

基于某铁路小型污水处理设施浅析 A/O-MBBR 组合工艺处理效能

李嘉宝 王永强 翟计红* 张利虹

中国铁路设计集团有限公司 机械环工院 天津 300308

摘要: 衡水市某铁路折返段无污水处理设施,且周围无市政排放接口,段内污水规模为 $25\text{m}^3/\text{d}$,考虑到污水规模较小,且用地紧张的特点,新建小型污水处理设施,处理后的水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A排放标准,且满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GBT18920-2020)标准,以达到出水用于绿化、浇洒路面等回用水质要求。本文详细介绍了该提标改造工程的工艺流程、构筑物及配套设备设计参数,可供相关工程参考。

关键词: 小型污水处理设施 A/O-MBBR 设计参数 无排放出口 回用水标准

Analysis of A/O-MBBR Combined Process Treatment Efficiency Based on a Small Railway Sewage Treatment Facility

Jiabao Li Yongqiang Wang Jihong Zhai Lihong Zhang

China Railway Design Corporation, Mechanical Power and Environmental Engineering Design Institute, China, Tianjing, 300308

Abstract: A railway turn-back section in Hengshui City has no sewage treatment facilities, and there is no municipal discharge interface around. The sewage scale in the section is $25\text{m}^3/\text{d}$. Considering the characteristics of small sewage scale and tight land use, a small sewage treatment facility is built. Meet the “urban sewage treatment plant pollutant discharge standard” (GB18918-2002) level A discharge standard, and meet the “urban sewage recycling and utilization of urban miscellaneous water quality” (GBT18920-2020) standard, in order to meet the water for greening, watering Water quality requirements for road and other reuse. This paper introduces in detail the technological process, structures and design parameters of the supporting equipment of the upgrading and renovation project, which can be used as a reference for related projects.

Keywords: Small sewage treatment facility; A/O-MBBR; Design parameters; No emission outlet; Standard of reuse water

前言

随着我国社会经济不断发展,环境保护与经济社会协调发展深入人心,应加快推进健全污水处理设施建设,并降低污染物排放量。A/O工艺是一种目前在城市污水处理中应用较为广泛的生物活性污泥方法,脱氮除磷的效果较普通的污泥法有较大提高^[1],但存在一定抑制作用^[2]。移动床生物膜反应器(MBBR)是一种新型的高效污水处理技术,它的工艺流程较为简单,可在现有反应器的容积下提高处理能力和运行负荷,适用于中小规模的污水处理设施,同时对生活污水和工业废水均有较好的处理效果^[3]。

衡水市某铁路折返段设计规模为 $25\text{m}^3/\text{d}$,考虑到污水规模较小,且用地紧张的特点,设计处理后的水达到

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A排放标准。为响应国家发改委住房城乡建设部2021年提出的《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》,需提升城镇污水资源化利用效能,考虑此铁路折返段周围无可接入的市政管网,设计出水全部回用,出水满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GBT18920-2020)标准,以达到出水用于绿化、浇洒路面等回用水质要求。

一、设计水质

污水处理厂的进水指标是确定处理工艺的重要指标,各个指标之间不是相互独立的,需采用系统分析的方法,分析各指标之间的联系和彼此的影响,以此确定工艺中需重点处理的指标。

1. 设计进水

根据对此折返段进水水质检测, 得到实测进水水质, 主要的污染物指标见表 1。同时考虑规范推荐值, 根据我国《铁路给水排水设计规范》^[4] 第 13.1.1 条建议, 新建机务折返段污水的设计水质, 污染物指标一般按 pH=7~9, 悬浮物 SS=50~200mg/L, 化学需氧量 COD_{Cr}=50~300mg/L, 石油类=10~1000mg/L 确定。同时参照当地城市污水水质, 确定本项目进水水质如表 2 所示。

由结果可看出, 衡水部分城市处理厂进水指标高于本段污水的实测水质指标。在污水处理厂运营初期, 由于排水管网尚不完善, 使得进厂污水水量较少, 同时污染物浓度波动较大。随着排水管网的逐步完善, 分流制成分加重, 以及经济的发展和人们生活水平的提高, 污水量以及污染物浓度也逐步增大, 最终达到一个稳定的值。综合以上分析, 适当留有发展余地, 建议设计进水水质如表 2 所示。

2. 设计出水

衡水西折返段周边无可接入市政污水管网, 新建污水处理设施必须满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 A 排放标准的相关指标要求。结合国家发展改革委、住房城乡建设部出台《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》精神, 处理后出水满足段区生态绿化和景观用水要求, 多余部分用作折返段内农田灌溉用水。因此本工程出水水质确定主要参照《城市污水再生利用绿地灌溉水质》(GB/T25499-2010)、《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)、《农田灌溉水质标准》(GB5084-2005) 相关要求综合确定。

考虑到国家环保政策逐步严格, 同时由于出水需达

表 1 衡水市某铁路折返段实测进水及部分城市污水厂进水水质

序号	名称	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	TN	TP	NH ₃ -N	备注
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
1	某铁路折返段实测水质	-	88.2	73.5	-	-	0.37	
2	衡水滏东污水处理厂 ^[6]	180	500	180	55	3	35	实测值
3	衡水市路北城市污水二级生物处理厂 ^[7]	157.79	234.36	251.65	30	2	-	生活污水与工业废水混合后 实测值
4	衡水市污水处理厂 ^[8]	195	360	285	60	4.5	45	设计值

表 2 设计进水及出水水质

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	SS	TP	TN	LAS	石油类
进水水质 (mg/L)	350	160	40	220	5	50	100	20
出水水质 (mg/L)	50	10	5	10	0.5	15	0.5	1

二、工艺设计

本项目新建工程的特点是铁路折返段内的剩余空地不多, 需重点关注 NH₃-N、TN、SS、TP 的去除效果, 并增加储泥池和回用水池。本工程所用设备由北京沐正

到绿化、浇洒路面等回用水质要求, 所以应同时满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GBT18920-2020) 标准。设计出水水质如表 2 所示。

3. 重点处理指标分析

折返段一般情况下只承担简单的检修任务, 因此石油排放量较少, 而且排放点集中在整备库等个别地点, 只要在源头设置隔油设施, 可以确保进入污水处理站的石油类指标满足生化处理的要求, 因此石油类不是本工程的控制指标。

COD_{Cr} 的去除率取决于原污水的可生化性, 它与城市污水的组成有关, 二级处理工艺可以较容易去除大部分的溶解性可生物降解 COD_{Cr} 和颗粒性可生物降解 COD_{Cr}。本工程要求出水 COD_{Cr} < 50mg/l 达标是有保障的。因此, COD_{Cr} 不是本工程的重点处理项目。本项目的出水 BOD₅ 指标为 10mg/l, 相应的去除率为 93%, 可采用低负荷的污水处理工艺, 并辅助一定的深度处理措施^[5], 提高去除有机物的可靠性和稳定性。因此, BOD₅ 不是本工程的重点处理项目。

污水处理厂进水氮的去除主要靠硝化、反硝化过程即生化处理来实现, TN 的反硝化成为控制生化处理缺氧段设计的主要因素, 氨氮的硝化过程将成为控制生化处理好氧单元设计的主要因素。因此, TN、NH₃-N 是本工程的重点处理项目。

根据排放的水质要求, 处理厂的处理出水总磷含量小于 0.5mg/l, 采用具有一般生物除磷功能的污水处理工艺不能满足要求。本次设计充分发挥生物除磷的功能, 同时辅以化学除磷工艺, 即可以采用化学除磷工艺强化去除效果。因此本设计将生物除磷也作为一个处理重点。出水设计要求 SS 浓度小于 10mg/l, 去除率为 88%。显然排放指标要求较严格, SS 是本工程的重点处理项目。

环境提供。

工艺设计思路如下: (1) 首先设置污水调节泵站, 最大调节容积 V_{max}=20 m³, 设置机械格栅一台, 格栅间距为 5mm, 并配套电磁流量计和液位计, 与后续生化处

理设备联动,可调节进水水量。

(2) 考虑到用地紧张的情况,采用 A/O-MBBR 污水处理工艺,在缺氧区和好氧区都投加 MBBR 填料,MBBR 填料为亲水磁性多孔隙填料,比表面积 $600\sim 800\text{m}^2/\text{m}^3$,在缺氧池出口处设置填料拦截装置,防止填料流入好氧池。设置曝气系统,保证好氧池生化所需氧。设置加热装置,用于冬季极寒天气水温较低时启动,根据设定水温自动启停。

(3) 二沉池的出水自流进入高效沉淀池,以去除水中的 SS 和 TP,高效沉淀池分为混合区、絮凝区和沉淀区,混凝剂和磷酸盐在混合池内剧烈搅拌,主要是使药剂快速地分散于污水中以利于混凝剂快速水解、聚合及颗粒脱稳,在沉淀区通过污泥沉淀外排达到系统除磷的目的。高效沉淀池各分区功能:混凝剂和磷酸盐在混合池内剧烈搅拌,主要是使药剂快速地分散于污水中以利于混凝剂快速水解、聚合及颗粒脱稳,在沉淀区通过污泥沉淀外排达到系统除磷的目的。

(4) 为达到脱氮的目的,好氧池内的硝化液回流至缺氧池中。由于 MBBR 工艺不需要污泥回流,不需要反冲洗,二沉池中的剩余污泥和高效沉淀池的化学污泥一起排入储泥池中。

本项目主体工艺采用调节池(提升泵站)→MBBR 生物反应池→二次沉淀池→化学除磷单元→化学沉淀池→低阻力过滤池→次氯酸钠消毒→回用水池工艺,工艺流程如下图:

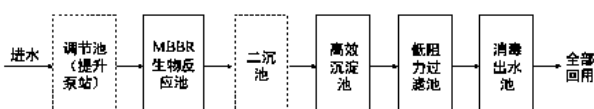


图 1 工艺流程图

Fig 1 Flow chart of treatment process

1. 主要构筑物设计参数及设备配置

(1) 调节提升泵站一座,尺寸为 $\phi 4$, $H=4\text{m}$,井深 6.4m ,钢筋混凝土结构,最大调节容积为 20m^3 。选用潜水排污泵两台,一用一备。单台性能 $Q=2\text{m}^3/\text{h}$, $H=12\text{m}$, $N=0.55\text{kw}$ 。电磁流量计 1 台,用于统计进水量。人工格栅 1 台,格栅间距为 5mm 。液位计 1 台。有效水深为 1.6m ,提升流量为 $0.05\sim 2\text{m}^3/\text{h}$,可根据实际水量修正处理水量。

(2) 生化处理单元和化学除磷单元为一体箱体结构,包含如下几个部分:

a. MBBR 缺氧单元:尺寸为 $3\times 1\times 2.7\text{m}$,双层保温钢结构,投加 MBBR 亲水磁性 MBBR 多孔隙填料,共两组,每组一级。单级平面尺寸: $B\times L=3\times 1\text{m}$, $H=2.7\text{m}$,有效水深 $H=2.6\text{m}$ 。水力停留时间为 7.8h ,比表面积为 $4436.25\text{m}^2/\text{m}^3$,投加比例为 $30\%\sim 50\%$,回流比可自动调整 ($100\%\sim 400\%$)。设置潜水搅拌机 1 台,设置缺氧池,保持活性污泥及 MBBR 填料悬浮膨胀状态。功率:

0.37kw 。设置填料拦截装置 1 台,设置于缺氧池出水口,起到拦截 MBBR 填料作用,防治填料流入好氧池。

b. MBBR 好氧单元:尺寸为 $3\times 1.47\times 2.7\text{m}$,集成式钢结构,水力停留时间为 11h ,使用亲水磁性 MBBR 多孔隙填料,比表面积为 $4436.25\text{m}^2/\text{m}^3$,投加比例为 $30\%\sim 50\%$ 。回转风机 2 台(一用一备),功率: 0.75kw ,风量: $0.63\text{m}^3/\text{h}$ 用于供应好氧池生化所需氧。硝化液回流 2 台(1 共 1 备),功率: 0.37kw ,流量: $4\text{m}^3/\text{h}$,用于硝化液回流脱氮。碳源投加装置 1 套,流量: $8\text{L}/\text{h}$,控制方式: $4\sim 20\text{ma}$ 模拟量信号控制,通过出水监测反馈 PLC 实时调整加药量。加热装置 1 套,功率: 5kw ,用于冬季极寒天气水温较低是启动,根据设定水温自动启停。污泥回流泵 1 台,剩余污泥泵 1 台,功率: 0.37kw ,时间控制启停,用于污泥回流缺氧池及排出多余污泥。DO 仪 1 台,PH 计 1 台,温度变送器 1 台,用于监测生化池运行参数。设置曝气盘 32 套。

c. 二次沉淀池为装配式沉淀池,尺寸为 $2.05\times 0.5\times 2.7\text{m}$,单池水力负荷 $1.04\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

d. 强化化学除磷单元:尺寸为 $2.4\times 0.45\times 2.7\text{m}$,集成式钢结构。水力停留时间为 2.5h ,最大除磷效率为 99% ,最大处理水量为 $1\text{m}^3/\text{h}$ 。除磷剂为聚合氯化铝铁,氧化铝含量 10% ,氧化铁含量 2% ,投加量为 $30\sim 100\text{ma}/\text{L}$,根据进水 TP 浓度调试过程中确定。

e. 高效沉淀池:分为混合区、絮凝区和沉淀区,混合区平面尺寸为 $0.45\text{m}\times 0.15\text{m}$,有效水深: $H=2.5\text{m}$ 。絮凝区平面尺寸为 $0.45\text{m}\times 0.35\text{m}$,有效水深: $H=2.5\text{m}$ 。沉淀区一座, $2.14\text{m}\times 0.45\text{m}$,有效水深: $H=2.5\text{m}$ 。混合时间为 9min ,絮凝时间为 22min 。斜管沉淀池液面负荷 $1.1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。混合区设气动混合器 1 套。絮凝区设气动混合器 1 套。沉淀区设排泥泵 1 台,单台 $Q=4\text{m}^3/\text{h}$, $H=6\text{m}$, $N=0.37\text{KW}$ 。

f. 低阻力深度过滤池:尺寸为 $1.65\times 0.8\times 2.7\text{m}$,集成式钢结构。设计滤速为 $7\text{m}/\text{h}$,反冲洗强度为 $300\sim 350\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,每两小时启动 1 分钟,或水头损失大于 0.25m 时启动 1 分钟。配套反洗泵 1 台,流量: $10\text{m}^3/\text{h}$,功率: 0.75kw 。传动主机 1 台,功率: 0.37kw 。设置液位计 1 台,量程为 $0\sim 5$ 米,输出为 $4\sim 20\text{ma}$ 。滤料采用尼龙针状结构、聚酯支撑、设计过滤等级 10 微米,设计质量 $880\text{g}/\text{m}^2$,有效过滤面积不低于 0.3m^2 。

g. 设备间:尺寸为 $2.05\times 1.35\times 2.7\text{m}$,配套加药装置 3 套,分别投加除磷剂、PAM、碳源。风机 2 台,功率: 0.75kw ,风量: $0.63\text{m}^3/\text{h}$ 。污泥回流泵 1 台,功率: 0.37kw ,流量: $4\text{m}^3/\text{h}$ 。剩余污泥泵 1 台,功率: 0.37kw ,流量: $4\text{m}^3/\text{h}$ 。电控柜 1 套(包含远程控制系统)。中水回用泵 1 台,功率: 0.25kw ,自动运行。次氯酸钠投加装置 1 套,PE 储药罐 300L ,电磁计量泵 1 台,PLC 控制自动运行。

(3) 回用水池:尺寸为 $\phi 2.8\times 4.7\text{m}$,一体化玻璃钢结构,有效容积为 25m^3 ,有效水深为 2.5m ,停留

时间为 1d。选用潜水排污泵一台。性能： $Q=12\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=10\text{m}$ ， $N=0.75\text{kw}$ 。

(4) 储泥池：尺寸为 $\phi 2.6 \times 2.8\text{m}$ ，一体化玻璃钢结构。有效容积为 10m^3 。剩余污泥干重为 3.0978kg/d ，含水率为 99.4%，剩余污泥量为 $0.5163\text{m}^3/\text{d}$ ；化学污泥干重为 0.23kg/d ，含水率为 99.4%，污泥量为 $0.028\text{m}^3/\text{d}$ 。有效水深为 2.5m，停留时间为 18d。储泥池为重力浓缩池，内部设置中心桶及集水堰，浓缩液溢流至调节泵站。运

行方式为排泥到浓缩池下部，上部可以溢流到调节池。

三、运行效果

由于本工程尚在施工图设计阶段，还未完成构筑物建设，相关运行数据还未取得。但类似的工艺设备已经在多个机务段或者车站投入使用，表 3 为各车站施工完成后的运行验收数据，表 4 为相同工艺的应用案例。

表 3 MBBR 生化处理工艺应用车站处理后出水检测数据

污水站出水	检测日期	化学需氧量 CODcr,mg/L	氨氮 mg/L	总氮 mg/L	总磷 mg/L	石油类 mg/L	悬浮物 mg/L	粪大肠杆菌 MPN/100mL
兵马营站	2021.7.22	11	<0.01	3.82	0.09			
燕落站	2021.4.12	11	0.25	9.14	0.05			
京沪环保补强工程	2020.7.20	19	0.902	9.5	0.11	<0.04	<5	
丰台站机务段	2019.6.5	35	0.12	10.2				180
丰台站机务段	2019.2.13	18	4.89	12.4	0.4	<0.06		<2

由表 1 可看出，应用车站的处理出水均可达到排放标准，且多个车站及站段都使用本工程相同工艺，出水均能够达到相应标准，其中兵马营站和燕落站执行的排放标准较严格，为北京市《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013A)，化学需氧量(CODcr) <20mg/L，氨氮 <1.0 mg/L，总氮 <10 mg/L，总磷 <0.2 mg/L，设置两级 A/O 工艺，并投加 MBBR 填料，达到标准后排放。

传统的污水处理设备多采用人工控制的方法，对现场操作人员专业水平要求较高，具有管理设备简单，工程投资较低的特点；但也存在人工控制工作强度高，反

馈滞后性比较明显，出水水质不稳定的缺点；而全流程采用全自动控制，可以实现处理过程的智能化管理，但也存在工程投资较高，运行维护专业性强的特点。具体自动控制与人工控制的技术经济对比如表 3 所示。

对照以上分析，污水处理工序如采用自动控制系统，可实现产水水质水量稳定可靠，各项指标达到设计要求，降低操作人员工作量及劳动强度，实现节能降耗等目的。同时该控制系统可以实现远程监控及人工定期巡检设备，运行数据收集及上传功能，为上级主管部门及相应环保管理机构提供基础数据创造条件。

表 4 MBBR 生化处理工艺应用车站案例

序号	项目名称	项目地点	处理规模 吨/天	处理工艺	安装方式	出水标准
1	京沪环保补强工程	安定站	5	MBBR+ 化学除磷 + 低阻力过滤	地上集成式箱体	北京市《水污染物综合排放标准》 (DB11/307-2013) B 标准
		北仓站	5			
		豆张庄站	5			
2	石德环保补强工程	石家庄—衡水西	15(3台)	MBBR+ 化学除磷 + 低阻力过滤	地上集成式箱体	北京市《水污染物综合排放标准》 (DB11/307-2013) B 标准
		衡水西—德州	5(2台)			

3	兵马营站 燕落站污 水处理设 备供货安 装项目	兵马营站	5	MBBR(2级)+化学除 磷+低阻力过滤	地上集成式箱体	北京市《水污染物综合排放标准》 (DB11/307-2013) A 标准
		燕落站	5	MBBR(2级)+化学除 磷+低阻力过滤		
4	湖东车辆 段大同检 修车间污 水站	大同市	300	气浮+MBBR+化学除 磷+低阻力过滤	地理一体化	《城镇污水处理厂污染物排放标 准》(GB 18918-2002) 一级 A
5	侯马北车 辆段污水 站	侯马市	300	MBBR+化学除磷+ 低阻力过滤	半地上	《城镇污水处理厂污染物排放标 准》(GB 18918-2002) 一级 A
6	丰台站机 务段	北京市	25	MBBR+化学除磷+ 低阻力过滤	地上集成式箱体	《城镇污水处理厂污染物排放标 准》(GB 18918-2002) 一级 A

表 5 自动控制与人工控制方法的比较

序号	项目	人工控制	自动控制
1	出水水质	运行参数调整不及时、易超标	自动调成或远程介入、稳定达标
2	设备巡检	人工定期(每日)	远程监控+人工定期 (每 1-2 周或远程报警提示后)
3	进水方式	人工根据每日水量调整进水流量	根据调节池剩余水量自动修正进水流量 (动态自动调整)
4	运行参数调整	管理人员根据经验每日调整	根据出水指标自动调整(通过智能算法)
5	产水方式	间断产水	自动连续产水
6	药剂补充	人工定期检查后补充药剂	药剂不足自动推送信息提示
7	药剂用量	人工调整投加比例、药剂消耗量大	根据水量、水质自动调整投加量,节约 30% 左右药剂用 量
8	能耗	手动调节、能耗高	根据自动调节风机及水泵转速、节约能耗
9	劳动强度	较大	小
10	运行稳定性	低	高
11	故障处理	不及时	根据实施运行监控、及时处理

四、结语

工程实践证明,采用 A/O-MBBR+ 高效沉淀池+低阻力过滤池工艺用于水量小、用地紧张的污水厂,其处理效果好,系统运行稳定,各项出水指标均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 A 排放标准,为达到资源回用的目的,出水同时满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GBT18920-2020) 标准,其经验值得借鉴。

参考文献:

- [1] 李瞳,郝瑞霞,刘峰, et al. A/A/O 工艺脱氮除磷运行效果分析[J]. 环境工程学报, 2011, 5(8): 6.
- [2] 张捍民,张杰,肖景霓, et al. A-2O-MBR 工艺反硝化脱氮除磷研究[J]. 大连理工大学学报, 2008.
- [3] 周波,沈玉娟,谷庆. 污水处理改造中 MBBR 工艺的应用[J]. 绿色环保建材, 2017(6): 2.
- [4] 铁路给水排水设计规范: 国内 - 行业标准 - 行业

标准 - 铁道 CN-TB, 2016.

[5] 张金华. 对造纸废水处理并循环利用的方法.

[6] 贺山、易世涛、孙文武、李明珠. 工业园区背景下衡水市滏东污水处理厂运行的研究 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(11): 3.

[7] 何增虎. 衡水市路北城市污水处理及回用工程 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2004, 22(4): 6.

[8] 高宜, 李一川, 林姣, et al. 衡水市污水处理厂升级改造工程设计 [J]. 辽宁化工, 2016(7): 3.

[9] Biase A. D., Kowalski M. S., Devlin T. R., et al. Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: A review[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 247(Oct.1): 849-866.