

公路服务区污水生物生态协同处理技术的工程实践

刘学欣

(交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘要: 在国家环保要求日益严格的形势下,针对目前公路服务区污水处理领域存在的运行成本高、管理养护复杂和设备故障率高等实际问题,将多介质生物滤池和生态湿地有机组合形成多介质生物生态协同处理技术,并开展了工程实践应用。结果表明,该技术运行效果稳定,对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别达到 94.22%、94.12%、85.42% 和 82.65%,处理出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,直接运行成本仅为 0.185 元/ m^3 。

关键词: 公路服务区; 污水处理; 多介质生物滤池; 生态湿地; 协同处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)12-0103-04

Engineering Practice of a Combined Bio-ecological Sewage Treatment Process in Expressway Service Area

LIU Xue-xin

(China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Under the situation of increasingly stringent environmental requirements in China, there has been problems such as high cost, complex management and maintenance, as well as high equipment failure rates of most domestic sewage treatment systems in expressway service areas. To solve these problems, multi-media biological filter and ecological wetland are combined and put into engineering practice. Results showed stable operating effect with direct operation cost of only 0.185 Yuan/ m^3 . The average removal efficiency of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP was 94.22%, 94.12%, 85.42% and 82.65%, respectively. The effluent of the sewage treatment project could meet first level A criteria of *Discharge Standard of Pollutants of Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words: expressway service area; sewage treatment; multi-media biological filter; ecological wetland; combined process

2016 年交通运输部发布“关于实施绿色公路建设的指导意见”,明确提出要“全面推进沿线附属设施污水处理和利用”^[1],公路行业污水处理问题得到了前所未有的重视。根据 2015 年全国公路附属设施污水处理调研数据,全国服务区污水处理设施

仅 39% 可长期正常运转,33% 经常发生故障,停用的占 28%,停用的主要原因是运行成本高、管理养护复杂和设备故障率高等^[2]。随着新环保法、环保税法的施行,排污处罚力度继续加大,服务区污水处理问题已成为中央环境保护督察对公路行业检查的

基金项目: 交通运输标准(定额)项目(2017-17-112); 吉林省交通运输科技项目(2011-1-7); 吉林省交通运输科技标准项目(2016-2-6)

重中之重,制约了绿色公路建设与发展。因此,服务区污水处理全年稳定达标问题亟待解决。

公路服务区污水处理以接触氧化、MBR 等方法^[3]为主,存在出水水质不稳定、管理养护复杂、运行费用高等问题。人工湿地由于占地面积较大、低温运行效果差等,很难直接应用于服务区污水处理。综合考虑运行成本、处理效果、管理养护、使用寿命、系统稳定性等因素,引入多介质生物生态协同处理技术^[4],发挥多介质生物滤池与多介质生态湿地各自优势,通过生物-生态协同处理提高系统抗冲击能力,实现水资源循环利用,降低运行成本,达到“傻瓜式”管理。选择高速公路通车里程第一位的广东省进行服务区污水处理工程应用研究,为全国服务区污水处理提供实用技术与工程经验。

1 工程概况

1.1 设计处理规模

广东省某高速公路服务区单侧以多介质生物生态协同处理技术为核心工艺建设了示范工程,经过对服务区建设规模、车流量及污水排放规律的分析,最终确定本工程的设计水量为 $120 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.2 设计进、出水水质

服务区污水主要包括常驻人口产生的生活污水、旅客产生的餐饮和冲厕废水以及维修间、加油站的清洗废水等。由于餐饮、冲厕废水占总排污量的比重较高,服务区污水有机污染负荷和氮、磷污染显著高于典型生活污水^[5]。根据服务区污水污染特性及示范需求,设计处理出水指标需达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)进行景观绿化、冲厕等资源利用要求,具体指标见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	pH 值	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
进水水质	6~9	≤500	≤200	≤220	≤80
出水水质	6~9	≤60	≤20	≤20	≤8

2 工艺流程

服务区生活污水、冲厕废水和餐饮废水经污水收集系统收集后输送至调节沉淀池,在调节沉淀池前设置格栅井去除污水中较大的漂浮物,防止水泵堵塞,并为后续处理提供安全保证。污水在调节池

内经过均质均量,再通过固液分离去除大部分 SS。调节沉淀池上清液进入多介质生物滤池,在此去除大部分有机物、氨氮。多介质生物滤池出水进入多介质生态湿地深度脱氮除磷,保证出水水质稳定达标,再经次氯酸钠消毒后作为绿化用水。工艺流程见图1。

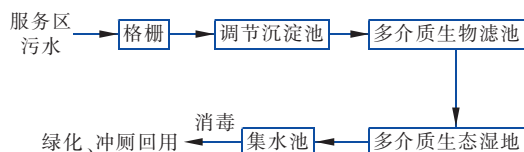


图1 污水处理系统工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

3 主要构筑物及设计参数

① 格栅井

由于服务区综合污水含有手纸、塑料袋、菜叶、菜根等漂浮物,进入调节池前要先用格栅拦截,以保证后续处理构筑物的正常运行,有效减轻系统处理负荷,防止水泵损坏,为系统长期正常运行提供保证。格栅井内设置不锈钢制人工细格栅,栅条间隙为 3 mm。格栅井尺寸为 $1.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}$,采用砖混结构。

② 调节沉淀池

调节沉淀池的作用是调节水质水量,沉淀粗颗粒物,保证生物处理的稳定性。考虑到服务区污水水质、水量变化情况,调节池设计有效容积为 40 m^3 ,设置为 3 格式,采用玻璃钢材质。埋深根据服务区内排水管道高程确定,设置人孔和检修孔,调节沉淀池内安装潜水泵两台(1 用 1 备), $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 100 \text{ kPa}$, $N = 0.5 \text{ kW}$,并安装带浮球的潜水泵,根据水位变化自动控制。

③ 多介质生物滤池

多介质生物滤池设于调节沉淀池后和多介质生态湿地处理单元前,设在设备房内。多介质生物滤池采用标准一体化设备,设备内装填多种新型合成多孔网泡生物载体,并投加针对服务区污水处理需求的专属脱氮除磷强化微生物。为提升示范展示效果,多介质生物滤池采用不锈钢结构,尺寸为 $2.40 \text{ m} \times 6.00 \text{ m} \times 2.40 \text{ m}$ 。由于多介质生物滤池采用了多孔网泡载体和专属微生物,大大降低了生物系统对溶解氧的需求,采用涡旋风机供氧,间歇曝气,风机开启时间为 $15 \sim 20 \text{ min/h}$,从而极大降低了运行

成本。风机2用1备, $Q=160\text{ m}^3/\text{h}$, $N=1.30\text{ kW}$ 。

④ 设备房

多介质生物滤池一体化设备、风机、控制系统等安装于设备房内。设备房为钢筋混凝土框架结构, 尺寸为 $10.00\text{ m} \times 8.20\text{ m} \times 4.50\text{ m}$ 。

⑤ 多介质生态湿地

多介质生态湿地有效面积为 300 m^2 , 水力负荷为 40 cm/d , 分为3个单元, 每个单元尺寸为 $20.00\text{ m} \times 5.00\text{ m} \times 1.20\text{ m}$ 。多介质生态湿地整体为地下式设计, 围堰采用砖混结构, 湿地槽体四周采用土工布防渗。湿地内填充砾石及多种生物复合改性滤料, 表面种植美人蕉、黄花鸢尾和风车草等湿生植物。三座多介质生态湿地单元分别由布水管与集水管、集水井与阀门井构成各自独立系统, 单独运行。

⑥ 集水池

多介质生态湿地出水排入集水池, 作为绿化等用水。集水池为钢混结构, 有效容积为 20 m^3 , 尺寸为 $5.00\text{ m} \times 3.00\text{ m} \times 2.00\text{ m}$ 。

4 处理效果

该污水处理及回用示范工程于2016年10月开工建设, 2016年12月建成, 经1个月的调试, 2017年1月系统正常运行。经2017年3月和7月现场监测, 系统进、出水水质如表2所示。

表2 实际运行进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项目	时间	原水	生物滤池出水	人工湿地出水
pH 值	3月	6.70	7.90	7.80
	7月	6.73	7.74	7.86
COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	730.00	55.00	35.00
	7月	524.58	58.32	37.55
BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	336.00	18.00	8.00
	7月	137.86	17.54	9.78
NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	61.91	7.36	3.89
	7月	76.22	7.24	4.23
TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	66.38	13.26	8.92
	7月	83.46	24.36	12.92
TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	2.58	0.97	0.42
	7月	2.32	0.78	0.43
SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3月	859.00	16.00	9.00
	7月	746.32	18.46	9.23

当进水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 和 SS 的平均浓度分别为 627.29、236.93、69.27、74.92、2.45 和 802.66 mg/L 时, 多介质生物滤池对上述污染物

的去除率分别达到 90.97%、92.50%、89.43%、74.89%、64.29 和 97.85%, 多介质生物生态协同处理技术总的去除率分别可达 94.22%、96.25%、94.12%、85.42%、82.65% 和 98.86%。可见, 多介质生态湿地强化了系统的深度脱氮除磷功能, 对总氮和总磷的去除率分别达到了 41.95% 和 51.43%, 整个生物生态协同系统的出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。

5 运行成本

服务区污水多介质生物-生态协同处理技术管理极其简单, 无需专人看护, 人工成本主要是 2~4 周左右定期查看泵和风机的运行是否正常, 一般 12~24 个月才需要排泥或更换风机皮带。

考虑运转电费、兼职管理人工费和消毒药剂费, 经计算, 该工程直接运行费用为 0.185 元/ m^3 (见表 3)。

表3 污水处理设施运行费用

Tab. 3 Operating costs of sewage treatment facilities

元 · a⁻¹

项目	运行费用	备 注
电	3 474.8	间歇曝气, 风机每天运行 8 h, 水泵每天运行 12 h, 电价按 0.7 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$) 计
消毒药剂	1 642.5	消毒氯片投加量按 300 g/d 计, 单价按 15 元/kg 计
人工	3 000	服务区电工兼职维护, 一年计入一个月人工费
合计	8 117.3	

6 结论与展望

采用多介质生物-生态协同技术处理公路服务区污水, 系统运行稳定, 处理效果良好, 对 COD、NH₃-N 和 TP 的平均去除率分别达到 94.22%、94.12% 和 82.65%, 处理后各项水质指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准, 优于设计标准。

多介质生物-生态协同处理技术契合服务区污水高氮磷污染的水质处理要求, 满足服务区低成本、低管养的实际需求, 为新建及改扩建公路污水处理提供技术方法和工程经验, 为交通行业绿色公路建设提供技术支撑, 对地处水源保护区、风景名胜区、湿地保护区等水环境敏感地段或服务供水困难、水资源匮乏地区有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 交通运输部. 关于实施绿色公路建设的指导意见[Z]. 北京:交通运输部,2016.
Ministry of Transport. Guidance on the Implementation of Green Road Construction [Z]. Beijing: Ministry of Transport,2016(in Chinese).
- [2] 孔亚平,简丽,姚嘉林,等. 高速公路附属设施污水处理调研报告[R]. 北京:交通运输部科学研究院,2015.
Kong Yaping,Jian Li,Yao Jialin,*et al.* The Investigation of Wastewater Treatment along the Highway [R]. Beijing:China Academy of Transportation Sciences,2015 (in Chinese).
- [3] 刘学欣,孔亚平. 公路服务区污水处理工艺综合分析[J]. 公路,2011,(6):189-191.
Liu Xuexin,Kong Yaping. Comprehensive analysis of sewage treatment process in highway service area [J]. Highway,2011,(6):189-191 (in Chinese).
- [4] 交通运输部科学研究院,北京大学. 一种公路附属设施污水多介质生物生态协同处理系统及方法[P]. 中国专利:104085990B,2016-02-17.
China Academy of Transportation Sciences,Peking University. A Multi-media Biological Ecology Collaborative Processing System and Method for Sewage Subsidiary Facilities[P]. China:104085990B,2016-02-17 (in Chinese).
- [5] 梁丽萍,张林. 江苏省高速公路服务区污水处理现状及解决对策[J]. 中国给水排水,2017,33(4):20-25.
Liang Liping,Zhang Lin. Problems and solutions for sewage treatment in expressway service areas in Jiangsu Province[J]. China Water & Wastewater,2017,33(4):20-25 (in Chinese).



作者简介:刘学欣(1980-),男,辽宁大连人,硕士,高级工程师,主要从事水污染控制及交通节能减排工作。

E-mail:nkone@sina.com

收稿日期:2017-11-26

保护生态环境就是保护生产力
改善生态环境就是发展生产力