

人工湿地植物配置与管理

Plant Configuration and Management in Constructed Wetlands

陈永华 吴晓芙◎等著



中国林业出版社

人工湿地植物配置与管理

Plant Configuration and Management in Constructed Wetlands

陈永华 吴晓芙◎等著



中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工湿地植物配置与管理 / 陈永华 吴晓芙等著 . — 北京 : 中国林业出版社, 2012.2
ISBN 978-7-5038-6495-7

I . ①人… II . ①陈… III . ①人工湿地系统
—植物—栽培技术 IV . ① P941.78 ② S31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 026103 号

本书编委会

李 强 陈亮明 陈明利 李科林 喻勋林
李家湘 柳 俊 付伟华 付新喜 郝 君

中国林业出版社

责任编辑: 李 顺

出版咨询: (010) 83223051

出 版: 中国林业出版社 (100009 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号)

印 刷: 北京卡乐富印刷有限公司

发 行: 新华书店北京发行所

电 话: (010) 83224477

版 次: 2012 年 2 月第 1 版

印 次: 2012 年 2 月第 1 次

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13

字 数: 300 千字

定 价: 68.00 元

前言

植物是人工湿地污水处理系统的核心要素，人工湿地系统的生物组成、生态结构与功能以及系统的污水净化能力与稳定性在很大程度上取决于植物的配置与管理。

近年来关于湿地植物方面有价值的文章与书籍很多，但大多数是研究湿地植物的识别、筛选、富集特性与去污能力，而有关人工湿地污水处理系统中的植物配置与管理方面的书籍和技术资料较少。为此，作者希望本书能够为从事人工湿地技术设计、施工、管理和维护人员提供一些“可操作”的帮助。

作者所在的课题组（中南林业科技大学环境科学与工程研究中心）在国家环保公益“长株潭矿区污染控制与生态修复技术研究（200909066）”、国家科技部“人工湿地污水处理系统中有效微生物与富集植物培育技术（2007DFA91420）”、国家林业局“湿地技术在重金属污染区植被修复中的推广应用[2010]43号”、湖南省重点学科、重点试验室和省教育厅“组合湿地污水处理技术推广与转化（08CY005）”、湖南省科技厅“组合人工湿地污水处理与超富集景观植物水培诱导技术中试（2006SK4035）”、湖南省质监局“人工湿地污水处理系统中植物配种标准化研究（2010-411）”等项目的支持下，在湿地植物领域开展了十多年的研究，积累了大量技术信息资料。课题组的“景观型组合人工湿地污水处理系统设计与工程技术”于2009年获得国家环保科学技术三等奖，“组合人工湿地污水处理技术开发与产业化应用”于2011年获得湖南省科技进步一等奖。作者本人于2007~2010年期间完成了人工湿地植物配置与管理方面的博士后研究，为本书的撰写奠定了良好的基础。

本书共分为5章，第1章介绍了人工湿地技术与植物的研究进展；第2章提出了新的人工湿地植物分类方法与计量标准，列出了各种植物的应用分类；第3章系统地介绍了三大类型人工湿地植物的生长特性与工程应用，并附了大量方便读者识别的图片；第4章以案例分析的方式，详细地介绍了人工湿地植物的具体配置方法和要点。第5章介绍了人工湿地植物的种植、日常管理与资源化利用。本书的特点是注重工程实践应用与可操作性，目的是为人工湿地植物的配置与管理提供思路、案例和实用的技术资料。

全书由陈永华、吴晓芙、李强、陈亮明、陈明利、蒋丽娟、李科林、喻勋林、李家湘、柳俊、付伟华、付新喜、郝君编写，由陈永华、吴晓芙统稿。本书所涉及的参考文献列于书后，以便读者进一步查阅。

由于本书所涉及专业面广，许多技术方面问题尚处于探索阶段，加之作者的水平有限，书中一定存在许多不足之处。为此，敬请各位同行专家学者和广大技术工作人员批评指正。

作者

2012.1 月

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	人工湿地技术研究进展	1
1.1.1	湿地的概念	2
1.1.2	人工湿地的概念	2
1.1.3	人工湿地技术发展历史与应用现状	5
1.1.4	人工湿地技术研究存在的问题与展望	8
1.2	人工湿地植物研究进展	10
1.2.1	人工湿地植物的作用与筛选原则	10
1.2.2	人工湿地植物主要应用类型	10
1.2.3	人工湿地植物的去污效果研究	12
1.2.4	人工湿地植物研究存在的主要问题分析与展望	14
第 2 章	人工湿地植物分类、计量、应用范围	17
2.1	人工湿地植物类型划分	18
2.1.1	水生类型	18
2.1.2	湿生类型	19
2.1.3	陆生类型	19
2.2	人工湿地植物计量方法	19
2.2.1	株、芽、丛、兜的概念	19
2.2.2	人工湿地植物苗木标注	20
2.3	人工湿地植物工程应用分类	22
2.3.1	水生类型	22
2.3.2	湿生类型	23
2.3.3	陆生类型	23
第 3 章	人工湿地植物介绍与应用	25
3.1	水生植物类型	26
3.1.1	挺水植物	26
3.1.2	浮叶植物	65
3.1.3	浮水植物	77
3.1.4	沉水植物	82

3.2 湿生类型	93
3.2.1 湿生草本	93
3.2.2 湿生木本	101
3.3 陆生类型	107
3.3.1 陆生草本植物	107
3.3.2 陆生木本植物	120
第 4 章 人工湿地植物的配置方法与案例分析	129
4.1 人工湿地植物配置方法	130
4.1.1 根据人工湿地类型配置植物	130
4.1.2 按照工艺类型来配置植物	133
4.1.3 根据植物的特性配置植物	134
4.2 人工湿地植物配置案例说明	140
4.2.1 人工湿地处理城镇和住宅小区生活污水植物配置的实例说明	140
4.2.2 人工湿地处理农村污水和畜牧业废水植物配置的实例说明	144
4.2.3 人工湿地处理污染河流和富营养化湖(库)水植物配置的实例说明	148
4.2.4 高速公路废水处理系统植物配置实例说明	152
4.2.5 人工湿地处理工业废水植物配置的实例说明	154
4.2.6 人工湿地处理垃圾渗滤液的植物配置实例说明	160
第 5 章 人工湿地植物栽种、日常维护与资源化利用	163
5.1 人工湿地植物栽种与日常维护	164
5.1.1 植物的栽种与启动	164
5.1.2 植物的收割与收获	172
5.1.3 植物病虫害的防治	173
5.2 人工湿地植物的资源化利用	173
5.2.1 培育抗污型观赏植物、出售苗木	173
5.2.2 种植水生蔬菜、增加收入	174
5.2.3 人工湿地植物的能源化利用、变废为宝	174
5.2.4 作为有机肥料开发、实现循环利用	176
人工湿地植物分类名录	178
参考文献	182

1.1 人工湿地技术研究进展

国内外污水处理常规技术包括混凝沉淀、膜滤、臭氧氧化、光催化氧化、高梯度磁分离等,这些常规技术相对比较成熟性和稳定,污水处理效果较好,目前我国污水处理中仍然发挥着巨大的作用。人工湿地技术作为一种生态的污水处理技术,在近二十年来发展迅速,因地制宜采用人工湿地等自然生物方法进行生活污水处理已成为国际上新的发展趋势,而且更符合可持续发展的理念。与常规技术相比,人工湿地系统具有以下优点:①高效低耗(去氮除磷率高、能耗与维护费低);②废物资源化(污水成为湿地生态系统水源);③高经济产出(可作为景观、能源与药用植物和林木生产基地);④低 CO_2 排放(合理设计可实现处理区 CO_2 零排放目标);⑤高景观价值(可发挥景观生态功能、美化环境);⑥应用面广(适合于新开发区、旅游区、农村养殖场以及排污增容区)。



■ 1.1.1 湿地的概念

1. 湿地的定义

湿地是指天然和人造, 长久或暂时之死水或流水、淡水、微咸或咸水沼泽地、泥炭地或水域, 包括低潮时水深不超过 6m 的海水区。《湿地公约》的分类系统将湿地分为滨海湿地、内陆湿地、人工湿地三个大类。

2. 湿地公约

为了保护湿地, 十多个国家于 1971 年 2 月 2 日在伊朗的拉姆萨尔签署了一个重要的湿地公约, 简称《湿地公约》。这个公约的主要作用是通过全球各国政府间的共同合作, 以保护湿地及其生物多样性, 特别是水禽和其赖以生存的环境。1996 年 10 月湿地公约第 19 次常委会决定将每年定为世界湿地日, 每年确定一个主题。利用这一天, 政府机构、组织和公民可以采取各种行动来提高公众对湿地价值和效益的认识。湿地公约委员会确定 2008 年世界湿地日的主题为 “healthy wetland, healthy people” (健康的湿地, 健康的人类), 目的是让更多的人关注湿地公约, 了解保持湿地的健康对人类健康的正面影响。作为森林、海洋、湿地三大生态系统之一的湿地生态系统具有极高的生态效益, 人类从湿地提供的食物、清洁的水源、药材等直接受益, 而湿地管理不当造成的负面影响将直接危害人类健康, 洪水、洪水过后的瘟疫、水污染等也可能让人类失去生命。

■ 1.1.2 人工湿地的概念

1. 人工湿地定义

人工湿地 (Constructed wetlands) 是由人工模拟自然湿地建造和控制的, 由土壤—植物—微生物形成的生态系统, 利用生态系统中的物理、化学和生物的直接和协同作用, 通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收和微生物降解来实现对污水的高效净化处理的一种新型的废水处理技术。人工湿地与自然湿地的区别是, 它是对自然湿地净化过程的模拟, 为充分发挥湿地生态系统的废水处理功能, 提高污水净化效果而构筑, 其污水净化功能是天然湿地所不可比拟的, 它由人工控制各种处理参数, 如进出水流量, 水力停留时间, 植物收割等, 并进行水质监测, 且出水水质必须达到国家相关标准。

2. 人工湿地分类

国内外学者对人工湿地系统的分类多种多样。从工程设计的角度出发,按照系统布水方式的不同或在系统中流动方式不同一般可分为表面流人工湿地、潜流人工湿地,以及各种类型组合的复合型人工湿地三大类型。从水力学角度划分,人工湿地分为水面湿地和渗滤湿地两种类型。人工湿地根据湿地中主要植物形式可分水生植物、湿地植物、陆生植物三大类。不同类型人工湿地对特征污染物的去除效果不同,具有各自的优缺点。目前主要按照以下三种类型分类。

(1) 表面流人工湿地 (Surface flow constructed wetlands) (图 1-1)

此类人工湿地的水面位于填料表面以上,水深一般为 0.3~0.5m,水流呈推流式前进。污水从池体入口以一定速度缓慢流过湿地表面,部分污水或蒸发或渗入地下,出水由溢流堰流出。这种湿地靠近水面部分为好氧层,较深部分及底部通常为厌氧层,具有投资省、操作简便、运行费用低等优点,但占地面积大,水力负荷小,去污能力有限。氧主要来源于水体表面扩散、植物根系的传输,但传输能力十分有限。湿地系统运行受气候影响较大,夏季有滋生蚊蝇的现象,产生不良气味,冬季容易结冰等缺点。

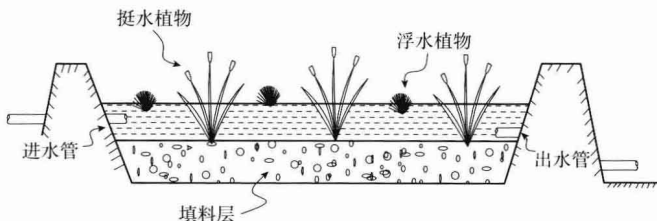


图 1-1 表面流人工湿地

(2) 潜流人工湿地 (Subsurface flow constructed wetlands)

此类人工湿地的污水在湿地床表面下经水平和垂直方向渗滤流动,通过植物传递到根际的氧气有助于污水的好氧处理,并可以充分利用填料表面生长的生物膜、丰富的植物根系及表层土和填料进行土壤的物理、化学和土壤微生物的生化作用等,提高处理效果和処理能力。根据水流方向可以分为:水平潜流人工湿地 (Subsurface horizontal flow constructed wetlands) 和垂直流人工湿地 (Vertical flow constructed wetlands) 两种类型。

①水平潜流人工湿地 (Subsurface horizontal flow constructed wetlands) (图 1-2): 此类人工湿地的水流从进口起在根系层中沿水平方向缓慢流动,出口处设

集水装置和水位调节装置。由于该系统中好氧生化反应所需的氧气主要来自大气复氧,数量不足,因而导致脱氮效率不高。但对 BOD_5 、 COD_{Cr} 和重金属的去除效果好,受季节影响亦较小。与表面流人工湿地相比,潜流人工湿地受气温的影响相对较小,水力负荷大,对 BOD 、 COD_{Cr} 、 SS 、重金属等污染物的去除效果好,而且很少有恶臭和滋生蚊蝇现象。但该系统比表面流人工湿地系统的造价高,其脱氮除磷效果不如垂直流人工湿地。

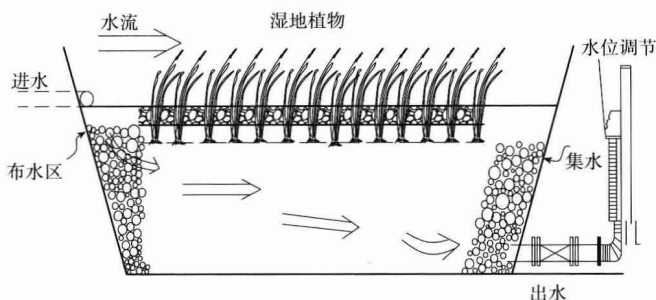


图 1-2 水平潜流人工湿地

②垂直流人工湿地 (Vertical flow constructed wetlands): 分为单向垂直流人工湿地 (One way vertical flow wetlands) (图 1-3) 和复合垂直流人工湿地 (Integrated vertical flow wetlands) (图 1-4) 两种

(A) 单向垂直流人工湿地的水流方向为垂直流向,通常为下行流,出水系统一般设在湿地底部。与水平潜流型相比,其作用在于提高了氧向污水及基质中的转移效率。其运行时一般采用间歇进水方式。由于垂直流型人工湿地表层为渗透性良好的砂层,水力负荷一般较高,因而对氮、磷去除效果较好,但需要对进水悬浮物浓度进行严格控制。

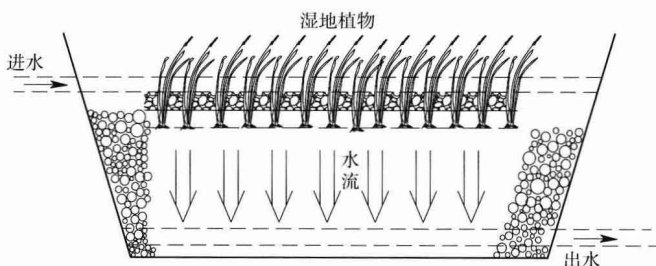


图 1-3 单向垂直流人工湿地

(B) 复合垂直流人工湿地由两个底部相连的池体组成,污水从一个池体垂直向下(向上)流入另一个池体后垂直向上(向下)流出。复合垂直流型人工湿地

可选用不同植物多级串联使用，通过增加污水停留时间和延长污水的流动路线来提高人工湿地对污染物的去除能力。该类型人工湿地通常采用连续运行方式，具有较高的污染负荷。

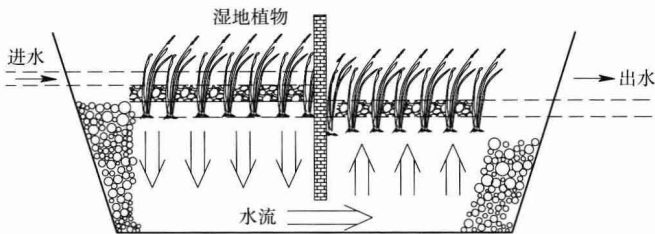


图 1-4 复合垂直流人工湿地

(3) 组合型人工湿地 (Combined constructed wetlands)

此类人工湿地由多个类型或不同类型的人工湿地池体构成的污水处理系统。也可以说组合人工湿地并不是人工湿地某一种特定类型，而是指根据污水处理的需要通过组合几个人工湿地池体形成的污水处理系统，分为并联式、串联式、混合式。组合方式需要根据实际情况进行确定，本书以中南林业科技大学校区人工湿地污水处理中试系统工艺图为例进行介绍(图 1-5)。该系统为串联式、通过“表流—潜流—表流”三级串联而成。

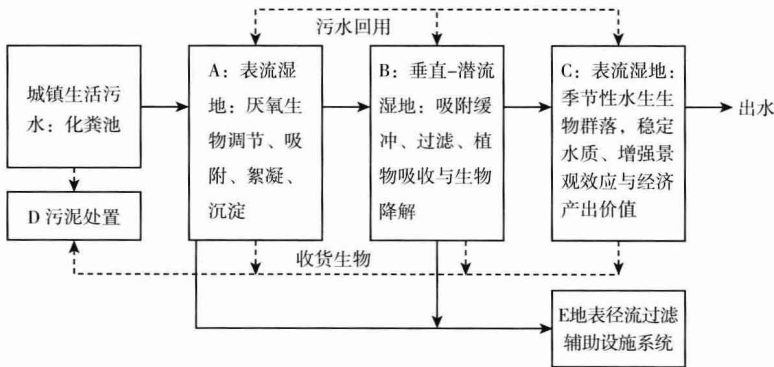


图 1-5 中南林业科技大学校区人工湿地污水处理中试系统

1.1.3 人工湿地技术发展历史与应用现状

1. 国外人工湿地的发展历史与应用现状

使用人工湿地作为污水处理设施而进行研究始于欧洲。1953 年，德国的 Dr. Kathe Seidel 在其研究工作中发现芦苇能去除大量有机物和无机物。Dr. Seidel 通过

进一步实验发现一些污水中细菌如大肠菌、肠球菌、沙门氏菌在通过种植的芦苇时消失。实验表明芦苇及其他高大植物能从中去除重金属和碳水化合物。进入 20 世纪 60 年代, 开始推广至用于处理工业废水、江河水、地面径流和生活污水的大规模实验。并由 Dr. Seidel 开发出一种 Max-planck Institute-Process 处理系统, 该系统由四或五级组成, 每级由几个并联并栽有挺水植物的池子组成。根据 Dr. Seidel 的思路, 荷兰于 1967 年还开发了一种现称为 Lelystad Process 的大规模处理系统, 该系统是一个占地 1hm^2 的星形自由水面流湿地, 随后有大量这种类型的湿地在荷兰建成。在 60 年代中期, Dr. Seidel 与 Dr. Kickuth 合作并由 Dr. Kickuth 开发了“根区法”(RZM), 此根区法由一种有芦苇的矩形池子组成。土壤经选择有钙、铁、铝添加剂, 改善土壤结构和对 P 的沉淀性能, 水通过地下潜流水平流过芦苇根, 污水流过芦苇床时, 有机物降解, N 被硝化反硝化, P 与 Ca, Fe, Al 共沉积累于土壤中。水面保持在地面水平, 在池子进口、出口进行布水和收集。

自西德 1974 年首先建造人工湿地以来, 该工艺已在欧洲得到推广应用, 目前欧洲已有数以百计的人工湿地投入废水处理运行, 这种人工湿地的规模可大可小, 最小的仅为一家一户排放的废水服务(面积约 40m^2), 大的已有 5000PE (PE: 面积当量), 可以处理 1000 人以上村镇排放的生活污水。

美国对人工湿地的研究始于 20 世纪 60 年代晚期, 70 年代到 80 年代在田纳西流域管理局及 80 年代到 90 年代在美国农业部的大力支持下, 该项技术在美国和加拿大等国得到迅速发展。起初, 大多数人工湿地应用于生活污水和矿山酸性废水的处理, 如今已有用于纺织工业和石油工业等。在 60 年代末, 美国 NASA 的国家空间技术实验室研究开发了一种“采用厌氧微生物和芦苇处理污水的复合系统”。1976 年美国 NASA 出版了一本名为《充分利用水生植物》的书, 其中描述了欧洲系统及早期 NASA 系统。NASA 的砾石床系统在去除 BOD、SS、大肠菌及氮方面非常有效, 北美的其他国家也进行了一些开拓性工作。国际上, 就人工湿地污水处理系统这种新的污水处理工艺分别在美国的田纳西州(1988 年)和英国剑桥(1990 年)召开过研讨会, 总结了各国人工湿地处理污水的经验, 提出了有关的机理及一些供参考的设计规范和数据, 美国 EPA 从 1988 年开始陆续出版了与人工湿地相关的技术文件。1996 年 9 月在奥地利维也纳召开的第 4 届国际研讨会标志着人工湿地系统作为一种独特新型废水处理技术正式进入水污染控制领域。

人工湿地污水处理系统的开发历史虽然仅有短短的几十年, 却在欧美国家得

到了长足的发展,原因是不言而喻的,这些国家不断定期地召开人工湿地方面的研讨会,足以证明他们的重视程度。有些国家,更是采用了立法的形式来支持人工湿地技术的应用。如德国的联邦矿山法中规定,在矿区开采中,矿水抽出后不能直接排入河流、湖泊,必须经过人工芦苇湿地后才能够排放。

北美湿地处理系统有 $2/3$ 是自由表面流湿地。自然湿地的大小从 $1\sim 1000\text{hm}^2$, 其中一半在 $10\sim 100\text{hm}^2$ 。人工自由表面流湿地通常较小, 60% 小于 10hm^2 , 系统水深范围 $5\sim 90\text{cm}$, $30\sim 40\text{cm}$ 较普及,最常用的预处理是兼性或氧化塘,许多湿地系统用于现行塘系统的深度处理。根据北美湿地数据库 NADB (1994) 统计,目前在美国和加拿大有 245 个地点分布有人工湿地系统,因为每个地点的湿地由其他湿地处理单元组合而成,因此有将近 800 座独立的湿地处理单元在运行。按处理的废水类型来分,这些湿地主要用于处理农业,工业、市政、雨水径流。159 座用于处理市政废水,其中 50% 处理兼性废水, 31% 处理二级出水。

自由表面流湿地在欧洲发展缓慢。典型的有瑞典建成的一座处理 6500PE, 占地 22hm^2 的自由表面流湿地。地下潜流系统在欧洲应用较多,有几百座。在丹麦、德国、英国每个国家都至少有 200 个系统在运行。在德国大约有 5000 座潜流湿地应用于单户家庭及 1000 户居民左右的小型社区的污水处理,但其中 95% 是用于处理小于 20 户居民的社区污水,其中绝大多数系统种植芦苇,介质采用土壤。虽然人们认为根的生长和芦苇根区会增加和稳定系统导水性,但几乎所有土壤系统都遇到表面短流问题。为保证潜流,英国和北美绝大多数采用砾石床。虽有些砾石床也堵塞,但主要是预处理不足。在欧洲,此类系统趋向对近 1000PE 的乡村级社区进行二级处理。北美则趋向更多人口的高级处理。在澳大利亚和南非则用于处理各类废水。

2. 我国人工湿地的发展历史与应用现状

我国虽然起步稍晚,但全国各地在生活污水处理方面也做了一些有益的尝试,1989 年,国家环保局华南所在深圳白泥坑建立人工湿地实验基地,占地 1.26hm^2 , 处理 3100t/d 的城镇综合污水。1990 年在北京昌平建成自由水面流人工湿地,处理量为 500t/d 。同年,天津环保科研所建立 11 个实验单元研究芦苇湿地对城市污水的处理能力。1998 年建成成都活水公园,位于成都市内的府河边,是世界上第一座城市的综合性环境教育公园。最近几年,人工湿地技术在全国开始应用,深圳市洪湖湿地公园,被国家环保总局列为 2002 年 12 项国家重点环境

保护实用技术示范工程之一。这一项目的成功,中国科学院水生生物研究、环境保护部华南环境科学研究所、深圳市环境科学研究院等单位都在深圳加快推广经验,目前,深圳已在观澜湖、沙田、布吉、龙岗、洪湖二期、甘坑、石岩建成数个人工湿地项目。鉴于云南澄江县抚仙湖人工湿地净化技术试验工程取得明显成效,云南省将在九大高原湖泊大力推广人工湿地技术。2005年8月3日,北京市丰台区在水衙沟二期建成 5000m^2 人工湿地,成为北京南部最大的人工湿地景观。2005年河南省郑州市郑东新区东西运河及南北运河交汇处的东南角建成处理量 10000t/d 人工湿地,2006年中国湖泊治理规模最大的人工湿地——云南九溪人工湿地一期工程日前已开工建设。2007年由环保部华南所设计,在成都市凤凰河建成处理量 20000t/d 的全国最大治污湿地。2008年我国东北地区面积最大的莲花湖人工湿地在辽宁建成,污水处理量 50000t/d 。2010年位于滇池东岸的昆明滇池数字生态湿地示范园2日正式开工建设。2010年建成高新区肖家河人工湿地公园,取用成都市三瓦窑污水处理厂的 100000t/d 日中水。2011年长沙也建成了日处理污水 40000t/d 的洋湖人工湿地。除了这些大型的人工湿地建设外,近年来一些小型的人工湿地在全国一些农村开始推广应用,并取得了初步成效。

另外,我国也有一些湿地公园也在近几年投入建设:如杭州西溪湿地公园、太平湖国家湿地公园、鄱阳湖国家湿地公园、苏州太湖湿地公园、上海东滩湿地公园、柳州红花谷国家湿地公园、江苏常熟沙家浜景区国家级湿地公园、长沙洋湖湿地公园等。

■ 1.1.4 人工湿地技术研究存在的问题与展望

1. 人工湿地技术研究存在的主要问题分析

人工湿地技术在应用中具有很多优势,其建设与运行成本低,无能耗、管理维护简便,并具有污水资源化利用、美化环境、为野生生物提供栖息地等多重生态效益。与常规污水处理工艺相比,人工湿地技术存在的主要问题:一是占地面积较大,二是受环境影响大,处理效果不稳定等问题,总体主要表现为:

(1) 占地面积相对大。人工湿地的占地面积平均约为 $4\sim 5\text{m}^2/\text{t}$,占地面积是同等规模一般二级污水处理厂的 $4\sim 10$ 倍。但是这里的占地面积还是有很大的压缩空间,我们可以通过优化工艺技术模式与参数,如:采用组合工艺、优化配置植物,来提高污水处理效率,减低处理污水所需要的单位面积。

(2) 受环境影响大, 处理效果不稳定, 尤其是冬季处理效果差。由于湿地脱氮系统是一个多因素综合控制过程, 往往受气候、植物种类、负荷以及立地条件等因素的影响。

(3) 湿地系统净化机理了解不够深入。迄今为止, 人们对污水进入湿地系统后污染物的迁移、转化、降解过程与机理的认识尚不充分, 尤其是对植物群落效应在处理系统中的作用与贡献了解不够, 对植物与基质、微生物、动物的协同作用缺乏系统的定量研究成果。

(4) 设计标准和运行参数有待优化: 由于各地的气候条件、湿地规模、负荷率、几何布置、植物种类构成及废水的类型构成等变化很大, 因而对人工湿地很难有统一的设计和运行参数, 人工湿地的设计很多时候设计的依据带有经验性, 科学性与规范性不强。

(5) 处理系统抗有毒物质能力不强: 多种有毒物质(例如重金属元素、某些有机无机化学物等)对人工湿地系统中的生物伤害作用, 而至今国内外在抗性植物与微生物方面的研究不够, 因此, 人工湿地在处理有毒物质含量较高废水中的应用受到一定的限制。

(6) 植物种类单一, 且景观效益不突出。现有系统应用的植物种类少, 结构单一, 景观效果不突出, 没有通过引入不同植物形成具有季节性特点的植物群落模式, 从而增强人工湿地生态系统的稳定性、去污功能及其景观效果。

2. 人工湿地技术展望

尽管经过多年的实践应用和研究, 人们对人工湿地已经获得一些运行经验, 但人工湿地一些重要的作用机制还不十分明确。这是因为与其他工艺, 如活性污泥工艺相比, 人工湿地构成要素之间的相互作用机制过于复杂。在这方面还需进行如下工作: (1) 人工湿地中微生物的厌氧氨氧化作用及其影响因素研究; (2) 人工湿地中高活性痕量物质如持久性残留毒物的毒理学特性研究, 从理论上解释为什么人工湿地可以获得较好的持久性毒物去除效果; (3) 研究持久性物质以及其去除机制, 它们是如何被解毒或被长期抑制而不发挥毒性的; (4) 废水灭茵机制的研究, 尤其是对生物溶菌作用的研究; (5) 研究植物生长对水力学特性的影响; (6) 研究适用于特种废水处理的植物; (7) 在根际不同氧化态下, 研究不同物质循环的协同作用。因此, 在充分了解人工湿地之间的相互作用的基础上, 应将基础理论知识与工艺可利用性相结合, 使人工湿地获得更广泛地应用。

1.2 人工湿地植物研究进展

1.2.1 人工湿地植物的作用与筛选原则

人工湿地污水处理的效果有赖于该生态系统功能的充分发挥,其中植物生理特性以及群落之间的相互作用对其有深刻的影响。在人工湿地净化污水过程中,植物的作用可以归纳为6个方面:(1)直接吸收和利用污水中可利用的营养物质;(2)吸附污染物质,包括重金属和一些有毒有害物质;(3)增强和维持介质的水力传输;(4)为根区好氧微生物输送氧气;(5)植物根系能分泌多种有机复合物和酶,为微生物提供碳源,还可以增加或间接加强有机物的降解;(6)植物还能绿化土地,改善区域气候,促进生态环境的良性循环以及吸收二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、增加氧气、净化空气、消除城市热岛效应、光污染和吸收噪声,提高区域景观的美学价值,具有强大环境调节功能和生态效益。

人工湿地植物筛选原则有许多学者提出,归纳主要有5个原则:(1)植物的适应性:综合考虑植物的抗逆性,生物量大小,生长周期长短;(2)净化能力,考虑植物在人工湿地污水处理系统中的净化功能;(3)多样性:每种植物对营养物质的去除存在差异,因此,设计多种植物加以组合去污,提高系统的处理性能,一般系统越复杂处理效果越稳定,最好做到乔灌草结合;(4)景观性:从群落配置、合理布局与景观美学等方面对植物进行调控和配置,以使其与周围景观融合成一体;(5)多用途性,湿地植物的多用途可以减少植物收获的二次污染、增加经济收入,因此种植植物时要考虑有多用途性,如水生蔬菜、饲料植物等。

1.2.2 人工湿地植物主要应用类型

目前,在人工湿地植物种类应用方面;国内外最常用的植物种类基本一致,表流湿地均是以水生植物类型为主,尤其是挺水植物;潜流湿地以水生草本为主,配以湿生植物。据统计,全球发现的湿地高等植物多达6700余种,但已被用于处理污水且产生效果的不过几十种。从目前已有的人工湿地工程实践来看,人工湿地中应用的植物种类主要为:芦苇(*Phragmites australis*)、美人蕉(*Canna indica*)、风车草(*Cyperus alternifolius*)、香蒲(*Typha angustifolia*)、水葱(*Scirpus validus*)、水芹(*Oenanthe javanica*)、姜花(*Hedychium coronarium*)、菖蒲(*Acorus*)。