRT) 和污泥停留时间 (SRT) 较长 氧化沟工艺的 HRT 和 SRT 均较长，一般情况下，HRT 为 8~40h，SRT 为 10~30d，而硝化细菌的世代周期大于 10d，因此，氧化沟工艺较长的 SRT 有利于硝化细菌的生存和繁殖，从而使系统保持较高的氨氮转化率和较好的脱氮效果。

⑤ 污泥性能稳定 氧化沟工艺的污泥产率低, 剩余污泥较稳定, 没有臭味, 易脱水, 可以不经消化而直接脱水, 因此可不设污泥消化池。

⑥ 适应范围广 氧化沟工艺不仅能处理生活污水, 还能处理工业废水; 不仅适用于温暖地区, 还适用于寒冷地区。

1.2 常用的氧化沟工艺类型

目前, 在实际工程中应用的氧化沟工艺类型多种多样, 有间歇运行的也有连续运行的, 有单独设置二次沉淀池的, 也有氧化沟沟体与二沉池合建式的一体式氧化沟。下面我们对常用的几种类型分别做简单介绍。

1.2.1 卡鲁塞尔 (Carrousel) 氧化沟

Carrousel 氧化沟工艺是由荷兰 DHV 技术咨询公司在 20 世纪 50 年代后期发明的, 它是一种典型的采用立式表面曝气机的氧化沟工艺, 开发 Carrousel 氧化沟工艺的主要目的是为了改善和弥补转刷式氧化沟工艺存在的技术弱点, 从而寻求一种沟道更深、处理效率更高和机械性能更好的系统工艺。

Carrousel 氧化沟工艺是一种多沟道串联系统, 回流污泥和原污水混合后在沟道内作循环流动, 在循环过程中, 实现有机物的去除, 使污水得以净化。Carrousel 氧化沟的顶端设有垂直表面曝气器, 除具有提供氧气的功能以外还具有推流和搅拌的作用 (见图 1-2)。

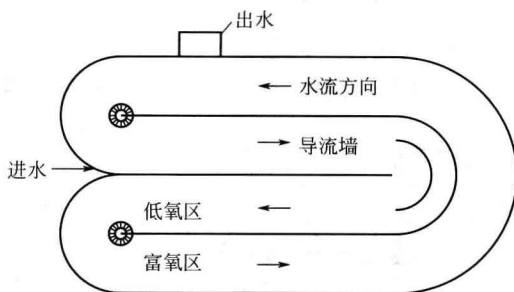


图 1-2 卡鲁塞尔 (Carrousel) 氧化沟

Carrousel 氧化沟工艺独特的沟型和相应的曝气设备布局使之形成了两个功能区,

一个是靠近曝气器下游的好氧区, 另一个是曝气器上游以及远离曝气器下游的缺氧区。这不仅促进了生物凝聚作用, 而且还有利于活性污泥的沉淀。此外, Carrousel 氧化沟工艺具有极强的混合、搅拌及耐冲击负荷的能力。当进水有机负荷较低时, 可以通过减少曝气器的运行数量来调节曝气量, 能在保证水流搅拌、混合循环流动的前提下, 实现节能降耗。与其他类型的氧化沟工艺相比, Carrousel 氧化沟工艺还具有占地面积少、土建费用低、节能效果明显、管理维护简便等优点。一般情况下, Carrousel 氧化沟工艺对 BOD_5 的去除率可高达 95%~99%, 脱氮效率可达 90% 以上, 生物除磷效率为 50% 左右, 如果配以化学除磷的话, 则对总磷的去除效率可达 95% 左右。正是由于 Carrousel 氧化沟工艺的这些显著优点, 在目前所使用的氧化沟污水处理工艺中它的应用最为广泛。

为了满足越来越严格的污水排放标准, 经过多年的发展演变和技术改进, Carrousel 氧化沟工艺已在早期沟型的基础上增加了新的设计, 实现了新的功能。

Carrousel 氧化沟工艺的发展过程大致经历了三代。

(1) 普通 Carrousel 氧化沟工艺

该氧化沟工艺的主要目的是去除 BOD_5 , 并且具有一定的脱氮除磷效果, 沟中 BOD_5 的降解是一个连续的过程, 硝化、反硝化及除磷作用也在同一个沟内进行; 普通 Carrousel 氧

化沟工艺对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、氮和磷的去除率分别可达 90%、95%、75% 和 55% 左右。

(2) Carrousel 2000 氧化沟工艺

Carrousel 2000 氧化沟工艺是在普通 Carrousel 氧化沟工艺的前端增加了一个厌氧区和缺氧区，主要目的是提高系统的脱氮和除磷效率；前端厌氧区和缺氧区的存在，创造了更好的脱氮除磷条件，使得 Carrousel 2000 氧化沟工艺对 COD_{Cr} 、 BOD_5 及氮的去除率分别可达 95%、98% 及 95%，出水总磷可降低到 2.0mg/L 以下。

(3) Carrousel 3000 氧化沟工艺

Carrousel 3000 氧化沟工艺是在 Carrousel 2000 氧化沟工艺的前端增加了一个生物选择区（预反硝化区），提高了系统的脱氮效率；其最大特点在于：①增加了沟深，Carrousel 3000 氧化沟工艺的沟深可达 7.5~8m，大大减少了占地面积，在降低污水处理成本的同时也提高了系统的耐低温能力；②使用了一种所谓的吸水管，将表曝机应用于深沟型的 Carrousel 氧化沟工艺中，并在廊道中安装水下推进装置来消除吸水管设计带来的不利影响；③采用了一种先进的高级曝气控制器（QUTE）来调节曝气量，灵活地控制了氧气的输入；Carrousel 3000 氧化沟工艺进一步强化了脱氮除磷性能，减少了污泥膨胀发生的可能性，同时沟深的加大及独特的同心圆设计也降低了污水处理的投资成本。

1.2.2 奥贝尔（Orbal）氧化沟

Orbal 氧化沟工艺起源于南非，后转让给美国。该氧化沟工艺是具有脱氮除磷功能的新工艺之一，因其在技术性能及经济上的独特优势而受到国内外污水处理行业的青睐。Orbal

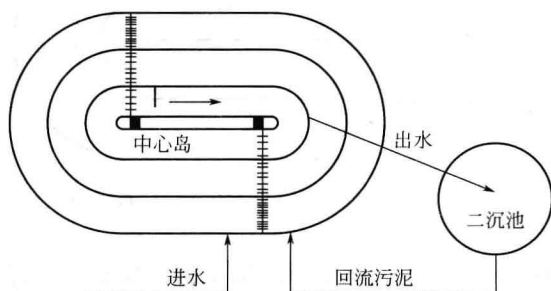


图 1-3 奥贝尔(Orbal)氧化沟工艺流程

氧化沟工艺流程如图 1-3 所示，Orbal 氧化沟工艺由呈椭圆形的同心沟渠组成，污水首先进入外沟内，然后依次进入中沟和内沟，最后由位于中心的沟渠流出进入二沉池。Orbal 氧化沟工艺的三个沟道相互独立，由外向内各沟溶解氧分别控制在 0、1mg/L、2mg/L，其中，外沟道容积为总容积的 50%~55%，处于低溶解氧状态，大部分有机物和氨氮在此沟道得到氧化和去除；内沟道容积约为总

容积的 10%~20%，保持较高的溶解氧值（2mg/L），从而保证了较好的出水水质。Orbal 氧化沟工艺在各沟道横跨安装有不同数量的转碟曝气器，起到充氧、推流、搅拌和混合作用。

Orbal 氧化沟工艺除了具有一般氧化沟工艺的特点，包括工艺流程简单、抗冲击负荷能力强，出水水质稳定和便于维护管理等优点外，还具有自身特有的优点：a. 具有较好的节能性能，Orbal 氧化沟工艺的外沟道溶解氧平均值很低，大部分区域的溶解氧值为 0，在亏氧条件下氧的传递效率高，大部分氧化和硝化反应都在此沟道内进行，且具有较高的反硝化效率，因此节能效果显著；b. 该工艺具有较好的脱氮性能，在外沟道大区域缺氧的环境下，能较高程度地实现“同步硝化反硝化”，使得系统在不设内回流的条件下，也能实现较高的脱氮效率。当然，Orbal 氧化沟工艺也有不足之处，主要体现在以下几方面：a. 圆形或椭圆形的沟型设计，使得系统平面布置相对困难；b. 工艺需要设立独立的二次沉淀池，使得占地面积较大；c. 中心岛占据一定的面积，减小了池容利用率，增加了无效占地；d. 单组曝气转碟的供氧强度低于曝气转刷和垂直表曝器，且设备台数较多，使得维护管理点数目

较多。

实际应用过程中,随着 Orbal 氧化沟工艺优越性的体现,采用此工艺的污水处理厂也在逐渐增多。20 世纪 80 年代,我国就引进了 Orbal 氧化沟工艺污水处理技术,但由于对 Orbal 氧化沟工艺的研究还不够成熟,导致引进国外的技术设备较多,自己研究开发的技术少,缺乏系统的研究与总结,也缺乏实际的操作、运行及控制经验。因此,我们应该对 Orbal 氧化沟工艺进行更进一步的实际应用考察和性能研究,为今后 Orbal 氧化沟工艺的工程设计和运行管理提供更可靠的参考依据和技术指导,使其适合我国具体的发展需要且最大限度地发挥功效。Orbal 氧化沟工艺经过数十年不断的工艺发展和设备改良,全世界已有近千个城市污水处理厂和工业废水处理厂采用此工艺及相关设备,实践证明此工艺运转良好,效果显著。目前,我国已有数十座城市污水处理厂采用了 Orbal 氧化沟工艺,这些污水处理厂的成功运行,充分验证了此工艺在污水处理中的优越性。

1.2.3 交替工作式氧化沟

交替工作式氧化沟工艺,是指在一沟或多沟中按时间顺序在空间上对氧化沟工艺的曝气操作及沉淀操作进行换位调整,以获得最佳的或要求的处理效果的氧化沟工艺。交替工作式氧化沟工艺的特点是曝气、沉淀交替运行,不需要污泥回流装置,不需要设置二沉池。交替工作式氧化沟基本类型有 A 型、DE 型、T 型和 VR 型四种。

(1) A 型氧化沟

A 型氧化沟工艺是单沟交替工作式氧化沟工艺,主要用于 BOD_5 和氨氮的去除,一般情况下是在较小的处理场合应用,具有工艺流程简单,管理维护方便等优点。

(2) DE 型氧化沟

DE 型氧化沟工艺即双沟氧化沟工艺系统,氧化沟与二次沉淀池分建,并有独立的污泥回流装置。DE 型氧化沟工艺能去除污水中的 BOD_5 和实现生物脱氮,若在 DE 型氧化沟工艺的前端增设厌氧段,则可以实现系统的生物脱氮和除磷。

DE 型氧化沟工艺的一个工作周期一般为 8h,分为四个阶段,处理能力为 1500~20000 人口当量,其出水水质十分稳定,但由于曝气转刷的实际利用率较低,仅为 37.5% 左右,从而制约了该工艺的发展。

(3) T 型氧化沟

T 型氧化沟工艺又称三沟交替工作式氧化沟工艺,是氧化沟工艺的一种典型构造形式。T 型氧化沟工艺将曝气、沉淀工序集于一体,中间一沟一直作为曝气池,两侧各沟按时间顺序交替轮换作为二沉池,根据处理水质的不同可对运转周期进行调整,从而使得工艺的运行操作更加灵活(见图 1-4)。

T 型氧化沟工艺三沟之间相互连通,两侧氧化沟具有曝气和沉淀的双重功能,曝气转刷能起到混合和曝气的双重作用。T 型氧化沟工艺能实现有机物的降解、硝化和反硝化作用,从而取得良好的 BOD_5 去除效果和脱氮效果。T 型氧化沟工艺依靠三沟工作状态的转换,实现免除污泥回流和混合液回流设备,从而大大降低了运行费用;而三沟

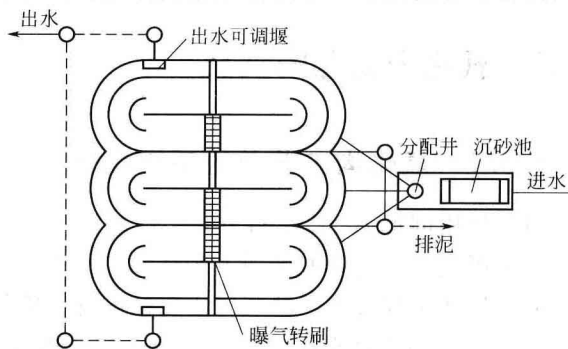


图 1-4 T 型氧化沟

由于进、出水交替运行,使得各沟中的活性污泥量不断变化,存在明显的污泥迁移现象,必然导致溶解氧也产生规模性变化。此外,T型氧化沟工艺还存在容积利用率较低和除磷效率不高缺点,因此,在对T型氧化沟工艺的设计和运行管理时要考虑污泥沉淀时间、排泥方式等参数的影响。

(4) VR型氧化沟

VR型氧化沟工艺也属于单沟交替工作式氧化沟工艺,主要作用也是实现对BOD₅及氨氮的去除,其显著特点是将氧化沟沟体分成容积基本相等的两部分,通过定时改变曝气转刷的旋转方向,来改变沟内的水流方向,使两部分氧化沟交替地作为曝气区和沉淀区,系统不需设置二沉池,也无需设污泥回流装置;VR型氧化沟工艺具有操作运行简便,机械设备少,出水水质好等优点。

1.2.4 一体化氧化沟

一体化氧化沟工艺又称连续工作合建式氧化沟工艺,是指将氧化沟沟体与二次沉淀池合建于同一构筑物中,实现曝气、净化与泥水分离于一体,取消常规处理工艺中的初沉池、二沉池及污泥回流系统,并能实现污泥无泵自动回流的污水处理节能技术。

20世纪80年代,美国就已开展对一体化氧化沟工艺的研究,Shibin Xia等提出了立体循环一体化氧化沟工艺。根据研究成果,按固液分离器在一体化氧化沟工艺中的构造形式不同,可将一体化氧化沟工艺分为三类:第一类是沟内式固液分离器型一体化氧化沟工艺,如BOAT式、BMTS式、U型穿越导管式等一体化氧化沟工艺,其主要优点是节省占地面积,但是,由于主沟水流从固液分离器组件底部流过,导致沟内水流流态较复杂,不利于混合液固液分离和污泥回流,从而影响出水水质;第二类是边墙式固液分离器型一体化氧化沟工艺,如斜板式、侧渠竖向循环式等一体化氧化沟工艺,其主要优点是减少了主沟和固液分离器间水流流态的相互影响,水力条件较为优越,整体效率较高;第三类是中心岛式固液分离器型一体化氧化沟工艺,其显著优点是消除了主沟对水流流态的影响,减少了水头损失,节约了能量,同时减少了占地面积。

与其他类型的氧化沟工艺相比,一体化氧化沟工艺具有一些显著的优点:a.工艺流程较短,构筑物和设备数量少,不需设单独的二沉池及污泥消化池,污泥可以实现无泵自动回流;b.投资省、能耗低、占地面积少、管理维护方便;c.处理效果好,出水水质稳定可靠,硝化、反硝化作用明显;d.产生的剩余污泥量少,污泥不需消化处理,污泥性质稳定、易脱水;e.造价低,建造快,设备事故率低,可减少污泥膨胀发生的可能性等。

1.3 氧化沟工艺的优化

1.3.1 氧化沟工艺单池系统优化

(1) 采用倒置A²/O运行方式

污水脱氮除磷的典型处理工艺是A²/O法,即厌氧-缺氧-好氧活性污泥法。厌氧区的主要功能是聚磷菌释放磷,缺氧区主要是进行反硝化脱氮,好氧区主要是进行硝化反应和去除BOD₅、COD_{Cr}及聚磷菌吸收磷等。该工艺布置在理论上是基于以下的认识:聚磷菌有效释磷水平的充分与否对于能否提高系统的除磷效率具有至关重要的作用,厌氧区在前可以使聚

磷菌优先获得碳源并得以充分释磷。但是, A^2/O 工艺系统存在以下几点不足之处: a. 由于内循环的存在, 实际上, 常规 A^2/O 工艺系统所排放的剩余污泥中只有一小部分经历了完整的释磷、吸磷过程, 其余则基本上未经厌氧区而直接由缺氧区进入了好氧区, 这就对生物除磷造成了不利的影响; b. 由于缺氧区位于系统中部, 使得反硝化在碳源分配上居于不利地位, 影响了系统的脱氮效果; c. 由于厌氧区设置在前端, 使得回流污泥中的硝酸盐对厌氧区产生不利影响, 破坏了严格的厌氧环境, 然而, 为了避免该影响而开发的一些新工艺(如 UCT 等)也趋于复杂化。

倒置 A^2/O 工艺与常规 A^2/O 工艺最根本的区别是把缺氧段提到厌氧区之前, 其显著特点是: a. 在碳源分配问题上, 变优先满足聚磷菌释磷为优先满足反硝化细菌脱氮。由于反硝化菌能够优先获得易降解的 COD_{Cr} , 避免了在城市污水脱氮除磷系统中的聚磷菌释磷和反硝化菌之间的碳源竞争。因此, 倒置 A^2/O 工艺缺氧区的反硝化速率得以大幅度提高, 系统的脱氮功能也由此得到加强。据现场测定表明, 倒置 A^2/O 工艺缺氧区的反硝化速率可比常规 A^2/O 工艺缺氧区的高出 40%~50%。b. 将缺氧区位于厌氧区之前, 使得硝酸盐在缺氧区就已消耗殆尽, 原来困扰脱氮除磷工艺的硝酸盐问题就不存在了, 同时, 也可避免回流污泥中微量的溶解氧对厌氧区的不利影响, 使倒置 A^2/O 工艺厌氧区的厌氧环境更加严格, 保证了聚磷菌的厌氧和充分释磷, 从而强化了聚磷菌的过度吸磷能力。聚磷菌经历厌氧区后便直接进入生化效率较高的好氧区, 它在厌氧环境下形成的吸磷动力在好氧区可以得到更有效的利用, 这样使系统的除磷能力不但未受影响, 反而有所增强。

(2) 采用分区进水方式

将污水部分进入缺氧池, 部分进入厌氧池, 其目的是为缺氧池的反硝化和厌氧池的聚磷菌释磷提供充足的碳源, 在缺氧池中利用可生物降解的 COD_{Cr} 作为反硝化碳源, 还可以减轻好氧池中 COD_{Cr} 负荷。同时, 采用分区进水方式增加了工艺的可调节性, 可以通过人为调节缺氧区与厌氧区的进水分配比, 使得碳源的分配更加趋于合理, 保证了较好的脱氮除磷效果; 此外, 还可以通过调节回流调节阀板来控制内回流比。

在缺氧区和厌氧区之间设置活动隔流板, 可以方便地控制缺氧区和厌氧区的水力停留时间, 实现系统的高效净化性能。

1.3.2 氧化沟工艺曝气方式的优化

与传统的连续曝气活性污泥法相比, 连续进出水间歇曝气一体化氧化沟工艺具有如下特点。

(1) 工艺流程简单

该工艺采用一池系统, 氧化沟沟体(缺氧池、厌氧池、好氧池)和二沉池合建, 大大简化了工艺处理流程, 减少了占地面积, 节省了运行费用和基建投资。

(2) 运行能耗低

由于采用间歇曝气运行方式, 因此, 曝气时间较短, 显然比连续曝气能耗低; 另外, 在停曝和曝气转换时, 氧的转移率也会明显提高, 因此, 间歇曝气方式实际节省的能量百分比还会更高。

(3) 脱氮效果好

连续进出水间歇曝气工艺具有较高的脱氮能力, 系统在停曝期间以原水中的有机物为碳源, 克服了常规生物脱氮工艺需外加碳源所造成的操作复杂和经济费用高的缺点。

(4) 污泥产量少

在间歇曝气期间,微生物靠混合液中硝酸盐所释放出的低分子氧进行呼吸,由于无机电子接受体的氧化还原电位比溶解氧的氧化还原电位高,因此,微生物在缺氧呼吸中释放的 ATP 较少,微生物产率低,污泥产量少,大大减少了剩余污泥的处理费用。

(5) 适合于传统活性污泥工艺的改造

优化工艺操作控制简单,只需对传统曝气池的运行方式稍加改变,无需对曝气池的池体结构进行改造,如在变频控制器上加装一个时间继电器便可实现自动控制,特别适合于传统活性污泥法的技术改造。

1.3.3 氧化沟工艺的工况参数优化

(1) 污泥龄(SRT)

SRT 又称生物固体停留时间(BSRT)或细胞平均停留时间(MCRT),是活性污泥设计、运行和研究中一项非常重要的技术参数。活性污泥的 SRT 反映活性污泥系统中微生物的生长状态、生长条件及世代周期等一系列的基本特性,并且对活性污泥系统的运行状况如出水水质、污泥产量、需氧量等有重大影响。如 SRT 对出水水质的影响:随着 SRT 的增加,出水 COD_{Cr} 浓度逐渐降低, θ_c 在 1~10d 内变化时 COD_{Cr} 降低速率较快;当 θ_c 大于 10d 后,出水 COD_{Cr} 值便不再有明显的变化。活性污泥 SRT 设计法是活性污泥系统的一种重要设计方法,与常用的有机负荷设计法相比,该法更进一步从生物自身生长特性来反映生物降解过程,更接近生物处理的本质,充分反映了有机物的降解与活性污泥的增长之间的关系,使得设计更加合理。

(2) 水力停留时间(HRT)

HRT 指进入反应器的废水在反应器内的平均停留时间,常用 t_{HRT} 表示,好氧区的 HRT 对于单池系统而言是一个非常重要的设计参数,根据微生物增殖的劳伦斯-麦卡蒂模式,在活性污泥法处理系统中,曝气池内生物量浓度 MLVSS、污泥龄 SRT 和好氧区水力停留时间 HRT 存在一定关系,这种关系表明好氧区内的生物量浓度 MLVSS 随着好氧区水力停留时间 HRT 的增加而减小,两者之间成反比例关系;若厌氧区的水力停留时间 HRT 按 0.9~2.0h 设计,在此时间内聚磷菌对磷的有效释放基本上得以完全进行,2.0h 后的释磷便属于无效释磷,无助于系统除磷能力的提高。

(3) 进水分配比

将污水部分进入缺氧池,部分进入厌氧池,其目的是为缺氧池的反硝化和厌氧池的聚磷菌释磷提供充足的碳源。

① 碳氮比($\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{TN}$) 生物脱氮过程中作为电子供体的物质是含碳化合物,它与含氮物质浓度之比,是影响生物反硝化速率和反硝化过程的重要因素。在理论上,当 $\text{BOD}_5/\text{TN} \geq 2.85$ 时才能保证反硝化反应的顺利进行;一般认为,能保证反硝化反应足够碳源的最低 BOD_5/TN 值为 3,也就是说,当 $\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{TN}$ 在 4 左右时,基本能满足反硝化菌对碳源的需求,但为了提高反硝化速率同时满足聚磷菌除磷需要的一部分碳源, $\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{TN}$ 值应大于 4。

② 碳磷比(BOD_5/TP) 污水中有机物的可生化性能对生物除磷过程的影响至关重要,影响生物除磷的最基本因素是生物处理厌氧段进水中挥发性脂肪酸 VFA 与 TP 的比值,最好是采用 VFA/TP 值来判断污水生物除磷的可能性,但是,由于工艺反应过程的复杂性而无法测定厌氧区发酵产物的产生速率,因此在实际运行中,一般采用进水的 BOD_5/TP 值作为判断可生物除磷的近似比值。试验研究表明,当进水的 BOD_5/TP 值小于 20 时,生物除

磷系统的出水 TP 难以达到 1.0~2.0mg/L。美国采用生物除磷工艺的几家污水处理厂运行数据示出了系统出水 TP 随进水的 BOD₅/TP 值而变化的情况，当系统进水的 BOD₅/TP≥20 时，出水 TP 可以达到 1.0mg/L。欧洲等地某些生物除磷系统的生产运行实践也表明，由于污水处理厂进水中的可快速降解有机物含量不足，也使得系统的生物除磷效果不理想，要始终保持出水的 TP<1.0mg/L 是比较困难的，为满足出水要求，往往还需要投加一些化学药剂。

综上所述，在氧化沟工艺实际应用中，氧化沟工艺的工况参数根据不同地区、不同进水水质和出水要求有不同的优化。

1.4 氧化沟工艺的工程应用实例

1.4.1 卡鲁塞尔氧化沟工艺在城市污水处理改造工程中的应用

(1) 工程名称

石家庄市开发区某污水处理厂改造工程。

(2) 工程概况

石家庄市开发区某污水处理厂废水来源见表 1-1，主要收集该地区内工业企业和居民所排污水，工业废水所占比例较大。工程占地 110 亩（1 亩=666.67m²），总投资 1.41 亿元，工程于 2000 年 5 月开工建设，2003 年 5 月投入运行。污水处理厂设计规模为 10×10⁴m³/d，实际运行规模为 5×10⁴m³/d。采用“水解酸化+MBBR 移动床生物膜反应池+卡鲁塞尔氧化沟”工艺，该污水处理厂出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）二级标准。

表 1-1 污水处理废水来源

企业	企业废水排放量/(m ³ /d)	所占比例/%
华北某制药有限公司	10000	20
华北某制药三废治理中心	3300	7
石家庄某电厂	23300	47
华北某药业有限公司	6700	13
石家庄某科技有限公司	1300	2.6
石家庄某药业有限公司	3970	3.8
石家庄某化工有限责任公司	330	0.7
污水处理厂实际处理废水量	50000	
合计	45600	91.2

2006 年国家环境保护总局通过第 21 号公告发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》修改单，提出“城镇污水处理厂出水排入国家和省确定的重点流域及湖泊、水库等封闭、半封闭水域时，执行一级标准的 A 标准”。要求重点流域的城市污水处理厂必须执行一级 A 排放标准。根据国家的环保要求，石家庄开发区该污水处理厂进行一级 A 指标改造。

(3) 设计要点

① 原工程设计水量与水质 原污水处理厂设计规模为 10×10⁴m³/d，实际运行规模为 5×10⁴m³/d，设计出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）二