

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.016

曝气生物滤池及模块化装备用于城市黑臭水体治理

王小林, 叶昌明, 陈红继, 伍波, 戴文权
(深圳市清水业股份有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要: 惠州某河道主要支流水污染治理项目实施了截污、补水工程,以超磁+曝气生物滤池为核心工艺,将截留污水进行就地处理排回河道,实现水体的净化及循环流动,满足生态景观要求。实际工程运行结果表明,曝气生物滤池技术具有停留时间短、占地小的特点,处理后出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其中COD、NH₃-N达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)V类标准,同时采用模块化装备的建造模式,安装便捷,建设周期短,可异地搬迁,尤其适用于城市黑臭水体治理分散式就地处理工程。

关键词: 黑臭水体; 截污工程; 补水工程; 曝气生物滤池; 模块化装备

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0089-05

Application of Biological Aerated Filter and Modular Equipment in Urban Black and Odorous Water Treatment Project

WANG Xiao-lin, YE Chang-ming, CHEN Hong-ji, WU Bo, DAI Wen-quan
(Shenzhen Qingquan Water Industry Co. Ltd., Shenzhen 518172, China)

Abstract: The sewage interception and water replenishment projects were implemented in main branch of a river in Huizhou. With the core process of super magnetic and biological aerated filter (BAF), the intercepted sewage was treated on-site and discharge back to the river, so as to realize the purification and circulation of water body and meet the requirements of ecological landscape. The actual operation results showed that the BAF technology had the features of short retention time and small footprint, and the effluent quality after treatment was superior to the first level A criteria in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002), in which COD and NH₃-N reached the level V criteria in *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838-2002). Meanwhile, the modular equipment construction mode had the advantages of convenient installation, short construction period and remote relocation, which were especially adaptable for decentralized on-site treatment of urban black and odorous water body.

Key words: black and odorous water; sewage interception project; water replenishment project; biological aerated filter; modular equipment

“水十条”要求到2020年,我国地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在10%以内,到2030年,城市建成区黑臭水体总体得到消除。为了响应国家政策要求,全国各地投入了大量的人力、财力对城市黑臭水体进行整治^[1-3]。行之有效的黑臭水体整治

技术措施,对尚未消除水体黑臭的地区具有借鉴意义。目前截污纳管工程通过沿河沿湖铺设污水截流管线,将污水截流并纳入城市污水收集和处理系统,工程量和一次性投资大,还会出现城市污水处理厂超负荷、河道缺水等问题。针对这一问题,以惠州某

河道主要支流水污染治理项目为分析对象,为其他城市黑臭水体治理提供工程经验和技術依据。

1 工程背景

惠州大亚湾区因其临近深圳,开发建设了大量的住宅小区,但与之相配套的污水管网不完善,导致部分生活污水直排入河,影响了河道水质。该片区内某河道 COD 为 20 ~ 80 mg/L, BOD₅ 为 5 ~ 15 mg/L, NH₃ - N 为 10 ~ 46 mg/L, 总磷为 1.1 ~ 1.6 mg/L, 属于重度黑臭水体, 因此对该河道及其支流进行整治显得非常必要、迫切。

根据国家黑臭水体治理思路,消除城市建成区黑臭水体最重要也是最必要的措施就是消除沿河污染源,因此,需将片区可收集污水全部达标处理而不

致其溢流至河道。本项目处理对象作为惠州某河道主要支流,如通过截流堰将污水拦截进入污水处理站,将导致下游河道干枯或没有河道景观水,不能满足生态景观要求,因此需在排放口建设一体化污水处理设施,将截留污水进行就地处理排回河道,实现水体的净化及循环流动,满足生态景观要求^[4-7]。

2 工程设计

2.1 设计水量和水质

本项目设计处理规模为 5 000 m³/d, 处理后出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。根据该支流监测水质及工程目标,确定设计进、出水水质,如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	pH 值	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)
设计进水水质	6 ~ 9	300	150	30	200	5
设计出水水质	6 ~ 9	50	10	5(8)	10	0.5

2.2 工艺流程

本项目用地紧张,水质净化处理工艺采用超磁分离净化 + 两级曝气生物滤池 (BAF) + 滤布滤池,具有用地省、工期短的特点。工艺流程见图 1。

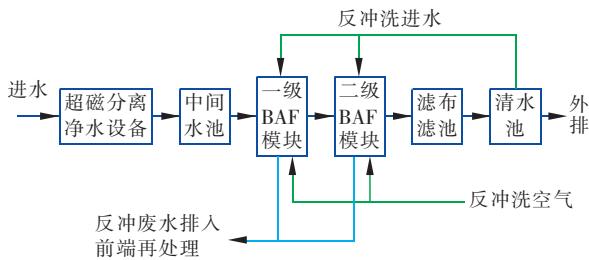


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage treatment process

拦截污水经泵提升进入超磁分离净水设备,通过加药及微磁凝聚分离去除固体杂质及悬浮物后出水自流至中间水池,由中间水池提升泵提升进入一级 BAF 模块进行碳氧化,一级 BAF 模块出水自流至二级 BAF 模块进行硝化,硝化去除废水中的 NH₃ - N。经过两级 BAF 后,其出水再经滤布滤池去除 SS 后实现达标排放。两级 BAF 的反冲洗水来自清水池,反冲洗废水排入前端再处理。

2.3 工艺特点

本工程的主要污染物为 NH₃ - N 及有机物,该

工艺利用 BAF 对 COD、NH₃ - N 等污染物去除效率高、占地面积小、产泥量少、易挂膜且启动快等优点,对黑臭水体进行处理后能达到稳定的出水水质。采用两级 BAF 使不同功能的微生物在各自适宜的环境中分别得以加强,对比单独设置一级 BAF,在总停留时间相同的情况下,两级 BAF 对污染物的去除率更高,出水水质更稳定^[8]。

一级 BAF (碳氧化滤池): 当进水有机物浓度较高时,异养菌对溶解氧的争夺能力强,在碱度和 pH 值适宜的环境中大量摄取污染物进行新陈代谢,合成自身生命物质,迅速成为优势菌种,从而降解有机物。

二级 BAF (硝化滤池): 随着有机物浓度的降低,异养菌受到底物浓度的限制而减少,耗氧量下降,废水中溶解氧浓度逐渐上升,自养型硝化菌成为优势菌种,从而促进硝化反应,高效去除 NH₃ - N。

BAF 采用钢制模块化装备,在工厂预制、现场装配,其主要特点有:

- ① 可根据处理规模的大小,灵活配置模块,避免超前预留浪费;
- ② 占地面积小,处理效率高;
- ③ 模块化装备主体采用耐候钢材材质, Sa2.5 级除锈防腐,使用寿命长;

④ 安装快捷,施工周期缩短,便于搬迁,维护方便。

2.4 主要工艺单元及设计参数

2.4.1 超磁分离净水设备

超磁分离水体净化技术通过磁粉、混凝剂以及水中污染物质的微磁凝聚作用,将污染物质与磁粉凝聚成磁性絮体,在强磁场力的作用下,使微絮凝体吸附在磁盘的表面,通过设备的卸渣装置实现泥渣与水体的分离,从而达到净化水质的目的^[9]。

处理水量:5 000 m³/d,尺寸 12 m×3 m×3 m,成套设备包括混凝反应系统、加药系统及磁分离系统,主要去除 SS 及大部分 TP。

2.4.2 一级 BAF

BAF 采用专门研发的中阻力配水、大阻力配气的多功能滤管替代传统的小阻力滤头滤板进行布水布气,兼具过滤布水、曝气布气、反冲洗布水布气的功能,可实现滤池配水配气更加均匀,反冲洗更加彻底,有效解决常规曝气生物滤池普遍存在的堵塞、单孔膜曝气系统易损坏问题,保障设备稳定运行。

一级 BAF 选用钢制模块化装备共 4 套,单套尺寸 3.6 m×2.5 m×6.0 m,滤速 5.8 m/h,采用火山岩滤料,粒径 4~6 mm,填装高度 3 m,空床停留时间 31 min,容积负荷 2.31 kgBOD₅/(m³·d)。

配套设备:曝气风机 $Q=13\text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.08\text{ MPa}$, $N=30\text{ kW}$, 2 台,1 用 1 备;反洗风机 $Q=12\text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.06\text{ MPa}$, $N=18.5\text{ kW}$, 2 台,1 用 1 备,反洗水泵 $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$, 2 台,1 用 1 备。其中曝气风机放置在滤池管廊间,反洗水泵采用潜污泵,放置在清水池内。

2.4.3 二级 BAF

二级 BAF 选用钢制模块化装备,共 4 套,单套尺寸 4.5 m×3 m×3.8 m,滤速 3.9 m/h,采用火山岩滤料,粒径 3~5 mm,填装高度 2 m,空床停留时间 31 min,硝化容积负荷 0.88 kgNH₄⁺-N/(m³·d)。

配套设备:曝气风机 $Q=7.10\text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.06\text{ MPa}$, $N=11\text{ kW}$, 2 台,1 用 1 备。反冲洗系统与一级 BAF 模块共用。

2.4.4 BAF 动力设备间

采用集装箱式结构,尺寸为 3.5 m×2.8 m×2.2 m,放置电气自控柜、反洗风机及空压机。空压机 1 台, $Q=1\text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.8\text{ MPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。冷干机、储气罐各 1 台。

2.4.5 滤布滤池

采用钢制一体化设备,处理水量 5 000 m³/d,尺寸 7 m×6 m×4.5 m,成套设备包括反冲洗、自控系统,主要进一步去除 SS。

2.4.6 污泥脱水系统

采用集装箱式结构,尺寸 9.0 m×2.8 m×2.9 m,放置叠螺脱水机、加药系统。叠螺脱水机干泥处理能力 100~150 kg/h,主机功率 1.1 kW,絮凝搅拌功率 0.75 kW。另修建污泥储池 1 座,钢筋混凝土结构,尺寸 4.0 m×2.0 m×2.5 m。

3 运行效果

惠州某河道主要支流水污染治理项目于 2019 年 8 月开工,建设工期 1 个月,经过约 1 个月的运行调试,10 月中旬出水达标排放且处理效果稳定。该河道水质明显改善,达到了初见成效的整治目标。实际运行水质数据如表 2 所示。

表 2 污水处理实际运行效果

Tab. 2 Actual operation effect of sewage treatment

mg·L⁻¹

日期	进水			超磁净化出水			一级 BAF 出水			二级 BAF 出水		
	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD
10 月 14 日	28.43	2.66	220.13	27.86	0.56	115.23	23.08	0.41	38.10	1.26	0.29	14.30
10 月 15 日	26.75	2.82	220.56	25.15	0.65	108.89	19.56	0.58	32.59	0.84	0.41	13.56
10 月 16 日	26.98	2.47	219.87	26.37	0.59	113.18	19.45	0.52	37.44	1.03	0.31	14.67
10 月 17 日	28.01	2.92	238.56	26.51	0.69	116.83	21.12	0.61	32.35	1.22	0.45	13.94
10 月 18 日	27.13	2.54	220.56	25.73	0.62	102.48	21.59	0.55	28.89	1.06	0.39	10.36
10 月 19 日	32.82	2.84	235.23	31.14	0.71	134.27	24.69	0.58	36.42	1.13	0.42	15.68
10 月 20 日	31.63	2.64	229.65	30.34	0.65	114.25	24.28	0.59	33.74	1.35	0.37	15.04
10 月 21 日	29.23	2.29	230.23	28.23	0.61	115.42	22.19	0.49	32.65	1.19	0.35	16.89
10 月 22 日	25.37	2.63	220.36	24.17	0.52	100.28	19.45	0.42	34.76	1.42	0.29	12.32
10 月 23 日	27.59	2.55	219.98	26.32	0.53	114.22	20.47	0.46	31.78	1.38	0.38	10.27

续表 2 (Continued)

日期	进水			超磁净化出水			一级 BAF 出水			二级 BAF 出水		
	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD	氨氮	TP	COD
10 月 24 日	27.64	2.87	218.56	25.53	0.65	106.23	19.32	0.41	34.13	1.09	0.36	15.22
10 月 25 日	31.91	2.72	217.49	29.28	0.59	111.42	20.76	0.52	30.25	1.42	0.42	15.41
10 月 26 日	28.04	2.69	217.67	26.35	0.53	98.54	20.35	0.46	26.02	1.05	0.39	12.12
10 月 27 日	30.51	2.57	223.56	28.06	0.52	120.78	24.45	0.44	32.89	1.12	0.35	16.32
10 月 28 日	30.16	2.97	234.12	29.63	0.67	111.36	24.13	0.58	33.56	1.18	0.41	12.63
10 月 29 日	30.69	2.91	236.75	26.95	0.71	112.68	23.06	0.63	35.26	1.39	0.43	15.03
10 月 30 日	30.95	2.78	242.63	27.96	0.62	130.51	22.61	0.57	40.23	1.35	0.38	18.12
10 月 31 日	28.04	2.72	217.67	27.83	0.59	118.54	21.85	0.46	36.56	1.17	0.39	14.12

由表 2 可以看出,进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、COD 的平均浓度分别为 28.99、2.70、225.75 mg/L ,经过超磁及两级 BAF 工艺处理后,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、COD 的平均浓度分别为 1.20、0.38、14.22 mg/L ,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、COD 的平均去除率分别达到 95.84%、86.03% 和 93.71%。出水水质稳定优于一级 A 标准,COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准。超磁分离净水设备去除大部分 TP、部分 COD。两级 BAF 进一步去除 COD 及 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 。BAF 进、出水水质变化见图 2。

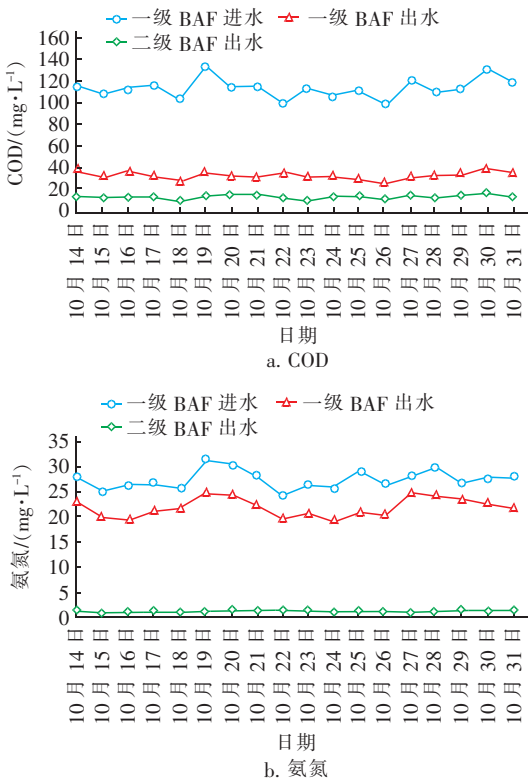


图 2 两级 BAF 进、出水 COD 及 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度对比

Fig. 2 Comparison of influent and effluent COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ concentration of two-stage BAF

由图 2 可以看出,一级碳氧化滤池进水 COD 较高,异养菌占优势,在一定程度上会抑制硝化菌的活性,因此一级 BAF 以去除 COD 为主,平均 COD 去除率为 70.26%,反冲洗周期为 24 h。进入二级硝化滤池后,COD 平均浓度为 33.76 mg/L ,解除对硝化菌的抑制,硝化菌成为优势菌种,二级 BAF 以去除 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为主,平均 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率为 94.46%,反冲洗周期为 48 h。

4 技术经济分析

① 工程投资:主体工艺部分设备及安装费 380 万元,土建工程 28 万元,总投资 408 万元,吨水投资约 820 元/ m^3 。

② 占地面积:主体工艺总停留时间仅 2 h,总占地面积 450 m^2 ,吨水占地 0.09 m^2/m^3 。

③ 运行成本:运行总功率 86 kW,耗电 0.38 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,电价按照 0.7 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$) 计算,电费 0.26 元/ m^3 。投加 PAC 200 kg/d ,按照市场价 2.5 元/kg 计算,投加 PAC 费用 0.1 元/ m^3 ;投加阴离子 PAM 5 kg/d ,按照市场价 22 元/kg 计算,投加阴离子 PAM 费用 0.02 元/ m^3 ;投加阳离子 PAM 3.3 kg/d ,按照市场价 29 元/kg 计算,投加阳离子 PAM 费用 0.02 元/ m^3 ;补充磁粉 25 kg/d ,按照市场价 4 元/kg 计算,投加磁粉费用 0.02 元/ m^3 ,则总的药剂费为 0.16 元/ m^3 。综上,总的直接运行成本为 0.42 元/ m^3 。

5 结论

采用停留时间短、占地面积小的超磁 + 曝气生物滤池工艺建设分散式水处理工程,可使出水水质稳定达标,在完成黑臭水体整治目标的同时还能满足城市水体生态景观水需求。该项目采用模块化装备的建造模式,安装便捷,建设周期短,可异地搬迁,符合国家节能环保政策,可为全国各地消除水体

黑臭工作提供经验。

参考文献:

- [1] 赵越,姚瑞华,徐敏,等. 我国城市黑臭水体治理实践及思路探讨[J]. 环境保护,2015,43(13):27-29.
ZHAO Yue, YAO Ruihua, XU Min, *et al.* Study on the practice and route of combating urban black-and-malodorous water body [J]. Environmental Protection, 2015, 43(13): 27-29 (in Chinese).
- [2] 李斌,柏杨巍,刘丹妮,等. 全国地级及以上城市建成区黑臭水体的分布、存在问题及对策建议[J]. 环境工程学报,2019,13(3):511-518.
LI Bin, BAI Yangwei, LIU Danni, *et al.* Nationwide distribution, problems, countermeasure proposals of black and odorous water bodies in built-up area of cities at prefecture level or above in China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(3): 511-518 (in Chinese).
- [3] 冯强,易境,刘书敏,等. 城市黑臭水体污染现状、治理技术与对策[J]. 环境工程,2020,38(8):82-88.
FENG Qiang, YI Jing, LIU Shumin, *et al.* The pollution situation, treatment techniques and countermeasures of urban black and odors water in China [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(8): 82-88 (in Chinese).
- [4] 李晓,宋佳杰,邓佑锋,等. 深圳市典型黑臭水体治理效果分析[J]. 中国给水排水,2018,34(14):101-104.
LI Xiao, SONG Jiajie, DENG Youfeng, *et al.* Analysis of typical black-odorous river governance effect in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14): 101-104 (in Chinese).
- [5] 郑东风,蒋青,徐磊明. 武汉市某城区污水应急处理工程实例分析[J]. 节能与环保,2019(11):75-76.
ZHENG Dongfeng, JIANG Qing, XU Leiming. The example of urban sewage emergency treatment project in Wuhan [J]. Energy Conservation & Environmental Protection, 2019(11): 75-76 (in Chinese).
- [6] 方帅,徐洁,刘绪为,等. 镇江虹桥港上游黑臭水体系统性治理工程设计[J]. 中国给水排水,2020,36(14):94-98.
FANG Shuai, XU Jie, LIU Xuwei, *et al.* Project design of systematic treatment of black-smelly water body in upstream of Hongqiaogang, Zhenjiang City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 94-98 (in Chinese).
- [7] 彭艺艺,郭顺媛,杨敏. 柳州市竹鹅溪黑臭水体治理成效分析[J]. 中国给水排水,2020,36(16):12-16.
PENG Yiyi, GUO Shunyu, YANG Min. Analysis of black and odorous water control effect in Liuzhou Zhuexi River [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 12-16 (in Chinese).
- [8] 杨青,赵玉华,张林生,等. 两级曝气生物滤池处理生活污水的工艺参数[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2007,23(1):130-133.
YANG Qing, ZHAO Yuhua, ZHANG Linsheng, *et al.* Process parameters of two stage biological aerated filter for domestic sewage treatment [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2007, 23(1): 130-133 (in Chinese).
- [9] 王哲晓,吕志国,张勤. 超磁分离水体净化技术在水环境领域的典型应用[J]. 中国给水排水,2016,32(12):34-37.
WANG Zhexiao, LÜ Zhiguo, ZHANG Qin. Typical application of ReCoMag system in water environment [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(12): 34-37 (in Chinese).

作者简介:王小林(1984-),男,江西吉安人,本科,中级工程师,从事水处理设计与研究工作。

E-mail:2850996729@qq.com

收稿日期:2020-10-28

修回日期:2020-11-27

(编辑:衣春敏)