

废水处理与资源化新工艺



Beijing, China



建设部科学技术司 组织编写

赵庆良 刘 雨 等编著

中国建筑工业出版社

废水处理与资源化新工艺

建设部科学技术司 组织编写

赵庆良 刘 雨 主编

马 放 王 琨 刘 雨 刘俊良

刘慧玲 李伟光 张立秋 赵庆良 等编著

(按姓氏笔划排列)

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

废水处理与资源化新工艺/建设部科学技术司组织编写;赵庆良,刘雨主编. —北京:中国建筑工业出版社, 2006

ISBN 7-112-08431-8

I. 废… II. ①建…②赵…③刘… III. ①废水处理 ②废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070802 号

责任编辑:俞辉群

责任设计:崔兰萍

责任校对:张树梅 王金珠

废水处理与资源化新工艺

建设部科学技术司 组织编写

赵庆良 刘 雨 主编

马 放 王 琨 刘 雨 刘俊良

刘慧玲 李伟光 张立秋 赵庆良 等编著

(按姓氏笔划排列)

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京天成排版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 29 字数: 917 千字

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 80.00 元(含光盘)

ISBN 7-112-08431-8

(15095)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

内容提要

本书首先概述了传统废水处理工艺,目的是为了
使读者掌握废水处理工艺的全貌并配合读者阅读和加
深理解所附光盘图片与内容。在此基础上,着重阐述
近年来国内外研究开发或应用的新型废水处理与资源
化工艺技术。其中包括:废水中有机污染物的好氧生
物处理和厌氧生物处理新工艺;废水中氮和磷等营养
物质的去除与资源化;低耗节能的废水人工湿地处理
系统与新型稳定塘系统;微生物强化废水生物处理技
术;能有效氧化分解难降解有机化合物的高级氧化处
理工艺;处理后废水的回收与再利用技术。此外,对
废水生物处理过程中的污泥减量化和剩余污泥的消化
处理与资源化技术做了详细论述;对废水处理过程中
处理厂内不可避免产生的臭气处理与臭味控制也做了
专门介绍。最后,针对诸如中国等发展中国家因废水
排放造成受纳水体遭到不同程度污染的事实,探讨了
受污染水体的修复技术。

针对废水处理的工程应用实践,本书配制了多媒
体光盘,涵盖了国内外典型污水处理厂的主要工艺流
程、单体构筑物介绍及航拍照片等。

全书内容新颖,充分展示了在废水处理领域的技
术与工艺革新、研究开发与应用现状、发展趋势等;
既着重于废水处理与环境保护,又强调了废水中有价
物质(水、沼气、氮与磷、剩余污泥)的资源化回收与利
用,体现了废水处理和生态环境可持续发展的理念。

本书可供从事废水处理工程、环境工程与环境保
护的研究、设计与运行管理的决策人员和专业技术人
员参考使用。也可作为高等院校环境科学与工程、给
水排水工程及其他相关专业本科生和研究生的教学与
科研参考书。

ABSTRACT

The conventional wastewater treatment processes
are first summarized with the aims to let readers see a
complete picture of wastewater treatment processes and
to help readers have a better understanding of the photos
and contents in the attached CD. Based on these
contents, novel wastewater treatment and resource utili-
zation technologies being researched and developed both
home and abroad are particularly elaborated, including
novel aerobic biological treatment of organics-containing
wastewater, novel anaerobic biological wastewater treat-
ment process, removal and resource utilization of nutri-
ents present in wastewater, constructed wetland system
and novel stabilization pond system of low cost and
energy-saving feature, microbial enhanced biological
wastewater treatment technique, advanced oxidation
process for efficient decomposition of non-readily degrad-
able organic compounds, reclamation and reuse of treat-
ed effluent. Besides, sludge minimization during biolog-
ical wastewater treatment and excess sludge digestion
and resource utilization techniques are also discussed in
detail. In view of the inevitable odor emission from
wastewater treatment units in a plant, odor treatment
and control are also particularly introduced. Finally, in
consideration of the fact that most of the water bodies in
developing countries such as China have already been
polluted to some extent, insights are given into the
remediation technique for polluted water body so that the
function of the polluted water body might be resumed.

In view of the engineering practice in full-scale
wastewater treatment, a CD comes up with this book,
illustrating the main process schematic, unit structure
and configuration and aerial photographs of typical
domestic and foreign wastewater treatment plants.

Comprehensive and novel contents in this book
provide a full picture of the wastewater treatment
practice in terms of innovative technique and proces-
ses, state-of-arts in research and development as well as
the trend for future development, which not only focus
on wastewater treatment and environment protection but
also look into reclamation and resource utilization of
valuable substances in wastewater including purified
water, methane, nitrogen and phosphate as well as
excess sludge, highlighting the concept of sustainable
development in wastewater treatment.

This book can be used as university textbook for
graduates and postgraduates with a major in environ-
mental science and engineering, water supply and
sewerage engineering and so forth. Professionals,
who engage in wastewater treatment and environ-
ment protection in the ways of research, design,
operation and management, can also use this book as
a reference.

序

水孕育了人类。

伴随着人类社会的进步和经济发展，“生命之水”面临日益巨大的危机和挑战，如今，在世界范围内出现的水危机对人类的发展构成了严重威胁。保障水安全，促进水资源可持续利用，实现人类与水环境和谐共存是世界各国十分关注的重大课题。近二三十年来，我国政府通过实施相关科技计划，水行业管理部门，科研开发、工程设计和水务运营等单位共同努力，在分析国际水领域技术发展趋势和典型案例的基础上，开展深入研究和攻关，取得了一批具有理论价值和应用价值的成果，拓宽了解决水问题的思路，发展了水处理技术，在保障城镇供水，改善水环境等方面取得了显著成效，形成了适合中国国情的技术体系和管理模式，培养了一支由国际知名专家为学科带头人的专业队伍，使我国水领域的技术和管理水平大幅度提高，为今后的发展奠定了很好的基础。

2006年9月，建设部与国际水协将在北京举办第五届世界水大会。大会将为中外学者和工程技术人员搭建一个传播国际先进理念、交流研究成果和实践经验，探讨技术和管理创新的平台。为增进国际水业界对中国的了解，展示我国水领域的学术水平和发展成就，促进国际交流与合作，建设部科技司组织国内水领域的部分院士和知名专家编写了这套书籍。她包括学术理论、水处理工艺和工程应用以及水业管理等方面的内容，是对几十年来我国水领域所取得的成果和经验的总结，对我国城镇供水、节水和污水处理及资源化工作的开展，对促进我国水领域的跨越式发展和机制创新会有很好的参考作用。

在此书即将出版，第五届世界水大会即将召开之际，我们借用先哲老子的名言“上善若水，水利万物而不争”来表达对我国水领域科技工作者和致力于水资源永续利用、创造美好人居环境的广大同仁的敬意，感谢他们做出的无私奉献。

谨以此书献给第五届世界水大会。

建设部科技司
2006年5月9日

前 言

随着我国工农业生产的迅猛发展和城市化进程的不断加快,向水环境中排放的工业废水和城市废水量也在不断增加。由此所造成的水污染现象的普遍性和严重性,已经对我国的国民经济发展和人民健康造成极大的危害,这主要表现在:水资源短缺的加剧制约了国民经济的可持续发展;饮用水的安全性降低直接威胁着人民身心健康;废水中的各种污染物严重危害着工业、农业和渔业等生产并造成对河流、湖泊和海洋等生态环境的巨大损害。由此可见,严峻的水污染形势对我国今后的可持续发展构成了极大威胁,它不仅会束缚和制约我国全面建设小康社会宏伟战略目标的实现,而且将可能影响社会的稳定,引发重大的社会和政治危机。

为了遏制水污染的进一步加剧,必须严格控制向受纳水体等水环境的污染物排放量。中国工程院在为国家编制《中国可持续发展——水资源战略》中指出:当2010年、2030年全国废水处理普及率分别达50%和80%时,城市废水对水环境的污染负荷并没有明显减弱,近岸海域、江河湖泊仍然达不到环境质量标准,这是由于废水处理率虽在增加,但废水排放总量也在增长,污染负荷总量的削减还相当有限。因此,为了保证国民经济的可持续发展,就必须采取更为先进的工艺、技术与对策对废水进行有效地处理与再生利用,减少污染物总排放量,力求使水环境的自净功能与污染物排放量保持动态平衡关系。

国外在20世纪60~90年代期间推出了系统的水污染控制政策和一系列废水处理单元技术,重点是以活性污泥和生物膜为主体的废水二级处理工艺及一系列的变形工艺。一些强化自然净化的工艺(如高效稳定塘、人工湿地等)和一些高效的废水处理反应器,甚至可回收生物质能的高效工艺,在国外中小城市废水处理中的应用也不断增多。近年来,在国际上许多城市已将废水作为一种资源进行再生利用,经处理后的水可用于工业、市政、农业及地下水回灌等多种用途,更加符合水在自然界中的循环规律。通过以上技术的实施,有效地控制了水污染问题。最近,国外还提出了把恢复和修复水体的物理、化学和生物的自然完整性作为新的目标,以提高水的循环利用率。

本著作结合国内外废水处理技术发展现状并基于作者多年来从事废水处理与资源化研究的最新成果,旨在全面、系统和深入地阐述有关废水处理与资源化新工艺与技术。本书首先概述了传统废水处理工艺(第1章),使读者对已有的相对成熟的废水处理工艺有一个全面的掌握和了解,并用来配合读者阅读和加深理解所附光盘图片与内容。在此基础上,着重阐述了废水中有机污染物的好氧生物处理(第2章)和厌氧生物处理(第3章)新工艺;废水中氮和磷等营养物质的去除与资源化工艺(第4章);低耗节能的废水人工湿地处理系统与新型稳定塘系统(第5章);微生物强化废水生物处理技术(第6章);能有效氧化分解难降解有机化合物的高级氧化处理工艺(第7章);处理后废水的回收与再利用技术(第8章)。此外,对废水生物处理过程中的污泥减量化(第9章)和剩余污泥的消化处理与资源化(第10章)技术做了详细论述;对废水处理过程中处理厂内不可避免产生的臭气处理与臭味控制也做了专门介绍(第11章);最后,针对发展中国家因废水排放造成受纳水体遭到不同程度污染的事实,探讨了受污染水体的修复技术(第12章)。针对废水处理的工程应用实践,本书还配制了多媒体光盘,涵盖了国内外典型污水处理厂的主要工艺流程、单体构筑物介绍及航拍照片等。我们期望本书的出版对进一步研究、探索和应用高效、低耗和节能的废水处理与资源化新工艺起到积极的作用。

本书编写的具体分工如下：第1章由李伟光编写；第2章由刘雨、赵庆良、刘永强(2.1节)、邱微(2.2节)编写；第3章由赵庆良、刘雨、尤世界(3.9节)编写；第4章由赵庆良、刘雨编写；第5章由张立秋编写；第6章由马放、王弘宇编写；第7章由刘慧玲、吴耀耀编写；第8章由刘俊良编写；第9章由刘雨、赵庆良编写；第10章由赵庆良、王广智(10.5节)编写；第11章由王琨、赵庆良编写；第12章由赵庆良、刘志刚编写。姜珺秋和张金娜承担了本书大量插图的绘制工作。全书由赵庆良和刘雨统稿并定稿。

本书的编写工作由建设部科学技术司组织领导。本著作的出版得到了哈尔滨工业大学教材出版基金资助，德国尼尔斯水管会(Niersverband)和东方仿真公司提供了光盘中的部分仿真动画。在此谨表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，经验不足，书中错误和不当之处在所难免，热忱欢迎同行和广大读者批评指正。

赵庆良 刘 雨
2006年4月

PREFACE

As the swift industrial and agricultural development and high-speed urbanization in China have been going on, the discharge of industrial and municipal wastewater into environment keep on increasing. As the consequence, severe and widespread water pollution is jeopardizing our national economy development and public health, which can be described that water resource intensifying shortage limits the sustainable development of national economy, undesirable safe quality of drinking water directly threatens public health, various pollutants present in wastewater endanger industry, agriculture as well as fishery and do harm to ecological environments of river, lake and ocean etc. Thus it can be seen, serious water pollution situation is posing a great threat to the sustainable development of China, not only hindering the achievement of our goal for constructing a well-off society but also likely further weakening social stability and triggering even more severe social and political crisis.

To keep within limits of water pollution, pollutants discharge into receiving water body and other environment has to be strictly controlled. It has been pointed out in "Sustainable Development of China-Water Resource Strategy" compiled by Chinese Academy of Engineering that even after countrywide wastewater treatment coverage will reach 50% and 80% in year 2010 and 2030 respectively, the severe water environment pollution caused by municipal wastewater discharge still cannot be relieved, and moreover the quality of coastal, river and lake water still cannot meet the national standards because of the unbalance of increasing wastewater discharge over the wastewater treatment rate. Therefore, in order to safeguard sustainable development of national economy, advanced processes, technologies as well as strategies have to be exploited to achieve an effective wastewater treatment and reclamation so as to diminish the total pollutants output and keep a dynamic balance between environmental self-purification and pollutants output.

During 60s to 90s of 20th century, systematic strategies for water pollution control and series of wastewater treatment unit operation and processes were put forward and applied in foreign countries, such as activated sludge and biofilm-based secondary wastewater treatment processes and a series of modified processes as well. Some enhanced processes were also widely adopted in some middle- and small-sized cities, such as enhanced natural treatment processes (e.g. high efficient stabilization ponds and constructed wetlands etc), high efficient wastewater treatment reactors and even the high efficient bio-energy reclaimable processes. In recent years, wastewater has been regarded as a type of

recourses in most cities abroad and reused. Reclaimed water can be applied to industry, municipality, agriculture as well as groundwater recharge etc, which is more in accordance with the natural law of water recirculation. By these means, the water pollution problem has been effectively solved. Most recently, some western countries even set up a new target to recover and remediate the natural integrity of water body in aspects of physics, chemistry and biology so as to increase water recycling and reuse rates.

This book has been compiled on the basis of authors' long term dedication to wastewater treatment and resource utilization in combination with the state-of-arts of foreign and domestic wastewater treatment technology, aiming to offer a complete, systematic as well as in-depth picture of the novel processes and techniques with respect to wastewater treatment and resource utilization. The conventional wastewater treatment processes are first summarized (Chapter 1) with the aims to let readers see a complete picture of wastewater treatment processes and to help readers have a better understanding of the photos and contents in the attached CD. Based on these contents, novel wastewater treatment and resource utilization technologies being researched and developed both home and abroad are particularly elaborated, including novel aerobic biological treatment of organics-containing wastewater (Chapter 2), novel anaerobic biological wastewater treatment process (Chapter 3), removal and resource utilization of nutrients present in wastewater (Chapter 4), constructed wetland system and novel stabilization pond system of low cost and energy-saving features (Chapter 5), microbial enhanced biological wastewater treatment technique (Chapter 6), advanced oxidation process for efficient decomposition of non-readily degradable organic compounds (Chapter 7), reclamation and reuse of treated effluent (Chapter 8). Besides, sludge minimization during biological wastewater treatment (Chapter 9) and excess sludge digestion and resource utilization techniques (Chapter 10) are also discussed in detail. In view of the inevitable odor emission from wastewater treatment units in a plant, odor treatment and control are also particularly introduced (Chapter 11). Finally, in consideration of the fact that most of the water bodies in developing countries such as China have already been polluted to some extent, insights are given into the remediation technique for polluted water body (Chapter 12) so that the function of the polluted water body might be resumed. We hope this book would further promote the research, exploration and application of high efficient, low cost and energy-saving wastewater treatment and resource utilization processes.

Compilation works have been partaken as follows: Chapter 1 by Weiguang Li; Chapter 2 by Yu Liu, Qingliang Zhao, Yongqiang Liu (Section 2. 1) and Wei Qiu (Section 2. 2); Chapter 3 by Qingliang Zhao, Yu Liu and Shijie You (Section 3. 9); Chapter 4 by Qingliang Zhao and Yu Liu; Chapter 5 by Liqui Zhang; Chapter 6 by Fang Ma and Hongyu Wang; Chapter 7 by Huiling Liu and Yaoyao Wu; Chapter 8 by Junliang Liu; Chapter 9 by Yu Liu and Qingliang Zhao; Chapter 10 by Qingliang Zhao and Guangzhi Wang (Section 10. 5); Chapter 11 by Kun Wang and Qingliang Zhao, Chapter 12 by Qingliang Zhao and Zhigang Liu. Ms. Junqiu Jiang and Ms. Jinna Zhang put quite lot efforts on preparation of Figures and Graphs. Qingliang Zhao and Yu Liu finally co-edited the book.

The publication of this book is organized by the Department of Science & Technology, Ministry of Construction, China, and financed by the Textbook-Publication-Fund of Harbin Institute of Technology. Both Niersverband in Germany and East-Simulation Co. in Beijing have provided part of the photos

included in CD. All of their contributions are heartedly appreciated here.

Because of the authors' limited capability and experience, there could be imperfection in this book. Any comments and criticisms from readers would be welcomed.

Qingliang Zhao and Yu Liu
April, 2006

目 录

第1章 传统废水处理工艺概述	1	1.7 废水处理工艺流程的确定	32
1.1 预处理与一级处理工艺	1	1.7.1 原废水的水质	32
1.1.1 格栅	1	1.7.2 废水处理要求达到的程度	33
1.1.2 沉砂池	1	1.7.3 工程造价与运行费用	33
1.1.3 调节池	2	1.7.4 自然条件	34
1.1.4 除油	3	1.7.5 废水水量及变化动态	34
1.1.5 沉淀池	4	1.7.6 运行管理与施工	34
1.1.6 离心分离	8	参考文献	34
1.1.7 气浮	9	第2章 废水好氧生物处理新工艺	36
1.2 悬浮生长生物处理工艺		2.1 膜生物反应器(MBR)	36
活性污泥法	12	2.1.1 膜生物反应器的发展与应用现状	36
2.1.1 完全混合式	13	2.1.2 膜生物反应器的种类	37
2.1.2 传统推流式	14	2.1.3 膜生物反应器的工艺类型	39
2.1.3 高负荷曝气式	14	2.1.4 膜与膜组件	40
2.1.4 分段进水式	15	2.1.5 膜通量与膜污染	42
2.1.5 接触稳定式	15	2.1.6 膜污染后的清洗与更换	45
2.1.6 高纯氧曝气式	16	2.1.7 膜生物反应器的能耗	46
2.1.7 传统延时曝气式	16	2.1.8 膜生物反应器的应用	47
2.1.8 氧化沟工艺	17	2.2 曝气生物滤池(BAF)	49
2.1.9 序批式反应器(SBR)工艺	18	2.2.1 曝气生物滤池(BAF)的实质	49
1.3 附着生长生物处理工艺		2.2.2 曝气生物滤池(BAF)的构造与影响因素	51
生物膜法	20	2.2.3 曝气生物滤池(BAF)系统的组成与工艺流程	54
2.2.1 生物滤池	20	2.2.4 曝气生物滤池(BAF)的设计计算	54
2.2.2 生物转盘	21	2.2.5 曝气生物滤池(BAF)的反冲洗	56
2.2.3 生物接触氧化	22	2.2.6 曝气生物滤池(BAF)的应用实例	57
2.2.4 生物流化床	24	2.3 循环活性污泥工艺(CAST)	58
1.4 自然处理工艺	26	2.3.1 循环活性污泥工艺(CAST)的组成与原理	58
2.3.1 稳定塘	26	2.3.2 循环活性污泥工艺(CAST)的循环操作过程	59
2.3.2 土地处理系统	27	2.3.3 循环活性污泥工艺(CAST)的设计计算	60
2.3.3 湿地处理系统	28	2.3.4 循环活性污泥工艺(CAST)的特征与应用	60
1.5 深度处理工艺	29		
2.3.1 混凝	29		
2.3.2 过滤	29		
2.3.3 吸附	30		
1.6 消毒处理工艺	31		

2.4 好氧颗粒化污泥反应器	61	3.8 废水厌氧生物处理系统的	
2.4.1 好氧颗粒污泥的形成过程	61	工艺设计	100
2.4.2 影响好氧颗粒污泥形成的因素	61	3.8.1 有关工艺设计计算	100
2.4.3 好氧颗粒污泥技术的应用	63	3.8.2 厌氧生物处理工艺流程的选择	102
参考文献	63	3.9 厌氧处理过程中有价	
第3章 废水厌氧生物处理新工艺	68	物质的回收	103
3.1 厌氧生物处理技术的特征与		3.9.1 厌氧发酵法生物制氢	103
应用现状	68	3.9.2 厌氧发酵法产甲烷	106
3.1.1 厌氧生物处理技术的特征	68	3.9.3 生物燃料电池产生电能	106
3.1.2 厌氧生物处理技术的应用现状	68	参考文献	112
3.2 厌氧生物处理的生物化学原理与		第4章 废水脱氮除磷处理新工艺	118
动力学	70	4.1 生物法脱氮原理	118
3.2.1 复杂有机物的厌氧降解过程	70	4.1.1 硝化与反硝化反应过程	118
3.2.2 厌氧生物处理动力学	73	4.1.2 硝化及反硝化反应动力学	119
3.2.3 影响厌氧生物处理的主要因素	75	4.1.3 常用硝化及反硝化反应的	
3.3 升流式厌氧污泥床(UASB)	83	动力学常数	120
3.3.1 UASB的构造	83	4.1.4 影响硝化及反硝化反应的	
3.3.2 UASB中颗粒污泥的形成与		主要因素	121
特征	84	4.2 实用生物法脱氮工艺	125
3.3.3 UASB的工艺设计	85	4.2.1 硝化工艺的基本流程	125
3.3.4 UASB的启动与运行	86	4.2.2 硝化-反硝化工艺的基本流程	126
3.3.5 UASB的工程应用	87	4.2.3 前置缺氧反硝化脱氮工艺	127
3.4 厌氧内循环反应器(IC)	87	4.2.4 后置缺氧反硝化脱氮工艺	130
3.4.1 IC的构造	87	4.2.5 同步硝化-反硝化脱氮	
3.4.2 IC的工艺特征	87	工艺-氧化沟	131
3.4.3 IC的工程应用	88	4.2.6 外加碳源的硝化-反硝化工艺	134
3.5 膨胀颗粒污泥床(EGSB)	88	4.2.7 序批式反应器(SBR)工艺	135
3.5.1 EGSB的工艺特征	89	4.3 新型生物脱氮工艺	135
3.5.2 EGSB的构造与工艺流程	89	4.3.1 短程亚硝化脱氮(SHARON®)	
3.5.3 EGSB的有关研究与工程应用	90	工艺	136
3.6 附着生长厌氧生物处理工艺	93	4.3.2 厌氧氨氧化(ANAMMOX)工艺	137
3.6.1 厌氧挡板反应器(ABR)	93	4.3.3 SHARON-ANAMMOX联合	
3.6.2 厌氧生物转盘(anRBC)	94	工艺	139
3.6.3 厌氧流化床(AFBR)与		4.3.4 其他新型生物脱氮工艺	140
厌氧膨胀床(AEBR)	95	4.3.5 新型生物脱氮工艺与传统硝化-反	
3.6.4 复合厌氧法(UASB+AF)	96	硝化工艺的比较	141
3.7 两相厌氧工艺	97	4.4 化学沉淀法去除与回收	
3.7.1 两相厌氧工艺的相分离技术	97	高浓度氨氮	142
3.7.2 两相厌氧工艺的工艺流程	98	4.4.1 基本原理	142
3.7.3 两相厌氧工艺的设计	99	4.4.2 影响化学沉淀除氨氮的因素	143
3.7.4 两相厌氧工艺的应用	99	4.4.3 磷酸铵镁的物理化学特性	145

4.4.4 磷酸铵镁的肥分特性	146	6.1.1 环境生物制剂的主要类型	185
4.5 生物法除磷原理	147	6.1.2 环境生物制剂的制备	185
4.5.1 聚磷微生物	148	6.1.3 生物制剂的添加与投加技术	186
4.5.2 强化生物除磷的一般原理	148	6.1.4 生物制剂的特点	187
4.6 实用生物法除磷工艺	148	6.1.5 生物制剂的安全性评价	187
4.6.1 A/O 工艺和 A ² /O 工艺	148	6.2 生物强化技术在废水处理	
4.6.2 UCT 工艺和 Johannesburg 工艺	149	中的应用	188
4.6.3 VIP 工艺	150	6.2.1 生物强化脱氮技术	188
4.6.4 五段 Bardenpho 工艺	151	6.2.2 生物强化除磷技术	192
4.6.5 PhoStrip TM 工艺	151	6.2.3 生物增强技术去除废水中难降解	
4.7 化学法除磷技术	153	有毒有害物质	199
4.7.1 化学沉淀法除磷原理	153	6.3 固定化微生物在废水处理	
4.7.2 影响化学沉淀法除磷的		中的应用	207
主要因素	153	6.3.1 固定化生物活性炭 (IBAC) 工程菌	
4.7.3 化学沉淀剂的选择	153	的筛选、驯化与固定	207
4.7.4 不同化学法除磷工艺的优缺点	154	6.3.2 固定化生物活性炭工程菌的固定	
4.7.5 化学法除磷实际运行效果	154	机制与协同净化作用	209
参考文献	155	6.3.3 固定化生物活性炭工艺处理	
第 5 章 废水人工湿地和新型稳定塘		低浓度甲醇废水	211
处理工艺	160	6.3.4 固定化生物活性炭工艺对洗浴	
5.1 人工湿地处理系统	160	废水中有机污染物的去除	212
5.1.1 人工湿地的研究与应用进展	160	6.3.5 臭氧-固定化生物活性炭工艺深度	
5.1.2 人工湿地处理系统的类型	161	处理石化废水	213
5.1.3 人工湿地去除污染物的机理	162	6.3.6 臭氧-固定化生物活性炭工艺去除	
5.1.4 人工湿地废水处理系统的特点	164	煤气废水中酚的研究	214
5.1.5 人工湿地处理系统的设计	164	5.4 生物絮凝剂的研发与应用研究	216
5.1.6 人工湿地的运行	169	6.4.1 生物絮凝剂的研究沿革	216
5.1.7 人工湿地的维护管理	169	6.4.2 生物絮凝剂的定义与分类	217
5.1.8 深圳市沙田人工湿地工程实例	170	6.4.3 生物絮凝剂作用机制	217
5.2 新型稳定塘及系统	173	6.4.4 生物絮凝剂的制备	218
5.2.1 水生植物塘	173	6.4.5 生物絮凝剂处理废水的研究与	
5.2.2 生态塘	173	应用现状	218
5.2.3 双曝气功率水平、多级串联		6.4.6 生物絮凝剂安全性评价	218
曝气塘系统	174	参考文献	219
5.2.4 高级组合塘系统 (AIPS)	175	第 7 章 废水的高级氧化处理工艺	224
5.2.5 附着生长废水稳定塘	177	7.1 高级湿式氧化	224
5.2.6 山东省东营市废水稳定塘处理		7.1.1 高级湿式氧化技术概述	224
系统工程实例	179	7.1.2 超临界水氧化法	225
参考文献	181	7.2 臭氧氧化	229
第 6 章 微生物强化废水生物处理技术	185	7.2.1 超声强化臭氧氧化技术	229
6.1 废水处理中常用环境生物制剂	185	7.2.2 臭氧-活性炭协同降解有机物	229

7.2.3	O_3/H_2O_2 高级氧化技术	230
7.2.4	O_3/UV 高级氧化技术	230
7.2.5	臭氧氧化在水处理中的应用	231
7.2.6	臭氧氧化去除水中石油类 污染物	232
7.3	二氧化氯氧化	234
7.3.1	二氧化氯的性质	234
7.3.2	二氧化氯与氯、臭氧消毒的 比较	235
7.3.3	二氧化氯的消毒工艺	236
7.3.4	二氧化氯在饮用水处理 中的应用	237
7.4	Fenton 体系	238
7.4.1	Fenton 体系的作用机理	239
7.4.2	电-Fenton 技术的特性	241
7.5	光催化氧化	245
7.5.1	TiO_2 作为光催化材料的 发展过程	245
7.5.2	TiO_2 光催化氧化作用	245
7.5.3	TiO_2 光催化剂现存的问题和 改善方法	246
7.6	电催化氧化	248
7.6.1	电催化降解有机物机理	248
7.6.2	电极	250
7.6.3	电催化氧化的应用及其局限性	250
7.7	声电、紫外光助催化氧化	252
7.7.1	声电催化氧化	252
7.7.2	超声波催化氧化	254
7.7.3	超声波-紫外光联合氧化	255
7.7.4	紫外光-Fenton 氧化体系	256
	参考文献	257
第 8 章 处理后废水的回收与 再利用技术		
8.1	废水回用的意义与再利用方式	260
8.1.1	废水回用的意义	260
8.1.2	废水的再利用方式	261
8.2	废水回用水质控制指标与标准	263
8.2.1	回用水的水质指标	263
8.2.2	回用水的水质标准	263
8.3	废水回用的处理方法与 工艺流程	269

8.3.1	回用水处理的基本方法及功能	269
8.3.2	回用水处理的工艺流程	269
8.4	废水回用的现状与途径	273
8.4.1	废水回用的现状	273
8.4.2	废水回用的途径	276
8.5	废水资源化实施策略	278
8.6	处理后废水回收与再利用 工程示范	281
8.6.1	项目概况	281
8.6.2	工程技术参数及指标	281
8.6.3	项目研究开发方案及说明	282
8.6.4	工程调试运行结果及分析	285
	参考文献	287

第 9 章 废水生物处理的污泥

	减量化技术	289
9.1	剩余污泥减量化的意义	289
9.2	污泥减量化的理论基础	290
9.2.1	解偶联代谢	290
9.2.2	维持代谢和内源呼吸	290
9.2.3	生物强化	291
9.2.4	生物捕食	291
9.2.5	溶胞-隐性生长	291
9.3	污泥减量化工艺	291
9.3.1	物理工艺	291
9.3.2	化学工艺	292
9.3.3	生物工艺	298
9.3.4	组合工艺	302
9.4	各种污泥减量化工艺评价	302
9.5	污泥减量化的重点发展方向	303
	参考文献	304

第 10 章 剩余污泥的消化与资源化

	技术	307
10.1	污泥处理的必要性	307
10.1.1	污泥的产量估算	307
10.1.2	污泥的污染物及危害	308
10.1.3	污泥的特性指标	309
10.2	污泥的传统处理/处置工艺	312
10.2.1	污泥浓缩	313
10.2.2	污泥厌氧消化	314
10.2.3	污泥好氧消化	317
10.2.4	污泥干化与脱水	318

10.2.5 污泥干燥与焚烧	320	11.4 臭气的收集与处理	356
10.3 污泥与其他高浓度有机废弃物的 高温-中温两相厌氧消化	321	11.4.1 湿式洗涤	356
10.3.1 高温-中温两相厌氧消化系统 工艺流程	322	11.4.2 吸附	357
10.3.2 污泥与有机物消化的性能	323	11.4.3 臭氧接触氧化	358
10.3.3 工程应用情况	323	11.4.4 燃烧	359
10.4 污泥的堆肥与农业利用	324	11.4.5 土壤/肥堆过滤	359
10.4.1 污泥农业利用的特性	324	11.4.6 生物洗涤	359
10.4.2 污泥堆肥处理工艺	326	11.4.7 利用废水处理厂内生物 处理设施	360
10.4.3 污泥农业利用的有益作用	328	11.5 臭味的防治对策	361
10.4.4 污泥农业利用的有害作用 及其控制	329	11.5.1 臭味的源头防治	361
10.5 污泥中有价物质的再用	332	11.5.2 臭味的化学药剂防治	361
10.5.1 污泥气的收集与利用	333	11.5.3 臭味的改性与屏蔽	362
10.5.2 将污泥转化为燃料	335	11.6 某废水处理厂的恶臭污染调查 分析与臭气处理研究	363
10.5.3 将污泥转化为燃气与甲醇	337	11.6.1 废水处理厂恶臭污染 调查与分析	363
10.5.4 将污泥转化为建筑材料	338	11.6.2 复合生物滤池除臭的中试 实验研究	364
10.5.5 将污泥转化为塑料	341	参考文献	368
10.5.6 将污泥转化为吸附剂	341	第12章 受污染水体的修复技术	370
10.5.7 其他应用	342	12.1 水体类别及其特征	370
参考文献	342	12.1.1 河流	370
第11章 废水处理中的臭味控制 与臭气处理	345	12.1.2 水库/湖泊	372
11.1 臭气、臭味的来源及危害	345	12.1.3 地下水	372
11.1.1 臭气组分及污染物特点	345	12.1.4 海洋	374
11.1.2 臭味的来源	346	12.1.5 其他水体	375
11.1.3 臭味的危害	347	12.2 水体污染类型	375
11.2 废水中引致臭味的化合物检测及 恶臭评价标准	348	12.2.1 物理性污染	376
11.2.1 废水中引致臭味的化合物及其 检测	348	12.2.2 化学性污染	378
11.2.2 恶臭评价标准	349	12.2.3 生物性污染	383
11.2.3 我国恶臭污染物排放标准与废水 处理厂臭气污染状况	351	12.3 受污染水体的物理修复	384
11.3 废水处理设施中逸散的挥发性 有机化合物(VOCs)	352	12.3.1 底泥疏浚	384
11.3.1 VOCs的逸散方式与地点	352	12.3.2 调水/置换	391
11.3.2 VOCs逸散的数学模型	354	12.3.3 曝气/复氧	392
11.3.3 活性污泥曝气池中 VOCs的传质	355	12.3.4 其他物理修复技术	395
		12.4 受污染水体的化学修复	395
		12.4.1 地下水的渗透反应格栅 (PRB)修复	395
		12.4.2 电动力学修复	399
		12.4.3 稳定和固化修复	402

12.5 受污染水体的生物修复	404	12.5.5 生态修复	420
12.5.1 生物修复分类及特点	404	12.5.6 生物修复的设计	422
12.5.2 微生物修复及影响因素	405	参考文献	423
12.5.3 微生物修复的应用	406	索引	433
12.5.4 植物修复	415		

CONTENTS

Preface

CHAPTER 1 Summarization of Conventional Wastewater Treatment Processes 1

1.1 Pretreatment and primary treatment processes	1
1.1.1 Screening	1
1.1.2 Grit removal	1
1.1.3 Flow equalization	2
1.1.4 Oil removal	3
1.1.5 Sedimentation	4
1.1.6 Centrifuge	8
1.1.7 Air-flotation	9
1.2 Suspended-growth biological treatment processes-activated sludge processes	12
1.2.1 Completely-mixed process	13
1.2.2 Conventional plug-flow process	14
1.2.3 High-loading aeration process	14
1.2.4 Step-feed activated sludge process	15
1.2.5 Contact stabilization process	15
1.2.6 High-purity oxygen process	16
1.2.7 Conventional extended aeration process	16
1.2.8 Oxidation ditch process	17
1.2.9 Sequencing batch reactor (SBR) process	18
1.3 Attached-growth biological treatment processes- biofilm processes	20
1.3.1 Trickling Filter	20

1.3.2 Rotating biological contactor	21
1.3.3 Biological contact oxidation process	22
1.3.4 Fluidized-bed bioreactors	24
1.4 Natural treatment systems	26
1.4.1 Stabilization ponds	26
1.4.2 Land treatment system	27
1.4.3 Wetland treatment system	28
1.5 Advanced wastewater treatment processes	29
1.5.1 Coagulation	29
1.5.2 Filtration	29
1.5.3 Adsorption	30
1.6 Disinfection processes	31
1.7 Selection of wastewater treatment technological processes	32
1.7.1 Wastewater quality	32
1.7.2 Discharge limits for wastewater treatment plant	33
1.7.3 Construction and operation cost	33
1.7.4 Natural conditions	34
1.7.5 Flow-rate and fluctuation of wastewater	34
1.7.6 Operation, management and construction	34
References	34

CHAPTER 2 Novel Technology of Aerobic Wastewater Treatment Processes

2.1 Membrane bioreactor (MBR)	36
2.1.1 Development and application status of MBR	36