

人工湿地工程

Artificial Wetlands Engineering

秦明 译著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

人工湿地工程

秦 明 译著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了应用于改善点源及面源污染水体,包括雨水径流、生活污水、农业废水、工业废水等的人工湿地的构成和设计方法以及对污染物和有机质的去除效果,分析了湿地对污染物和有机质以及其他有害物质的去除机理和运行、管理和维护。内容新颖详实,有助于对人工湿地进行系统和深入的研究。

本书可作为湿地研究者和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

人工湿地工程/秦明译著. —上海:上海交通大学出版社,2011

ISBN 978-7-313-07536-9

I. 人... II. 秦... III. 人工湿地系统 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 121931 号

人工湿地工程

秦 明 译著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海颀辉印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:880mm×1230mm 1/32 印张:8.625 字数:245 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-07536-9/X 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-57602918

前 言

在地球三大生态系统中,湿地是一个重要的环节,在水流经湿地的过程中,湿地生态系统中存在着相应的自净机制以改善水质。如今,人工湿地被广泛应用于改善点源及面源污染水体,包括雨水径流、生活污水、农业废水、工业废水等。对于某些废水,人工湿地是唯一的处理方法;而对其他废水,人工湿地是处理工艺流程中的组成部分。

人工湿地的一个常见应用是处理初次或二次(primary or secondary)的生活污水。模仿自然湿地处理生活污水的人工湿地,也可将其应用于处理农业高负荷有机物。许多湿地已经建成并用于处理尚在使用的或废弃的矿井排水,仅在阿帕拉契就有超过 500 个这样的湿地系统。利用人工湿地控制雨水流量和质量是这种工艺近年来新的应用,人工湿地的数量也快速增多。

人工湿地处理污水或雨水是一种低成本、低能耗、低人工干预的过程。经过广泛研究和实际应用,有识之士正在不断完善人工湿地的设计、性能、操作及维护,使其能够更有效地改善水质。人工湿地是耐用的、高效的系统。然而,要使之持续有效,就必须设计、建造、操作和维护。

编写本书的初衷,是对人工湿地的设计、施工、运转、维护提供整体指导,人工湿地在美国中大西洋地区被应用于生活污水、农业废水、煤矿排水和雨水径流。利用人工湿地改善水质是一门发展中的技术,许多问题,比如人工湿地的最优化设计及其使用年限等仍未解决。伴随着我们对人工湿地使用经验的积累,本书所提供的信息将被更新颖的内容取代。

本书分为九章。第一、二章介绍了湿地的概念和功能,第三章为构建各种处理污水和径流的湿地系统提供通用方法。其他章主要研究了特殊或特定情况下的处理污水和径流的湿地系统构建。主要内容是生

活污水、工业废水、煤矿排水等的处理。人工湿地如今已被应用于处理其他类型的污水,比如工业污水处理,这些处理虽然超出了本书的内容,但对于改进其他方面的应用是有益的。

本书所译的部分资料由 Dr. X Jun Luo(加拿大)提供,并由 Dr. X Jun Luo(加拿大)、郭宏凯审稿。

译著者

2011年6月

目 录

第一章 湿地	1
第一节 湿地的定义	1
第二节 湿地的类型	2
第三节 湿地系统的组成要素	5
第四节 湿地的功能	6
第二章 人工湿地概况	10
第一节 人工湿地的构成与作用	10
第二节 人工湿地处理系统	14
第三节 人工湿地设计的普通原则	20
第四节 人工湿地的设计	28
第五节 湿地水文学	46
第六节 基质	50
第七节 湿地植物	52
第八节 建设	65
第九节 运行、维护与监控	67
第十节 国内外人工湿地现状	73
第三章 生活污水的处理	78
第一节 污染物的去除过程	79
第二节 运行期望	85
第三节 表面流动式湿地	93
第四节 潜流湿地设计	106
第四章 工业污水的处理	121

第一节	概述	121
第二节	处理工业废水	122
第三节	运行期望	127
第四节	表面流动式湿地	133
第五节	潜流湿地	139
第五章	煤矿矿井排水的处理	145
第一节	概述	145
第二节	人工湿地处理矿井排水的基础	147
第三节	被动式处理系统的设计	153
第四节	水中净碱度对富氧湿地的作用	160
第五节	有机基质湿地	162
第六节	厌氧石灰石水处理(ALD)	165
第七节	连续碱度生成系统(SAPS)	169
第八节	工程案例	171
第六章	暴雨径流的处理	176
第一节	处理暴雨径流的人工湿地	176
第二节	处理暴雨径流的人工湿地的设计	181
第三节	运行和维护	186
第七章	人工湿地进行河流末端处理	191
第一节	水环境状况	191
第二节	技术措施	192
第三节	实施案例	194
第八章	农村生活污水的处理	214
第一节	农村生活污水造成的环境问题	214
第二节	农村生活污水处理方法	215
第三节	工程案例	217

第四节 地理式土壤渗滤系统工艺主要特点·····	221
第九章 水生植物系统处理污水·····	223
第一节 概述·····	223
第二节 水生植物处理系统特点·····	223
第三节 水生植物处理系统历史·····	224
第四节 水生植物系统·····	225
第五节 水生植物系统工艺设计标准·····	231
第六节 水生植物系统的物理特征·····	236
附录 A 国际重要湿地标准·····	244
附录 B 世界湿地日主题·····	245
附录 C 中国国家湿地公园名录·····	247
附录 D 中国国际重要湿地名录·····	248
附录 E 人工湿地污水处理工程技术规范·····	250
参考文献·····	266

第一章 湿地

第一节 湿地的定义

地球上三大生态系统:森林、海洋和湿地。湿地是地球不可或缺的生态系统中的重要一环,它不仅为人类提供大量食物、原料和水资源,而且在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及涵养水源、蓄洪防旱、降解污染、调节气候、补充地下水、控制土壤侵蚀等方面起到重要作用。

湿地是陆地和水域之间的过渡区。因此,湿地与高地或深水的分界也并不明确。所谓“湿地”,包含范围广泛的潮湿环境,如沼泽、泥塘、湿草甸、潮汐带、洪涝区及沿河道的带状区(河岸)等。

所有的湿地(自然的或人工的,淡水的或咸水的)有一个共同特征:表面或近表面有水,至少是定期有水,在大多数的湿地,水文条件都是如此,因此在植物生长的季节,地表水饱和度很高并产生了厌氧环境。氧气的缺乏造成了地表附近的厌氧环境,只有那些适应低氧环境的植物才能继续生长。

由于湿地和水域、陆地之间没有明显边界,并且由于不同学科对湿地的研究重点各不相同,目前对湿地的定义一直存在分歧,并普遍采用狭义和广义的湿地定义。

一、狭义定义

在针对湿地的研究活动中,往往采用狭义定义。狭义定义是美国鱼类和野生生物保护机构于1979年提出的,发表在“美国湿地深水栖息地的分类”一文中,首次将湿地定义为:湿地是处于陆地生态系统和水生生态系统之间的转换区,其地下水位通常达到或接近地表,或者处于

浅水淹覆状态,湿地至少应具有以下三个特点之一:

(1) 至少是周期性以水生植物生长为优势。

(2) 地层以排水不良的水成土为主。

(3) 土层为非土壤(nonsoil)并且在每年生长季的部分时间被水浸或水淹。

这个湿地定义还指出了湖泊与湿地以低水位时水深 2 m 处为界,按照这个湿地定义,湿地被分成二十多个类型,目前这个狭义湿地定义已经被许多国家的湿地研究者所接受。

二、广义定义

国际湿地公约对湿地则采用广义湿地的定义,这一定义包含了狭义湿地的区域,有利于将狭义湿地及附近的水体、陆地形成一个整体,便于保护和管理。

按照广义定义,沼泽、滩涂、低潮时水深不超过 6 m 的浅海区、河流、湖泊、水库、稻田等都可以被视为湿地。

然而,即使按照广义定义,全世界共有自然湿地 $8.558 \times 10^6 \text{ km}^2$,占陆地面积的 6.4%,而这 6.4%的湿地却为地球上 20%的已知物种提供了生存环境,具有不可替代的生态功能,因此湿地享有“地球之肾”的美誉,湿地保护显得尤为重要。

中国湿地面积占世界湿地的 10%,位居亚洲第一位,世界第四位。在中国境内,从寒温带到热带、从沿海到内陆、从平原到高原山区都有湿地分布。

第二节 湿地的类型

湿地的类型多种多样,根据国际上应用较广的《湿地公约》中对湿地的分类,分为自然湿地(细分为 32 种湿地)和人工湿地(细分为 10 种湿地)两大部分,共 42 种。

一、自然湿地

自然湿地主要由海域、河口、河流和湖泊组成,自然湿地包括沼泽地、泥炭地、湖泊、河流、海滩和盐沼等。分为内陆湿地和海洋湿地两部分。

二、人工湿地

按照广义湿地定义,人工水面如水库、池塘、水稻田等属于广义湿地,得到湿地公约的认可。

根据中国的实际情况以及《湿地公约》对湿地的分类,《全国湿地资源调查与监测技术规程》(试行本)对全国湿地进行了分类,具体情况如表 1.1 所示。

表 1.1 湿地类型及划分标准

代码	湿地类	代码	湿地型	划分技术标准
I	近海与海岸湿地	I 1	浅海水域	浅海湿地中,湿地底部基质为无机部分组成,植被覆盖度小于 30%的区域,多数情况下低潮时水深小于 6 m。包括海湾、海峡
		I 2	潮下水生层	海洋潮下,湿地底部基质为有机部分组成,植被覆盖度不小于 30%,包括海草层、海草、热带海洋草地
		I 3	珊瑚礁	基质由珊瑚聚集生长而成的浅海湿地
		I 4	岩石海岸	底部基质 75%以上是岩石和砾石,包括岩石性沿海岛屿、海岩峭壁
		I 5	沙石海滩	由砂质或沙石组成的,植被覆盖度小于 30%的疏松海滩
		I 6	淤泥质海滩	由淤泥质组成的植被覆盖度小于 30%的淤泥质海滩
		I 7	潮间盐水沼泽	潮间地带形成的植被覆盖度不小于 30%的潮间沼泽,包括盐碱沼泽、盐水和海滩盐沼
		I 8	红树林	由红树植物为主组成的潮间沼泽

(续表)

代码	湿地类	代码	湿地型	划分技术标准
I	近海与海岸湿地	I 9	河口水域	从进口段的潮区界(潮差为零)至口外海滨段的淡水舌锋缘之间的永久性水域
		I 10	三角洲/沙洲/沙岛	河口系统四周冲积的泥/沙滩,沙州、沙岛(包括水下部分)植被覆盖度小于 30%
		I 11	海岸性咸水湖	地处海滨区域有一个或多个狭窄水道与海相通的湖泊,包括海岸性微咸水、咸水或盐水湖
		I 12	海岸性淡水湖	起源于泻湖,与海隔离后演化而成的淡水湖泊
II	河流湿地	II 1	永久性河流	常年有河水径流的河流,仅包括河床部分
		II 2	季节性或间歇性河流	一年中只有季节性(雨季)或间歇性有水径流的河流
		II 3	洪泛平原湿地	在丰水季节由洪水泛滥的河滩、河心洲、河谷、季节性泛滥的草地以及保持了常年或季节性被水浸润内陆三角洲所组成
		II 4	喀斯特溶洞湿地	喀斯特地貌下形成的溶洞集水区或地下河/溪
III	湖泊湿地	III 1	永久性淡水湖	由淡水组成的永久性湖泊
		III 2	永久性咸水湖	由微咸水/咸水/盐水组成的永久性湖泊
		III 3	季节性淡水湖	由淡水组成的季节性或间歇性淡水湖(泛滥平原湖)
		III 4	季节性咸水湖	由微咸水/咸水/盐水组成的季节性或间歇性湖泊
IV	沼泽湿地	IV 1	藓类沼泽	发育在有机土壤的、具有泥炭层的以苔藓植物为优势群落的沼泽
		IV 2	草本沼泽	由水生和沼生的草本植物组成优势群落的淡水沼泽
		IV 3	灌丛沼泽	以灌丛植物为优势群落的淡水沼泽
		IV 4	森林沼泽	以乔木森林植物为优势群落的淡水沼泽
		IV 5	内陆盐沼	受盐水影响,生长盐生植被的沼泽。以苏打为主的盐土,含盐量应大于 0.7%;以氯化物和硫酸盐为主的盐土,含盐量应分别大于 1.0%、1.2%

(续表)

代码	湿地类	代码	湿地型	划分技术标准
IV	沼泽湿地	IV 6	季节性咸水沼泽	受微咸水或咸水影响,只在部分季节维持浸湿或潮湿状况的沼泽
		IV 7	沼泽化草甸	为典型草甸向沼泽植被的过渡类型,是在地势低洼、排水不畅、土壤过分潮湿、通透性不良等环境条件下发育起来的,包括分布在平原地区的沼泽化草甸以及高山和高原地区具有高寒性质的沼泽化草甸
		IV 8	地热湿地	由地热矿泉水补给为主的沼泽
		IV 9	淡水泉/绿洲湿地	由露头地下水补给为主的沼泽
V	人工湿地	V 1	库塘	为蓄水、发电、农业灌溉、城市景观、农村生活为主要目的而建造的,面积不小于 8 hm ² 的蓄水区
		V 2	运河、输水河	为输水或水运而建造的人工河流湿地,包括灌溉为主要目的的沟、渠
		V 3	水产养殖场	以水产养殖为主要目的而修建的人工湿地
		V 4	稻田/冬水田	能种植一季、两季、三季的水稻田或者是冬季蓄水或浸湿的农田
		V 5	盐田	为获取盐业资源而修建的晒盐场所或盐池,包括盐池、盐水泵

第三节 湿地系统的组成要素

不管是自然湿地还是人工湿地,都是由非生物要素和生物要素组成一个湿地系统。

一、非生物要素

- (1) 水。
- (2) 土壤。

(3) 气候。

二、生物要素

(1) 生产者。湿地植物是湿地生态系统的生产者。

(2) 消费者。哺乳类、两栖类和爬行类以及各种水生动物及底栖无脊椎动物等是湿地生态系统的消费者。

(3) 分解者。湿地微生物是湿地生态系统的分解者。

第四节 湿地的功能

湿地被人们称为“地球之肾”，作为地球重要生态系统的一环，其功能是多方面的，湿地是众多植物、动物特别是水禽、鸟类生活的乐园，同时又向人类提供食物（水产品、禽畜产品、谷物）、能源（水能、泥炭、薪柴）、原材料（芦苇、木材、药用植物）；湿地既可以涵养水源和补充地下水，又能有效控制洪水和防止土壤沙化，还能净化和改善水质，滞留沉积物、有毒有害物质、吸收富营养物质，从而减少和控制环境污染；湿地植物通过光合作用以有机质的形式储存碳元素，减少温室效应；湿地是人类赖以生存和持续发展的重要基础。

一、物质生产

湿地是众多植物、动物特别是水禽、鸟类生活的乐园，具有强大的物质生产功能，它蕴藏着丰富的动植物资源。根据全国湿地资源调查，我国湿地高等植物约 225 科 815 属 2 276 种，分别占全国科、属、种的 63.7%、25.6%、7.7%（见表 1.2）。全国湿地调查将全国的湿地植被划分为 7 组、16 个植被型、180 个群系。芦苇是湿地最典型的植物，具有很高的经济价值和生态价值，不仅是重要的造纸工业原料，还是农业、盐业、渔业、养殖业、编织业的重要生产资料，并能起到防风抗洪、改善环境、改良土壤、净化水质、防治污染、调节生态平衡的作用。

表 1.2 中国湿地高等植物统计

类 别	科 数	属 数	种 数
苔草植物	64	139	267
蕨类植物	27	42	70
裸子植物	4	9	20
被子植物	130	625	1 919
合计	225	815	2 276

二、大气组分调节

增加生物放氧量和吸收有害气体,主要依靠湿地内的植物群落来完成。植物的光合作用能够吸收空气中的二氧化碳气体,并放出氧气,湿地中的一些特定植物还具有吸收空气中有害气体的功能,能有效调节大气组分。湿地还能滞留空气中粉尘及携带的各种病菌,从而起到净化空气的作用。

但也必须注意到,湿地生物也会排放甲烷、氨气等温室气体。

三、水分调节

湿地既可以涵养水源和补充地下水,又能有效控制洪水和防止土壤沙化,还能净化和改善水质,滞留沉积物、有毒有害物质、吸收富营养物质,从而减少和控制环境污染。

湿地在蓄水、调节河川径流、补给地下水和维持区域水平衡中发挥着重要作用,是蓄水防洪的天然“海绵”,在时空上可分配不均的降水,通过湿地的吞吐调节,避免水旱灾害。

四、净化水质

沼泽湿地是一个天然的过滤器,当含有毒和有害物质(农药、生活污水和工业排放物)的流水经过湿地时,湿地生长的植物群落像一个天然的缓冲器,使流经湿地的水流速度减慢,流速减慢有利于有毒有害物

质和杂质的沉淀和排除,一些湿地植物和湿地沉积物能有效地吸收水中的有毒物质,净化水质。

湿地能够分解、净化环境,起到“排毒”、“解毒”的功能,因此被人们喻为“地球之肾”。

湿地中有相当一部分的水生植物包括挺水性、浮水性和沉水性的植物,具有很强的清除毒物的能力,是毒物的克星。据测定,在湿地植物组织内富集的重金属浓度比周围水中的浓度高出 10 万倍以上。正因为如此,人们常常利用湿地植物的这一生态功能来净化污染物中的有害物质,有效清除污水中的“毒素”,达到净化水质的目的。

世界各国开始广泛使用湿地植物来处理污水,吸收污水中高浓度的重金属镉、铜、锌等离子,并已经获得了良好的效果。如美国的佛罗里达州,在废水排入河流之前,先让它流经一片柏树沼泽地(一种湿地植物),经过测定发现,湿地吸收了约 98% 的氮和 97% 的磷,湿地惊人的清除污染物的能力由此可见一斑。

印度卡尔库塔市没有一座污水处理厂,该城所有的生活污水都被排入东郊的一个经过改造的湿地复合体中。湿地种植了各种各样的植物,污水流经湿地以后,经过植物和湿地沉积物的作用,大量有机质和有害物质被滞留、吸附和被吸收,这些处理过的污水被用来养鱼,鱼产量每年每公顷可达 2.4 t;或用来灌溉稻田,每公顷年产水稻 2 t 左右。另外,还在倾倒固体垃圾的地方种植蔬菜,并用这些污水来浇灌。大量的营养物以食物形式从污水中排除出去。卡尔库塔城东的湿地开创了低成本处理生活污水并进行物质生产的先例。

五、提供动物栖息地

生物多样性是湿地的一个显著特性。复杂多样的植物群落,为野生动物尤其是一些珍稀或濒危野生动物提供了良好的栖息地,是水禽、鸟类、两栖类动物的繁殖、栖息、迁徙、越冬的场所。

六、调节局部小气候

湿地具有湿润气候、净化环境的功能,是生态系统的重要组成部分

分。其大部分发育在负地貌类型中,长期积水,生长了茂密的植物,其下根茎交织,残体堆积,形成沉积物,例如沼泽,一般也有几十厘米的草根层,草根层疏松多孔,具有很强的持水能力,它能保持大于本身绝对干重 3~15 倍的水量,不仅能储蓄大量水分,还能通过植物蒸腾和水分蒸发,把水分源源不断地送回大气中,从而增加了空气湿度,调节降水,在水的自然循环中起着良好的作用。据实验研究,1 hm² 的沼泽在生长季节可蒸发掉 7 415 t 水分,然后又以降水的形式降到周围地区,保持当地的湿度和降雨量,可见其调节气候的巨大功能。