

本著作受江苏大学专著出版基金资助出版

仿生植物 在对重污染水体 氮素去除中的应用

周晓红 著



FANGSHENG ZHIWU
ZAI DUI ZHONGWURAN SHUITI
DANSU QUCHU ZHONG DE YINGYONG

学工业出版社

本著作受江苏大学专著出版基金资助出版

仿生植物 在对重污染水体 氮素去除中的应用

周晓红 著



化学工业出版社

· 北京 ·

《仿生植物在对重污染水体氮素去除中的应用》主要包括当前我国水污染现状及其特征以及仿生植物在污水处理中的应用情况、仿生植物附着生物膜氮素含量分析、仿生植物附着微生物膜对水质净化效果的研究、不同季节条件下仿生植物附着生物膜氨氮降解效能的影响、不同水深条件下仿生植物附着生物膜氨氮降解效能的影响、环境因子对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响、仿生植物对水体污染物净化机制分析、仿生植物材料选择与管理维护技术、仿生植物应用到水质净化技术中的综合效益评价。本书可供从事污水处理的科研人员阅读,还可供政府机构工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

仿生植物在对重污染水体氮素去除中的应用/周晓红
著. —北京:化学工业出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-122-31243-3

I. ①仿… II. ①周… III. ①仿生-植物-应用-含
氮废水-水污染防治-研究 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 319379 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 陈 静

装帧设计: 关 飞

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 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 221 千字 2018 年 4 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

近几十年来,随着我国经济的快速发展,城市规模的不断扩增,城市河道污染问题日益严重。黑臭的河水不仅使城市风光黯然,而且直接威胁到城市居民的身心健康,制约城市的可持续发展。尽管各地为改善城市河道水环境采取了多项措施,现状依然严峻。而且,随着城市化进程的加剧,城市污水排放量将不可避免地呈现上升趋势,城市河道生态环境压力巨大。由于城市河道多渠道化,水流不畅、污泥淤积,导致河道自净功能严重退化,因此,寻求高效、安全、易行的城市污染河道水质净化技术,恢复退化的河流生态系统刻不容缓。其中,生物-生态修复技术由于具有安全性、经济性、实用性、系统性等诸多优点成为河流污染治理的主要技术手段,特别是对于受到严重污染的“荒漠化”河道,生物-生态修复已经成为许多城市河道水环境治理的关键技术。

其中,仿生植物作为一种新的生态修复技术,弥补了传统的生物-生态修复技术在水污染治理中的瓶颈,为严重污染的城市河道生态修复提供了新的技术手段。仿生植物,又称为“人工水草”或“生态填料”,即模仿天然水草形态及水生植物在水质净化中的主要功能,将自然水体中的生物膜技术与传统污水处理的填料技术结合起来,通过各种纤维加工形成新型水处理材料,在严重污染的“荒漠化”河道中构建“水下森林”,为污染水体中土著微生物提供适宜的栖息场所,促使微生物聚集、生长、繁殖、代谢,从而降解污染物,达到水质净化的目的。其具有以下方面的优势:具有巨大的比表面积,可为多种生物提供栖息附着场所;不受季节影响,可避免水生植物季相交替所造成的水质动荡变化;不受水体污染程度的制约,可避免水生植物在透明度低、溶解氧低以及污染物浓度高的水体中生长不良、根系短小的现状;可重复使用。基于以上特点,仿生植物自问世以来,迅速得到了广泛的研究和实际应用。

基于此,本书以仿生植物为研究对象,在镇江市古运河流域开展了一系列的野外原位挂膜试验以及室内模拟试验,旨在探讨仿生植物附着生物膜在污染水体中的生长特性,阐明仿生植物附着生物膜对污染河流氮素降解的效果及机理,同

时揭示环境因子对仿生植物附着生物膜脱氮效能的影响，最终有望为利用仿生植物附着生物膜修复城市污染河道水质提供技术指导和理论依据。

本书是作者近几年针对仿生植物开展的系列研究过程中所获得的第一手资料的汇总与集成。本书中涉及的相关研究项目受以下基金的资助，包括：国家自然科学基金（51109097），江苏省基础研究计划（自然科学基金）面上研究项目（BK2011520）以及中国博士后科学基金（20100481095）。此外，江苏大学专著出版基金以及江苏省水利科技项目（2016050）共同资助了本书的出版，在此表示衷心的感谢。

江苏大学张珂、王晓娟、刘彪、李义敏、张金萍以及王旻等同学直接参与了本书所涉及的相关试验研究工作，并为本书中的样品采集、试验分析、数据整理等作出了大量的努力；此外，相关课题完成以及本书写作过程中，得到了陈志刚、解清杰、储金宇、肖思思、许小红等同志的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

本书基础数据来源于“仿生植物对污染河道净化技术及机理”课题，在该课题研究及课题验收等过程中，得到了王国祥、杨柳燕、郭文禄、曹琴、顾维等专家的指导；在课题研究及其成果推广过程中，得到了江苏同盛环保技术有限公司的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免有错误或不妥之处，恳请各位专家及读者不吝赐教。

作者

2018年3月

目 录

第 1 章 概 述

1.1 当前我国河道水污染现状及治理瓶颈	1
1.2 仿生植物应用于水质净化中的可行性和必要性分析	3
1.3 研究目标	5
1.4 研究内容	5
1.5 技术路线	6

第 2 章 研究区域及研究方法

2.1 研究区域概述	7
2.1.1 研究区域自然环境介绍	7
2.1.2 镇江市古运河	7
2.2 仿生植物原材料选择及其辅助单元的制作	8
2.2.1 仿生植物原材料的选择	8
2.2.2 仿生植物的设计与制作	9
2.2.3 仿生植物布设的辅助单元	9
2.3 试验设计	10
2.3.1 仿生植物附着生物膜对水质净化效果的研究	10
2.3.2 仿生植物附着生物膜对污染水体氮素降解效能研究	11
2.3.3 挂膜季节及其水深对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能影响的试验设计	13
2.3.4 环境因子对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能影响的试验设计	13

2.3.5	仿生植物附着生物膜的净化机制研究试验设计	14
2.4	指标测定	15
2.4.1	水质理化指标测定方法	15
2.4.2	仿生植物附着生物膜的生物量测定	15
2.4.3	仿生植物附着生物膜硝化作用强度测定	16
2.4.4	仿生植物附着生物膜反硝化强度测定	16
2.4.5	仿生植物附着生物膜氮循环功能菌群分析	17
2.5	数据处理与统计	18

第3章 仿生植物附着生物膜对水质净化效果研究

3.1	仿生植物对水体氨氮去除效果分析	19
3.1.1	不同材质仿生植物对水体氨氮去除效果分析	19
3.1.2	不同密度仿生植物对水体氨氮去除效果分析	21
3.2	仿生植物对水体总磷去除效果分析	24
3.2.1	不同材质仿生植物对水体总磷去除效果分析	24
3.2.2	不同密度仿生植物对水体总磷去除效果分析	26
3.3	仿生植物对水体 COD 去除效果分析	28
3.3.1	不同材质仿生植物对水体 COD 去除效果分析	28
3.3.2	不同密度仿生植物对水体 COD 去除效果分析	30
3.4	小结	33

第4章 仿生植物附着生物膜对氮素的降解效能分析

4.1	仿生植物在古运河河口附着生物膜对氮素的降解效能分析	34
4.1.1	古运河河口水环境质量分析	34
4.1.2	古运河河口水体中仿生植物附着生物膜氮素含量分析	37
4.1.3	仿生植物在古运河河口附着生物膜对氮素的降解效能分析	40
4.1.4	本节小结	49
4.2	仿生植物在解放桥水体中附着生物膜对氮素的降解效能分析	50
4.2.1	解放桥水环境质量分析	50
4.2.2	解放桥水体中仿生植物附着生物膜氮素含量分析	53
4.2.3	仿生植物在解放桥附着生物膜对氮素的降解效能分析	56

4.2.4	本节小结	65
4.3	仿生植物在团结河水体中附着生物膜对氮素的降解效能分析	66
4.3.1	团结河水环境质量分析	66
4.3.2	团结河水体中仿生植物附着生物膜氮素含量分析	68
4.3.3	仿生植物在团结河附着生物膜对氮素的降解效能分析	72
4.3.4	本节小结	80
4.4	仿生植物在玉带河水体中附着生物膜对氮素的降解效能分析	81
4.4.1	玉带河水环境质量分析	81
4.4.2	玉带河水体中仿生植物附着生物膜氮素含量分析	84
4.4.3	仿生植物在玉带河附着生物膜对氮素的降解效能分析	87
4.4.4	本节小结	95
4.5	古运河不同样点仿生植物附着生物膜对氮素的降解效能的对比分析	96

第5章 环境因子对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响

5.1	溶解氧含量对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响	101
5.1.1	溶解氧对仿生植物附着生物膜对氨氮去除效果的影响	101
5.1.2	溶解氧对仿生植物附着生物膜处理系统中硝态氮的积累动态影响	104
5.1.3	溶解氧对仿生植物附着生物膜的硝化作用强度的影响	106
5.2	pH对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响	108
5.2.1	pH对仿生植物附着生物膜对氨氮去除效果的影响	109
5.2.2	pH对仿生植物附着生物膜处理系统中硝态氮的积累动态影响	112
5.2.3	pH对仿生植物附着生物膜的硝化作用强度的影响	114
5.3	氨氮浓度对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响	116
5.3.1	氨氮初始浓度对仿生植物附着生物膜对氨氮去除效果的影响	116
5.3.2	氨氮浓度对仿生植物附着生物膜处理系统中硝态氮的积累动态影响	120
5.3.3	氨氮浓度对仿生植物附着生物膜的硝化作用强度的影响	122
5.4	本章小结	124

第 6 章 仿生植物附着生物膜的特性研究

6.1 仿生植物附着生物膜生物量的动态变化分析	125
6.1.1 以立体弹性填料为原材料的仿生植物附着生物膜生物量 动态变化	126
6.1.2 以组合填料为原材料的仿生植物附着生物膜生物量 动态变化	128
6.1.3 以半软性填料为原材料的仿生植物附着生物膜生物量 动态变化	131
6.1.4 以悬浮填料为原材料的仿生植物附着生物膜生物量动态 变化	134
6.1.5 不同原材料的仿生植物附着生物膜生物量的对比分析	136
6.2 仿生植物附着生物膜的硝化作用强度动态变化分析	139
6.2.1 以立体弹性填料为原材料的仿生植物附着生物膜硝化作用 强度分析	139
6.2.2 以组合填料为原材料的仿生植物附着生物膜硝化作用 强度的动态变化	141
6.2.3 以半软性填料为原材料的仿生植物附着生物膜硝化作用 强度动态变化	143
6.2.4 以悬浮填料为原材料的仿生植物附着生物膜硝化作用强度 动态变化	145
6.2.5 不同原材料的仿生植物附着生物膜硝化作用强度的对比 分析	147
6.3 仿生植物附着生物膜的反硝化作用强度动态变化分析	149
6.3.1 以立体弹性填料为原材料的仿生植物附着生物膜反硝化 作用强度分析	149
6.3.2 以组合填料为原材料的仿生植物附着生物膜反硝化作用 强度的动态变化	151
6.3.3 以半软性填料为原材料的仿生植物附着生物膜反硝化 作用强度的动态变化	153
6.3.4 以悬浮填料为原材料的仿生植物附着生物膜反硝化作用 强度的动态变化	156

6.3.5 不同原材料的仿生植物附着生物膜反硝化作用强度的
对比分析 158

6.4 仿生植物附着生物膜的氮循环细菌数量分析 159

6.4.1 仿生植物附着生物膜的氨化细菌变化特征 159

6.4.2 仿生植物附着生物膜的硝化细菌的变化 161

6.4.3 仿生植物附着生物膜的反硝化细菌的变化 163

6.5 仿生植物附着生物膜差异的影响因素分析 164

6.6 仿生植物附着生物膜对水体净化机制分析 167

6.7 本章小结 168

第 7 章 仿生植物的管理与维护

7.1 仿生植物原材质的选择 169

7.2 仿生植物辅助单元的制作 169

7.3 仿生植物的管理维护 170

第 8 章 结论与展望

8.1 结论 171

8.2 展望 171

参考文献

第1章

概述

1.1 当前我国河道水污染 现状及治理瓶颈

城市的形成和发展与河流息息相关。巴黎的塞纳河、伦敦的泰晤士河、纽约的哈得孙河、上海的苏州河以及南京的秦淮河等都是所在城市社会、经济发展的血脉（宋庆辉等，2002）。城市河流作为城市生态平衡的重要因素，是城市景观中重要的自然地理要素，更是重要的生态廊道之一（岳隽等，2005），同时也是城市的绿色生命线，具有供应水源、防洪排涝、水路运输、旅游娱乐、提供绿地、美化环境、调节气候、保持自然生态、文化娱乐等多项功能，对减弱城市热岛效应，丰富城市景观多样性和城市物种多样性，拓展城市发展空间，为市民创造文体娱乐与亲近自然的空間起到了不可替代的关键作用（许木启等，1998；刘晓涛，2001）。

然而，随着经济的迅速发展、人口的增加、工业化和城市化步伐的加快，城市规模日益膨胀，导致城市对水资源的需求和依赖不断增大，随之带来的水质恶化也日益严重，许多河流水体颜色、气味均出现不同程度的恶化，部分河道甚至成为污水通道，导致水体出现溶解氧减少、营养物质增多、水温变幅加大、环境容量减小等河流生态系统退化的症状，水质的恶化造成河道内鱼虾等生物基本绝迹，水生生物群落结构简单化、生物多样性下降，特别是一些对人类有益的或有潜在价值的物种消失等严重后果；同时，河流两岸用于堤防、护岸的建筑、桥梁等人工景观建筑物强烈改变了城市河流的自然景观，使得河岸边生态环境严重破坏、生物栖息地消失以及由于水质污染带来的河流生态功能的严重退化，造成了

河流自然性以及其美学价值的大大降低。城市河道生态系统的日益退化,生态功能的不断削弱,景观质量的下降,严重影响了城市河道两岸居民的身心健康(白晓慧,2001),已对人类生存和社会经济发展构成越来越严重的威胁,因此,关于城市河流的整治已经成为全社会关注的重大环境问题。与此同时,治理城市河道污染、恢复退化的河流生态系统亦成为当前水生生态系统领域研究的热点。

面对日趋严重的河流污染现状,我国已开展了包括河道清淤、引水稀释、河道曝气、生物修复等在内的各种措施来改善城市河道的水环境质量,但是现状依然非常严峻。由于我国许多城市河道多渠道化,水流不畅、污泥淤积,河道自净功能严重退化,导致以上措施在实际应用中尚存在诸多不足。比如对城市河道而言,由于其水体水流较慢,污染物浓度较高,如果采用引水冲刷、曝气等物理手段进行净化,成本过高,且治标不治本。因此寻求高效、安全、易行的适合城市河道治理的生物-生态修复技术成为河道治理的前提。其中,生物-生态修复技术是当前城市河道水体污染治理的关键技术之一,具有安全性、经济性、实用性、系统性等诸多优点,成为河流污染治理的主要技术手段,特别是对于受到严重污染的“荒漠化”河道,生物-生态修复技术已经成为许多城市河道水环境治理的关键技术(Wu,2011;Zhou,2008;Kouki,2009)。

目前,生物-生态修复技术主要包括人工湿地(Gerke S等,2001;白军红等,2005)、氧化塘(Sooknah等,2004)、缓冲带(尹澄清等,1995)、物理生态工程(濮培民等,1997;王国祥等,1998;Wang等,2009)、生态浮床(宋祥甫等,1998;Mohan等,2010;Sun等,2009;Zhu等,2011)等技术。生物-生态修复技术主要依靠植物的根、茎、叶等组织对氮磷等营养元素的吸收、同化,以及植物根系附着微生物的降解、转化、分解等作用去除污染物,从而达到水质净化的目的,因此植物的良好生长以及植物根系附着微生物是生物-生态修复技术的核心和关键。然而,我国城市河道低氧、低透明度、高氨氮的污染现状,成为水生植物生长的胁迫因子,使得水生植物生长不良,甚至无法生长,由此导致水体异质性差,水体中土著微生物缺少栖息附着场所,城市河道呈现出一片“荒漠化”的景观,严重影响城市河道的自净能力(图1.1)。基于以上现状,近年来开展了包括生态浮床(Zhou等,2008;Li等,2010;Hu等,2010;Sun等,2009)等在内的一系列生态工程实现对污染河道水质的强化净化,已取得了一些成果。然而,由于我国城市土地资源非常紧缺,建立足够面积的人工湿地、缓冲带等在现阶段可能还难以实现,而生态浮床虽然能实现对水体污染物的原位治理,但浮床植物却面临着根系生长短小(图1.2)、植物在非生长季节衰亡带来的二次污染、浮床管理等一系列问题(周晓红,2009),成为限制该技术规模化应用的主要瓶颈,因此,寻求新的技术手段修复已严重退化的城市河道生态系统迫在眉睫。

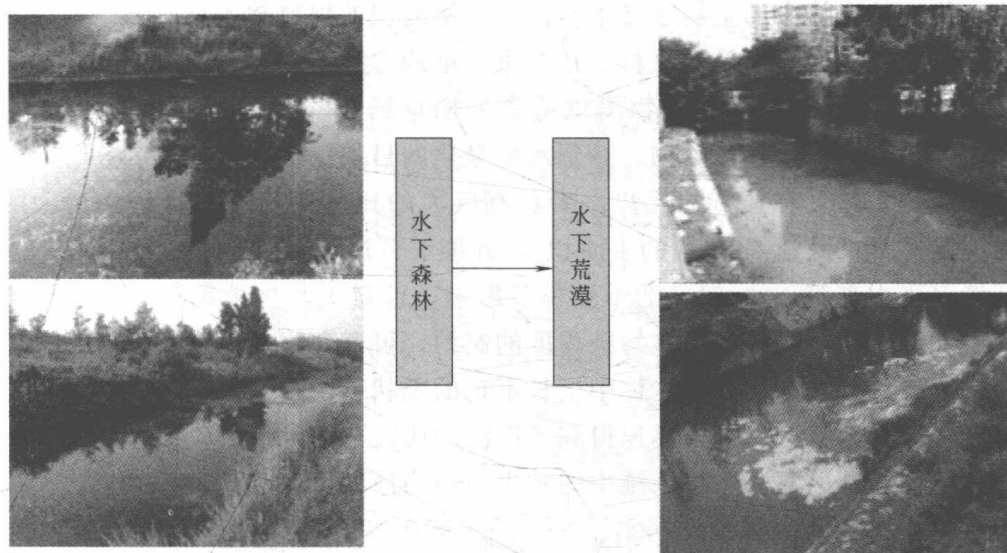


图 1.1 污染水体的水生植物退化现状

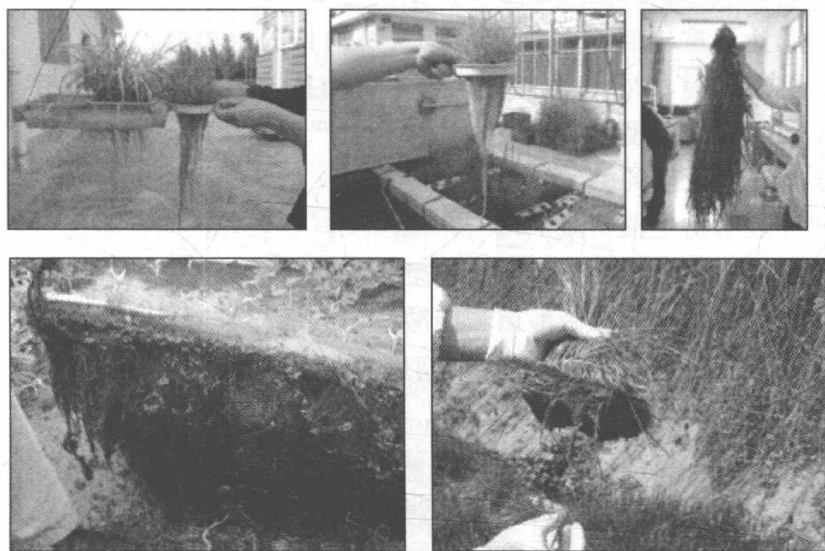


图 1.2 生态浮床植物在重污染水体中根系生长短小现状

1.2 仿生植物应用于水质净化 中的可行性和必要性分析

仿生植物的出现，则弥补了传统的生物-生态修复技术在水污染治理中的瓶颈，为严重污染的城市河道生态修复提供新的技术手段。仿生植物，又称为“人工水草”或“生态填料”，即模仿天然水草形态及水生植物在水质净化中的主要

功能,将自然水体中的生物膜技术与传统污水处理的填料技术结合起来,通过各种纤维加工形成新型水处理材料,在严重污染的“荒漠化”河道中构建“水下森林”,为污染水体中土著微生物提供适宜的栖息场所,促使微生物聚集、生长、繁殖、代谢,从而降解污染物,达到水质净化的目的。仿生植物作为一种新的水生生态修复技术,具有独特的优势:①具有巨大的比表面积(据报道,1m²的仿生植物能够提供高达245m²的表面积),并能够营造出适宜各种生物生存的生态微环境(张小东等,2008);②不受季节影响,可避免水生植物季相交替所造成的水质动荡变化;③不受水体污染程度的制约,可避免水生植物在透明度低、溶解氧低以及污染物浓度高的水体中生长不良的现状;④可重复使用。基于以上特点,仿生植物自问世以来,迅速得到了广泛的研究和实际应用。

仿生植物是以河流生态系统中的水生植物为原型,通过各种纤维加工形成的新型水处理材料(田伟君,2005,2008;宋英伟等,2008)。通过仿生植物来模拟水生植物在污染河道生态修复中的功能。仿生植物巨大的表面积为污染水体中的土著微生物提供适宜的栖息场所,促使微生物聚集、生长、繁殖、代谢,从而降解污染物,达到重建健康的河流生态系统的目的(周晓红等,2012;夏四清等,2003;陈志刚等,2011)。因此,仿生植物技术为河道污染治理提供了新的思路。仿生植物作为新型水处理技术,在当前严重恶化的城市河道水质净化方面已越来越多地受到人们的关注。

现有研究表明仿生植物对重污染河道水质具有较好的净化效果。如田伟君等模仿水生植物臭轮藻的形态设计出新型生物填料,在林庄港河道挂膜运行半年后发现,附着在填料丝上的亚硝酸菌和硝酸菌的数量与氨氮去除率变化相匹配,而且对水体氨氮具有较好的去除效果。肖羽堂等研究则表明,在水体浊度90~300 NTU、NH₄⁺-N 0.5~10mg/L、COD_{Mn} 4.0~10.8mg/L条件下,仿生植物附着生物膜生物相丰富,包括了好氧的异养菌、自养菌以及大量的丝状菌,线虫类、轮虫类以及寡毛虫类的微型动物等,这些微生物可在生物膜上形成更高级的食物链,通过生物共生机制,实现去除污染物的目的。宋英伟等采用弹性生物填料和水体曝气复合的方法,对北京某疗养院5000m²景观水进行提高透明度和降低水中营养盐的试验研究。其研究结果为水体透明度从25cm提高到120cm,TN、NH₄⁺、NO₃⁻、TP浓度分别降低22.4%、86.6%、90%和73.3%,水体DO含量由4.3mg/L增加到7mg/L,水体透明度的提高最终为沉水植物以及健康的水生生态系统恢复创造了非常有利的条件。刘波等选用3种材料制作的仿生植物进行原位和专有菌株的挂膜培养试验用以考察对污染水体的净化效果,其结果表明:原位培养对于COD的去除较好,去除率可达76.92%,专有菌株培养对氨氮的去除较好,去除率达到了91.47%,2种挂膜方式对TP的去除率相近,分别为73.04%和70.43%。周勇等将生物填料应用于城市重污染河道治理,研究了随时间的推移,填料垂直方向上生物膜的膜量、膜组成、膜活性变化规律以及

生物填料对水质的改善效果,结果表明在挂膜进行到第40天,当悬挂密度为24根/ m^2 时,对水质改善达到最佳效果,对TN、TP、COD、叶绿素a、浊度的去除率分别为53%、35%、50%、5%、44%。魏巍等将一种新型悬浮填料应用于水库原水的原位生物脱氮处理系统中,采用菌液对该填料进行人工加速挂膜,考察了该系统的生物降解过程及脱氮效果,结果表明在水温为 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 、DO为3.0~4.0mg/L以及原水 COD_{Mn} 、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、TN、TP分别为5.50mg/L、0.24mg/L、0.008mg/L、1.690mg/L、2.120mg/L、0.06mg/L的条件下,系统对 COD_{Mn} 、 NO_3^--N 、TN均有较好的去除效果,运行28天后去除率分别为21%~27%、50%~76%、50%~78%,整个运行期间对 NH_4^+-N 的去除率基本在45%~92%之间。可见,该技术应用到自然水体时,可实现对水质的强化净化。

仿生植物在有效地净化河流污染水体的同时,还具备以下特点:①不影响河流的航运和泄洪等功能;②不破坏河流生态系统;③适合河流复杂多变的水流条件;④比表面积大,空隙率高;⑤化学与生物稳定性强,不溶出有害物质;⑥价格便宜,便于安装。因此,仿生植物具有实际的可操作性和较强的实用价值,在河流生态修复中具有广阔的应用前景。

1.3 研究目标

基于此,以不同填料为原材料所制成的仿生植物为载体,在镇江市古运河干流及其主要支流开展野外原位挂膜试验以及室内模拟试验,旨在探讨仿生植物附着生物膜在污染水体中的生长特性,阐明仿生植物附着生物膜对污染河流氮素降解的效果及机理,同时揭示环境因子对仿生植物附着生物膜脱氮效能的影响,最终为利用仿生植物附着生物膜技术修复城市重污染河道水质提供技术指导和理论依据。

1.4 研究内容

- ① 仿生植物附着生物膜对水质净化效果的研究;
- ② 仿生植物附着生物膜对污染水体氮素降解效能研究;
- ③ 环境因子对仿生植物附着生物膜对氨氮降解效能的影响;
- ④ 仿生植物附着生物膜的特性研究。

1.5 技术路线

课题研究的技术路线图如图 1.3 所示。

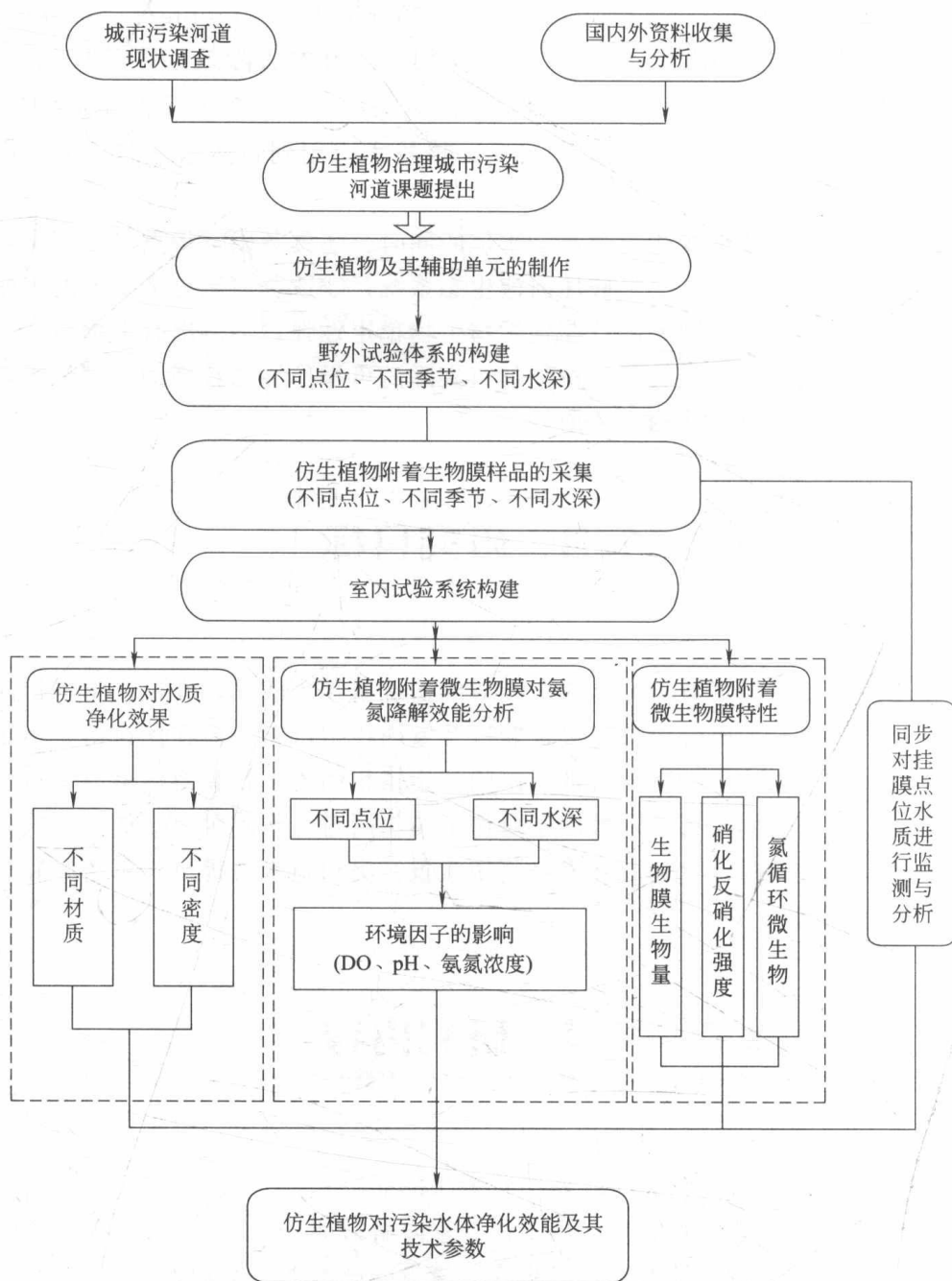


图 1.3 课题研究的技术路线图

第2章

研究区域及研究方法

2.1 研究区域概述

2.1.1 研究区域自然环境介绍

研究区域位于江苏省镇江市。镇江市处于江苏省西南部，长江下游南岸，地处长江三角洲的顶端，西邻南京，东南接常州，北滨长江，与扬州、泰州隔江相望，是国家历史文化名城，长江下游重要的港口、工贸、风景旅游城市。研究区域属于北亚热带季风气候区，年平均温度 15.6°C ，年平均降水量 1088.2mm ，该区域四季分明，温暖湿润，热量丰富，雨量充沛，无霜期长，降水主要集中在5—9月，占全年总降水量的 $60\%\sim 80\%$ 。

2.1.2 镇江市古运河

镇江市古运河起源于金山湖，由长江入口平政桥至谏壁三汊河口入京杭大运河，其水源受长江补给。古运河是镇江市最长以及最古老的一条人工河流(Zhou等, 2016)，全长 16.69km ，汇水面积 80.81km^2 ，平均水深 $4\sim 6\text{m}$ ，分为上、中、下三段，其中上段贯穿镇江市区。古运河是镇江老城区最大的受纳水体，亦是镇江市的母亲河，在镇江城市景观构建中发挥着巨大的作用。古运河的主要支流有周家河、四明河、团结河、玉带河等，均以古运河为一级受纳水体(表 2.1)。古运河在平政桥、丹徒、谏壁河口各设有节制闸一座，因此其属于受控水体，水动力条件较为稳定，受降雨等影响较小。