

现代实践环境生物工程技术丛书

SWGC

生物带废水处理工程技术

SHENGWUDAI FEISHUI CHULI GONGCHENG JISHU

主 编：刘红丽 徐承睿 刘鲁建
主 审：干 信



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

现代实践环境生物工程技术丛书

生物带废水处理工程技术

主编：刘红丽 徐承睿 刘鲁建

主审：干 信

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本书在顾及水污染控制技术传统内容的同时,更多地介绍和归纳了新的废水处理技术方法和思维策略,围绕废水的好氧生物处理技术、废水的厌氧生物处理技术、废水的物理处理技术、废水的化学处理技术等几个方面进行了系统的阐述。

本书内容层次分明,深入浅出,注重废水处理工程技术的理论知识和实践应用结合,可作为环境与生命科学等相关学科的应用型教材,亦可供相关行业工程技术人员参考。

新出图证(鄂)字10号

图书在版编目(CIP)数据

生物带废水处理工程技术/刘红丽,徐承睿,刘鲁建 主编.

—武汉:华中师范大学出版社,2009.12

(现代实践环境生物工程技术丛书)

ISBN 978-7-5622-4108-9

I. 生… II. ①刘… ②徐… ③刘… III. 废水处理:生物处理—高等学校—教材
IV. X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 212865 号

生物带废水处理工程技术

主 编:刘红丽 徐承睿 刘鲁建©

选题策划:华中师范大学出版社第二编辑室

电话:027-67867362

出版发行:华中师范大学出版社

社 址:湖北省武汉市珞喻路 152 号 邮编:430079

销售电话:027-67863426 67863040 67867076 67867371 67861549

邮购电话:027-67861321 传真:027-67863291

网址: <http://www.ccnpublish.com> 电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

责任编辑:张晶晶

责任校对:李 彤

封面设计:罗明波

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

督 印:章光琼

开本/规格:787mm×1092mm 1/16 印 张:7.5

字 数:190 千字

版次/印次:2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—2000

定 价:15.00 元

欢迎上网查询、购书

敬告读者:欢迎举报盗版,请打举报电话 027-67861321。

中南民族大学工商学院

《现代实践环境生物工程技术丛书》编委会

- 编委会主任** 干 信 (环境与生命科学系主任、教授、博士生导师)
- 编委会成员** 李德华 (环境与生命科学系环境教研室主任、副教授)
- 吴士筠 (环境与生命科学系实验教学中心主任、高级实验师)
- 刘鲁建 (环境与生命科学系环境教研室副主任、讲师、硕士)
- 陈 娟 (环境与生命科学系环境教研室副主任、讲师、硕士)
- 肖慧萍 (环境与生命科学系环境教研室 副教授、博士)
- 刘红丽 (环境与生命科学系环境教研室 讲师、硕士)
- 刘良栋 (环境与生命科学系环境教研室 讲师、硕士)
- 徐承睿 (环境与生命科学系环境教研室 讲师、硕士)
- 董 俊 (环境与生命科学系实验教学中心 讲师、硕士)
- 李红丽 (环境与生命科学系生物教研室副主任、讲师、硕士)
- 朱晨刚 (环境与生命科学系生物教研室 副教授、博士)
- 周 焱 (环境与生命科学系生物教研室 讲师、硕士)
- 林 佳 (环境与生命科学系生物教研室 讲师、硕士)
- 刘彦昌 (环境与生命科学系生物教研室 讲师、硕士)
- 龚乃超 (环境与生命科学系生物教研室 讲师、硕士)
- 刘爱华 (环境与生命科学系实验教学中心 讲师、硕士)
- 张 凡 (环境与生命科学系实验教学中心 讲师、硕士)

序

环境工程和生物工程是 21 世纪科学技术发展的前沿学科。实践环境生物工程技术作为其中的主要分支，是环境工程和生物工程发展的主要基础与实践先导。特别是在应对 21 世纪人类面临的人口健康、资源紧缺、环境污染等严峻挑战方面，实践环境生物工程技术具有无可替代的重要作用。

随着国家对资源、环境、生态等问题的日益重视，可持续发展战略已被提高到与科教兴国战略并列的重要位置。实践环境生物工程技术工作者对此责无旁贷，有必要在难开采矿产资源（二次采油的低产油井、低品位金属矿石和尾矿、海水中的重金属等）开发、环境污染（废水、废气和废渣等）治理、清洁生产工艺（全封闭、无排放、低能耗工艺等）研究、环境友好产品（生物可降解塑料、生物农药、生物肥料、氢能源等）研制、工农业废弃物生物转化为新资源（生物燃料、饲料及化工产品等）等领域，开展关系国计民生长远发展的战略性研究，同时培养和造就一大批优秀的实践环境生物工程技术人才，为将来实现可持续发展作出应有的贡献。

本套丛书包括工程技术（《生物制药工程技术》、《酶工程技术》、《固废处理工程技术》、《生物带废水处理工程技术》）和工程设计（《微生物发酵工程设计》、《生物工程下游技术设计》、《生物化学工程设计》、《固废处理控制工程设计》、《废水处理控制工程设计》、《废气和噪声控制工程设计》）共 10 个分册，均由工作在实践环境生物工程技术示范教学第一线的研究者撰写。丛书概括了上述学科的发展背景，从研究前沿与实践方案相结合的角度，侧重介绍最新的研究进展和可操作的应用技术、设计，内容力求深入浅出、通俗易懂，可作为环境与生物工程、化学化工、农业及环境资源等学科的应用型教材，亦可供相关行业工程技术人员参考。

期望本丛书的出版能为推动我国实践环境生物工程技术教育和研究开发作出微薄的贡献。

千 信

2009 年 8 月

前 言

水污染控制技术研究的目标是拓展、创新和实践废水处理中各种特殊的手段方法，并最终发展成为商业化的产品或技术工艺。尽管废水处理技术对几乎所有的环境部门都有渗透，但仍主要表现为对废水处理工艺进步的巨大推动。

水污染控制技术，从概念上讲，是以寻找和应用开发水资源和水体净化为目的的技术，传统的水污染控制技术以化学方法和物理方法为基础，如化学氧化法、中和法、混凝法等，这些知识依然是水污染控制技术的重要内容。但在过去，生物水处理、人工湿地等技术应用在水污染控制技术的各方面，使得废水处理技术的研发具有快捷、便利、经济等新特点。因此，本书在顾及水污染控制技术传统内容的同时，更多地介绍和归纳了新的技术方法和思维策略，以此为读者提供更多的实践技能参考和思路。

在本书的内容安排上，我们首先对废水处理的基础作了介绍，再围绕水污染控制技术的几个方面进行了实践系统的阐述，包括水污染控制技术的阶段课题项目试车、启动、水质监测、工艺选择、工艺调试及关键技术，这也是水污染控制技术中进展最多和形成学科交叉最多的方面，其核心素质表现在综合应用水污染控制专业知识及实践技能。

本书的编写是在中南民族大学工商学院环境与生命科学系开设的《水污染控制工程技术》课程的基础上完成的。该课程的发展经历了从《环境工程实验》到《废水处理新技术》两个学期探索课的变迁，反映了学科发展的特色方向。课程探索教学时间较长，全书的编写则是今年内完成的。

全书由中南民族大学工商学院环境与生命科学系环境教研室刘红丽、徐承睿、刘鲁建编著，其中刘红丽编写第一、第五章，徐承睿编写第三、第四章，刘鲁建编写第二章。同时感谢干信教授在百忙之中抽出宝贵时间认真审校了全书，并提出了一些很有价值的修改意见。

编写中的不妥之处，敬请读者与专家指正和讨论。

刘红丽 徐承睿 刘鲁建

2009年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水资源污染概况	1
1.2 废水处理技术概况	2
1.2.1 生物法	3
1.2.2 物理法	8
1.2.3 化学法	8
参考文献	9
第 2 章 废水的好氧生物处理技术	10
2.1 简介	10
2.1.1 活性污泥法	10
2.1.2 生物膜法	12
2.2 BSBP 工艺	13
2.2.1 简介	13
2.2.2 BSBP 工艺处理生活污水的阶段研究	13
2.2.3 BSBP 工艺处理生活污水的关键技术	14
2.2.4 BSBP 工艺处理生活污水的过程控制	16
2.3 吸附—生物氧化 (AB) 工艺	17
2.3.1 简介	17
2.3.2 AB 工艺的阶段研究	20
2.3.3 AB 工艺的关键技术	21
2.3.4 AB 工艺的过程控制	23
2.4 SBR 工艺	24
2.4.1 简介	24
2.4.2 SBR 工艺的阶段研究	28
2.4.3 SBR 工艺的关键技术	29
2.4.4 SBR 工艺的过程控制	30
2.5 曝气生物滤池 (BAF) 工艺	31
2.5.1 简介	31
2.5.2 BAF 工艺的阶段研究	34
2.5.3 BAF 工艺的关键技术	35
2.5.4 BAF 工艺的过程控制	37
参考文献	38

第3章 废水的厌氧生物处理技术	40
3.1 简介	40
3.1.1 厌氧生物处理工艺的条件	40
3.1.2 厌氧生物处理工艺的发展	41
3.1.3 主要的厌氧生物处理工艺	41
3.2 厌氧生物带 (ABSBR) 工艺	43
3.2.1 简介	43
3.2.2 ABSBR 工艺的阶段研究	45
3.2.3 ABSBR 工艺的关键技术	46
3.2.4 ABSBR 工艺的过程控制	48
3.3 升流式厌氧污泥床 (UASB) 工艺	48
3.3.1 简介	48
3.3.2 UASB 废水处理技术的阶段研究	49
3.3.3 UASB 工艺处理淀粉废水的关键技术	51
3.3.4 UASB 工艺处理淀粉废水的过程控制	53
3.4 厌氧折流板反应器 (ABR) 工艺	54
3.4.1 简介	54
3.4.2 ABR 工艺的阶段研究	56
3.4.3 ABR 工艺的关键技术	58
3.4.4 ABR 工艺的过程控制	60
参考文献	61
第4章 废水的物理处理技术	63
4.1 简介	63
4.1.1 废水物理处理常用方法	63
4.1.2 利用重力效果的废水物理处理	63
4.1.3 废水物理处理中的问题	64
4.1.4 废水物理处理的意义	65
4.2 沉淀法废水处理技术	66
4.2.1 简介	66
4.2.2 沉淀法处理的阶段研究	72
4.2.3 沉淀法处理的关键技术	74
4.2.4 沉淀法处理的过程控制	75
4.3 气浮法废水处理技术	76
4.3.1 简介	76
4.3.2 气浮法处理的阶段研究	81
4.3.3 气浮法处理的关键技术	82
4.3.4 气浮法处理的过程控制	83
参考文献	83

第 5 章 废水的化学处理技术	85
5.1 简介	85
5.2 化学沉淀法处理高氨氮废水技术	87
5.2.1 简介	87
5.2.2 化学沉淀法处理高氨氮废水的阶段研究	89
5.2.3 化学沉淀法处理高氨氮废水的关键技术	90
5.2.4 化学沉淀法处理高氨氮废水的过程控制	92
5.3 化学混凝法处理城市污水技术	92
5.3.1 简介	92
5.3.2 化学混凝法处理城市污水的阶段研究	95
5.3.3 化学混凝法处理城市污水的关键技术	96
5.3.4 化学混凝法处理城市污水的过程控制	97
5.4 活性炭吸附法处理含铬废水技术	98
5.4.1 简介	98
5.4.2 活性炭吸附法处理含铬废水的阶段研究	99
5.4.3 活性炭吸附法处理含铬废水的关键技术	100
5.4.4 活性炭吸附法处理含铬废水的过程控制	102
5.5 光催化法处理染料废水技术	103
5.5.1 简介	103
5.5.2 光催化法处理染料废水的阶段研究	105
5.5.3 光催化法处理染料废水的关键技术	106
5.5.4 光催化法处理染料废水的过程控制	108
参考文献	109

第1章 绪 论

1.1 水资源污染概况

水是生命之源，是支撑地球社会系统发展不可替代的自然资源，是人类社会实现可持续发展的物质基础。水资源是指可直接被人类利用、能不断更新的天然淡水。进入 21 世纪以后，人口的剧增，经济的迅速发展，使水资源的需求量大幅度增加，从而导致水资源的短缺越来越成为各国最为突出的重大问题之一。

全球水的总储量为 13.86×10^9 亿立方米，然而淡水资源仅占全球水资源的 2.53%，而且 87% 的淡水资源储存形式为人类难以利用的两极冰盖、高山冰川和永冻地带的冰雪。我国全部水资源总量为 2.8 万亿立方米，位居世界第 6 位，但是由于人口众多，人均占有量约为 2500m^3 ，仅为世界人均占有量的 $1/4$ ，耕地面积占有水量仅为世界平均水平的 80%。同时由于我国地域辽阔，地形复杂，造成了我国水资源在时空分布上极不均匀。占国土面积 47% 的西北干旱和半干旱地区，水资源量只有全国的 7%，而占国土面积 53% 的东南部，其水资源量占全国的 93%。而且西北干旱和半干旱地区水资源时程变幅大，冬春少雨，夏秋多雨，造成了降水量和径流量年际年内变化很大，更给这些地区水资源的利用带来了困难。干旱缺水是我国尤其是我国北方地区经济和社会协调发展的重要制约因素。2000 年，全国总缺水量达 778 亿立方米，全国的 660 座城市中，有 400 多座缺水，其中严重缺水的有 110 座，几百万人生活用水紧张。近些年来发生的部分河湖干涸以及沙尘暴和扬沙天气，都是我国许多地区水资源严重短缺的具体表现，更让全国人民切身体会到了水资源对自身生存的宝贵。

在水资源极度缺乏的同时，我国更是存在着水资源分配和使用不合理、水资源浪费和水资源污染严重等问题。对水资源的开发利用及管理不善、掠夺开采、粗放使用和任意排放，破坏了我国的水资源环境，加剧了水资源短缺的程度。目前，全国主要江河湖库均受到了不同程度的污染，全国 $2/3$ 以上河段污染严重。根据 2000 年的调查结果，全国十大流域 2203 个监测断面中有 43.1% 水质超标，其中尤其以北方地区的辽河、黄河、淮河和海河的超标最为严重，分别为 65.5%、63.9%、57.2% 和 56.3%，而水资源相对丰富的松花江、珠江、长江超标率相对较低，分别为 24.8%、26% 和 35.6%。其中水环境的有机污染是一个全球性的问题，其严重程度、性质和危害是随着工业的发展而不断发展和变化的。20 世纪特别是 50 年代以来，化学工业的发展使人工合成的有机物种类与数量与日俱增。据资料介绍，1880 年，人们知道的有机物有 1.2 万种，1910 年增加至 15 万种，1940 年达 40 万种，1978 年剧增至 500 万种，目前已知的有机物种类约为 700 多万种，并仍以每年数以千计的速度在上升。全球合成有机物总量已达 2.5 亿吨。这些有机物已经并正在通过各种途径进入环境，现已发现的就有数十万种，对人类生活环境造成种种影响。

由于很多合成有机物不易被微生物降解，容易在环境中积累，其中有些还具有对生物和人类的毒害作用，如致畸、致癌、致突变作用，已构成对人类健康的严重威胁。据报道，我国某河流曾检测出有毒有机物 26 种。有的地区因有机废水污染，造成鱼虾绝迹、土地荒芜、人们健康受损的现象。废水中的有机物始终是造成水污染的最重要的污染物，它是水质变坏、发

黑、发臭的主要罪魁祸首。废水中的有机物的来源，主要为工业废水和城市污水。1999 年全国废水排放总量为 401.1 亿吨，其中，工业废水排放量为 197.3 亿吨，生活污水排放量为 203.8 亿吨；废水中 COD 排放总量为 1 388.9 万吨，其中工业废水中 COD 排放量为 691.7 万吨，生活污水中 COD 排放量为 697.2 万吨。上述数据尚不包括乡镇工业排污和未统计在内的城镇生活污水的排放。水资源短缺和水环境污染已经成为制约我国经济和社会发展的的重要因素。

有机废水主要来源是工业生产排出的废水。有机废水的危害性可归纳为以下几个方面：

(1) 需氧性污染危害。工业废水、生活污水含有的碳水化合物、蛋白质、脂肪等有机物，可在微生物作用下最后被分解成简单的无机物、二氧化碳和水，同时，在分解过程中要消耗大量的水中溶解氧。当水中溶解氧耗尽时，有机物在厌氧菌作用下分解，放出甲烷、硫化氢、氨等，致使多数水生生物死亡，并产生恶臭，恶化水质与环境。需氧性污染是有机物普遍存在的污染危害，反映有机污染物数量多少的综合性指标有生化需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD)、总有机碳 (TOC)、总需氧量 (TOD)。上述数值越高，水中需氧有机物越多，水质就越差，水体污染越严重。(2) 酸、碱危害。工业废水成分复杂，酸、碱、盐类众多，如化工厂、造纸厂、味精厂等都排出大量酸、碱、盐类污染废水。因酸、碱、盐类废水腐蚀性强，一旦排入水体后可改变其 pH，恶化水体生态环境，干扰水体自净能力，对渔业和水生生物生长不利。这些污染物包括众多的有机酸和有机碱等。(3) 感观性污染危害。工业废水造成感观性污染极其严重，一个小型的造纸厂，可使一条河流水质变黑、发臭；通过水体的颜色、味道、臭味、透明度或浑浊度等感观指标，可判断水体受污染的严重程度。(4) 致毒性污染危害。工业废水中含有大量有毒有机物，特别是人工合成的有机物，这些有机物常不易被微生物所降解，必然不易被生物处理工艺所去除，排放到水体等自然环境中也不易通过天然的生物自净作用而降解。因此，它们在水体、土壤等自然环境中不断累积、储存，然后通过食物链作用进入生物体并逐渐富积，最后进入人体，危害人体健康。由于高浓度废水引发的一系列水体污染、生态环境恶化、威胁人体健康以及阻碍相关工业发展等问题，目前在世界各国特别是包括中国在内的发展中国家尤为严重。在我国，污染较严重的水系为水资源量小的辽河、黄河、淮河和海河流域片，而且超标断面中 75.5% 为劣 V 类水体断面，可见我国尤其是北方地区水资源污染问题相当严重，治理水资源污染刻不容缓。

1.2 废水处理技术概况

城市污水处理一般流程如图 1-1 所示。

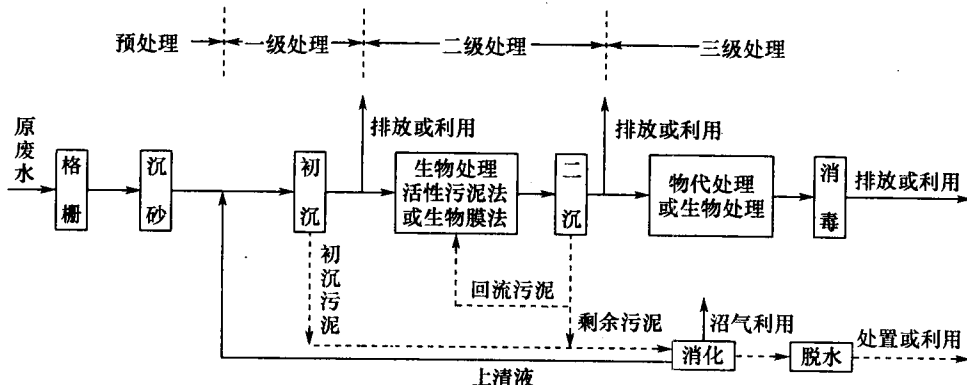


图 1-1 城市污水处理一般流程

废水处理工艺从总体上可以分成生物法、物理法和化学法。

1.2.1 生物法

生物法是利用微生物的新陈代谢作用降解转化有机物的方法。随着化学工业的发展,污染物成分日渐复杂,废水中含有大量的有机污染物,如仅采用物理或化学的方法很难达到治理的要求。利用微生物的新陈代谢作用,可对废水中的有机污染物进行转化与稳定,使其无害化。生化处理方法主要分为好氧处理和厌氧处理两大类型。

废水的好氧处理方法主要分为活性污泥法和生物膜法。活性污泥法是利用悬浮生长的微生物絮体处理废水的方法,这种微生物絮体称为活性污泥,它由好氧微生物及其代谢和吸附的有机物、无机物组成,具有降解废水中有机污染物的能力。生物膜法是将废水同生物膜接触,利用生物膜吸附和氧化废水中的有机物。

废水的厌氧生物处理是指在无分子氧的条件下通过厌氧微生物(或兼氧微生物)的作用,将废水中的有机物分解转化为甲烷和二氧化碳的过程,所以又称厌氧消化。厌氧生物处理实际上是一个复杂的生物化学过程。研究表明,厌氧过程主要依靠三大主要类群的细菌,即水解产酸细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌的联合作用完成。生物体系中发生这些反应有赖于生物体系中的酶来加速。酶按其催化反应分为:① 氧化还原酶:在细胞内催化有机物的氧化还原反应,促进电子转移,使其与氧化合或脱氢,可分为氧化酶和还原酶。氧化酶可活化分子氧,作为受氢体而形成水或过氧化氢。还原酶包括各种脱氢酶,可活化基质上的氢,并由辅酶将氢传给被还原的物质,使基质氧化,受氢体还原。② 水解酶:对有机物的加水分解反应起催化作用。水解反应是在细胞外产生的最基本的反应,能将复杂的高分子有机物分解为小分子,使之易于透过细胞壁。如将蛋白质分解为氨基酸,将脂肪分解为脂肪酸和甘油,将复杂的多糖分解为单糖等。③ 具有脱氨基、脱羧基、磷酸化和脱磷酸等功能的酶。许多酶只有在一些称为辅酶和活化剂的特殊物质存在时才能进行催化反应,钾、钙、镁、锌、钴、锰、氯化物、磷酸盐离子在许多种酶的催化反应中是不可缺少的辅酶或活化剂。

1.2.1.1 活性污泥法

活性污泥法是以活性污泥为主体的废水生物处理的主要方法。活性污泥是向废水中连续通入空气,经一定时间后因好氧微生物繁殖而形成的污泥状絮凝物。其上栖息着以菌胶团为主的微生物群,具有很强的吸附与氧化有机物的能力。

典型的活性污泥工艺由曝气池、沉淀池、污泥回流系统和剩余污泥排除系统组成。活性污泥法的一般工艺流程如图 1-2 所示。

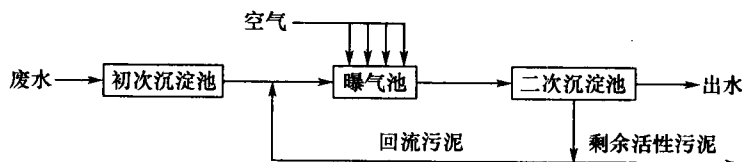


图 1-2 活性污泥法的一般工艺流程

迄今为止,在活性污泥法工程领域,应用着多种各具特色的运行方式。主要有以下几种:① 传统推流式活性污泥法;② 完全混合活性污泥法;③ 阶段曝气活性污泥法;④ 吸附-再生活性污泥法;⑤ 延时曝气活性污泥法;⑥ 高负荷活性污泥法;⑦ 纯氧曝气活性污

泥法；⑧ 浅层低压曝气活性污泥法；⑨ 深水曝气活性污泥法；⑩ 深井曝气活性污泥法。

1.2.1.2 生物膜法

生物膜法又称固定膜法，是与活性污泥法并列的一类废水好氧生物处理技术，是土壤自净过程的人工化和强化。与活性污泥法一样，生物膜法主要去除废水中溶解性的和胶体状的有机污染物，同时对废水中的氨氮还具有一定的硝化能力。

主要的生物膜法有：① 生物滤池：其中又可分为普通生物滤池、高负荷生物滤池、塔式生物滤池等；② 生物转盘；③ 生物接触氧化法；④ 好氧生物流化床等。

生物膜法主要有以下特点：

(1) 微生物主要固着于填料的表面，微生物量比活性污泥法高得多，因此对废水水质和水量的变化引起的冲击负荷适应能力较强。即使短时间中断进水或工艺遭到破坏，反应器的性能也不会受到致命的影响，恢复起来较快，因此适用于处理高浓度、难降解的工业废水。另外，生物膜反应器还可以处理 BOD_5 （五日生化需氧量）低于 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 60\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的进水，使出水 BOD_5 降低到 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \sim 10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，这是活性污泥法无法做到的。

(2) 单位容积反应器内的微生物量可以高达活性污泥法的 5~20 倍，因此处理能力大，一般不建污泥回流系统；生物膜含水率比活性污泥低，不会出现活性污泥法经常发生的污泥膨胀现象，能保证出水悬浮物含量较低，因此运行管理也比较方便。

(3) 生物膜中存在较高营养水平的原生动物和后生动物，食物链较长，特别是生物膜较厚时，膜里侧深部厌氧菌能降解好氧过程中合成的污泥，因此剩余污泥产量低，一般比活性污泥处理系统少 1/4 左右，可减少污泥处理与处置的费用。

(4) 由于微生物固着于填料的表面，生物固体停留时间（SRT）与水力停留时间（HRT）无关，为增殖速度较慢的微生物提供了生长繁殖的可能。因此，生物膜法中的生物相更为丰富，且沿水流方向膜中微生物种群分布具有一定规律性。生物膜反应器适合世代时间长的硝化细菌生长，而且其中固着生长的微生物使硝化菌和反硝化菌各有其适合生长的环境，因而生物膜反应器内部也会同时存在硝化和反硝化过程。如果将已经实现硝化的废水回流到低速转动的生物转盘和鼓风量较小的生物滤池等缺氧生物膜反应器内，可以取得更好的脱氮效果，而且不需要污泥回流。

(5) 生物滤池、转盘等生物膜法采用自然通风供氧，装置不会出现泡沫，管理简单，运行费用较低，操作稳定性较好。但受气候条件影响较大，容易滋生蚊蝇和产生臭气，造成周围卫生状况不好。

(6) 和活性污泥法相比，除了镜检法以外，对生物膜中微生物的数量、活性等指标的检测方式较少，生物膜出现问题后不容易被发现，调整运行的灵活性较差。而活性污泥法可以通过测定污泥沉降比、污泥容积指数（SVI）、污泥浓度等多种方法对微生物的活性进行监测。

(7) 和普通活性污泥法相比， COD_{Cr} （ BOD_5 ）去除率较低。有资料表明，50%的活性污泥法处理厂 BOD_5 的去除率高于 91%，50%的生物膜法处理厂 BOD_5 的去除率为 83%左右，相对应的出水 BOD_5 分别为 $14\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $28\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.2.1.3 厌氧生物处理法

废水厌氧生物处理法又称厌氧消化，是利用厌氧微生物以降解废水中的有机污染物，使废水净化的方法。其机理是在厌氧细菌的作用下将污泥中的有机物分解，最后产生甲烷和二氧化碳等气体。完全厌氧消化过程可分三个阶段：

(1) 污泥中的固态有机化合物借助于从厌氧菌分泌出的细胞外水解酶得到溶解，并通过

细胞壁进入细胞,在水解酶的催化下,将多糖、蛋白质、脂肪分别水解为单糖、氨基酸、脂肪酸等。

(2) 在产酸菌的作用下,将第一阶段的产物进一步降解为较简单的挥发性有机酸,如乙酸、丙酸、丁酸等。

(3) 在甲烷菌的作用下,将第二阶段产生的挥发性酸转化成甲烷和二氧化碳。影响因素有温度、pH、养料、有机毒物、厌氧环境等。

厌氧生物处理的优点:处理过程消耗的能量少,有机物的去除率高,沉淀的污泥少且易脱水,可杀死病原菌,不需投加氮、磷等营养物质。但是,厌氧菌繁殖较慢,对毒物敏感,对环境条件要求严格,最终产物须依靠需氧生物来处理。近年来,常应用于处理高浓度有机废水。

1.2.1.4 生物带 BSBR 法

生物带是美国科恩公司研制的专门用于生物膜法废水处理的一种柔性填料。它采用生物惰性很强的高分子材质,具有很好的物理稳定性和化学稳定性,因此使用寿命长。生物带可以根据需要做成各种规格尺寸,我们最常选用的尺寸为宽 45 mm、厚 4 mm,其长度根据反应池水深而定。生物带截面及外观形态如图 1-3 所示。

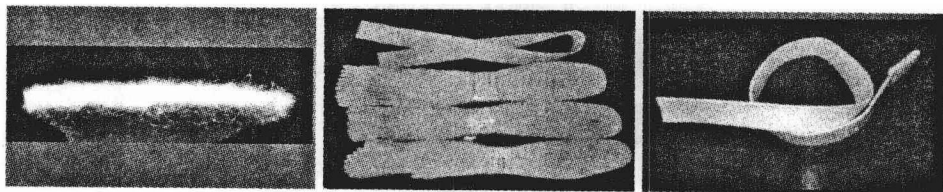


图 1-3 生物带

(1) 生物带的显微结构

Messing 等人 1997 年调查了载体表面孔径的大小对微生物附着、固定的影响,结果表明,载体表面孔径为微生物体长的 4~5 倍时效果最好。细菌的大小多数是在几微米到几十微米的范围内,有鉴于此,生物带的纤维做了特殊的处理,每一根生物带的纤维都有一种特殊的空洞结构,其在高倍显微镜下可观察到如图 1-4 所示结构。

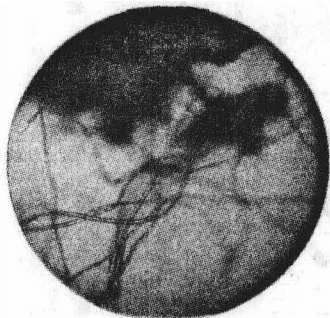


图 1-4 显微镜下的生物带

生物带纤维上孔洞的直径约为 $10\mu\text{m}$ ~ $350\mu\text{m}$,生物带内部的这种孔洞结构,可最大限度地截留水体中的细菌,为细菌群落提供排他的生存环境。孔洞结构有利于细菌群落的固着,每平方米生物带上有数百万根这样的纤维,每一个孔洞都会形成单一或复合的微生物群落,发展成为一个特殊的生物反应器来进行特定的生物酶促反应。

(2) 生物带的比表面积

生物带纤维的直径为 $25.4\mu\text{m}$ ，每平方米生物带产品能够提供约 250m^2 的表面积，可以为水中微生物生长、繁殖提供巨大的生物附着表面。生物带具有较大的比表面积和孔隙率，适合其上固着微生物的三个生长过程：生长期、增殖率下降期和内源呼吸期，使处理池中的微生物量保持在一个适当的数量上，从而保证废水处理系统能经常处于一个比较稳定的状态。

(3) 生物带的比重

由于生物带的特殊结构，所以生物带的比重应以表观密度来衡量。生物带的表观密度为 $0.19\sim 0.20$ 。其巨大的表面积和极低的表观密度使它被置放在水中时，会产生很大的浮力，再加上细菌分解产生的气体物质形成的小气泡会密布在生物带表层，保证生物带不会因固着细菌的大量繁殖使得其密度增加而下垂、沉底。生物膜始终处于分散状态，保证了生物膜和废水中有机污染物的相互充分接触，提高了净化率。

(4) 生物带的作用机理

在生物带的断面上，由外及里形成了好氧、兼性厌氧和厌氧三种反应区，共五个反应面，如图 1-5 所示。污染物基团由外及里依次通过生物带的三种反应区。

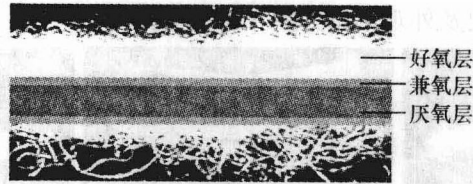


图 1-5 生物带反应区分布

在好氧区，好氧菌将氨氮转化为硝基氮，并把小分子有机物转化为二氧化碳和水（把可溶性的无机磷转化为细胞体内的 ATP）；在厌氧区，厌氧菌将硝基氮转化为氮气和氧气，把难分解的大分子有机物分解为可降解的小分子有机物。这样污染物基团就由大分子有机物分解为可降解的小分子有机物，并最终被分解转化成逸出水体的氮气、二氧化碳和水。生物带作用机理如图 1-6 所示。

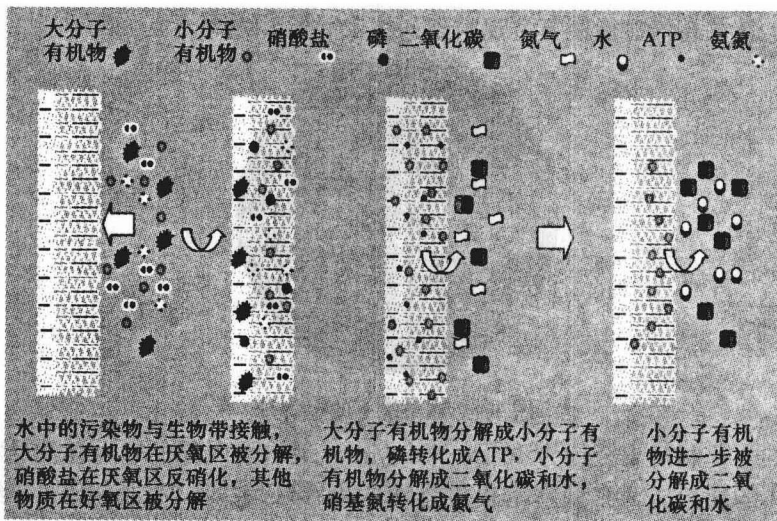


图 1-6 生物带作用机理示意图

(5) 生物带在反应池中的布置

生物带改变了传统填料需要坚固支架固定的模式,采用水草型设计,底部固定或底部和顶端同时固定。这种方法克服了坚固支架对池体规模的限制,理论上讲,池体可以根据处理能力的需要,要做多大就能做多大。生物带和曝气管在反应器中的立体视图如图 1-7 所示。

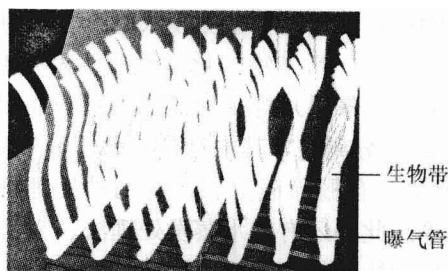


图 1-7 生物带在反应池中的立体视图

(6) BSBR 简介

BSBR 又称膜法 SBR,即在 SBR 池内填加生物带,形成 BSBR 反应器。BSBR 融合了生物接触氧化技术和 SBR 技术的优点,其处理效果优于 SBR。

接触氧化法是兼有活性污泥法和生物膜法特点的一种新型废水生化处理法,这种方法的主要设备是生物接触氧化滤池。在不透气的曝气池中装有填料,填料被水浸没,用鼓风机在填料底部曝气充氧。空气能自下而上,夹带待处理的废水,自由通过滤料部分到达地面,空气逸走后,废水则在滤料间格自上向下返回池底。活性污泥附在填料表面,不随水流动,因生物膜直接受到上升气流的强烈搅动,不断更新,从而提高了净化效果。接触氧化技术的特点主要有以下几个方面:① 容积负荷高,耐冲击负荷能力强;② 具有膜法的优点,剩余污泥量少;③ 具有活性污泥法的优点,辅以机械设备供氧,生物活性高,泥龄短;④ 能分解其他生物处理难分解的物质;⑤ 容易管理,能消除污泥上浮和膨胀等弊端。

SBR 是序列间歇式活性污泥法 (Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process) 的简称,是一种按间歇曝气方式来运行的活性污泥废水处理技术,又称序批式活性污泥法。与传统废水处理工艺不同,SBR 技术采用时间分割的操作方式替代空间分割的操作方式,非稳定生化反应替代稳态生化反应,静置理想沉淀替代传统的动态沉淀。SBR 技术的主要特征是在运行上的有序和间歇操作,核心是 SBR 反应池,该池集均化、初沉、生物降解、二沉等功能于一体,无污泥回流系统。正是 SBR 工艺的这些特殊性使其具有以下优点:

① 理想的推流过程使生化反应推动力增大,效率提高,池内厌氧、好氧处于交替状态,净化效果好。

② 运行效果稳定,废水在理想的静止状态下沉淀,需要时间短、效率高,出水水质好。

③ 耐冲击负荷,池内有滞留的处理水,对废水有稀释、缓冲作用,有效抵抗水量和有机污染物的冲击。

④ 工艺过程中的各工序可根据水质、水量进行调整,运行灵活。

⑤ 处理设备少,构造简单,便于操作和维护管理。

⑥ 反应池内存在 DO (混合液溶解氧)、BOD₅ 浓度梯度,有效控制活性污泥膨胀。

⑦ SBR 法系统本身也适合于组合式构造方法,利于废水处理厂的扩建和改造。

⑧ 适当控制运行方式可实现好氧、缺氧、厌氧状态交替,具有良好的脱氮除磷效果。

⑨ 工艺流程简单,造价低。主体设备只有一个序批式间歇反应器,无二沉池、污泥回流系统,调节池和初沉池也可省略,布置紧凑,占地面积省。

1.2.2 物理法

废水物理处理法是通过物理作用分离和去除废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物（包括油膜、油珠）的方法。处理过程中，污染物的化学性质不发生变化。方法包括：①重力分离法，其处理单元有沉淀、上浮（气浮）等，使用的处理设备是沉淀池、沉砂池、隔油池、气浮池及其附属装置等。②离心分离法，其本身是一种处理单元，使用设备有离心分离机、水旋分离器等。③筛滤截留法，有栅筛截留和过滤两种处理单元，前者使用格栅、筛网，后者使用砂滤池、微孔滤机等。此外还有废水蒸发处理法、废水气液交换处理法、废水高梯度磁分离处理法、废水吸附处理法等物理方法。

物理处理法的优点是设备大都较简单，操作方便，分离效果良好，故使用极为广泛。

化工废水常用的物理处理法包括过滤法、重力沉淀法和气浮法等。过滤法是以具有孔粒状料层截留水中杂质，主要是减少水中的悬浮物，在化工废水的过滤处理中，常用板框过滤机和微孔过滤机，微孔管由聚乙烯制成，孔径大小可以调节，调换较方便。重力沉淀法是利用水中悬浮颗粒的可沉淀性，在重力场的作用下自然沉降，以达到固液分离的一种方法。气浮法是通过生成微小气泡附裹携带悬浮颗粒并将其带出水面的方法。这三种物理方法工艺简单，管理方便，但不适用于可溶性废水成分的去除，具有很大的局限性。

1.2.3 化学法

废水化学处理法是通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物或将其转化为无害物质的废水处理法。以投加药剂发生化学反应为基础的处理单元有混凝、中和、氧化还原等；以传质作用为基础的处理单元有萃取、汽提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗析和反渗透等。主要有废水臭氧化处理法、废水电解处理法、废水化学沉淀处理法、废水混凝处理法、废水氧化处理法、废水中和处理法等。与生物处理法相比，化学法能较迅速、有效地去除更多的污染物，可作为生物处理后的三级处理措施。此法还具有设备容易操作、容易实现自动检测和控制、便于回收利用等优点。化学处理法能有效地去除废水中的多种剧毒和高毒污染物。

化学法的基本原理是利用化学反应的作用以去除水中的有机物、无机物杂质。化学混凝法的作用对象主要是水中微小悬浮物和胶体物质，通过投加化学药剂产生的凝聚和絮凝作用，使胶体脱稳形成沉淀而去除。混凝法不但可以去除废水中粒径为 $10\mu\text{m}\sim 10\text{mm}$ 的细小悬浮颗粒，还能去除废水色度、微生物以及有机物等。该法受 pH、水温、水质、水量等变化影响大，对某些可溶性好的有机和无机物质去除率低。化学氧化法通常指用氧化剂对化工废水中的有机污染物进行氧化去除的方法。废水经过化学氧化还原，可使所含的有机和无机有毒物质转变成无毒或毒性较小的物质，从而达到废水净化的目的。常用的有空气氧化、氯氧化和臭氧氧化法。空气氧化法因其氧化能力弱，主要用于含还原性较强物质的废水处理；氯是普遍使用的氧化剂，主要用于含酚、氰等的有机废水的处理；用臭氧处理废水，氧化能力强，无二次污染。臭氧氧化法、氯氧化法的水处理效果好，但是能耗大，成本高，不适合处理水量大和浓度相对低的化工废水。电化学氧化法指在电解槽中，废水中的有机污染物在电极上由于发生氧化还原反应而被去除，废水中污染物除在电解槽的阳极失去电子被氧