

SHUICHULI XIN JISHU YU ANLI

水处理 新技术与案例

周国成 凌建军 主 编
马卫东 聂守田 王 静 副主编



化学工业出版社

SHUICHULI XIN JISHU YU ANLI

水处理 新技术与案例

周国成 凌建军 主 编

马卫东 聂守田 王 静 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书收集了 60 项城市污水和工业废水处理工程的处理技术方案、施工设计等方面的典型案例与实例,涉及的内容主要有:湖泊、流域等水体富营养化问题;城市污水处理厂升级改造与深度处理;焦化废水、煤化工废水、造纸废水、循环冷却水、淀粉废水、稀土废水、柠檬酸废水、啤酒废水、硅棒切片废水、木糖废水、电子工业废水、肉类加工工业废水、医药工业废水、油脂加工工业废水、钢铁废水、制药废水、纺织印染废水、化工废水、制糖废水、味精废水、重金属废水、含油废水、皮毛废水、集约化牲畜养殖场废水等各种废水的处理;生态公厕微生物与水处理技术;污泥处理处置;Orbal 氧化沟工艺与设备等。

本书针对不同特点的水处理工程进行客观地评述和总结,可供环境工程、市政工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

水处理新技术与案例/周国成,凌建军主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-122-19723-8

I. ①水… II. ①周… ②凌… III. ①水处理-技术-案例
IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 023214 号

责任编辑:刘兴春 徐娟 孙浩
责任校对:王素芹

装帧设计:孙远博

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 29½ 字数 764 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686)

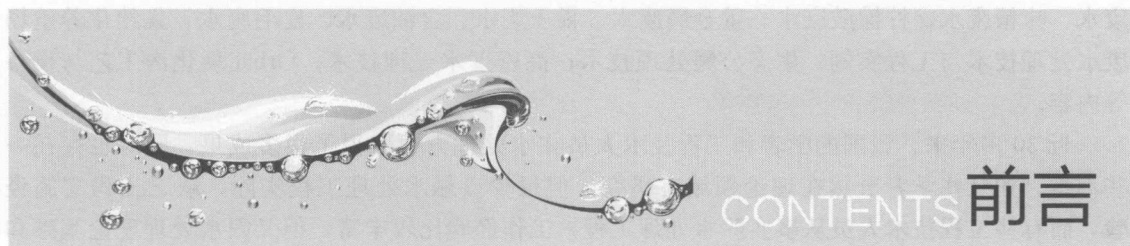
售后服务:010-64518899

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: 138.00 元

版权所有 违者必究



CONTENTS 前言

近几年来,我国城镇污水处理行业正处于一个快速发展阶段,在“十一五”末期,全国污水处理厂的总数是2496座,总处理能力达到 $1.25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$,与“十五”期间相比,污水处理厂数量增长了3.1倍,总处理能力增长了2.1倍,城市污水处理率增长了25%,城镇污水处理厂的平均负荷能力增长了14%,污水年处理量增长了2倍,削减COD增长了2.2倍。而截止到2011年,全国已建成的污水处理厂总数已超过3000座,总处理能力达到 $1.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。我国城镇污水处理厂在城镇污染物减排特别在COD减排方面,担负着70%以上的减排任务。我国城镇污水处理行业发展近20年,通过我国“十五”、“十一五”期间污水处理厂处理能力的比较以及20年来城镇污水排放量、污水处理量和污水处理率的变化趋势比较,可知我国城镇污水处理的发展相当迅速。

国家提出2010年城市污水处理率达到70%以上,2010年我国日污水处理能力从4500万吨/日上升到7000万吨/日,处理能力提高到70%以上。2004~2006年全国城市污水处理率由45.6%增长到57.1%,应该说,此增长率是比较高的。但我国城市污水处理任务还很重,全国广大的小城镇、乡镇和新农村的污水处理还处于起步阶段。城市污水是城市生活污水和工业废水的总和,一般中小城市,尤其是小城镇以生活污水为主,约占70%~80%,工业废水约占20%~30%,而大中城市一般工业比较发达,生活污水占30%~40%,而工业废水约占60%~70%,因此工业废水一般要经预处理或完全处理达到排入城市污水处理厂的水质标准,与生活污水合并排入并一起处理到所要求的排放标准,或经深度处理后回用于本厂生产工序或工段中,或回用于城市绿化中,达到节约水资源和节能减排的要求。

科学技术是第一生产力,我国的水污染防治也必须依靠科学技术的发展,近30年来国内外在水污染防治方面开展了大量的研究工作,取得了迅速发展。水污染防治技术的发展目的主要是获得尽可能高的水质,消耗尽可能少的资源和能源,并尽可能地采用适合地方条件的一些实用技术。一大批新技术、新设备陆续问世,很多新工艺、新流程已应用于生产实践,还出现了不少示范性的工程项目,值得效仿和推广应用。

笔者在工作和担任技术顾问期间,接触到的污水、废水、循环冷却水等处理工程的技术方案比较、技术设计、施工设计等工作近百项。本书选取了一些有代表性的技术问题进行探讨。书中有一定的技术阐述、评论,更着重于实用技术、实用工艺与设备等内容,并进行分析与探讨,以解决实际工程技术问题为主导。希望本书能对我国水污染防治工程的实施和发展发挥作用。

本书主要涉及活性污泥的产生、试验研究、应用实践;厌氧处理理论和厌氧技术的应用与发展;太湖流域富营养化问题的讨论与防治;城市污水处理厂升级改造与深度处理工艺技术;合建式污水处理系统的探讨与工程实践;循环冷却水、补充水与再生水处理技术标准分析与探讨;焦化废水、造纸废水、淀粉废水、钢铁废水、制药废水、纺织印染废水、化工废水、制糖

废水、味精废水、柠檬酸废水、重金属废水、稀土废水、含油废水、皮毛废水、集约化养殖场废水处理技术与工程实例；生态公厕处理技术；高密度水处理技术；Orbal 氧化沟工艺与设备等内容。

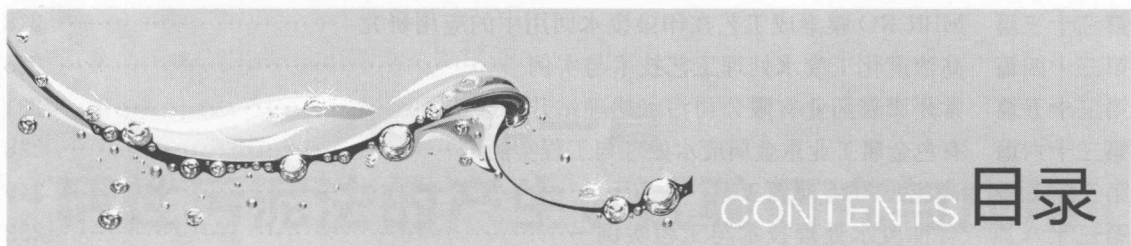
近 30 多年来，我国的学者和工程技术人员在水处理方面取得了很多成果，同时也存在一些不足。如有些学者虽然在理论领域有研究，但很少接触水处理工程实际，缺乏工程实施经验，而有些工程技术人员从事实际水处理工程，工作经验比较丰富，但又因水处理理论基础和试验研究不足，导致水处理技术未能得到充分发展。作为水处理工作者应努力掌握这些方面的知识，把我国的水处理工作推向新的阶段。

在本书编写工作过程中，并没有对每个工程实例都介绍得很详细，而着重在处理技术本身、技术方案、工艺路线等内容，并增加了讨论、分析、研究与探讨等，使本书内容更有生命力、有实用价值。书中所提出的一些见解，希望与国内同行进行广泛的探讨与分析研究，并希望得到广大读者的建议。

参加本书编写的人员近百人，而为本书所涉及的新技术、新工艺付出辛勤劳动的工作人员更多，特别指出的是水污染防治工程界的同行、前辈，如张林生教授、袁惠新教授、董良飞教授、涂晓光博士、羊寿生教授、沈求祉教授、姜达君教授、吴阿兴教授、严宜怀教授、朱凤生教授、汪德仁教授、徐兴玉教授、过永祥教授、张福春教授、周金全教授、蒋平研究生等，企业家凌建军、王春林、王洪春、陈效新、王亚娜、杭浩忠、杭镇鑫、陆效庭、殷益明、蒋达敖、吴昊、王腊华、钱盘生、刘立忠、彭丰、张岳清、蒋烈平、姚茂红、施伟东、杭玉君、向阳、张兴福、王晓东、蒋伟群、朱列平、许小勇、吴梅芳、于星等对本书的鼓励和支持，以及化学工业出版社的大力支持、帮助，在此特向他们致以深切的感谢！为了本书的系统性和完整性，在编写过程中引用了其他作者的工程实例和文献资料，谨向所引用文献的作者们表示诚挚的谢意和敬意！

限于编写人员的水平和能力，书中疏漏或技术方面的不完整之处在所难免，敬请读者批评指正，在此深表感谢！

编者
2014 年 6 月



第一篇	活性污泥法的产生、试验研究与应用	1
第二篇	厌氧处理理论和厌氧技术的应用与发展	10
第三篇	太湖流域富营养化问题的讨论与防治	21
第四篇	城市污水处理厂升级改造与深度处理工艺技术	25
第五篇	南昌青山湖城市污水处理厂 BOT 项目的技术分析和方案比较	37
第六篇	江阴市小城镇污水集中处理的研究与思考	43
第七篇	曝气生物滤池处理城市污水的工程应用	48
第八篇	合建式污水处理系统的探讨与工程实践	54
第九篇	关于周边进水沉淀池设计和配水槽水力计算中几个问题的探讨	59
第十篇	氧化沟曝气转刷的设计与计算	67
第十一篇	污泥厌氧消化池造型的发展与加热搅拌系统设备的配套	76
第十二篇	工业循环冷却水水质和回用水水质技术标准的讨论	81
第十三篇	城市垃圾填埋场渗滤液处理技术概况与探讨	91
第十四篇	焦化废水处理技术概况与探讨	101
第十五篇	煤化工企业废水处理技术方案讨论	113
第十六篇	造纸废水处理技术与探讨	119
第十七篇	再生纸造纸废水和麦草、稻草造纸废水加药混凝沉淀和气浮的试验研究	128
第十八篇	涂装废水处理技术及工程实例	132
第十九篇	甜菜制糖废水和糖蜜废水处理技术与实例	138
第二十篇	孟加拉 JAMUNA 酒精厂糖蜜酒精废水处理工程技术改造及其特点	145
第二十一篇	利用光合细菌处理糖蜜酒精发酵液中试研究	149
第二十二篇	氨氮的吹脱试验研究	152
第二十三篇	集约化牲畜养殖场废水处理技术与工程实例	159
第二十四篇	麻纺工业废水处理技术与工程实例	167
第二十五篇	毛纺织工业废水处理技术与工程实例	172
第二十六篇	柠檬酸工业废水处理技术与工程实例	178
第二十七篇	味精工业生产废水治理现状与发展	184
第二十八篇	淀粉工业生产废水处理技术与实例	191
第二十九篇	船舶生活污水处理技术的发展	201
第三十篇	SMD 可移动“绿色生态”厕所的诞生	206
第三十一篇	O ₃ /Fenton 试剂复合氧化多菌灵废水实验研究	211
第三十二篇	我国生态公厕处理技术发展概况与展望	214

第三十三篇	MBR-RO 膜集成工艺在印染废水回用中的应用研究	218
第三十四篇	高浓度化工废水处理工艺技术与实例	225
第三十五篇	常州康普药业有限公司污水处理站升级改造	231
第三十六篇	有色金属工业重金属废水处理与工程实例	238
第三十七篇	高密度澄清池新工艺	249
第三十八篇	含油废水处理技术与工程实例	252
第三十九篇	轧钢厂及特钢厂废水处理技术与实例	264
第四十篇	矿业稀土冶炼工业生产废水处理技术与升级改造实例	275
第四十一篇	SBR 工艺含氨氮废水脱氮的研究	279
第四十二篇	桑坡村 3 万吨/天皮毛废水治理改扩建工程	282
第四十三篇	Orbal 氧化沟工艺及设备	289
第四十四篇	技术先进的生物流化床新工艺新技术	337
第四十五篇	生活垃圾焚烧场(厂)垃圾贮仓溶液及生活垃圾地区接收站压榨滤液处理概况	348
第四十六篇	厌氧挡板折流反应器概况——ABR 反应器	355
第四十七篇	水果蔬菜罐头生产工业污废水处理技术	360
第四十八篇	肉类加工工业污废水处理技术	370
第四十九篇	医药工业污废水处理技术	377
第五十篇	纺织印染生产污废水的回用技术讨论与探讨	388
第五十一篇	江苏某制造有限公司河水净化利用节约水资源项目	393
第五十二篇	纺织印染工业污废水二级处理与深度处理中几个问题的讨论与探讨	398
第五十三篇	硅棒切片污废水和酸洗污废水治理技术	405
第五十四篇	啤酒工业污废水处理技术与实例	413
第五十五篇	金属制品加工工业污废水处理——含氰废水处理技术与实例	421
第五十六篇	城市和工业污水处理厂污泥处理——脱水干化新设备新产品介绍	428
第五十七篇	电子工业生产给水和污废水处理技术分析案例	440
第五十八篇	修正技术导向,促进污泥厌氧消化处理工艺的发展与推广应用、大力发展利用生物能源	446
第五十九篇	木糖生产污废水处理工艺技术与实例	455
第六十篇	油脂废水处理技术与应用(案例)	458
参考文献	464

第一篇

活性污泥法的产生、试验研究与应用

一、活性污泥法、微生物群体与净化反应过程

1. 活性污泥法的历史与现状

自 1913 年在英国曼彻斯特建立了第一座活性污泥法实验厂以来,采用活性污泥法处理污水至今已有 90 多年历史,近 1 个世纪以来活性污泥法处理技术有了较快的发展,已成为世界各国广泛采用的污水处理方法。

我国是世界上较早采用活性污泥法技术的国家之一,早在 1921 年上海建立了日处理 3500m³的北区污水处理厂,1926 年上海又建成东区、西区污水处理厂。活性污泥法已成为我国城市污水处理的主要方法,至今我国已建有各类处理工艺的城市污水、生活小区污水处理厂近千座,其中大部分采用了活性污泥法。随着污水处理要求的不断提高和处理技术的不断发展,特别是近数十年来,在生物反应、净化机理、活性污泥法反应动力学、生物反应器等方法的研究上,已开发出多种活性污泥法,如普通(常规)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、AB 两级活性污泥法、完全混合活性污泥法、序批式活性污泥法、氧化沟、深井曝气活性污泥法、富氧或纯氧曝气活性污泥法、厌氧-好氧活性污泥法、缺氧-好氧活性污泥法、厌氧-缺氧-好氧活性污泥法、水解(酸化)-活性污泥法、SBR、CASS、CAST、ICEAS、DAT-IAT、UINETANK、MSBR 等多种方法,目前已成为生活污水和工业废水的主要生物处理方法。

活性污泥法是一种应用最广泛的污水好氧生物处理法,由沉砂池、初沉池、曝气池、二沉池及污泥回流系统等组成,是在曝气池中将污水与活性污泥进行混合曝气,利用微生物代谢作用来去除污水中污染物的一种方法。被活性污泥去除的主要污染物质有含碳有机物、氮有机物和含磷化合物等。

2. 活性污泥微生物群体与食物链

活性污泥微生物群体与食物链如图 1-1 所示。

活性污泥由细菌、菌胶团、原生动物、后生动物等微生物组成。细菌主要是菌胶团。原生动物由钟虫、小口钟虫、大草履虫、尾皮多虫、盖纤虫、片状漫游虫、裂口虫、表壳虫、线形虫、循环纤虫等组成。

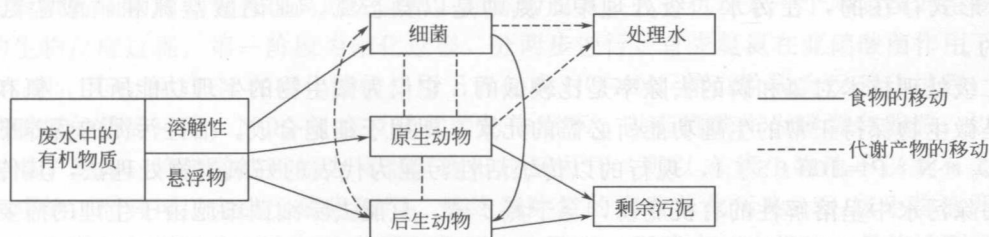


图 1-1 活性污泥微生物群体与食物链

3. 活性污泥微生物净化反应过程

(1) 在好氧条件下, 利用含碳有机物进行生物繁殖的异养微生物 (包括细菌、原生动物和后生动物等) 代谢、降解、净化含碳有机污染物。

(2) 在好氧条件下, 将氨氮氧化成亚硝酸盐后又将亚硝酸盐氧化为硝酸盐自养菌 (包括氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌), 反应过程称为硝化, 细菌通称为硝化菌。

(3) 在缺氧条件下 (基本上无溶解氧条件下), 硝酸性呼吸或亚硝酸性呼吸的兼性厌氧菌 (含异养菌, 称为脱氮菌) 进行脱氮。

(4) 在厌氧条件下 (无溶解氧), 与好氧交替作用 (反应), 积累大量的聚磷酸的细菌 (含异养菌, 称聚磷菌), 进行厌氧条件下释放磷和好氧条件下吸收磷, 最终在厌氧条件下, 将磷转移至污泥中起到除磷作用。

活性污泥法的运行过程就是创造使上述 4 类微生物各自发挥最佳生理特性的条件, 例如控制适宜的生物固体停留时间, 使去除含碳有机物的微生物可顺利地进行反应, 停留时间要既能满足去除含碳有机污染物, 又能满足硝化菌生长繁殖, 易进行氨氮的硝化 (氨氮的氧化即硝化过程)。另外已进行硝化的活性污泥混合液 (含亚硝酸盐和硝酸盐), 在有机碳存在的条件下, 在好氧状态下, 则脱氮菌能进行脱氮, 将氮气释放于大气; 在厌氧条件下, 具有聚磷菌的生长条件, 则予以除磷, 使污水得到净化处理。

4. 活性污泥法的净化机理

活性污泥法的净化机理包括活性污泥对有机物的吸附, 被吸附有机物的氧化与同化, 活性污泥繁殖、沉淀与分离、硝化、脱氮和除磷。污水开始与活性污泥接触的短时间内, 有机物质被大量去除, 亦称初期吸附, 被吸附的有机物被水解成小分子物质, 易降解、易吸收, 被生物体摄入体内, 在曝气池充氧条件下被氧化、同化、固化、净化。

5. 生物脱氮除磷技术

污水中的氮、磷会引起水体的富营养化, 主要表现为藻类的过量繁殖, 水体呈绿褐色, 将影响水源水质, 增加水处理成本, 对生物产生毒性。利贝格最小值定律指出: 植物生长取决于外界供给它所需要的养料中数量最小的那一种, 这一定律同样适用于藻类生长。斯托姆曾对藻类的化学成分进行过分析研究, 指出藻类的经验组成式为 $C_{106}H_{262}O_{110}N_{16}P$, 据此可以计算这些元素占藻类分子量的质量分数为 C35.8%、H2.4%、O49.6%、N6.3%、P0.9%。在研究了淡水湖泊水生植物平均化学元素组成后发现, 有机物生长的水环境中氮和磷的含量最低, 因此氮和磷是限制水生植物产生量的最主要的营养元素, 氮和磷的浓度与藻类增殖存在着正比例关系。

生物除磷主要是利用厌氧段充分释磷, 然后在好氧段活性污泥过量摄磷以去除废水中的磷, 于污泥中经沉淀去除。在自然界中, 氮化合物是以有机体的植物蛋白、动物蛋白、氨态氮 (NH_3 , NH_4^+)、亚硝酸盐氮 (NO_2^-)、硝酸盐氮 (NO_3^-) 以及气态氮 (N_2) 形式存在的, 在污水二级处理中, 氮则是以氨态氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮形式存在的。

二级处理技术对氮和磷的去除率是比较低的, 它仅为微生物的生理功能所用, 氮和磷同样都是微生物保持正常的生理功能所必需的元素, 即用于细胞合成。活性污泥的营养平衡式为 $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$, 现行的以传统活性污泥为代表的好氧生物处理法, 其传统功能是去除污水中呈溶解性的有机底物, 至于氮、磷, 只能去除细菌细胞由于生理的需要摄取的数量, 这样氮的去除率为 20%~40%, 而磷的去除率仅为 10%~30%。

在自然界中存在着氮循环的自然现象, 在采取适当的运行条件后, 能够将这一自然现象



适用在活性污泥系统中而去除废水中的氮。

二、水解酸化法

水解酸化法又可分为碱性水解法和酸性水解法。

1. 碱性水解法

有机磷农药废水在碱性条件下一般都不稳定，容易水解，采用碱性液体（NaOH）或石灰乳时，将废水 pH 值维持在 11 左右，在常温下搅拌 6h，进行碱性水解作用，COD 去除达 50% 左右，有机磷去除 27% 左右，当反应温度提高到 60~80℃，反应 30~45min，效果提高显著，COD 可去除 80% 以上，但会产生很大的臭味。

2. 酸性水解法

酸性水解法处理有机磷农药废水时，可以将废水中的硫代磷酸酯水解成二烷基磷酸，再进一步水解成正磷酸与硫化氢，硫化氢从水中逸出与石灰乳中和，生成硫氢酸钙，正磷酸与石灰中和生成磷酸钙。

3. 水解（酸化）-好氧生物处理系统

酸化是一类典型的发酵过程，这一阶段的基本特征是微生物的代谢产物主要是各种有机酸：乙酸、丙酸、丁酸等。大量的研究表明：开发用水解酸化工艺在厌氧条件下的混合液系统中，即使严格地控制条件，水解与酸化也无法截然分开，这是因为水解菌实际上是一种具有水解能力的发酵细菌，水解是一种耗能过程，发酵细菌付出能量，进行水解的目的是为了取得能进行发酵的水溶性基质，使通过胞内的生化反应取得能源，同时排出代谢产物（厌氧条件下为各种有机酸），如果废水中同时存在不溶性和溶解性有机物时，水解和酸化更是不可分割地同时进行。实际工程中希望将产酸过程控制在最小范围，因为酸化使 pH 值下降太多时，不利于水解的进行，产酸相一般控制在 pH6.0~6.5。要获得较高的水解速率时，一般 pH 值维持在 5.5~6.5 之间，产酸的微生物主要是厌氧菌群，但微生物的优势菌群随着控制氧化还原电位的不同而变化，当控制电位较低时，完成水解作用，产酸的微生物主要为厌氧菌群，当控制电位较高时，则完成水解产酸的微生物主要为兼氧菌群。总之水解酸化可将水中有机物降解为小分子污染物质，提高污水的可生化性，以利于后续的好氧生物处理。例如有关研究表明城市污水进行良好的水解酸化时，可使 COD 去除率为 40%~60%，而先进行水解酸化时停留时间 2~3h，BOD₅/COD_{Cr} 大幅度地提高，单水解酸化作用可使 COD 去除 40% 左右；同样造纸中段废水 COD 在 500~2500mg/L，先进行水解酸化作用，同样也可取得较好的处理效果。

三、A/O 活性污泥生化处理工艺

A/O 生化处理工艺是目前广泛采用的厌氧-好氧生化处理或缺氧-好氧生化处理，它对废水中的有机污染物和氨氮有很高的去除率，通称为脱氮工艺，机理是一个两阶段的生物硝化脱氮的生物反应过程。第一阶段为硝化过程，分两步进行，首先氨氮在亚硝酸菌作用下，生成 NO₂-N，其后 NO₂-N 在硝化菌的作用下氧化成 NO₃-N。第二阶段为反硝化过程，是完成生物脱氮的最后一步，NO₃-N 在反硝化菌的作用下，以有机碳作为碳源和能源，以硝酸盐作为电子受体，将硝酸盐还原为气态氮逸出放至大气，所以 A 级生物池不仅具有去除有机物的功能，而且可以完成反硝化作用，最终消除氮的富营养化污染。O₂ 级生物池即好氧反应池，利用好氧微生物对有机物的降解作用，去除上一级残余的有机物，最终达到污水的处理要求，这是紧密相联的共同净化作用，是不可分割的。为了取得 70%~80% 的脱氮率，



硝化反应需时较长，一般不能低于 6h，而反硝化所需时间短，在 2h 以内即可完成，硝化与反硝化时间比为 3 : 1，总停留时间为 8~10h。A/O 工艺流程如图 1-2 所示。

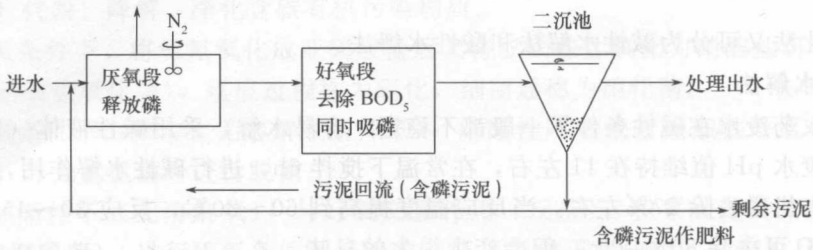


图 1-2 A/O (厌氧-好氧) 工艺流程

A/O 与 A²/O 工艺生物处理系统中，控制污水水温为 15~30℃，pH 为 7.5~8.0，为硝化菌与反硝化提供适宜的环境，厌氧段溶解氧在 0.5mg/L，最好在 0.2mg/L 以下，停留时间 2~4h，缺氧段溶解氧 0.5~0.7mg/L，好氧段溶解氧在 2.5~3.0mg/L，不低于 2.0mg/L，停留时间 6~10h，停留时间的多少取决于 BOD₅、COD_{Cr} 与 SS、NH₃-N、TP 等的浓度，通常在城市污水处理中，COD_{Cr} 在 500mg/L 左右，BOD₅ 在 200mg/L 左右，SS 在 250mg/L 左右，NH₃-N 在 30mg/L 时 A/O 与 A²/O 的总停留时间不要超过 16h，否则就不经济了（其中好氧段为 8~10h）。如果城市污水浓度偏高，如青岛团岛污水厂 COD_{Cr} 900mg/L、BOD₅ 450mg/L、SS 650mg/L、TKN 124mg/L、TP 10mg/L，总运行时间达 19.2h（其中缺氧 6.5h，厌氧 1.5h，厌氧-脱气段 1h，好氧段 10.2h）。又如浙江盛泽联合污水厂（以纺织印染废水为主），在 COD_{Cr} 1000~2000mg/L、BOD₅ 200~400mg/L 的情况下，采用厌氧-两段好氧处理工艺，总停留时间为 23.5h（其中厌氧 8h，第一段好氧 6.2h，第二段好氧 9.3h）。

四、A²/O 活性污泥生物处理工艺

A²/O 工艺流程如图 1-3 所示。A₁ 为厌氧段，A₂ 为缺氧段，O₂ 为好氧段。A²/O 工艺是高脱氮除磷工艺，其反应单元的功能与工艺特征如下。

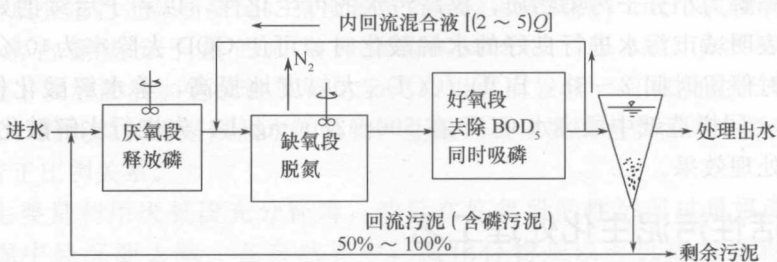


图 1-3 A²/O (厌氧-缺氧-好氧) 工艺流程

- ① 厌氧反应段的功能是释放磷。进入本单元的磷除厌氧水解外，还有从沉淀池排放的污泥。
- ② 缺氧段反应的首要功能是脱氮，由好氧反应段送出的内循环量为 (1~5) Q (Q 为原污水处理总量)。
- ③ 好氧反应段是多功能的，在这主要进行去除 BOD、硝化和吸收磷等反应。
- ④ 沉淀池的功能为泥水分离，上清液作为处理水排放，部分污泥回流至厌氧段，在那里释放磷。

A²/O 工艺除磷效率在 70% 左右，脱氮率约为 70%~90%。



五、倒置式 A²/O 活性污泥处理工艺

1. 倒置式 A²/O 工艺

倒置式 A²/O 工艺是由同济大学、清华大学、中国市政工程华北设计研究总院等单位研制的，同时具有除磷和脱氮功能，是在 A²/O 工艺的基础上增设一个缺氧区，使好氧区中的混合液回流至缺氧区使之反硝化脱氮（图 1-4）。倒置式 A²/O 工艺将缺氧段放在厌氧段之前，厌氧和兼性厌氧菌可将大分子有机物转化为分子量较小的中间发酵产物，同时聚磷菌将其体内的聚磷酸盐分解，释放的能量供专性好氧聚磷微生物在厌氧的“压抑”环境中维持生存。在好氧区聚磷菌过量吸收溶解态磷，在二沉池污泥沉淀下来，从而达到除磷的目的。

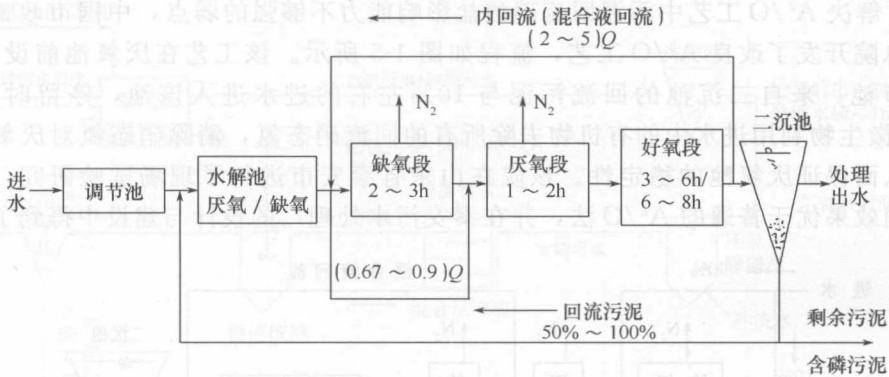


图 1-4 倒置式 A²/O 工艺流程

注：一般城市污水处理厂可省去调节池

倒置式 A²/O 工艺的主要特征如下。

- ① 脱氮与除磷同时进行，构筑物功能明确，在良好的除磷效果下不影响脱氮效果。
- ② 缺氧与好氧交替运行，丝状菌增殖受到抑制，无污泥膨胀之虑。
- ③ 聚磷菌在厌氧段释放磷后进入生化效率提高的好氧环境，在好氧状态下形成的吸磷能力可以得到充分利用。
- ④ 使所有的回流污泥全部经历完整的释磷、吸磷过程，使剩余污泥含磷量提高，确保了除磷效率。
- ⑤ 缺氧段位于工艺首端，使反硝化优先获得碳源，加强了系统的脱氮能力。
- ⑥ 省去了硝化过程的投碱和反硝化过程的投碳。
- ⑦ 倒置式 A²/O 工艺在高速率条件下运行，其水力停留时间较短，泥龄较短，有利于除磷。

⑧ 倒置式 A²/O 工艺将缺氧段放在厌氧段之前，在厌氧段，兼性厌氧菌可将大分子有机物转化为分子量小的中间产物，发酵产物进一步起到了水解酸化作用。

对于低碳高氮磷的污水尤其是生活污水要充分利用有限的碳源进行脱氮和除磷，短程硝化反硝化是一种能耗低、节约碳源的新工艺。

生物脱氮主要是在好氧段利用硝化菌进行生物硝化，使氨氮转化成硝酸盐氮，随之在缺氧阶段利用反硝化菌使硝酸盐氮转化为氮气逸出排入大气。生物除磷主要是利用厌氧段充分释磷，然后在好氧段活性污泥过量摄磷以去除污水中的磷。从生物脱氮除磷机理可看出，脱氮和除磷要求在工艺过程中是互相制约的。在湖州市菱湖污水处理项目中，COD_{Cr}、BOD₅、SS、氨氮、总磷等进水浓度较高，要求去除率较为严格，COD_{Cr}去除率要达到 88% 以上，



BOD₅去除率达到 88.2% 以上，氨氮去除率达到 80% 以上，总磷去除率达到 80% 以上。采用倒置 A²/O 工艺的各处理系统要有较长的停留时间，只要设计参数合理，此项目采用倒置 A²/O 工艺是可行的、合理的。湖州市菱湖污水厂设计进水水质与排放标准见表 1-1。

表 1-1 湖州市菱湖污水厂设计进水水质与排放标准

项 目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	pH 值 (无单位)
进水/(mg/L)	500	130	240	40	5	6~9
出水/(mg/L)	60	20	20	8	1.0	6~9
去除率/%	88	84.6	92	80	80	

2. A²/O 工艺的改进 (改良式 A²/O 工艺)

为了解决 A²/O 工艺中污泥回流硝酸盐影响能力不够强的弱点，中国市政工程华北设计研究总院开发了改良 A²/O 工艺，流程如图 1-5 所示。该工艺在厌氧池前设置了厌氧/缺氧调节池，来自二沉池的回流污泥与 10% 左右的进水进入该池，停留时间为 20~30min，微生物利用进水中的有机物去除所有的回流硝态氮，消除硝态氮对厌氧池的不利影响，从而保证厌氧池的稳定性。该院在山东省泰安市进行了现场试验研究，表明该工艺的处理效果优于普通的 A²/O 法，并在泰安污水处理厂的设计与建设中得到了应用。

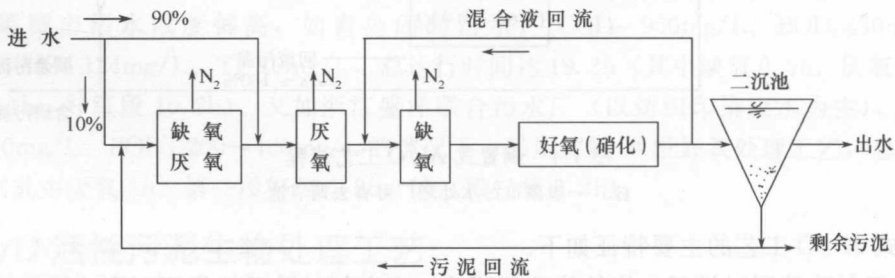


图 1-5 改良的 A²/O 工艺流程

3. 国内外对 A²/O 工艺改进的研究与实践

A²/O 工艺的特点是利用原污水中可生物降解物质作为碳源，在去除污水中 BOD 物质的同时也去除氮和磷。随着对污水排放标准的提高，很多国家都把 A²/O 工艺作为首选工艺，其理论研究更是日益深入，发展相当快，现已基本成熟并已发展了多种改进型，可适应不同条件的污水水质。当 TKN/COD 比值较小时，说明碳源不足，在此情况下，利用生物方法脱氮的同时，要达到好的除磷效果是比较困难的，这是因为原污水中碳源不足，导致 A²/O 工艺缺氧段反硝化进行不充分，出水快速降解 COD，抑制了厌氧段磷的有效释放，从而使好氧段磷的吸收也几乎全无发生，导致除磷效果不佳。针对上述情况，对常规的 A²/O 进行改良，下面列举几种改良型 A²/O 工艺，这几种改良工艺的共同特点是在碳源不足或不十分充足、反硝化程度不高的情况下仍可获得较好的除磷效果。

(1) 国外几种代表性的改良型 A²/O 工艺 其工艺流程如图 1-6、图 1-7 所示。这两种改良型工艺的运用条件和效果相近，但弗斯特利普法可节省内循环回流，可相应地节省部分建设费用和运行费用，除磷效果好，因此在工程设计中广泛应用。

(2) 国内应用改良型 A²/O 工艺实例

- ① 青岛市团岛污水处理厂：规模为 10 万吨/天。进出水水质见表 1-2，工艺流程见图 1-8。
- ② 北京清河污水厂：规模为一期 20 万吨/天。进出水水质见表 1-3，工艺流程见图 1-9。



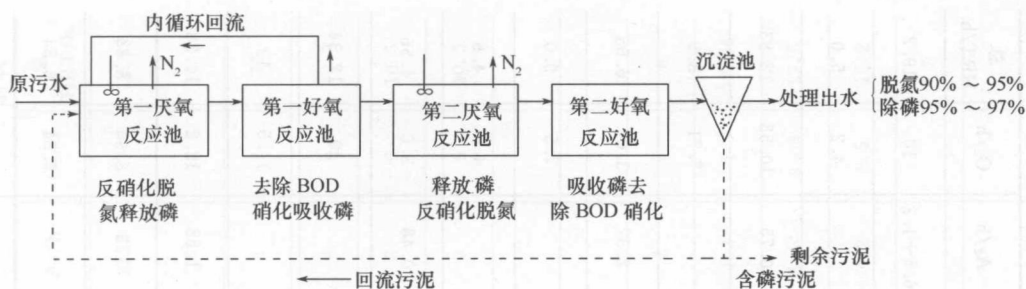


图 1-6 Bardenpho (巴登夫) 脱氮除磷工艺

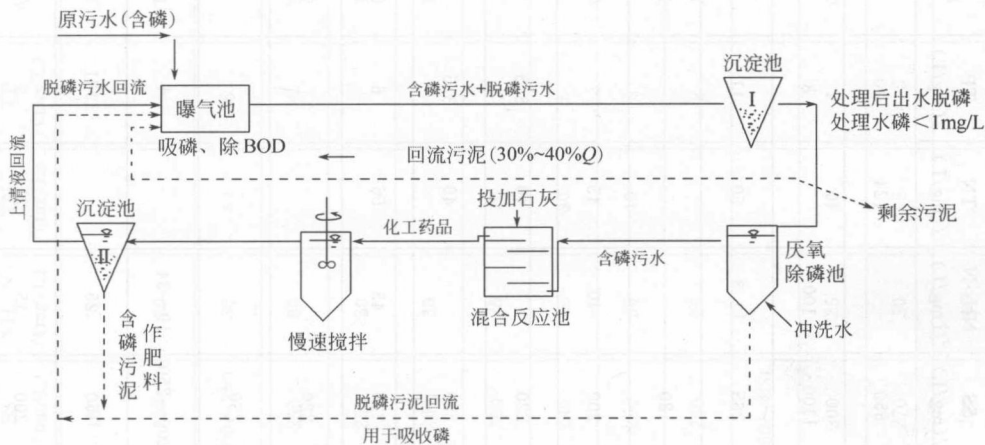


图 1-7 弗斯特利普除磷工艺

表 1-2 青岛市团岛污水处理厂进水和出水水质

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TKN	TP	NH ₃ -N
进水水质/(mg/L)	900	450	650	124	10	96
出水水质/(mg/L)	100	30	30		1	15

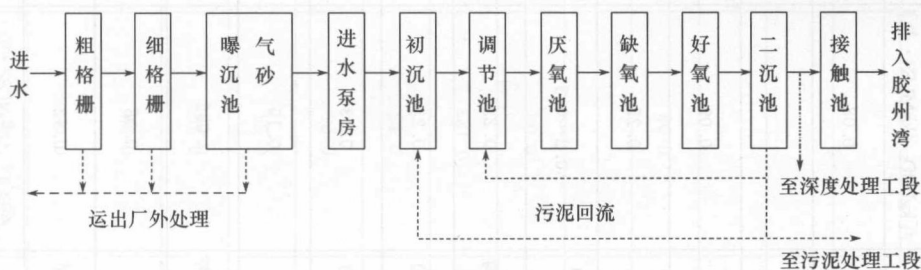


图 1-8 青岛市团岛污水处理厂工艺流程

表 1-3 北京清河污水厂进水和出水水质

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TKN	NH ₃ -N	TP
进水水质/(mg/L)	400	200	250	40	25	8
出水水质/(mg/L)	60	20	20		15	1

六、国内部分城市污水处理厂设计参数

国内部分城市污水处理厂选用 A/O、A²/O、A+A²/O、氧化沟、SBR 等工艺的主要设计参数见表 1-4。

表 1-4 国内部分城市污水处理厂选用 A/O、A²/O、A+A²/O、氧化沟、SBR 等工艺的主要设计参数

城市污水 厂名与规模	处理工艺	污泥负荷 /[kgBOD ₅ /(kgMLSS·d)]	COD _c /(mg/L)	BOD ₅ /(mg/L)	SS /(mg/L)	NH ₃ -N /(mg/L)	TN /(mg/L)	TP /(mg/L)	A ₁ /h	A ₂ /h	O ₂ /h	总 HRT/h
青岛市团岛污水厂 10万吨/日	A ² /O	0.08	900	450	650		124	10	1.5	6.5+1.2	10	19.2
青岛市海泊河污水厂 10万吨/日	AB		1500	800	1100	100		8	0.8		4.2	5.0
西安市邓家村污水厂 16万吨/日	A ² /O	0.09	560	275	265	11.3	50	11	1.5	0.75	10.58	12.83
天津东郊污水厂 40万吨/日	A/O	0.25	450	210	120				1.19		7.71	8.9
泰安市污水厂 5万吨/日	A+A ² /O (AB)	0.2~0.3	500	255	200	40	45	7	0.76	2.37	3.02	6.65
兰州市七里河安宁污水厂 20万吨/日	A/O 氧化沟	0.23	400	180	220		40	3.5	1.5		7.5	9.0
兰州市雁儿湾污水厂 16万吨/日	A/O(常规)	0.25	380	150	200		40	3.5	0.6		4.0	4.6
新疆乌鲁木齐市河东污水厂 40万吨/日	A ² /O(AB)	0.23	500	200	220	45	56	6	0.48	0.48	3.6	4.56
新疆乌鲁木齐市七道弯 污水厂 10万吨/日	A/O(卡)	0.10	400	200	220				2.34		10	12.34
新疆哈密市污水厂 10万吨/日	A/O 氧化沟	0.092	360	190	250				0.5		11.5	12
甘肃临夏市污水厂 3万吨/日	A ² /O	0.08	200~500	80~280	200~250	19~34		4	0.5	1.68	12.2	14.38
洛阳市涧西污水厂 20万吨/日	A ² /O	0.12	350	160	150	25		1.31	0.5	1.5	6.64	8.64
长沙市第一污水厂 18万吨/日	A/O 氧化沟	0.108	230	100	200	15	25	3	1.0		5.54	6.54
银川市污水厂 10万吨/日	SBR	0.083	350	160	200				2		6.4	8.4

续表

城市污水 厂名与规模	处理工艺	污泥负荷 /[kgBOD ₅ /(kgMLSS·d)]	COD _{Cr} /(mg/L)	BOD ₅ /(mg/L)	SS /(mg/L)	NH ₃ -N /(mg/L)	TN /(mg/L)	TP /(mg/L)	A ₁ /h	A ₂ /h	O ₂ /h	总 HRT/h
宁夏自治区灵武县污水厂 3万吨/日	A ² /O 氧化沟	0.08	300	140	160	30		4	1.5	2.25	9	12.75
常州市城北污水厂 15万吨/日	A ² /O	0.28	350	180	200	30		5	1.5	3	6	10.5
常州市戚墅堰污水厂 5万吨/日	A ² /O	0.20	500~600	180~250	200~250	30	40	5	2	4	8	14
无锡市芦村污水厂 20万吨/日	A ² /O	0.25	350	200	250	30		5	1.5	3	6	10.5
河南省南阳市方城县 污水厂 2.5万吨/日	C-Orbal	0.25	350	200	250	30		5	1.5	3	6	10.5
江苏省淮阴市污水厂 3万吨/日	Orbal	0.25	350	200	250	30		5	1.5	3	6	10.5
山东省潍坊市污水厂 10万吨/日	Orbal	0.123	500	180	300	20	30	3				
河南安阳豆腐营污水厂 3万吨/日	Orbal	0.09	500	200	240	40	30	5				
广州市大坦沙污水厂 15万吨/日	A ² /O		500	200	250	30	40	5	1	2		8
北京清河污水厂 40万吨/日	倒置 A ² /O	0.08	400	200	250	25		8	1.3	1.3	5	12.96
浙江吴江盛泽联合污水厂 3万吨/日	A/O		1000~2000	200~400	250~400				8	6.44	9.06	23.5
无锡市城北污水厂 20万吨/日	C-Orbal		600	200	300	25	40	4	0.7	4.2	8.5	15.2
无锡新沂工业园区污水厂 8万吨/日	Orbal		400	200	270	30	45	4.5				7
北京燕山石化污水厂 3万吨/日	Orbal	0.07	300	180	200	40						
新疆克拉玛依南部污水厂 10万吨/日	Orbal	0.10	158~1048	140~288		15~37						

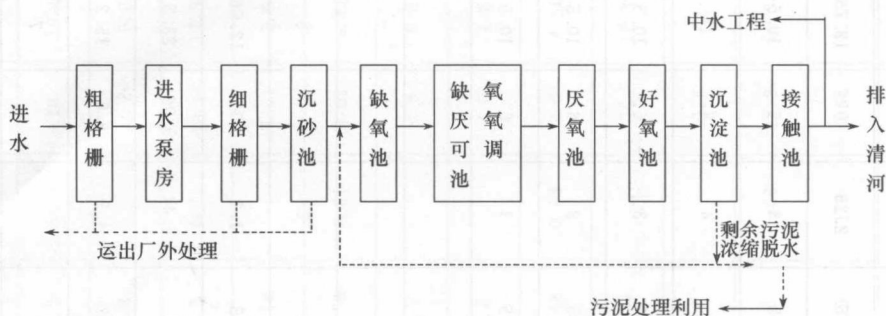


图 1-9 北京清河污水厂工艺流程

2003 年全国工业废水和城镇生活污水排放总量已达 460 亿立方米，比 2002 年增长 4.61%，但全国 660 个城市仍有 61.5% 未处理，建成运行的污水厂 516 座，根据国家环境保护计划，到 2010 年所有城市的污水处理率不得低于 60%，直辖市、省会城市、计划单列城市和风景旅游城市的污水处理率不得低于 70%，要实施这个目标，全国污水处理能力要达到 5800 万吨/天，污水处理设施的建设，需要投入的资金将达 1200 亿元以上。

七、结语

活性污泥法源于英国，问世至今已有 1 个世纪，近百年来世界各国都在开展研究，为活性污泥法不断增加新的成果。本文在此基础上进行汇编。希望读者能掌握这个传统的污水处理方法，不断发展创新，应用于实践，将我国的城市污水处理和工业废水处理工作做得更好。

◎ 本文作者：周国成，凌建军，姜达君，王洪春，马卫东，聂守田，王静，张伟，田敏，金虎，杨国政。

第二篇

厌氧处理理论和厌氧技术的应用与发展

一、概述

早在 19 世纪，人们就利用厌氧工艺处理废水废物，直到 19 世纪 60 年代，厌氧消化工艺基本上只用于污水处理厂产生的剩余污泥的稳定化处理。随着厌氧生物处理工艺的发展，各种各样新型高效厌氧反应器得以开发。在这些反应器中，厌氧流化床、厌氧膨胀床工艺以水力停留时间短、出水水质好而被认为是最高效的反应器，处理效果稍差一点的是上流式厌氧颗粒污泥床（UASB）和厌氧生物滤池，但是因厌氧膨胀床和厌氧流化床能耗大、建造困难、操作复杂等而没有得到广泛的应用。UASB 以其构造简单、基建投资低、操作费用低等而被认为是最有前途的厌氧反应器。目前在热带、