

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.010

哈尔滨市某污水处理厂提标改扩建工程设计

王洪刚, 纪海霞, 程树辉

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘要: 哈尔滨市某污水处理厂现状设计规模为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,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B标准。本次升级改扩建工程在原厂址将污水处理厂总规模扩容至 $25\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质提标至一级A标准。CASS反应池改造采用CASS+MBBR工艺,重新划分功能区,并增加内回流功能;扩建工程采用多段 A^2O +MBBR生物池+矩形周进周出二沉池工艺,深度处理采用磁混凝澄清池+紫外消毒工艺。实际运行结果表明,出水水质稳定达标,通过除臭、噪声控制、污泥处理、建筑及景观设计有效化解了邻避效应,可为类似工程提供参考。

关键词: 提标改扩建; 污水处理厂; CASS工艺; MBBR工艺; 磁混凝澄清池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0064-05

Design of a Wastewater Treatment Plant Upgrading and Expansion Project in Harbin

WANG Hong-gang, JI Hai-xia, CHENG Shu-hui

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: The current design scale of a wastewater treatment plant in Harbin is $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent is required to comply with the first level B limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The upgrading and expansion project expanded the total scale of the wastewater treatment plant to $25\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ at the original site, and the effluent quality was upgraded to the first level A limit specified in the discharge standard. The CASS reactor was transformed into CASS-MBBR process, its functional areas were redivided, and the internal reflux was added. The expansion project consisted of multi-stage A^2O -MBBR and rectangular secondary sedimentation tank with wastewater peripheral in and peripheral out, and the advanced treatment process was magnetic coagulation clarifier and ultraviolet disinfection. The effluent quality stably met the discharge standard, and the “not in my backyard” issue was effectively resolved through deodorization measures, noise control, sludge treatment and architecture and landscape design. The results aim to provide reference for similar projects.

Key words: upgrading and expansion; wastewater treatment plant; CASS process; MBBR process; magnetic coagulation clarifier

1 项目概况

哈尔滨市某污水处理厂现状设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用 CASS 工艺, 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 B 标准。工艺流程: 进水→拦污栅→粗格栅→提升泵→细格栅→旋流沉砂池→初沉池→CASS 反应池→紫外消毒→排放。

本次升级改扩建工程总设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中改造工程设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 扩建工程设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 深度处理设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

对实测进水水质进行统计分析发现, 进水 COD、SS、TP 均较高, 主要因为污水处理厂服务范围内存在一定的工业企业, 其排水对污水处理厂进水水质冲击较大。但根据城市总体规划, 该范围内大部分企业短期均有搬迁计划, 且生活污水占比随新区居住人口增加而增加, 因此需综合考虑确定设计进水水质。

现状污水处理厂出水水质可稳定达标。根据国务院发布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)及排水专项规划, 确定升级改扩建工程出水水质执行 GB 18918—2002 一级 A 标准。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

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | SS | TN | NH ₃ -N | TP |
|----------------|-----|------------------|-----|------|--------------------|------|
| 现状实测 90% 涵盖率进水 | 520 | 273 | 465 | 56.1 | 40 | 10.4 |
| 现状实测平均出水 | 54 | 9 | 10 | 17 | 3 | 0.8 |
| 设计进水 | 500 | 220 | 400 | 60 | 40 | 8 |
| 设计出水 | ≤50 | ≤10 | ≤10 | ≤15 | ≤5(8) | ≤0.5 |

2 重点、难点分析及工艺流程

2.1 重点、难点分析

2.1.1 TN 去除率较低

由表 1 可知, 现状污水处理厂对 BOD₅、SS、NH₃-N、TP 的去除效果较好, 以上指标不是本次提标改扩建的重点; 出水 COD 相对较高, 主要受进水 COD 高及低温影响较大, 一方面要强化现有 CASS 反应池对 COD 的去除, 另一方面扩建工程的工艺设计需延长污泥龄, 从而有效应对冬季低温的不利影响; 出水

TN 较高, 其去除率受 CASS 工艺影响较大, 提高 TN 去除率是本次提标改扩建的重点、难点。

CASS 工艺采用单一污泥悬浮生长系统, 通过同一反应器中的混合微生物种群完成有机物的氧化、硝化、反硝化和除磷, 系统中的异养菌、聚磷菌、硝化细菌和反硝化细菌存在泥龄、碳源、溶解氧等多方面竞争, 彼此相互影响严重, 在实际应用中降低了其处理效果^[1]。CASS 工艺的污泥回流比一般仅为 20%, 限制了 TN 去除率。此外, 本工程冬季进水水温可低至 10℃, 对微生物活性影响较大, 进一步降低了反硝化脱氮能力。针对 CASS 工艺 TN 去除率低的难题, 2014 年 12 月—2015 年 2 月在污水处理厂现场进行 CASS+MBBR 中试, 证明在进水搅拌+补充碳源的条件下, 出水 TN 可稳定降至 15 mg/L 以下。根据试验结果, 确定 CASS 反应池原位升级改造采用 CASS+MBBR 工艺。

2.1.2 厂区用地紧张

本工程在现有厂区内进行原位升级改扩建, 厂区总面积为 13.98 hm², 仅为《城市污水处理工程项目建设标准》(建标 198—2022) 推荐面积 (25.42 hm²) 的 55%。针对用地不足的问题, 主要从两方面重点考虑: 一方面要尽可能进行原位不减产改造, 避免减产改造带来的扩建工程用地增加; 另一方面, 新建部分要采用高效节地工艺。

2.1.3 邻避效应突出

该污水处理厂南临公园景区, 北与别墅区仅一路之隔, 周边高档社区林立, 环境极其敏感, 项目实施过程中备受社会关注。针对邻避效应突出的问题, 需要在除臭、噪声控制及污泥处理等方面采取技术措施进行有效化解。

2.2 工艺流程

现状预处理设施经复核可满足 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理能力需求, 现状 CASS 反应池进行原位升级改造, 新建 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的生物池、二沉池, CASS 反应池出水与新建二沉池出水汇合后进入新建 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的深度处理段, 工艺流程见图 1。

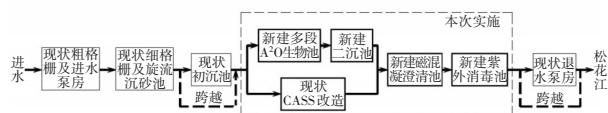


图 1 工艺流程

Fig.1 Process flow chart

3 主要工艺设计

3.1 平面布置

统筹全厂用地,拆除现状综合楼、机修间及仓库,利用该区域新建多段A²O生物池,利用新建生物池北侧空地建设二沉池、鼓风机房及配电室,厂区东北侧新建磁混凝澄清池及紫外消毒间,拆除现状紫外消毒设施原位新建加药间,厂区西北角新建综合楼,污水处理厂平面布置见图2。

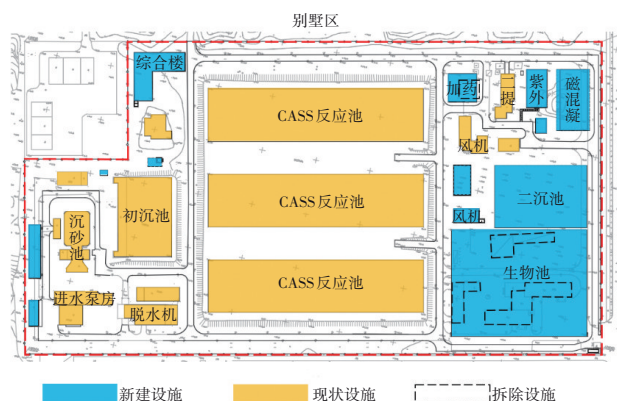


图2 污水处理厂平面布置

Fig.2 Layout plan of the wastewater treatment plant

3.2 CASS反应池改造

现状CASS反应池设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分3系列,共24格。每系列反应池的平面尺寸为 $197 \text{ m} \times 49 \text{ m}$ 。每格CASS反应池包括生物选择区、缺氧区及主反应区,有效水深为 5.45 m ,最大滗水深度为 1.9 m ,实际运行滗水深度为 1.45 m 。每格CASS反应池每天运行4个周期,每周期6 h:进水0.5 h,边进水边曝气1 h,曝气2 h,沉淀1 h,滗水1.5 h。

本次升级改造通过计算重新划分CASS反应池功能区,设置独立选择区(厌氧区)、缺氧区、好氧区(填料),并增加内回流功能,升级改造后CASS工艺流程如图3所示。

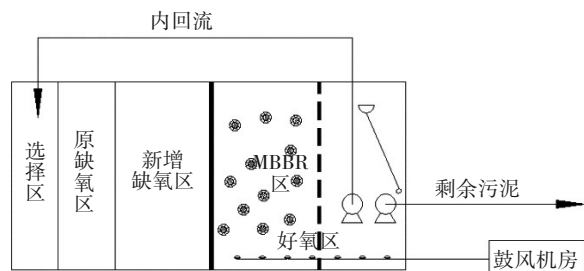


图3 升级改造后CASS工艺流程

Fig.3 CASS process flow after upgrading and renovation

本次升级改造维持原运行周期6 h不变,优化各段时间:进水1.0 h,边进水边曝气0.5 h,曝气2.5 h,沉淀1.0 h,滗水1.0 h。经核算,原缺氧区池容不满足要求,通过不锈钢隔墙,分割反应池主反应区的一部分作为缺氧区,改造后缺氧区总池容约 $56\,250 \text{ m}^3$ 。与钢筋混凝土隔墙相比,采用不锈钢隔墙改造工程量小,施工简单,周期短,投资低。为弥补好氧区因池容减小带来的生物量不足问题,向好氧部分投加生物填料,通过提高生物量来满足最小污泥龄要求,MBBR区生物填料填充率约28%。为提高脱氮效率,在好氧区设置内回流泵,将污泥与硝化液同时回流至选择区进口处,在实现污泥回流的同时,使硝化液与进水充分混合,利用原水中的碳源实现前置反硝化脱氮。每格反应池设计内回流泵1台,变频调节,单台水泵 $Q=1\,160 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=20 \text{ kPa}$, $N=18.5 \text{ kW}$,每周期内进水、曝气阶段开启内回流泵共4 h,最大回流比约300%。为保障在进水C/N较低的情况下出水TN仍能稳定达标,需设置碳源投加系统。

3.3 新建多段A²O生物池

新建生物池设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用多段A²O+MBBR处理工艺。分为两个系列,平面总尺寸为 $97.3 \text{ m} \times 123.8 \text{ m}$,有效水深为 8.5 m 。生物池总停留时间为22.4 h,其中厌氧区、第一缺氧区、第一好氧区、脱气区、第二缺氧区、第二好氧区的停留时间分别为1.8、6、8.2、1.7、3、1.7 h。为节省碳源,生物池设多点进水,在每系列生物池进水总渠设2台 $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ 手动电动闸门,根据实际运行需要可分别通过DN800管道向第一缺氧区起端及第二缺氧区起端配水补充碳源,通过调整闸门开度控制进水量。每系列生物池在第一好氧区后的脱气区内设置3台变频内回流泵,将硝化液回流至第一缺氧区的起端用于脱氮,内回流比为100%~400%。第一好氧区投加 $4.95 \times 10^6 \text{ m}^2$ 悬浮填料,硝化负荷为 $0.45 \text{ gNH}_3\text{-N}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。生物池设计污泥浓度为 $3\,000 \sim 4\,000 \text{ mg/L}$,剩余污泥量为 17.1 tDS/d ,总污泥龄为21.3 d,污泥回流比为50%~100%。为提升景观效果及便于封闭除臭,生物池顶部加盖覆土绿化。

3.4 新建二沉池及污泥泵房

新建二沉池设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用矩形周进周出沉淀池,共8格,平面总尺寸为 $57.0 \text{ m} \times$

83.9 m,有效水深为4.6 m。设计平均流量表面负荷为 $1.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,峰值流量表面负荷为 $1.46 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。污泥泵房与二沉池合建,设置3台回流污泥泵,2用1备, $Q=2100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \text{ kPa}$, $N=75 \text{ kW}$;设置2台剩余污泥泵,1用1备, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=12 \text{ kW}$ 。为提升景观效果及便于封闭除臭,二沉池顶部加盖覆土绿化。

3.5 新建磁混凝澄清池

新建磁混凝澄清池设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共4座,平面总尺寸为 $55.7 \text{ m} \times 29.9 \text{ m}$ 。设计混合池混合时间、磁粉混合池反应时间、絮凝池反应时间分别为90、90、120 s,澄清池斜管区平均流量表面负荷为 $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,峰值流量表面负荷为 $26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.6 新建紫外消毒间

新建紫外消毒间设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共设3条消毒渠道和2条出水渠道,池体总平面净尺寸为 $30 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ 。

3.7 新建鼓风机房

新建鼓风机房设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为尽量减小噪声,采用全地下式,地上部分用作仓库。设计5台空气悬浮鼓风机,4用1备,单台 $Q=140 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $P=95 \text{ kPa}$ 、 $N=260.7 \text{ kW}$ 。鼓风机房内设置液压起重设施1台,主要用于设备运输、检修,创新性地采用垂直升降方式,解决了封闭与安装维护之间的矛盾。

3.8 现状污泥脱水机房原位扩容改造

现状贮泥池为3格,其中2格用于贮存CASS反应池剩余污泥,1格用于贮存初沉池污泥。现状脱水机房内主要设备包括:2台转鼓浓缩机,单台处理能力为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$;3台离心脱水机,单台处理能力为 $30 \sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

本次扩容改造利用现状污泥浓缩机、离心脱水机处理CASS反应池及新建生物池的剩余污泥(44.1 tDs/d);新增3台离心脱水机,2用1备,用于处理初沉池及磁混凝澄清池化学污泥(55.45 tDs/d),单台处理能力为 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ 。新增污泥料仓1座,有效应对路况、雨雪天气对污泥运输的影响。

3.9 除臭系统设计

设计采用全过程除臭+生物除臭+离子除臭复合工艺。全过程除臭布置于新建生物池第二好氧区内,共设置微生物培养罐30套。厂区现状生物除臭设施处理能力为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$,改造后增加离子除

臭设施,主要用于现状粗格栅及进水泵房、细格栅及旋流沉砂池、平流沉淀池、贮泥池及污泥脱水机房除臭。新建生物除臭+离子除臭系统处理能力为 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$,共设置6套除臭设施,布置于二沉池顶部,单套平面尺寸为 $21 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,主要用于现状CASS反应池、新建生物池及二沉池除臭。采用生物除臭与离子除臭串联形式,以生物除臭为主,以离子除臭为辅,可有效解决冬季低温导致生物除臭效率下降的问题。

4 运行效果及经济分析

本工程自2019年6月投产运行至今,各项出水指标均优于排放标准,实测进、出水水质见表2。

表2 实测进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | SS | TN | NH ₃ -N | TP |
|------|-------|------------------|-------|------|--------------------|-----|
| 进水平均 | 500.5 | 225.3 | 396.1 | 50.1 | 33 | 10 |
| 出水平均 | 43.2 | 6.8 | 5.9 | 12.1 | 1.1 | 0.4 |

本工程总投资约63394.76万元,其中工程费约49483.75万元。除磷药剂采用10%的液体PAC,商品原液平均投加量约 70 mg/L ;磁混凝阴离子PAM平均投加量约 0.6 mg/L ,磁粉平均投加量约 2 mg/L ;污泥脱水阳离子PAM平均投加量约 4 kg/tDS ;碳源采用乙酸钠,实际使用量较少;电费约 $0.22 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 设计总结

① 通过试验,确定CASS反应池改造采用CASS+MBBR工艺。重新划分CASS反应池功能区,设置独立厌氧区、缺氧区、好氧区并增加内回流功能,对CASS运行时序、回流控制进行优化,实现脱氮功能时间与空间的结合;在好氧区投加填料以增加生物量,同时发挥生物膜低温处理效果稳定的优势;现状24格CASS池分批次进行原位升级改造,不影响生产。以上措施大幅提高了CASS工艺的TN去除率,对同类污水处理厂高排放标准升级改造具有重要意义。

② 多段A²O+MBBR工艺能够强化对TN的去除能力,在第一好氧区投加填料可以减小池容,同时改善低温工况下生物池的硝化效果^[2],提高了运行的安全稳定性。设计多点进水,节省碳源投加量,降低运行成本。

③ 矩形周进周出沉淀池表面负荷高,占地小,形状规则,土地利用率高,且便于封闭除臭及池顶覆土绿化,池顶叠合新建生物除臭设施,进一步减少占地。

④ 磁混凝澄清池工艺在除磷、去除SS的同时,可强化混凝进一步去除COD,在进水COD波动较大的情况下保证了出水水质稳定达标。与高效澄清池+滤池^[3]工艺相比,磁混凝澄清池水头损失小,无需增加提升泵房,节约占地。此外,可节省滤池二次提升及反冲洗对应的电耗,节电量为 79×10^4 kW·h/a。

⑤ 对噪声较大的新建鼓风机房,选用空气悬浮鼓风机,鼓风机房采用地下布置形式,车间及门窗、楼梯间、检修出入口均进行隔音、吸音设计,设备运输、检修创新性地采用垂直升降方式,解决了封闭与安装维护的矛盾。

⑥ 脱水机房进行原位升级改造,避免产生新的污染源,节地且便于管理。新增污泥料仓,有效应对路况、雨雪天气对污泥运输的影响。

⑦ 考虑到周边环境敏感,采用全过程除臭+生物除臭+离子除臭复合工艺。利用全过程除臭工艺,从源头控制臭气产生;同时对全部池体进行封闭和臭气收集,以生物除臭为主,考虑到哈尔滨冬季温度低导致生物除臭效率下降^[4]的问题,辅助离子除臭,提高了尾气高标准排放的可靠性。

6 结语

哈尔滨市某污水处理厂采用CASS+MBBR工艺对现状CASS反应池进行原位升级改造,扩建采用多段A²O+MBBR工艺,深度处理采用磁混凝澄清池+紫外消毒工艺,实际运行出水水质稳定达标。针对厂区用地紧张的问题,设计采用多种节地措施,实现了原厂址升级改造。多种技术措施组合

有效化解了邻避效应,保障了项目的顺利实施。

参考文献:

- [1] 任明华. CAST工艺的性能和优化运行研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
REN Minghua. Study on Performance and Optimum Operation of CAST Process [D]. Shanghai: Tongji University, 2007 (in Chinese).
- [2] 吴迪, 李闯修. 北方某污水处理厂Bardenpho-MBBR改造运行分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(9): 106-110.
WU Di, LI Chuangxiu. Operation analysis of Bardenpho-MBBR upgrading and retrofitting in a northern wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(9): 106-110 (in Chinese).
- [3] 黑国翔. CoMag磁混凝工艺在一级A提标改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2011, 27(22): 97-99.
HEI Guoxiang. Application of CoMag magnetic coagulation to upgrading for first level A criteria [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(22): 97-99 (in Chinese).
- [4] 刘建伟, 马文林, 黄力华. 城市污水处理厂除臭生物滤池运行效果及影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(12): 4-8.
LIU Jianwei, MA Wenlin, HUANG Lihua. Performance of biofilter for odor treatment and the influence factors in municipal wastewater treatment [J]. Environment Pollution & Control, 2010, 32(12): 4-8 (in Chinese).

作者简介:王洪刚(1987-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,高级工程师,主要从事给水及污水处理设计及研究等工作。

E-mail:hitwhg@163.com

收稿日期:2023-09-19

修回日期:2023-10-27

(编辑:沈靖怡)