

# 人工湿地脱氮技术的机理及应用

杨敦, 周琪

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 阐述了人工湿地的脱氮机理, 并对国内外一些具体的工程应用实例进行了介绍。

**关键词:** 人工湿地; 脱氮; 机理

**中图分类号:** X703.1    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1000-4602(2003)01-0023-02

人工湿地(Constructed Wetlands)系统具有建造及运行费用低(仅为传统二级污水处理厂的1/10~1/2)、维护简单、处理效果好、适用面广、对负荷变化的适应能力强等优点, 近年来在国内外已获得普遍应用。

## 1 脱氮机理

### 1.1 湿地内部氧的变化及传输特性

人工湿地中的物质传递和转化因含氧差异而有所不同(氧来源于植物根毛的释放、来水及水面更新溶氧)。由湿地植物经光合作用产生的氧气, 一部分通过组织和根毛输送并释放到湿地环境中, 并在根毛周围形成了一个好氧区域, 而离根毛较远的区域呈现缺氧状态, 更远的区域则完全处于厌氧状态<sup>[1]</sup>, 这样就形成了连续的好氧、缺氧及厌氧环境。

### 1.2 对氮的脱除

在湿地中氮主要通过水生植物吸收、微生物的硝化和反硝化以及氮的挥发等途径被去除。氮在湿地系统中呈现一个复杂的生物地球化学循环, 它包括了七种价态的多种转换, 氮的转化是受土壤氧化还原特性影响的、微生物分解的复杂过程<sup>[2]</sup>。研究表明, 污水中的无机氮可作为植物生长过程中不可缺少的物质而直接被植物摄取, 并合成植物蛋白质等有机氮, 通过植物的收割可使之从污水和湿地系统中去除。但这一部分仅占总氮量的8%~16%, 因而不是主要的脱氮过程。在人工湿地系统中, 植物根茎下穿形成有利于微生物实现硝化作用的好氧

微区, 同时在远离根系周围的厌氧区, 枯枝、碎屑及底层层中可利用的碳源又提供了反硝化条件, 所以人工湿地的脱氮主要是靠微生物的硝化、反硝化来实现的<sup>[1,3]</sup>。

## 2 应用实例

在国外, 人工湿地脱氮技术发展迅速。F. A. Comin 等人<sup>[3]</sup>于1993年将人工湿地系统用于解决西班牙东北部 Ebro 河三角洲的农业径流的氮污染问题, 试验中湿地的入水为当地玉米地的灌溉水, 总氮负荷达 270 mg/(m<sup>2</sup>·d), 溶解性无机氮负荷达 105 mg/(m<sup>2</sup>·d), 溶解性有机氮负荷达 27 mg/(m<sup>2</sup>·d), 经人工湿地处理后总氮的去除率达 84%~98%。分析表明, 植物吸收、植物碎屑的积累和降解以及基质中的氮循环是湿地中氮保留和降解的主要因素, 根据一阶柱塞流动力学模型可得总氮去除率常数为 0.075 m/d。G. Sun 等人<sup>[4]</sup>将潮汐流的概念引入人工湿地的运行之中, 该湿地系统栽种的水生植物以芦苇为主, 所处理的农业废水的氨氮平均浓度为 329.5 mg/L。在人工湿地运行中, 每隔一定周期向湿地注水、排水, 当废水排入湿地中时空气被迫从床体基质中排出, 而当水排出时空气又进入床体基质中, 这样利用有节奏的气、水运动就在湿地床体内部不断形成好氧、厌氧环境, 有利于硝化、反硝化作用的发生, 结果表明氨氮去除率可达 93.1%。J. N. Carleton 等人<sup>[5]</sup>经过研究发现, 尽管暴雨径流使人工湿地所处理的废水水质、水量波动大, 但稳定态

基金项目: 国家科技部“十五”科技专项资助项目(K99-05-35-02)

下的一阶柱塞流湿地模型对其仍适用。在暴雨径流人工湿地中应用一阶模型时, 氨氮的去除率常数基本不变, 而硝酸盐氮的去除率常数略低, 这主要与暴雨水力特征的间歇性有关。在研究中引入了参数  $AR$  (湿地面积与暴雨汇水面积的比值), 并得出氨氮去除率  $= 100 - 94.3 \exp(-8.78AR)$ 、硝酸盐氮去除率  $= 100 - 75.1 \exp(-9.14AR)$ , 两者均与  $AR$  成正比, 这为暴雨径流人工湿地的设计提供了依据。

近几年, 国内人工湿地脱氮技术也获得了较大发展。北京市北郊昌平卫星城的人工湿地系统将自由水面人工湿地用于污水的处理, 在中国属首例。该系统接纳当地的生活污水及毛纺厂废水, 具有  $500 \text{ m}^3/\text{d}$  的处理能力, 其水生植物选用了芦苇, 通过定期收割不仅去除了污染物, 而且对解决北京市的造纸原料缺乏有一定意义。当系统水力负荷为  $4.7 \text{ cm/d}$ 、水力停留时间为  $4.3 \text{ d}$ 、总氮和氨氮浓度分别为  $44.3$ 、 $35.5 \text{ mg/L}$  时, 对其去除率分别可达  $63\%$ 、 $59\%$ 。该系统运行费为  $1.18 \text{ 万元/a}$ , 污水处理成本为  $0.065 \text{ 元/m}^3$ , 收获芦苇的产值为  $0.93 \text{ 万元/a}$ , 具有低耗高效的优点。胡焕斌等<sup>[6]</sup>于 1993 年在大冶铁矿建立面积为  $200 \text{ m}^2$  的中试性人工湿地, 用于处理铁矿炸药车间排放的含氮水 (氨氮为  $14.98 \sim 93.2 \text{ mg/L}$ )。该湿地选用砾石为填料、芦苇为栽种植物, 两年后则换用树苗, 其对氨氮的去除率为  $13.7\% \sim 99.2\%$ , 处理水量为  $12 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该系统采用木本植物, 能避免许多由种植草本植物带来的问题, 在国内尚属首例, 已获得国家专利。试验还表明, 木本植物对重金属  $\text{Pb}$ 、 $\text{Cd}$  也有较强的富集能力, 这为含重金属废水的处理开辟了一条新路。张甲耀等<sup>[7]</sup>在研究潜流式人工湿地系统中的植物净化能力时发现, 有植物系统对总氮的净化能力高于无植物系统, 且芦苇湿地系统最高, 茭白湿地系统次之, 穿心莲子草湿地系统最差。试验中还发现芦苇湿地系统有假单胞、无色杆、不动杆、黄杆、黄单胞、短杆、节杆、芽孢杆、分枝杆葡萄球和微球等菌属, 其中假单胞菌属、无色杆菌属和不动杆菌属细菌是优势菌属。在无植物系统中假单胞菌属也是优势菌, 但没有分离到不动杆菌属、黄杆菌属和微球菌属细菌。

滇池流域农业面源污染问题日益严重, 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, 首次引进处理城市生活污水的人工湿地工程技术来处理农田径流废水。刘文祥<sup>[8]</sup>利用面

积为  $1257 \text{ m}^2$  的低洼耕地建成人工湿地来处理农田径流废水, 其对总氮的平均去除率可达  $60\%$  (夏季去除率高于冬季), 同时发现其对暴雨径流也有较强的净化能力。由于农业面源污染具有不稳定特征, 径流量和径流中污染物浓度因水文条件不同而不同, 人工湿地正常运行时充分发挥了湿地中生物的吸收、吸附作用, 对污染物的净化效果较好。连续降雨时生物作用减弱, 但物理沉降作用仍很大, 同样可使污染物得到净化。人工湿地的生物和物理作用使其能够适应面源污染的不稳定特性, 对面源污染物有较好的净化作用, 因此将其处理农田废水可取得满意的社会及环境效益。

### 3 结语

人工湿地系统作为一种建造及运行费用低、处理效果好的工艺, 有着和传统污水处理工艺不同的独特构造, 它尤其适用于含高氮废水的处理, 值得大力推广。

### 参考文献:

- [1] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学, 1995, 16(3): 83—86.
- [2] 丁廷华. 污水芦苇湿地处理系统示范工程的研究[J]. 环境科学, 1992, 13(2): 8—13.
- [3] Comin F A, Romero J A, Astorga V, *et al.* Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 35(5): 255—261.
- [4] Sun G, Gray K R, Biddlestone A J, *et al.* Treatment of agricultural wastewater in a combined tidal flow—down-flow reed bed system[J]. *Wat Sci Tech*, 1999, 40(3): 139—146.
- [5] Carleton J N, Grizzard T J, Godrej A N, *et al.* Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands[J]. *Wat Res*, 2001, 35(6): 1552—1562.
- [6] 胡焕斌. 人工湿地处理矿山炸药废水[J]. 环境科学与技术, 1997, 10(3): 17—18.
- [7] 张甲耀. 不同植物构成的潜流式人工湿地处理系统的净化能力及其异养细菌数量的研究[J]. 环境工程, 1998, 16(3): 17—20.
- [8] 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.

电话: (021)65981110

E-mail: yangdun@sina.com

收稿日期: 2002—06—25