

水污染控制 与废水生物处理

马占青 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水污染控制与废水生物处理

马占青 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书共有 7 章,全面系统地介绍了我国水资源与水环境的现状及存在的问题,阐述了水污染控制技术的发展方向,对各种废水处理方法进行了分类叙述,总结了各种废水处理方法的国内外研究进展。重点介绍了废水的有效微生物处理技术,以及用日本的 EM 菌液处理啤酒废水的实验情况。阐述了废水处理的机理,描述了废水中的一些难降解有机物的降解途径,并介绍了几种废水处理的模型。

本书条理清楚,内容翔实,对污水处理厂的设计和污水处理工艺的改进,都具有很好的实用价值和指导作用。

本书可供从事城市污水处理的工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制与废水生物处理/马占青编著. —北京:中国水利水电出版社, 2003

ISBN 7-5084-1780-1

I. 水… II. 马… III. ①水污染-污染控制②废水处理: 生物处理 IV. ①X52②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 102498 号

书 名	水污染控制与废水生物处理
作 者	马占青 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京安锐思技贸有限公司
印 刷	廊坊市海涛印刷有限公司
规 格	850mm×1168mm 32 开本 5.875 印张 152 千字
版 次	2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月北京第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	16.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

目前，由于全球人口的快速增加和自然资源的大量消耗，环境状况正在急剧恶化，人类的生存和发展遇到了前所未有的挑战。近代人类社会对环境问题经过长期反复思考和探索，逐步形成一种思想——可持续发展，它为人类走出困境提供了一种新的发展模式。

水资源的可持续开发利用是人类社会可持续发展的重要组成部分，水污染控制是实现水资源可持续开发利用的重要手段，是水环境保护的有力措施之一，而进行适宜的废水处理是进行水污染控制，提高淡水资源利用率的重要途径。因此，依据可持续发展的理论，结合国内外科学技术发展动态和我国的国情，探讨我国水污染控制技术的发展方向和战略，寻求更好的废水处理技术，具有十分重大的理论和现实意义。废水的生物处理因其具有耗能低、处理效率高、二次污染少等特点，是目前世界上最受欢迎的废水处理方法之一。

本书在编写过程中得到了有关人员的热忱帮助和鼎力支持，在此致以诚挚的谢意。

由于本书所涉及内容是较新的研究课题，限于编者水平，书中缺点和不妥之处在所难免，望读者批评指正。

编者

2003年10月于宁波

正文设计：孙长福

责任印制：孙长福

王国珍

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水环境问题	1
1.2 国内外水污染控制与废水处理	8
第 2 章 我国的水资源与水环境现状	12
2.1 我国的水资源及其分布特点	12
2.2 我国的水环境问题分析	19
2.3 我国的水资源可持续开发利用	30
第 3 章 我国的水污染控制	43
3.1 我国的水污染控制现状	43
3.2 水污染控制与清洁生产	48
3.3 水污染控制技术的发展方向	52
3.4 我国的水污染控制发展战略	54
第 4 章 废水的处理方法及其研究进展	63
4.1 废水的处理方法概述	63
4.2 废水物理处理方法及其研究进展	65
4.3 废水物理化学处理方法及其研究进展	69
4.4 废水膜法处理及其研究进展	72
4.5 废水化学处理方法及其研究进展	79
4.6 废水生物处理方法及其研究进展	84
4.7 土地处理系统	92
第 5 章 废水的有效微生物处理技术研究	99
5.1 问题的提出	99
5.2 EM 菌的组成及特点	102
5.3 EM 菌的应用现状	104
5.4 EM 菌的废水处理	105
5.5 白泉镇废水的可生化性研究	107

5.6 EM 菌对有机废水处理的实验研究	110
5.7 废水的 EM 菌生物处理动态试验	126
5.8 白泉镇废水处理的工艺改造设计	131
第 6 章 废水生物处理的机理及数学模型	136
6.1 废水生物处理的机理	136
6.2 废水生物处理的数学模型	149
6.3 EM 废水处理的机理分析	160
6.4 EM 废水处理的数学模型	163
6.5 小结	168
第 7 章 结论与展望	170
参考文献	177

第1章 绪 论

1.1 水环境问题

1.1.1 水环境问题的提出

1.1.1.1 水环境问题的严峻性

水是生命之源,是人类赖以生存的必不可少的最基本的物质条件,是地球上不可替代的自然资源。从表面上看,地球上的水量非常丰富,71%的面积被水覆盖,总水量约为14亿 km^3 ,它们分别以固态、液态、气态的形式分布于地球表面和大气圈、岩石圈、生物圈。然而,地球上总水量的97.47%是海水,淡水资源量只占总水资源量的2.53%,且其2/3被冰川覆盖着,主要分布于地球的南北两极,只有0.26%的淡水资源可资利用,它们分布于河川、湖泊、水库、沼泽、地下蓄水层、土壤、植物、大气层等。

随着工业化进程和人口的不断增加,以及人类生活水平的不断提高,社会需水量大幅度增加,水资源供需矛盾日益突出。另一方面,人口、经济、技术和城市化的发展,使得固体、液体和气体废弃物产生量越来越大,世界各地每天将数以千百万吨计未经处理的污染水排入江、河、湖、海等水域,由此给社会生产和经济发展带来不可估量的损失,尤其给人类的生存造成很大威胁。水体中有毒有害化学物质、微生物、重金属、营养物的含量不断提高,造成水环境日益恶化。如美国的密西西比河,几乎所有已知污染物都可以检出;俄罗斯的伏尔加河,由于河面漂浮废油,曾引起河面大火;日本著名的由于甲基汞污染引起的水俣病公害事件等。

目前,全球 60% 的国家和地区淡水不足,40 多个国家缺水,65% 的水域已经受到污染。预计到 2025 年,全球将有 2/3 的人口面临严重缺水的局面。随着水资源的日益匮乏和水环境的严重污染,人们越来越认识到:水是一种极其重要的经济及战略资源,是经济繁荣的保证,哪一个国家和地区缺少水资源,那么它的国民经济的发展就会遇到种种困难;全球水资源短缺,并受到污染,不仅是一个技术和经济问题,而且是一个政治问题,更是未来国际社会稳定的一个重要因素。联合国在对全球范围内的水资源状况进行分析研究后发出警报:“世界缺水将严重制约下个世纪经济发展,可能导致国家间冲突”。一些学者认为,到下个世纪初,人类的福利水准将依赖于妥善处理水问题的能力。全球缺水的地区无论在面积上还是在数量上正在继续扩大,淡水资源的可用性是当今人类所面临的主要问题之一。

水环境问题成为世界普遍关注的根本原因,就在于它不仅影响、制约现代社会的可持续发展,而且将成为 21 世纪全球资源环境的首要问题,直接威胁人类的生存和发展。继 1972 年联合国第一次人类环境会议发出“水将导致严重的社会危机”以来,水环境问题不仅没有得到根本解决,而且愈来愈严重。因此,1994 年在近 80 个国家的环境部长出席的首次国际饮用水和环境会议上,UNEP 主任伊丽莎白·多德斯韦尔呼吁世界各国采取一致的行动,像解决臭氧层问题那样,认真解决非常现实的水资源危机。最近,受联合国粮农组织、环境署、开发计划署、科教文组织和世界银行资助的“世界水委员会”成立了“21 世纪水世界委员会”,其主要工作就是指导制定 21 世纪水、生命和环境的长期构想,站在人类未来的高度,满足未来对水的需求和保证可持续用水。该委员会于 1999 年 4 月在上海召开了一次工作会议,探讨提出中国 21 世纪水的展望与构想的可能性。

1.1.1.2 可持续发展的必然要求

(1) 可持续发展的提出。20 世纪以来,随着世界经济、社

会的发展,特别是发达国家工业的迅速发展和经济的快速增长,不仅给地区的环境带来严重危害,同时也严重影响了全球的人类生存环境。另一方面,发展中国家的人口膨胀和生态环境的恶化,已经引起人们的日益关注。1972年,在瑞典的斯德哥尔摩召开了第一次人类环境会议,通过了具有划时代意义的历史性文献《联合国人类环境会议宣言》,会议形成一致共识,经济发展要持续下去,人类就必须保护环境,并呼吁世界各国政府和人民共同努力改善人类环境,造福子孙后代。

1980年,国际自然保护联盟(IUCN)在《世界自然资源保护大纲》中首先提出了“可持续发展”的术语。1987年,世界环境与发展委员会在其报告《我们共同的未来》(Our Common Future)中,给出了国际上公认的可持续发展的定义:“既满足当代人的需求,又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。1992年,在巴西的里约热内卢召开了联合国环境与发展大会(UNCED),183个国家和地区的代表出席了大会,其中有102位国家元首或政府首脑,会议通过了关于环境与发展《里约环境与发展宣言》和《21世纪议程》。大会不仅加深了人们对环境问题的认识,而且把环境问题与社会、经济发展结合起来,树立了环境与发展相互协调的观点,即被普遍接受的“可持续发展”战略。

(2) 可持续发展的基本内涵。可持续发展的内容包括了人口、资源、环境和经济的各个领域,其内容极其广泛,不同于传统的经济发展观,是人类从环境与自然资源的角度出发提出的关于自身长期发展的战略和模式。可持续发展的概念从理论上结束了长期以来把发展经济与环境保护和资源相互对立的错误观点。1992年联合国环境与发展大会后,尽管可持续发展这一概念得到了学术界的认同与广泛使用,但对其理解和解释不尽相同。

社会学者认为,可持续发展是“在生存于不超出维持生态系统涵容能力的情况下,改善人类的生活质量(或品质)”(IUCN等,1991)。

生态学者从保护生态系统的观点出发认为,可持续发展是寻求一种最佳的生态系统以支持生态的完整性和人类愿望的实现,使人类的生存环境得以持续。他们强调的是应尽量减少生态退化,坚持一切生物都有生存的权利,甚至认为,如果存在生态退化,相应的发展就不能认为是可持续发展。

经济学者从发展经济的角度出发认为,可持续发展是“在保持自然资源的质量和其所提供服务的前提下,使经济发展的净利益增加到最大限度”(E. Barbier, 1985);“今天的资源使用不应减少未来的实际收入”(A. Mar Kandya 等, 1988)。“不降低环境质量和不破坏实际自然资源基础上的经济发展”(世界资源研究所, 1993)。他们认为可持续发展的核心是经济的发展,坚持自然资源的存量应至少维持在某一水平,使得未来世代至少能保持与当代人相同的产出。对可耗竭类资源的使用应有替代,对可更新类资源的使用应以资源的再生能力为限。

科技工作者从技术选择的角度出发认为,可持续发展就是工业活动“转向更清洁、更有效的技术——尽可能接近‘零排放’或‘密闭式’工艺——尽可能减少能源和其他自然资源的消耗”(J. Spath, 1989);“建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统”(世界资源研究所, 1993)。

可持续发展是一个动态的综合的概念,涉及国家之间、地区之间、代际公平和代内公平的社会、经济、文化、技术及自然环境等方面。可持续发展的内涵十分丰富,不同学者对可持续发展的概念有不同的认识和理解,从科学的角度来看,是一种正常现象。经过认真仔细的分析研究可以发现,正确地把握可持续发展的内涵应从以下几个方面着手。

1) 人是可持续发展的主体。从广泛意义上来说,可持续发展就是人类的可持续发展,这里的人类可持续发展并不是指数量的增长,而是指人类的永续生存。人类从原始人到现代人经历了约 150 多万年的漫长历程,而目前的现代文明发展又经历了约 5 万年,只是在近 300 多年来,生产力水平才达到了空前的高度,

经济才有了迅猛的发展。毋庸置疑,随着人类现代文明的不断进步,当今人类的生存正面临着严重的挑战。因此,人们逐步产生了基于对环境问题的现代可持续发展思想。从现代可持续发展定义的不同侧面不难看出,他们都强调了可持续发展是一种在经济上长期运行的模式,都考虑了自然资源基础对经济支持的持续性。然而,他们都隐含了一个重要的前提,即人口基本处于静态。显然,只有人口至多保持在某一静态水平时,保持自然资源总量不至于减少才能使代际公平得以实现,人类的福利不至于下降。广义地讲,地球上的资源是有限的,如果人口在持续不断增长的条件下,可持续发展是不能实现的。

2) 水环境是可持续发展的基本条件。可持续发展源于环境保护,而水环境保护又是环境保护的一个重要的方面。不仅如此,由于水环境的特殊性即:资源、容量、承载能力的有限性;更为重要的是其作为资源的不可替代性。水资源虽然具有一定的再生性,但其再生能力是有限的,并不是取之不尽用之不竭的;而对于某些可耗竭资源,如作为能源资源的煤、石油、核能等是随人类发展和技术的不断提高而逐步发现的,它们是可以替代的,另外还有太阳能、风能等可作为能源资源的补充等。到目前为止,水环境的资源性(功能)还没有一种可替代的资源,随着科学技术的发展其对人类的生产和生活的作用也很难替代,甚至是不可替代的。

3) 自然资源是可持续发展的物质基础。资源是人类社会存在与发展的重要基础。从某种意义上来看,伴随着人类对资源开发利用深度与广度的不断增加,人类社会的文明与发展才得以不断提高。当今,由于资源对社会经济发展的支持与制约作用至关重要,资源更是世界各国关注的重大问题之一。但是,随着人类对资源开发利用规模的不断扩大,使得资源迅速减少甚至枯竭,伴之而来的环境污染问题日益严重。这就意味着可持续发展如何维护和合理使用并提高自然资源这个基础。

可持续发展——区别于传统的“高投入、高消耗、高污染”

的发展模式，是一种新的社会经济发展战略模式。

1.1.1.3 我国政府的对策

自1992年6月，在巴西的里约热内卢召开联合国环境与发展大会（UNCED）以后，“可持续发展”已成为全人类的共识，是全人类共同遵守的原则。目前，世界许多国家根据UNCED《里约环境与发展宣言》和《21世纪议程》，制定了适合本国和本地区条件的21世纪发展战略。可持续发展理论亦引起中国政府及知识界和科技界的高度重视。1994年3月，我国政府率先制定了《中国21世纪议程》，提出了我国可持续发展的总体战略、对策以及行动方案，是我国实施可持续发展的理论基础和指导原则，表明了我国社会经济发展、资源开发利用和环境保护将纳入可持续发展的良性轨道，使我们充分认识到环境污染已经对我们的生存构成了重大威胁。1995年，江泽民总书记在党的十四届五中全会上强调指出，“要根据我国国情，选择有利于节约资源、保护环境的产业结构与消费方式，坚持资源开发与节约并举，克服各种浪费现象，综合利用资源，加强污染治理”。1996年3月，全国人民代表大会通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》，使可持续发展战略在我国经济建设和社会发展中得到了具体实施。

因此，在社会经济发展的生产、生活活动中，资源和能源的充分利用要与恢复和保护生态系统及环境保护相结合，树立可持续发展的战略思想。在水污染控制技术研究及开发中，要以可持续发展理论为指导，结合我国国情，瞄准科学技术的国际先进水平，运用高新技术，如“清洁生产”技术研究、有效微生物技术和其他生物工程技术等，推动我国的废水处理技术的迅速发展。

1.1.2 研究的意义

淡水资源的日趋短缺及水环境污染的日益加重，是全球所面临的重大环境问题之一。由于经济和人口的快速增长，水资源与

水环境问题已经成为世界社会经济可持续发展中最突出的制约因素，21 世纪世界社会和经济将发展将面临更加严峻的水危机挑战。

据一项新的地区淡水资源的全球评价结果表明，目前全球人口的 1/4 得不到安全用水。近 1/2 的人口缺少适当的卫生用水设施，而他们的绝大多数生活在发展中国家。许多人由于缺乏适当的供水患上与水有关的疾病而死亡。全球的水环境仍在继续恶化，使生态系统和栖息地遭受破坏。最近美国《科学周刊》指出：“人类如不改变农业、工业及家庭用水习惯，未来 30 年内淡水供应量将赶不上人口的增长速度”。据联合国发出的警告指出，除非各国政府采取有力的措施，否则到 2025 年，世界将有 1/3 的人口（23 亿人）无法获得安全用水。目前全球用水量每年以近 5% 的速度递增，到 2030 年全球将有 1/3 以上的人口面临淡水危机。

1977 年阿根廷马德普拉塔的联合国水会议以来的 20 年间，联合国有关机构组织了大量专家研究水问题，多次召开了关于水与环境、水与发展的国际会议，旨在实现可持续发展的目标与对付迫在眉睫的水资源危机。特别是 1992 年在巴西里约热内卢召开的 UNCED 会议上，其关注的热点就是包括水环境在内的环境与水资源问题，会议通过和签署了一系列重要文件，对解决和缓解水资源和水环境危机提出了一系列战略性措施，主要有以下几方面内容：① 保证粮食生产供水；② 减少对水资源的污染，保护水环境；③ 加强跨流域调水问题的合作；④ 将水视为商品。

自 20 世纪 70 年代以来，尤其是改革开放 20 年来，我国在保护水环境、水污染控制方面取得了很大进展。然而水污染状况还未得到很好的控制，有些地区水污染还在迅速发展，水污染控制任务还很艰巨。1999 年 3 月，江泽民总书记在中央召开的人口资源环境工作座谈会上指出：“人口众多，资源相对不足，环境污染严重，已成为影响我国经济社会发展的重要因素”。因此，寻找经济、实用、符合我国国情的水污染控制和废水处理方法，对保护我国水环境具有重要意义。

保护水环境, 进行水污染控制与污水(工业废水和生活污水)资源化及提高淡水资源的利用率研究, 是解决水资源、水环境危机并实现社会、经济、环境协调可持续发展的重要途径。废水处理技术是水污染控制的重要方面, 是实现废水资源化, 保护水环境的重要手段。而废水生物处理技术是目前世界上废水处理的最有效方法之一, 符合可持续发展的思想。

1.2 国内外水污染控制与废水处理

1.2.1 国外的水污染控制与废水处理

近年来全球性水危机已引起了世界各国政府和科学家的高度重视, 并采取了多种对策。1990年美国国会通过的《污染防治法》, 是美国水污染控制战略的根本性转变, 其内容要点是: ①最大可能地减少源头的污染物产生量; ②对于那些于源头不能削减的污染物, 采取无害于环境的循环利用; ③对于不能回收利用而排出的污染物的处理只作为一种最终处理手段。1998年, 美国宣布的清洁水行动计划, 是自1972年美国颁布《清洁水法案》后, 最大的一次水污染治理计划。目前, 美国的水污染控制坚持4个“Re”即 Reduction(内部减少)、Recovery(回收)、Reuse(回用)、Recycle(循环)。在德国, 各流域管理协会负责对各流域的水资源进行综合治理与保护, 特别是北莱茵西伐利亚州, 是著名的鲁尔工业区所在地, 在水量与水质方面进行了有效的控制, 取得了非常成功的经验, 在国际上树立了流域综合治理的成功范例。在日本召开的“亚太地区能源与环保合作”研讨会, 中国、美国、俄罗斯、日本、加拿大等七个国家的有关专家, 探讨了地区能源开发利用与环境保护等一系列关系到人类可持续发展的问题。

鉴于目前水资源、水环境问题的严峻性, 世界各国的水环境科学工作者普遍认为, 进行有效的污水处理是解决问题的有效途

径。在瑞典和法国,约5万人就有一座污水处理厂;在美国,约每1万人就有一座污水处理厂;在英国和德国,约7000人就有一座污水处理厂。如日本在20世纪90年代初,全国的生活污水二级处理率平均为47%,而人口在100万以上的大城市,则处理率高达93%。在德国,通过建造水库调节河流的水量,而修建城市污水厂对污水进行处理和净化,达到排放标准后才排入河流,进而有效地控制了河流水质。在英国,通过排污许可证制度来实现水污染的控制。不同排放去向的污水由不同的污水排放控制部门分工管理,水服务公共有限公司(如英格兰的THAMES WATER)负责供水和污水处理,通过颁发许可证而控制污水进入其下水道系统;任何排入地面水体的污染源,必须获得环境管理局颁发的许可证,许可证规定相应的受纳水体、污水污染负荷、污染物浓度等。

由于一、二级污水处理除磷脱氮效果不佳,其直接排放造成部分水体的富营养化。近年来,一些发达国家的污水处理,已由一、二级的低级处理向三级处理的高级处理发展。目前,一些发达国家在污水高级处理方面进行研究并开始了实际应用。在德国,由于河流小而自净能力小,其中多数河流被用作饮用水源、游泳场等,水质标准高。因此,污水处理厂的出水也要求高,新建、改建、扩建的城市污水处理厂都采用三级处理,即高级处理或深度处理,其设计规范(1991年颁布)规定的A131——硝化、反硝化和除磷工艺,其出水水质要求:一般 BOD_5 和 $TSS \leq 10\text{mg/L}$, $COD \leq 50\text{mg/L}$, $TKN \leq 10\text{mg/L}$, $NH_4 - N \leq 5\text{mg/L}$, $TP \leq 1\text{mg/L}$ 。在日本,由于大量的二级处理废水排放造成了部分水域的富营养化,如京都的琵琶湖等。为此,近年来日本着重在废水的高级方面开展了研究并开始了实际应用。

因此,对于常规的废水处理方法发展得比较成熟,而研究开发高效、经济的废水处理新技术是当今环保工作者关心的热点。随着研究的深入,技术的进步,运用微生物技术处理废水的特殊作用不断得到发掘,特别是生物工程技术的发展,不仅能对现有

的微生物改造,而且能创造出具有新的特殊功能的微生物。另外,在废水处理中,运用多种方法相结合的新的废水处理方法得到了开发和应用。

1.2.2 我国的水污染控制与废水处理

我国的河流、湖泊、水库及近海海域,普遍受到了不同程度的污染,总体呈上升趋势,已引起我国政府的高度重视,在《国民经济和社会发展规划“九五”计划和2010年远景目标纲要》中提出,我国环保工作“九五”期间重点治理“三湖”、“三河”,即太湖、巢湖、滇池,辽河、海河、淮河;到2000年完成三大目标:①工业污染源要达标排放;②淮河、太湖要实现水体变清,海河、辽河、滇池、巢湖水质明显改善;③重点城市要按功能分区,分别达到国家标准。通过对淮河流域排污企业的关、停、并、转结合技术措施,到1997年12月底,淮河全流域污染负荷消减30%,水质明显改善。1998年1月,我国政府开始太湖流域水污染治理工作,到年底要求流域内各污染源要达标排放。由此可以看,我国政府在水污染控制方面的决心及水污染控制的紧迫性和艰巨性。我国目前已建立了比较完善的管理体制,我国政府先后制定和颁布了《中华人民共和国水法》、《水污染防治法》等多种法律、法规和政策及《地面水环境质量标准》、《废水综合排放标准》等多种标准与规范,建立了国家和地方各级水环境保护管理机构和研究机构,水污染控制工作全面展开,水污染控制技术得到了迅速发展。

我国的城市污水处理始于20世纪80年代初。1984年,我国自己设计、自己施工、装备基本国产化的第一座大型城市污水处理厂在天津建成,日处理污水能力约26万t,但与国外同期的城市污水处理厂相比,仍然存在着“三高二低”现象,三高即:耗能高、设备维修率高和运行费用高;二低即:效率低和自动化程度低。近几年来,随着我国政府对环境保护事业的重视,其投资规模不断扩大,污水处理厂建设速度明显加快。但是,随着我