

SEQUENCING BATCH REACTOR TECHNOLOGY

序批式活性污泥法 污水处理技术

[美] 彼德·维尔德勒 罗伯特·欧文 默文·戈恩森 编

PETER A. WILDERER

ROBERT L. IRVINE

MERVYN C. GORONSY

孙洪伟 刘秀红 彭永臻 译



化学工业出版社

SEQUENCING BATCH REACTOR TECHNOLOGY

序批式活性污泥法 污水处理技术

[美] 彼德·维尔德勒 罗伯特·欧文 默文·戈恩森 编

PETER A. WILDERER

ROBERT L. IRVINE

MERVYN C. GORONSZY

孙洪伟 刘秀红 彭永臻 译



化学工业出版社

化学工业出版社

·北京·

本书为 IWA 科学技术系列报告中的一卷，系统总结了 SBR 法的起源、演变及发展历程。本书重点突出了 SBR 法的基本原理、微生物生态学与种群动力学特性、工艺设计及实际运行等相关内容，同时对 SBR 法的仪器、设备进行了详细的论述。本书还给出了发达国家 SBR 污水处理厂的实际设计运行参数、运行策略、处理效果、运行经验及存在的问题等。上述内容对 SBR 法在我国的发展及实际应用具有很好的借鉴作用。

本书内容全面、权威、系统，技术先进，可供环境工程、市政工程专业的研究人员和设计人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

序批式活性污泥法污水处理技术/ (美) 维尔德勒 (Wilderer, P. A.), (美) 欧文 (Irvine, R. L.), (美) 戈恩森 (Goronszy, M. C.) 编; 孙洪伟, 刘秀红, 彭永臻译. —北京: 化学工业出版社, 2010. 7

书名原文: Sequencing Batch Reactor Technology
ISBN 978-7-122-08565-8

I. 序… II. ①维…②欧…③戈…④孙…⑤刘…⑥彭… III. 活性污泥处理-应用-污水处理 IV. X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 089749 号

SEQUENCING BATCH REACTOR TECHNOLOGY by PETER A. WILDERER, ROBERT L. IRVINE, MERVYN C. GORONSZY
ISBN 1900222213

Copyright©2001 by IWA. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by IWA Publishing

This translation Sequencing Batch Reactor Technology (Scientific & Technical Report No.10) is published by arrangement with IWA Publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London, SW1H0QS, UK, www.iwapublishing.com.

本书中文简体字版由 IWA 授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分，违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2010-3351

责任编辑：徐娟
责任校对：洪雅妹

装帧设计：张辉

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）
印装：北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 5 $\frac{3}{4}$ 字数 130 千字
2010 年 9 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：28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书为国际水协会（IWA）科学技术报告中的一卷，为周期性工艺提供了深度的总结和科学的背景。具体来说，本书主要集中在序批式活性污泥法（SBR法），重点介绍了各种类型SBR工艺的设计、运行、设备和实际应用经验等方面的内容。

全书中用SBR表示可变容积的、悬浮生长的废水生物处理技术，这种污水处理技术有别于连续流工艺之处在于：

- （1）进水和出水是不连续的；
- （2）泥水混合液分离是在反应器而非沉淀池内完成的；
- （3）每个反应器内，单元运行和单元过程是按时间顺序接连完成的，并且每个过程是周期性重复进行的，这种周期性不是发生在池-池之间的空间系统内；
- （4）处理水被周期性排放，从而使新的废水进入反应器。

由于上述这些特征，SBR系统通常是指周期性工艺、单池系统、进水-排水反应器或可变容积反应器。

SBR这个术语最初是由美国Irvine教授在1971年普渡工业废物会议上提出的，用于描述一个周期性活性污泥工艺，当时Irvine等采用这种工艺处理碳水化合物聚合物废水（Irvine和Davis, 1971）。SBR系统的主要特征在于进水、反应、沉淀、排水和闲置阶段不断连续重复，每个阶段的名称是基于其本身在周期的位置和功能而确定的。SBR这个术语已经被广泛采用，并且目前这个术语的应用范围更加广泛，可以指代多种类型的可变容积活性污泥系统，包括IDEAL和ICEAS。

SBR 法的发展和普遍接受应归功于学术界和政府的联合努力。此外，1996 年，在德国慕尼黑举办了专门针对 SBR 法的第一届国际水协会议，无疑对 SBR 技术的发展和世界范围内的推广起到了里程碑式的意义。第二届 SBR 会议于 2000 年 7 月在法国纳博讷举行。

SBR 法被工程师们普遍接受的主要原因包括以下几方面：

- (1) 应用简单的自动控制；
- (2) 能够通过运行方式的调整而有效控制引起污泥膨胀的丝状菌的生长、营养物去除或有害物质的破坏；
- (3) 能够选择强壮的微生物种群，使系统具有较高的抗负荷冲击的能力；
- (4) 允许处理的污水在排放之前保存在反应器内；
- (5) 能够调整能量输入的时间和大小、每个反应池容积和为满足需要采用的池子数量。

然而对于 SBR 系统，不适宜的设计和运行能够导致系统运行的失败，这一点与其他水处理技术相同。本书将有助于 SBR 工艺的设计人员和运行管理人员深入理解如何成功应用这项技术。

本书重点介绍了进水-排水、可变容积、周期性运行和非稳态活性污泥系统的应用，这些概念已经被成功应用于其他污水处理系统，如厌氧反应器、生物膜反应器、生物滤池反应器。此外，本书还总结了采用小试、中试和实际规模的用于处理高浓度废水的 SBR 固-液反应器和浆体反应器，介绍了 SBR 法的发展趋势和待解决的相关问题，涉及研究、发展、应用和运行等方面问题。

Peter A. Wilderer

Robert L. Irvine

Mervyn C. Goronszy

译者前言

近年来, 虽然我国污水处理率不断提高, 但由氮、磷污染引起的水体富营养问题不仅没有解决, 而且有日益严重的趋势。尤其是 2007 年太湖、滇池和巢湖等几大水系相继发生水体富营养化现象以后, 人们更加清楚地认识到去除水体中氮、磷等营养物的重要性和迫切性。20 世纪 80 年代以来, 序批式活性污泥法 (Sequencing Batch Reactor, 简称 SBR 法) 在处理间歇排放的水质水量变化很大的工业废水及中小水量的城市污水等方面取得了很大成功并被广泛应用。据统计, 我国近 10 年来新建的日处理能力在 50000m^3 以下的城市污水处理厂有 $30\% \sim 40\%$ 左右采用了 SBR 工艺。目前我国关于 SBR 工艺的设计、反应机理、微生物种群特性、处理仪器仪表及先进运行、管理经验等方面的科学研究与国外相比还有较大的差距。这无疑阻碍了该工艺在我国污水处理中的深入发展和广泛应用。

随着科学技术的发展和工程应用的需要, 国内外专家对 SBR 法进行了一定的改进, 建立了一系列 SBR 的衍生工艺。国内近年来一方面在对现有 SBR 法的设备与运行技术进行改进, 另一方面也积极与国外进行交流合作, 引进先进的运行与管理技术。这些工艺既有其优势, 但也存在一定的局限性, 只有根据实际情况合理地选择工艺, 才能促进 SBR 法在我国的发展。

SBR 法由于具有工艺简单, 节省费用, 生化反应推力大、效率高, 运行方式灵活, 脱氮除磷效果好, 防止污泥膨胀和耐冲击负荷等优点被广泛用于中、小城市污水处理厂, 是最基本也是

最有效的生物脱氮除磷工艺，必将成为我国小水量城镇污水处理的主流和首选工艺。与发达国家相比，我国对 SBR 的设计、运行管理和脱氮除磷机理等方面研究还相对薄弱，这将严重制约我国 SBR 污水处理技术的快速发展。迄今为止，我国缺乏一本全面、系统论述 SBR 工艺污水处理技术的译著，尤其是关于 SBR 工艺在发达国家的设计、运行及先进的管理经验。

《Sequencing Batch Reactor Technology》一书是国际水协会 (IWA) 科研报告中的一卷，是由 SBR 法的创始者 Peter A. Wilderer, Robert L. Irvine 和 Mervyn C. Goronszy 教授共同撰写的，并由国际水处理研究的权威机构——国际水协会 (IWA) 出版发行。该书权威性强，立意新颖，内容丰富，涵盖了 SBR 工艺污水生物处理中的许多研究前沿和热点问题。本译著首先着重论述了 SBR 工艺的衍变过程，工艺原理，微生物生化机理及动力学特性；其次详述了 SBR 工艺的有机物、氮 (N)、磷 (P) 去除特性及仪器、仪表、设备原理；最后，首次系统地总结了 SBR 工艺在发达国家 (美国、澳大利亚、德国、法国和日本) 实际污水处理厂的应用演变过程，提供了详细的 SBR 工艺运行工况、进出水质和进水负荷等重要的工艺参数，这无疑对我国污水处理厂的设计和运行管理具有重要的指导意义。总之，本书将 SBR 工艺设计、生化反应机理及先进运行管理经验进行有效结合，填补了我国关于 SBR 工艺相关研究及应用方面的空白，对提高我国 SBR 污水处理系统技术升级改造、运行优化管理水平以及研究水平有很大作用。

本书由多年来一直从事 SBR 工艺理论和应用研究，并在 SBR 法脱氮除磷新技术及其智能控制研究方面取得了多项创新性成果的彭永臻教授亲自组织和指导下完成。此书的翻译出版是彭永臻教授课题组集体智慧与贡献的结晶。本书第 1 章、第 3 章、第 4 章和第 7 章由孙洪伟博士翻译，第 2 章、第 5 章和第 6 章由刘秀红博士翻译。杨庆博士、陈永志博士、李凌云博士和顾升波博士分别对全书进行了第一次、第二次、第三次和第四次校

对，彭永臻教授对全书进行了统稿和最终校对。在此对杨庆、陈永志、李凌云和顾升波四位博士对书稿仔细、认真的校对表示感谢。尤其是杨庆博士在该书的翻译、出版过程做了大量的工作，并提出了许多建设性的建议。此外，本书的翻译出版得到了北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室（北京工业大学）的支持和帮助，在此表示感谢。最后衷心感谢在本书翻译出版过程中给予热心帮助和无私奉献的每一个人！

衷心希望本书的出版能够抛砖引玉，推动 SBR 法在我国的深入发展和推广应用。

译 者

2010 年 4 月 20 日于北京

专业术语表

曝气进水：反应器在进水期间，同时曝气。

曝气反应：反应器的曝气反应阶段。

好氧污泥龄：平均固体停留时间的一部分，好氧曝气阶段微生物的固体停留时间。

缺氧进水：反应器的一个进水阶段，反应器内存在硝酸盐或亚硝酸盐，而缺氧条件下进水。

厌氧进水：反应器的一个进水阶段，反应器内不存在硝酸盐或亚硝酸盐、氧条件下进水。

周期：反应进水阶段开始到闲置阶段结束的时间（如果无闲置阶段，是指到排水阶段结束的时间）。

滗水器：排除 SBR 反应器内处理水的装置。

排水：已处理水被排放的阶段。

闲置：排水阶段结束至进水阶段开始时间。

阶段：进水，反应，沉淀，排水和闲置阶段的持续时间。

反应：进水阶段结束至沉淀阶段开始的时间。在此过程中，完成 COD 去除、硝化和反硝化反应。

序批式反应器：一个具有运行特征的生化反应器。反应器内的微生物种群周期性地暴露于变化的环境条件：（1）基质浓度高低；（2）分批进水或排水，从而导致反应器内液面高度的周期性变化；（3）完成微生物代谢过程，然后在单一的反应池内完成固液分离。代表性的特征是活性污泥参与生化反应代谢过程。

序批示生物膜反应器：应用生物膜概念的序批式反应器。

沉淀：反应期内进行污泥沉淀阶段。

污泥龄：SBR 反应器内平均污泥停留时间。

静态进水：SBR 反应器在没有搅拌的条件下进水。

容积交换率：反应器容积的一部分，排水阶段排放处理水体积（或进水阶段的进水体积）与反应器容积比。

目录

专业术语表

第 1 章 引言	1
1.1 总体设想	1
1.2 SBR 工艺描述	5
1.3 SBR 法与连续流活性污泥法的比较	10
1.4 SBR 法的发展史	17
1.5 本书的研究范围和目标	28
第 2 章 SBR 法的基本原理	31
2.1 微生物生态学与菌群动力学	31
2.2 SBR 工艺设计	37
2.3 SBR 工艺的实际应用与经验总结	40
第 3 章 SBR 法应用概述	44
3.1 引言	44
3.2 普通 SBR	47
3.3 SBR 工艺应用综述	53
3.3.1 (a)类 SBR 系统	55
3.3.2 (b)类 SBR 系统	57
3.3.3 (c)类 SBR 系统	58

3.3.4 (d)类 SBR 系统	59
3.4 SBR 工艺物理特性描述	60
3.4.1 进水口	61
3.4.2 出水口	62
3.4.3 曝气系统和搅拌系统	63
3.4.4 微处理器控制系统	65
3.5 循环式活性污泥法 (CAST)	66
3.6 序批式膜生物反应器	69
3.6.1 工艺概述	69
3.6.2 工艺应用	70
3.6.3 生物膜法	71
3.6.4 SBBR 的运行	72
3.6.5 载体	73
3.6.6 曝气充氧	74
3.6.7 进水、加药和搅拌方式	74
3.6.8 SBBR 周期过程	75
3.6.9 冲洗	76
3.6.10 污泥龄	77
3.6.11 其他重要方面	78
第 4 章 SBR 污水处理厂的设计	80
4.1 概述	80
4.2 设计依据	81
4.2.1 水力参数	82
4.2.2 进水过程参数	83
4.2.3 COD 去除	83
4.2.4 硝化/反硝化	84
4.2.5 磷的去除	85
4.2.6 泥水分离	85

4.2.7	设计步骤	86
第5章	SBR系统的仪器和设备	88
5.1	概述	88
5.2	搅拌设备	90
5.3	曝气装置	93
5.4	反应池和池盖	96
5.5	排水设备	98
5.6	浮渣和泡沫的去除	105
5.7	传感器	110
5.8	计算机辅助控制设备	113
第6章	SBR系统的应用实践	117
6.1	SBR设备在澳大利亚的应用评价	117
6.1.1	Pasveer氧化沟的早期发展	118
6.1.2	IDEA工艺的发展	119
6.1.3	BNR工艺的引进	122
6.1.4	结语	124
6.2	SBR设备在美国和加拿大寒冷地区的应用评价	124
6.2.1	研究方法	125
6.2.2	出水水质调查	125
6.2.3	关注污水处理厂的设计、运行小结	126
6.2.4	观察	132
6.2.5	时机优化的鉴别	132
6.2.6	结语	133
6.3	SBR设备在德国的应用评价	134
6.3.1	统计结果	134
6.3.2	水厂设计	134
6.3.3	运行策略	136

6.3.4	水厂的性能	136
6.3.5	污泥的性能	138
6.3.6	泡沫和浮泥的形成	138
6.3.7	污泥的稳定性	139
6.3.8	污泥产量	139
6.3.9	存在的问题	139
6.3.10	结语	140
6.4	SBR 设备在法国的应用评价	141
6.4.1	葡萄酒废水的处理	141
6.4.2	奶酪厂废水的处理	144
6.4.3	应用论述	148
6.5	SBR 设备在日本的应用评价	148
6.5.1	演变史	148
6.5.2	具体应用	151
6.5.3	实际经验	152
6.5.4	发展趋势	154
第 7 章 结语		155
参考文献		159

第1章 引言

1.1 总体设想

采用生物法处理各种污染物时，如城市污水和工业废水内所含的污染物，垃圾填埋场排放的污染物，受污染的土壤及地下水中所含的污染物，由于污染物的种类和特性差异较大，因此需要具有多种生物降解功能和新陈代谢途径的微生物菌群，这决定了污水处理系统中微生物种群的多样性。然而在微生物群落内部，各种微生物不仅生长速率和产率差异较大，而且存在着错综复杂的共生和寄生关系。在污水生物处理过程中，为培养适于降解各种污染物的微生物种群，需要人为调整微生物的生存环境，经过一定时间的培养和驯化，使其适应交替好氧、缺氧和厌氧环境条件，从而能够筛选和富集出特异性微生物种群，这在以往的研究中已经得到了强有力的证明。微生物（水处理中定义为活性污泥）是活性污泥法污水处理系统的功能主体，为使出水污染物指标达到排放标准，通常需要维持相当数量且活性较强的微生物菌群。然而由于微生物需要各自适宜的生存条件，当处理系统的进水负荷发生瞬时或剧烈波动时，将抑制微生物的合成代谢和分解代谢，从而导致系统出水水质恶化。

过去，对于可控和不可控的非稳态活性污泥处理系统，工程师们仅仅借助于几十年积累的经验或直觉来设计和运行污水处理

系统，缺乏对系统控制策略基本和科学的理解，导致他们不能深刻理解一些具体的控制策略非常有效，而其他控制策略无效的根本原因。截至目前，人们才能完全从科学角度深入解释控制方法在活性污泥处理系统应用是否成功的原理。在这方面，污泥膨胀控制理论的演变是一个非常好的实例，该演变过程是如何应用基本理论从而提高系统的设计和实际操作水平。此外，对于实际污水处理系统，尽管其主要进水水质参数和环境因素的变化是客观存在的，并且多种自然因素的叠加已经成为水处理系统中无法控制的非稳态条件，经过几十年的研究，在此方面人们已经取得了突破性进展。

图 1.1 为连续流活性污泥系统（Continuous Flow Activated Sludge System, CSTR）典型工艺流程示意。该工艺流程主要由三个反应池顺序连接而成。从反应机理上既可被近似认为实际工程中所采用具有较大生化反应推动力的推流式反应器（Plug Flow Reactor, PFR），还可以模拟污水中各种营养物质（N、P）的去除系统，从而去除污水中的 N、P 营养物质，实现脱氮除磷的目的。

如图 1.1 所示（推流式工艺除外），在进水水质水量不变的情况下，如果对三个反应池同时进行曝气，那么沿着工艺流程方向，借助于活性污泥微生物对基质的降解作用，三个池内的基质浓度将呈现逐渐降低的趋势。根据米-门方程可知，活性污泥微生物的增殖速率与基质浓度成线性相关。因此，这种条件下当微生物从第一个反应池逐渐迁移至最后一个反应池时，其增殖速率必将随着基质浓度的降低而逐渐变小。此外，为了使反应池内活性污泥微生物维持在一个相对稳定浓度范围，通常需要将二沉池的污泥一部分回流至反应池的最前端。回流污泥中的微生物在第一个池内与进水相混合，处于较高的底物基质浓度，这无疑增大了微生物的增殖速率。经过无数个相似的运行周期，微生物菌群

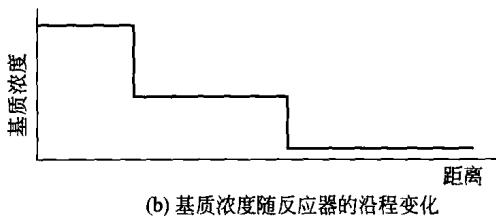
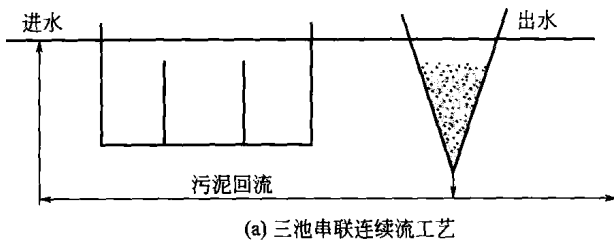


图 1.1 连续流活性污泥系统典型工艺流程

注：回流活性污泥微生物种群持续暴露于高、低基质（电子受体）浓度交替环境。

反复经历着真正的非稳态系统运行条件。如果基质底物和电子受体浓度沿流程方向变化很大时，可以通过调整每个反应池的曝气强度和搅拌强度来实现并维持系统仍处于非稳态状态，并以此筛选和驯化出适合该生化系统的特异性微生物菌群。

众所周知，对于较难控制的活性污泥污水处理系统，由于进水流量、进水浓度和客观环境条件的不断变化，真正稳态的系统条件是不可能形成的。实际上几乎所有的活性污泥系统始终处于非稳态状态，由此导致系统的性能经常是不可预测的。在活性污泥系统中，通过调整系统关键运行参数的方式来实现系统维持在非稳态状态。这些工艺参数包括：电子供体（有机物、氨氮）和电子受体（溶解氧、硝酸盐和亚硝酸盐）的浓度；可利用的基质种类和浓度；生化反应（好氧、缺氧和厌氧反应）的时间；曝气和搅拌强度及时间。然而令人欣慰的是，当生化系统处于其内在固有的非稳态状态时，系统的生物处理性能得到有效强化，这也