

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.012

前置缺氧池+CAST+磁混凝工艺用于紧凑型污水厂提标改造

刘 强

(大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁 大连 116011)

摘 要: 大连某污水处理厂提标改造工程设计规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 排放标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准提标至一级 A 标准。原生化处理工艺为 CAST, 针对运行中存在的 CAST 池容不足、无深度处理系统、原水碳氮比不足、缺少碳源投加系统等问题, 改造工程采用前置缺氧池+CAST+磁混凝沉淀工艺。因无空地可用, 对原有多座建(构)筑物进行了拆除、改建或复建, 设计了多座不规则形状处理构筑物, 对新建构筑物进行了合建、叠放设计。改造后前置缺氧池和磁混凝沉淀池运行良好, 出水水质稳定达到并优于一级 A 标准。

关键词: CAST; 前置缺氧池; 磁混凝沉淀池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0069-05

Application of Pre-anoxic Tank/CAST/Magnetic Coagulation Process in Upgrading of a Compact Wastewater Treatment Plant

LIU Qiang

(Dalian Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Dalian 116011, China)

Abstract: The design scale of a wastewater treatment plant upgrading and reconstruction project in Dalian is $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the discharge standard was upgraded from first class B criteria to A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The original biochemical treatment process was CAST, which had the problems of insufficient CAST tank volume, no advanced treatment system, insufficient carbon/nitrogen ratio of the influent and lack of carbon source adding system, etc. To solve these problems, the process of pre-anoxic tank, CAST and magnetic coagulation sedimentation was selected in the upgrading and reconstruction project. As there was no space available, many original buildings (structures) were demolished, transformed or rebuilt, some irregular treatment structures were designed, and new structures were built together and stacked. After reconstruction, the operation of the pre-anoxic tank and magnetic coagulation sedimentation tank is good, and effluent quality is stable and better than first class A discharge standard.

Key words: CAST; pre-anoxic tank; magnetic coagulation sedimentation tank

近年 CAST 污水厂提标改造多采用 CAST-MBBR 工艺^[1-3]或彻底改造为 AAO 工艺^[4]。大连某污水处理厂原工艺为 CAST, 提标改造工程难点在于用地紧张、厂区高程错落、红线不规则、原池体为预应力结构等, 根据现场实际情况提标改造采用前置缺氧池+CAST+磁混凝沉淀工艺并稳定达标, 为 CAST 污水厂提标改造提供了新的技术路线。

1 工程概况与现状分析

1.1 原厂概况

该污水厂位于大连市区东南部, 建于 2005 年, 原设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 排放标准为一级 B 标准。原工艺流程为: 厂外污水泵站→细格栅→曝气沉砂池→CAST 生化池→紫外消毒池→排放泵站→出水, 无深度处理系统。改造前全年日均实际处理

污水量约 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 夏季日均实际处理污水量约 $8.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 整体属于满负荷运行。改造前工艺设计合理, 出水水质稳定达到一级 B 标准。该厂于 2016 年 4 月启动了提标改造工作, 出水由一级 B 标准提标至一级 A 标准。此外, 根据政府指令, 同一排水区的另一污水厂 ($1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 的原水经管网改造后排入该厂合并处理, 即该厂处理规模扩容至 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本改造工程于 2016 年 12 月完成施工图设计, 2017 年 3 月正式开工, 2019 年 6 月竣工。

结合原设计值、近 2 年进水水质 90% 保证率实际值、BOT 特许经营协议, 确定了本次设计进水水质 (见表 1)。出水水质执行一级 A 标准, 设计水温采用最冷月水温 10°C 。针对实际进水 TP 略高于设计值的情况, 在设计混凝加药系统时应考虑应对。针对其他水质指标低于设计值的情况, 节能降耗措施首先是风机运行台数及变频控制, 风机原设计为 4 用 2 备, 近年实际运行只需开启 2 台, 并通过溶解氧反馈进行变频控制; 其次是根据进出水 TN 指标控制本次新增内回流泵的运行时间及频率。

表 1 设计进水水质与近年实际进水水质

Tab. 1 Design influent quality and actual influent quality in recent years

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	SS	TP	TN
原设计值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	350	150	26	240	3.0	
90% 保证率实际值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	230	76	18	150	3.6	32
90% 保证率值/ 原设计值	0.66	0.51	0.69	0.63	1.20	
现设计值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	350	150	24	240	3.0	32

1.2 现状工艺问题及改造难点分析

1.2.1 现状工艺问题

① 现状 CAST 池按 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 及一级 B 标准设计, 总有效容积为 $4.80 \times 10^4 \text{ m}^3$; 改造前运行周期: 进水/曝气 2 h, 沉淀 1 h, 滗水 1 h; 每周期循环时间 4 h; 循环次数为 6 次/d; 改造前, 出水氨氮和总氮均值分别为 0.20 mg/L 和 15.51 mg/L , 按 90% 保证率出水氨氮和总氮值分别为 0.20 mg/L 和 18.90 mg/L ; 扩容至 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 且执行一级 A 标准时, 按德国 ATV—131 标准核算, CAST 有效容积至少应为 $6.18 \times 10^4 \text{ m}^3$, 则现有池容无法满足需求, 缺口约

$1.38 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

② 无深度处理系统, CAST 池出水的实测数据表明, TP 及 SS 无法稳定满足一级 A 标准。

③ 原水碳氮比不足, 缺少碳源投加系统; 进水污染物浓度虽低, 但碳氮比 (BOD_5/TN) 平均值仅 1.6, 夏秋雨季时碳氮比 < 1 , 碳源严重不足。

④ 原滗水器、紫外消毒系统、排海泵等按 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计的设备均不满足扩容后需要。

1.2.2 改造难点分析

① 厂区十分狭小, 全厂面积 2.65 hm^2 , 单位占地 $0.29 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$, 仅为原建设部《城市污水处理工程项目建设标准》规定占地指标的 30%, 且红线形状极不规则, 分为山上、山下两部分;

② 厂区现状建(构)筑物拥挤, 地下管线密集, 几乎无空地可用;

③ 受制于现状 CAST 池体为无粘结预应力结构, 其安全性要求不得进行开洞、植筋等任何可能破坏预应力结构的改动^[5]。

2 提标改造方案

2.1 总体方案

① 针对 CAST 工艺反硝化脱氮能力不足的问题, 设计在原 CAST 工艺基础上增加前置缺氧池, 通过从 CAST 池每周期好氧反应段回流硝化液至前置缺氧池进行反硝化脱氮, CAST 池作为 O 段, 整体上形成 AO 工艺。现状 CAST 池附近无地可用, 只能先拆除现状污泥脱水间, 再在其原址新建前置缺氧池及中间提升泵池。

② 针对无深度处理系统的问题, 通过拆除原紫外消毒渠, 于原址及北侧仅有空地新建以磁混凝沉淀工艺为核心的深度处理间并复建紫外消毒渠。磁混凝沉淀面积负荷是普通高密度沉淀的 1.5 倍以上, 是普通斜管沉淀的 3 倍以上, 因此占地面积最小; 其次, 磁混凝沉淀无需过滤即可保证出水 $\text{SS} < 10 \text{ mg/L}$, 省去了过滤单元, 进一步节省了占地。

③ 因新建前置缺氧池而拆除的污泥脱水间通过拆除山上综合楼在其原址复建, 并与乙酸加药间合建。

④ 因迁建污泥脱水间而拆除的山上综合楼, 移至前置缺氧池顶部通过立柱高举而复建。

上述各种拆改及新建围绕两个重点进行, 第一是通过在现状 CAST 池旁新建前置缺氧池解决 CAST 池反硝化脱氮能力不足的问题, 即解决出水

TN 达标问题;第二是通过新建以磁混凝沉淀池为核心的深度处理间,解决出水 TP 及 SS 达标问题。改造前、后总平面图对比见图 1。

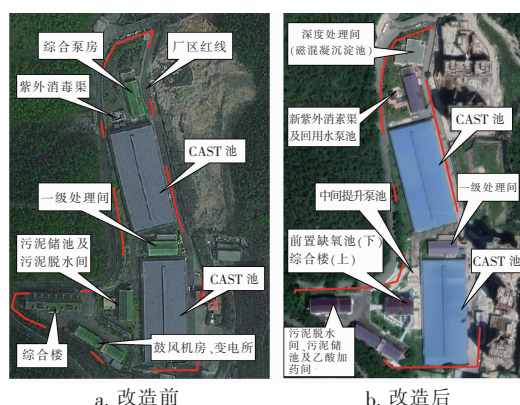


图 1 改造前、后总平面图对比

Fig. 1 Comparison of general layout before and after reconstruction

2.2 工艺流程

提标改造工艺流程见图 2。

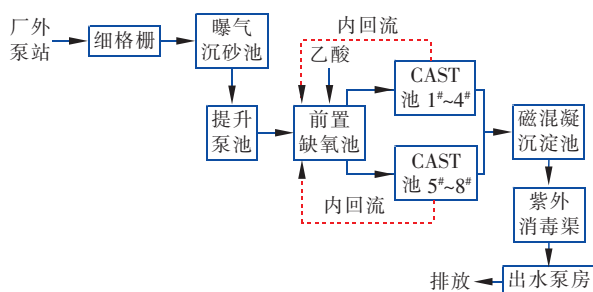


图 2 工艺流程

Fig. 2 Process flow chart

3 提标改造工程设计

3.1 原有处理系统改造

3.1.1 一级处理系统改造

在不改变格栅渠土建前提下,将原有栅隙 6 mm 的细格栅更换为栅隙 3 mm 的内进流式细格栅,共计 2 台,并配套中压冲洗泵和高压冲洗泵等。

3.1.2 CAST 生化池改造

CAST 池改造主要内容是在每组 CAST 池安装内回流泵并更换全部滗水器。CAST 池共 8 组,每组安装 2 台内回流泵,设计最大回流比 160%,采用潜污泵, $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{h}$, $H=50\text{ kPa}$, $P=30\text{ kW}$,16 用 2 冷备。内回流泵出水管汇集后接入前置缺氧池进水端。每组 CAST 池更换 2 台滗水器以满足扩容后的处理水量,参数为 $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$,共更换 16 台。

CAST 池运行周期为 4 h:进水及反应 2.2 h,沉

淀 0.8 h,滗水 1 h,每 4 组 CAST 池编为一大组,交替运行。CAST 池设计 $\text{MLSS}=3.5\text{ g/L}$ (高水位时), $\text{HRT}=12.2\text{ h}$,单池尺寸为 $50\text{ m}\times 20\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,滗水深度 2.13 m。本工程按脱氮率计算内回流比为 110%,并按在每周期反应 2.2 h 的最后 1 h 运行内回流泵进行设计,将 CAST 池好氧反应生成的硝态氮回流至前缺氧池进行反硝化脱氮反应,也可根据实际水质调整内回流泵运行时间及流量。

3.2 新建处理构筑物

3.2.1 中间提升泵池及前置缺氧池

本工程在 CAST 池前增加前置缺氧池,但因现状一级处理间水力高程限制,需新建中间提升泵池二次提升。中间提升泵池与前置缺氧池合建。中间提升泵池有效容积 360 m^3 ,采用立式轴流泵, $Q=1\,650\text{ m}^3/\text{h}$, $H=60\text{ kPa}$, $P=45\text{ kW}$,3 用 1 备。前置缺氧池总有效池容为 $8\,552\text{ m}^3$,有效水深 8 m,总池深 8.7 m,共 1 座,均分为 2 组,每组 5 个廊道,采用活性污泥与固定式生物膜法相结合,采用 $\text{Ø}150\text{ mm}$ 弹性填料为生物膜载体,填料总量 $6\,150\text{ m}^3$,填充率 72%。前置缺氧池主要设计参数: $\text{HRT}=2.28\text{ h}$, $\text{MLSS}=1.75\text{ g/L}$,设计在缺氧池反硝化 10 mg/L 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,即前置缺氧池反硝化总量为 $900\text{ kgNO}_3^- - \text{N/d}$ 。设计有外加碳源条件下的污泥反硝化速率为 $35\text{ gNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,弹性填料反硝化面积负荷为 $0.6\text{ gNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,污泥和生物膜分别担负 55% 和 45% 的反硝化负荷。前置缺氧池主要设备:双曲面搅拌机 2 台,位于池体前端(此处无填料),叶轮直径 $2\,500\text{ mm}$, $r=26\text{ r/min}$, $P=5.5\text{ kW}$,主要用于原水、回流硝化液及乙酸溶液三者的充分混合;填料区采用潜水搅拌机 16 台,叶轮直径 600 mm , $r=256\text{ r/min}$, $P=4.5\text{ kW}$ 。此外,在前置缺氧池顶部复建综合楼,综合楼共计 3 层。综合楼底部与前置缺氧池顶板之间通过 24 根立柱相连,立柱高 6.5 m,以此隔开前置缺氧池和综合楼。综合楼二层室外地面与山上地面相平,通过两座小桥与山上地面相连以满足消防疏散要求。

3.2.2 新建深度处理间

新建深度处理系统采用磁混凝沉淀工艺^[6],流程见图 3。磁混凝沉淀池 1 座,内部分为 2 组。受场地限制,磁混凝沉淀池设计为不规则形,平面布置见图 4。磁混凝单元分为 T1~T3 的 3 步反应, HRT 分别为 90、90、180 s,分别投加 PAC、磁粉及 PAM。

磁混凝沉淀池表面负荷为 $19.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 沉淀区尺寸为 $22.7 \text{ m} \times 24.5 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ 。主要设备: 磁混凝搅拌机 6 台, 参数分别为 3.0、3.0、5.5 kW; 刮泥机 2 台, $D=11.5 \text{ m}$, $N=0.75 \text{ kW}$; 斜管填料 297 m^3 , $\varnothing 80 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m}$; 磁污泥剪切机 2 台, $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=1.5 \text{ kW}$; 磁粉分离机 2 台, $Q=40 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=4.0 \text{ kW}$, $\eta \geq 99.5\%$; 磁粉定量投加机 2 台, $0 \sim 50 \text{ kg}$ 可调; 磁污泥回流泵 4 台, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$, $P=11 \text{ kW}$; 剩余污泥泵 4 台, $Q=40 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$, $P=4 \text{ kW}$ 。

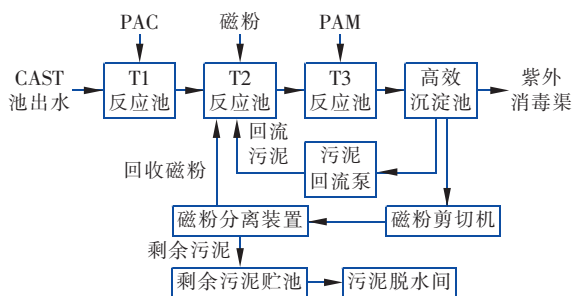


图 3 磁混凝沉淀工艺流程

Fig. 3 Flow chart of magnetic coagulation sedimentation

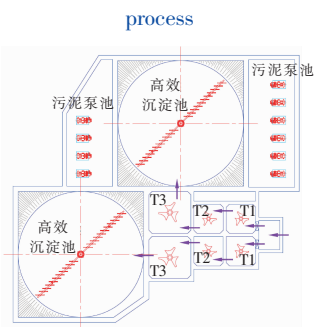


图 4 磁混凝沉淀池平面布置

Fig. 4 Plane layout of magnetic coagulation sedimentation

tank

3.2.3 新建污泥脱水间及乙酸加药间

被拆除的污泥脱水间移至山上综合楼原址重建, 并与乙酸加药间合建, 为局部二层结构, 总尺寸为 $27.7 \text{ m} \times 13 \text{ m} \times 13 \text{ m}$ 。提标扩容后绝干污泥产量由 12.5 tDS/d 增至 16.4 tDS/d , 原有 3 台带式脱水机, 保留较新 1 台 (2.5 m 宽), 2 台 2.0 m 宽带机更新为 2.5 m 宽。乙酸加药间尺寸为 $14.4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ 。主要设备: 乙酸储罐, $\varnothing 3.2 \text{ m} \times 4.3 \text{ m}$, $V=30 \text{ m}^3$, 2 套; 乙酸加药泵, $Q=250 \text{ L/h}$, $H=0.4 \text{ MPa}$, $P=0.25 \text{ kW}$, 2 用 1 备。乙酸加药系统由 PLC 根据前端进水量及水质数据前馈 + 缺氧池出水 TN 数据反馈进行控制, 实时自动调整乙酸加药量。

4 实际运行效果与经济技术分析

本工程于 2019 年 6 月改造完成, 至今已稳定运行 16 个月, 出水水质优于一级 A 标准, 甚至达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 的 II ~ III 类标准, 证明本工程设计是成功的。依据大连市生态环境局公布的监督性监测报告, 本工程 2020 年 1 月—10 月 (2 月份数据未公布) 的出水水质见表 2。前缺氧池出水 TN 稳定在 $11 \sim 13 \text{ mg/L}$, 脱氮率约 $60\% \sim 65\%$, CAST 池出水 TN 进一步降低 $2 \sim 3 \text{ mg/L}$, 总体脱氮率为 70% 左右。CAST 池出水 TP 稳定在 $0.8 \sim 1.2 \text{ mg/L}$, 除磷率约 $65\% \sim 75\%$, 深度处理间磁混凝沉淀出水 TP 进一步降低 $0.6 \sim 1.0 \text{ mg/L}$, 总体除磷率为 90% 左右, SS 稳定小于 5 mg/L , 优于一级 A 标准。

本工程概算总投资 0.99 亿元。按实际运行情况, 改造后新增平均吨水运行费用为 $0.249 \text{ 元}/\text{m}^3$ (见表 3), 主要包括新增药剂费、电费、污泥外运费 (污泥处理费由政府承担) 和人工费等四项, 占比分别为 71.6% 、 17.0% 、 4.4% 和 7.0% 。

表 2 实际出水水质

Tab. 2 Actual effluent quality

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

项目	1 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
COD	19	24	19	16	8	12	12	11	13
BOD ₅	2.1	1.3	<0.5	1.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.4	0.6
SS	1.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	1.0	1.0
NH ₃ -N	0.08	0.80	0.08	0.68	0.08	0.24	0.22	0.07	0.08
TN	9.15	10.90	9.36	9.06	9.81	10.20	9.74	9.01	9.15
TP	0.08	0.09	0.10	0.10	0.12	0.10	0.18	0.12	0.08

电、药实际消耗量与本工程可研阶段的预测计算消耗量对比如表 4 所示, 可见, 其中减少较多的是 PAC、磁粉和乙酸, 分别减少了 73.15% 、 44.44% 和

40.99% , 差异的主要原因一方面是可研阶段计算加药量偏保守, 另一方面是实际水质总体好于设计水质。

表 3 新增运行费用

Tab.3 New operating costs

项目	数量	单价	吨水费用/(元·m ⁻³)	备注
PAC	2.61 t/d	1 250 元/t	0.036	10% 液体
磁粉	0.25 t/d	2 600 元/t	0.007	
PAM(阴)	0.09 t/d	17 000 元/t	0.017	
乙酸	4.06 t/d	2 500 元/t	0.113	60% 液体
PAM(阳)	0.012 t/d	40 000 元/t	0.005	
电	6 984 kW·h/d	0.545 6 元/(kW·h)	0.042	大工业用电,不计基本费
人工	12 人	131.51 元/工日	0.018	工资及福利 4.8 万元/(人·a)
污泥外运	19.5 t/d	50 元/t	0.011	80% 含水率
总计			0.249	

表 4 实际消耗量与设计消耗量对比

Tab.4 Comparison of actual consumption and design consumption

项 目	实际消耗量	设计消耗量	实际:设计/%
PAC	2.61 t/d	9.72 t/d	26.85
磁粉	0.25 t/d	0.45 t/d	55.56
PAM(阴)	0.09 t/d	0.09 t/d	100.00
乙酸	4.06 t/d	6.88 t/d	59.01
PAM(阳)	0.012 t/d	0.014 t/d	85.71
电	6 984 kW·h/d	7 528 kW·h/d	92.77

5 结语

① 本工程采用前置缺氧+CAST+磁混凝沉淀的工艺路线,出水稳定达到并优于一级 A 标准。

② 前置缺氧池与现状 CAST 池相结合的方案,能够有效解决 CAST 反硝化能力不足的难题。

③ 将一级处理间原回转式细格栅更换为内进流式细格栅,在渠宽不变的前提下,格栅处理能力增加 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,同时栅隙缩小 50%,运行效果良好。

参考文献:

- [1] 郑志佳,连来喜,刘彦华,等. MBBR+磁混凝用于 CAST 工艺升级改造的效果分析[J]. 中国给水排水, 2020,36(1):7-12,17.
ZHENG Zhijia, LIAN Laixi, LIU Yanhua, et al. Upgrading and reconstruction of CAST process by MBBR and magnetic coagulation process[J]. China Water & Wastewater, 2020,36(1):7-12,17(in Chinese).

- [2] 高伟楠,周川,纪海霞,等. MBBR 用于呼市某污水厂提标改造工程的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2019,35(10):53-59.
GAO Weinan, ZHOU Chuan, JI Haixia, et al. Design and operation of a WWTP retrofitting via MBBR in Hohhot City[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(10): 53-59(in Chinese).
- [3] 杨祝平. CAST-MBBR 及 SF-AO 工艺在污水处理中的应用比较[J]. 中国给水排水, 2019,35(14):41-46.
YANG Zhuping. Application and comparison of CAST-MBBR and SF-AO process in municipal wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14):41-46(in Chinese).
- [4] 宋瑞平,陶如钧,周文明,等. A²O 工艺在污水处理厂提标扩容改造工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2013,29(18):100-102.
SONG Ruiping, TAO Rujun, ZHOU Wenming, et al. Application of A²O process for upgrading and capacity expansion of WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2013,29(18):100-102(in Chinese).
- [5] 柯海鹏. 无粘结预应力技术在圆形水池施工中的应用[J]. 中国给水排水, 2019,35(24):115-117,122.
KE Haipeng. Application of unbonded prestressing technology in circular tank[J]. China Water & Wastewater, 2019,35(24):115-117,122(in Chinese).
- [6] 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).

作者简介:刘强(1979-),男,山西长治人,硕士,正高级工程师,给排水专业副总工,注册公用设备工程师(给排水)、注册环保工程师、注册一级建造师、注册咨询工程师,从事水污染控制领域设计和项目管理工作,近年负责或参与了 32 座污水处理厂的设计工作,以第一发明人获专利授权 8 项,发表科技论文 11 篇,获国家级、省级优秀工程勘察设计奖 5 项。

E-mail:13942693420@163.com

收稿日期:2020-11-25

修回日期:2020-12-09

(编辑:孔红春)