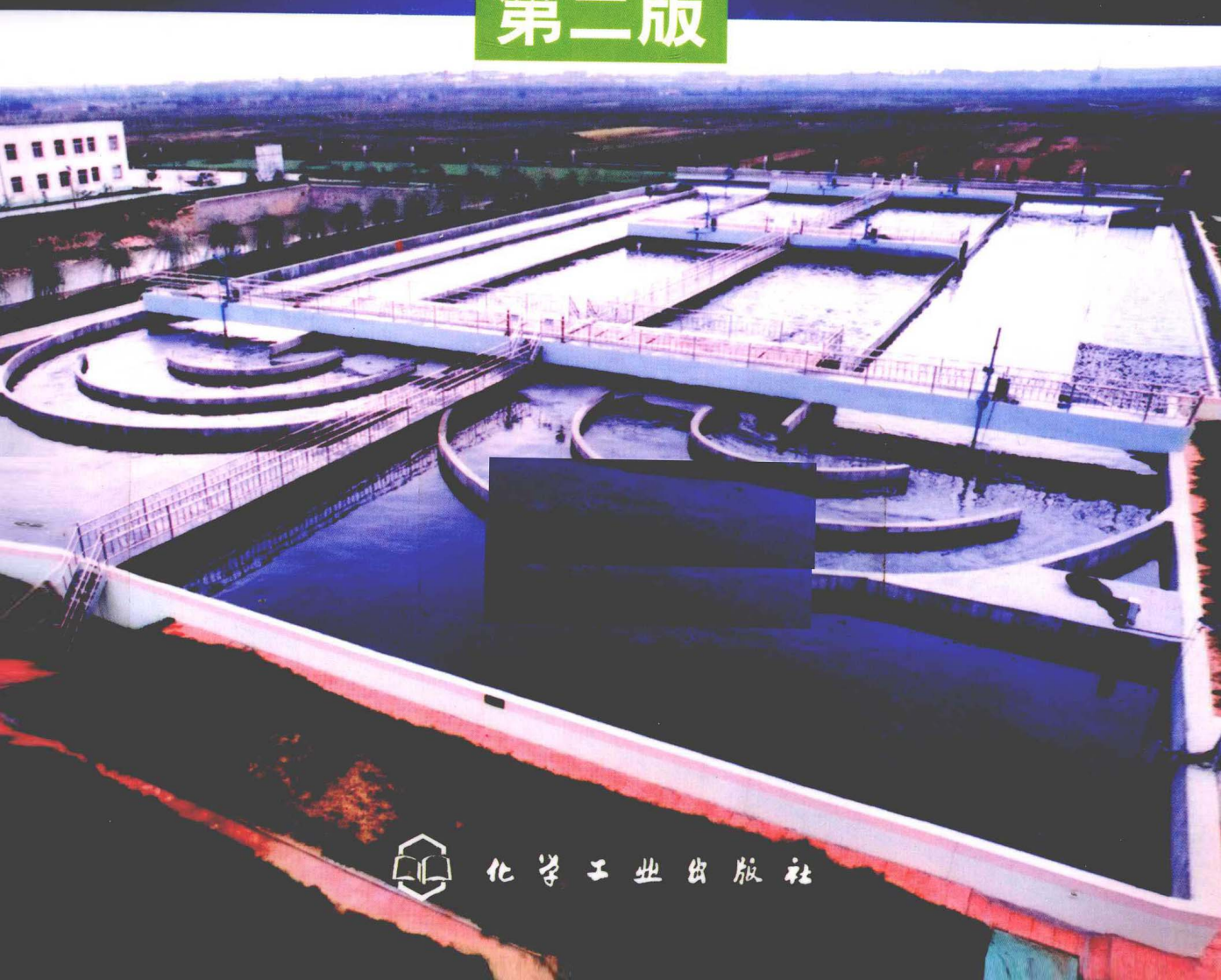


邓荣森◎编著

YANGHUAGOU WUSHUI CHULI
LILUN YU JISHU

氧化沟污水处理 理论与技术

第二版



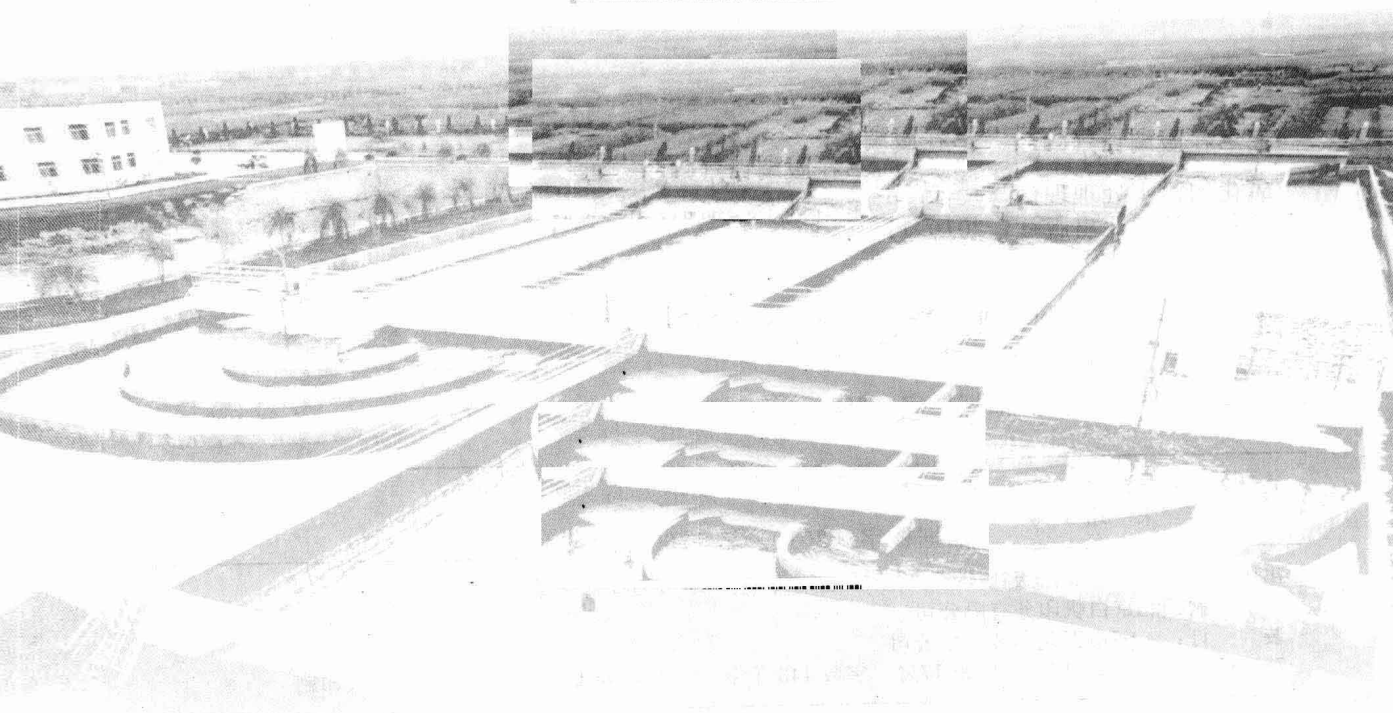
化学工业出版社

邓荣森◎编著

YANGHUAGOU WUSHUI CHULI
LILUN YU JISHU

氧化沟污水处理 理论与技术

第二版



化学工业出版社

·北京·

第二版前言

《氧化沟污水处理理论与技术》第一版出版后，在教学、科研实践、设计应用和污水厂运行管理等方面得到了广泛的应用，同时也得到了方方面面的很好的建议，这对本书的进一步完善起到了很大的促进作用。受到同行的鼓励及化学工业出版社的委托，经过一年多的努力，第二版书稿终于完成了。

《氧化沟污水处理理论与技术》第二版保持了第一版适用的特色，补充了国内外新设计建造成功的工程实例，还特别增加了有关氧化沟污水处理厂污泥处理工艺的内容，使本书的体系更为完整，更加方便使用。第二版也在第3章补充了新的理论基础内容，对第10章氧化沟的建造的内容做了调整，并补充了相关的参考文献。

《氧化沟污水处理理论与技术》第二版得以完成，是大家共同努力的结果。在本书即将出版的时候，不免想到为氧化沟污水处理技术在国内的研究发展和实践应用以及为本书的出版做出贡献的刘义刚、陈蓉、张德浩、许劲、潘江浚、焦丙权、刘保疆、廖日红、许俊仪等各届学生。在第二版写作过程中胡锋平博士提供了氧化沟污泥处理工艺部分，尘峰总工和陈江伯副总经理还补充了他们自己的新的工程实例，王涛在第3章增加了他的博士论文内容，使本书更臻于完善，在此对他（她）们表示由衷的感谢。

第二版增加了新的内容，也修改了原书的遗漏和文字错误，但也很难说做到了“尽善尽美”。谨希望本书的出版，能够为国内污水处理技术的发展略尽绵薄之力，也恳请读到本书的广大同行为本书提出宝贵的建议和意见。

邓荣森

2010年8月

第一版编者的话

本书作者从 20 世纪 70 年代就开始氧化沟的研究和实践,发表过关于氧化沟的研究实践论文数十篇,并参与编写了其他相关著作,负责主持氧化沟污水处理厂的工程设计和运行调试 20 多个,其间赴美学习环境工程,专攻活性污泥法。

和国际上一样,近十多年来国内用氧化沟工艺兴建污水处理厂相对较多,很久以前想编写《氧化沟污水处理理论与技术》这本书,以利社会可持续发展,但平常忙于教学科研和指导博士、硕士生,抽不出时间系统来整理编写,直到在广大同仁的催促和帮助之下,才将该书的编写变成现实,这也是我这一年多时间的工作重点。编写内容主要是作者本人从事该方向研究的成果和工程实践,有些东西也需重新回顾、系统清理和再学习才能使之表现得更为得体。国内的环保技术这几年发展很快,兴建的氧化沟污水处理厂近百座,想把有关氧化沟方面做一个总结概括,对达到彼此交流心得经验促进发展是有益的,国内尚缺少这样的书。这一工作也得到国内外同仁的支持和帮助,书中有的有所提到,有的没有,在此一并致谢,疏漏之处衷心地表示歉意。

本书虽然以氧化沟内容为主,但也兼顾理论及工程实践,希望相关内容对采用其他活性污泥法工艺设计建造污水厂的工程师、运行管理者也能参考使用。

全书主体结构分理论和工程实践两大部分内容。篇章分配的重点如下。在第 1 章只做氧化沟技术发展概况介绍。第 2 章、第 3 章从基础理论说起,如相关的反应器理论、生物处理原理,特别突出氧化沟技术的基本原理和与设计相关的动力学模式,对早期的国际知名专家的关于活性污泥法模型成果做了归纳分析,重点介绍了以 Monod 模式为基础、重点考虑污泥龄 SRT 的活性污泥法计算常用模式,谈及国际水质模型的前景内涵,氧化沟 BOD、N、P 去除和供氧量计算原理基础及工艺技术进展也在第 3 章中予以介绍。循环流动反应器是氧化沟的最基本特征,鉴别其流动合理性的流态分析方法,找出充分发挥作用的理论方法在第 2 章~第 5 章从不同角度谈到。第 4 章提出了氧化沟设计的关键之一——完成混合推流能量投入的计算依据,分析了国内外理论和实用计算方法,将充氧与混合推流纳为一体,剖析了充氧与混合推流协调关系的依据,这对氧化沟的设计建造与运行管理有益。第 5 章从诸多方面分析了氧化沟的技术特征,便于读者全面地认识氧化沟技术。第 6 章专门介绍氧化沟工艺设计的技术关键及相关方面,并详细列出国内外的计算例题供设计和管理工程师参考。在这一章中还提出计算依据,分析了国内外理论方法。氧化沟服从活性污泥法理论的一般规律,但也有其设计的特殊性,目前设计方法各异,若设计不当往往会给后来的运行管理带来诸多麻烦。第 7 章介绍氧化沟工艺设备。第 8 章介绍了氧化沟的各种变型工艺特点及设计关键。第 9 章介绍氧化沟在工业废水处理中的应用。第 10 章介绍氧化沟的建造及竣工验收,重点是土建基础处理、建造要点和关键等,这有助于设备和施工监理单位参考。在第 11 章、第 12 章介绍氧化沟的培菌启动方法和正常运行管理。氧化沟污水处理厂能否进入正常运行管理、发挥应有效益,与设计、建造及内外条件等诸多因素有关。由于故障时有发生,故列第 13 章专门介绍,重点介绍污泥膨胀。第 14 章是有代表性的工程实例。第 15 章介绍氧化沟的技术经济评估及今后发展方向。

在本书的编写过程中,重庆大学邓荣森教授负责第 1 章~第 6 章、第 8 章、第 11 章、第 13 章和第 15 章,王涛博士负责第 7 章、第 9 章~第 11 章及第 3 章、第 6 章的部分内容,

在全书结构安排上也倾注了很大精力，山东省城建设计院尘峰负责第 14 章的编写，肖海文负责第 12 章的编写，李伟民参加了第 5 章的水力模拟部分的编写并将最新成果引入本章，重庆水务集团庞子山负责第 15 章的编写。另外，建设部城市建设研究院许俊仪参与编写了第 8 章的部分内容。全书由邓荣森教授全面审阅修改，使全书的编写得以完成。华东交通大学胡锋平博士非常关注本书工作并补充了第 3 章的部分重要内容。

在本书的编写过程中，山东省城建设计院院长刘俊福在工程实践上给予了极大支持，四川华健环保公司张贤彬总工程师、陈江北对工程实践做了大量协助，总经理张甫平也给予了热情支持，汪昆平博士、俞天明硕士非常关注本书工作并为本书收集了大量的国外资料。四川大学罗麟教授给予了极大支持，叶姜瑜副教授对第 3 章微生物部分提出了宝贵意见，李烈锋、张景波、钟韧超和楼少华对本书出版给予了热情的支持。编写中杨华展、全晓泉、张会朋、郑建东、张金梅、江帆、马海力、黄莉、李欣、刘兆荣、王左良、张新颖、卢观彬、杜康平等同志都先后帮助做了大量的编排绘图工作，另外，李媛、潘江浚等同志的论文工作内容也反映在书中，编写中还使用了 DHV 公司、Passvant 和 C & K Engineering 公司、飞力公司、丹麦 LJM 公司的信息资料，在此一并致谢。

目 录

理 论 篇

第 1 章 氧化沟技术的发展	1	3.3 污水处理中的特殊微生物	33
1.1 污水生物处理技术的发展	1	3.4 微生物生长动力学基础	33
1.1.1 城市污水处理技术发展历史	1	3.4.1 微生物的生长规律	33
1.1.2 氧化沟污水处理技术的由来	3	3.4.2 底物利用速率与微生物增殖速率	36
1.2 氧化沟的基本概念、原理和技术发展	5	3.5 活性污泥法基本数学模型	39
1.2.1 氧化沟的基本概念和原理	5	3.5.1 建立模型的假设	40
1.2.2 氧化沟技术的演变和发展	5	3.5.2 埃肯菲尔德 (Eckenfelder) 模型	40
1.3 氧化沟技术的应用	7	3.5.3 劳伦斯-麦卡蒂 (Lawrence- Mc Carty) 模型	41
1.3.1 氧化沟技术在国外应用	7	3.5.4 麦金尼 (Mckinney) 模型	42
1.3.2 氧化沟技术在国内应用	7	3.5.5 三种活性污泥模式分析	43
1.4 氧化沟技术的展望	8	3.5.6 活性污泥数学模型的新进展	45
第 2 章 反应器基础	9	3.5.7 BOD 去除的需氧量	45
2.1 反应器的反应速率与反应级数	9	3.5.8 最终出水 BOD 的计算	46
2.1.1 反应速率	9	3.5.9 营养需要	46
2.1.2 反应级数	9	3.5.10 能量代谢动力学	46
2.1.3 反应级数的确定	10	3.6 生物脱氮原理	53
2.2 酶促反应基础	11	3.6.1 生物硝化过程和硝化动力学	53
2.2.1 米-门方程	11	3.6.2 生物反硝化过程和动力学	54
2.2.2 莫诺方程	12	3.6.3 硝化需氧量	57
2.3 物料衡算方程	13	3.6.4 生物脱氮系统的总需氧量	57
2.4 停留时间函数及其测定	14	3.6.5 碱度校核	57
2.5 用示踪剂试验分析反应器的水力 特性	17	3.6.6 生物脱氮系统	58
2.5.1 示踪剂试验分析的原理	17	3.6.7 脱氮进展	58
2.5.2 示踪剂类型	18	3.7 生物除磷原理	59
2.5.3 示踪剂试验的测定方法	18	3.7.1 生物除磷的意义	59
2.6 污水处理中反应器类型	21	3.7.2 生物除磷原理	59
2.6.1 间歇式反应器	21	3.7.3 生物除磷系统	61
2.6.2 理想推流型反应器	22	3.7.4 影响生物除磷的主要因素	62
2.6.3 理想完全混合反应器	23	3.7.5 生物除磷的新发展	62
2.6.4 弥散型反应器	23	3.8 生物脱氮除磷的矛盾关系及某些 解决方法	63
2.6.5 氧化沟活性污泥法反应器	27	3.8.1 泥龄	63
第 3 章 生物处理原理基础	28	3.8.2 碳源	64
3.1 生物处理中的微生物	28	3.8.3 硝酸盐	64
3.1.1 细菌 (真细菌)	28	3.8.4 系统的硝化和反硝化容量问题	65
3.1.2 真菌	30	3.8.5 释磷与吸磷的容量问题	65
3.1.3 原生动物	30	3.9 典型的连续流生物脱氮除磷工艺介绍	66
3.1.4 后生动物	31		
3.2 微生物细胞原生质的经验分子式	32		

3.9.1 Bardenpho 工艺系列	66	4.1.1 传质	72
3.9.2 UCT 工艺	66	4.1.2 平衡关系式	73
3.9.3 A/O 工艺系列	67	4.2 传氧模式	73
3.9.4 A ² /O 工艺改进型工艺	68	4.3 需氧量与供氧量的确定	75
3.9.5 氧化沟的脱氮除磷工艺	69	4.4 氧化沟的推流混合	75
3.10 氧化沟脱氮除磷工艺的新发展—— 连续流单池系统	70	4.4.1 飞力公司的计算方法	76
第 4 章 氧化沟的供氧与推流混合	72	4.4.2 丹麦 LJM 公司的计算方法	77
4.1 传质理论	72	4.4.3 推流器设计注意事项	78
技 术 篇			
第 5 章 氧化沟的技术特征	81	7.2.1 水平轴曝气机	118
5.1 氧化沟的反应器特征	81	7.2.2 垂直轴表面曝气机	121
5.1.1 传统氧化沟及其基本特征	81	7.2.3 自吸螺旋曝气机	123
5.1.2 Orbal 氧化沟基本特征	82	7.2.4 射流曝气机	123
5.1.3 Carrousel 氧化沟基本特征	82	7.2.5 导管式曝气机 (DTA)	124
5.1.4 OCO 氧化沟工艺特征	83	7.2.6 混合曝气系统	124
5.1.5 一体化氧化沟	84	7.3 水下推进设备	124
5.2 氧化沟生化反应动力学特征	85	7.4 其他专用设备	125
5.3 氧化沟的水力学特征	85	7.5 氧化沟曝气设备选型及设计关键	125
5.3.1 氧化沟的水力学流态特征	85	第 8 章 氧化沟的各种变型工艺特点 及设计关键	126
5.3.2 氧化沟的流场分布特征	85	8.1 帕斯维尔 (Pasveer) 氧化沟	127
5.3.3 一体化氧化沟的三维流场模拟 与分析	87	8.1.1 Pasveer 氧化沟发展	127
5.4 氧化沟处理工艺的特点	92	8.1.2 Pasveer 氧化沟的特征	128
第 6 章 氧化沟城市污水处理 工程设计	94	8.2 Carrousel 氧化沟	128
6.1 工程设计依据	94	8.2.1 Carrousel 氧化沟的发展和技术 特点	128
6.2 处理工艺流程的选择依据	97	8.2.2 Carrousel [®] 氧化沟的工艺演变	129
6.3 厂址选择和总体布置	97	8.3 奥贝尔 (Orbal) 氧化沟	132
6.4 氧化沟工艺的设计导则	98	8.3.1 Orbal 氧化沟发展	132
6.4.1 氧化沟容积设计	98	8.3.2 Orbal 氧化沟的特征	133
6.4.2 需氧量及氧化沟的阻力水头 损失的设计计算	99	8.3.3 Orbal 氧化沟的脱氮功能	133
6.4.3 沉淀池设计	101	8.3.4 Orbal 氧化沟的基本特点	134
6.5 各种氧化沟技术的设计计算	104	8.4 DE 型氧化沟	134
6.5.1 延时曝气型氧化沟设计计算	106	8.4.1 DE 型氧化沟特征	134
6.5.2 高负荷氧化沟	109	8.4.2 DE 型氧化沟脱氮	135
6.5.3 一体化氧化沟设计计算	109	8.4.3 DE 型氧化沟生物除磷过程	135
6.5.4 Carrousel 2000 氧化沟设计 计算	111	8.5 T 型氧化沟	136
6.5.5 Orbal 氧化沟设计计算	113	8.5.1 基本特征	136
第 7 章 氧化沟的曝气和混合推动 设备	117	8.5.2 三沟式氧化沟转刷的布置	136
7.1 概述	117	8.5.3 工艺运行方式	136
7.2 曝气设备	118	8.6 一体化氧化沟	138
		8.6.1 一体化氧化沟的发展和技术 特点	138
		8.6.2 一体化氧化沟的不同类型	138

8.7 其他环形反应器	142	11.6 曝气器的位置	179
8.7.1 合建式三环工艺 (CTCT 工艺)	142	11.7 进出水口	179
8.7.2 逆流曝气工艺	143	11.8 放空管和半放空管	179
8.7.3 合建式四环工艺 (CFCT 工艺)	143	11.9 伸缩缝	180
8.8 几种环形反应器的比较	146	11.10 走道板	180
第 9 章 氧化沟工艺污泥处理	148	11.11 工程验收	180
9.1 污泥浓缩	148	11.12 联动试车	181
9.1.1 重力浓缩	148	第 12 章 培菌及调试	182
9.1.2 机械浓缩	150	12.1 培菌	182
9.1.3 气浮浓缩	153	12.2 运行调试	183
9.2 污泥的机械脱水	157	12.3 测试项目	184
9.2.1 污泥调理	157	12.4 水样采集和处理	189
9.2.2 污泥的机械脱水	157	12.5 工程实例——康定改良型 Orbal 氧化沟污水处理厂的启动调试	190
第 10 章 氧化沟在工业废水处理中的应用	161	12.5.1 工艺流程简述	190
10.1 概况	161	12.5.2 设计进出水水质	190
10.2 工业废水的可生化性讨论	161	12.5.3 调试的主要内容	190
10.2.1 概述	161	12.5.4 改良型 Orbal 氧化沟系统的调试运行	191
10.2.2 可生化性的实质	162	第 13 章 氧化沟污水处理厂的运行管理	193
10.2.3 判断能否进行生物处理的方法	162	13.1 概述	193
10.3 实例	164	13.2 氧化沟污水处理厂主要构筑物的运行管理	194
10.3.1 混凝沉淀、一体化氧化沟工艺处理化纤废水	164	13.2.1 格栅	194
10.3.2 Carrousel 氧化沟处理麦草浆中段废水	166	13.2.2 沉砂池	194
10.3.3 Orbal 氧化沟在炼油污水处理上的应用	168	13.2.3 初沉池	197
10.3.4 水解-接触氧化-合建式氧化沟工艺处理工业废水的应用	170	13.2.4 氧化沟曝气池	198
10.3.5 氧化沟处理酿酒废水	172	13.2.5 二沉池	202
第 11 章 氧化沟的建造	174	13.2.6 浓缩池	202
11.1 氧化沟的土建施工	174	13.3 氧化沟系统的运行调度	203
11.1.1 抗浮处理	174	13.4 氧化沟系统的主要机械设备的维护与管理	205
11.1.2 软基处理	174	13.5 氧化沟系统运行状况的简易评价方法	209
11.1.3 防渗处理	176	13.6 城市排水系统对污水处理厂的影 响	212
11.1.4 预留、预埋件及设备安 装要求	176	第 14 章 氧化沟活性污泥法常见故障及处理方法	214
11.2 氧化沟的设备安装	177	14.1 污泥膨胀	215
11.2.1 水平轴曝气设备的安 装	177	14.1.1 丝状菌引起的污泥膨 胀	216
11.2.2 垂直轴曝气叶轮的安 装	177	14.1.2 控制污泥膨胀的选择器工 艺	217
11.2.3 潜水推动设备的安 装	177	14.1.3 控制污泥膨胀的其他方 法	218
11.3 氧化沟的池型	178	14.2 污泥上浮	219
11.4 氧化沟的有效水深和沟宽	178	14.3 活性污泥法形成大量泡沫	219
11.5 导流墙和挡流板	178	14.4 水质水量波动	220

14.5	混合搅拌流动不畅	221	15.5.2	设计进出水水质	236
14.6	设备发热	221	15.5.3	处理工艺	236
14.7	脱氮效果不好	221	15.5.4	总平面布置	236
14.8	除磷效果不佳	223	15.5.5	主要处理构筑物	237
14.9	难降解物质的处理措施	225	15.5.6	运行效果	239
第 15 章 氧化沟污水处理工艺工程			15.6	山东省枣庄市新城污水处理厂	239
	实例	226	15.6.1	工程概况	239
15.1	莱阳市污水处理工程	226	15.6.2	设计进出水水质	240
15.1.1	工程概况	226	15.6.3	处理工艺	240
15.1.2	设计进出水水质	226	15.6.4	总平面布置	241
15.1.3	处理工艺	226	15.6.5	主要构筑物设计	242
15.1.4	总平面布置	226	15.7	山东省临沭县污水处理厂	244
15.1.5	主要构筑物设计	227	15.7.1	工程概况	244
15.1.6	工程投资及成本计算	229	15.7.2	设计进出水水质	244
15.1.7	工程评述	229	15.7.3	处理工艺	245
15.2	西安市北石桥 DE 型氧化沟污水 处理厂	229	15.7.4	总平面布置	245
15.2.1	工程概况	229	15.7.5	主要构筑物设计	246
15.2.2	设计进出水水质	230	15.7.6	处理效果	247
15.2.3	处理工艺	230	15.8	GOTHA STP 带有同时硝化反 硝化的污水厂	248
15.2.4	主要构筑物设计	230	15.8.1	背景	248
15.3	邯郸市东三沟式氧化沟污水 处理厂	232	15.8.2	总平面布置	248
15.3.1	概况	232	15.8.3	主体构筑物及设备	248
15.3.2	工艺流程	232	15.8.4	处理效果	249
15.3.3	主体构筑物及设备	232	15.9	Faaborg 污水处理厂	249
15.3.4	工艺运行方式	232	15.9.1	基本设计数据	249
15.3.5	邯郸市东污水处理厂处理 效果	233	15.9.2	处理构筑物及其主要尺寸	249
15.3.6	邯郸市东污水处理厂能耗 分配	233	15.9.3	基建费用	249
15.3.7	工艺评述	233	15.9.4	电能消耗	249
15.4	四川新都一体化氧化沟污水处理 工程	233	15.9.5	效果	249
15.4.1	工程概况	233	15.10	Ringe 污水处理厂	250
15.4.2	进出水水质	233	15.10.1	概况	250
15.4.3	工艺流程	233	15.10.2	处理构筑物	250
15.4.4	主要设计参数	234	15.11	Lillered 污水处理厂	250
15.4.5	总平面布置	234	15.12	德国化工巨头 BASF 的污水处理 设施	251
15.4.6	主要经济指标	234	15.13	越南南贡开发区污水处理工程	251
15.4.7	回流特点	234	15.13.1	工程概况	251
15.4.8	运行方式	235	15.13.2	设计进出水水质	251
15.4.9	主要设备特点	235	15.13.3	处理工艺	252
15.4.10	出水效果	235	15.13.4	总平面布置	252
15.5	康定改良型 Orbal 氧化沟污水处理 工程	236	15.13.5	主要构筑物设计	252
15.5.1	工程概况	236	15.13.6	主要经济指标	254
			15.13.7	工程评述	255
			第 16 章 氧化沟污水处理技术		
				经济评估	256
			16.1	氧化沟的技术经济评估	256

16.1.1 国内部分污水处理厂经济指标 比较	256	分析	257
16.1.2 氧化沟工艺在国外的评价	257	16.3 氧化沟污水处理技术未来发展的 方向	258
16.2 不同工艺经济技术指标的定性 附录			260
附录 1 氧在蒸馏水中的溶解度	260	附录 3 海拔高度与大气压力的关系	260
附录 2 水温和饱和蒸汽压力的关系	260	附录 4 常用标准与法规	260
参考文献			261

理 论 篇

第 1 章 氧化沟技术的发展

1.1 污水生物处理技术的发展

研究和讨论氧化沟污水处理技术必然要和城市污水处理技术联系起来,氧化沟污水处理技术是城市污水处理技术的一个重要方面。在污水处理技术发展的 100 多年中,工程师们一直都在不断地追求污水处理工艺的改进,以寻找一种比较简便、可靠和高效的方法。二战后欧洲经济复苏给这一想法变为现实提供了机会,其中最为突出的例子当属氧化沟,这是因为它是一种利用循环式混合曝气沟渠来处理污水的简易污水处理技术。

1.1.1 城市污水处理技术发展历史

人类防治水污染的历史主要还是伴随着工业化革命和城市化的急剧发展而开始的,污水处理的理论与技术,从城镇污水处理开始,大致经历了近百年的历史。1850~1890 年,为治理泰晤士河的污染,英国政府改造了沿河城市的排水系统,并于 1889~1891 年分别在 Beckon 和 Crossness 建立了沉淀污水处理厂,同时建设了污水截流管道,实行雨污分流。1892~1905 年,英国开展了早期的生物法处理污水方面的研究,进行了用焦炭作为滤床填料来处理废水的试验。1897 年,英国建成了世界上第一座采取生物净化法处理城市生活污水的处理厂。Crossness 污水处理厂采用分离式沉淀法处理生活污水直至 1963 年,而 Beckon 污水处理厂则在 1932~1938 年期间建立了二级污水处理厂,采用了叶片曝气的活性污泥法,可处理进水量的 1/3。

第二次世界大战后,于 1950~1965 年间,英国建造了采用活性污泥法,规模分别为 48 万吨/日和 10 万吨/日的两座污水处理厂。1965~1969 年,为进一步治理泰晤士河水质污染,除继续采用活性污泥法外,英国还采用了一种大型充气设备,使河水通过喷嘴向空中喷射,提高了河水中的溶解氧,使从污水处理厂排出的水的 COD 降低了 90%。其他欧洲国家,包括前苏联都有很多重大举措,花巨资建设城市排水基础设施和污水处理厂。

我国是世界上较早关注、研究、开发和采用污水处理技术的国家之一。1921~1926 年,上海相继建成了北区、东区和西区污水处理厂。20 世纪 50 年代建成了上海曹杨、西安和兰州等污水处理厂。但我国污水处理技术的发展总体上较为缓慢,直至 20 世纪 80 年代后,我国的污水处理事业才得到了一定程度的发展,到 20 世纪末,我国的城市污水处理厂已建成近 200 座。目前,国际上采用的许多种污水处理技术,在我国都有工程实例。2002 年全国城市污水年排放总量 337.5 亿立方米,污水处理总量 134.9 亿立方米,城市污水处理率为 39.97%。到 2002 年底,全国 254 个城市建有污水处理厂 537 座,日平均污水处理能力为 3578 万立方米,实际年污水处理总量为 81.98 亿立方米/日,约占全国年污水处理总量的 61%。1996~2002 年污水处理能力平均增加 404 万立方米,年平均增长率为 20.77%。尽管如此,目前我国城市污水处理设施仍然不足,全国有 61.5% 的城市没有污水处理厂,多数城市排水管网不配套。特别是我国城市化发展速度极快,究竟选用何种工艺仍然值得进一步

探索。

当前，污水处理技术种类繁多，发展变化很快，但国内技术与国际技术相比，仍有一定的差距。我国污水处理历史欠账较多，需要的资金十分庞大，任务还非常艰巨，寻求高效、经济、简便的污水处理技术仍然是今后的发展方向。处理工艺选择是否得当，不仅影响污水的处理效果，而且影响工程的基建投资、运行的可靠程度、运行费用的高低、管理操作的复杂程度等。因而，应结合污水的水量、水质、温度、气候、气象、地理和经济等实际情况选择适用的处理工艺技术，使出水达到排放标准。

污水处理工艺的选择应遵循以下四条基本原则：

(1) 处理工艺较成熟可靠，具有完整的工艺流程和合理、准确的工艺参数，处理后的出水水质能满足相应的排放标准；

(2) 抗冲击负荷能力强，适应能力、调节能力强，出水水质稳定、可靠；

(3) 建设和运行费用与业主单位承受能力及相关要求相协调；

(4) 操作管理简便。

城市污水处理技术，可分为生物膜法和活性污泥法两类。从美国的情况看，20 世纪 70 年代城市污水处理厂主要采用的是生物膜法，其中以生物滤池居多，70% 以上的城市污水处理厂采用高负荷生物滤池，其原因主要是它的造价低、能耗小。后来由于出水标准的提高，生物滤池不能满足要求，逐渐被活性污泥法所代替。但到 80 年代后期出现的 TF/SC（高负荷生物滤池/固体接触法），其出水水质基本上可接近三级标准。同时 BAF（曝气生物滤池）在欧洲研制成功，又说明新的膜法工艺不仅有膜法固有的优点，而且出水水质良好。因此近年来国际上出现了重视膜法的新动向。目前从世界范围上讲，活性污泥法在城市污水处理厂建造上仍占主导地位，而我国长期以来城市污水处理几乎全都采用活性污泥法。

总体概括来说，城市污水生物处理技术经历了三个发展阶段。

第一阶段，在污水生物处理初期，人们意识到有机污染对环境生态的危害，从而把可降解有机污染物（BOD）和悬浮固体（SS）的去除作为污水处理的主要目标。

第二阶段，到 20 世纪 60~70 年代，随着常规二级生物处理技术在工业化国家的普及，人们发现仅仅去除 BOD 和 SS 是不够的。氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）的存在依然会导致水体的恶臭和溶解氧（DO）的降低，这一问题的出现使常规二级生物处理从单纯的有机物的去除发展到有机物和氨氮的联合去除，即污水的硝化处理。

第三阶段，到 20 世纪 70~80 年代，由于水体富营养化问题日益严重，污水氮磷去除的实际需要使二级生物处理技术进入了具有除磷脱氮功能的二级生物处理阶段。现代的城市污水处理厂的处理对象，包括 COD、BOD、SS 和氮、磷等营养物质。这就要求同一污水处理系统同时具备多种功能。

20 世纪 70 年代以前，对污水的治理主要是去除水中的悬浮物、降低色度，因而主要采取传统的活性污泥法和生物膜法，去除可降解有机污染物，BOD、COD 和 SS 等，但不具备脱氮除磷的功能。20 世纪 80 年代以后，一些缓流河道、湖泊发生富营养化，导致大量水体功能严重丧失，N、P 营养元素对环境的威胁越来越大，必须对废水中的 N、P 进行控制。这推动了水污染治理技术进一步发展，在传统的活性污泥法和生物膜法等污水处理技术的基础上，发展了以 A/O、 A^2/O 、倒置 A^2/O 、A-A-A/O 等为代表的除磷脱氮工艺，从而满足了对 N、P 指标的控制要求。

在这 100 余年的发展历程中，城市污水处理的理论和技術有了巨大发展，在污水处理技术方面应用最多的是传统的活性污泥法及其变型工艺，如氧化沟法及其变型工艺、SBR 法及其变型工艺，还有生物膜法。其中氧化沟法及其变型工艺在国内外用得最为广泛，值得特

别关注。

1.1.2 氧化沟污水处理技术的由来

自 1913 年英国曼彻斯特建了第一座活性污泥法试验厂以来，活性污泥法用于处理废水已有 90 多年历史。几十年来，活性污泥法处理技术发展很快，现已成为世界各国广泛采用的污水处理方法。20 世纪 80 年代后，我国的废水事业得到了蓬勃发展。已建成的城市污水处理厂中绝大部分采用活性污泥法，从治理城市污水有机污染物来讲，活性污泥法是目前最为有效最为成熟的方法。目前国际上已有的各种活性污泥处理技术，在我国基本上都有工程实例。活性污泥法也被广泛用来处理食品工业、轻工业、纺织工业、造纸工业、石油工业和化学工业等工业产生的有机废水。

活性污泥法中的氧化沟（Oxidation Ditch）亦称氧化渠（Oxidation Channel），为循环混合式曝气池或称为循环混合式活性污泥法。最早的氧化沟要追溯到 1920 年，在英国 Sheffield 建成的桨板曝气池是氧化沟的雏形。氧化沟是一种简易污水处理系统（Simple methods of wastewater treatment），是活性污泥法的一种变型，最初属于延时曝气法，最早是由荷兰国立卫生研究所（TND）的帕斯维尔（A·Pasveer）教授发明的。1954 年首先在海牙北部的沃绍本建造了第一个生产型试验厂并投入应用，试验厂的基本特征是跑道型循环混合式曝气池，以后几经改革作为污水处理设施用于污水处理厂的建造中。

1.1.2.1 氧化沟工艺的类型和构造

氧化沟处理污水的基本流程见图 1.1，它是连续式处理污水的氧化沟系统，一般具有分建的二次沉淀池，荷兰沃绍本建造的第一个生产型试验厂是间歇式运行的，无专用的二次沉淀池。原污水经过格栅后直接进入氧化沟，与沟中的混合液混合。氧化沟为一跑道形的沟渠，最初沟渠渠深较浅，为 2~3m 左右。沟上装设一个或数个曝气器，曝气器推动混合液在沟内循环流动，流速保持在 0.3m/s 以上，使活性污泥呈悬浮状态并充氧。混合液到二沉池中进行泥水分离。部分污泥和二沉池表面的浮渣回流到氧化沟中，剩余污泥比较稳定，经浓缩后可以直接脱水，或贮存在污泥池中以待进一步处理。

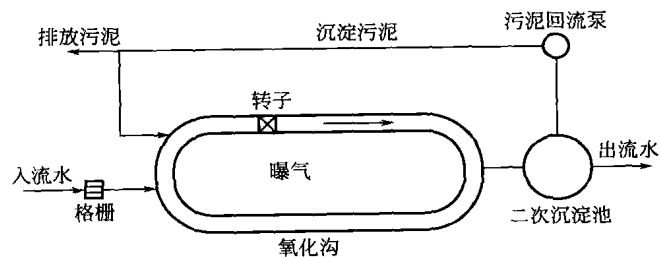


图 1.1 氧化沟处理污水的基本流程

1967 年，Lecompt 和 Mandt 首次提出将水下曝气和推动系统用于氧化沟，发明了射流曝气氧化沟（JAC），沟深可达 7~8m。1968 年，DHV 有限公司的工程师们将立式低速表曝机应用于氧化沟，将设备安装在氧化沟中隔墙的末端，利用表曝机产生的径流为动力，推动氧化沟内液体的流动，这一工艺后来被称为 Carrousel 氧化沟，Carrousel 氧化沟的沟深可达到 4.5m 以上。1970 年，Huisman 在南非开发了使用转盘曝气机的 Orbal 氧化沟，后来经过美国 Envirex 公司的发展，出现了多种形式的 Orbal 氧化沟。不过在此期间，生产应用最多的还是转刷曝气氧化沟。研究人员也从未放弃对转刷曝气机的深入开发，Vonder Emde 于 1971 年首次详细报道了将 Mammoth 转刷应用于氧化沟工艺，转刷直径为 1000mm，氧化沟允许水深 3~3.6m，充氧和混合能力有较大提高。20 世纪 80 年代，美国还开发了导管

式氧化沟，以导管式曝气器代替传统的曝气转刷，这是一种高效的污水处理新技术。

经过几十年的实践和发展，氧化沟处理技术被认为是出水水质好、运行可靠、基建投资费用和运行费用低的污水生物处理方法，特别是其封闭循环式的池型尤其适用于污水的脱氮除磷。

氧化沟工艺从早期研制以来，在工艺和机械方面已经进行了无数次改进。早期的氧化沟是间歇运行的，无二次沉淀池。到了 20 世纪 60 年代，氧化沟采用了连续流运行方式，并单独建造二次沉淀池。近年来，随着控制仪表的发展以及生物脱氮工艺的需要，转刷型氧化沟又发展出双沟和三沟交替式的运行方式，可以不用单独设置二沉池，保留了 Pasveer 氧化沟的最初特色。氧化沟水力停留时间长，占地面积大，在如今土地资源日趋紧张的情况下，这一点常成为人们指责的对象。但是，氧化沟的可靠优势使得氧化沟在地价不高的小城镇仍然有很高的市场前景。因而，对于处理量大的城市污水处理厂来说，开发深沟型的氧化沟已成为一种必然的趋势，但由于一般表曝器的有效水深只有 4.5m 左右，因此为保证深沟条件下氧化沟内应有足够大的流速而开展的研究将成为今后工作的重点，比如在深水中设置推进装置或开发新的曝气设备等。

目前，在荷兰出现了一种圆形缠绕式深型 Carrousel 氧化沟，沟深达到了 7.5m，为了使表曝器能应用于深沟型反应池，使用了一种所谓的导流筒。这种导流筒是一只位于曝气器下的垂直圆管，几乎延伸到池底，可使曝气器将池底缺氧水提升上来，以保证全池适当的混合。但同时导流筒大大减弱了曝气器在氧化沟中的推进作用，设计通过在 Carrousel 反应池的廊道中安装推进装置来克服这一缺点，水下推进器的设置有利于产生足够大的流速，并促进池中混合及在曝气器暂时关闭时的反硝化。

一体化氧化沟的出现，弥补了传统氧化沟存在的不足，也代表了污水处理工艺集约化、一体化的发展趋势。一体化氧化沟集曝气沉淀及固液分离于一体，连续运行，减少了占地面积，同时保持了氧化沟的优点，其优良特性将使这一工艺得到了迅速的推广应用。目前国内外已有数百座这种氧化沟设施在运行之中，较有代表性的是美国联合工业公司的“船”形沟内澄清池氧化沟系统。“船”形沟内澄清池是一种用不锈钢板制作并一体化安装在氧化沟内的沉淀池，在运行过程中，犹如一条船悬浮在水中，在其底部均匀设置了许多小型的污泥斗，起到迅速分离、浓缩和回流污泥的作用。统计资料表明，采用这种工艺不仅占地小，而且投资费用及能耗均比传统的氧化沟工艺低。当前又有多种新型、功能更加强大的一体化氧化沟在国内建成投产。

1.1.2.2 氧化沟的特点

氧化沟是一种改良的活性污泥法，最早属于完全混合延时曝气过程。长年运行实践表明，氧化沟处理的出水水质好，它能够完全地去除含碳化合物，可以产生高度的硝化作用，运行维护容易，可靠性高。与传统活性污泥法曝气池相比，氧化沟具有以下各项特征。

(1) 在构造方面的特征

① 氧化沟一般呈环形渠状，平面多为椭圆形或圆形，总长可达几十米，甚至百米以上，沟深取决于曝气装置，为 3~7m。

② 氧化沟的进水装置比较简单，只需伸入一根进水管即可，多沟平行工作时，则应设配水井，采用交替工作系统时，配水井内还应设自动控制装置，以变换水流投配方向。

(2) 在水流混合方面的特征 污水在氧化沟内做几十次甚至上百次的循环流动，在这点上可以认为在氧化沟内混合液的水质几乎一致，即认为氧化沟内的流态是完全混合的。但又具有某些推流式的特征，如在曝气装置的下流，溶解氧浓度从高向低变动，甚至可能出现缺

氧段。

(3) 在工艺方面的特征

① 操作单元少。原水经过格栅沉砂后，即可进入氧化沟，而不需在系统中设置初沉池和调节池。还可考虑不单设二次沉淀池，使氧化沟和二次沉淀池合建，省去污泥回流装置并节省占地。

② 耐冲击负荷。有机负荷、水力负荷和有害物质的冲击负荷对氧化沟工作的影响不明显，氧化沟有完全混合的特征且其中有大量的活性污泥，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，运行稳定。氧化沟中的污泥总量比普通曝气池高 10~30 倍。在供氧充足的情况下，氧化沟中污水被完全净化，处理效果好。氧化沟即使是在严冬季节运行，出水仍能达到排放标准。只要 BOD_5 负荷不超过 $0.16\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ，就可得到高质量的出水，其出水 BOD_5 平均含量在 20mg/L 以下，而普通曝气池的污泥负荷率一般是 $0.3 \sim 0.7\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

④ 污泥产泥率低，剩余污泥较稳定，没有臭味，脱水快，可以不经消化而直接脱水。

⑤ 适用范围广。氧化沟不仅能处理生活污水，还能处理工业废水；不仅能用于温暖地区，还能用于寒冷地区。

⑥ 氧化沟具有脱氮能力。以普通 Carrousel 氧化沟为例，其脱氮水平为 40%~70%，而不需另加建造费和运行费。按 A^2/O 工艺方式设计建造，还能除磷脱氮。

(4) 在经济方面特征 氧化沟是一种经济的污水处理系统，凡是适宜采用活性污泥法的地方都可以修建氧化沟。

1.2 氧化沟的基本概念、原理和技术发展

1.2.1 氧化沟的基本概念和原理

氧化沟是活性污泥法的一种变型，其曝气池呈封闭的沟渠型，所以它在水力流态上不同于传统的活性污泥法，是一种首尾相连的循环流曝气沟渠。最早的氧化沟渠不是由钢筋混凝土建成的，而是加以护坡处理的土沟渠，是间歇进水间歇曝气的，从这一点上来说，氧化沟最早是以序批方式处理污水的技术。

氧化沟污水处理的整个过程如进水、曝气、沉淀、污泥稳定和出水等全部集中在氧化沟内完成，最早的氧化沟不需另设初次沉淀池、二次沉淀池和污泥回流设备。后来处理规模和范围逐渐扩大，它通常采用延时曝气，连续进出水，所产生的微生物污泥在污水曝气净化的同时得到稳定，不需设置初沉池和污泥消化池，处理设施大大简化。不仅各国环境保护机构非常重视，而且世界卫生组织（WHO）也非常重视。在美国已建成的氧化沟污水处理厂有几百座，欧洲有上千座。在我国，氧化沟技术的研究和工程实践始于 20 世纪 70 年代，氧化沟工艺以其经济简便和可靠的突出优势已成为中小型城市污水厂的首选工艺。早期建成的氧化沟污水处理厂见图 1.2 和图 1.3。

1.2.2 氧化沟技术的演变和发展

氧化沟工艺自诞生以来，其发展过程可分为四个阶段。

(1) 第一代氧化沟——Pasveer 氧化沟
Pasveer 氧化沟当时用来处理村镇的污水，服



图 1.2 1954 年海牙北部的沃绍本建造的第一个生产型试验厂

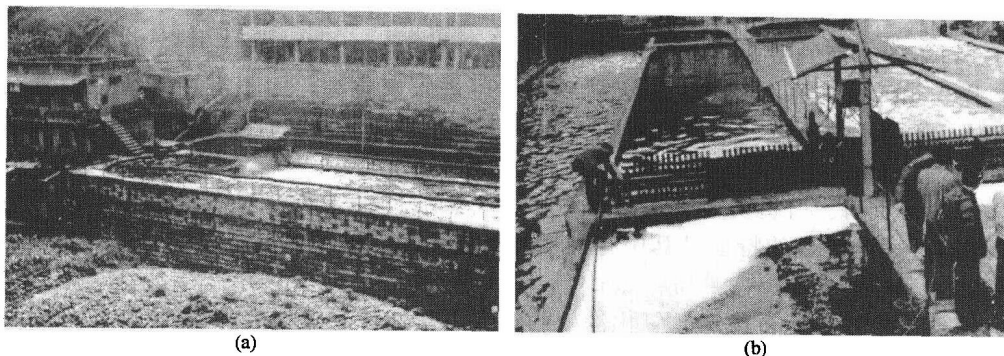


图 1.3 1976 年中国最早建造的重庆针织印染废水氧化沟厂 (1200m³/d)

务人口只有 340 人。这是一种间歇流的处理厂，它把常规处理系统的四个主要内容合并在一个沟中完成，白天进水曝气，夜间用作沉淀池，其生化需氧量 (BOD₅) 去除率达到 97%，其结构简单，处理效果好。

采用卧式表面曝气机曝气及循环流动，每隔一段时间，Pasveer 氧化沟的曝气机就需停下来，使沟内的污泥沉淀，排出处理后的出水。第一代氧化沟沟深 1~2.5m，为了可以连续运行，Pasveer 氧化沟发展为多种形式，设置了二沉池。这一阶段的氧化沟主要是延时曝气系统。

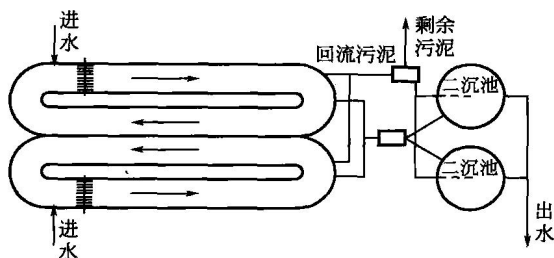


图 1.4 维也纳并联型氧化沟

(2) 第二代氧化沟——规模型和用于处理工业废水 氧化沟因其简易、运行管理方便等优点，自 20 世纪 60 年代以来其数量和规模不断增长和扩大，处理能力已从 300 人口当量发展到目前的 1000 万人口当量，处理对象也从处理生活污水发展到既能处理城市污水又能处理工业废水。图 1.4 为奥地利维也纳日处理 7 万吨污水

的并联型氧化沟。

这期间，也相继有了相当多的工业废水采用氧化沟技术进行处理的工程范例。

新一代氧化沟由于采用直径 1m 的曝气刷 (Mammoth Rotor, 系由 Passavant 公司生产) 和立式曝气器 (DHV 公司)，使氧化沟的沟深逐步扩大。使用 Mammoth Rotor 沟深可达 3.5m，沟宽可达 20m。而使用立式曝气器的氧化沟，后来称为 Carrousel 氧化沟，沟深可达 4.5m。这一阶段的氧化沟考虑到了硝化和反硝化。

(3) 第三代氧化沟——多样性发展 随着氧化沟技术的发展，人们从不同的角度对氧化沟做了深入细致的研究，出现了许多种新型的氧化沟，如：DHV 公司的 Carrousel 2000 型、Carrousel Denit 型、DHV-EIMCO Carrousel 氧化沟，丹麦 Kruger 公司的双沟、三沟式氧化沟，德国 Passavant 公司使用 Mammoth Rotor 的深型氧化沟，美国 Envirex 公司的 Orbal 多环型氧化沟。

这一阶段的氧化沟进一步考虑到了利用氧化沟进行除磷脱氮处理，许多新的概念被提出来，产生了许多新的设计方法。在这一时期，氧化沟不只是出现了延时曝气低负荷系统，还出现了所谓“高负荷氧化沟”、“要求硝化的氧化沟”、“要求硝化反硝化及除磷的氧化沟”及“要求污泥稳定的氧化沟”等，还有许多的新的沟型出现。

(4) 第四代的氧化沟——曝气净化与污泥的沉淀分离一体化 20 世纪 80 年代初期，美

国最早提出将二沉池直接设置在氧化沟中的一体化概念，在短短的十几年中，这一概念在实际中得到迅速发展和应用，并显示出极为广阔的前景。所谓一体化氧化沟，就是充分利用氧化沟较大的容积和水面，在不影响氧化沟正常运行的情况下，通过改进氧化沟部分区域的结构或在沟内设置一定的装置，使泥水分离过程在氧化沟内完成。美国环境保护局将这一技术称为革新及可选择的（I/A）技术。

一体化氧化沟由于其中沉淀区结构形式及运行方式不同，有多种形式，例如：带沟内分离器的一体化氧化沟（BMTS 式，见图 1.5）、船形一体化氧化沟、侧沟或中心岛式一体化氧化沟（中国）、交替曝气式氧化沟等。

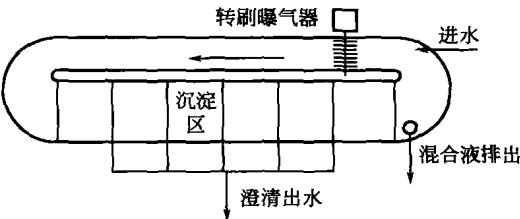


图 1.5 BMTS 氧化沟示意图

1.3 氧化沟技术的应用

1.3.1 氧化沟技术在国外的应用

20 世纪 60 年代以来，氧化沟技术在欧洲、北美、南非、大洋洲等地得到了迅速的推广和应用。丹麦已兴建了 300 多座氧化沟污水处理厂，占全国污水处理厂的 40%。英国也兴建了 300 多座这样的污水处理厂。据不完全统计，到目前为止，北美有 9000 多座氧化沟污水处理厂，亚洲有近 1000 座氧化沟污水处理厂。氧化沟污水处理技术的发展不仅体现在数量上，也体现在处理厂规模的扩大和处理对象的不断增加。氧化沟的处理能力达到了处理 1000 万人口当量污水，既能用于生活污水的处理，也能用于工业废水和城市污水的处理。

1.3.2 氧化沟技术在国内的应用

我国从 20 世纪 80 年代以来也开展了较多的关于氧化沟工艺的研究，并设计建造了一批氧化沟污水处理厂。各种氧化沟型式都有应用：如采用 Pasveer 氧化沟工艺的有珠海香洲水质净化厂、广东南海污水厂等，采用 Carrousel 氧化沟的有桂林东区污水厂、昆明第一污水厂等，采用 Orbal 氧化沟的有北京大兴污水处理厂、山东莱西污水处理厂等，采用侧沟式一体化氧化沟工艺的有四川新都污水处理厂、山东高密污水处理厂、山东陵县污水处理厂、贵州仁怀污水处理厂等，处理污水量为 10000~80000m³/d。总体来说，氧化沟工艺在我国也得到了相当多的应用，表 1.1 为国内一些氧化沟污水厂的技术资料（不完全统计）。

表 1.1 氧化沟技术在我国的应用实例

厂 名	方 式	规模/(m³/d)	厂 名	方 式	规模/(m³/d)
广东南海污水厂	Pasveer 型	10000	福建洋里污水厂	Carrousel2000(4 组)	200000
珠海香洲污水厂	Pasveer 型	30000	宁夏银川市新市区北部污水厂	Carrousel2000(2 组)	50000
北京大兴污水厂	Orbal	80000	内蒙古乌海市污水厂一期工程	Carrousel2000(2 组)	40000
厦门集美污水厂	Orbal	45000	宁夏银川市新市区南部污水厂	Carrousel2000(2 组)	50000
抚顺市石油二厂	Orbal	30000	北京市平谷污水厂	Carrousel2000(1 组)	40000
潍坊污水厂	Orbal	100000	山东成武造纸污水厂	Carrousel2000(1 组)	20000
厦门杏林污水厂	Orbal	60000	江苏扬州经济开发区港口工业园污水厂	Carrousel2000(2 组)	50000