

沈耀良 王宝贞 编著

废水生物处理新技术

理论与应用

NEW TECHNOLOGIES FOR
BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

— *Theory and Application*

中国环境科学出版社

废水生物处理新技术

——理论与应用

沈耀良 王宝贞 编著

江苏省“青蓝工程”跨世纪

学术带头人选科研基金

共同资助出版

苏州城建环保学院科研基金

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

废水生物处理新技术：理论与应用/沈耀良编著. - 北京：中国环境科学出版社，1999. 6

ISBN 7 - 80135 - 739 - 6

I. 废… II. 沈… III. 废水 - 生物处理 - 技术 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 29586 号

内容简介

本书从理论(基本原理、技术特点、工艺设计、运行控制)和实际应用及发展现状等各方面对近十多年来在水污染控制领域中得到研究、开发和日趋广泛应用的几种典型的新型废水生物处理工艺和技术作了深入系统的介绍。这些工艺技术包括 AB 污水生物处理技术、ABR 污水生物处理技术、SBR 污水生物处理技术、LINDE 污水生物处理技术、废水生物除磷技术、废水生物脱氮技术、人工湿地污水处理技术、污泥膨胀控制技术、氧化沟废水生物处理技术及 UASB 废水生物处理技术等。

本书可作为从事环境工程专业和给水排水专业工作和研究的工程技术人员、大专院校师生的参考书,也可作为环境工程专业本科生的选修课教材或研究生教材。

中国环境科学出版社出版发行
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
北京先锋印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

1999 年 6 月第 一 版 开本 850 × 1168 1/32
2000 年 9 月第二次印刷 印张 11½
印数 2001 - 5000 字数 309 千字

定价: 23.00 元

前 言

全球性水污染问题已对人类生存和社会经济发展构成越来越严重的威胁,防治水体的恶化、保护水资源,走可持续发展的道路已成为人类共同追求的目标。由于人口的快速增加、社会经济的不断发展,不仅对用水的需求量大大增加,而且污水的排放量亦与日俱增,从而使人类面临着更加紧迫的水量型和水质型水资源不足问题。废水生物处理作为水污染防治和走水资源可持续利用道路中的重要工程技术手段之一,对保护水环境和缓解水质型水资源短缺问题具有重要的作用。

活性污泥法是世界各国普遍采用的传统废水生物处理工艺,其在防治水体污染中已经并正在继续发挥其良好的作用。但由于废水排放量的急剧增加以及对废水处理要求的日益严格,传统工艺在处理的多功能性、高效稳定性和经济合理性方面已难以满足不断提高的要求。开发、研究和应用新型废水生物处理工艺和技术,已成为世界各国水污染控制工程领域研究的重要课题。

80年代以来,废水生物处理新工艺新技术的研究、开发和应用,已在全世界范围内得到了长足的进展,并出现了许多新型的废水生物处理技术。这些新工艺有的已在国内外实际工程中得到了良好的应用,有的已显示出其良好的应用发展前景、得到广大研究者和工程技术人员关注并正在得到不断深入的研究,它们的共同特点是高效、稳定、节能,并具有对污染物去除的多功能性,大多具有脱氮除磷等深度处理的良好效能,并正朝自动化控制的方向发展。

为适应水污染控制技术的研究和应用不断发展的需要,编著

者在总结分析大量国内外文献资料、研究报告和出国考察的基础上,结合实际工程和科研工作中所积累的经验,编写了本书。纳入本书的十种废水生物处理工艺技术均是近十多年来在水污染控制工程领域得到深入研究、在实际工程中得到推广应用并不断得到改进的新工艺新技术,包括 AB 处理生物技术、ABR 生物处理技术、SBR 生物处理技术、LINDE 生物处理技术、废水生物脱氮和除磷技术、人工湿地系统、污泥膨胀控制技术、氧化沟生物处理技术和 UASB 生物处理技术,以每种处理工艺技术为单元独立设章,从工艺的理论(原理、特点、设计、运行控制要求)及实际应用和今后的研究发展方向等各方面作了全面系统的介绍。

本书在内容组织方面作了如下考虑。本书名为“废水生物处理新技术——理论与应用”,故不仅应注重在理论上对不同处理工艺技术进行深入的介绍,而且还应在不同技术的实际应用和发展方面多花一定笔墨,尤其强调不同工艺的发展,突出“新”字。例如,在 AB 污水生物处理技术一章的介绍中,除对该工艺的基本理论作了较为系统的介绍外,还结合实际工程经验对该工艺在实际应用中应考虑的问题、局限性作了分析介绍,并介绍了 AB 工艺的改进型——ADMONT 工艺;在 SBR 污水生物处理技术一章的介绍中,笔者将在 SBR 工艺基础上发展起来的新型间歇运行工艺 ICEAS 和 CASS 工艺作了介绍,其中对 CASS 工艺的介绍占有相当的篇幅;ABR 工艺和 LINDE 工艺则是本书在国内首次介绍的新技术,对它们的工艺原理和应用研究作了较多的介绍,有利于国内对它们进行深入的研究;在实际应用中,废水生物除磷和生物脱氮技术往往是同时考虑的问题,且不少工艺同时具有脱氮除磷的功能,故此两部分的内容在较多专著中是合二为一进行介绍的,为便于深入和有重点地分析介绍且限于各章的篇幅,本书将除磷和脱氮技术单独立章。此外,为力求反映国内外废水生物处理技术的新进展,本书以 90 年代,尤其是 90 年代中期以来的文献作为主要参考资料,部分是国外专家或公司提供的研究资料。

在本书的编著过程中,得到苏州城建环保学院杨铨大教授、

黄勇教授的支持帮助；哈尔滨建筑大学王琳副教授、苏州城建环保学院王承武讲师、曹晓莹工程师为本书部分章节的内容整理付出了劳动；在本书的编辑出版过程中，中国环境科学出版社责任编辑沈健同志给予了极大的支持和帮助；本书的出版得到江苏省“青蓝工程”跨世纪学术带头人科研基金和苏州城建环保学院科研基金的共同资助，在此一并表示衷心的感谢。

限于编著者水平，书中疏漏和不足之处在所难免，欢迎读者不吝指正。

编著者

1999年5月

目 录

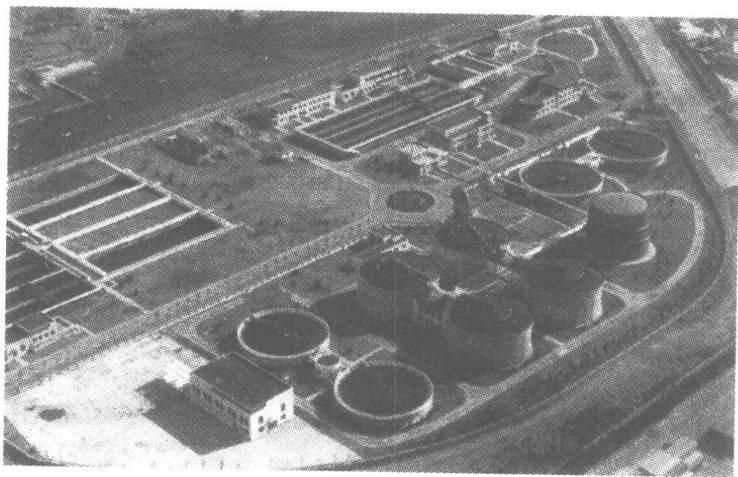
第一章 AB 污水生物处理技术	(1)
一、概述	(3)
二、AB 法的工艺流程和基本原理	(4)
三、AB 工艺的性能特点	(12)
四、AB 工艺的设计	(22)
五、AB 工艺的应用	(30)
六、结语	(42)
主要参考文献	(42)
第二章 ABR 污水生物处理技术	(45)
一、概述	(47)
二、ABR 工艺的原理及主要性能	(48)
三、ABR 工艺的应用研究	(61)
四、结语	(74)
主要参考文献	(75)
第三章 SBR 污水生物处理技术	(77)
一、概述	(79)
二、SBR 的工艺流程、操作过程及运行方式	(80)
三、SBR 工艺的主要性能特点	(90)
四、SBR 处理系统的工艺设计	(99)
五、SBR 工艺的运行控制要点	(105)
六、SBR 工艺的研究和发展	(109)

七、结语	(123)
主要参考文献	(123)
第四章 LINDE 污水生物处理技术	(125)
一、概述	(127)
二、LINPOR 工艺的原理及其应用	(128)
三、LARAN 工艺的原理及其应用	(143)
四、METEX 工艺的原理及其应用	(146)
五、LINDOX 工艺的原理及其应用	(150)
六、结语	(151)
主要参考文献	(153)
第五章 废水生物除磷技术	(155)
一、概述	(157)
二、废水生物除磷的机理	(158)
三、废水生物除磷工艺	(164)
四、废水生物除磷工艺的运行控制要点	(176)
五、废水生物除磷工艺的设计要点	(182)
六、废水生物除磷工艺的研究和应用实例	(185)
七、结语	(189)
主要参考文献	(190)
第六章 废水生物脱氮技术	(193)
一、概述	(195)
二、废水生物脱氮的机理	(196)
三、废水生物脱氮工艺	(202)
四、废水生物脱氮工艺的运行控制要点	(214)
五、废水生物脱氮工艺的设计要点	(222)
六、废水生物脱氮工艺的研究和应用实例	(224)
七、结语	(225)

主要参考文献	(226)
第七章 污泥膨胀控制新技术	(229)
一、概述	(231)
二、污泥丝状菌膨胀的成因及相关理论	(233)
三、与污泥膨胀有关的丝状菌	(239)
四、污泥丝状菌膨胀的控制途径	(244)
五、补充痕量金属法控制污泥膨胀	(247)
六、选择器法控制污泥膨胀	(254)
七、结语	(260)
主要参考文献	(260)
第八章 人工湿地污水处理技术	(263)
一、概述	(265)
二、人工湿地的基本构造与类型	(267)
三、人工湿地的工艺流程	(270)
四、人工湿地的净化机理	(271)
五、人工湿地系统的工艺设计	(280)
六、人工湿地系统运行及经济分析	(289)
七、结语	(291)
主要参考文献	(291)
第九章 氧化沟污水生物处理技术	(293)
一、概述	(295)
二、氧化沟(OD)工艺的特征	(296)
三、氧化沟的构造及类型	(298)
四、氧化沟系统中的曝气设备	(307)
五、氧化沟处理工艺的特点	(313)
六、氧化沟的水力计算、设计及运行要点	(318)
七、氧化沟工艺的研究及应用	(324)

八、结语	(329)
主要参考文献.....	(330)
第十章 UASB 污水生物处理技术	(331)
一、概述	(333)
二、UASB 反应器的基本构造和工作原理	(335)
三、UASB 反应器的工艺设计	(341)
四、UASB 反应器的运行及控制要点	(348)
五、UASB 反应器的应用	(356)
六、结语	(357)
主要参考文献.....	(357)

第一章 AB 污水生物处理技术



青岛海泊河污水处理厂(AB 工艺)

一、概述

AB 工艺是吸附—生物降解 (Adsorption—Biodegradation) 工艺的简称。这项污水生物处理技术是由德国亚琛 (Aachen) 工业大学卫生工程学院的 Botho Bohnke 教授为解决传统的二级生物处理系统, 即预处理→初沉池→曝气池→二沉池存在的去除难降解有机物和除氮脱磷效率低及投资运行费用高等问题, 在对两段活性污泥法 (Z-A 法) 和高负荷活性污泥法进行大量研究的基础上, 于 70 年代中期所开发、80 年代初开始应用于工程实践的一项新型污水生物处理工艺。前联邦德国国家专利局的废水处理专家称 AB 法为目前在废水生物处理系统方面所取得的重大进展。为此, B. Bohnke 教授于 1984 年获得“马克斯—普吕斯奖章”, 这是原西德政府对有特殊贡献的废水处理专家的最高奖励。

目前, 国外对 AB 法处理工艺的研究越来越受到重视, 并使之成为 80 年代初以来发展最快的城市污水处理工艺。德国、荷兰、奥地利、美国、瑞士、法国、前苏联、日本、丹麦、捷克、希腊、南斯拉夫及我国等都相继开展了有关的研究并将其应用于工程实际。据 1992 年统计, 欧洲已有 50 余座城市污水处理厂采用此工艺, 并有 44 座以上的 AB 法污水处理厂在设计或施工之中, 处理污水总量超过 8 038 100 人口当量 (按 1 人口当量 $BOD_5 60g/d$ 计), 其中最大的污水厂处理规模为 160 万人口当量, 拟建于南斯拉夫。

AB 法工艺在我国的研究和应用经历了以下三个阶段: ①对 AB 工艺的特性、运行机理及处理过程的稳定性等进行详尽的报道和研究。②较多单位对 AB 法处理城市污水、工业废水进行一定规模的 (小试) 研究。中国市政工程华北设计院、同济大学、清华大

学、武汉工业大学、苏州城建环保学院以及东南大学等单位对城市污水、垃圾渗滤液、印染废水、炼油厂含碱废水、饮料废水及屠宰废水等进行了研究。③国内部分城市污水处理厂(如山东省青岛市海泊河污水处理厂、泰安污水处理厂等)在引进德国 AB 工艺技术的基础上,已建成一定处理规模的 AB 法污水处理厂,标志该技术已在我国进入实际应用阶段。

国内外的试验研究及实际工程应用表明,AB 法与传统的活性污泥法相比,在处理效率、运行稳定性、工程投资和运行费用等方面均具有明显的优点,是一种非常有前途的污水生物处理技术。

二、AB 法的工艺流程和基本原理

1. 工艺流程

AB 法为两段活性污泥法,即分为 A 段和 B 段;A 段为吸附段,B 段为生物氧化段。其处理工艺和工程特点如下:

- * A 段曝气池具有很高的有机负荷, $F/M > 2\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,在缺氧(兼性)环境下工作;

- * B 段曝气池在低负荷率下工作: $F/M < 0.15\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;

- * A 段之前一般无初沉池,以便利用污水中存在的微生物和有机物;

- * 两段的活性污泥各自回流;

- * 其运行的稳定性优于单段活性污泥法;

- * B 段由于发生硝化和部分反硝化,活性污泥的沉淀效能好,出水 SS 和 BOD_5 一般小于 10mg/L ;

* 基建投资节省 15% ~ 20%，节省能耗约 15%；生物产气量增加 25%；

* A 段曝气池可与曝气沉砂池合建；

* AB 法比普通活性污泥法具有更强的承受 pH、COD、BOD₅ 及有毒物质的冲击负荷的能力，主要是因为在 A 段中微生物群落在特高负荷下各自受到驯化并适应在高峰负荷下生存。图 1-1 是 AB 法工艺的基本流程示意图。

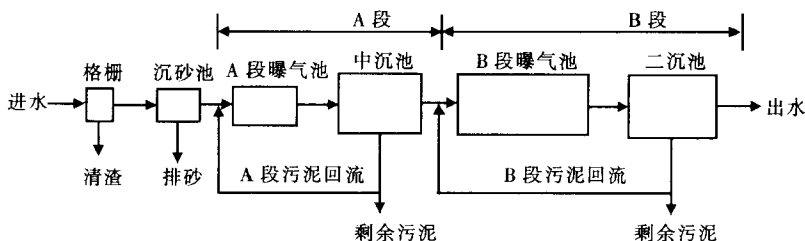


图 1-1 AB 法的工艺流程

由图可知, AB 工艺中的主要处理构筑物有 A 段曝气池、中间沉淀池、B 段曝气池和二次沉淀池等。AB 法工艺, 通常不设初次沉淀池。处理过程中, A 段在很高的负荷下运行, 其负荷率为普通活性污泥法的 50 ~ 100 倍, 污水的停留时间 (HRT) 通常只有 30 ~ 40 min, 污泥龄 (θ_c) 仅为 0.3 ~ 0.5 d。在这种情况下, 较高级的真核微生物无法生存, 只有某些短世代的原核细菌才能适应生存并得以生长繁殖。这些微生物的世代期短、繁殖快, 每繁殖一代的时间平均为 20 min 左右, 相当于每天繁殖 72 代。A 段通常在缺氧环境中运行。实践表明, A 段对于水质、水量、pH 值和有毒物等的冲击负荷有巨大的缓冲作用, 能为其后面的 B 段创造一个良好的进水条件。A 段产生的污泥量较大, 约占整个处理系统污泥产量的 80% 左右, 这在一定程度上给污泥的处理和处置带来一定的困难。但由于 A 段剩余污泥中的有机物含量较高, 因而如采用厌氧法对污泥进行消化处理, 则可比常规活性污泥法污泥消化的沼气产量多 25%, 可产生明显的经济效益。AB 工艺中的 B 段属传统活

性污泥法，一般在很低的负荷下运行。其负荷范围一般为 $<0.15\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ，水力停留时间 (HRT) 为 $2 \sim 4\text{h}$ ，泥龄较长，一般为 $15 \sim 20\text{d}$ 。曝气池中的溶解氧 (DO) 含量一般为 $2 \sim 3\text{mg/L}$ 。在 B 段曝气池中生长的微生物除菌胶团微生物外，有相当数量的高级真核类生物，如原生动物和后生动物等。其中原生动物的数量比相同负荷下的一段活性污泥法多得多。这些微生物的世代期比较长，并适宜在有机物含量比较低的情况下生存和繁殖。根据生物学的观点，高级生物的内源呼吸作用要比低级生物强。试验证明，当 AB 法的 B 段和传统一段活性污泥法的负荷相同时，其剩余污泥量只有后者的 $1/4 \sim 1/3$ ，即在污泥浓度相同时，B 段污泥的泥龄比一段活性污泥法长。

2. 基本原理

由上所述可知，AB 法的诞生被认为是污水生物处理技术的重大突破。AB 法运行的基本原理是建立在科学的理论和大量的试验研究及实际应用的基础之上的。AB 工艺的三大最明显的特征是：①不设初次沉淀池；② A 段和 B 段的污泥回流系统单独分开，互不相混；③ A 段和 B 段分别在负荷相差悬殊的情况下运行。AB 工艺的这些特征是建立在以下理论基础之上的。

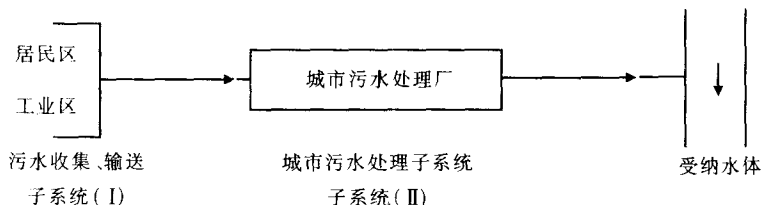


图 1-2 城市污水系统

(1) 开放系统原理

我们知道，污水的收集、输送系统和污水处理系统是城市污水系统的两个子系统（如图 1-2 所示）。城市污水一般包括生活

污水和工业废水两部分。根据水质分析,城市污水中除含有非生命的物质外,还含有许多具有生命力的微生物,这些微生物来自人和动物(如饲养场、屠宰厂等)的排泄物和一些发酵工业排出的废液。人类连续排泄的细菌约有 5% ~ 10% 能在好氧或兼氧的条件下存活和增殖,从而在原污水中会不断诱导出活性很强的微生物群落。测定表明,城市污水中存在着大量的微生物,污水流经的沟渠和管道中也存在着大量的微生物。一般污水排放点到污水处理厂的连接管道(或沟渠)长达几公里至几十公里,这实际上是一个中间反应器,在此中间反应器中即进行着有机物的分解及微生物的适应、选择和生长繁殖过程。在污水输送过程中形成的适应性强的微生物大多附着在污水中的固体物质上,而目前大多数的传统法污水处理工艺都忽视了这一点。在原生污水中存在的微生物群落基本上与很高负荷活性污泥法阶段的相同。泰安污水处理厂试验中观察到的现象表明,原污水中存在大量已适应原污水的微生物,这些微生物具有自发絮凝性。当它们进入 A 段曝气池后,在 A 段原有菌胶团的诱导促进下很快絮凝在一起,絮凝物的结构与菌胶团类似,絮凝的同时絮凝物与原有的菌胶团结合在一起而成为 A 段中污泥的组成部分,并具有较强的吸附能力和极好的沉降性能。被絮凝的微生物量与 A 段的污泥浓度有关。在传统的活性污泥法中,由于设置了初次沉淀池,使得存在于城市污水的收集、输送子系统中的这部分活性很强的微生物还未能能在污水处理系统中发挥其应有的作用时就被去除了。在 AB 工艺中不设初沉池,使系统 I 中的微生物进入系统 II 的 A 段,因而 A 段中的生物相组成与原污水的生物相组成基本相同,从而使污水中的微生物在 A 段中得到充分的利用,并连续不断地更新,使 A 级形成一个开放性的、不断由原污水中生物补充的生物动态系统。如果 A 级中的微生物量以 100% 计,经测定表明,恒定的由污水管道(或沟渠)系统进入 A 段的微生物量可达到全部微生物量的 15% 以上。由此可知,AB 法污水处理工艺实际上是一个由城市污水收集、管道系统和污水处理系统组成的一个开放性系统。这个系统中 A 段中的