

文章编号: 1005-0523(2007)01-0011-04

人工湿地在污水处理中的研究进展

李丽, 王全金

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 人工湿地是根据生态学原理产生的一项新型污水处理技术, 具有其独到的特点和优势. 在重视生态保护的今天越来越受到人们的关注. 人工湿地是一项具有发展前景的污水生态处理技术. 潜流人工湿地已在世界各国研究应用. 本文主要介绍了人工湿地的分类, 研究进展、发展趋势以及对人工湿地的展望.

关键词: 人工湿地; 应用; 研究进展; 发展趋势

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

0 引言

随着城市规模的扩大和工业化的迅速发展, 城市污水和工业废水的用量和排放量都在不断增加, 水资源紧缺及水污染问题严重凸现. 我们必须采取适当的措施进行治理和控制, 否则将危及子孙后代的健康, 阻碍社会发展, 甚至危及我们的生命.

自有人类以来, 湿地一直都在发挥着净化污水的巨大作用, 只是不为人们重视而已. 但随着污染的加剧, 其作用日渐衰落, 净化作用达到饱和, 经常出现水污染事件. 据统计, 我国每年污水排放量有数亿吨, 但只有 24% 的工业废水和 4% 的生活污水经处理排放, 有 80% 的饮用水源遭到了污染. 虽然很多企业也自建了污水处理系统, 但没有从根本上解决问题. 水体被严重污染, 自净能力急剧下降. 通过教训和不断的摸索, 人们通过水体自净发现了一种适应社会发展的水处理新途径—人工湿地生态处理技术.

湿地用于污水净化始于 50 年代末, 而人工湿地则是本世纪 70 年代发展起来的一种新型污水生态处理技术, 是人工建造的、可控制的和工程化的湿地系统. 利用与自然湿地系统中类似的物理、化学和生物作用的优化组合机理来处理污水. 与传统工艺相比, 具有独到的特点: 投资及运转费用低、运行维护简单, 出水水质好, 对氮、磷去除效率比较高. 对于一

般的生活污水, 完全可以达到国家允许的排放标准^[1].

对都市来说, 人工湿地更是自然之肾, 要认识它, 建设它, 保护它, 合理利用和开发它. 人工湿地可以改观生态景观, 进行污水处理, 调节气候, 补充地下水、作为教育科研基地, 形成水体植被生态网络, 实现人与自然高度和谐^[2].

1 人工湿地概述

1.1 人工湿地的定义

人工湿地是人工建造的、可控制的和工程化的湿地系统, 其设计和建造是通过与湿地自然生态系统中的物理、化学和生物作用的优化组合来进行废水处理的^[1].

1.2 人工湿地的组成与分类

人工湿地一般由透水性的基质、水生植物、微生物及水体等部分组成, 各部分相互作用, 构成一个复杂的物理、化学、生态系统, 通过过滤、吸附、沉淀、植物吸收、微生物降解等途径来实现污染物质的高效分解与净化^[4]. 根据湿地中主要植物形式人工湿地可分为浮水植物系统、挺水植物系统和沉水植物系统. 沉水植物系统还处于实验阶段, 主要应用领域在于深度处理, 浮水植物系统主要用于 N、P 去除和

提高传统稳定塘效率. 目前应用的一般为挺水植物系统^[5].

人工湿地按水流形式可分为表面流(SFCW)和潜流(SSFCW)人工湿地. 其中在潜流基础上又改造成了垂直流(VSFCW)、波形潜流(WSFCW)人工湿地系统等.

表面流人工湿地(SFCW—Surface Flow Constructed Wetlands)与自然湿地类似, 污水流经湿地表面, 污染物的去除依靠植物根茎的拦截作用以及根茎上生成的生物膜的降解作用. 其造价低, 运行管理方便, 但不能充分利用填料及植物根系作用, 在处理废水过程中容易产生异味, 孳生蚊蝇, 一般不采用. 但据研究表明表面流湿地脱氮除磷效果好于潜流湿地.

潜流人工湿地(SFCW—Subsurface Flow Constructed Wetlands)系统中, 污水流经湿地床, 可以充分利用湿地中填料, 相对表面流人工湿地卫生条件及保温效果好, 受气候影响小, 因而被欧洲、澳大利亚和南非等国广泛接受^[6], 应用于许多实际工程.

垂直流人工湿地(VSFCW—Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands)是结合表面流与潜流人工湿地的特点而成, 但易孳生蚊蝇, 操作、管理不便.

波形流人工湿地(WSFCW): 为增加水流的曲折性, 使污水以波形的流态多次经过湿地内部基质, 在传统潜流湿地内部增设导流板, 将布水方式设计成波形流动^[7], 相对于传统湿地, 波形流湿地在垂直方向上的处理更加优越.

2.2 人工湿地处理污水的机理研究

近年来水体富营养化加剧, 特别是在发达国家, 对排放水中 N、P 含量有严格控制标准^[8,9]. 到目前为止, 人工湿地净化污水机理没有十分清楚. 普遍认为人工湿地对污水的处理是利用物理、化学及微生物作用的协同影响结果.

1) 污水流经湿地床, 湿地床的填料对其进行沉淀、过滤截留了污水中不溶性物质, 然后微生物进行利用; 床中植物根系发达, 与填料交错在一起, 为微生物附着提供了良好场所, 附着在床上的生物膜对有机物进行吸附、代谢将其去除; 植物自身进行光合作用, 生物膜的吸附吸收及微生物的代谢作用能将部分可溶性污染物同化吸收.

2) 德国学者 Kickuth 的根区法理论则认为湿地床中挺水植物通过叶吸收、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, 通过硝化、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质最终从系统中去

除.

3 国内外研究进展及应用现状、发展趋势

3.1 国外人工湿地研究进展及现状

国际上对人工湿地的研究已相当活跃, 涉及到各个领域. 但广度上尚未形成综合性很强的成果, 深度上许多基础理论问题尚在讨论. 目前尚未见到系统的城市湿地专著^[10]. 美国 EPA 目前正开发北美人工湿地数据库, 地方数据库在其它国家已存在, 减少建设低效湿地的风险. 现已出版了两种湿地的设计指南, 但仍不是十分成熟, 需要改良和改进. 在欧洲许多地方对竖流湿地投入运行已有几十年, 但至今仍未广泛应用, 主要是介质选择还不成熟. 最近国际会议上有几篇文章对竖流系统评价很高, 许多科技人员仍在不断努力投入湿地的改进技术, 改良优化工程设计参数, 研究系统的长期运行能力和管理问题. 人工湿地不仅用于城市和各种工业废水的二级处理, 还可用于高级处理中的精处理和对农田径流的处理. 有些情况下, 人工湿地可能是唯一使用的技术.

1903 年英国约克郡 Earby 建造成了世界上第一个人工湿地污水处理系统, 之后便陆续开始对其机理、填料、植物、设计等各方面的研究. 70 年代以来, 人工湿地在国外应用研究迅猛发展. 欧洲几乎已普及. 统计数据表明, 目前在美国有 600 多处人工湿地工程用于处理市政、工业和农业废水(400 多处人工湿地被用于处理煤矿废水, 50 多处人工湿地用于处理生物污泥, 近 40 处人工湿地应用处理暴雨径流, 超过 30 处人工湿地系统用于处理奶产品加工废水)^[11]. 丹麦、德国、英国各国至少有 200 处人工湿地系统在运行^[12]. 新西兰也有 80 多处人工湿地系统投入使用^[13], 北美 2/3 的湿地是自由表面流湿地, 其中一半是自然湿地($1 \sim 1\,000\text{ hm}^2$), 其余为人工自由表面流湿地(通常比较小, 60% 小于 10 hm^2). 自然湿地水力负荷小于人工湿地, 系统水深范围一般为 $30 \sim 40\text{ cm}$. 在欧洲应用较多的则是地下潜流系统, 特别是在一些东欧国家应用广泛. 系统中种植芦苇、菖蒲、香蒲等湿地植物, 为了保证潜流, 绝大多数系统采用砾石作为填料, 此类系统趋向于对近 1 000 人口当量的乡村社区进行二级处理, 北美则趋向对人口较多地区进行高级处理, 澳大利亚和南非则用于处理各类废水^[12,4].

3.2 国内人工湿地研究进展及现状:

我国起步较晚, 尚处于起步阶段. 从“七五”开始试验, 取得了人工湿地工艺特征、技术要点和工程参

数等研究成果^[14,15]。20 世纪 90 年代以来,我国开始对人工湿地有所研究,发现灯心草、香蒲人工湿地净化污水能达到国家 2、3 级地面水标准,人工湿地可以广泛应用于工业废水处理、农业水处理、雨水处理等行业。随着技术的发展,人工湿地广泛应用于新型行业,如况琪军等利用人工湿地生态系统去除水体中藻类,说明人工湿地系统在污水深度或减少水体富营养化、抑制藻类生长等方面也具有特色^[16]。全国数十个城市开展人工湿地研究,很多已投入生产;已有不少城市建立了芦苇人工湿地污水处理系统。这些系统运行以来,产生了良好的经济效益,为我国环境保护做出了贡献。此技术还在快速发展^[17]。

现在人们逐渐意识到要充分利用已有资源。虽然很多湿地被破坏,但仍留有大量天然湿地,这些湿地多属表面流,而应用较广的是潜流人工湿地,两者各有优缺点,将天然湿地进行改造,用来处理污水,使表面流和潜流式湿地相结合,发挥各自的长处,有很大的现实意义^[18]。

我们国家尤其是对潜流人工湿地系统研究较多,而对表面流和垂直流研究很少。1987 年,我国第一个人工湿地由天津市环保所建成,占地 6 ha,处理规模为 $1\ 400\ \text{m}^3/\text{d}$ ^[19]。1988~1990 年北京昌平建成了我国首例进行研究的自由表面流人工湿地,1990 年我国在深圳白泥坑建成第一座实用型人工湿地处理系统,处理水量 $3\ 100\ \text{m}^3/\text{d}$,占地 0.84 ha^[20]等。现在潜流人工湿地处理技术已在我国得到广泛应用,主要用于处理生活污水、工业废水、造纸废水^[21]等。

3.3 国内外人工湿地发展趋势

经过 20 多年的研究,可以说我国的研究取得了一定的进展,潜流人工湿地污水处理技术也取得了一定的经验参数和设计理论数据,可作为一项新型污水处理工艺推广应用,但还有很多不足需要进一步研究:

1) 现在国外的研究主要在于开发数据库、数据指南、深入研究机理、改良人工湿地技术、不断扩大应用范围等^[22]。

2) 人工湿地在我国北方寒冷地区,冬天几乎不能应用,虽然潜流湿地在这方面要求较低,但温度很低时还是会严重影响去除率。所以说温度是一个很关键的影响因子,要想办法解决这一关键问题,才能推广其在北方的应用。

3) 人们逐渐把目光转向 N、P 去除,如果效果不好,还会加剧水体富营养化,所以要着力研究脱氮除磷机理,提高去除率。在实际应用中,将人工湿地污水处理系统与其它系统相结合,构成多水塘处理系统,以达到更好的处理效果,把人工湿地工艺系统

化,量化^[23]。决定人工湿地处理效率的因素除了系统内污染物降解的反应动力学和湿地内部的水流流态外^[24],许多外在因素也有很大影响如温度、进水负荷、水力停留时间、区域差异和气候特征及系统设计类型等,都会对污水净化效果产生影响。目前仍没有什么标准来对人工湿地进行定性设计,需要来统一标准。

4) 随着运行时间增长,人工湿地中填料会出现堵塞,甚至吸附饱和,我们需要寻找途径来解决这一问题,确保湿地长期稳定运行。

5) 目前我国仍处于中等发达国家经济水平,而人工湿地是一项经济的技术,需要充分利用有限的土地、经济条件又要保护环境,达到美化市容市貌效果。

4 展望

4.1 深入研究机理

人工湿地作为一项新的污水处理技术,对其处理机理、影响因素认识还没有十分全面,因此经常由于设计不当使得出水达不到设计要求或不能达标排放,有时人工湿地甚至还会成为污染源^[25]。所以要深入研究,使其发挥良好作用。

4.2 大力推广应用

创建生态城市,在沿城水边推广湿地,既可美化城市,作为休闲、娱乐场所,又可净化污水和周边空气,改善周边环境。在经济发达地区建设人工湿地生态景观花园,既可处理回用资源,又可美化景区。另外还可以在社区推广,上面进行绿化,增大了绿化面积,又能节约用地。让社区居民接近自然,享受自然,实现人与自然高度协调。在经济欠发达地区或郊区推广,能节约治水成本,又易于管理,使污水能完全达到排放指标。在高校、研究所建立科研基地,培养公民环境意识,也能加强对人工湿地的认识。

4.3 改良设计技术

人工湿地技术到目前仍然属于一项热研究但不十分成熟的污水处理技术,世界各个国家都投入了大量的精力来对其加以完善、改良,将传统生活污水、高浓度有机废水、工业废水、低浓度废水等引入湿地。也有污水实验室试验装置、中试系统,甚至建立了大规模人工湿地来进行试验。人们在寒冷地区、温带、热带来进行研究。除了对现有人工湿地系统进行研究、改良、优化设计参数之外,人们逐渐加强、注重对系统的长期运行能力和管理问题的研究。人工湿地具有很多其它工艺不具备的优点,但也有缺陷,比如随着运行时间的增长,出现填料饱和、吸附能力下降,这就要求我们找到最优、最廉填料,或者找到

能就地使填料再生的方法. 对植物的研究去除能力现在说法不一, 我们还需要深入研究, 找出最适合在当地生长、处理效果最佳的、还能美化环境、产生经济效益的植物, 以保证人工湿地的长期运行.

4.4 合理设计参数

人工湿地技术尚属新领域, 设计参数主要靠摸索的经验参数或者经验公式来得, 而且设计范围面宽, 影响参数多. 尚且人们现在对机理不是十分清楚, 需要优化各设计参数, 使其更加经济合理^[26]. 不断进行试验, 积累经验, 使工艺更加成熟.

参考文献:

- [1]汪宝贞, 王琳. 水污染治理新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2]黄祖新. 福州创建生态城市中人工湿地技术的应用[J]. 福建地理, 2003, 12, 18(4), 5—8.
- [3]熊飞, 李文朝, 潘继征, 李爱权, 夏天翔. 人工湿地脱氮除磷的效果与机理研究进展[J]. 湿地科学. 2005, 3(3), 228—234.
- [4]吴建强. 人工湿地处理污染河水现场中试研究[R].
- [5]张兵之, 吴振斌, 徐光来. 人工湿地的发展概况和面临的问题, 环境科学与技术, 2003. 12, 26(增刊), 87—90.
- [6]葛丽英, 谈玲, 何成达, 等. 波形潜流人工湿地污水处理技术研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2004, 7(4): 75—78.
- [7]R. M. Gersberg et al, Nitrogen Removal in Artificial Wetlands, Water Res., 1983, 17(9): 1009—1014.
- [8]Bortone G et al, Nitrification, Denitrification and Biological Phosphate Removal in Sequencing batch reactors treating piggery wastewater, Proic, Water Quality International '92, Washington D. C., 24—30 May, Wat. Sci. and Technol., 1992, 26(5~6): 977—986.
- [9]孙广友, 王海霞, 于少鹏. 城市湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004. 9, 23(5), 94—100.
- [10]Hans Brix. Use of constructed wetland in water pollution control; historical development, present status, and future perspectives. [J]. Wat. Sci. Tech, 1994, 30(8): 209—223
- [11]USEPA. Guiding principles for constructed treatment wetlands: providing for water quality and wild life habit [M]. Washington DC: USEPA. Office of Wetlands. Oceanershed, 2000.
- [12]白晓慧, 王宝贞, 等. 人工湿地污水处理技术及其发展应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(6): 88—92.
- [13]吴亚英. 人工湿地在新西兰的应用[J]. 江苏环境科技, 2000, 13(3), 32—33.
- [14]胡康萍, 刘少宁. 一种经济、有效、可靠的污水处理技术——人造湿地系统[J]. 环境工程, 1991, 9(2): 6—10.
- [15]严晔端. 芦苇渗滤湿地污水运移规律[A]. 水污染防治及城市污水资源化技术[C]. 北京, 1993, 348—353.
- [16]刘雯, 崔理华. 人工湿地在处理污水中的应用研究进展[J]. 嘉兴大学学报(自然科学), 2002. 6, 20(3), 29—32.
- [17]王全金, 陈栋. 芦苇人工湿地处理技术研究进展[J]. 华东交通大学学报, 2004. 8, 21(4), 1—5.
- [18]赵素芬, 周仲魁, 胡小英. 复合床人工湿地处理生活污水的实验研究[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2006(4), 29(2), 172—175.
- [19]彭超英, 朱国洪, 等. 人工湿地处理污水的研究[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(6): 43—45.
- [20]许振成. 白泥坑人工湿地污水处理系统工程设计建设总报告[A]. 国家环保局华南科学研究所, 1991.
- [21]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. 环境工程. 2000, 18(6): 15—16.
- [22]陈长太, 王雪, 祁继英. 国外人工湿地技术的应用及研究进展[J]. 中国给水排水, 2003. 19, (12), 105—109.
- [23]徐飞, 符斌. 人工湿地在我国污水处理中的应用[J]. 中国资源综合利用, 2005, 11. 11. 19—11.
- [24]付贵萍, 吴振斌, 任明迅, 等. 垂直流人工湿地系统中水流规律的研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(6): 720—725.
- [25]史云鹏, 周琪. 人工湿地污染物去除动力学模型研究进展[J]. 工业用水与废水, 2002, (33): 12—15.
- [26]崔玉波, 宋铁红, 王翠兰. 潜流人工湿地设计与经济分析[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2002. 9, 19(3), 9—11.

The Research of Development of Artificial Wetland Wastewater Treatment

LI Li, WANG Quan-jin

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Constructed wetlands is a new technology according to the theory of bionomics. It has particular characteristics and superiority. In the day of the advocacy of environmen it was paid much attention to. Constructed wetland possesses expand potential in the field of sewage disposal. Subsurface Flow Constructed Wetlands has been on application in every country. This topic mainly introduces the system, study and trend, expectation of it.

Key words: constructed wetland; application; get along on research; developmental trend