

生态治污技术与工程

张毅敏 丘锦荣 等 编著



科学出版社

014010324

X505

45

生态治污技术与工程

张毅敏 丘锦荣 等 编著



科学出版社

北京

X505/45



北航

C1696795

内 容 简 介

近年来,利用自然条件和天然能源,基于生态学原理研发的环境污染治理的生态治污技术迅速发展。采用生态治污技术建设的生态工程具有投资小、维护和运行费用低廉、管理简便等优点,极大改善和修复水域生态环境,有些还可回收资源和能源,产生一定经济效益,在国内外得到广泛应用。作者收集了我国部分地区的生态治污工程及其所在地区的社会、经济资料,包括生态治污工程的类型、规模、治污效果、工程建设和运行费用,生态治污工程建设的环境条件,以及相关的自然、社会、经济基本情况等,对所调查的生态治污工程进行评价,分析不同类型生态治污工程的技术特点、存在问题,从当地社会经济、环境条件和实际运行效果分析生态治污工程的适用条件,定性或定量评估生态治污工程效益,对生态治污工程进行分类。

本书可为从事水体污染控制与生态保护的科技人员科研实践,以及基层环保工作者实施生态工程时提供技术指导和方法借鉴。也可作为高等院校师生的课外参考书。

图书在版编目(CIP)数据

生态治污技术与工程/张毅敏,丘锦荣等编著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-038794-3

I. ①生… II. ①张… ②丘… III. ①生态工程-应用-环境污染-污染防治-研究 IV. ①X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 236937 号

责任编辑:伍宏发 曾佳佳 / 责任校对:胡小洁

责任印制:肖 兴 / 封面设计:许 瑞

科 学 出 版 社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 10 月第一次印刷 印张: 9 1/2

字数: 190 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生态治污技术与工程》

编辑委员会

主 编：张毅敏 丘锦荣

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 帅	孔祥吉	卢文洲	刘清云
杨 飞	何金华	汪龙眠	张龙江
易 皓	晁建颖	高月香	蔡金傍
魏清伟			

前 言

随着社会进步和经济发展，人类对环境资源开发利用活动日益增加，我国生态环境保护面临生态退化和复合性环境污染的严峻形势，江河湖海水体污染和湖库水华暴发事件频繁发生，严重影响了人民的生产生活，尤其是饮用水安全，已经成为制约社会经济可持续发展的重大环境问题。因此，治理污染、改善水质、修复水域生态环境的任务迫在眉睫。

随着环境保护工作的深入，我国农村生活污染、农田污染、畜禽污染、城乡降雨径流污染的控制和治理，城市和工业污水处理厂出水的深度处理，污染水体的水质改善都需要新的处理技术，目前正在实施的新农村建设和良好湖泊保护工作也迫切需要提供可借鉴的适用技术。《国务院环境保护委员会关于防治水污染技术政策的规定》要求：积极开发和研究高效、低能耗和能源部分自给的人工生物处理等城市污水处理技术和工艺流程，以节约投资、降低维护费和运行费。近年来，利用自然条件和天然能源，基于生态学原理研发的环境污染治理的生态治污技术迅速发展。采用生态治污技术建设的生态工程具有投资小、维护和运行费用低廉、管理简便等优点，极大改善和修复水域生态环境，有些还可回收资源和能源，产生一定经济效益，在国内外得到广泛应用。在我国，氧化塘、人工湿地、高效藻塘、生态河道、生态浮岛、生态砾石床等生态治污工程技术也取得了长足的发展。但是，由于处于发展的初期阶段，生态治污技术尚不完善，若对影响因素，如地理位置、气候特征、污染负荷、停蓄时间等考虑不周，管理措施不力，则达不到预期效果，甚至导致工程失败，影响其推广。

2009年4月，时任国务院副总理李克强就生态治污专门作了重要批示：

“生态治污的成功经验要注意总结和有效推广”。为全面贯彻落实中央精神，总结和推广生态治污的成功经验，环境保护部污染防治司组织环境保护部南京环境科学研究所和环境保护部华南环境科学研究所开展了“生态治污技术调查与评价”工作。本书是在此工作成果的基础上编写的。作者收集了我国部分地区的生态治污工程及其所在地区的社会、经济资料，包括生态治污工程的类型、规模、治污效果、工程建设和运行费用，生态治污工程建设的环境条件以及相关的自然、社会、经济基本情况等，对所调查的生态治污工程进行评价，分析不同类型生态治污工程的技术特点、存在问题，从当地社会经济、环境条件和实际运行效果分析生态治污工程的适用条件，定性或定量评估生态治污工程效益，对生态治污工程进行分类。

本书介绍的一些生态工程案例是从收集的生态治污工程中筛选的具有一定代表性的不同类型的案例，并对这些案例进行了简单评价。由于时间仓促，为了及早为正在或将要进行生态治污的地方政府管理和技术人员提供可参考的信息，尤其是从公开发表的刊物或材料中摘录的一些案例，还未来得及征求其技术研发、项目设计、施工建设人员的意见。由于作者水平有限，对一些工程的评价难免粗浅，还望大家给予批评指正。

作 者

2012 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 生态治污基本概念	1
1.2 生态治污技术原理	1
1.3 生态治污工程类型	2
1.4 生态治污工程特点	2
1.5 国内外生态治污技术发展动态	3
1.5.1 生态治污工程的发展过程	3
1.5.2 生态治污工程存在的问题	5
第 2 章 生态治污技术	6
2.1 陆域生态治污技术	6
2.2 水域生态治污技术	8
2.2.1 植被缓冲带技术	8
2.2.2 前置库技术（地表径流净化技术）	9
2.2.3 生物操纵技术	10
2.2.4 水生植物修复技术	10
2.2.5 生物浮床技术	11
第 3 章 生态治污工程实践	12
3.1 生活污水处理技术工程案例	12
3.1.1 南京市中心村生活污水处理生态工程	13
3.1.2 无锡市严巷村生活污水处理生态工程	16

3.1.3	浙江省报福镇石岭村生活污水处理生态工程	19
3.1.4	扬中市三茅镇生活污水处理生态工程	22
3.1.5	红螺寺生物通道及生物泳动床工程	25
3.1.6	武汉东西湖区慈惠农场生活污水人工湿地工程	27
3.1.7	深圳白泥坑人工湿地	29
3.1.8	云南省萍乡市芦溪县南坑人工湿地污水处理工程	32
3.1.9	乐清市黄华镇华山村生态净化床处理工程	34
3.1.10	无锡市尹家村污水深度处理工程	36
3.2	污水处理厂尾水深度处理工程案例	40
3.2.1	无锡城北污水处理厂尾水人工湿地处理示范工程	40
3.2.2	宁夏银川中冶美利纸业林纸一体化高浓废水循环利用工程	45
3.2.3	观澜河高效垂直流人工湿地	47
3.2.4	山东平阴污水处理厂尾水生态处理工程	50
3.3	区域面源污染综合整治工程案例	52
3.3.1	面源污染的生态工程控制——平原河网区污染强化净化前置库工程	52
3.3.2	长广溪湿地公园人工过滤系统	64
3.3.3	流域农业面源污染治理——安吉县深溪河流域农业面源污染治理工程	70
3.4	水体富营养化控制与生态修复工程案例	74
3.4.1	水源地生态修复工程——梅园水厂取水口生态修复工程	74
3.4.2	云南省玉溪市江川县九溪人工湿地	79
3.4.3	广东省惠州西湖生态修复工程	82
3.5	低污染水体净化与水质改善工程案例	85
3.5.1	河流综合治理工程——林庄港河道水质强化净化工程	85
3.5.2	滇池入湖河流水环境治理工程	100
3.5.3	景观河道的原位修复——上海市景观河道治理示范工程	103

3.5.4 河口人工湿地工程——南四湖新薛河入湖口人工湿地示范工程	105
3.5.5 深圳市洪湖公园景观改善工程	110
3.5.6 月湖人工湿地工程	113
3.5.7 莲花湖人工湿地工程	117
3.5.8 三角湖人工湿地工程	120
3.5.9 昆明大清河高效生物稳定塘	124
第4章 生态治污工程应用前景与展望	128
4.1 生态治污在污染防治中的地位	129
4.1.1 工业化治污必要的深化补充	129
4.1.2 农村面源污染控制的主要手段	129
4.1.3 污染水体净化和生态修复必然选择	129
4.2 生态治污工程应用条件	130
4.2.1 自然地理状况	130
4.2.2 社会经济发展概况	130
4.2.3 周边建设环境	131
4.2.4 处理水质要求	131
4.2.5 处理效果的要求	131
4.3 生态治污工程的配套措施与保障	132
4.3.1 政策保障措施	132
4.3.2 技术保障措施	133
4.3.3 生态治污工程运行管理	134
4.3.4 生态治污工程推广运用	136
4.3.5 生态治污工程宣传教育	137
参考文献	138
后记	141

第1章 概述

1.1 生态治污基本概念

“生态治污”是利用生态技术净化污水、改善水质以及控制污染的一项重要措施，是人们利用自然生态系统净化环境或应用生态学基本原理和方法，借助自然条件，构建污染治理设施，进行的环境污染治理的行为。生态治污涉及污水处理、面源污染控制、污水处理厂出水深度处理、受污染水体的治理、自然生态系统自净能力的提升、遭受破坏的生态环境的修复、重建等。

1.2 生态治污技术原理

生态治污主要包括直接利用自然生态系统的功能治理环境污染和按照生态学原理构建污染治理设施治理环境污染两种方式。

直接利用自然生态系统的功能治理环境污染是指充分发挥自然生态系统物质循环、能量流转、信息传递功能和自组织作用与自我修复功能，使进入生态系统的污染物被分解、消化、循环利用，环境污染最终得到治理。

按照生态学原理治理环境污染是指在生态学原理指导下，利用天然材料和自然能源，仿照自然生态系统物质循环、能量流转、信息传递的过程和方式，构建污染治理设施或处理系统，治理环境污染。

1.3 生态治污工程类型

生态治污可以有不同的分类方法。例如,根据生态治污的目的不同进行分类,第一类是污水处理,用于直接处理污水、控制面源污染或对污水处理厂出水进行深度处理等;第二类是水体净化,用于净化受污染的水体;第三类是生态修复,提高水体的自净能力,促进生态系统重建与稳定。按照生态治污工程类型分类,可分成人工湿地、氧化塘、砾石床、土地处理系统、生态河道、生态沟渠、生物操纵等。按照生态治污的生物主体分类,可分为以植物为主体,以动物为主体,以微生物和藻类为主体的生态治污工程。

1.4 生态治污工程特点

1) 因地制宜,利用自然条件

生态治污可以根据污染治理的需求,充分利用当地自然条件,如沟塘洼地、荒坡滩地、湖荡湿地等,因地制宜,构建适宜的污染治理设施或生态工程,控制污染,改善环境。

2) 能耗低

生态治污工程的能源主要来自太阳能,太阳能在生态系统中沿着食物链或食物网传递、流转,工程中较少使用机械设备,工程运行过程中电能消耗相对较低。而有些生态治污工程利用水能、风能、重力势能(地势)等,更加节省人工能源。

3) 就地消纳,管网简单

生态治污工程普遍用于治理农村分散污染,一般建在污染源附近,实现

污染物就地消纳,不需要建长距离输送污水的复杂管网,必要时可以利用现有的沟渠和河道输水,这样就节省了污水收集管网的建设和日常维护。

4) 投资少,运行维护简单,处理成本低

生态治污工程充分利用自然条件,因地制宜,就地取材,工程投资相对较低。工程运行过程中不需要或很少需要投加药剂,不需要或很少需要人工每日操作,运行管理和工程维护比较简单。由于耗材少、能耗低、用工省,运行费用自然不高。

5) 美化环境,改善景观,提高生物多样性

用于生态修复或生态重建的生态工程,修复了遭受破坏的生态系统,景观得到改善。一些生态修复工程在设计时考虑了环境美化因素,使工程所在地的环境更加优美。

生态修复主要修复受损生态系统的结构和功能,提高生态系统的稳定性,一个成功修复的生态系统其结构比较合理,功能比较健全,系统比较稳定,而稳定生态系统的重要标志就是系统中生物物种非常丰富。

1.5 国内外生态治污技术发展动态

1.5.1 生态治污工程的发展过程

最早的生态治污工程应推土地处理系统,是利用土地及其中微生物和植物根系对污水(废水)进行处理,同时又利用其中水分和肥分促进农作物、牧草或树木生长的工程,处理方式一般为渗滤(包括快速渗漏和慢速渗漏,将污水排放到粗砂、壤土和砂壤土土地上,在渗滤过程中得到处理,并补充地下水)和地表漫流等^[1]。而随后发展的人工湿地始于20世纪60年代,主要产生于德

国、荷兰等国家,污染物在土壤、微生物及植物组成的稳定生态系统的良好净化作用下得以降解^[2-4]。几乎在相同时期,氧化塘、高效藻塘、前置库技术等也蓬勃发展,在水污染治理方面发挥了重要作用^[5,6]。另一方面,利用生物操纵等方法调整水生生态系统结构,在生态修复方面也得到广泛应用^[7]。

我国从“六五”期间就开始研究利用生态工程技术处理污水和净化受污染的河流、湖泊水体,经历了从点源污染治理到面源污染治理,从小范围实验示范到大范围推广,从单元到集成化等发展过程,涌现了大量有效的工程实例,获得很多有益的经验。如利用天然洼地治理城市混合污水的齐齐哈尔氧化塘、利用自然环境的净化能力治理工业废水的鸭儿湖多级氧化塘等工程^[8-16]。1990年7月,深圳建成我国第一个人工湿地污水处理工程——白泥坑人工湿地处理系统,占地面积189亩*,以芦苇、大米草、荇菜等植物为主,构成并联潜流湿地,处理村镇生活污水与企业的混合废水,处理能力为3100m³/d。经过两年的试验运转,处理效果较好,管理方便,运行费用较低。此后,在具有条件的地区,人工湿地与其他物化处理工艺相结合,广泛应用于污水的处理,并且规模也有所扩大。

随着湖泊富营养化问题越来越严重,生态治污技术也应用到入湖氮、磷等营养盐的控制和受损湖泊的修复和生态重建中,一大批生态治污工程相继建设。

“十五”以来,为解决突出水环境问题、改善水环境质量,我国各级政府规划安排了大量污染治理和生态修复工程,各类生态治污技术被引入、发展和革新,如污染治理方面的稳定塘技术、人工水塘技术、高效藻塘技术、土地渗滤处理技术等;生态修复方面的缓冲带技术、前置库技术、生物操纵技术、生物浮床技术等,取得了良好的效果,生态治污工程实践进入全面开花、迅猛发展时期。

* 1亩 $\approx$ 666.7m²。

1.5.2 生态治污工程存在的问题

1) 尚无技术规范

生态治污工程正处于迅速发展时期,各地开发的生态工程种类繁多,工艺流程多种多样,尚未进行系统总结、提炼,形成技术规范。因此,生态工程还没有统一的设计参数,无设计规范,无技术标准,无管理规范,也很难对其处理效果进行定量预测,这也限制了生态治污技术的发展和运用。

2) 处理效果随季节波动较大

生态治污工程主要利用植物-微生物的新陈代谢实现对污染物的降解和吸收。我国大部分地区一年四季气温变化很大,在冬季,植物和微生物的生命活动受到低温的限制,降低了工程的处理效果。

3) 长效运行管理机制不健全

重建轻管是生态治污工程普遍存在的问题。很多地方生态治污工程建成后管理不善,造成处理效果不佳,甚至工程建成后无人管理,运行几年后工程完全失效,恢复难度较大。

4) 工程资金筹措机制不完善

由于生态治污工程大多用于农村地区分散污染源的处理或遭受破坏水域的生态修复,或因农村资金筹措困难,或因责任主体不明确,生态工程建设资金的筹措没有正常的渠道,运行费用更没有保障。

第 2 章 生态治污技术

生态治污技术根据使用目的、治污原理等有多种分类方法，本书按陆域和水域对生态治污技术进行阐述。陆域生态治污技术指用于直接处理污水、控制面源污染或对污水处理厂出水进行深度处理等方面的技术；水域生态治污技术指用于净化受污染的水体，或提高水体的自净能力，促进其生态系统重建与稳定等方面的技术。

2.1 陆域生态治污技术

1) 人工湿地

人工湿地是 20 世纪 60 年代始发于德国的一种污水处理技术。通常，人工湿地主要由不同类型的填料和其上种植的各种植物及布水、排水系统组成，氧气通过植物茎秆传输到根系及周围的填料中，构成有利于好氧、兼氧和厌氧微生物生长、繁殖的系统，污染物在土壤、微生物及植物组成的、具有良好净化作用的稳定生态系统中得以降解。根据布水类型，人工湿地可分为两类，第一类是表层流湿地。这种湿地填料层较薄，所选植物根系发达但不要求植根太深。废水在人工湿地表层漫流，与自然湿地最为接近。这种湿地所需填料较少，施工和管理比较方便，缺点是不能充分利用垂向空间，所需土地面积较多。第二类是潜流湿地，包括水平流湿地和垂直流湿地。水平流湿地指污水在湿地床的内部以水平推流方式流动的湿地，垂直流湿地指污水在湿地床的内部以垂直流方式流动的湿地。潜流湿地利用植物丰富根系和填料

表面生长的生物膜净化、表层土的截流以及植物吸收等作用对污水进行处理。由于水流在地表下流动,保温性能好,处理效果受气候影响不大,卫生条件较好,是目前采用较多的一种类型。为了提高人工湿地的处理效果,人们在布水方式、进出水调控等方面进行了深入研究,取得较多进展,如通过交替进水和空气运动,氧的传递速率和消耗量大大提高;通过几种类型的人工湿地的合理组合,提高污水处理效率,减少影响湿地运行的不利因素。

2) 稳定塘

稳定塘又称氧化塘或者生物塘,是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物的总称。其净化过程与自然水体的自净过程相似。通常是将土地进行适当的人工修整,建成池塘,并设置围堤和防渗层,依靠塘内生长的微生物来处理污水。国内外在传统稳定塘的基础上开发了处理效果更好的变形稳定塘工艺,例如美国的高级综合稳定塘、我国的串联结构式综合生物塘等。

3) 高效藻类塘

美国加利福尼亚大学伯克利分校的 Oswald 提出并发展的高效藻类塘 (high rate algal pond, HRAP), 是对传统稳定塘的改进, 其充分利用菌藻共生关系, 对污染物进行处理。因其最大限度地利用了藻类产生的氧气, 塘内的一级降解动力学常数值比较大, 故称之为高效藻类塘。它不同于传统稳定塘的特征主要表现在: 较浅的塘深度, 一般为 $0.3\sim 0.6\text{m}$, 而传统稳定塘的深度一般在 $0.5\sim 2\text{m}$; 有一垂直于塘内廊道的连续搅拌的装置; 较短的停留时间, 比传统稳定塘的停留时间短 $7\sim 10$ 倍; 宽度一般较窄。高效藻类塘的这些特点就使得它与传统稳定塘相比有运行成本低、维护管理简单等优点, 又克服了传统稳定塘停留时间过长、占地面积大等缺点, 在处理农村及小城镇污水方面具有广阔的应用前景。

4) 快速渗滤处理系统

将污水投配到具有渗透性能的土地表面,污水在向下渗滤的过程中,经过一系列物理、化学及生物作用下,得到净化处理。其特点为污染物去除率较高,水力负荷较高。

5) 地下渗滤处理系统

将经过预处理后的污水通入设于地下的渗滤田,污水向四周扩散中通过过滤、沉淀、吸附和微生物的降解作用,得到净化。

2.2 水域生态治污技术

2.2.1 植被缓冲带技术

1) 农田缓冲带

缓冲带是指邻近受纳水体,有一定宽度,具有植被,在管理上与农田分割的地带。其作用在于避免污染源与河流、湖泊贯通,减少侵蚀迁移的土壤进入水体,截持土壤侵蚀的养分污染物,改善水质。在截留粗砂颗粒和颗粒吸附物、促进水流下渗、截持黏土及可溶性污染物方面,缓冲带具有显著功效。

单一缓冲带类型在实际中的应用很少见,为了达到防治农村面源污染的更好效果,将各种类型的缓冲带进行合理配置。例如,在杭州的富春江、千岛湖流域内,缓冲草地带和缓冲林带有机地相结合。缓冲带在控制面源污染的同时,还可以增加生物多样性和植被覆盖率,从而改善区域环境。

在美国农村及边远地区,面源污染控制重点是中小型畜禽养殖场及农药