

磁混凝/强化耦合生物膜工艺用于河道水质提升

郁片红

(上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125)

摘要: A河道黑臭水体河段长为3.1 km,劣V类水质,采用磁混凝沉淀/强化耦合生物膜(MagCS+EHBR)旁路处理工艺,处理水量为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。近半年的调试及运行监测结果表明,出水指标优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,从而保障了下游考核断面水质达到Ⅴ类标准,运行成本为0.19元/ m^3 。通过对工程项目实施的跟踪,取得第一手监测数据,可为黑臭水体治理及河道水质提升工程的应用研究提供科学资料。

关键词: 黑臭水体; 水质提升; 磁混凝沉淀; 强化耦合生物膜

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0083-05

Application of Magnetic Coagulation Sedimentation/Enhanced Hybrid Biofilm Reactor in River Water Quality Improvement

YU Pian-hong

(Shanghai Urban Construction Design & Research <Group> Co. Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: The length of black and odorous water body in river A was 3.1 km and the original water quality was inferior level V. The magnetic coagulation sedimentation (MagCS)/enhanced hybrid biofilm reactor (EHBR) was adopted for bypass treatment with daily water treatment capacity of 20 000 m^3 . The commissioning and operation monitoring results in the past half year showed that the main effluent indexes of bypass treatment were superior to level Ⅳ criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), which ensured that the down stream assessment section met level V standard. The operation cost was 0.19 yuan/ m^3 . By tracking the implementation of the project, the first-hand monitoring data could be obtained, which could provide scientific information for the application research of black and odorous water treatment and river water quality improvement project.

Key words: black and odorous water body; water quality improvement; magnetic coagulation sedimentation (MagCS); enhanced hybrid biofilm reactor (EHBR)

随着国务院“水十条”“河长制”以及三部委“提质增效”三年行动方案等一系列政策文件出台,从治水体制层面实现创新,在保护水资源、改善水环境、防治水污染、修复水生态方面取得了明显成效。然而,河道水环境治理是一项长期、复杂且花费资金量大的系统工程,需通过控源截污、内源治理、生态修复等多措并举、分步实施。河道水质提升的方法通常有调水、自然净化、曝气、原位生态修复等,其中

调水、自然净化与曝气效果一般,原位生态修复受限制条件较多,在岸上未实现全面截污或无外源补水(包括应急处理突发性水体黑臭事件)时采用工程技术手段加速河道水质改善,尤其具有现实意义。

1 工程概况

1.1 工程目标

黑臭水体河道A位于某市经开区,长度为3.1 km。A河受流域上游排水系统雨污混接及初雨径

流污染的影响;下游段受B河(劣V类)顶托,在河段内形成了死水区,河水溶解氧低,底泥厌氧发酵上浮,断面水质长期为劣V类。

尽管A河道上游区域已开始截污,但由于上述原因,水质改善不明显。当地环保部门为加快A河道水质的改善,计划通过工程措施将A河道从溢流坝到考核断面(考核断面位于A河入B河处)的100 m河段水质首先提升到地表水V类。

1.2 技术路线

根据现状水质评价及成因分析,又因河道较窄(<20 m),流速受下游河道的顶托而迟缓,采用直接调水或原位处理达标都较为困难。通过多方案比较,最终确定:在A河河口处新建溢流坝,防止下游形成死水区;同时将坝前河水用泵抽吸至岸边设置的水处理设施,处理后的河水排到坝后(见图1)。

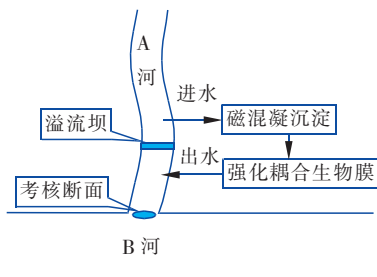


图1 总体治理思路平面示意图

Fig. 1 Sketch map of general technical route

1.3 设计水质和水量

根据对A河2017年下半年—2018年上半年的水质监测数据可知,COD最高为93 mg/L,平均为33 mg/L;氨氮最高为15.5 mg/L,平均为4.69 mg/L;TP最高为1.47 mg/L,平均为0.54 mg/L。其中污染物含量最高为2017年12月,COD超标1.33倍,氨氮超标6.75倍,TP超标2.68倍。除个别月份为V类水质外,其余月份均为劣V类水质。根据现状水质及工程目标,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	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	pH 值
设计进水水质	100	40	8	1	6~9
设计出水水质	40	6	2	0.4	6~9

A河新建溢流坝后,下游水深为3~4 m,根据

河道纵坡、上下游可置换的水量,确定河水处理规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计置换周期为4 d。

1.4 处理工艺选择

近年来对黑臭水体治理技术的研究逐渐增多,新技术、新工艺不断出现,如固定相流化态混合式生物反应、多级AO、磁混凝沉淀、超磁分离、纳米曝气、河道用微生物制剂、强化耦合生物膜等,很多工艺朝着小型化、设备化、集成化发展,安装、施工更便捷,适用范围更广。其中磁混凝沉淀/强化耦合生物膜工艺具有去除COD、氨氮、TP效果好,安装简便,价格低廉等优势^[1-4]。

经分析,A河主要污染物为COD、氨氮、TP。进水COD<100 mg/L,其中溶解性、非溶解性COD占比各约50%,非溶解性COD可采用混凝沉淀法,即向水中投加混凝剂和助凝剂,使污染物形成絮凝团,再由沉淀池泥水分离;溶解性COD浓度不高,可采用好氧生物处理去除;同时考虑去除氨氮、TP的需求,拟采用“混凝沉淀+生物膜”组合技术。

多种混凝沉淀技术的比较见表2。

表2 混凝沉淀技术对比

Tab. 2 Comparison of different coagulation sedimentation technologies

项 目	高效沉淀	加砂沉淀	磁介质混凝沉淀
基本原理	池内增加斜管	投加60~140 μm细石英砂,絮凝沉淀	投加磁粉,絮凝沉淀
沉降速度	较慢	较快	极快
适用进水SS/(mg · L ⁻¹)	<200	<1 000	<1 000
表面负荷/(m ³ · m ⁻² · h ⁻¹)	12~14	15~30	20~30
主要功能	去除SS、TP等	去除SS、TP等	去除SS、TP、COD(尤其是非溶解性)等
出水SS/(mg · L ⁻¹)	10~20	<10	<10
出水TP/(mg · L ⁻¹)	无保障	<0.5	<0.3
COD去除率/%	10~50	10~50	10~70
回收利用	无	微砂	磁粉
综合评价	成本较低,效果较差	成本较高,对SS、TP去除效果较好	成本较低,对SS、TP、非溶解性COD去除效果较好

拟采用磁介质混凝沉淀技术(简称磁混凝沉

淀),其对水体中SS、非溶解性COD及TP去除效果较好;利用闲置的水塘作为EHBR净化塘,生物膜法拟采用近年在河道中应用较好的强化耦合生物膜反应器(简称强化耦合生物膜,EHBR),其对水体中溶解性COD、氨氮的削减效果较好,且能够保持较高的水体溶解氧。将二者串联组合使用,可实现优势互补。

河水净化处理工艺流程见图2。

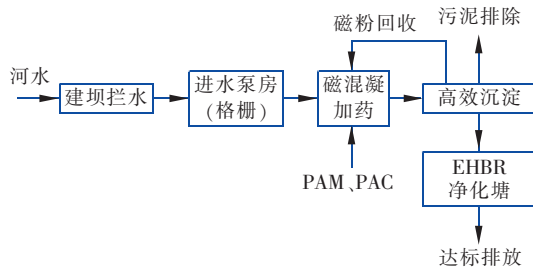


图2 河水处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of river water treatment process

2 主要处理单元及设计参数

2.1 进水泵房

坝前河水经进水泵房提升至后续处理构筑物内。泵房内设置1台格栅以去除大尺寸的漂浮物和悬浮物。格栅宽度为1 m,栅条间隙为20 mm,提升泵电机功率为1.50 kW。

2.2 磁混凝沉淀装置

采用集装箱式一体化磁混凝沉淀装置,设计处理流量为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。待处理水体经混凝加药并与一定量的专用磁介质混合均匀后,完成磁性物质与非磁性悬浮物的结合,形成絮凝体,经过高效沉淀技术和磁分离/回收工艺,实现絮凝团与水体的分离和磁粉循环利用。

2.2.1 工艺设计

该工艺主要由磁混凝、磁沉淀、磁分离和磁回收技术组成。磁混凝由混凝池、加载池、絮凝池组成,均为碳钢防腐集装箱,采用机械搅拌方式进行混凝。混凝池主要将水中细微悬浮粒子和胶体离子在PAC混凝剂的作用下进行脱稳,聚集、混凝形成微小絮体,反应池容积为 22 m^3 ,停留时间为1.6 min;加载池将污水与磁粉、回流污泥在机械搅拌作用下进行充分混合反应,形成微磁絮团,反应池容积为 25 m^3 ,停留时间为1.8 min;絮凝池将未凝聚的小颗粒物、其他悬浮杂质在PAM絮凝剂的作用下进一步凝聚,形成密度较大的絮团,反应池容积为 25 m^3 ,

停留时间为1.8 min。

磁沉淀采用沉淀池加斜管形式的高效沉淀池,碳钢防腐集装箱。含磁污泥在重力作用下沉至池底,被刮泥机刮入污泥斗,再由污泥管排出至磁粉回收、污泥回流系统;上清液通过斜管区域的高效沉淀作用,由顶部集水槽收集后排出或进入下一处理单元。反应池容积为 72 m^3 ,停留时间为5.2 min。设备主要包括:非金属链条刮泥机2台, $L=9 \text{ m}$, $D=1.8 \text{ m}$, $P=0.55 \text{ kW}$;沉淀池集水槽堰2套,三角堰槽厚度为4 mm;斜管填料及支架 60 m^2 ,孔径DN80,厚度1 mm,斜长1 m,安装角度 60° ,PP材质。

从高效沉淀池排出的含磁污泥分为两路:一路直接回流到加载池,以减少药剂投加量和增强絮凝效果;另一路进入磁粉回收系统,通过高剪机的剪切、破碎作用和磁分离机的磁场力作用,将磁粉从污泥中分离出来,回流到加载池进行循环利用,而分离后的剩余污泥进入污泥暂存池,后续进入污泥脱水系统进行处理。主要设备包括:磁分离器1台, $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=1.5 \text{ kW}$;高剪机1台, $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=1.1 \text{ kW}$;磁粉回收泵2台,污泥回流泵3台。

加药单元提供磁混凝沉淀需要的PAC和PAM,PAC采用成品液体投加的方式,PAM液体采用一体化自动配药装置现场制备方法。设备包括:加药集装箱1套(碳钢防腐)、PAM药剂制备装置1套、计量泵、储药罐等。

工艺流程见图3。

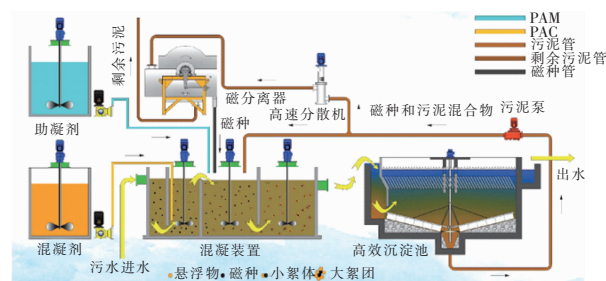


图3 磁混凝沉淀技术工艺流程

Fig. 3 Flow chart of MagCS

2.2.2 技术优势

① 工艺简单灵活,占地面积小,系统总停留时间 $<20 \text{ min}$,占地面积为传统工艺的1/10。

② 出水稳定、处理效果好,TP $<0.3 \text{ mg/L}$,SS $<10 \text{ mg/L}$,COD去除率优于传统混凝沉淀。

③ 运行成本低,使用寿命长,污泥回流节约药剂成本,功率小、磨损小、使用寿命长。

④ 耐冲击负荷能力强,表面负荷可达 $20 \sim 30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,可接受 $\text{SS} < 1\,000 \text{ mg/L}$ 的变化。

⑤ 磁粉循环利用效率高,消耗量 $< 5 \text{ g/m}^3$ 。

⑥ 建设周期短,集成化程度高,例如 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 系统从设计到运行仅需 3~5 个月,投资亦较常规工艺低。

2.3 EHBR 净化塘(现状塘改造)

2.3.1 技术原理

磁混凝沉淀出水进入由现状塘改造的 EHBR 净化塘。净化塘采用强化耦合生物膜(EHBR)处理技术。EHBR 是将气体分离膜技术与生物膜法污水处理技术相结合的一种新型污水处理技术,其核心部分包括透氧中空纤维膜和生物膜。生物膜附着生长在透氧中空纤维膜外表面,空气通过中空纤维膜为生物膜供氧,生物膜与污水充分接触,吸附分解污水中所含有机物和氮素,从而使水体得到净化^[5-6]。

2.3.2 工艺设计

利用一处现状塘,面积为 $11\,936.76 \text{ m}^2$,有效水深为 3.0 m ,停留时间为 24 h 。主要设备包括:

① 强化耦合生物膜组单元 532 组,单组规格为 $2.0 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$;

② 罗茨鼓风机 3 台,2 用 1 备,单机风量为 $13.5 \text{ m}^3/\text{min}$,风压为 0.05 MPa ,功率为 5.5 kW ;

③ 直流通风机 1 台, $Q = 3\,920 \text{ m}^3/\text{min}$, $N = 0.12 \text{ kW}$ 。

④ 钢结构鼓风机房 1 座, $L \times B \times H = 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。

2.3.3 技术特点

① 对氨氮、总氮、COD 去除效果显著。生物膜中具备脱氮除碳除磷功能的优势菌群,而工况条件主导顶级群落的结构组成和分布,通过改变工况参数可以有效地调控主要菌群的分配比例,优化运行效能。生物膜内含有多种氨氧化菌和反硝化菌,其反硝化模式具有多样性。对氨氮降解负荷一般可达到 $0.4 \sim 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,当原水氨氮 $< 5 \text{ mg/L}$ 时,负荷为 $0.4 \sim 0.8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;氨氮为 $5 \sim 10 \text{ mg/L}$ 时,负荷为 $0.8 \sim 1.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;氨氮为 $10 \sim 20 \text{ mg/L}$ 时,负荷为 $1.2 \sim 1.6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;氨氮 $> 20 \text{ mg/L}$ 时,负荷为 $1.6 \sim 2.0 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

② 氧气利用率高。曝气供氧时,氧气透过中空纤维膜直接被生物膜利用,不必经过液相边界层,大大减小了氧气的传质阻力,有利于供氧速度和氧

气利用率的提高。根据污水处理要求,可通过调节曝气压力控制氧气供应量,在满足适当需氧量的同时,避免浪费。

③ 二次污染少,泡沫少。膜曝气可用于处理含易挥发组分的污水,不会吹脱挥发性有机物,避免传统曝气时污水中易挥发物质随气泡进入大气造成的二次污染;曝气时也不会产生由于表面活性剂或微生物分泌物造成的泡沫问题。

④ 安装便捷,施工周期短。

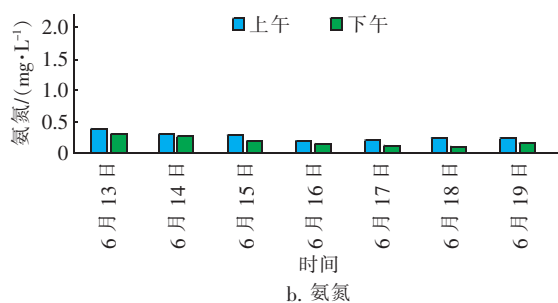
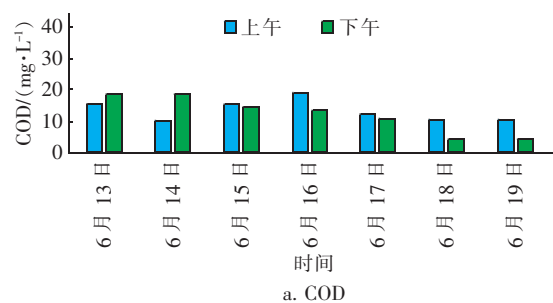
3 技术经济分析

① 工程投资方面,进水泵房建筑安装费 260 万元,其中设备及安装 158 万元,土建工程 102 万元;磁混凝沉淀设备建筑安装 487 万元,其中主体设备及安装 385 万元,土建工程 102 万元;EHBR 净化塘建筑安装 700 万元,其中主要设备及安装 419 万元,其余分项费用 281 万元。全套工艺设备合计费用为 1 446 万元。

② 后期运行与维护方面,磁混凝沉淀系统运维费用包括电费、药剂费、人工费,根据规模测算为 131 万元/a ;EHBR 系统运行费用(含电费、人工费及少量材料费等)为 9 万元/a ,两部分合计 140 万元/a ,摊销后运行成本为 0.19 元/m^3 。

4 工程实施效果及分析

该工程项目于 2019 年 2 月开始实施,并于 EHBR 净化塘出水口处监测水质。6 月 13 日—19 日的连续实测水质见图 4。



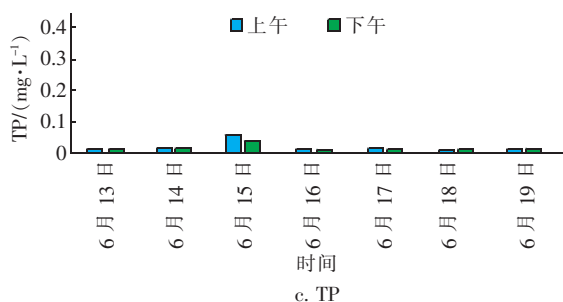


图4 出水COD、氨氮、TP实测数据

Fig.4 Measured effluent data of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP from EHBR

在池塘中设计安装的 EHBR 系统经过近两个月的微生物挂膜和驯化阶段,形成了成熟的 EHBR 生物膜。在磁混凝沉淀的前置处理条件下,通过 EHBR 系统的深度净化,大幅降低了水中的 COD、氨氮和磷含量,且实际运行效果远超预期地达到了地表Ⅳ类标准,显示了 MagCS + EHBR 耦合系统优异的水质净化功能。经过 EHBR 净化塘后的水体流入 B 河后,下游考核断面水质达到Ⅴ类标准,实现了工程设计目标。同时由于水质的改善,池塘水体的生态系统得以逐渐恢复,包括大量鱼类、贝类等水生动物的出现以及大量水生植物的生长等,水体清澈,透明度高。

5 结语

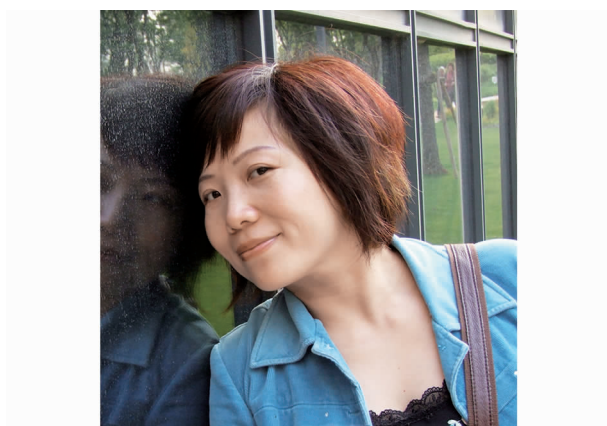
在岸上未实现全面截污(包括应急处理突发性水体黑臭事件)的情况下,因地制宜地采用成本低廉、简单高效的磁混凝沉淀/强化耦合生物膜组合工艺河道水质提升解决方案,可使出水水质稳定达标,运行管理方便。此外,该工艺还可应用于市政污水处理厂提标改造、水厂预处理、工业废水深度处理、城市初期雨水处理等领域,具有良好的生态环境效益和应用推广价值。

参考文献:

- [1] 王旭阳,刘天顺,陈伟楠. 磁混凝沉淀池在某污水处理厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水,2018,34(4):73-75.
Wang Xuyang, Liu Tianshun, Chen Weinan. Application of magnetic coagulation sedimentation tank in upgrading of a wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater,2018,34(4):73-75(in Chinese).
- [2] 宋立堂. 磁混凝沉淀工艺在污水处理中的应用[J]. 市政技术,2018(4):192-194.

Song Litang. Application of magnetic coagulating sedimentation process in sewage treatment[J]. Municipal Engineering Technology, 2018(4):192-194(in Chinese).

- [3] 王少军,杜俊. 磁混凝沉淀技术处理微污染水体研究[J]. 工业用水与废水,2019,50(1):39-43.
Wang Shaojun, Du Jun. Study on micro-polluted water treatment by magnetic coagulation process[J]. Industrial Water & Wastewater,2019,50(1):39-43(in Chinese).
- [4] 邱敬贤,刘君,黄献. 磁混凝技术在水处理中的研究进展[J]. 再生资源与循环经济,2018,11(10):40-44.
Qiu Jingxian, Liu Jun, Huang Xian. Research progress of magnetic coagulation technology in water treatment[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2018, 11(10):40-44(in Chinese).
- [5] 叶尚忠. 用接触氧化+生态氧化塘工艺处理城镇污水的应用研究[J]. 干旱环境监测,2010,24(3):162-166.
Ye Shangzhong. The applied research on processes the city sewage with the catalytic oxidation + ecology oxidation pond craft[J]. Arid Environmental Monitoring, 2010,24(3):162-166(in Chinese).
- [6] 车建刚. 臭氧/微电解耦合-生物接触氧化组合工艺处理猪场沼液的研究[D]. 南昌:南昌大学,2017.
Che Jiangang. Study on Treatment of Piggery Digestate Wastewater with a Ozone/Micro-electrolysis Coupled-bio-contact Oxidation Combined Process [D]. Nanchang: Nanchang University,2017(in Chinese).



作者简介:郁片红(1968-),女,上海人,硕士,高级工程师,从事市政排水、水环境治理、雨洪管理、海绵城市等方面的设计与研究工作。

E-mail:23733819@qq.com

收稿日期:2019-05-17