

溅水充氧生物滤池处理农村生活污水的优化研究

李先宁, 李孝安, 蒋 彬, 吕锡武
(东南大学 环境科学与工程系, 江苏 南京 210096)

摘 要: 采用由缺氧池和溅水充氧生物滤池组成的一体化埋地式装置处理农村生活污水, 考察了对有机物及氮、磷的去除效果, 在此基础上重点分析了水力负荷及污染物容积负荷对处理效果的影响, 并通过模拟试验探讨了溅水盘构造、设置方式等的优化设计方案。结果表明: 装置对 COD 的平均去除率为 57.1%, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均去除率为 86.4%, 对 TN 的平均去除率达到了 70.6%。为了保证良好的处理效果, 应使 COD 容积负荷 $< 0.3 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 容积负荷 $< 0.08 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 水力负荷 $< 0.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 且硝化液回流比设定为 3 较合理。在 B 型溅水盘的间距为 30 cm 的条件下, 设置 2 层即可取得较好的充氧效果。

关键词: 溅水充氧生物滤池; 农村生活污水; 参数优化; 有机物; 氮

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2007)23-0015-05

Research on Optimization of Splashing Oxygenated Biological Filter for Rural Domestic Sewage Treatment

L I Xian-ning, L I Xiao-an, J IANG Bin, L V Xi-wu

(Dept. of Environmental Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The integrated buried facility composed of an anoxic tank and a splashing oxygenated biological filter was used to treat rural domestic sewage, and the removal efficiencies of organic pollutants, nitrogen and phosphorus were investigated. Based on this, the influence of the hydraulic loading and pollutant volumetric loadings on the treatment effect was analyzed mainly. The optimization design schemes of splashing tray structure and setting modes were discussed by a simulation experiment. The results show that the average removal rates of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TN are 57.1%, 86.4% and 70.6% respectively. In order to maximize treatment effect, the COD volumetric loading, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ volumetric loading and hydraulic loading should be less than $0.3 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $0.08 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and $0.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ respectively. The rational reflux ratio of nitrified liquid is set at 3. When 2 splashing trays are used and the relative spacing of B-type splashing tray is adjusted to 30 cm, the better oxygenation can be obtained.

Key words: splashing oxygenated biological filter; rural domestic sewage; parameter optimization; organic pollutant; nitrogen

农村生活污水作为农村面源污染的主要组成部分, 其污染贡献率较大, 但由于排放较为分散以及受

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2002AA601011-03); 江苏省环保厅项目 (2005012)

经济条件的制约,一直没有得到有效处理^[1,2]。在我国的太湖地区,农村人口高度密集,未经处理的农村生活污水的无序排放不但造成该地区的卫生环境严重恶化,而且也是引起太湖富营养化的氮、磷重要供给源之一^[3]。

太湖流域的土地资源严重短缺,针对太湖的富营养化问题,其农村生活污水的处理必须实现在低运行费用下对氮、磷的高效去除。本课题组开发的溅水充氧生物滤池通过溅水充氧实现好氧生物处理,无需曝气,能耗及运行费用低,且该装置完全覆土后,地表可恢复原有土地利用状况,基本不占用土地资源。笔者以实际运行的污水处理装置为研究对象,考察了其对有机物和氮的去除效果,重点研究了水力负荷及污染物负荷对除污效果的影响,并通过模拟试验探讨了溅水盘的优化设计方案。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

装置建在宜兴市大浦镇的某村(约 100 户),设计处理能力为 2 5 m³/d。装置如图 1 所示。

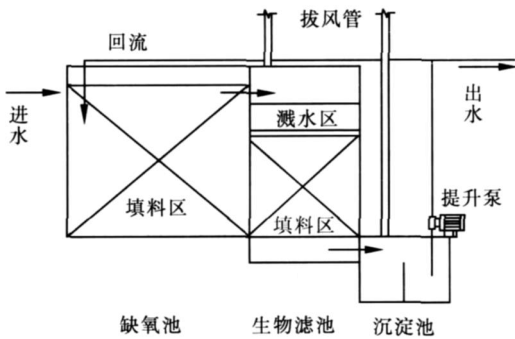


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental tanks

主体由缺氧池(容积:5.0 m³)、溅水充氧生物滤池(容积:2.22 m³)和沉淀池(容积:0.65 m³)三部分组成,采用钢板焊接,内衬玻璃钢防腐。污水首先自流进入圆形缺氧池,缺氧池出水通过半管式溢流布水器自流进入溅水充氧生物滤池。生物滤池由溅水区和填料区两部分组成。布水装置为两条半管式溢流布水器,间距为 50 cm。溅水区由两块交错的开缝 PVC 板组成。溅水区下部为填料区,其总高度为 80 cm,填料为陶粒和球形塑料。生物滤池利用拔风管进行强制通风,拔风管净高为 3.5 m,高出地面部分沿附近居民房屋外墙设置。生物滤池出水自流进入沉淀池,上清液通过自吸泵提升后部分回

流,其余的排放。

为了提高溅水充氧效果,优化溅水盘构造,进行了溅水充氧小试。试验在尺寸为 45 cm ×20 cm ×20 cm 的 PVC 板箱体内进行,溅水盘为 20 cm ×20 cm 的正方形开缝 PVC 板,为比较缝宽及开缝数对溅水充氧效果的影响,选用 A 型(开有 2 cm 宽的缝 3 条,板缝比为 1.5:1)、B 型(开有 1 cm 宽的缝 3 条,板缝比为 3:1)及 B1 型(开有 1 cm 宽的缝 6 条,板缝比为 1.5:1)3 种溅水盘进行试验,并研究了溅水盘设置数量及溅水盘间距对充氧效果的影响。

1.2 试验方法

装置从 2006 年 8 月初开始调试运行,9 月 20 日开始取样分析。9 月 20 日—10 月 19 日,装置的平均进水流量为 100 L/h,硝化液回流比为 4,生物滤池的水力负荷为 0.42 m³/(m²·h);之后,通过调节进水流量进行了水力负荷相关试验,通过调节滤池出水回流量进行了硝化液回流比相关试验,其中水力负荷控制在 0.1~1.2 m³/(m²·h),回流比设定为 1~6。试验期间的进水水质见表 1。

表 1 进水水质

Tab 1 Influent quality mg·L⁻¹

项目	COD	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP
范围	73.0~301.9	11.21~28.58	21.12~33.39	0.47~1.19
均值	147.6	21.31	27.84	0.71

1.3 分析项目及方法

COD: CIL-12 型 COD 仪; DO: WTW 便携式溶氧仪; pH: pH 计; NH₄⁺-N: 纳氏试剂分光光度法; NO₃⁻-N: 紫外分光光度法; TN: 过硫酸钾氧化—紫外分光光度法; TP: 钼酸盐分光光度法。

2 结果与分析

2.1 对有机物及氮的去除

装置对 COD、NH₄⁺-N 及 TN 的去除效果如图 2 所示。

由图 2 可知,进水 COD 浓度波动较大,但出水 COD 平均为 58.94 mg/L,平均去除率为 57.1%。生物滤池出水 NH₄⁺-N 浓度为 0.58~4.71 mg/L,平均为 2.78 mg/L,对 NH₄⁺-N 的平均去除率为 86.4%。试验期间,生物滤池内的 DO 在 5.42~5.78 mg/L 之间变化,较高的溶解氧浓度保证了生物滤池对 NH₄⁺-N 的有效去除。系统出水 TN 浓度

为 5.40~14.35 mg/L,平均为 8.23 mg/L,平均去除率达到了 70.6%。可见,出水 COD 达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 TN 则优于一级 A 标准,表明该装置对有机物、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 TN 具有良好的去除效果。

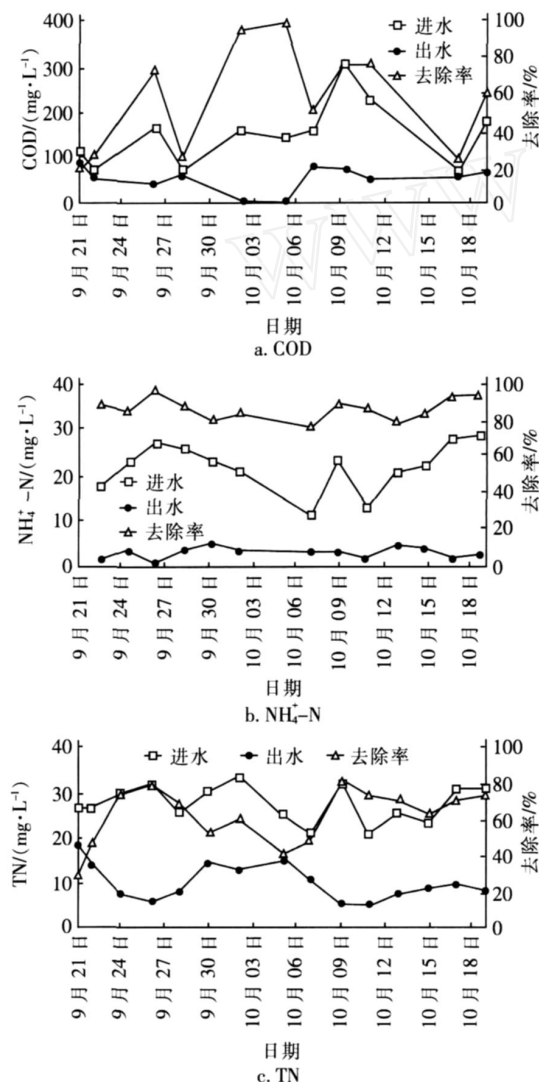


图 2 对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的去除效果

Fig 2 Removal rates of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TN

系统出水 TP 浓度为 0.29~0.73 mg/L,平均为 0.51 mg/L,平均去除率为 30.3%。虽然微生物同化作用的除磷效果较差,但由于进水 TP 浓度较低,使得出水 TP 浓度仍保持在较低水平。为了提高生物滤池的除磷效果,可在填料中掺加石膏及石灰岩。

2.2 运行参数优化

对 COD 的去除率与 COD 容积负荷的关系见图

3。

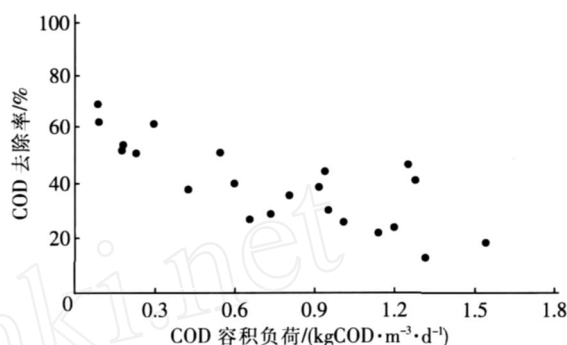


图 3 对 COD 的去除率与 COD 容积负荷的关系

Fig 3 Variation of COD removal rate with COD volumetric loading

由图 3 可知,对 COD 的去除率随容积负荷的增加而减小,容积负荷对去除率的影响较大,当 COD 容积负荷 $> 0.3 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时去除率 $< 50\%$ 。考虑到进水 COD 平均为 147.6 mg/L,控制 COD 容积负荷 $< 0.3 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,便可使出水 COD 浓度达到二级排放标准。

与 COD 的相似, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 容积负荷对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响也很显著,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率随 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 容积负荷的增加而呈直线下降,当 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 容积负荷 $< 0.08 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率 $> 80\%$ 。图 4 反映了水力负荷对生物滤池去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响。

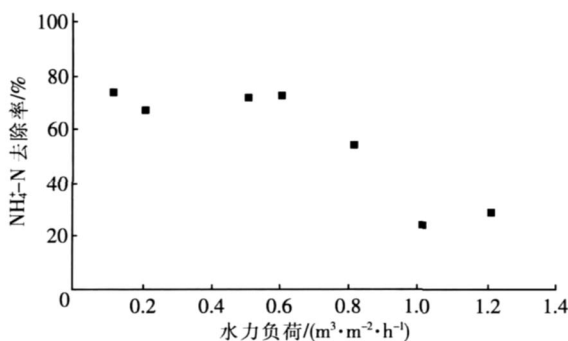


图 4 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率与水力负荷的关系

Fig 4 Variation of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal rate with hydraulic loading

当水力负荷 $< 0.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率维持在 73% 以上,且变化不大;当水力负荷 $> 0.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率急剧下降,例如当水力负荷为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,去除率仅为 24.2%。上述结果表明,生物滤池的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

容积负荷及水力负荷对去除氨氮的影响较大,在实际工程中,控制 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 容积负荷 $< 0.08 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、水力负荷 $< 0.6 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 可取得较好的处理效果。

硝化液回流比是关系到脱氮效果及运行费用的关键参数之一。不同回流比下对 TN 的去除率见图 5。

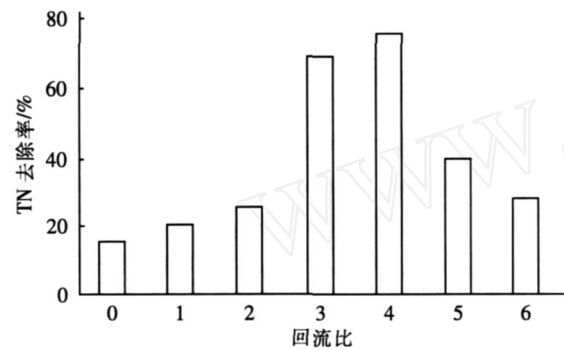


图 5 对 TN 的去除率与回流比的关系

Fig 5 Variation of TN removal rate with reflux ratio

由图 5 可知,当回流比 ≤ 2 时脱氮率较低,对 TN 的去除率 $< 26\%$;当回流比为 3 时,对 TN 的去除率提高至 70%;当回流比为 4 时,对 TN 的去除率达到最大值 (76%),随后呈骤减趋势。综合考虑脱氮效果及能耗,选择回流比为 3 较合理。

2.3 溅水盘充氧效果的优化

在水力负荷为 $0.42 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的条件下,3 种不同类型溅水盘的充氧效果比较见图 6。

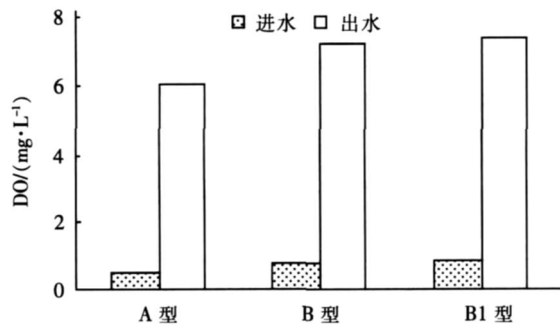


图 6 不同溅水盘的充氧效果比较

Fig 6 Oxygenation effects of different splashing trays

由图 6 可知,进水经过 3 种类型的溅水盘充氧后,水中的溶解氧浓度均有很大程度的提高,其中具有较小缝宽的 B 型与 B1 型溅水盘的充氧效果明显高于 A 型的,原因是较小的缝宽有利于在溅水盘中形成薄层水膜和细小水滴,增加了空气与水的接触

面积,提高了充氧效率。与 B 型溅水盘相比,B1 型的开缝数量由 3 条提高至 6 条,但对充氧效果的改善作用并不明显,考虑到开缝数较多会增加施工的难度,故宜选择 B 型溅水盘。

图 7 比较了 B 型溅水盘的数量对充氧效果的影响 (层间距为 10 cm)。

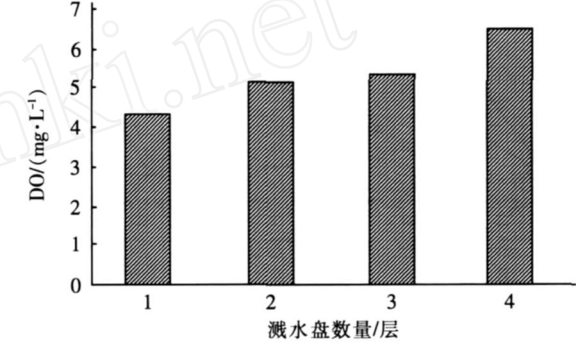


图 7 溅水盘数量对充氧效果的影响

Fig 7 Impact of splashing trays number on oxygenation effect

在进水 DO 浓度接近于零的条件下,经 4 层溅水盘的溅水充氧后,出水中的 DO 可达 6.25 mg/L 。水中的 DO 浓度随着盘数的增加而上升,由于原水中的 DO 浓度接近于零,第 1 层溅水盘气、液交界面及水膜中氧的浓度梯度较大,提供了良好的充氧动力,充氧效果最佳 (DO 提高了约 4.37 mg/L)。经 2 层溅水盘充氧后 DO 可提高到 5.05 mg/L ,但增加幅度明显小于第 1 层溅水盘的。考虑到溅水盘数量过多会增加工程造价并使装置复杂化,而设置 2 层溅水盘已可满足滤池充氧的要求,故溅水盘以 2 层为佳。

B 型溅水盘在间距为 10、20 和 30 cm 时的充氧效果见图 8。

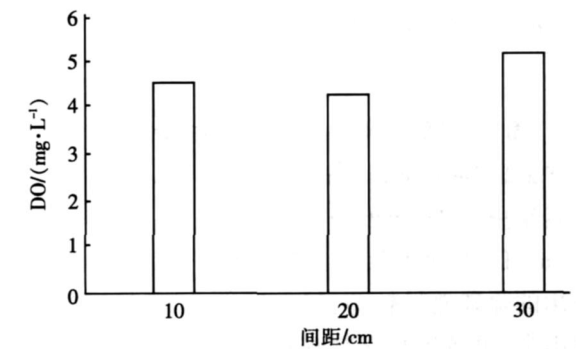


图 8 溅水盘间距对充氧效果的影响

Fig 8 Impact of splashing trays spacing on oxygenation effect
(下转第 23 页)

可以防止污泥流失并提高反应器的处理效率。

未经过铁碳微电解处理的车间废水对微生物活性具有较强的抑制作用,不宜直接进入 ABR 生化处理系统。低浓度综合废水的生物毒性不显著,当 $COD > 7\ 600\ mg/L$ 时,受废水生物毒性的影响,ABR 反应器对 COD 的去除率快速下降。

当综合废水的 $COD < 7\ 600\ mg/L$ 时其具有良好的厌氧生化处理活性,在 ABR 反应器中可以形成良好的分级厌氧细菌群落,为避免 1[#]、2[#] 格室内发生 VFA 累积,需要在综合废水中投加 $2 \sim 2.5\ g/L$ 的 Na_2CO_3 或 $NaHCO_3$,并保证 ABR 反应器进水碱度 $> 3\ 500\ mgCaCO_3/L$ 。

在 $HRT = 48\ h$ 反应温度为 $(35 \pm 2)^\circ C$ 、废水 $pH = 7.0 \sim 8.0$ 、碱度 $> 3\ 500\ mgCaCO_3/L$ 及容积负荷为 $1.5 \sim 3.8\ kgCOD/(m^3 \cdot d)$ 的条件下,ABR 反应器对 COD 的去除率可达 50%。

参考文献:

- [1] 斯皮思 R E. 工业废水的厌氧生物技术 [M]. 李亚新译. 北京:中国建筑工业出版社,2001.

- [2] Nachaiyasit S, Stuckey D C. The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). 1. Step changes in feed concentration at constant retention time[J]. Water Res, 1997, 31(11): 2737 - 2746.
- [3] Nachaiyasit S, Stuckey D C. The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). 2. Step and transient hydraulic shocks at constant feed strength[J]. Water Res, 1997, 31(11): 2747 - 2754.
- [4] Grobicki A, Stuckey D C. Performance of the anaerobic baffled reactor under steady-state and shock loading conditions[J]. Biotechnol Bioeng, 1991, 37: 344 - 355.
- [5] Lettinga G, Field J, Van Lier J. Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future [J]. Water Sci Technol, 1992, 35(10): 5 - 12.

作者简介:吉芳英(1964 -),女,四川内江人,博士,教授,主要从事水污染控制理论及技术研究。

电话:(023) 65127537 13883105423

E-mail: jfy@cqu.edu.cn

收稿日期:2007 - 06 - 20

(上接第 18 页)

由图 8 可知,只有在溅水盘间距大于一定值后,才对充氧效果产生较大的影响。观察发现,当溅水盘间距 $\leq 20\ cm$ 时,溅落的水滴迅速被溅水盘表面的水膜所吸收,不能获得有效的飞溅效果;当溅水盘间距为 $30\ cm$ 时,水滴具有较大的冲量,在与溅水盘撞击的过程中能突破水膜的粘滞性而产生飞溅,增加了和空气的接触面积,从而提高了充氧效率。

3 结论

采用由缺氧池和溅水充氧生物滤池组成的一体化埋地式装置处理生活污水,对 COD 的平均去除率为 57.1%,对 $NH_4^+ - N$ 的平均去除率为 86.4%,对 TN 的平均去除率为 70.6%。出水 $NH_4^+ - N$ 及 TN 均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》的一级 A 标准。

为了保证良好的处理效果,应使 COD 容积负荷 $< 0.3\ kgCOD/(m^3 \cdot d)$, $NH_4^+ - N$ 容积负荷 $< 0.08\ kgNH_4^+ - N/(m^3 \cdot d)$,水力负荷 $< 0.6\ m^3/(m^2 \cdot h)$,且硝化液回流比设定为 3 较合理。

溅水盘的构造、设置级数及其间距是影响溅水充氧效果的重要因子,选择 B 型溅水盘,在溅水盘间距为 $30\ cm$ 的条件下,设置 2 层可取得较好的充氧效果。

参考文献:

- [1] 国家环境保护总局. “三河”“三湖”水污染防治计划及规划 [M]. 北京:中国环境科学出版社,2000.
- [2] 金相灿,叶春,颜昌宙,等. 太湖重点污染控制区综合治理方案研究 [J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 1 - 5.
- [3] 李先宁,吕锡武,孔海南,等. 农村生活污水处理技术与示范工程研究 [J]. 中国水利, 2006, (17): 19 - 22.

作者简介:李先宁(1964 -),男,江苏南京人,博士,教授,主要研究方向为水污染控制与水环境生态修复。

电话:(025) 83794171

E-mail: lx@seu.edu.cn

收稿日期:2007 - 08 - 09