

西北旱区生态水利学术著作丛书

曝气池中气液两相流 理论与实践

程文 万甜 任杰辉 著



科学出版社

西北旱区生态水利学术著作丛书

曝气池中气液两相流理论与实践

程 文 万 甜 任杰辉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

曝气池中气液两相流与氧传质效率密切相关,是污水处理效率得以提高的关键因素。掌握曝气池中气液两相流的理论,并将其应用于工程实践中,是 21 世纪污水处理工艺提标改造的重要环节。本书融合流体力学和环境工程等多门学科的知识,系统阐述曝气池中气液两相流的基本理论、运动特性与基本研究方法。全书主要包括:曝气池中气液两相流,气液两相流理论基础,气液两相流流场测量方法,曝气池中气液两相流数学模型理论,曝气池中气泡羽流的运动特性,曝气池中气液两相流数值模拟以及基于气液两相流的曝气池体型优化等。

本书可供环境工程、给水排水工程、环境科学、水力学等学科研究人员学习参考,也可供相关专业的研究生和高年级本科生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

曝气池中气液两相流理论与实践 / 程文, 万甜, 任杰辉著. —北京: 科学出版社, 2019.2

(西北旱区生态水利学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-059831-8

I. ①曝… II. ①程… ②万… ③任… III. ①曝气池-气体-液体流动-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 276303 号

责任编辑: 祝 洁 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 2 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2019 年 2 月第一次印刷 印张: 14 1/2 插页: 3

字数: 293 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《西北旱区生态水利学术著作丛书》学术委员会

(以姓氏笔画排序)

主 任：王光谦

委 员：许唯临 杨志峰 沈永明
张建云 钟登华 唐洪武
谈广鸣 康绍忠

《西北旱区生态水利学术著作丛书》编写委员会

(以姓氏笔画排序)

主 任：周孝德

委 员：王全九 李 宁 李占斌
罗兴铸 柴军瑞 黄 强

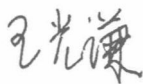
总 序 一

水资源作为人类社会赖以延续发展的重要要素之一，主要来源于以河流、湖泊为主的淡水生态系统。这个占据着少于 1% 地球表面的重要系统虽仅容纳了地球上全部水量的 0.01%，但却给全球社会经济发展提供了十分重要的生态服务，尤其是在全球气候变化的背景下，健康的河湖及其完善的生态系统过程是适应气候变化的重要基础，也是人类赖以生存和发展的必要条件。人类在开发利用水资源的同时，对河流上下游的物理性质和生态环境特征均会产生较大影响，从而打乱了维持生态循环的水流过程，改变了河湖及其周边区域的生态环境。如何维持水利工程开发与生态环境保护之间的友好互动，构建生态友好的水利工程技术体系，成为传统水利工程发展与突破的关键。

构建生态友好的水利工程技术体系，强调的是水利工程与生态工程之间的交叉融合，由此生态水利工程的概念应运而生，这一概念的提出是新时期社会经济可持续发展对传统水利工程的必然要求，是水利工程发展史上的一次飞跃。作为我国水利科学的国家级科研平台，西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地（西安理工大学）是以生态水利为研究主旨的科研平台。该平台立足我国西北旱区，开展旱区生态水利工程领域内基础问题与应用基础研究，解决若干旱区生态水利领域内的关键科学技术问题，已成为我国西北地区生态水利工程领域高水平研究人才聚集和高层次人才培养的重要基地。

《西北旱区生态水利学术著作丛书》作为重点实验室相关研究人员近年来在生态水利研究领域内代表性成果的凝炼集成，广泛深入地探讨了西北旱区水利工程建设与生态环境保护之间的关系与作用机理，丰富了生态水利工程学科理论体系，具有较强的学术性和实用性，是生态水利工程领域内重要的学术文献。丛书的编纂出版，既是对重点实验室研究成果的总结，又对今后西北旱区生态水利工程建设、科学管理和高效利用具有重要的指导意义，为西北旱区生态环境保护、水资源开发利用及社会经济可持续发展中亟待解决的技术及政策制定提供了重要的科技支撑。

中国科学院院士



2016 年 9 月

总 序 二

近 50 年来全球气候变化及人类活动的加剧,影响了水循环诸要素的时空分布特征,增加了极端水文事件发生的概率,引发了一系列社会-环境-生态问题,如洪涝、干旱灾害频繁,水土流失加剧,生态环境恶化等。这些问题对于我国生态本底本就脆弱的西北地区而言更为严重,干旱缺水(水少)、洪涝灾害(水多)、水环境恶化(水脏)等严重影响着西部地区的区域发展,制约着西部地区作为“一带一路”桥头堡作用的发挥。

西部大开发水利要先行,开展以水为核心的水资源-水环境-水生态演变的多过程研究,揭示水利工程开发对区域生态环境影响的作用机理,提出水利工程开发的生态约束阈值及减缓措施,发展适用于我国西北旱区河流、湖库生态环境保护的理论与技术体系,确保区域生态系统健康及生态安全,既是水资源开发利用与环境规划管理范畴内的核心问题,又是实现我国西部地区社会经济、资源与环境协调发展的现实需求,同时也是对“把生态文明建设放在突出地位”重要指导思路的响应。

在此背景下,作为我国西部地区水利学科的重要科研基地,西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地(西安理工大学)依托其在水利及生态环境保护方面的学科优势,汇集近年来主要研究成果,组织编纂了《西北旱区生态水利学术著作丛书》。该丛书兼顾理论基础研究与应用,对相关领域专业技术人员的工作起到了启发和引领作用,对丰富生态水利工程学科内涵、推动生态水利工程领域的科技创新具有重要指导意义。

在发展水利事业的同时,保护好生态环境,是历史赋予我们的重任。生态水利工程作为一个新的交叉学科,相关研究尚处于起步阶段,期望以此丛书的出版为契机,促使更多的年轻学者发挥其聪明才智,为生态水利工程学科的完善、提升做出自己应有的贡献。

中国工程院院士

2016 年 9 月

总 序 三

我国西北干旱地区地域辽阔、自然条件复杂、气候条件差异显著、地貌类型多样，是生态环境最为脆弱的区域。20 世纪 80 年代以来，随着经济的快速发展，生态环境承载负荷加大，遭受的破坏亦日趋严重，由此导致各类自然灾害呈现分布渐广、频次显增、危害趋重的发展态势。生态环境问题已成为制约西北旱区社会经济可持续发展的主要因素之一。

水是生态环境存在与发展的基础，以水为核心的生态问题是环境变化的主要原因。西北干旱生态脆弱区由于地理条件特殊，资源性缺水及其时空分布不均的问题同时存在，加之水土流失严重导致水体含沙量高，对种类繁多的污染物具有显著的吸附作用。多重矛盾的叠加，使得西北旱区面临的水问题更为突出，急需在相关理论、方法及技术上有所突破。

长期以来，在解决如上述水问题方面，通常是从传统水利工程的逻辑出发，以人类自身的需求为中心，忽略甚至破坏了原有生态系统的固有服务功能，对环境造成了不可逆的损伤。老子曰“人法地，地法天，天法道，道法自然”，水利工程的发展绝不应仅是工程理论及技术的突破与创新，而应调整以人为中心的思维与态度，遵循顺其自然而成其所以然之规律，实现由传统水利向以生态水利为代表的现代水利、可持续发展水利的转变。

西北旱区生态水利工程省部共建国家重点实验室培育基地（西安理工大学）从其自身建设实践出发，立足于西北旱区，围绕旱区生态水文、旱区水土资源利用、旱区环境水利及旱区生态水工程四个主旨研究方向，历时两年筹备，组织编纂了《西北旱区生态水利学术著作丛书》。

该丛书面向推进生态文明建设和构筑生态安全屏障、保障生态安全的国家需求，瞄准生态水利工程学科前沿，集成了重点实验室相关研究人员近年来在生态水利研究领域内取得的主要成果。这些成果既关注科学问题的辨识、机理的阐述，又不失在工程实践应用中的推广，对推动我国生态水利工程领域的科技创新，服务区域社会经济与生态环境保护协调发展具有重要的意义。

中国工程院院士

2016 年 9 月

前 言

近年来,随着城市化进程的加快,工业及生活污水废水排放量逐年增加,水环境问题日益突出,严重制约着我国社会和经济的可持续发展。污废水处理工艺的强化与改进是缓解水环境污染的有效对策之一。曝气池作为活性污泥法的主体构筑物,已被广泛应用于污废水生物处理工艺,而曝气池中气液两相流动与氧传质和水处理效能密切相关。因此,研究该流动特性对提高污废水处理效能有重要的理论与实践意义。

本书取材于作者研究团队 20 余年来在曝气池中气液两相流方面的研究成果,包括国家自然科学基金项目(50679071, 51076130)、西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室开放课题(液固两相流化床反应器中流体力学特性研究、液固两相流化床反应器中运动规律的研究、高空隙率条件下气液两相流图像处理研究)、中国博士后科学基金项目(20070410378)等研究成果。在撰写中结合教学科研实践,进行了一些尝试和探索,希望可以起到抛砖引玉的作用。全书共 7 章,按照内容可分为两大部分:第 1~4 章为本书主要内容的理论基础,第 5~7 章为曝气池气液两相流的实验研究、数值模拟以及曝气池设计优化。本书涉及的研究成果源于多项国家级和省部级纵向研究课题,处于国际同期研究水平。

本书的撰写得到许多同行专家和学者的指导与帮助,在此特别表示感谢。作者研究团队成员王敏、孟婷、师雯洁、张晓晗、李冬、何梦夏、张杏、刘吉开以及阮天鹏等多位研究生在数据处理、图表绘制及内容完善等方面付出了辛勤劳动!本书部分成果是在日本福井大学 Y. Murai 教授和 F. Yamamoto 教授的指导协助下完成的;同时,本书的出版得到国家自然科学基金项目(51679192)、陕西省重点研发计划(2017SF-392)及陕西水利科技计划(2014slkj-12、2016slkj-08)的联合资助。本书的撰写和出版还得到西安理工大学科技处和科学出版社的大力支持,在此一并深致谢意!

鉴于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

总序一

总序二

总序三

前言

第 1 章 曝气池中气液两相流	1
1.1 引言	1
1.2 曝气池	4
1.2.1 曝气池定义	4
1.2.2 曝气池中的曝气方式	5
1.2.3 曝气池分类	6
1.3 曝气池运行原理	12
1.3.1 曝气理论	12
1.3.2 氧转移的影响因素	17
1.4 曝气池中气液两相流研究进展	19
1.4.1 气液两相流简介	19
1.4.2 曝气池中气液两相流的研究现状	22
1.4.3 曝气池中气液两相流研究的发展趋势	27
参考文献	28
第 2 章 气液两相流理论基础	31
2.1 气液两相流基本理论	31
2.1.1 局部瞬时方程组	31
2.1.2 瞬时空间平均方程	36
2.1.3 局部时均方程	38
2.1.4 复合平均方程	40
2.2 气液两相流流型与流型图	41
2.2.1 气液两相基本流型	42
2.2.2 两相流型图	48
2.2.3 流型之间的过渡	52

2.3 两相流动的参数	55
2.3.1 空间与时间平均运算	55
2.3.2 含气率与含液率	57
2.3.3 两相运动速度	60
2.3.4 两相介质密度	61
2.3.5 其他两相流参数	62
参考文献	64
第3章 气液两相流流场测量方法	65
3.1 激光多普勒技术	65
3.1.1 激光多普勒测速的原理	66
3.1.2 激光多普勒测速技术的应用	70
3.2 核磁共振测量技术	70
3.2.1 核磁共振测量原理	70
3.2.2 核磁共振测量技术应用	78
3.3 过程层析成像技术	78
3.3.1 过程层析成像原理	78
3.3.2 过程层析成像技术应用	80
3.4 粒子图像测速技术	82
3.4.1 粒子图像测速技术测定原理	83
3.4.2 图像处理基本算法	84
3.4.3 粒子图像测速技术的应用	88
3.5 粒子追踪测速技术	89
3.5.1 粒子追踪测速技术测定原理	90
3.5.2 粒子追踪测速技术算法	91
3.5.3 粒子追踪测速技术的应用	92
参考文献	93
第4章 曝气池中气液两相流数学模型理论	96
4.1 双流体模型	97
4.1.1 双流体模型概述	98
4.1.2 湍流模型	100
4.1.3 相间作用力模型	106
4.1.4 双流体模型数值模拟与验证	108
4.2 CFD-PBM 耦合模型	112
4.2.1 群体平衡模型	112

4.2.2 气泡聚并模型	115
4.2.3 气泡破碎模型	120
4.2.4 CFD-PBM 耦合模型的构建与验证	125
4.3 CFD 与气泡群平衡耦合模型	128
4.3.1 气泡群平衡模型构建	128
4.3.2 CFD 与气泡群平衡模型求解	130
4.3.3 CFD 与气泡群平衡耦合模型验证	131
参考文献	134
第 5 章 曝气池中气泡羽流的运动特性	137
5.1 气泡羽流的概述	137
5.2 气泡羽流的获取方法	139
5.2.1 基于 PIV 技术的气泡羽流测定	139
5.2.2 空隙率计算	141
5.3 气泡羽流二维空隙率的分布特性	143
5.3.1 压强对空隙率分布的影响	143
5.3.2 纵横比对空隙率分布的影响	144
5.3.3 初始空隙率对空隙率分布的影响	145
5.4 气泡羽流的摆动机理	146
5.4.1 气泡羽流的时间连续分布	146
5.4.2 气泡羽流的摆动与波动频谱	149
5.5 曝气池中气泡羽流运动规律	159
5.5.1 纵横比对气泡羽流运动的影响	159
5.5.2 压强对气泡羽流运动的影响	163
5.5.3 空隙率对气泡羽流运动的影响	167
参考文献	171
第 6 章 曝气池中气液两相流数值模拟	172
6.1 CFD 模型理论基础	172
6.1.1 基本理论方程	173
6.1.2 多相流模型	175
6.1.3 网格划分与边界条件	184
6.2 方形曝气池中气液两相流数值模拟	186
6.2.1 纵横比对两相速度场分布的影响	187
6.2.2 曝气量对两相速度场分布的影响	188
6.2.3 曝气孔径对两相速度场分布的影响	189

6.3 圆形曝气池中气液两相流数值模拟	190
6.3.1 高径比对两相速度场分布的影响	191
6.3.2 曝气量对两相速度场分布的影响	192
6.3.3 曝气孔间距对两相速度场分布的影响	194
参考文献	195
第7章 基于气液两相流的曝气池体型优化	196
7.1 曝气池体型优化——以曝气反应器为例	197
7.1.1 曝气池主体结构形式的优化	198
7.1.2 曝气池曝气方式的优化	200
7.1.3 曝气方式对污水处理效果的优化	205
7.2 曝气池体型优化——以氧化沟为例	207
7.2.1 氧化沟的运行现状	207
7.2.2 氧化沟内水力流动状况	209
7.2.3 导流墙设置方式对水流流动特性的影响	210
7.2.4 氧化沟设计断面优化	212
参考文献	215

彩图

第 1 章 曝气池中气液两相流

1.1 引 言

水环境是构成环境的基本要素之一，是人类社会赖以生存和发展最重要的场所，也是受人类干扰和破坏最严重的领域。随着工业化与城市化进程不断加剧，人口不断增加，水环境问题日益突出，如水体富营养化、城市内河黑臭现象等，已成为社会发展的巨大阻碍。我国是一个人口众多的发展中国家，也是世界上最缺水的国家之一，人均水资源占有量不足 2300 m³，仅为世界平均水平的 1/4。《2016 年中国水资源公报》显示，2016 年全国供用水总量为 6040.2 亿 m³，较 2015 年减少 63.0 亿 m³（中华人民共和国水利部，2017）。然而，目前水环境现状令人担忧，主要表现为地表水与地下水的严重污染。2016 年，全国 1940 个国家地表水考核断面中 V 类和劣 V 类水质占 15.5%（图 1.1）。在七大流域、浙闽片河流、西北诸河、西南诸河共设 1617 个国考断面，监测发现其中 IV 类占 16.8%，V 类占 6.9%，劣 V 类 8.6%，主要分布在海河、淮河、辽河和黄河流域，主要污染指标为化学需氧量、总磷和五日生化需氧量，断面超标率分别为 17.6%、15.1%和 14.2%。2016 年，国土资源部对全国 31 个省（自治区、直辖市）225 个地市级行政区的 6124

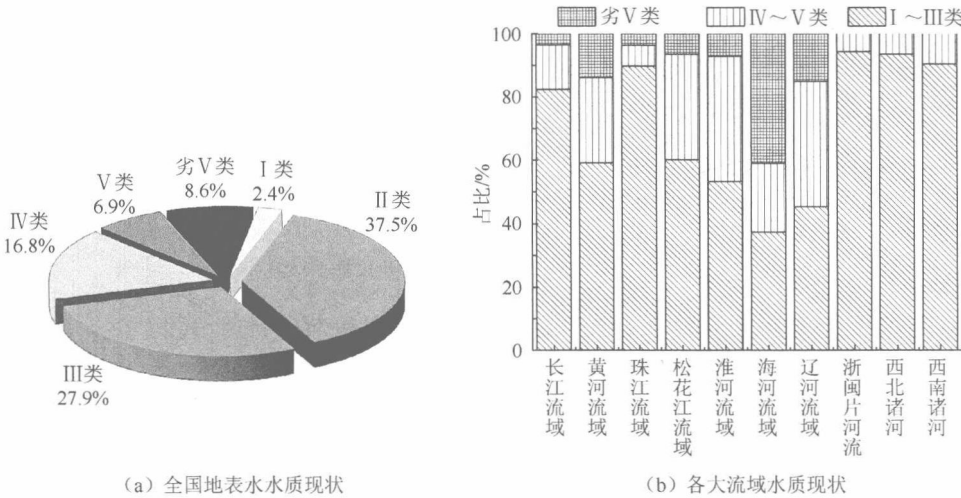


图 1.1 2016 年全国地表水污染状况

个监测点（其中国家级监测点 1000 个）开展了地下水水质监测，评价结果显示：水质为优良级、良好级、较好级、较差级和极差级的监测点分别占 10.1%、25.4%、4.4%、45.4%和 14.7%，主要超标指标有锰、铁、总硬度、溶解性总固体、“三氮”（亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮）、硫酸盐和氟化物等，个别监测点存在砷、铅、汞、六价铬以及镉等重（类）金属超标现象（中华人民共和国环境保护部，2017）。尽管水环境现状较 2015 年之前有所改善，但水环境问题仍不容忽视。“水污染防治行动计划”中明确指出要全面控制污染排放，切实加强水环境管理，全力保障水生态环境安全，因此水环境污染综合整治逐渐成为中国水环境研究的热点问题之一。

水环境科学工作者普遍认为，有效的污水处理是缓解水环境恶化最重要的途径之一。改革开放以来，我国对环境保护日益重视，污水处理工作得到突飞猛进的发展，城市污水厂建设及发展状况见图 1.2。1985 年以前，仅有 38 座城市污水处理厂，日处理污水规模为 0.4 万~26 万 m³；到 1990 年底，已经建成污水处理厂 80 多座，日处理能力为 400 万 m³；自 2000 年开始，污水处理厂建设规模快速增长，2000 年底建成城市污水处理厂 427 座，设计日处理能力为 3123 万 m³（马腾，2008）；截至 2014 年底，污水处理厂共有 3622 座，其中城市污水厂共 2051 座，日处理量 1.35 亿 m³。污水处理规模发展如此迅猛，为什么水环境状况还是令人担忧呢？随着经济建设的快速发展，污水排放量飞速增长，给污水处理厂带来巨大压力，1988 年污水排放总量仅有 268 亿 m³，1998 年已经增至 395.3 亿 m³，2007 年总量达 556.7 亿 m³，而 2014 年废污水排放总量约 800 亿 m³（中华人民共和国环境保护部，2017）。污水排放量的剧增与污水处理事业发展相对滞后之间的矛盾，部分污水得不到有效的处理而直接排放到外部环境，直接或间接污染地表水与地下水，水环境逐渐恶化。因此，进一步完善污水处理厂的建设，对水环境现状的改善具有重要意义。

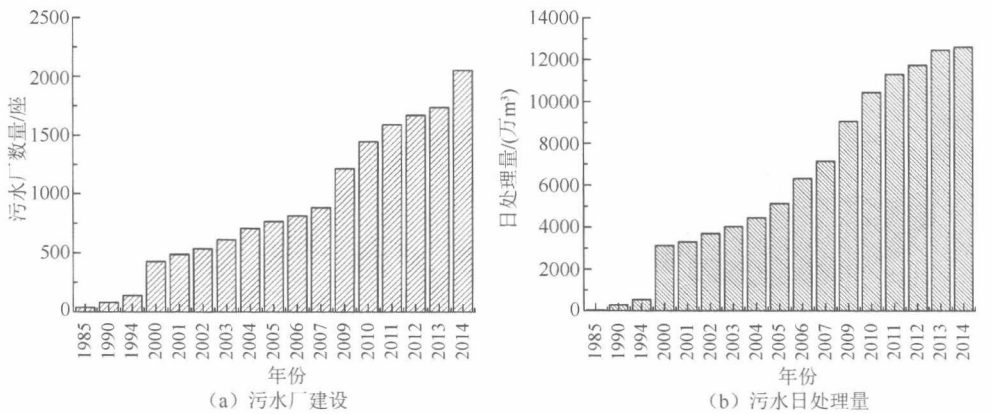


图 1.2 全国城市污水厂建设及发展状况

活性污泥法是以活性污泥为主体的污水生物处理技术，始于 20 世纪初，迄今已有百年历史，是一种高效、经济的污水处理技术，在世界各国污水处理工艺中得到广泛应用。尽管现已开发了多种污水处理工艺，但是对大型，尤其超大型污水处理厂，活性污泥法的位置仍难以替代。目前，我国大部分城镇污水处理厂采用以活性污泥法为主体的生物处理工艺，如厌氧-好氧（anaerobic-oxic, A/O）工艺、厌氧-缺氧-好氧（anaerobic-anoxic-oxic, A^2/O ）工艺、氧化沟工艺以及序批式活性污泥法（sequencing batch reactor activated sludge process, SBR）等。活性污泥法处理系统如图 1.3 所示。在人工充氧条件下，对污水和各种微生物群体进行连续混合培养，形成活性污泥；利用活性污泥的生物凝聚、吸附与氧化作用以分解去除污水中的有机污染物；在沉淀池中污泥与水分离，部分污泥再回流到曝气池以补充足够的生物量，多余部分则排出活性污泥系统。曝气池作为活性污泥法系统的核心处理单元，不仅为污水与污泥充分混合提供动力，而且为活性污泥絮体中微生物的生长代谢提供充足的氧气，实现了污水高效处理的目的。活性污泥系统的净化效果很大程度上取决于曝气池是否高效、正常地发挥其功能，而曝气池功能的发挥，则主要取决于曝气效果的好坏（张自杰等，2000）。曝气技术对污水处理效率起着关键作用，同时也是污水厂能耗的重要因素，从而直接影响氧的利用效率。目前，城市污水处理厂大部分采用各种类型的鼓风曝气工艺，曝气工艺过程所用能耗占整个污水处理厂总用电量的 50%~70%，是污水处理厂能耗最大的部分。曝气环节的能耗问题一直是制约活性污泥法更广泛应用的关键因素，如何有效地降低能耗，是目前国内外迫切需要解决的问题之一。

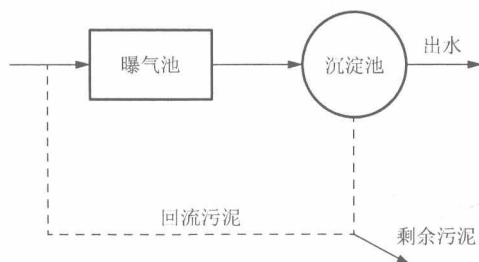


图 1.3 活性污泥法处理系统

曝气池作为活性污泥法中污水处理的中心环节，不仅影响污水处理效果，而且决定污水的处理成本，因此得到国内外众多水处理研究者的广泛关注。曝气池在运行过程中，由于曝气作用使得污水与污泥在流动中充分混合，在混合过程中空气和泥水混合物间发生相互作用，在流体力学中称该流动问题为气液两相流动（空气作为气相，泥水混合物作为物相）。气液两相之间的流动规律影响空气中的氧气向液相中转移的效率，而氧的转移效率与微生物的生长代谢密切相关，最终达到污水处理的目的（Liu et al., 2017; Albuquerque et al., 2012）。探究曝气池中

气液两相流动问题,有利于从流体力学的角度深入揭示污水处理机制,而且可有效地优化污水处理效能(Eusebi et al., 2017; Moulllec et al., 2010)。因此,明晰曝气池中气液两相流动规律,对优化曝气池结构和曝气效果具有重要意义,对提高污水处理效率尤为重要。

1.2 曝 气 池

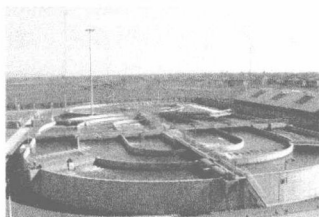
曝气池作为活性污泥法污水处理工艺的主体构筑物,如 A^2/O 工艺中的好氧阶段、氧化沟工艺的曝气区域等,直接影响污水处理效率的高低。曝气池中具备多种曝气方式,也可分为不同类别,不同曝气方式或曝气池类别,具有不同的特征及优缺点。掌握曝气池的定义、曝气方法及曝气池的类别,是进一步研究曝气池的理论基础。

1.2.1 曝气池定义

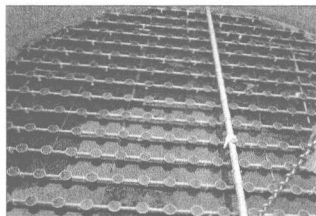
曝气池是活性污泥法污水处理系统的核心构筑物,实质就是一个承载活性污泥与污水之间相互作用的反应器,一方面它将空气中的氧溶解到泥水混合物内,为活性污泥中的好氧菌所利用,另一方面使活性污泥处于悬浮状态更好地与污水接触,实现污水高效处理的目的(张自杰等, 2000)。曝气池由池体、曝气系统和进出水口三个部分组成,池体一般用钢筋混凝土做成,平面形状多为是方形和圆形,如图 1.4 所示。曝气系统作为曝气池的核心组件,直接关系到活性污泥与污水的充分混合,同时也决定活性污泥反应器对污水的处理效率及运行费用。



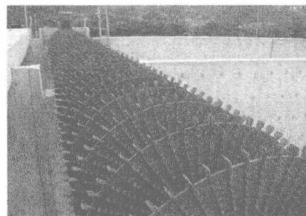
(a) 平流式曝气池



(b) 氧化沟



(c) 圆形曝气盘系统



(d) 曝气转盘系统

图 1.4 曝气池及曝气系统

曝气池内污泥混合物的组分主要有三种：活性污泥、曝气气体和污水（张自杰等，2000）。活性污泥是活性污泥处理系统中的主体作用物质，活性污泥上栖息着大量的好氧细菌，也存在着真菌、放线菌、酵母菌以及原生动物、后生动物等微生物，这些微生物群体在活性污泥上组成了一个相对稳定的小生态系统，在活性污泥中以游离状和絮凝体状两种状态存在。正常运行的活性污泥系统中细菌主要呈菌胶团状态存在，其中的原生动物捕食细菌和其他微生物，在一定程度上它起到了有效控制活性污泥系统中微生物量的作用。活性污泥絮凝体的形成有利于对废水中有机物的吸附和活性污泥的沉降，保证了处理工艺的连续进行。但从物质的传递过程来看，絮凝体对营养物质的吸收、氧的传递和有毒代谢产物的排泄起阻碍作用的。因此，如何充分发挥曝气池作用，使污水处理达到高效、节能的目的，是国内外活性污泥系统研究的热点问题。

1.2.2 曝气池中的曝气方式

曝气是把空气通过空气扩散装置（又称曝气装置）分散成气泡，使气泡中的氧溶解到混合物中，提供微生物生化反应所需要的溶解氧，同时保证污水的充分混合，使活性污泥处于悬浮状态，通过泥、水、气三相的充分接触，保证活性污泥充分利用水中溶解氧来分解有机污染物和含氮、磷的营养物。因此，曝气的效果对五日生物化学需氧量（ BOD_5 ）、悬浮固体物质的去除率起重要作用（肖浩飞，2010）。

空气扩散装置是活性污泥系统中至关重要的设备之一，主要作用有：①充氧，将空气（或纯氧）转移到混合液中的活性污泥絮凝体上，以供微生物呼吸消耗所用；②搅拌、混合，使曝气池内的混合物处于剧烈的混合状态，使活性污泥、溶解氧、污水中的有机污染物三者充分接触，同时也起到防止活性污泥在曝气池内沉淀的作用。目前，广泛应用于活性污泥系统的空气扩散装置分为鼓风曝气和机械曝气两大类，两种常用曝气方法见图 1.5。

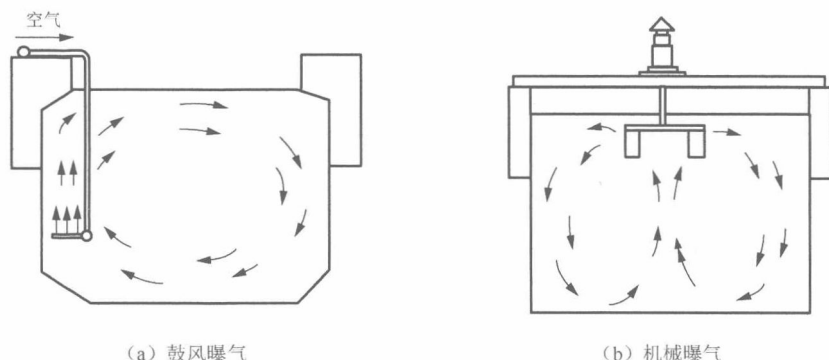


图 1.5 两种常用曝气方法