

综述

# 人工湿地——新型污水处理技术\*

文乐元<sup>1</sup>, 谢可军<sup>2</sup>

(1. 西南林学院 园林学院, 云南 昆明 650224; 2. 浙江大学 农业生物环境工程研究所, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 参考国内外相关研究, 介绍了人工湿地的定义、基本原理、构造、设计工艺的内容, 展示了人工湿地在污水处理、生物多样性保护和区域生态平衡维护等方面的应用前景。

**关键词:** 人工湿地; 污水处理; 设计

**中图分类号:** X52      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003 - 7179(2002)02 - 0076 - 04

随着我国国民经济的高速发展和人口的不断增加, 工业污水、生活污水、农业面源污水的排放量逐年增加。由于大部分污水未经处理直接排入水体, 各种污染物的数量超过水体环境的自净容量而引起水环境的日益恶化。以湖泊富营养化及生态系统退化为主要特征的水质恶化已成为许多国家和地区经济持续发展的制约因素。尽管各国针对性地采取了一些措施, 但仍难以遏止湖泊水质恶化的趋势。我国监测的 78 条河流中, 有 70% 受到废水的严重污染<sup>[1,2]</sup>。目前世界上污水治理一般采取离子交换树脂技术、功能高分子吸附技术、生物吸附技术、电渗析技术、膜生物反应器技术等, 但由于复杂的发生机制和高昂的治理费用限制了这些方法的应用范围。探索高效、低耗、低成本、易管理、可持续的污水处理技术是世界各国环境治理的一个重要方向, 对于我国这样的发展中国家则有更加重大的意义。人工湿地技术是国际上近 20 年发展起来的一种废水处理新技术, 其特点是投资少、效果好、运行维护方便、氮氧去除率高, 这方面的研究在世界范围内得到了迅速发展<sup>[3,4]</sup>。本文就湿地的定义、功能、构造、作用机制等方面的问题加以综述。

## 1 湿地的定义

湿地分布广泛, 类型繁多, 仅从成因划分则有

海成、海湾成因、河成、湖泊成因和沼生湿地系统 5 大类, 不同湿地相互间差别很大, 因此, 很难给出一个确切的定义。不同学科领域研究的侧重点不同, 对湿地的定义也有所不同。湿地的植物学定义着眼于适应淹没或浸透土壤条件的植物; 水文学的定义则强调相对于地表的水位。一个完整的湿地定义应该涉及多学科的方法。从生态学的角度看, 湿地是陆地与水系之间的过渡区域, 其地表水和表面积水的频度和持续时间很充分, 在正常的环境条件下能够供养适应于潮湿土壤植被的区域<sup>[5]</sup>。湿地通常有 50% 以上的生物物种为水生或适宜于水生生境, 平均积水深度少于或等于 2 m, 必须有挺水或木本植物生长<sup>[6]</sup>。按照《拉姆萨尔公约》中的定义, 湿地系统指天然或人工、长久或暂时沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带(浅水湖泊、河流、泛洪区等), 包括静止或流动的淡水、半咸水或咸水水体, 以及海洋或地潮水深不超过 6 m 时的浅海水域。1994 年的《中国湿地生态环境保护规划》会议上对湿地的解释是: 处于陆地与水域的交汇处, 水位接近或处于地表面, 或有浅层积水, 一般以低水位时水深 2 m 处为界, 并具有以下特征: (1) 至少周期性的以水生、湿生植物为植物优势种; (2) 低层土主要是湿生土壤; (3) 在每年的生长季节底层土被水淹没 4 个月以上<sup>[7,8]</sup>。

\* 收稿日期: 2002 - 03 - 30

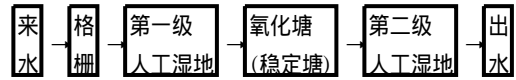
作者简介: 文乐元(1974 - ), 女, 湖南邵阳人, 硕士, 主要从事园林植物的教学与科研工作。

## 2 湿地的生态功能

湿地是一种特殊的土地资源和生态环境,在蓄水防洪、调节气温、降解污染、保护生物多样性和维持区域生态平衡等方面起着不可替代的作用。湿地是多种珍贵水禽的栖息地<sup>[9]</sup>;湿地可通过蒸发和地下渗水,消减洪峰流量,减轻洪灾危险<sup>[10]</sup>;湿地还能有效地处理生活污水、农业排灌用水和工业用水,大量截流陆源营养物质总氮和总磷,大幅度减少 BOD、COD 含量<sup>[11]</sup>。然而,由于人为的围湖、围海造田;加之生活污水和工业废水的大量排放,造成了湿地面积的大幅度减少以及湿地生态环境的日益恶化,进而引起珍贵鸟类减少、污染加剧、气候劣变<sup>[11]</sup>等一系列环境问题,这才迫使人们逐渐认识到湿地保护的重要性<sup>[13]</sup>,开始努力采取模拟湿地即人工湿地的方法进行生态的保护和污水的处理,并取得了一定的效果。如采用人工湿地保护繁殖丹顶鹤<sup>[9]</sup>;用人工湿地去除乳制品废水中的 COD、BOD、氨态氮和磷<sup>[14]</sup>。在人工湿地处理铁矿酸性排放水<sup>[15]</sup>、炸药车间排放水<sup>[16]</sup>、煤矿系统排废水过程中,人工湿地能使排放水的 pH 值升高,总氮和总磷下降,铜、铁、锰等离子大幅度减少。利用水葫芦——水草人工湿地在再生浆造纸废水进行处理后,其出水水质也可达到排放标准且可用于农灌<sup>[17]</sup>;将地热源附近的天然沟渠改建成人工湿地,地热废水经过石灰沉淀池进行预处理,再经过植物塘的进一步净化,可达到出水中的氟化物 3 mg/L,全盐量 200 mg/L,可直接用于采暖、淋浴、理疗、温室栽培、养殖废水等方面加以利用<sup>[18]</sup>。在“八五”攻关课题“滇池防护带农田径流污染控制工程技术研究”中,首次将处理城市生活污水的人工湿地工程技术用于处理农田废水,取得了满意的社会环境效益<sup>[19]</sup>。

## 3 人工湿地

人工湿地是一种人工建造和监督控制的与沼泽类似的地面,它的基质通常是碎石,植物生长于碎石床介质中。人工湿地实际上是将沉淀池、稳定塘、人工湿地有机结合处理污水的新模式,其一般工艺流程如下。第一个完整的人工湿地试验始于 1974 年西德的 Othfrensen 湿地建造;我国人工湿地的研究起步较晚,于 1990 年 7 月在深圳建起我国第一个人工湿地污水处理工程——白泥坑人工湿地污水处理系统<sup>[20]</sup>。



人工湿地的构造可简述为:在一定长宽比及底面坡降的浅池内或低洼地中,按一定的坡度填充选定级配的填料(如碎石),在填料表层土壤中种植一些处理性能好、成活率高、生长周期长、根系发达、美观及具有经济价值的水生植物(如水葫芦、菹草、芦苇等),构成一个湿地生态系统<sup>[21,22]</sup>。在湿地处理系统设计中,应尽可能增加水流在其中流动的曲折性,以增加该系统的稳定性、对外界环境的抗性、延长该湿地的使用寿命及处理能力。具体做法是将湿地多级串联或附加一些预处理及后处理构筑物(如石灰池)。由于人工湿地污水处理尚处于开发和应用研究阶段,缺乏成熟的设计规范和经验,许多工作还有待进一步研究。但一般而言,其设计过程中应充分考虑以下几个因素。

### 3.1 污水量和污水水质确定

进行污水量的调查和污水水质分析,确定处理的规模以及有针对性地去有关污染物,设计处理后的污水必须达到一定的污水排放标准。

### 3.2 污水处理工艺选择

人工湿地系统去除的污染物种类广泛,包括 BOD、COD、SS、氮、磷、钾、微量元素,病原体等。为减免经常性的清污、降低人工湿地的作业困难,污水的前期处理十分必要。此外,应根据不同的污水来源选择不同的处理工艺。

### 3.3 人工湿地的植物选择

应选择耐污、净化、抗逆能力强的乡土植物作为人工湿地的种植植物。如美国人工湿地常用的植物有芦苇、香蒲、灯心草、水葱、竹等;深圳市白泥坑人工湿地栽种了芦苇、茭苳、灯心草、蒲草等。有些人工湿地中还兼养耐污能力强的鲤、鲫等鱼种组成水生生物塘,使整个湿地变成一个花草繁茂、鱼儿欢跃的系统绿化工程。

### 3.4 人工湿地的工艺参数

在人工湿地的设计中,湿地的长宽值可按下式计算: $W = Q / K_s \times S \times d$ 。其中: $W$  表示湿地宽(m); $Q$  表示湿地平均处理流量( $m^3/d$ ); $d$  表示湿地深(m); $K_s$  表示填料导水率 [ $m^3 / (m^2 \times d)$ ]; $S$  表示湿地床坡度。为保证废水以推流方式流经湿地,其长度应  $> 20$  m;长宽比应  $> 3$ 。根据现有人工湿地的设计与运行经验,一般单个碎石床的长度  $< 50$  m,宽度  $25 \sim 30$  m<sup>[20]</sup>。人工湿地的深度一般是按水生植物根系自然扩展的深度来设计的,多数为 0.6

~0.7 m<sup>[4,23]</sup>. 如蔗草床深度为 0.76 m<sup>[24]</sup>; 芦苇床推荐深度为 0.6~0.7 m; 荇草、席草和灯心草湿地池深度为 0.45~0.6 m<sup>[25]</sup>; 香蒲、灯心草的湿地池深度以 0.2~0.6 m 为宜<sup>[26]</sup>.

根据废水的流经方式可将人工湿地分为 3 类: 表面流型、潜流型、立式流型. 可根据不同的污染物去除要求及地理条件选择建造不同的类型. 潜流型人工湿地由于水在填充料的表面下渗流, 可充分利用各系统的协调作用, 而且相对于其他类型而言不容易滋生蚊虫, 卫生条件较好, 造价较低, 在我国应用较多<sup>[4,27~29]</sup>.

#### 4 处理机制

人工湿地处理污水的原理复杂, 目前还缺少较为深入的研究. 现有研究认为湿地之所以能够净化污水是其中物理、化学及生物协调作用和影响的结果. 成熟的人工湿地, 其填料表面吸附了许

多微生物形成的大量生物膜, 植物根系广布于池中, 当污水流经人工湿地时, 污水中的悬浮物(包括不溶性有机物)被填充料及植物根系阻挡截留而沉淀在基质中, 通过微生物的同化吸收和异化分解得以去除; 污水中的许多污染物还可以通过植物根系和微生物分泌的一些物质发生离子交换、离子吸附、化学沉淀等化学反应得以去除. 德国学者 Kickuth R. 的根区法理论认为, 生长在湿地中的挺水植物通过叶吸收和茎干的运输作用, 将空气中的氧转运到根部, 再经过植物的根部表面组织扩散. 这样, 使根系周围的微环境依次呈现好氧、缺氧及厌氧状态, 十分利于硝化、反硝化作用及微生物对磷的过量积累作用从废水中得以去除, 最后通过湿地基质的定期更换或收割使污染物最终从系统中去除. 人工湿地中物质的传递与转化主要因含氧情况不同而有所差别, 图 1 可以清楚地表现这一过程<sup>[21,22]</sup>.

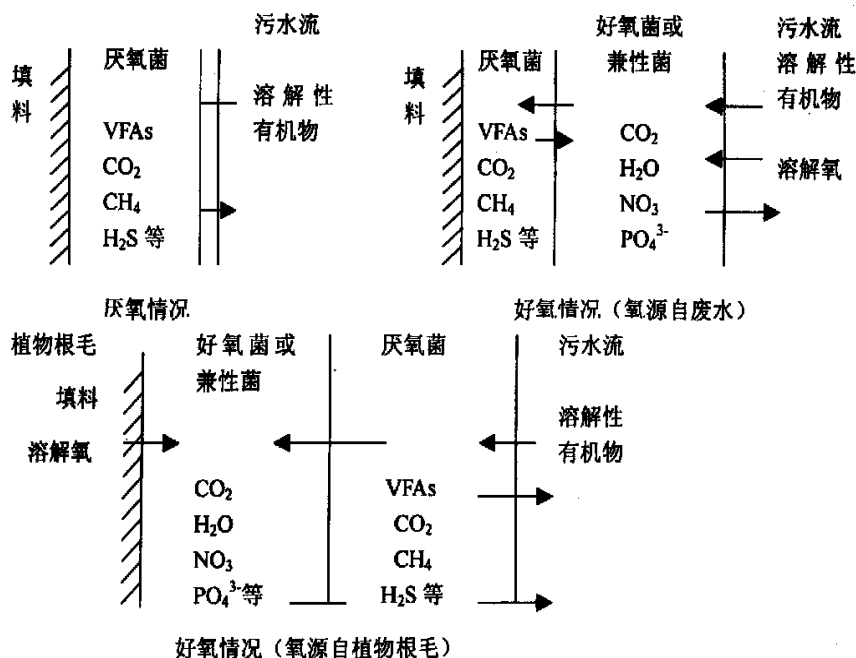


图 1 人工湿地中物质传递及变化过程

#### 5 结束语

人工湿地由于其工艺较为简单、投资少、能耗低、运行费低、维护、操作和管理方便, 目前已引起全世界环境科学家的高度重视, 正逐渐被广泛应用. 此外, 由于人工湿地可以建成一个草木常青、花香飘逸、鱼儿欢跃的具有自然美感的园林, 因而较常规的

二级污水处理工艺具有更好的生态效益和经济效益, 在我国和世界必将有广泛的应用前景.

#### [参 考 文 献]

- [1] 王久贤. 人工湿地水利学研究[D]. 成都: 成都科技大学, 1991.
- [2] WORLD RESOURCE INSTITUTER. World Freshwater Resource[J], World Environment, 1990, (1): 1.

- [3] 胡康萍. 人工湿地污水处理系统初步研究[J]. 上海环境科学, 1991, 10(9): 41~44.
- [4] 诸惠昌, 胡纪萃. 新型废水处理工艺 - 人工湿地的设计方法[J]. 环境科学, 1993, 14(2): 39.
- [5] 刘红玉. 中国湿地资源及其保护研究[J]. 资源科学, 1999, (6): 34~37.
- [6] 何勇田. 试论湿地生态系统的特点[J]. 农业环境保护, 1994, (6): 275~278.
- [7] 杨士军. 湿地的价值[J]. 环境, 1998, (1): 41~42.
- [8] RALPH W TNERIR. Wetlands of the United States: current status and recent trend[M]. Washington, U. S. Government printing office, 1984.
- [9] 陈建华. 中国湿地现状、保护与目标展望[J]. 野生动物, 1999, (4): 3~6, 9.
- [10] 余国营. 洪灾后的反思——湿地管理和洪水灾害的生态关系浅析[J]. 生态学杂志, 1999, (1): 34~36.
- [11] 黄立南. 湿地处理污水的研究[J]. 生态科学, 1996, (2): 117~122.
- [12] 李利强. 洞庭湖区的湿地资源及保护对策[J]. 江苏环境科技, 2000, (1): 43~46.
- [13] MIISH WJ. Wetland of the old and new world ecology and management[A]. MIISCH WJ. Gobal wetlands: old world and new[C]. Elsevier: Netherlands, 1994.
- [14] 诸惠昌. 用人工湿地处理乳制品废水的研究[J]. 环境科学, 1996, (5): 30~31.
- [15] 唐述虞. 铁矿酸性排水的人工湿地处理[J]. 环境工程, 1996, (4): 3~7.
- [16] 胡 焕. 人工湿地处理矿山炸药废水[J]. 环境科学与技术, 1997, (3): 17~18, 26.
- [17] 李亚治. 水葫芦 - 水草人工湿地系统在再生浆造纸废水处理中的应用研究[J]. 环境工程, 2000, 12(8): 15~16.
- [18] 郭 静, 阮宜纶, 林荣忱. 水生植物对地热废水净化作用的研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(2): 251~254.
- [19] 刘文祥. 人工湿地在农业面源污染控制中的应用研究[J]. 环境科学研究, 1997, 10(4): 15~19.
- [20] 李 军, 丁 立. 湖南给水排水[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1994.
- [21] 吴晓磊. 污染物质在人工湿地中的物质流向[J]. 中国给水排水, 1994, 10(1): 40~43.
- [22] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学, 1994, 16(3): 83~86.
- [23] CONLEY L M, DICK R, LION L W. An assessment of the root zone method of wastewater treatment [J]. Res. J WPCF. 1991, 63: 239~247.
- [24] GERSBERG R M, ELIINS B V, LYON S R, et al. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands [J]. Wat. Res. 1986, 20(3): 363~368.
- [25] 胡康萍. 人工湿地设计的水利学问题研究[J]. 环境科学研究, 1991, 4(5): 8~12.
- [26] 陈水平, 夏宜铮. 香蒲、灯心草人工湿地的研究 - 净化污水的空间[J]. 湖泊科学, 1998, 10(1): 62~66.
- [27] HABERL R. Constructed wetlands in Europe[J]. Water Sci. technol. 1995, 32(3): 306~315.
- [28] BROWN D S. Inventory of constructed wetlands in the United States[J]. Water Sci. Technol. 1994, 29(4): 309~318.
- [29] JUWARKA A S. Domestic wastewater treatment through constructed wetlands in India [J]. Wat. Sci. technol. , 1995, 32(3): 291~294.

## Constructed Wetland—A New Type of Wastewater Treatment

WEN Le - yuan<sup>1</sup>, XIE Ke - jun<sup>2</sup>

(1. Faculty of Landscape Architecture, Southwest Forestry College, Kunming Yunnan 650224, China;

2. Institute of Agricultural Bio - Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310029, China)

**Abstract:** The definition, fundamental principles, structures and design skills of constructed wetland were reviewed by summarizing related international researches and development. The widely applied prospects of constructed wetland system in wastewater treatment, biodiversity protection, regional ecological balance maintenance and some other aspects were shown.

**Key words:** constructed wetland; wastewater treatment; design