

# 新型污水处理系统在北方滨海盐碱地区的应用展望

张晓庆<sup>a,b</sup>, 许映军<sup>a</sup>, 常志云<sup>a,b</sup>, 陶军<sup>a</sup>, 顾卫<sup>a</sup>

(北京师范大学 a. 地表过程与资源生态国家重点实验室; b. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘要:** 人工湿地污水处理技术因其具有去污效果好、投资低、运行简单等特点而受到关注并不断在全世界范围内推广。该文主要阐述了人工湿地的净化机理以及其在国内外的发展现状, 并通过对比人工湿地和自然冷冻污水处理技术的优缺点, 提出将这两种污水处理技术相结合, 形成一个可行的综合污水处理系统, 并对该综合系统运用于中国北方滨海盐碱地区提出设想。

**关键词:** 人工湿地; 滨海盐碱地区; 水净化; 污水处理

中图分类号: S156.42

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0094-04

## Prospect of new wastewater treatment system in the coastal saline-alkali areas of northern China

ZHANG Xiaoqing<sup>a,b</sup>, XU Yingjun<sup>a</sup>, CHANG Zhiyun<sup>a,b</sup>, TAO Jun<sup>a</sup>, GU Wei<sup>a</sup>

(a. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology; b. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Wastewater treatment technology of constructed wetland is becoming more and more popular all over the world for its good effect, low investment, simple operation, and so on. This paper mainly discusses the purification mechanism of constructed wetlands and their development status at home and abroad, comparing the advantages and disadvantages of constructed wetlands and natural freezing sewage treatment technology, it puts forward the idea about developing a feasible comprehensive system which is the integration of constructed wetlands and natural freezing sewage treatment technologies and uses this system in coastal saline-alkali area of the northern China.

**Key words:** constructed wetlands; coastal saline-alkali area; water purification; wastewater treatment

## 0 引言

所谓湿地,是指无论天然或人工,长久或暂时的沼泽地、泥炭地或水域地带,带有静止或流动的淡水或半咸水体者,包括低潮时不超过 6m 的水域<sup>[1]</sup>。湿地生态系统作为天然的“污水净化厂”是陆地生态系统与水生态系统的过渡带,具有复杂多样的生态特征和生态功能,对水体生态环境起到至关重要的净化作用,因此也被称之为“地球之肾”。人工湿地污水处理系统在自然湿地的基础上加入了人为因素<sup>[2]</sup>,更大限度的发挥了湿地的污水净化功能,其相较于传统的二级污水处理系统,具有投资少、运行成本低、操作简单、去污能力强、二次污染小且具美学价值等优点,因此,受到越来越多的学者的关注。

而随着该技术的不断发展成熟,其很有可能在将来被广泛的运用到中国的各大城市和乡镇,其中也包括我国北方滨海盐碱地区。

## 1 人工湿地净化机理及其分类

### 1.1 净化机理

人工湿地(constructed wetlands, CWs)主要由水体、基质、植物和微生物等四大部分有机组合而成,基于物理、化学、生物三者的协同作用<sup>[3]</sup>,通过过滤、沉淀、吸附、离子交换、植物吸收和微生物降解等过程来实现对废水的高效净化和水环境的修复。

张甲耀<sup>[4]</sup>等试验表明,有植物系统的人工湿地总氮去除率明显高于无植物系统的人工湿地。付融冰等<sup>[5]</sup>研究潜流水平人工湿地时发现有植物的人

收稿日期:2012-05-29; 修回日期:2012-06-08

基金项目:高校博士点基金资助课题(20090003110025);地表过程与资源生态国家重点实验室人才培养基金(2009-RC-01);国家 863 计划课题(2011AA100505-3)

作者简介:张晓庆(1987-),女,浙江衢州人,硕士研究生,研究方向:新能源的开发与应用。

通讯作者:许映军(1977-),男,江苏南通人,博士,副教授,研究方向为资源技术与工程应用。

工湿地的硝化能力明显高于无植物的人工湿地,有植物的人工湿地的氨氮氧化效果好,反应速率也很大。M. S. Fennessy 等<sup>[6]</sup>研究表明,空气中的氧气向水中扩散速率远小于各种水生植物根系的泌氧作用,某地区水温 15℃ 时,水面的溶解氧量为 0.362 g/m·d。在同样情况下,美人蕉的输氧速率(5.07 g/m·d)是它的 14 倍多,芦苇的输氧速率(1 159 g/m·d)是它的 32 倍多。由此可见,湿地植物对整个湿地系统污水处理效果有着直接或间接的作用。

## 1.2 类型与功能

按照污水水流方式的不同,一般可将人工湿地分为表面流(Free Water Surface, FWS)、水平流(Horizontal Sub-Surface Flow, HF)和垂直流(Vertical Sub-Surface Flow, VF)3 种类型。表 1 为不同湿地之间的比较。

表 1 表面流、水平流和垂直流人工湿地比较<sup>[7]</sup>

|        | 表面流         | 水平流        | 垂直流        |
|--------|-------------|------------|------------|
| 水流方式   | 表面漫流        | 湿地床内水平流动   | 垂直纵向流动     |
| 构造及管理  | 简单          | 较复杂        | 较复杂        |
| 处理效果   | 较差          | 效果好        | 效果好,效率高    |
| 占地及费用  | 占地很大,费用低    | 占地大,费用高    | 占地小,费用高    |
| 季节气候影响 | 影响很大,冬季无法运行 | 影响较大,冬季效果差 | 影响较大,冬季效果差 |
| 卫生状况   | 夏季恶臭,蚊虫     | 良好         | 夏季恶臭,蚊虫    |

## 2 国内外人工湿地污水处理系统发展现状

### 2.1 国外发展状况

自 1974 年德国建成了第一座潜流人工湿地后,人工湿地便逐渐进入了规模化工程运用阶段,美国在 1988 年至 1993 年间就建立几百个人工湿地,而在欧洲几乎每个国家都有 200 多个系统在运行<sup>[8]</sup>。Zdragas A 等人<sup>[9]</sup>研究发现在高温和强太阳辐射条件下湿地去除生活污水中大肠杆菌的能力强。Sylvia Toet 等<sup>[10]</sup>研究了水力停留时间对表流湿地去污的效果的影响,实验表明当水力停留时间(HRT)为 0.3 d 时,生活污水中的大肠杆菌含量基本没减少,而当 HRT 为 4 d 时,出水基本符合当地游泳水质标准。Jan Vymazal 等<sup>[11]</sup>对 36 个国家 400 多个水平流人工湿地进行分析得出,水平流人工湿地可以很好用于污水的二级处理和三级处理,且该系统去除生活污水中的 COD 和 BOD<sub>5</sub> 的效果最好而对垃圾填埋场渗滤液的净化效果最差。

### 2.2 国内发展状况

我国对人工湿地污水处理系统的研究始于“七五”期间。1987 年,天津建造了中国首列芦苇湿地工程,其处理规模为 1 400 m<sup>3</sup>/d<sup>[12]</sup>,两年后北京昌平便建成了处理量为 500 m<sup>3</sup>/d 生活污水和工业废水的表面流人工湿地,至今运行效果良好。1990 年,深圳白泥坑混合型人工湿地污水处理系统建成,进过两年试验处理效果良好<sup>[13]</sup>,20 世纪末建成的成都活水公园更展示了人工湿地系统处理污水新工艺的以水为主体的环境科学公园和“用绿叶鲜花装饰大地,把清水活鱼送还自然”的魅力,使生态与环境效益的完美结合,实现了污水资源化利用、整治堤岸、净化水体及恢复水域良性生态环境的多重目的<sup>[14]</sup>。1996 年胶南市充分利用风河下游北岸的大片盐碱荒滩,修建芦苇湿地系统,不仅很好地处理了工业废水和生活污水,而且吸引鸥鹭、燕鹊栖息,取得了良好的生态效益<sup>[15]</sup>。而近几年来,人工湿地污水处理系统投入工程运用的案例更是数不胜数(见表 2),其作为新兴的污水处理系统在中国具有良好的发展前景,已得到越来越多的学者的关注。陈秀荣等<sup>[16]</sup>实验发现表面流湿地内脱氮途径主要是植物的吸收、吸附和硝化过程,潜流湿地内主要通过反硝化过程进行脱氮,而磷在人工湿地内主要依赖除磷填料床的物化吸附、共沉淀去除,除磷效率达 80% 以上。秦爱国等人<sup>[17]</sup>研究表明出水口位置对垂直流人工湿地污水净化有显著影响。宋铁红等<sup>[18]</sup>探讨了冬季运行条件下,湿地内微生物活性和除污效率的关系,结果表明,水温 < 5℃ 时,温度会对湿地处理效率产生一定的负面影响。卢少勇等人<sup>[19]</sup>考察了茭草、芦苇与水葫芦枯萎腐败后污染物释放规律,得出芦苇的 COD 和 TN 释放速率最小,茭草的 TP 释放速率最小、COD 释放速率最大,水葫芦的 TN 和 TP 释放速率最大,并且进一步指出收割植物可以改善低水力负荷湿地在低效率时期的处理效率。付融冰等<sup>[20]</sup>研究了不同湿地植物对 TN 去除效果的影响,发现芦苇湿地对 TN 的去除量要略大于菖蒲湿地,而无植物系统的去 TN 能力最差。汪秀华等人<sup>[21]</sup>进行潜流人工湿地系统处理天然橡胶加工废水的小型试验后发现湿地系统对 COD、BOD、NH<sub>3</sub>-N 去除率分别为 90.42%、93.25%、75.37%,该系统耐冲击负荷强,出水水质稳定。众多研究与工程实例表明,人工湿地是最具发展前途的污水处理系统之一,在我国具有广泛的运用前景。

表2 我国人工湿地污水处理系统工程应用实例

m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/d, mg/L

| 地区     | 湿地类型 | 面积                  | 日处理量                   | COD   |       | NH <sub>3</sub> - N |      | 参考文献                        |
|--------|------|---------------------|------------------------|-------|-------|---------------------|------|-----------------------------|
|        |      |                     |                        | In    | Out   | In                  | Out  |                             |
| 宜兴市杨巷镇 | 表流   | 1710                | 60                     | 400   |       | 30                  |      | (陈秋萍等,2010) <sup>[22]</sup> |
| 赤峰市平庄  | 表流   | 8000                | 3 × 10 <sup>4</sup>    | 290   | 68    | 30                  | 14   | (尹军等,2006) <sup>[23]</sup>  |
| 无锡市尹家村 | 表流   | 2100                | 60                     | 516.3 | 43.7  | 32.9                | 1.32 | (蒋岚岚等,2010) <sup>[24]</sup> |
| 常州市孟河镇 | 潜流   | 1000                | 70                     | 311   | 14.3  | 67.9                | 4.5  | (陈秀娟等,2007) <sup>[25]</sup> |
| 深圳市    | 潜流   | 2104                | 5000                   | 193   | 37    |                     |      | (王中华等,2009) <sup>[26]</sup> |
| 宿迁市泗洪县 | 组合湿地 | 1 × 10 <sup>4</sup> | 5.03 × 10 <sup>4</sup> | 400   | 100   | 35                  | 15   | (王中华等,2009) <sup>[26]</sup> |
| 沈阳世博园  | 组合湿地 | 3000                | 1000                   | 455.8 | 40.48 | 34.2                | 7.5  | (张帆等,2009) <sup>[27]</sup>  |
| 佛山南海区  | 组合湿地 | 5330                | 2000                   | 147.5 | 20.5  |                     |      | (卢建等,2010) <sup>[28]</sup>  |

### 3 人工湿地在滨海盐碱地区的应用展望

人工湿地系统作为一个完整的生态系统它具有较好的经济效益和生态效益,是正在不断得到研究应用和发展的新型污水处理技术,它不但具有投资低、出水水质好、抗冲击力强、操作简单、维护和运行费用低廉等优点,还能改善和美化生态环境,因此人

工湿地已被广泛的运用到城镇生活污水以及工业废水的二级、三级处理中。

于我国北方滨海盐碱地区气候严寒,且污水类型又是特殊的含盐污水,对湿地污水处理系统的运行十分不利,因此,湿地污水处理系统在滨海盐碱地区的应用尚未普及开来,仅有少许的学者进入初步研究阶段,见表3。

表3 国内外盐度/温度与人工湿地污水处理效果的关系研究

| 作者                               | 内 容   | 分 析                            |
|----------------------------------|---|--------------------------------|
| 陈秀荣等 <sup>[16]</sup>             | 研究潜流湿地的脱氮除磷机理,认为潜流湿地内主要通过反硝化过程进行脱氮,而磷主要依赖除磷填料床的物化吸附、共沉淀去除 | 以进水氮的形态变化,填料床中基质变化为线索,研究脱氮除磷机理 |
| 宋铁红等 <sup>[18]</sup>             | 认为冬季运行条件下,温度 < 5℃时,湿地内微生物活性和除污效率明显降低                      | 根据不同温度梯度下的微生物活性,确定影响因子         |
| 张爽等 <sup>[29]</sup>              | 试验含盐水灌溉对芦苇生长的影响,认为盐水盐度 > 0.30%时,随着盐度的升高,芦苇的生物量、产量和品质逐渐降低  | 设定不同盐度梯度,分析影响因子的作用             |
| Munns R <sup>[30]</sup>          | 认为高盐水能影响植物根系水分和养分的吸收,引起细胞的代谢失调并降低植物光合作用速率                 | 显微镜下观察植物细胞状态,分析影响因子的作用         |
| Klomjek P, et al <sup>[31]</sup> | 对人工湿地中不同耐盐植物处理含盐污水进行试验,认为香蒲和马唐草具有耐盐能力强、去污效果好等特点           | 设定不同植物,分析不同植物的耐盐、去污能力          |

虽然目前已有部分学者对人工湿地在低温、高盐度环境下污水处理效果进行研究,但相关文献仍非常少,且都处于研究初期阶段,对人工湿地在我国北方滨海盐碱地区的应用更鲜有研究。近几年我国北方滨海地区工业、养殖业等迅猛发展,污水大量排放导致当地水质恶化,并进一步加重了渤海的污染。我国北方滨海盐碱地区虽然对湿地污水处理系统的运行有众多不利因素,但该地区有大量的滩涂湿地,可用于污水处理的湿地资源丰富,如果通过技术改良或其他污水处理技术的引进,使湿地污水处理技术能在该地区运行,则其对该地区的生态环境以及经济发展都将起到一个良好的推进作用。

而本人以为,目前新兴的自然冷冻技术正是能很好的与人工湿地相结合共同用于我国北方滨海盐

碱地区的污水处理技术。该技术主要利用自然低温资源,通过污水冷冻结冰后泌污,从而净化污水,具有能耗低,除盐效果好等特点,在我国北方缺水地区具有较大的应用前景。而我国北方滨海盐碱地区低温资源十分丰富,以河北省黄骅市为例,该地区冬季平均气温低于 - 10℃ 的天数平均每年高达 22 d 以上<sup>[32]</sup>,具有充足的低温资源,适宜自然冷冻技术的开展。

表4 人工湿地与自然冷冻污水处理技术的优缺点比较

| 污水处理技术 | 优 点             | 缺 点                   |
|--------|-----------------|-----------------------|
| 人工湿地   | 投资少、易操作、污水处理效果好 | 占地广、除盐效果不佳、适宜常温条件下运行  |
| 自然冷冻法  | 投资少、低能耗、除盐效果好   | 占地广、技术不够成熟、只能在低温条件下运行 |

## 4 结 语

比较人工湿地与自然冷冻技术的优缺点,由表4可见该两种污水处理技术在除盐、运行季节上正好可以在一定程度上起到互补的作用,因此,研究如何将人工湿地与自然冷冻技术相结合,形成一种能运用于我国北方滨海盐碱地区的复合型污水处理技术,具有重大的研究价值和实际意义。

### 参考文献:

- [1] 崔保山,杨志峰. 湿地学[M]. 北京:北京师范大学出版社,2006.
- [2] 应俊辉. 利用人工湿地处理农村生活污水的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(4):1104-1105.
- [3] 籍国东,倪晋仁. 人工湿地废水生态处理系统的作用机制[J]. 环境工程学报,2004,5(6):71-75.
- [4] 张甲耀,夏盛林,崔克辉,等. 潜流型人工湿地污水处理系统中芦苇的生长特征及净化能力[J]. 水处理技术,1998,24(6):363-367.
- [5] 付融冰,杨海真,顾国维,等. 人工湿地基质微生物状况与净化效果相关分析[J]. 环境科学研究,2005,18(6):44-49.
- [6] Fennessy M S, Cronk J K, Mitsch W J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions [J]. Ecological Engineering,1994,3(4):469-484.
- [7] 丁疆华,舒强. 人工湿地在污水处理中的应用[J]. 农业环境保护,2000,19(5):320-封3.
- [8] Sherwood C Reed, Donald brown. Subsurface flow wetlands - A performance evaluation[J]. Water environmental Research,1995,67(2):244-250.
- [9] Zdragas A, Zalidis G C, Takavakoglou V. The effect of environmental conditions on the ability of a constructed wetland to disinfect municipal wastewaters[J]. Environmental management,2002,29(4):510-515.
- [10] Sylvia Toet, Richard S P. Van Logtestijn, Ruud Kampf. The effect of hydraulic retention time on the removal of pollutants from sewage treatment plant effluent in a surface-flow wetland system [J]. Wetlands, 2005, 25(2):375-391.
- [11] Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová. Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of the field experience[J]. Science of the total environment,2009,407:3911-3922.
- [12] 潘科,杨顺生,陈钰. 人工湿地污水处理技术在我国的发展研究[J]. 四川环境,2005,24(2):71-75.
- [13] 朱彤,许振成,胡康萍. 人工湿地污水处理系统应用研究[J]. 环境科学研究,1991,4(5):17-22.
- [14] 黄时达,王庆安,钱骏,等. 从成都市活水公园看人工湿地系统处理工艺[J]. 四川环境,2000,19(2):8-12.
- [15] 迟延智,陈凤伦. 人工湿地处理污水的实践[J]. 中国给水排水,2003,19(4):82-83.
- [16] 陈秀荣,周琪. 人工湿地脱氮除磷特性研究[J]. 环境污染与防治,2005,27(7):526-529.
- [17] 秦爱国,蹇兴超,冯庆革,等. 出水口位置对垂直潜流人工湿地净化的影响[J]. 环境污染与防治,2010,32(3):64-70.
- [18] 宋铁红,丁大伟,王野. 冬季人工湿地内微生物活性和除污效率分析[J]. 水处理技术,2008,34(9):68-71.
- [19] 卢少勇,张彭义,余刚,等. 茭草、芦苇与水葫芦的污染物释放规律[J]. 中国环境科学,2005,25(5):554-557.
- [20] 付融冰,杨海真,顾国维,等. 潜流人工湿地对农村生活污水氮去除的研究[J]. 水处理技术,2006,32(1):18-22.
- [21] 汪秀华,唐文浩. 潜流式人工湿地系统处理制胶废水小型试验[J]. 热带农业科技,2004,24(3):4-8.
- [22] 陈秋萍,蒋岚岚,刘晋. 太湖流域农村生活污水处理工程应用实例[J]. 中国给水排水. 2010,26(6):30-34.
- [23] 尹军,崔玉波. 人工湿地污水处理系统[M]. 北京,化学工业出版社,2006.
- [24] 蒋岚岚,刘晋,钱朝阳. MBR/人工湿地工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水,2010,26(4):29-34.
- [25] 陈秀娟,许光明,张文中. 垂直潜流生态湿地技术在市区外围住宅小区中的应用[J]. 给水排水,2007,33(1):30-32.
- [26] 王中华,项学敏,周集体. 人工湿地污水处理技术及其在我国中小城镇的应用[J]. 工业水处理,2009,29(12):1-4.
- [27] 张帆. 人工湿地组合工艺在风景区污水处理中的应用[J]. 环境保护科学,2009,35(2):27-32.
- [28] 卢建,杨扬,尹振娟,等. 生物法一人工湿地组合工艺处理小城镇混合污水研究[J]. 环境工程学报,2010,4(6):1262-1269.
- [29] 张爽,郭成久,苏芳莉,等. 不同盐度水灌溉对芦苇生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(1):65-68.
- [30] Munns R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses [J]. Plant, Cell and Environment,1993,16(1):15-24.
- [31] Klomjek P, Nitorisavut S. Effect of salt concentrations on treatment performance of constructed wetland [C] // Proceedings of the Regional Symposium on Environment and Natural Resources, Malaysia,2002:766-776.
- [32] 张长铎,刘会. 黄骅气象志[M]. 北京:气象出版社,1992.