

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.20.016

MBBR 在 CAST 工艺扩容提质工程中的应用

李 亮

(广州市创景市政工程设计有限公司, 广东 广州 510030)

摘 要: 广东省某水质净化厂现状处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用 CAST 工艺, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准与广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 一级标准的较严值。在用地紧张和不停产的前提下, 需将处理规模提升至 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水水质提升至一级 A 标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 的较严值。扩容提质工艺路线为初沉池 + CAST 池原位改造 + 反硝化滤池 + 磁混凝沉淀池 + 紫外线消毒, 其中 CAST 池原位改造主要是在现状 CAST 池内投加 MBBR 悬浮填料、增加填料拦截和流化系统, 改造滗水器、鼓风机曝气系统和污泥回流系统。该项目总投资约为 2.14 亿元, 于 2020 年 9 月通过环保验收, 10 月—11 月的出水 BOD_5 、COD、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 均值分别为 3.0、27.65、6.5、2.5、9.96、0.42 mg/L。

关键词: 水质净化厂; CAST 工艺; MBBR 工艺; 原位改造; 反硝化滤池; 磁混凝沉淀池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)20-0087-05

Application of MBBR in CAST Process Expanding and Upgrading Project

LI Liang

(Guangzhou Chuangjing Municipal Engineering Design Co. Ltd., Guangzhou 510030, China)

Abstract: The original capacity of a wastewater treatment plant (WWTP) in Guangdong Province is $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. Its main process was cyclic activated sludge technology (CAST) and the effluent quality should meet the stricter value between the first level B criteria in *Discharge Standard of Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) and the local standards in Guangdong Province *Discharge Limits of Water Pollutant* (DB 44/26—2001). Under the premise of land limitation and no production suspension, the treatment capacity has to be increased to $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the discharge standard is raised to the stricter value between the first level A criteria in GB 18918 - 2002 and the local standards in DB 44/26 - 2001. The combined process of upgrading and expanding project includes primary sedimentation tank, in-situ transformed CAST tank, denitrification filter, magnetic coagulation sedimentation tank, and ultraviolet disinfection. The CAST tank is in-situ transformed by adding moving bed biofilm reactor (MBBR) suspended fillers, increasing the filler interception system and fluidization system, and modifying the decanter, blast aeration system and sludge return system. The total investment of the project is about 214 million yuan. The project passed environmental protection acceptance in September 2020. The average effluent values of BOD_5 , COD, SS, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TN, and TP from October to November were 3.0, 27.65, 6.5, 2.5, 9.96, and 0.42 mg/L respectively.

Key words: WWTP; CAST process; MBBR process; in-situ transformation; denitrification filter; magnetic coagulation sedimentation tank

广东省某水质净化厂设计处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准与广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)一级标准的较严值。现状水质净化厂处理水量已超设计规模,按照规划和污水量增长趋势,需扩建至 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据广东省环保厅印发的《南粤水更清行动计划(2013—2020 年)》的要求,出水水质须达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)一级标准的较严值。

1 项目概况

该水质净化厂进水主要为生活污水,现状工艺流程为粗格栅及进水泵房→细格栅及曝气沉砂池→水解酸化池→CAST 池→紫外消毒。现状水解酸化池未投入运行,CAST 池共分为 4 组,每组处理能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分 4 格,总有效容积 $7\,531 \text{ m}^3$,其中选择区 682 m^3 、接触区 513 m^3 、反应区 $6\,156 \text{ m}^3$ 。现状滗水器最大滗水深度 2.2 m ,充水比 38.6% 。CAST 池运行周期为 4 h ,其中进水(曝气) 1 h 、反应(曝气) 1 h 、沉淀 1 h 、滗水 1 h 。

扩容提质前实际进、出水水质见表 1。

表 1 扩容提质前实际进、出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality before expanding and upgrading $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	进水		出水	
	设计值	平均值	设计值	平均值
BOD ₅	110	146	20	5.9
COD	250	422	40	35
SS	200	387	20	13
TN	35	41.4	20	20
NH ₃ -N	25	25.1	10	12
TP	4	12.6	0.5	4.0

由表 1 可见,进水污染物浓度超设计水质且水质波动大,出水水质指标存在不达标现象,尤其是 TP 超标频繁。

2 扩容提质目标

首先根据实际进水水质调整设计进水水质,扩容提质工程完成后,总的污水处理规模达到 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排

放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)一级标准的较严值。设计进、出水水质见表 2。

表 2 设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	BOD ₅	COD	SS	TN	NH ₃ -N	TP
设计进水	200	450	400	55	35	15
设计出水	10	40	10	15	5	0.5

3 设计思路

通过分析该厂实际进水水质,B/C 值基本在 0.33 以上,可生化性较好;C/N 值基本在 3.4 以上,可有效生物脱氮;BOD₅/TP 为 8~19,生物除磷效果较差。结合实际出水水质和提质目标水质,重点处理污染物为 TN、NH₃-N 和 TP,处理工艺应考虑生物脱氮除磷,后续增加反硝化和化学除磷工艺方能达到设计标准。

该污水厂用地受限,征地非常困难,没有多余建设用地扩建生化池,同时环保部门要求扩容提质实施过程中必须保证原有处理设施不停产。CAST 池作为脱氮除磷的主流工艺,在去除 BOD₅、COD 等污染物的同时进行生物脱氮除磷,去除大部分氮、磷,但现状 CAST 池容已经固定,无法进行物理扩容,只能通过工艺改造提高生化池的容积负荷,挖潜处理效能。

移动床生物膜反应器(MBBR)是一种新型污水处理工艺,在国内自无锡芦村污水处理厂应用成功后^[1],开始广泛应用于污水厂扩容提质工程^[2-3]。通过在现状生化池内投加悬浮填料,依托悬浮填料提供的更大有效比表面积,为微生物提供载体,提高生化池的活性污泥量,显著增强单位池容的硝化和反硝化负荷,将活性污泥法和生物膜法相结合,原位强化生化池的处理能力^[4]。同时投加悬浮填料可以最大限度地减少土建改造,降低对现有处理设施的影响,最大限度保证不停产、不减产^[5]。后续增加反硝化滤池和磁混凝沉淀池工艺确保出水 TN 和 TP 达标。

由以上分析可以确定工艺路线:扩容提质工程充分挖潜现状 CAST 池处理能力,将 CAST 池处理能

力由 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 后续增加规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的反硝化生物滤池和磁混凝沉淀池, 在提升设计规模的同时确保出水水质达到设计要求。

扩容提质工艺流程见图 1, 其中虚线框为现状构筑物, 实线框为新建构筑物。

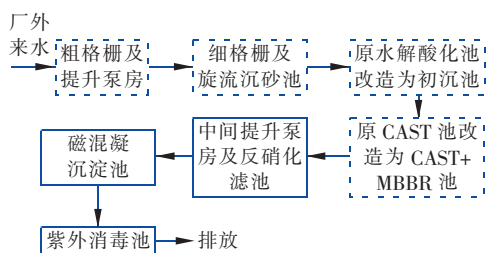


图 1 扩容提质工艺流程

Fig. 1 Flow chart of expanding and upgrading process

4 扩容提质工艺设计

4.1 将水解酸化池改造为初沉池

该水质净化厂现状设有 2 座水解酸化池, 单座平面尺寸 $62.8 \text{ m} \times 33.4 \text{ m}$, 由于流程设计问题运行过程中容易溢水, 且排泥不畅, 因此并未启用。由于进水 COD 和 SS 较高, 因此将水解酸化池改造为初沉池, 可用于沉降水中悬浮性污染物, 降低生化阶段污染物负荷。

原水解酸化池进水采用枝状管路配水方式, 采用穿孔管静压排泥, 现状设有斜管填料, $L = 1000 \text{ mm}$, $\varnothing 80 \text{ mm}$, 壁厚 0.8 mm 。根据现状池型, 将水解酸化池改造为斜管沉淀池。主要改造内容: ①池壁加高 1.2 m , 确保不会溢水。②保留现状斜管填料和进水方式, 排泥系统改造为多斗排泥, 单座共设 48 个泥斗, 每个泥斗设 DN200 的单独排泥管。③增加除臭密封罩和除臭管路。初沉池设置超越管道, 出现故障时污水可超越初沉池直接进入 CAST 池。

改造后初沉池总规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 共 2 座, 单座规模 $12.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K_z = 1.3$ 。单座沉淀区总面积 1157.4 m^2 , 有效水深 9.7 m , 设计表面负荷 $5.85 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 沉淀时间 2.0 h , 出水堰负荷 $6.7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

4.2 CAST 池改造

将现有 CAST 工艺改为 CAST + MBBR 工艺, 具体措施包括: 保留现有选择区、接触反应区不变, 在主反应区设置 MBBR 区, 投加 MBBR 悬浮填料, 设置填料拦截和流化系统, 同时对原 CAST 池的曝气

系统、出水系统和污泥回流系统进行改造。

改造后 CAST 池仍为 4 组, 每组处理能力为 $6.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分 4 格。每组 CAST 池运行周期仍保持 4 h , 其中进水(曝气) 1 h 、反应(曝气) 1 h 、沉淀 1 h 、滗水 1 h 。CAST 池设计水温为 15°C , 由于初沉池可以超越, CAST 池按照进水浓度设计, 出水 TN 设计指标为 25 mg/L , TP 设计指标为 10 mg/L 。CAST 工艺和 MBBR 工艺承担硝化负荷比为 $2:1$, 反硝化负荷比为 $4:1$ 。污泥浓度为 4 g/L , SVI 为 100 mL/g , 污泥龄为 11.8 d , 污泥负荷为 $0.093 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。为提高脱氮效率, 严格控制曝气量, 反应时段前 1 小时池中溶解氧 $< 0.5 \text{ mg/L}$, 第 2 小时前期溶解氧为 1.0 mg/L 、后期溶解氧达到 2.0 mg/L 。

① 投加 MBBR 悬浮填料

现状 CAST 池共分为选择区、接触区和反应区。仅在反应区投加 MBBR 悬浮填料, 单池反应区尺寸为 $30 \text{ m} \times 36 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}$, 容积为 6156 m^3 , 折算 12 h 反应时间, 预留 10% 安全余量, MBBR 填料去除负荷按 $0.53 \text{ gNH}_3 - \text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 计算, 每池投加 MBBR 填料 738 m^3 , 填充率为 12%。悬浮填料的有效比表面积为 $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 规格为 $\varnothing 25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。

② 填料拦截系统

为防止 MBBR 填料随水流失, 在每座 CAST 池设置一套填料拦截系统(见图 2)。在反应池距出水端 10 m 处设置一排不锈钢冲孔板, 面积共 195 m^2 , 开孔直径为 20 mm , 开孔比为 40%。筛网高度与池面相平, 下部植入原有混凝土墙壁, 采用不锈钢化学锚栓固定。

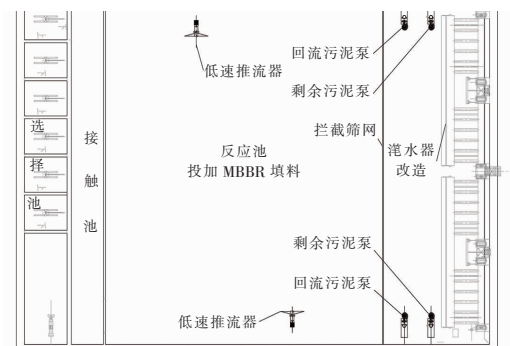


图 2 CAST 池改造示意

Fig. 2 Transformation of CAST tank

③ 填料流化系统

为使 MBBR 填料保持流化, 每座 CAST 池内设 2

台搅拌机,叶轮直径 1 800 mm, $P = 5.5$ kW,在进水、反应阶段开启,沉淀、滗水阶段停止,强化填料流化。

④ 出水系统改造

现状单格 CAST 池设 2 台滗水器,最大滗水深度 2.2 m,堰口长度 13 m,滗水深度不满足扩容后 25×10^4 m³/d 的处理要求,因此将滗水器丝杆进行更换,最大滗水深度增至 2.9 m,改造后充水比为 50.8%。

⑤ 曝气系统改造

CAST 池处理规模增大,出水要求更严,同时为了保证 MBBR 填料流化,改造后 CAST 池的曝气量增大,气水比为 8:1,原有鼓风机、风管和曝气装置都需增加或更换。在现有鼓风机房内增加 2 台多级离心鼓风机, $Q = 205$ m³/min, $\Delta P = 0.65$ MPa, $N = 315$ kW;空气主管共分 4 条,每条为一组 CAST 池供气,管径为 DN900;采用盘式橡胶膜曝气器,单个曝气盘曝气量 4~6 m³/h,氧利用率 $\geq 35\%$,单池设 2 620 个,单盘直径 229 mm。

⑥ 污泥回流系统

将活性污泥回流至选择区强化脱氮除磷,提升剩余污泥至脱水车间。本次改造单座 CAST 池设 2 台回流污泥泵,将污泥回流至接触区。单泵 $Q = 240$ m³/h, $H = 50$ kPa, $N = 7.5$ kW,回流比 23%;设 2 台剩余污泥泵,单泵 $Q = 150$ m³/h, $H = 70$ kPa, $N = 4$ kW。为防止填料堵塞,污泥泵均设于拦截筛网后方。

4.3 中间提升泵房及反硝化滤池

将中间提升泵房及反硝化滤池合建,安装轴流

泵 5 台,4 用 1 备,单泵 $Q = 3\,400$ m³/h, $H = 83$ kPa, $N = 110$ kW。

新建反硝化滤池 1 座,共 13 格,总过滤面积为 1 471 m²,平均滤速 7.08 m/h,强制滤速 7.67 m/h,滤池运行周期 24 h,反冲洗历时:气单独反冲洗 2 min + 气水联合反冲洗 10 min + 水单独反冲洗 5 min。水反冲强度 15 m³/(m²·h),气反冲强度 92 m³/(m²·h)。

根据实际水质投加碳源,碳源为有效含量为 20% 的液态乙酸钠溶液。

4.4 磁混凝沉淀池

磁混凝沉淀池在混凝沉淀工艺中同步加入磁粉,以加强混凝、絮凝的效果,使生成的絮体密度更大、更结实,达到高速沉降的目的。新建 2 座磁混凝沉淀池,单座规模 12.5×10^4 m³/d,每座设 2 格快混区,投加 PAC,平均停留时间为 1.79 min;设 2 格磁粉混合区,平均停留时间为 1.79 min;设 2 格絮凝反应区,投加 PAM,平均停留时间为 4.21 min;设 2 格反应区,斜板有效面积为 123 m²,平均表面负荷为 21.2 m³/(m²·h)。

5 改造后实际运行效果

该水质净化厂于 2020 年 9 月通过环保验收,目前实际处理水量约 22×10^4 m³/d。2020 年 10 月—11 月实际运行数据见表 3。

在实际运行过程中可以观察到,MBBR 填料挂膜快,流化状态良好,拦截筛网未出现堵塞,填料未出现流失。

表 3 扩容提质后系统运行数据

Tab. 3 Operational data after expanding and upgrading

mg · L⁻¹

工艺段	项目	COD	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP
预处理	进水平均值	314	111	271.8	21	30.3	8.6
	出水平均值	279		196			8.4
CAST + MBBR 池	进水平均值	279		196	21	30.3	8.4
	出水平均值	43.7		14.9	2.5	10.85	5.69
反硝化滤池	进水平均值	43.7		14.9		10.85	5.69
	出水平均值	33.63		6.9		9.96	5.6
磁混凝沉淀池	进水平均值	33.63		6.9			5.6
	出水平均值	27.65	3	6.5			0.42

从表 3 可以看出,扩容提质后工艺运行稳定,实际运行出水水质全面优于设计标准,处理效果比改造前大大提高。综合分析主要原因有:CAST 池投加 MBBR 填料进行原位改造后,池内微生物总量增大,通过活性污泥和生物膜协同作用,强化了脱氮除

磷效果,后续再增加反硝化滤池和磁混凝沉淀池针对性地去除 TN 和 TP,可以确保出水水质达标。

6 技术经济分析

该工程第一部分工程费用为 2.14 亿元,造价指标为 853.03 元/(m³·d⁻¹),整个工程占地 13 hm²,

工程单位占地为 $0.52 \text{ hm}^2/10^4 \text{ m}^3$ 污水。实际药耗、电耗见表4。

表4 实际运行的药耗、能耗

Tab.4 Operation cost of chemical and energy consumption

项目	电耗/ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)	阳离子PAM/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	阴离子PAM/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	PAC(10%溶液)/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	乙酸钠(20%溶液)/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	磁粉/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
数值	0.38	0.39	0.6	152	51	5

7 结论

通过扩容提质,将广东省某水质净化厂出水水质由一级B标准提高至一级A标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)的较严值,处理规模由 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。扩容提质工程在已建成CAST池中投加MBBR填料,同时对曝气系统、出水系统和污泥回流系统进行改造,挖掘现有处理构筑物的处理潜力,后续增加反硝化滤池和磁混凝沉淀池去除TN和TP,达到扩容提质目标。本次扩容提质工程最大程度地减少占地面积,降低工程投资和施工难度,实现了不停产改造。

参考文献:

- [1] 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.
WANG Zhutian, YE Liang, ZHANG Xinyan, *et al.* Application of MBBR process to upgrading and reconstruction of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(2): 71-73 (in Chinese).
- [2] MC QUARRIE J P, BOLTZ J P. Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design, and performance[J]. Water Environment Research, 2011, 83(6): 560-575.
- [3] 韩萍,许斌,宋美芹,等. 团岛污水厂MBBR工艺的升级改造及运行效果[J]. 中国给水排水, 2014, 30(12): 111-114.
HAN Ping, XU Bin, SONG Meiqin, *et al.* Design features and operational effect of Tuandao WWTP upgrading by MBBR in Qingdao [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 111-114 (in Chinese).
- [4] 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.
WU Di. Application and development prospect of MBBR in China [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 22-31 (in Chinese).
- [5] 陈小燕. MBBR及 A^2/O 五段法用于污水处理提标扩建[J]. 中国给水排水, 2017, 33(12): 59-62.
CHEN Xiaoyan. Application of MBBR and five-stage A^2/O in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12): 59-62 (in Chinese).

作者简介:李亮(1984-),男,河北石家庄人,硕士,高级工程师,主要从事市政污水处理、给排水管网、城市防洪排涝等设计咨询工作。

E-mail: 155392847@qq.com

收稿日期:2021-01-27

修回日期:2021-02-25

(编辑:衣春敏)

珍惜资源,保护环境,建设美丽中国