

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.06.042

MBBR工艺用于污水厂准IV类水提标改造的方案研究

盖鑫

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:芜湖市某污水厂现状规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水执行国家一级A排放标准。进行升级改造,出水水质达地表准IV类水标准。通过方案对比研究,对现有生物反应池好氧段进行重新划分,部分划分为缺氧/好氧区,部分投加好氧悬浮填料,强化硝化反硝化过程,确保出水水质稳定达标,可为污水处理厂地表准IV类水提标改造提供借鉴。

关键词:移动床生物膜反应器;硝化反硝化;脱氮除磷;提标改造

中图分类号: TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0156-03

0 引言

自20世纪80年代以来,移动床生物膜反应器(Moving bed biofilm reactor, MBBR)被广泛应用于污水厂提标改造工程。目前,全国MBBR工艺应用规模已超过 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[1]。根据是否设置污泥回流,MBBR工艺可分为纯MBBR系统和混合系统(Integrated fixed-film activated sludge system, IFAS)。纯MBBR系统没有污泥回流,生物量取决于悬浮填料上附着的生物膜质量,不维持悬浮污泥浓度。IFAS系统设置污泥回流,在原有活性污泥反应器中增加额外生物量,同时具有活性污泥和生物膜两种特性,应用最多。

根据相关研究,生物反应池采用MBBR工艺升级改造后,出水水质有了显著改善。齐勇等^[2]采用小型装置,在缺氧区和好氧区投加填料,通过6个月的稳定运行,二沉池出水 COD_{cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 和 TP 浓度分别低于 37 mg/L 、 2.9 mg/L 、 13 mg/L 和 0.67 mg/L 。苏高强等^[3]通过 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 规模AAO-MBBR中试研究发现,出水 COD_{cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 和 TP 平均质量浓度可分别达到 37.0 mg/L 、 0.6 mg/L 、 10.0 mg/L 和 0.5 mg/L 。工程实践中,无锡芦村污水厂^[4]、保定市银定庄污水厂^[5]、山西某污水厂^[6]、呼和浩特市某污水厂^[7]等采用MBBR工艺进行升级改造,出水均可稳定达一级A排放标准。近年来,随着水环境质量要求的提高,我国部分地区已要求污水厂出水水质达

地表准IV水标准。MBBR工艺由于其工艺简单、占地紧凑、处理效果好、抗冲击负荷能力强、可持续升级等优点,逐渐用于污水厂地表准IV类水的升级改造工程。例如,北方某污水厂现状生反池采用AAO-MBBR工艺,出水可稳定达一级A排放标准,通过将现状池型调整为Bardenpho池型,同时增加填料,污水厂出水 COD_{cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 均值可分别达 21.58 mg/L 、 0.54 mg/L 和 8.04 mg/L ^[8];浙江省某污水厂通过将现状AAO反应池升级改造为Bardenpho-MBBR工艺,生化段出水 COD_{cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 均值可分别达 18.80 mg/L 、 0.27 mg/L 和 8.43 mg/L ^[9]。

本研究以芜湖市某污水厂现状生物反应池MBBR工艺升级改造为例,为污水厂地表准IV类水提标改造提供参考。

1 项目概况

芜湖市某污水厂现状规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水以生活污水为主。预处理采用“粗/细格栅+旋流沉砂池”工艺,二级生物段处理采用“AAO”工艺,深度处理采用“高效反应池+反硝化深床滤池”工艺,消毒采用“次氯酸钠消毒”工艺。原设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,本次拟将污水厂出水水质提高至地表水准IV类标准,见表1。

2 技术路线

2.1 改造重难点

污水厂现状工艺生产线采用“预处理+二级生物处理+深度处理”总体处理方案,可实现出水稳定达

收稿日期: 2022-10-30

作者简介: 盖鑫(1990—),男,硕士,工程师,从事城市排水工程设计及研究等工作。

表 1 设计进出水水质 单位:mg/L

指标	COD _{cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	≤360	≤170	≤230	≤30	≤35	≤5.0
原污水厂设计出水	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5
改造后污水厂设计出水	≤30	≤10	≤10	≤2	≤10	≤0.4

注:括号外数值为水温大于12℃时的控制指标,括号内数值为水位不大于12℃时的控制指标。

一级A标准。本次地表准IV类水提标改造对出水水质中COD_{cr}、NH₃-N、TN和TP等指标提出了更高的要求。在原设计出水水质的基础上,COD_{cr}要求再降低20mg/L,TN要求再降低5mg/L,NH₃-N要求再降低6mg/L,TP要求再降低0.1mg/L。

现状AAO反应池的停留时间较短,对有机物、氮、磷的去除效果有限;后续反硝化深床滤池一般可去除3~5mg/L的NO₃-N,若需去除更多,往往需增加碳源投加量,出水COD_{cr}值更易超标;对于TP指标,可通过适当提高加药量,确保稳定达标。综上,本次污水厂改造的重点是进一步去除COD_{cr}、NH₃-N、TN等。

2.2 技术路线选择

现状厂区用地较为紧张,再增设后续污水处理构筑物,可行性较差,投资和运行成本较高。考虑到MBBR工艺可与现状生物反应池灵活结合,具有充分利用现有池容,灵活方便,投资省等优点,本次拟对现状AAO反应池进行内部挖潜,投加悬浮填料,同步提高有机物去除、氨化、硝化和反硝化能力。

现状AAO生物反应池采用“多模式”池型,分2组,有效水深6.0m,设计悬浮固体浓度为3gMLSS/L,内回流比为200%~300%,外回流比50%~100%。多模式AAO反应池可按常规AAO处理工艺运行,也可按改良AAO、倒置AAO及其他处理工艺的运行模式运行。单组厌氧段有效容积3346m³,停留时间约1.61h;单组缺氧段有效容积5018m³,停留时间约2.41h;单组好氧段有效容积17396m³,停留时间约8.35h。单组反应池布置型式见图1。

为确保污水厂出水达地表水准IV类标准,AAO反应池改造后的设计出水水质需相应提升,见表2;AAO反应池改造前后所需停留时间见表3。

由上表可知,现状AAO反应池的缺氧区、好氧区的停留时间均不足,应同时强化缺氧区和好氧区的功能,可采用的技术路线包括:

(1)缺氧池和好氧池均投加悬浮填料;

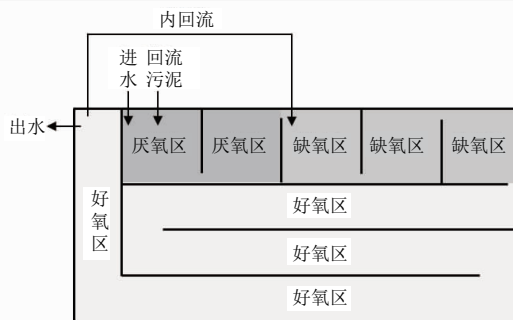


图 1 “多模式”AAO反应池

表 2 AAO反应池改造前后设计进出水水质 单位:mg/L

指标	COD _{cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
AAO进水	≤360	≤170	≤210	≤30	≤35	≤5.0
AAO改造前出水	≤50	≤10	≤20	≤5	≤15	≤1.5
AAO改造后出水	≤40	≤10	≤20	≤2	≤12	≤1.5

表 3 AAO反应池现状和实际所需停留时间

指标	现状停留时间	实际所需停留时间
有效水深/m	6.0	6.0
设计水温/℃	12	12
设计悬浮固体浓度/(g MLSS·L ⁻¹)	3.0	3.0
厌氧区停留时间/h	1.61	1.61
缺氧区停留时间/h	2.41	4.05
好氧区停留时间/h	8.35	10.07

(2)优先满足反硝化需求,好氧池部分池容划分为缺氧区,不足部分通过投加悬浮填料予以补足。

3 设计方案

3.1 方案一(同时投加缺氧好氧填料)

方案一维持厌氧区、缺氧区和好氧区池容不变,缺氧区投加缺氧悬浮填料,好氧区部分划分为好氧填料区,用于投加好氧悬浮填料,见图2。填料投加量计算见表4。

方案一缺氧填料和好氧填料的投加量分别为1275m³和1219m³,填充率分别为12.71%和3.50%。缺氧区出水、好氧填料区出口处设置拦截筛网,筛网上设有穿孔吹扫装置。

为确保悬浮填料处于流化状态,不在拦网处堆积,采用循环流动池型。每组缺氧池拆除2处16.4m长、0.35m宽的隔墙;新增2处弧形隔墙和1处35.7m长、0.35m宽的隔墙;拆除现状3处搅拌器;新增2台潜水推流器,单台功率7.5kW。每组好氧池拆除1处9.0m长、0.35m宽的隔墙;新增2处弧形

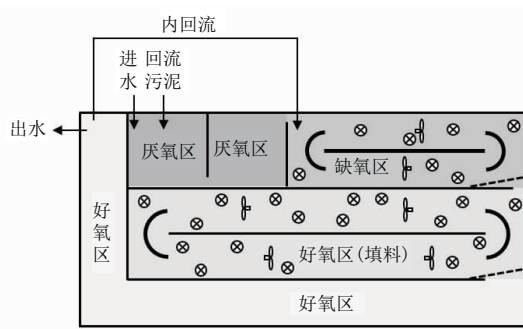


图2 AAO反应池改造方案一

表4 方案一悬浮填料投加量计算

反应区	项目	数值
缺氧区	需反硝化氮量/(kg·d ⁻¹)	1 065.47
	反应池反硝化可去除氮量/(kg·d ⁻¹)	634.44
	悬浮填料需去除氮量/(kg·d ⁻¹)	431.03
	缺氧悬浮填料表面负荷/(gNO ₃ -N/(m ² ·d))	0.52
	需投加填料量/m ²	828 913
	填料的折合有效比面积/(m ² ·m ⁻³)	650
	需投加填料容积/m ³	1 275
	填充率/%	12.71
好氧区	反应池可处理污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	82 925
	悬浮填料需承担的污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	17 075
	悬浮填料需承担硝化的氮量/(kg·d ⁻¹)	352.68
	好氧悬浮填料表面负荷/(g TN/(m ² ·d))	0.445
	需投加填料量/m ²	792 550
	填料的折合有效比面积/(m ² ·m ⁻³)	650
	需投加填料容积/m ³	1 219
	填充率/%	3.50

隔墙;新增4台潜水推流器,单台功率5.5 kW。

3.2 方案二(重新划分池容)

方案二维持厌氧区、缺氧区池容不变,将部分好氧区划分为缺/好可调区和好氧填料区,优先满足缺氧区停留时间的需求,在好氧填料区投加好氧悬浮填料,见图3。土建改造后,每组可调区容积3 944 m³,停留时间约1.89 h;每组好氧填料区容积5 924 m³,停留时间约1.42 h。理论计算见表5。

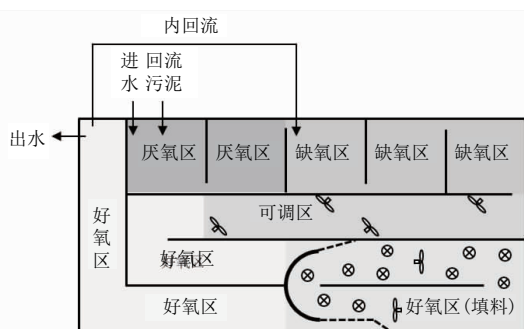


图3 AAO反应池改造方案二

方案二每组可调区新增4台潜水搅拌机,单台功率7.5 kW,可根据进水水质条件启动曝气或搅拌机,控制可调区的状态。好氧填料投加量约2 395 m³,填充率约6.88%。好氧填料区采用循环流动池型,每

表5 方案二悬浮填料投加量计算

反应区	项目	数值
缺氧区	反应池可处理污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	66 459
	悬浮填料需承担的污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	33 541
	悬浮填料需承担硝化的氮量/(kg·d ⁻¹)	692.77
	好氧悬浮填料表面负荷/(g TN/(m ² ·d))	0.445
好氧区	需投加填料量/m ²	1 556 795
	填料的折合有效比面积/(m ² ·m ⁻³)	650
	需投加填料容积/m ³	2 395
	填充率/%	6.88

组好氧区拆除1处9.8 m长、0.35 m宽的隔墙拆除;新增1处弧形隔墙;进出口处新增拦截筛网及辅助曝气系统;新增2台潜水推流器,单台功率6.5 kW。

3.3 方案选择

方案一在缺氧区和好氧区均投加填料,同时提高缺氧区和好氧区的微生物量;方案二将部分好氧区调整为缺/好可调区和好氧填料区,优先满足反硝化所需池容,再在好氧区投加填料,提高好氧区的微生物量。方案一和方案二对比见表6。

表6 方案比选

项目	方案一	方案二
投加填料 / m ³	缺氧	1 275
	好氧	1 219
土建改造 (每组)	拆除	3处隔墙
	新建	1处直线隔墙 4处弧形隔墙
新增搅拌机或推流器(每组)	拆除	2
	新增	6
新增拦截筛网(每组)	2	2
改造后停留时间/h	厌氧	1.61
	缺氧	2.41
	可调	-
	好氧	8.35
	总计	12.37
投资/万元	1 378.9	1 015.2

与方案一相比,方案二具有仅需投加好氧填料、土建改造量更少、运行模式更加灵活、投资更省等优点。因此,本次AAO反应池改造拟选用方案二,即重新划分池容,优先满足反硝化需求,通过投加好氧填料,强化硝化功能。

4 工程设计总结

(1)BBR工艺应用于AAO反应池升级改造,可采用同时投加缺氧好氧填料方案或重新划分池容方案。

(下转第183页)

(1)坑外进行大体量地基加固,减少主动土压力,形成实质性重力挡墙体系。

(2)坑内设置满堂加固,确保基坑稳定性并克服⑤层微承压水影响。

(3)将基坑化大为小,同时设立必要支撑结构确保基坑分布实施的安全。

根据上文提到的工程经验,东西通道陆家嘴穿越2号线节点(插入比1:0.15)、外滩通道上跨延安东路隧道节点(插入比1:0.5)采取上述措施后,均取得良好效果。

2.4.3 分析总结

从星港街上跨运营地铁1号线区间节点的设计管理过程可以看到,此类节点的设计一般在策划和识别阶段明确地铁的保护要求和周边的环境情况,在设计控制阶段通过工程经验数据比较+计算复核的方式选择合理设计施工方案,在设计输出中从坑内外加固、分坑跳挖、信息化施工等方面进行考虑,控制地铁上浮,解决盾构上方工法桩插入比不足的问题,确保隧道结构安全、地铁运营安全、周边环境

稳定。

3 结语

管控好重要节点的设计质量,是保证工程质量的关键一步。在明挖近距离上跨运营地铁区间类型的工程节点中,存在诸多风险因素,对其设计管理过程进行总结是十分必要的。在设计的策划、输入、控制、输出各环节,都应特别注意节点的特殊性,对设计重点问题一一予以解决。

参考文献:

- [1] 刘小建,贾坚.地铁隧道上方基坑卸荷回弹及控制的试验和探讨[J].地下工程与隧道,2008(2):41-44.
- [2] 温锁林.运营地铁隧道上方基坑施工技术及保护措施[J].地下空间与工程学报,2011(7):1465-1469.
- [3] 刘涛,刘国彬,史世雍,等.搅拌桩施工引起邻近隧道变形的控制措施[J].建筑技术,2006,37(3):223-225.
- [4] 刘涛,刘国彬,史世雍.基坑加固扰动引起地铁隧道隆起变形[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(2):141-144.
- [5] 付艳斌,廖少明,朱合华.搅拌桩加固挤土效应及在地铁隧道保护中的应用[J].岩土力学,2009,30(7):2005-2010.

(上接第158页)

(2)重新划分池容方案可在现状工艺基础上平滑升级,保持运行的灵活性,突破常规工艺对 COD_{cr} 、 NH_3-N 、 TN 的去除效果,非常适用于同类污水处理厂高排放标准升级改造。

参考文献:

- [1] 吴迪.MBBR在国内的工程应用与发展前景[J].中国给水排水,2018,34(16):22-31.
- [2] 齐勇,陶涛,吴韵瑕,等.MBBR应用于污水处理厂提标改造中试研究[J].给水排水,2011,37(11):132-135.
- [3] 苏高强,蒋永丰,黄东辉,等.AAO-MBBR工艺在城市污水厂升级改造中的应用[J].工业用水与废水,2015,46(3):15-18.

- [4] 王翥田,叶亮,张新彦,等.MBBR工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J].中国给水排水,2010,26(2):71-73.
- [5] 郭中伟,史凯莹.MBBR工艺在污水处理厂设计改造中的应用[J].技术与工程应用,2016(10):66-68.
- [6] 吴迪,周家中,郑志佳,等.MBBR用于山西某污水厂提标改造效果分析[J].中国给水排水,2018,34(15):6-11.
- [7] 梅小乐,代博,杨红,等.MBBR+SBR工艺用于寒冷地区污水处理厂升级改造[J].中国给水排水,2019,35(20):92-95.
- [8] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等.新型MBBR用于类地表IV类水排放标准升级改造[J].中国给水排水,2017,33(14):93-98.
- [9] 滕良方,吴迪,郑志佳,等.某污水厂Bardenpho-MBR准IV类水提标改造分析[J].中国给水排水,2019,35(11):33-39.