

环境科学与工程进展丛书

SBR 及其变法污水处理 与回用技术

张 统 主 编 ●

方小军 副主编 ●
张志仁



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境科学与工程进展丛书

SBR 及其变法污水处理与回用技术

张 统 主 编

方小军 张志仁 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

SBR 及其变法污水处理与回用技术/张统主编. —北
京: 化学工业出版社, 2003. 3

(环境科学与工程进展丛书)

ISBN 7-5025-4359-7

I. S… II. 张… III. ①污水处理-技术②废水综
合利用-技术 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 000179 号

环境科学与工程进展丛书

SBR 及其变法污水处理与回用技术

张 统 主 编

方小军 张志仁 副主编

责任编辑: 管德存

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社
环境科学与工程出版中心 出版发行

(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

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25½ 插页 1 字数 630 千字

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4359-7/X·248

定 价: 60.00 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

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。2002 年获中国新闻工作者协会和香港地球之友协会联合颁发的“第六届地球奖”, 中国环境科学学会颁发的“第三届青年科技奖”, 获得中国人民解放军特殊岗位津贴。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 3 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, 洗浴水处理机、中水处理一体化设备、CO 自动报警器、黏性气体净化器、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。

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。而环境科学与工程有许多热点和重点领域更是国内众多学者关注的对象。如环境化学、污泥处理及资源化技术、污水处理新技术、污水回用技术、生物脱氮除磷技术、生物修复技术、垃圾处理与资源化、烟气脱硫脱硝技术等。政府部门、高等院校及科研设计单位均投入了大量人力、物力从事这些方面的研究与开发工作，并不断有新成果出现。为方便学者之间技术交流，及时推广新的研究成果和工程经验，化学工业出版社环境科学与工程出版中心组织国内一批高水平的专家、学者精心编写了这套“环境科学与工程进展”丛书。

本套丛书具有以下特点。

(1) 针对性 丛书每个分册都只针对某一特定专业领域或某项专门技术，汇集国内众多专家、学者的成果与经验，针对性强，便于读者对这一专题研究进展情况进行全方位了解和比较。

(2) 先进性 丛书每个分册原则上只收录 2000 年以后各个作者新的研究成果，技术内容比较先进，使读者能够及时了解某个专题的前沿技术及今后的发展趋势。

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、2002 年 6 月我社成功地在全国各大、中城市举办了三届化工版环保图书展，2003 年 6 月我社将举办第四届化工版环保书展。本套丛书将有部分分册参展，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
2003.3

前 言

随着经济的不断发展,我国污水排放量不断增加,由于技术、经济条件的限制,许多污水均未做到达标排放,水环境的污染日趋严重。当前我国迫切需要一批能满足排放要求、处理效果好、运行费用低的污水处理新技术和新工艺。通过环保工作者的不懈努力,许多污水处理新技术、新工艺在我国得到应用。其中间歇式活性污泥法工艺发展迅速,近年来已成为我国污水处理的主导工艺,取得了许多研究成果和丰富的工程应用经验。

近十年来,总装备部设计研究总院环保中心,对国内外公认的 SBR 和 CASS 污水处理工艺及配套设备进行了系统的研究,并将该工艺在北京航天城等十几项污水处理工程中应用,取得了丰硕的成果。为了更好地总结间歇式活性污泥法工艺的研究成果,加强学术交流,促进该成果的推广应用,完善间歇式活性污泥法工艺,总装备部设计研究总院与中国土木学会水工业分会共同举办了“间歇式活性污泥法工艺研究与工程应用研讨会”。研讨内容涉及该工艺的理论研究、工程设计、控制方法、运行管理等各个方面,代表了国内这一领域的最新研究成果和工程实际经验,既有较高的理论价值,又有重大的实用价值。以此为基础,我们编辑了《SBR 及其变法污水处理与回用技术》一书,并作为化学工业出版社《环境科学与工程进展》丛书的一个分册出版,希望能够使读者对这一工艺有更深入的了解。

在本书的编写过程中,中国土木学会水工业分会和化学工业出版社的领导提供了很多有益的帮助,在此表示感谢。

由于本书涉及很多前沿技术和新的研究成果,而编者水平有限,书中不妥或错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正,不胜感激。

编 者

2002 年 9 月

内 容 提 要

本书为《环境科学与工程进展》系列丛书之一,对近年来国内间歇式活性污泥法污水工艺处理的研究和应用进行了介绍,基本上包括了国内的最新研究成果。主要有五个方面的内容: SBR 工艺在不同废水中的应用研究; SBR 脱氮除磷研究; CASS 工艺研究及应用; 各种 SBR 的变形工艺应用研究; 污水处理与回用及其他技术与工艺。

本书大多数文章均为作者最新的研究成果和工程应用经验,均为宝贵的第一手资料,具有较高的学术价值和工程指导意义。本书适用于污水处理技术人员,污水处理工程的规划、设计、施工、管理等人员参阅;也对给水排水、环境工程专业的大专院校师生有一定参考价值。

《SBR 及其变法污水处理与回用技术》编委会

主 任 于建平 聂梅生

副主任 窦忠亭 周凤广

委 员 (按汉语拼音排序)

方先金 兰胜仁 刘占卿 刘纯新 刘军培

吕锡武 梅 凯 阮如新 石凤林 宋序彤

孙 冲 孙高升 邵志远 王彩霞 王洪勇

王凯军 张大群 周岳溪

主 编 张 统

副主编 方小军 张志仁

编写人员 侯瑞琴 王 坤 王守中 刘士锐

彭永臻 李 军 刘英华

编 写 单 位

总装备部工程设计研究总院环保中心

中国土木工程学会水工业分会

目 录

第一章 SBR 工艺原理及应用

一、间歇式活性污泥工艺的发展与应用	1
二、SBR 的工艺发展和应用适用性问题的讨论	6
三、SBR 工艺的分类和特点	14
四、SBR 法与活性污泥膨胀	17
五、SBR 法不同进水历时对去除有机物质的影响	21
六、pH 值对 SBR 法处理工业废水的影响	26
七、SBR 法处理工业废水中 DO 对有机物降解及污泥沉降性能的影响	31
八、大型 SBR 工艺启动特点及活性污泥培养驯化	35
九、序批式活性污泥法 (SBR) 计算机辅助设计	38
十、以溶解氧作为 SBR 法处理含盐废水的计算机控制参数可行性研究	42
十一、以 DO 作为 SBR 法处理豆制品废水的控制参数	47
十二、pH 值与温度对 SBR 法反应时间控制的影响	51
十三、SBR-纤维过滤工艺处理和再生城市综合污水的中试研究	55
十四、间歇式活性污泥法及其在云岗污水处理站的应用	59
十五、好氧颗粒活性污泥 SBR 法在食品废水处理工程中的应用	65
十六、SBR 法处理酸性有机化工废水	68
十七、SBR 法处理宣化啤酒厂废水工程设计	72
十八、SBR 工艺在白酒废水治理中的工程实践	75
十九、水解酸化-气浮-SBR 工艺处理亚麻废水	79
二十、水解-SBR 工艺处理规模化猪场粪污研究	82
二十一、二级厌氧-SBR 法处理肉类加工废水	86
二十二、SBR 法处理食品废水的工艺设计及运行	89
二十三、UASBAF-SBR 工艺处理屠宰废水	92
二十四、铁屑过滤-SBR 工艺处理棉纺印染废水的研究	94
二十五、开发厌氧/好氧序批式一体化反应器的构想	99
二十六、猪场废水厌氧消化液 SBR 处理技术研究及工程应用	102

第二章 SBR 工艺用于污水脱氮除磷

一、供氧方式对 SBR 法硝化反应控制参数的影响	106
二、间歇式生物膜法除磷工艺特性研究	109
三、间歇式生物膜法除磷机理研究	114
四、间歇式生物膜法的脱氮特性及机理研究	117
五、同时硝化反硝化的理论、实践与进展	121
六、水处理的同步硝化反硝化过程与 N_2O 控制研究	126
七、以 pH 作为不同碱度条件下 SBR 法硝化过程的模糊控制参数	131
八、以 DO、ORP、pH 控制 SBR 法的脱氮过程	138
九、不同碳源及投量对 SBR 法反硝化速率的影响	143

十、炼油污水场“同步法脱氮”研究及应用	148
十一、厌-好氧交替 SBR 工艺的除磷特性研究	154
十二、应用 SBR 工艺强化生物除磷系统的研究	157
十三、SBR 法处理城市污水的脱氮除磷功效	161
十四、活性污泥外循环 SBR 系统的生物除磷能力	165
十五、SBR 工艺用于生活污水除磷脱氮的试验研究	169

第三章 CASS 工艺原理及应用

一、建筑小区污水处理技术及设计实例	176
二、CASS+膜过滤工艺处理中小城市污水与中水回用	186
三、军队营区污水处理设计	189
四、CASS 工艺的技术经济评价	193
五、葡萄酒废水处理工程的设计与运行	197
六、“CASS-气浮”技术处理印染废水	199
七、CASS 工艺处理垃圾渗滤液工程设计实例	201
八、旋转式滗水器的开发设计	204
九、CASS 工艺在高寒地区处理啤酒废水中的应用	205
十、处理生活污水 CAST 工艺的研究及其自控和模拟系统的开发	208
十一、周期循环活性污泥工艺脱氮试验研究	213
十二、抗生素综合废水治理新工艺	219
十三、水解酸化-CASS 工艺处理避孕药废水实验研究及工艺改造	222
十四、循环式活性污泥法 (CAST) 工艺及设计	226
十五、CASS 工艺在处理低温生活污水中的应用研究	229

第四章 SBR 其他变形原理及应用

一、MSBR 系统的特点及其除磷脱氮的机理分析	234
二、MSBR 工艺的运行机理	237
三、工程菌 MSBR 法处理制药废水研究	240
四、ASBR-SBR 工艺处理垃圾渗沥液的试验研究	246
五、间歇式生物膜法生物膜特性研究	250
六、抚顺三宝屯污水处理厂 DAT-IAT 工艺设计	255
七、SBR 法 DAT-IAT 工艺的过程控制	261
八、DAT-IAT 工艺及设备的研究与应用	266
九、SBR 法 DAT-IAT 技术在大型城市污水处理厂的应用	271
十、UNITANK 工艺处理城市污水工程实践	276

第五章 污水处理与回用其他技术进展

一、我国城市污水回收和再用的实例分析	281
二、我国污水处理事业现状及今后发展的趋势	286
三、生态卫生 (排水) 系统国内外发展比较	295
四、关于天津市城市污水污泥处理与处置的技术研究与探索	301
五、酒仙桥污水处理厂工程概况	311
六、活性污泥工艺设计计算方法探讨	314

七、关于城市污水处理厂设计的若干问题讨论·····	321
八、深圳市观澜河污染治理工程·····	326
九、连续流一体化活性污泥工艺的处理效能及其改进策略·····	329
十、造纸废水的混凝试验研究·····	333
十一、三沟式氧化沟的常见问题和改进方案·····	337
十二、靛蓝染纱废水处理工艺设计·····	341
十三、OOC 工艺在南宁市琅东污水处理厂应用简介 ·····	343
十四、首都机场污水处理厂污水处理工艺运行控制研究·····	345
十五、生化法处理生活污水、医疗污水的实用技术·····	349
十六、微电解-Fenton 法处理 2-3 酸生产废水的研究 ·····	353
十七、曝气扩散机理·····	358
十八、以高新技术推动我国污水处理技术发展及设备研制·····	363
十九、新型电凝聚法去除水中色度的试验研究·····	370
二十、污水-土壤-植物生态处理系统用于驻城市以外部队营区生活污水处理 ·····	373
二十一、集成电路废水处理系统设计·····	375
二十二、新型气浮器及其处理造纸废水的工程设计·····	382
二十三、航天发射场推进剂废水对地下水影响程度分析与研究·····	386
二十四、集中供暖主管道腐蚀查定及防腐方法·····	389

第一章 SBR 工艺原理及应用

一、间歇式活性污泥工艺的发展与应用^①

(一) 间歇式活性污泥工艺的发现

世界上第一个间歇式运转的工艺是英国工程师 Sir Thomas Wardle 于 1898 年发现^[1], 该工艺含有化学沉淀和曝气两个处理过程, 分成进水期、曝气期、沉淀期和排水期四个阶段, 但反应器中没有活性污泥。

十多年后 Ardern and Lockett 在曼彻斯特实验室进行了类似的间歇式运转试验^[2], 试验目的是考察在没有化学处理情况下仅通过一级曝气处理达到完全消化的可能性, 从而去除废水中的有机物。在此之前的试验者在试验中一旦达到完全消化后就将废水和泥一起倒掉, 从而需很长的曝气时间和多级曝气才能达到完全消化。而他们在试验中先将处理后的混合液进行静沉, 然后撇去上清液, 保持沉淀物, 再注入新的废水进行曝气处理, 这样反复进行试验后发现: 随着重复次数的增加悬浮物和污泥产生量也越多, 废水净化所需时间也越短。他们对这种新的发现进行了较详细地分析研究, 并在 1914 年 4 月 3 日“化学工业国际会议”上发表了他们的发现和研究成果, 其主要成果如下。

废水通过曝气后可形成一种称为活性污泥的悬浮性物质, 这种活性污泥的存在可使废水净化处理加快, 但废水净化的速度与泥水混合强弱以及活性污泥多少相关; 活性污泥与通常的污泥有本质的区别, 活性污泥是深褐色, 没有气味, 具有良好的絮凝性, 很好的沉降性, 主要有细菌和单细胞生物组成 (细菌数为 $34 \text{ 万个}/\text{cm}^3$), 活性污泥含氮量较高; 在活性污泥中没有氧化的物质可通过下次进水前的再曝气使其减少。在温度 $10 \sim 24^\circ\text{C}$ 条件下, 废水温度对出水 COD 的去除率没有影响, 对于城市污水曝气 $6 \sim 9\text{h}$ 可得到完全消化, 但前 3h 的曝气对 COD 去除较快, 对于某种废水所必需的曝气时间取决于废水浓度和所需去除率。

然后, 他们又将曝气器改为陶瓷微孔板, 进行小气泡供气试验, 发现使用小气泡供气时氧的利用率更高。由于试验中的工艺较简单, 容易在实际污水处理工程中应用。上述试验成果在英国 1914 年的 Salford 市污水处理中得到直接应用^[3]。Salford 市污水处理设施是世界上第一个间歇式活性污泥设施, 它由两个 83m^3 的间歇式反应器和预处理设施组成, 运转采用进水 45min , 曝气 3h , 沉淀 2h , 排水 1h , 闲置 15min , 并获得了较好的处理效果^[4], COD 去除率达 90% 以上。一年后美国 Milwaukee 市也建造了一座间歇式活性污泥设施。间歇式活性污泥工艺在发明以后, 立即在工程上得到利用, 这种间歇进水、间歇排水的充排式运转方式是当时主要的污水处理工艺。

连续进水、间歇排水的间歇式活性污泥工艺由 Hoover 和 Proges^[5] 及 Pasveer^[6] 于 20 世纪 50 年代发现和完善, 他们在研究可变容积氧化沟工艺时采用了连续进水方式, 当氧化沟反应池中得到一定的水位时停止供气, 进行沉淀和排水, 但在沉淀和排水阶段仍保持进水。这种连续进水、间歇排水的间歇式活性污泥法氧化沟工艺一直到 20 世纪 70 年代后期仍在实

① 本文作者为北京市市政工程设计研究总院方先金。

际污水处理中应用。

(二) 早期间歇式运转中的问题

间歇式活性污泥工艺自发现和工程中应用后,人们很快发现这种工艺对泵、搅拌器和曝气器等设备需不断进行开停转换,在当时的自动化水平下运转十分不方便。由于当时的监测和自动控制技术水平的限制,运行管理显得过于繁琐。同时,人们还发现:上清液从池中排出时常会夹带污泥,造成出水水质的恶化;曝气所用的空气扩散器很容易被沉淀于池底的污泥堵塞。因而,间歇式活性污泥工艺在早期实际上没有大量推广应用^[28],到20世纪50年代,随着污水处理规模的不断扩大,这种工艺渐渐被后来发展起来的连续流活性污泥法所替代。

(三) 间歇式活性污泥工艺的系统性研究和应用

随着连续流活性污泥法技术在工程中的大量应用,人们发现连续流活性污泥法也有许多缺点,这种工艺必须设调节池和污泥回流,这样不仅增加设备和运行费用,而且在水质变化大的情况下运转不理想,污泥回流的控制也不方便;二沉池不是理想的静态,与间歇式活性污泥工艺静沉相比,沉淀效果受异重流等因素的影响。连续流活性污泥法会发生丝状菌污泥膨胀。而上述缺点在间歇式活性污泥工艺污水处理中都不会发生。在20世纪70年代,自动控制技术日趋成熟,大量具有自控系统的阀门、流量计、液位传感器、定时控制设备在水处理中得到了应用,排水装置的滗水器和防堵塞曝气设备的开发和应用,使间歇式活性污泥工艺在早期实际工程应用上的问题得到了解决,从而在70年代后期,间歇式活性污泥工艺才得到系统的研究和开发,并在污水处理工程中逐渐得到推广应用。

澳大利亚的 Goronszy 教授从连续进水间歇运行的氧化沟工艺着手从事可变容积活性污泥法的研究和开发,发现早期的连续进水、间歇出水的运转方式所进入的污水与池中已处理的水在沉淀和排水期会发生混合,从而影响出水效果。在他的研究中,采用在反应池中进水段用墙隔出一节的办法来减少这种混合的发生^[7],并将该污水处理方法称为 ICEAS 工艺。在该研究的基础上,澳大利亚南威尔大学与美国 ABJ 公司合作于1976年建成世界上第一座 ICEAS 工艺污水处理厂。1978年 Goronszy 教授利用活性污泥基质再生理论,根据基质去除与污泥负荷实验结果以及污泥活性组成和污泥呼吸速率之间的关系,将生物选择器原理应用于间歇式活性污泥工艺中,开发出 CASS 工艺,于1984年和1989年分别在美国和加拿大取得 CASS 工艺的专利^[8]。

美国 Natre Dame 大学 Irvine 教授及其同事在实验室以及在污水处理工程实际中对于间歇进水、间歇排水的活性污泥工艺进行了系统的研究^[9~13],揭示了间歇式活性污泥工艺的科学技术基础,为这种工艺的推广应用建立了理论依据,Irvine 称这种间歇进水、间歇排水的活性污泥工艺为 SBR。SBR 工艺中进水、生物降解、沉淀、排水都在一个池中按时间顺序进行并不断反复。80年代初美国 Indiana 州南部的 Culver 市成功地将原有的连续流活性污泥装置改建为双池的 SBR 反应池,其 BOD_5 和 SS 的去除率都达到 94% 左右。

Goronszy 和 Irvine 等对间歇式活性污泥工艺的系统性研究,为间歇式活性污泥工艺奠定了理论基础,并引起各国污水处理研究者的重视,各国研究者根据本地的实际情况又开发了许多间歇式活性污泥工艺。美国、日本、德国、加拿大等国迅速将间歇式处理工艺应用于工业废水和中小城镇污水处理中,美国、加拿大和日本等国并于20世纪80年代后期分别及时地对间歇式活性污泥工艺污水处理厂做了评价^[14],公布了间歇式活性污泥工艺技术报告书,日本于1990年出版了《序批式活性污泥法设计指南》^[15],美国、德国等国也已出版了间歇

式活性污泥工艺法手册^[16]，德国于 1997 年还发布了相应的设计规范^[17]。为了总结和推动间歇式活性污泥工艺的应用，国际水质协会（IAWA）于 1996 年在德国召开了第一次间歇式活性污泥工艺学术研讨会。据文献报道，至 1996 年仅澳大利亚就有 600 多座间歇式活性污泥法污水处理厂^[18]，美国仅 AQUA AEROBIC SYSTEMS 一家公司就已设计了 350 多座 SBR 污水处理厂^[16]。

我国对间歇式活性污泥工艺的研究与应用始于 20 世纪 80 年代中期，上海市市政工程设计院于 20 世纪 80 年代中期设计了我国第一座生产性间歇式活性污泥工艺系统（上海市吴淞肉联厂 SBR 法污水处理站）^[19]。清华大学、同济大学、北京市市政工程设计研究总院等研究设计单位以及许多环境工程公司都对间歇式活性污泥工艺进行过专项研究，并开发了许多改进的工艺系统。20 世纪 90 年代初开始，我国陆续在城市生活污水、水产品加工、屠宰废水、肉类加工、制药废水和化工废水等污水治理工程中使用了间歇式活性污泥工艺，目前间歇式活性污泥工艺已成为我国城市生活污水和工艺废水处理中常用的处理工艺之一，但我国还没有相应的技术规范和手册。

（四）各种间歇式活性污泥工艺的比较和分析

最近二十多年对间歇式活性污泥工艺的系统性研究和在污水处理工程中的大量应用，促进了间歇式活性污泥工艺的发展。然而，污水处理工程中所采用工艺的适宜性总是与进出水水质特性、去除效果的要求等因素相关，因此，世界各国在工程实践中根据不同的水质条件和去除要求发展了多种间歇式活性污泥工艺，这些工艺也在实际工程中得到应用。表 1 仅列出目前文献资料中和工程实际中常见的几种间歇式活性污泥工艺。除此而外，针对某一特定的废水处理，采用不同工艺组合发展了一些新的处理方法，如两段 SBR 法^[20]，膜法 SBR 工艺^[21]等，这些工艺都带有间歇式活性污泥工艺的特点。

表 1 目前常用的间歇式活性污泥工艺中英文对照

简称	中文名称	英文全称
SBR	序批式活性污泥法	Sequencing Batch Reactor
ICEAS	间歇式循环延时曝气活性污泥法	Intermittent Cyclic Extended Aeration System
CASS	循环式活性污泥法	Cyclic Activated Sludge System
IDEA	间歇排水延时曝气工艺	Intermittent Decanted Extended Aeration
DAT-IAT	需氧池-间歇曝气池工艺	Demand Aeration Tank-Intermittent Aeration Tank
IB-CASP	间歇式双向循环活性污泥法	Intermittent Bidirectional Cyclic Activated Sludge Process
BioCoS	生物组合工艺	Biological Combined System

SBR 工艺是国内外研究最多和工程应用最广的间歇式活性污泥法，我国 SBR 污水处理厂也较多^[22]。该方法按运行次序将一个周期分为进水期、反应期、沉淀期、排水期和闲置期 5 个阶段，并进行不断的周期反复对污水进行处理。该工艺进水和排水都是间歇式，一个周期中各个阶段的运行时间、反应池中混合液的浓度以及运行状况等都可根据进出水水质与运行功能要求等灵活掌握，只要有效地控制与变换各阶段的操作时间，就可以获得不同的污水处理效果。表 1 中的其他工艺都是在此工艺基础上发展开发的。

ICEAS、CASS 和 IDEA 三种工艺都是采用连续进水、间歇排水的方式运转^[8,23,24,27]，都设有一个生物选择器或预反应器，循环运转方式都为：充水/曝气-充水/沉淀-充水/排水-

充水/闲置。但它们也有一些不同点, ICEAS 工艺中仅设置了一个预反应器, 没有污泥回流到生物预反应器中, CASS 和 IDEA 工艺设置了生物选择器, 并设有污泥回流系统将反应池中污泥回流到生物选择器。IDEA 工艺生物选择器是单设的一个池子, 而 CASS 和 ICEAS 工艺是在反应池前端用隔墙隔开一部分来作为生物选择器或预反应器。ICEAS 工艺的预反应区设有曝气设备, 而 CASS 和 IDEA 工艺在生物选择器中不需要设曝气设备。ICEAS 在国内应用较早, 1991 年上海市中药制药三厂污水处理中在我国第一次使用 ICEAS 工艺, 昆明市第三污水处理厂采用 ICEAS 工艺技术, 该厂设计能力为: 旱季平均 $15 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 旱季高峰 $20 \text{ 万 m}^3/\text{d}$; 雨季高峰 $30 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。北京航天城污水处理工程是我国使用 CASS 处理市政污水较早的工程之一, CASS 工艺近几年来已在我国得到广泛的应用, 国外大型的 CASS 工艺污水处理厂实例较多^[8]。IDEA 工艺在国内还没有得到广泛推广。

DAT-IAT、IBCASP 和 BioCoS 工艺都至少有两个池子串联使用^[18,25,26], 这些工艺都是在总结 SBR、ICEAS、CASS、IDEA 和连续流活性污泥法工艺的优点基础上, 不断完善发展起来的新的处理方法, 它们的运转方式和反应机理都保留了间歇式的优点, 但池子的利用效率比 SBR 工艺要高。DAT-IAT 工艺采用连续进水、间歇出水的方式运转, 原污水连续进入 DAT 池, 在 DAT 池连续曝气初步生物处理后, 经两池之间双层配水装置连续不断的进入 IAT 池, 按工艺要求, 在 IAT 池中完成曝气或搅拌、沉淀和排水, 还可以根据需要设置闲置过程, 上述 IAT 运转过程与 SBR 工艺类似, 但 IAT 池中一部分活性污泥要回流到 DAT 池, 作为 DAT 池下个周期的基质。

IBCASP 工艺结合 SBR 法和连续流活性污泥法各自优点, 保留了 SBR 工艺的间歇运转方式和连续流活性污泥法的排水优点, 从而成功地实现在间歇式活性污泥工艺运转中无需采用特殊的排水设备。该工艺是由两个矩形池组成, 两个池子之间水力相连通, 每个池子都有供氧设备、进水和出水系统。原水通过阀门控制分别在不同的周期内进入不同的反应器, 在一个周期内, 进水直接进入反应器 I, 在反应器 I 曝气并完成生物降解; 另一个反应池(反应器 II)则在非曝气阶段, 主要完成泥水分离和排水。在下一个周期中进水直接进入反应器 II, 在反应器 II 曝气并完成生物降解, 反应器 I 则在非曝气阶段完成泥水分离和排水。上述过程不断重复循环从而完成污水处理的任务。这种运转方式对于每个周期来说水力流动类似于有曝气池和沉淀池组成的连续流活性污泥法, 因而排水时不需要特殊的排水设备。IBCASP 工艺一般用于小规模污水处理工程中, 目前在国内工业废水处理工程已成功地完成了近 20 多个工业废水处理工程, 涉及到油厂、食品加工、纺织、皮革等工业废水的治理^[25]。

BioCoS 工艺自 1998 年以来在德国和奥地利得到了广泛的应用, 该工艺主要有一个好氧池和一个或两个沉淀循环池组成。当采用一个好氧池和一个沉淀循环池组成处理系统时, 运转采用间歇进水、间歇排水方式, 但在实际工程中很少使用。实际工程中一般采用一个好氧池和两个沉淀循环池组成的污水处理系统, 运转采用连续进水、连续排水方式。通常一个运转周期内可分成 3 个阶段。在第 1 阶段, 原污水连续进入好氧池, 好氧池停止曝气, 沉淀循环池 I 和好氧池之间的上部和下部的连接管道打开, 沉淀循环池 II 和好氧池之间的连接管道关闭, 沉淀循环池 I 中的污泥通过上部连接管道向好氧池中回流, 同时进水通过下部连接管道进入沉淀循环池 I; 沉淀循环池 II 在排水状态。在第 2 阶段, 原污水仍连续进入好氧池, 沉淀循环池 I 和好氧池之间的上部连接管道关闭, 下部连接管道打开, 沉淀循环池 II 和好氧池之间的连接管道仍关闭, 好氧池曝气, 沉淀循环池 I 在沉淀阶段, 沉淀循环池 II 仍在排水

状态。第3阶段是重复上述两个过程,但沉淀循环池Ⅰ和Ⅱ的作用调换,既沉淀循环池Ⅰ在排水状态,沉淀循环池Ⅱ按时间顺序分别处在污泥回流到好氧池和沉淀阶段。BioCoS工艺对沉淀循环池和好氧池之间的下部的连接管道构造要求较高,以便保证在沉淀循环池处于沉淀状态时好氧池中的混合液以低速流入沉淀循环池,不影响沉淀循环池的沉淀效果,同时,还应设置防止污泥翻卷的装置。

(五) 小结

间歇式活性污泥工艺是最早发现的污水生物处理工艺,它的发展过程中经历了发现、工程早期应用、几乎停止、系统研究和大规模应用几个阶段,这一发展过程与自控技术和污水处理设备技术的发展相关。目前国内外常用的几种间歇式活性污泥工艺在系统组成和运转方式上都有一些差异,在实际工程中应根据废水特性和实际情况选择合适的工艺。

参 考 文 献

- 1 Wardle Sir Thomas. Sewage Treatment and Disposal. J. Royal San. Inst., 1893
- 2 Arden E., Lockett W. T.. Experiments on the Oxidation of Sewage Without the Aid of Filters, J. Soc. Chem. Ind., 1914, 33: 523
- 3 Melling S. E.. Purification of Salford Sewage along the Line of the Manchester Experiments. J. Soc. Chem. Ind., 1914, 33: 1124
- 4 O' Shaughnessy F. R.. The Physical Aspects of Sewage Disposal. J. Soc. Chem. Ind., 1923, 42: 359
- 5 Hoover S. R., Porges N.. Assimilation of Dairy Wastes by Activated Sludge II. The Equation of Synthesis and Rate of Oxygen Utilization. Sew. Ind. Waste, 1952, 24: 306
- 6 Pasveer A.. Contribution to the Development in Activated Sludge Treatment. J. Ind. Sew. Purif., 1957, 4: 436
- 7 Goronszy M. C.. Intermittent Operation of the Extended Aeration Process for Small System. JWPCF, 1979, 51: 274-287
- 8 Goronszy M. C., 朱明权, Wutscher K.. 循环式活性污泥法(CAST)的应用及其发展. 中国给水排水, 1996, 12(6): 4-10
- 9 Irvine R. L., Fox T. R., Richter R. O.. Investigation of Fill and Batch Periods of Sequencing Batch Biological Reactors. Wat. Res., 1977, 11: 713-717
- 10 Irvine R. L., Busch A. W.. Sequencing Batch Biological Reactors-An Overview. JWPCF, 1979, 51: 235
- 11 Irvine R. L., Ketchum Jr. L. H., Breyfolge R. et. al. Municipal Application of Sequencing Batch Treatment at Culver. JWPCF, 1983, 55: 484
- 12 Irvine R. L., Ketchum Jr. L. H.. Sequencing Batch Reactor for Biological Wastewater Treatment. CRC Crit. Rev. Environ. Control, 1988, 18: 255
- 13 Irvine R. L., Wilderer P. A., Flemming H-C. Controlled Unsteady State Processes and Technologies-An Overview. Wat. Sci. Tech., 1997, (1): 1-10
- 14 王国生. 间歇活性污泥法述评. 给水排水, 1989, 15(1): 40-44
- 15 日本下水道事业主编. 序批式活性污泥法设计指南. 1990
- 16 Handbuch des SBR-Verfahrens. Cyklar Abwassertechnik, 1995
- 17 Arbeitsblatt ATV-M210. Belebungsanlagen mit Aufstauetrieb, 1997
- 18 张大群, 王秀朵. SBR工艺新DAT-IAT法及新型滗水器. 中国给水排水, 1996, 12(1): 26-29
- 19 强毓琪, 陆嘉弘, 王宇晓. 序批式活性污泥法(SBR系统)处理肉类加工厂废水. 供水与排水, 1987, (7): 31-35
- 20 彭永臻, 高凯, 余政哲. 两段SBR法处理石油化工废水. 给水排水, 1996, 22(6): 26-28
- 21 詹伯君, 陈国喜. 膜法SBR工艺处理印染废水工程设计. 给水排水, 1997, 23(7): 25-28
- 22 段雨. 序批式活性污泥法综述. 设计与研究, 1995, 239-253
- 23 陈庆星, 马玉麟. 昆明市第三污水处理厂(ICEAS)工艺简介. 给水排水, 1994, 20(8): 17-20
- 24 冯生华. 澳大利亚IDEA工艺污水处理厂工艺简介. 给水排水, 1996, 22(11): 26-27
- 25 方先金, Horst A. Jezierski, 薛平. 间歇式双向循环活性污泥法在工业废水处理中的应用. 给水排水, 2001, 27

(10): 59~61

- 26 Kurt Ingerle. Biocos-Klaeranlagen Beschreibung und Bemessung. Korrespondenz Abwasser, 1999, 46 (8): 1221~1230
- 27 张统, 王守中, 刘少怀. CASS 工艺处理北京航天城污水. 见: 国内外废水处理工程设计实例. 北京: 化学工业出版社, 2000, 36~40
- 28 刘建林. 序批式活性污泥工艺 (SBR) 运行模式和设计方法研究: [硕士论文], 1994
- 29 肖大松. SBR 处理城市生活污水的研究. 重庆环境科学, 1996, 18 (5): 39~41

二、SBR 的工艺发展和应用适用性问题的讨论^①

(一) 概述

序批式活性污泥法 (简称 SBR) 一般认为是由美国 Irvine 在 20 世纪 70 年代初开发的。随着人们对 SBR 研究的深入, 新型的 SBR 不断出现。80 年代初, 出现了连续进水的 ICEAS, 后来 Goranzy 教授相继开发了 CASS 和 CAST 工艺。90 年代, 比利时的 SEGHERS 公司开发了 UNITANK 系统, 把 SBR 的时间推流与连续系统的空间推流结合起来。我国于 80 年代中期开始对 SBR 进行研究与应用。目前, SBR 工艺在我国工业废水处理领域应用比较广泛, 已经建立的 SBR 工艺处理已经处理了多种污水。

(二) SBR 工艺的特点

SBR 是通过在时间上的交替实现这种传统活性污泥法的整个过程, 它在流程上只有一个基本单元, 将调节池、曝气池和二沉池的功能集中在该池子上, 兼有水质水量调节、微生物降解有机物和固液分离等功能。经典的 SBR 反应器的运行过程见图 1。

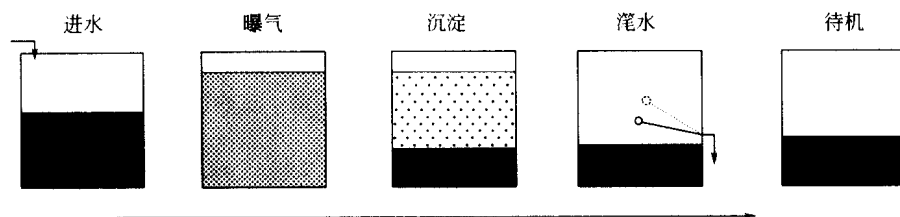


图 1 经典的 SBR 反应器的运行过程

1. 经典 SBR 反应器的优点

SBR 与连续式活性污泥系统存在一定的区别, 并且有其独特的特点。在 SBR 的研究过程中, 不同的研究人员在不同的条件下得出了不同类型 SBR 反应器的特点。这些结果有很多共同点, 也有一些不同点。表 1 列举了不同学者的观点。

但是, 表 1 中一些 SBR 反应器的优点是其他工艺共有的, 如: 可以减少初沉池和不用污泥硝化等。另外, 众多的研究者没有对形成 SBR 特点的原因进行系统的理论分析。通过分析可将 SBR 反应器的众多优点可归纳如表 2。

表 1 不同学者对 SBR 的不同看法

姓 名	SBR 的 特 点	可 能 的 机 理
Arora	抗冲击负荷能力强 提高曝气系统的氧的转移效率 工艺简单, 运转费用低	变容积进水 反应初期氧的推动力大 SBR 反应器本身特点

① 本文作者为北京市环境保护科学研究院王凯军、宋英豪。