



环境工程实例丛书

HUANJIING GONGCHENG SHILI CONGSHU

间歇式活性污泥法 污水处理技术及工程实例

张统 主 编
侯瑞琴 王守中 王坤 副主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心



环境工程实例丛书

间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例

张 统 主编

侯瑞琴 王守中 王 坤 副主编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例/张统主编.
—北京:化学工业出版社,2002.2
(环境工程实例丛书)
ISBN 7-5025-3690-6

I. 间… II. 张… III. 活性污泥-应用-污水处理
IV. X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 008238 号

环境工程实例丛书

间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例

张 统 主编

侯瑞琴 王守中 王 坤 副主编

责任编辑:管德存 董 琳

责任校对:陶燕华

封面设计:郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 18¼ 插页 1 字数 442 千字

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3690-6/X·133

定 价:40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例》编委会

主 任：张 统
副 主 任：蒋 勇 张志仁 孙 冲
委 员：(按姓氏笔画为序)
王 坤 王守中 刘思富 刘士锐 刘少怀
孙高升 吴芝丽 宋道宏 肖 耘 侯瑞琴
贵权民 蔡井刚 曹健舞
主 编：张 统
副 主 编：侯瑞琴 王守中 王 坤
其他编写人员：蔡井刚 曹健舞 孙高升 刘少怀 宋道宏
贵权民 肖 耘
校 审：刘士锐 吴芝丽

作者简介 张 统 1963 年出生, 现在中国人民解放军总装备部工程设计研究总院环保中心工作, 任总体工艺室副主任, 主持环保中心的工作。研究方向: 水污染控制理论及技术。多年来带领环保中心的同事们把环保新技术的研究与应用紧密结合在一起, 在特种污染源治理、中小城市和小区污水处理及回用方面做出了突出成绩, 建立了多项示范工程。张统 1986 年毕业于同济大学环境工程系给水排水专业, 同年进入清华大学环境工程系攻读研究生, 1988 年和 1991 年先后获得工学硕士和博士学位, 毕业后到原国防科工委工程设计研究总院从事污水处理技术研究工作, 先后任工程师、高级工程师、研究员。1996 年赴香港科技大学进行了一年访问研究, 同年被列入“国家百千万人才工程”第一、二层次培养对象, 1997 年获原国防科工委“优秀中青年人才奖”和国务院颁发的政府特殊津贴。在中国土木工程学会水工业分会、中国环境学会环境工程分会及 Water Environmental Federation of USA 等兼任职务, 是中国人民解放军理工大学的研究生导师, 发表论文 40 余篇, 出版专著 2 部, 获得专利 2 项、科技进步奖 7 项。

总装备部工程设计研究总院环保中心简介 该院是全军最大的综合性甲级设计院, 共有 20 多个专业, 工程配套能力强, 技术力量雄厚。拥有各种国家甲级资质证书, 如工程设计证书、工程勘察证书、工程总承包证书、压力容器设计证书、环保工程专项设计证书及外经贸部批准的对国外经营权。环保中心现有环保及给排水专业科研设计人员 26 名, 其中国家级专家 1 人, 享受政府特殊津贴 4 人, 博士 2 人 (张统、刘士锐), 硕士 4 人 (侯瑞琴、王守中、王坤、方小军)。环保中心有环境实验室 450m², 配有常规的环境样品分析仪器及设备。研究的重点是结合我国国情, 开发处理效率高、投资运行成本低、管理简便的环保工艺及设备。近十年来, 获 10 多项国家或部委级科技进步奖, 洗污水处理机、中水处理一体化设备、CO 自动报警器、粘性气体净化器、酸性气 (液) 体泄漏专用处理器等获国家专利。完成很多环保工程项目, 包括①医院污水处理、城市及小区生活污水处理; ②制药、造纸脱墨、飞机维修、制革、食品、啤酒等行业的工业废水处理; ③特种废水废气处理; ④以游泳池为中心的水上乐园循环水处理; ⑤中水回用。近年来, 环保中心把研究重心放在了中、小城镇及小区污水处理与回用方面, 尤其在 SBR、CASS 工艺的研究应用和配套设备研制方面取得了重大突破, 总体技术水平处于国内领先地位。该中心可向用户提供从科研、设计、设备制造到工程控制软件编制、工程调试、人员培训及设备维修一条龙服务, 在同行业中享有较高的信誉。

E9A73/06

出版者的话

环境保护是我国的基本国策之一，近年来呈蓬勃发展之势。尤其水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废物处理处置工程、生态保护工程更是我国环保工作的重点。政府部门、科研院所及环境工程企业单位均投入了大量人力、物力从事这方面的研究与开发工作。对于环境工程设计人员、技术人员及大专院校学生来说，如何将环境工程专业理论合理地运用到具体的工程实践中去，是一个既现实又迫切的问题。为此，化学工业出版社环境科学与工程出版中心组织国内一批有丰富实践经验的专家、学者和工程技术人员精心编写了这套“环境工程实例”丛书，共计14册。

本套丛书具有以下特点。

(1) 系统性 本丛书既有《城市污水处理技术及工程实例》、《燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例》、《垃圾处理处置技术及工程实例》等按专业划分的分册，又有《膜法水处理技术及工程实例》、《间歇式活性污泥法污水处理技术及工程实例》、《曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例》等按方法划分的分册。全面性、系统性强，读者可按需选择。

(2) 实用性 本丛书是国内第一套将环境工程技术理论与具体的工程实例结合在一起的图书。理论部分系统、全面、先进、精炼；实例部分典型、实用、可操作性强，读者在阅读时可将理论部分与实例部分互相验证。

(3) 权威性 本丛书作者大多为本专业内的一线专家、学者和工程技术人员，很多实例均是作者亲自主持或参与设计的，从而使丛书具有较强的先进性与权威性。

多年来，化学工业出版社一直把环保图书作为主要出书方向之一。2000年6月、2001年6月我社成功地在全国各大、中城市举办了二届化工版环保图书展，2002年6月我社将在全国各大、中城市新华书店举办为期一个月的第三届化工版环保图书展。本套丛书在众多专家、学者的支持下将如期出版参展，希望能得到广大读者的认可，也希望广大读者对我社环保图书出版多提宝贵建议与意见。

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
2002. 3

前 言

间歇式活性污泥法是污水生物处理方法的重要组成部分之一。最早出现的是充水/排水 (Fill & Draw) 反应器, 后来发展到序批式反应器 (Sequencing Batch Reactor 即 SBR), 最近十几年来在 SBR 的基础上, 又产生了多种变型, 如连续进水的周期循环活性污泥法 (Cyclic Activated Sludge System 即 CASS)、周期循环延时曝气活性污泥法 (Intermittent Circle Extended Aeration System 即 ICEAS) 及设有污泥回流的循环式活性污泥法 (如 DAT-TAT、TDEA、CAST 等)。

以上诸方法各有特点, 但作者认为, 新工艺的研究应结合中国国情, 如环保投资严重不足, 维护环保设施运转的费用来源困难, 操作管理人员水平不高等。因此, 作者多年来对间歇活性污泥法的研究重点是集中在系统简单的 SBR 工艺和 CASS 工艺。这两种工艺均未设污泥回流装置 (需要强化除磷脱氮时另行考虑), 因此, 系统的组成比较简单。

实践证明, 这两种工艺因为没有初沉池及二沉池, 使污水处理厂平面布置变得简单, 占地面积比传统活性污泥法减少 20%~30%, 投资节省 15%~25%, 运行费用减少 10%~20%。尤其是 CASS 工艺实现了连续进水, 可广泛适用于大型、中型及小型污水处理厂。

作者自 1987 年开始从事 SBR 工艺研究, 1994 年开始进行 CASS 工艺研究, 书中包括的研究内容有 SBR 的基质降解规律、处理抗生素废水的工艺参数、除磷脱氮的规律、计算机辅助设计软件的编制等; CASS 工艺常温条件和低温下的运行规律、处理合成制药废水的效果等。作者先后发表 20 余篇相关文章, 培养了 5 名硕士研究生。十几年来, 作者致力于将研究的先进污水处理工艺与工程实践相结合。因此, 上述研究成果在实际应用中得到了检验和完善, 并产生了良好经济效益和环境效益。此外, 本书集中了较大篇幅介绍了 SBR 及 CASS 的设计计算、工程应用实例、技术经济分析、自动控制系统、运转调试、化验室配置、操作管理规程、常用分析化验方法、污水排放标准、中水回用标准等内容。

本书 90% 的内容是中国人民解放军总装备部工程设计研究院环保中心的研究成果及工程总结, 是难得的第一手资料, 相信对读者有一定的帮助。

全书由张统博士统一策划和编著, 具体分工如下。第 1 章由贲权民和王守中负责编写, 第 2 章和第 3 章由张统和曹健舞负责编写, 第 4 章的 4.1、4.2、4.3、4.6 由王守中和张统负责编写, 4.4 由侯瑞琴负责编写, 4.5 由蔡井刚和张统负责编写, 4.7 由王坤编写, 第 5 章的 5.1 由刘少怀编写, 5.2~5.7 由侯瑞琴、王坤和孙高升编写, 第 6 章由宋道宏和肖云编写, 第 7 章由蔡井刚、孙高升编写。附录 1~9 由蔡井刚编写。书稿完成后由北京工业大学的吴芝丽教授和总装备部工程设计研究总院环保中心的刘士锐博士进行了校审。

由于时间较短, 书中涉及很多研究内容, 有些是需要进一步研究解决的问题, 因此, 本书中会有诸多不妥之处, 请读者批评指正。

张 统

2001 年 6 月

内 容 提 要

间歇式活性污泥法具有投资少、运行成本低、管理简单等优点,是一种适合我国国情的先进实用的污水生物处理工艺。作者从1987年开始对SBR进行研究,1994年开始对连续进水的SBR即CASS工艺进行研究。十几年来,取得了诸多进展,并积累了较丰富的工程设计、施工、安装、运转调试方面的经验。

本书阐述了间歇式活性污泥法的工艺原理及发展过程,重点介绍了作者的研究成果,如SBR处理四环素废水、SBR除磷脱氮规律、CASS处理化学合成制药废水、CASS在常规条件下和低温条件下处理生活污水等。书中还介绍了SBR的计算机辅助设计、CASS工艺的设计计算、SBR及CASS的工程应用实例、出水深度处理及回用自动控制系统、运行管理、常用分析化验仪器和监测方法等。本书兼顾了理论研究、工程设计及实际应用,既具有一定的理论深度,又具有广泛的使用价值,可供广大环保科研、设计、操作管理人员和在校本科生、研究生参考。

目 录

1 间歇式活性污泥法的提出与发展	1		
1.1 活性污泥法	1		
1.2 序批式活性污泥法 (SBR 工艺)	2		
1.2.1 概述	2		
1.2.2 工作原理	2		
1.2.3 工艺特点	3		
1.3 间歇式循环延时曝气活性污泥法 (ICEAS 工艺)	3		
1.4 间歇进水周期循环式活性污泥法 (CAST)	4		
1.5 连续进水分离式周期循环延时曝气工艺 (IDEA)	4		
1.6 连续进水周期循环曝气活性污泥法 (CASS) 的提出	4		
1.6.1 CASS 工艺的提出	4		
1.6.2 CASS 工艺与传统活性污泥法的比较	5		
1.6.3 CASS 工艺与间歇进水的 SBR 或 CAST 的比较	5		
2 SBR 工艺研究与应用	6		
2.1 SBR 工艺原理	6		
2.1.1 SBR 的基本原理	6		
2.1.2 SBR 的基质降解规律	7		
2.1.3 SBR 的污泥特性	8		
2.1.4 SBR 的体积优势	9		
2.2 SBR 处理抗生素废水研究	11		
2.2.1 抗生素废水的特点	11		
2.2.2 抗生素废水处理的现状和发展	12		
2.2.3 SBR 工艺处理抗生素废水研究	13		
2.3 SBR 脱氮除磷效果研究	22		
2.3.1 概述	22		
2.3.2 废水生物脱氮除磷机理的研究	22		
2.3.3 SBR 工艺脱氮除磷	25		
2.3.4 影响 SBR 工艺脱氮除磷的主要因素	27		
2.4 SBR 工程应用	28		
2.4.1 水解酸化 + SBR 工艺处理屠宰废水	28		
2.4.2 射流曝气 SBR 工艺处理屠宰废水	30		
2.4.3 混凝沉淀 + SBR + 气浮工艺处理制革废水	32		
2.4.4 SBR 工艺处理白酒生产废水	34		
2.5 SBR 的技术经济评价	37		
2.5.1 SBR 的主要技术特征	37		
2.5.2 SBR 的主要优点	37		
2.5.3 SBR 设计和应用中应注意的问题	38		
2.5.4 SBR 的经济性	38		
3 SBR 工艺计算机辅助设计	39		
3.1 简述	39		
3.1.1 CAD 技术的发展	39		
3.1.2 CAD 技术的优点	39		
3.2 SBR 工艺计算与设计	40		
3.2.1 SBR 反应池设计计算模式	40		
3.2.2 SBR 反应池的需氧与供氧	44		
3.2.3 SBR 工艺污泥产量	45		
3.2.4 小结	46		
3.3 SBR 工艺计算机辅助设计	47		
3.3.1 系统的设计原则	47		
3.3.2 系统的总体分析	47		
3.3.3 计算机辅助设计系统的结构形式	48		
3.3.4 系统设计	49		
3.4 各功能子模块简介	50		
3.4.1 工艺流程模块	50		
3.4.2 设计计算子模块	52		
3.4.3 绘图模块	58		
3.5 结论	62		
4 CASS 工艺的实验研究	64		
4.1 CASS 工艺原理	64		
4.1.1 CASS 工艺基质降解规律	64		
4.1.2 CASS 工艺反应周期	65		
4.1.3 CASS 工艺的特点	65		
4.2 常温条件下 CASS 工艺处理生活污水实验研究	67		
4.2.1 实验研究的目的和意义	67		
4.2.2 实验研究内容	67		
4.2.3 实验检测项目及检测方法	67		
4.2.4 实验方法	68		
4.2.5 实验结果及讨论	69		
4.2.6 试验结论	76		

4.3 低温条件下 CASS 工艺处理生活污水 实验研究	77	5.3.5 主要处理单元及设计参数	145
4.3.1 国内外低温污水处理现状	77	5.3.6 工程投资及经济分析	145
4.3.2 实验研究内容及实验方法	78	5.3.7 工程社会效益	147
4.3.3 实验结果与讨论	78	5.4 北京第三制药厂废水处理工程	147
4.3.4 CASS 工艺部分试验现象分析	86	5.4.1 概述	147
4.4 CASS 工艺脱氮除磷试验研究	90	5.4.2 工程设计的主要依据	148
4.4.1 概述	90	5.4.3 设计规模和设计范围	148
4.4.2 CASS 工艺对氨氮的处理效果	90	5.4.4 原有废水处理站存在主要问题 分析	148
4.4.3 结论	94	5.4.5 改造工艺流程的确定	149
4.5 CASS 工艺的技术经济分析	94	5.4.6 工艺流程说明	150
4.5.1 CASS 工艺的主要技术特征	94	5.4.7 污水厂自动控制系统	151
4.5.2 CASS 工艺的主要优点	94	5.4.8 主要指标	152
4.5.3 CASS 设计中应注意的问题	95	5.5 福建三明化工总厂 $\text{NH}_3\text{-N}$ 废水处理 工程	153
4.5.4 CASS 的经济性	95	5.5.1 概况	153
4.6 CASS 工艺处理制药废水研究	96	5.5.2 方案编制原则	153
4.6.1 实验装置及工艺流程	96	5.5.3 废水水量与水质	153
4.6.2 CASS 工艺实验研究	96	5.5.4 废水处理工艺流程	154
4.6.3 水解酸化-CASS 工艺实验研究	106	5.5.5 处理工艺说明	155
4.6.4 三厂原有两级深井曝气系统存在 问题分析	121	5.5.6 总平面布置	157
4.6.5 工艺改造方案	122	5.5.7 工程投资估算	158
4.7 CASS 出水深度处理及回用	126	5.5.8 工程运行费	159
4.7.1 污水深度处理及回用的必要性	126	5.5.9 工程效益和经济指标	159
4.7.2 深度处理的对象与目标	127	5.6 总装备部某学院污水处理工程	160
4.7.3 CASS 出水深度处理技术	127	5.6.1 设计原则及设计依据	160
5 CASS 工艺工程设计与应用	131	5.6.2 水质水量及处理要求	160
5.1 CASS 工艺工程设计	131	5.6.3 污水处理工艺流程	160
5.1.1 水量、水质的确定	131	5.6.4 工艺流程说明	160
5.1.2 CASS 工艺的工程设计	133	5.6.5 工程投资及成本	161
5.2 北京航天城综合污水处理工程	138	5.6.6 污水厂人员编制及技术经济 分析	162
5.2.1 设计依据	138	5.6.7 污水处理厂特点	162
5.2.2 水质水量及处理要求	139	5.7 济南雅奥家用电器厂含磷废水处理 工程	163
5.2.3 污水处理工艺流程设计	139	5.7.1 水质水量及其特点	163
5.2.4 主要处理单元及设备的设计 参数	140	5.7.2 设计进水及出水水质	163
5.2.5 工程投资估算	142	5.7.3 废水处理工艺流程设计	163
5.2.6 污水厂人员编制及技术经济分析	142	5.7.4 主要建(构)筑物及设备参数	164
5.2.7 工程实施效果	142	5.7.5 主要处理单元设计去除效果	164
5.3 总参某部营区污水处理工程	143	5.7.6 平面布置和高程布置	164
5.3.1 项目背景	143	5.7.7 工程投资估算	165
5.3.2 设计原则及设计依据	144	5.7.8 工程技术经济指标	166
5.3.3 设计水质水量	144	5.8 北京同仁堂股份有限公司中药废水 处理工程	166
5.3.4 污水处理工艺流程设计	144	5.8.1 概述	166

5.8.2	污水来源及水质水量	166	5.15	CASS 工艺在高寒地区处理啤酒废水中的应用	187
5.8.3	设计依据及执行标准	167	5.15.1	水质水量和排放标准	187
5.8.4	工艺流程及说明	167	5.15.2	废水处理工艺	187
5.8.5	电控系统	168	5.15.3	调试运行	188
5.8.6	污水处理站总平面	168	5.15.4	工程经验总结	190
5.9	北京福田汽车股份公司含油废水处理工程	169	5.16	DAT-IAT 工艺一体化设备的应用	190
5.9.1	污水来源和水质水量	169	5.16.1	水质水量	190
5.9.2	设计依据及执行标准	169	5.16.2	污水处理工艺	190
5.9.3	工艺流程及说明	169	5.16.3	结论	191
5.9.4	主要处理单元及设备	170	5.17	CASS 工艺配套设备及其安装	191
5.9.5	工程投资估算	170	5.17.1	曝气设备	192
5.9.6	运行成本核算	172	5.17.2	滗水设备	195
5.9.7	附图	172	5.17.3	格栅	196
5.10	北京天维康有限公司天然维生素 E 废水处理工程	173	5.17.4	污水提升泵及排泥泵	196
5.10.1	水质水量及处理要求	173	6	CASS 工艺自动控制	198
5.10.2	设计原则	173	6.1	CASS 工艺自动运行模式	198
5.10.3	污水处理工艺流程设计	173	6.2	控制系统的设计原则	198
5.10.4	主要设计参数	174	6.3	常用控制系统形式及特点	199
5.10.5	项目投资估算	174	6.3.1	常规继电器控制	199
5.10.6	运行成本核算	175	6.3.2	微型可编程序控制器控制	199
5.10.7	方案总体说明	175	6.3.3	小型可编程序控制器控制	200
5.11	中华人民共和国济南海关污水处理回用工程	175	6.3.4	集散分布式控制系统	201
5.11.1	污水水质水量	175	6.4	污水处理设备控制特点	201
5.11.2	设计依据	175	6.5	测量与仪表	202
5.11.3	污水处理工艺	175	6.6	控制系统评价	204
5.11.4	工艺设计参数	176	7	间歇式活性污泥法的调试和运行管理	205
5.11.5	设计平面图	177	7.1	管理人员	205
5.12	安徽飞彩集团污水处理工程	178	7.1.1	管理人员的组成	205
5.12.1	概况	178	7.1.2	分析化验人员	205
5.12.2	工程设计原则和依据	178	7.1.3	操作管理人员	206
5.12.3	设计进出水质量	178	7.1.4	主管工程师	206
5.12.4	污水处理工艺	178	7.2	设备控制运行维护	207
5.12.5	工程投资估算	182	7.2.1	格栅间	207
5.13	UASBAF-SBR 工艺处理屠宰废水	183	7.2.2	集水调节池和泵房	207
5.13.1	水质水量	183	7.2.3	CASS 池	208
5.13.2	工艺流程及说明	183	7.2.4	中心控制室	210
5.13.3	工程投资	184	7.3	化验及水质水量的监测、分析	210
5.13.4	工程实践体会	184	7.4	主要构筑物的运行、管理	211
5.14	SBR 法处理食品废水的工艺设计及运行	184	7.4.1	调节池	211
5.14.1	废水水质水量	185	7.4.2	CASS 池	211
5.14.2	工艺流程及主要设计参数	185	7.5	分析化验原理	212
5.14.3	主要经济技术指标	186	7.5.1	重铬酸钾法	212
			7.5.2	碘量法	214
			7.5.3	分析方法	224

7.6 工艺控制	225	附录 6 总氮的测定方法	254
7.6.1 周期运行参数	225	附录 7 磷（总磷、溶解性正磷酸盐 和溶解性总磷）的测定方法 ...	257
7.6.2 DO 的控制	226	附录 8 残渣的测定方法	262
7.6.3 活性污泥的控制	227	附录 9 生活杂用水水质标准及检验 方法	266
附录 1 化学需氧量的测定方法	229	附录 10 《污水综合排放标准》 （GB 8978—1996）摘录	267
附录 2 高锰酸盐指数的测定方法	234	主要参考文献	275
附录 3 五日生化需氧量的测定方法 ...	237		
附录 4 溶解氧的测定方法	241		
附录 5 氨氮的测定方法	247		

1 间歇式活性污泥法的提出与发展

生物化学处理法是一类最常用的污水处理方法，其主要功能是利用微生物的代谢作用，使污水中呈溶解和胶体状态的有机污染物转化为稳定的无害物质。它的优点是有机物去除率高、运行成本低，在城市污水和可生物降解的工业废水处理中尚没有可与之相媲美的方法。生化法分为利用好氧微生物作用的好氧法和利用厌氧微生物作用的厌氧法，前者广泛应用于处理城市污水和有机废水，它包括活性污泥法和生物膜法两种，其中间歇式活性污泥法是近年来引起国内外广泛重视、研究和应用日趋增多的好氧生化处理工艺之一。本书论述的间歇式活性污泥法主要指序批式活性污泥法，英文简称 SBR (Sequencing Batch Reactor) 工艺以及序批式活性污泥法的改进型工艺——周期循环活性污泥法，英文简称 CASS (Cyclic Activated Sludge System) 工艺等。

1.1 活性污泥法

活性污泥法 (Activated Sludge Process) 是当前应用最为广泛的污水处理技术之一。该方法自 1914 年在英国曼彻斯特市建成污水试验厂以来，已有 80 多年的历史。随着工程应用的日益拓展，它在技术上得到不断的改进和完善，特别是近 30 年来，科技人员对其反应机理进行了广泛深入的试验研究，在环境工程微生物学、生化反应动力学等理论方面取得了重大突破，彻底克服了以前人们在污水生物处理系统的设计和运行中，因采用经验或半经验方法造成的盲目性，使活性污泥法的工程设计更加科学合理，同时能够较好地预测和指导系统的运行管理。

活性污泥法是以活性污泥为主体的污水生物处理方法，其主要处理构筑物是初次沉淀池、曝气池和二次沉淀池，活性污泥法污水处理系统的基本工艺流程见图 1-1。

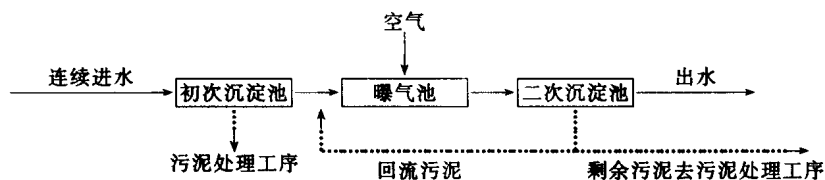


图 1-1 传统活性污泥法污水处理工艺流程

最早出现的传统活性污泥法，采用的是推流式曝气池，即模拟早期实验室间歇实验装置的特点，曝气池呈狭长状，进水严格按照推流式前进，进入曝气池的污水，其有机物浓度随时间或池长方向逐渐降低。实践经验的积累和研究工作的深入大大推动了活性污泥法的发展。目前，它已成为有机污水生物处理的主体，但仍存在着不容忽视的缺点：对冲击负荷适应性差，易发生污泥膨胀，处理构筑物占地面积大、基建投资和运行费用高等。国内外环保专家针对上述问题进行了不懈的探索，在供氧方式、运转条件、反应器形式等方面进行了革新，开发了多种组合工艺，使活性污泥法朝着高效、节能的方面发展。

1.2 序批式活性污泥法 (SBR 工艺)

1.2.1 概述

序批式活性污泥法 (SBR 工艺) 是从 Fill & Draw (充排式) 反应器发展而来的, 其工作过程是: 在较短的时间内把污水加入到反应器中, 并在反应器充满水后开始曝气, 污水中的有机物通过生物降解达到排放要求后停止曝气, 沉淀一定时间将上清液排出。上述过程可概括为: 短时间进水→曝气反应→沉淀→短时间排水→进入下一个工作周期。

从 SBR 工艺的发展过程来看, 作为该工艺的最初形式, Fill & Draw 反应器比连续流活性污泥法产生得还早, 主要用于间歇排放的工厂或农村的污水处理, 它具有工艺简单、运行稳定等优点。20 世纪 20 年代末, 随着工业化的迅猛发展和城市化进程的加快, 生活污水和工业废水排放量剧增, 采用 Fill & Draw 污水处理系统常需要多个反应池交替运行, 当时的自动控制技术和设备还比较落后, 进水、曝气、沉淀、排水等操作都依靠人工完成, 运行操作十分烦琐, 使得序批式活性污泥法逐渐被连续式活性污泥法所代替。因此, SBR 工艺在一段时间内未能得到推广应用。

为了解决连续式活性污泥法 (Continuous Activated Sludge Reactor, 简称 CAS) 所固有的一些问题, 美国 Notre Dame 大学的 Robert Irvine 教授首先发起, 对序批式活性污泥法重新进行了研究和评价, 并于 1979 年发表了第一篇关于采用 SBR 工艺进行污水处理的论著。其后日本、澳大利亚等国都对该工艺进行了应用研究。随着研究的不断深入, 人们对该工艺的机理和优越性有了全新的认识。

此后出现了不易堵塞的曝气器和浮动式出水堰 (滗水器、撇水器), 监控技术的自动化程度也大幅度提高, 使 SBR 工艺的优势得到充分发挥, 并迅速应用于工程实践。1980 年在美国国家环保局的资助下, 印第安纳州 Culver 城投建了世界上第一个 SBR 工艺的污水处理厂。1984 年美国国家环保局通过了 SBR 技术评价, 此后, 由于联邦政府的资助, SBR 工艺成为美国中小型污水处理厂的首选工艺。1985 年日本下水道理事会公布对序批式活性污泥法的技术评价报告书, 充分肯定了该工艺的优点。至今, 日本采用 SBR 工艺的小型污水处理厂数量仍保持着世界第一的记录。在澳大利亚, 公用事业部引入 SBR 工艺用于城市污水处理, SBR 法已成为城市污水处理的主导工艺, 近 10 年来已建成 SBR 污水处理厂近 600 座。我国自 1985 年在上海建成首座处理肉类加工污水的 SBR 系统后, 陆续在城市污水及工业废水处理领域得以推广应用, 同时, 在全国也掀起了研究 SBR 的热潮。

1.2.2 工作原理

序批式活性污泥法的核心是其反应池, 该池集水质均化、初次沉淀、生物降解、二次沉淀等功能于一体, 整个工艺简洁, 运行操作可通过自动控制装置完成, 管理简单, 投资较省。序批式活性污泥法中“序批式”包括两层含义: 一是运行操作在空间上按序列、间歇的方式进行, 由于污水大都是连续或半连续排放, 处理系统中至少需要 2 个或多个反应器交替运行, 因此, 从总体上污水是按顺序依次进入每个反应器, 而各反应器相互协调作为一个有机的整体完成污水净化功能, 但对每一个反应器则是间歇进水和间歇排水; 二是每个反应器的运行操作分阶段、按时间顺序进行, 典型 SBR 工艺的一个完整运行周期由五个阶段组成, 即进水阶段、反应阶段、沉淀阶段、排水阶段和闲置阶段, 从第一次进水开始到第二次进水开始称为一个工作周期。

进水阶段是反应池在短时间内接纳需要处理的污水, 同时起到调节和均质的作用, 此阶

段可曝气或不曝气。反应阶段是停止进水后的生化反应过程,根据需要可以在好氧或缺氧条件下进行,也可在两种条件下交替进行,但一般以好氧为主。沉淀阶段停止曝气,进行泥水分离。经过一定时间的沉淀,进入排水阶段,利用排水装置将上清液排出反应池。排水结束到第二次进水的时间间隔为闲置阶段,这一阶段曝气或不曝气均可,此时通常不进水,而是通过内源呼吸作用使微生物的代谢速度和吸附能力得到恢复,为下一个运行周期创造良好的初始条件。在每一个运行周期内,各阶段的运行参数都可以根据污水水质和出水指标进行调整,并且可根据实际情况省去其中的某一阶段(如闲置阶段),还可以把反应期与进水期合并,或在进水阶段同时曝气等,系统的运行方式十分灵活。

1.2.3 工艺特点

SBR 工艺适合当前好氧生化处理工艺的发展趋势,属简易、高效、低耗的污水处理工艺。与连续式活性污泥法比较,SBR 工艺具有以下特点:①结构简单,运转灵活,操作管理方便;②投资省,运行费用低,Ketchum 等人的统计结果表明采用 SBR 工艺处理小城镇污水,要比用普通活性污泥法节省基建投资 30%;③可抑制丝状菌生长,不易发生污泥膨胀,污泥指数(SVI)较低,剩余污泥性质稳定,利于浓缩和脱水;④系统通过好氧/厌氧交替运行,能够在去除有机污染物的同时达到较好的脱氮除磷效果;⑤系统处理构筑物少、布置紧凑、节省占地。

由于具有以上诸多优点,SBR 近年来在我国得到了较广泛的应用。但它也有不足之处,如在实际工作中,废水排放规律与 SBR 间歇进水的要求存在不匹配问题,特别是水量较大时,需多套反应池并联运行,增加了控制系统的复杂性。因此,连续进水间断排水的改进型间歇式活性污泥法在 SBR 技术的基础上得到了发展。

1.3 间歇式循环延时曝气活性污泥法(ICEAS 工艺)

间歇式循环延时曝气活性污泥法(Intermittent Cyclic Extended Activated Sludge,简称 ICEAS 工艺)是 20 世纪 80 年代初在澳大利亚发展起来的,1976 年建成世界上第一座 ICEAS 污水处理厂,随后在日本、美国、加拿大、澳大利亚等地得到推广应用。1986 年美国国家环保局正式批准 ICEAS 工艺为革新代用技术(I/A)。

ICEAS 最大的特点是在 SBR 反应器前部增加了一个生物选择器,实现了连续进水(沉淀期、排水期间仍保持进水),间歇排水。设置生物选择器的主要目的是使系统选择出适应废水中有机物降解,絮凝能力更强的微生物,生物选择器容积约占整个池子的 10% 左右。生物选择器的工艺过程遵循活性污泥的基质积累-再生理论,使活性污泥在选择器中经历一个高负荷的吸附阶段(基质积累),随后在主反应区经历一个较低负荷的基质降解阶段,以完成整个基质降解的全过程。

污泥膨胀的主要原因是丝状菌的过量繁殖。生物选择器是根据活性污泥反应动力学原理而设置的。Chadoba 等人于 20 世纪 70 年代中期提出的选择性原则,是基于不同种群的微生物的生长动力学参数不同而提出的。Chadoba 提出,具有低半饱和常数(K_s)和最大比生长速率的丝状菌,在低基质浓度下具有较高的生长速率,从而具有竞争优势。这样利用基质作为推动力选择性地培养菌胶团细菌,使其成为曝气池中的优势菌。所以,在 ICEAS 池进水端合理设计的生物选择器,可以有效地抑制丝状菌的生长和繁殖,防止污泥膨胀,提高系统的运行稳定性。

ICEAS 工艺集反应、沉淀、排水于一体,使污水在好氧-缺氧-厌氧不断交替的条件下完

成对有机污染物的降解，同时达到脱氮除磷的目的。

综上所述，ICEAS 工艺流程简单，具有 SBR 的优点，实现了连续进水，使其在大中型污水处理厂中的应用成为现实。但该工艺强调延时曝气，污泥负荷很低 [$0.04 \sim 0.05 \text{kgBOD}_5 / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$]，这样使 ICEAS 工艺投资低（无初沉池、二沉池、污泥回流设备等）的优点在实际工程中没有得到充分体现，因此，影响了该工艺在我国广泛应用。

1.4 间歇进水周期循环式活性污泥法（CAST）

循环式活性污泥法（Cyclic Activated Sludge Technology）是美国 Goronszy 教授开发出来的，该工艺的核心为间歇式反应器，在此反应器中按曝气和不曝气交替运行，将生物反应过程和泥水分离过程集中在一个池子中完成。Goronszy 教授利用活性污泥基质积累-再生理论以及污泥活性和呼吸速率之间的关系，将生物选择器与序批式活性污泥法有机结合，成功开发出循环式活性污泥法，于 1984 年和 1989 年分别在美国和加拿大取得了专利。与 ICEAS 工艺相比。CAST 池将主反应区中部分剩余污泥回流至生物选择器中，而且沉淀阶段不进水。美国通行的 CAST 一般分为三个反应区：一区为生物选择器，二区为缺氧区，三区为好氧区，各区容积之比为 1:5:30。生物选择器的设置和回流污泥保证了活性污泥不断地在选择器中经历一个高负荷阶段，有利于系统中絮凝性细菌的生长，有效抑制丝状菌的生长和繁殖。CAST 工艺沉淀阶段不进水，污泥沉降过程中无进水水力干扰，即在静止环境中进行，泥水分离效果好。

CAST 不同于 SBR 和 ICEAS，在沉淀阶段不进水，并增加了污泥回流，因此，系统较为复杂，但其优点是脱氮除磷效果较好。

1.5 连续进水分离式周期循环延时曝气工艺（IDEA）

IDEA（Intermittently Decanted Extended Aeration）工艺保持了 CAST 工艺的优点，

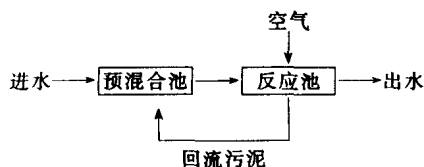


图 1-2 IDEA 工艺基本流程

并且采用了连续进水，间歇排水的运行方式。

与 CAST 相比，生物选择器改为与 SBR 主体构筑物分离的预混合池，部分污泥回流到预混合池，在反应池中部进水。预混合池的设立可以使污水在高负荷下有较长的停留时间，保证高絮凝性细菌的生长。IDEA 工艺的基本流程见图 1-2。

1.6 连续进水周期循环曝气活性污泥法（CASS）的提出

1.6.1 CASS 工艺的提出

CASS（Cyclic Activated Sludge System）工艺与 ICEAS 在工艺流程上差别不大，只是污泥负荷不同。ICEAS 属周期循环延时曝气范畴，污泥负荷通常控制在 $0.04 \sim 0.05 \text{kgBOD}_5 / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。实践证明，如果以此负荷进行设计，其工程投资与其他生物处理方法相比几乎没有优势。先进技术失去经济优势后，推广应用自然受到很大限制，这正是 ICEAS 工艺在我国推广有一定难度的原因所在。本书中的 CASS 工艺是结合研究成果和实际工作经验总结出来的，与其他参考资料提到的 CASS 工艺有所不同。它没有污泥回流，污泥负荷有时在延时曝气范围内，有时则较高，而参数选择的依据是实现污水的达标排放。

研究和应用表明,在负荷为 $0.1\sim 0.2\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ 或再高一些,CASS 工艺仍能达到与 ICEAS 工艺相当的去除效果,而且有利于形成絮凝性能好的污泥。而负荷的提高使 CASS 工艺的工程投资比 ICEAS 节省 25% 以上。

1.6.2 CASS 工艺与传统活性污泥法的比较

(1) 建设费用低,由于省去了初次沉淀池、二次沉淀池及污泥回流设备,建设费用可节省 20%~30%。工艺流程简洁,污水厂主要构筑物为集水池、沉砂池、CASS 曝气池、污泥池,布局紧凑,占地面积可减少 35%。

(2) 运行费用省,由于曝气是周期性的,池内溶解氧的浓度也是变化的,沉淀阶段和排水阶段溶解氧降低,重新开始曝气时,氧浓度梯度大,传递效率高,节能效果显著,运行费用可节省 10%~25%。

(3) 有机物去除率高,出水水质好,不仅能有效去除污水中有机碳源污染物,而且具有良好的脱氮除磷功能。

(4) 管理简单,运行可靠,不易发生污泥膨胀,污水处理厂设备种类和数量较少,控制系统简单,运行安全可靠。

(5) 污泥产量低,性质稳定,便于进一步处理与处置。

1.6.3 CASS 工艺与间歇进水的 SBR 或 CAST 的比较

(1) CASS 反应池由预反应区和主反应区组成,预反应区控制在缺氧状态,因此,提高了对难降解有机物的去除效果提高。

(2) CASS 进水是连续的,因此进水管道上无电磁阀等控制元件,单个池子可独立运行,而 SBR 或 CAST 进水过程是间歇的,应用中一般要 2 个或 2 个以上池子交替使用,增加了控制系统的复杂程度。

(3) CASS 每个周期的排水量一般不超过池内总水量的 $\frac{1}{3}$,而 SBR 则为 $\frac{1}{2}\sim\frac{3}{4}$,CASS 抗冲击能力较好。

(4) CASS 比 CAST 系统简单,但脱氮除磷效果不如后者。