

北方某污水厂 CASS 工艺升级改造设计

王洪刚, 纪海霞, 程树辉, 高伟楠, 于媛福
(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘要: 以北方某污水处理厂升级改造为例,介绍了 CASS 反应池改造方案及实施效果,改造措施包括优化运行周期,新增缺氧区及 MBBR 区,增加内回流及碳源投加设施。反应池出水各指标优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。工程总投资为 20 286 万元,升级改造新增运行成本 0.201 元/m³。升级改造方案具有不停产施工、总氮去除率高、降低污水厂运行成本的特点,可为北方污水处理厂的升级改造提供借鉴。

关键词: CASS 工艺; 升级改造; MBBR

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0060-04

Design of Upgrading Project of CASS Process in a Sewage Treatment Plant in Northern China

WANG Hong-gang, JI Hai-xia, CHENG Shu-hui, GAO Wei-nan, YU Yuan-fu
(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: Taking a sewage treatment plant in northern China as an example, the upgrading project and implementation results of CASS process were introduced, which included optimizing the operation cycle, adding anoxic zone, MBBR zone, internal reflux and carbon source dosing facilities. The effluent indexes were superior to the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The total investment of the project was 202.86 million yuan, and operating costs of the upgrading project increased by 0.201 yuan/m³. The upgrading project had the characteristics of non-stop construction, high total nitrogen removal and lower operation cost of the sewage treatment plant, which could be used to provide reference for upgrading of sewage treatment plant in northern China.

Key words: CASS process; upgrading; MBBR

CASS 工艺具有耐冲击负荷、运行方式灵活、能耗低、投资及运行成本低等优点,因此广泛应用于国内各种规模城镇污水处理厂。但作为 SBR 的衍生工艺,CASS 工艺为单一污泥悬浮生长系统,利用同一反应器中的混合微生物种群完成有机物氧化、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,在实际应用中限制了其处理效果,也给控制提出了非常严格的要求^[1],这也是国内现有的 CASS 工艺多数都依据一级 B 标准设计的主要原因。随着环保对污水排放标准要求的日趋严格,CASS 工艺升级改造及优化设计逐步增多。

从目前的研究来看,对 CASS 工艺的优化多为小试、中试及模型研究^[2],基于改扩建项目的工艺

提标改造实例相对较少,尤其是寒冷地区大型污水处理厂。黑龙江某污水处理厂即对其 CASS 工艺进行了升级改造。

1 工程概况

1.1 污水处理厂现状

现况污水处理厂设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 CASS 工艺,设计出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

工艺流程如下:进水→拦污栅→粗格栅→提升泵→细格栅→旋流沉砂池→初沉池→CASS 池→紫外消毒→排放(何家沟)。其中 CASS 反应池设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共分 3 系列,每系列 4 组,每组 2 格,共 24 格。每系列生物池总平面尺寸为 $197 \text{ m} \times 49 \text{ m}$ 。每格 CASS 池包括生物选择区、缺氧区及主反应区,有效水深为 5.45 m ,最大滯水深度为 1.9 m ,实际运行滯水深度为 1.45 m 。每组 CASS 池每天运行 4 个周期,每个周期为 6 h :进水 0.5 h ,边进水边曝气 1 h ,曝气 2 h ,沉淀 1 h ,滯水 1.5 h 。

污水厂实际进、出水水质见表 1,可见,在进水水质波动较大的情况下,出水水质优于一级 B 标准。

表 1 污水厂现状进、出水水质

Tab. 1 Actual influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	COD	BOD ₅	SS	总氮	氨氮	总磷
进水	210 ~ 550	90 ~ 350	190 ~ 500	35 ~ 70	20 ~ 52	5 ~ 10
出水	30 ~ 60	9 ~ 19	8 ~ 20	10 ~ 20	2 ~ 8	0.4 ~ 0.9

1.2 升级改造工程设计进、出水水质

升级改造工程出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。主要设计进、出水水质如表 2 所示。

表 2 升级改造工程设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality of upgrading project

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项 目	COD	BOD ₅	SS	总氮	氨氮	总磷
进 水	500	220	400	60	40	8
一级 A 标准	50	10	10	15	5(8)	0.5

2 CASS 工艺升级改造工艺方案

升级改造工程通过对 CASS 反应池的改造保障总氮、COD、BOD₅、氨氮达标排放,SS、总磷及生物学指标可通过后续增加深度处理单元重点去除。

① 总氮

根据国内污水处理厂提标改造的经验,最难实

现达标的指标是总氮,尤其在寒冷地区,主要原因是污水中有机碳源不足^[3]以及低温条件下反硝化脱氮能力有限。升级改造工程应优先保障 CASS 反应池出水总氮达标。总氮的强化去除主要包括以下几个方面:

a. 合理利用污水中优质碳源,减少碳源的浪费,提高缺氧段进水 C/N 比。通过优化 CASS 反应池反应时序,在总进水时间不变的情况下,缩短边进水边曝气的时间,延长缺氧搅拌时间,增加反硝化脱氮反应时间的同时,减少曝气对碳源的浪费,将污水中碳源主要用于反硝化脱氮,提高脱氮效率。

b. 通过不锈钢隔墙,分隔主反应区一部分作为缺氧区,延长缺氧区水力停留时间。

c. 增加内回流,回流好氧区硝化液至缺氧区,提高脱氮效率。

d. 预留外加碳源条件,在进水 C/N 比较低时,通过外加碳源保障出水总氮达标。

② COD、BOD₅、氨氮

COD、BOD₅、氨氮的超量去除,主要通过增加好氧段生物量,降低污泥负荷来完成。缺氧区的增加使得好氧区池容不足,去除污染物所必需的生物量可通过向好氧区投加生物填料来保障,形成泥膜共生的复合式生物处理系统。本工程通过拦截筛网将好氧部分分隔成 MBBR 区及好氧区,向 MBBR 区投加悬浮填料,提高好氧段生物量。此外,MBBR 区在强化有机物去除的同时,可实现同步硝化反硝化,进一步去除总氮。升级改造 CASS 工艺流程见图 1。

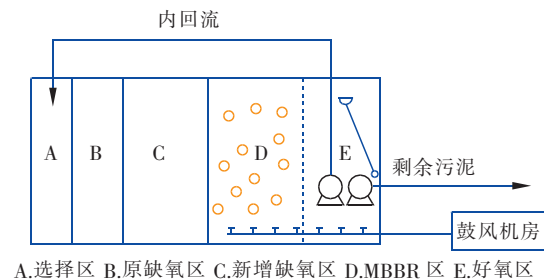


图 1 升级改造 CASS 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading CASS process

3 工艺设计

3.1 运行周期优化

现况 CASS 反应池单格滯水器出水能力为 $1\,800 \text{ m}^3/\text{h}$,经核算,可满足滯水时间由 1.5 h 调整为 1 h 的要求。因此升级改造维持原运行周期 6 h

不变,滗水时间由 1.5 h 缩短至 1.0 h,单独进水时间由 0.5 h 延长至 1.0 h,调整后运行周期见表 3。

表 3 运行周期

Tab.3 Operation cycle

h

项目	进水	边进水边曝气	曝气	沉淀	滗水	合计
时间	1.0	0.5	2.5	1.0	1.0	6.0

3.2 新增缺氧区设计

反应池缺氧区池容根据每日进水反硝化脱氮总量、反硝化速率及实际反应时间计算而得。沉淀及滗水阶段存在少量反硝化反应,但脱氮量很少,计算过程暂不考虑,因此每日实际反硝化反应时间为 $24 \times (6 - 1 - 1) / 6 = 16$ h,计算缺氧区所需总池容约 $56\,250\text{ m}^3$,水力停留时间约 9.0 h。

现况缺氧区总池容约 $21\,880\text{ m}^3$,水力停留时间约 3.5 h,缺氧区池容不足,本次升级改造通过不锈钢隔墙,分隔反应池主反应区一部分作为缺氧区,新增缺氧区水力停留时间约 5.5 h。每格反应池新增缺氧区沿对角线方向设置两台潜水搅拌机,搅拌强度按高水位时 6 W/m^3 设计,潜水搅拌机单台功率为 7.5 kW。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。

3.3 MBBR 区及好氧区设计

改造缺氧区后好氧部分总有效池容为 $87\,500\text{ m}^3$,设计反应池 MLSS 约 $4\,000\text{ mg/L}$,计算好氧污泥龄 $87\,500 \times 4\,000 / (27\,000 \times 1\,000) \times 3 / 6 = 6.48\text{ d}$,小于低温条件下计算所得的好氧所需最小污泥龄 10 d,即好氧部分生物量不足。可通过向好氧部分投加生物填料,提高生物量来满足最小污泥龄要求。经计算,需补充生物量 $95\,150\text{ kg}$ 。一般载体生物量与膜面积的关系为 $8.6 \sim 12.5\text{ gVSS/m}^2$ ^[4],取 10 gVSS/m^2 ,对应生物膜面积 $9.5 \times 10^6\text{ m}^2$,选择有效比表面积为 $620\text{ m}^2/\text{m}^3$ 型填料,体积约为 $15\,350\text{ m}^3$,设计取 $15\,000\text{ m}^3$ 。

好氧区拦截筛网的位置根据滗水器工作时水平移动距离及反应池内部现况柱的位置综合确定,设计单格好氧区长度为 10.7 m,水力停留时间约 5.4 h。好氧区底部设置管式曝气器。

MBBR 区由不锈钢隔墙与不锈钢拦截筛网围成,长度为 17.1 m,水力停留时间约 8.6 h。MBBR 区生物填料填充率约 28%。由于溶解氧的传递及微生物对有机污染物的分解消耗氧气,使得填料表面形成的生物膜由外到内依次形成好氧、兼氧及缺

氧区,通过对溶解氧的控制,在强化去除有机物的同时,实现同步硝化反硝化脱氮^[5]。MBBR 区底部设置管式曝气器,出水拦截筛网前设置自清洗系统,避免杂物堵塞筛网。

3.4 内回流设计

内回流泵设置于好氧区,将污泥与硝化液同时回流至选择区进口处,实现污泥回流的同时,将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,进一步提高系统脱氮能力。每格反应池设计内回流泵 1 台,采用潜水轴流泵,变频调节,可实现 200% ~ 400% 回流量,单台水泵 $Q = 1\,160\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 20\text{ kPa}$, $N = 18.5\text{ kW}$ 。内回流泵在反应池进水时开启,沉淀开始前停泵。

3.5 曝气设计

根据进、出水水质,重新核算生物池曝气量,最大气水比由 6 : 1 调整为 8.9 : 1,单格曝气量 $4\,650\text{ m}^3/\text{h}$ 。更换现况空气流速过大的曝气管,管材由 Q235B 更换为 AISI304 不锈钢管材。根据供气量,在 MBBR 区及好氧区底部重新敷设管式曝气器。

3.6 剩余污泥设计

升级改造后反应池剩余污泥量为 27.0 tDS/d ,污泥含水率为 99.3%,湿污泥量为 $3\,857\text{ m}^3/\text{d}$,经核算,现况剩余污泥泵流量、扬程满足要求,不需要更换。本次只将剩余污泥泵移位至滗水器两侧。

3.7 碳源投加设计

根据污水处理厂水质监测报表, $\text{BOD}_5/\text{TKN} \geq 4$ 的保证率为 79%,为保障在进水的 C/N 比较低的情况下出水总氮达标排放,设计预留外加碳源条件。设计采用乙酸钠作为碳源,最大投加量为 80 mg/L (以商品计),投加点位于每格反应池进水处。为保证投加的碳源能够在反硝化阶段充分反应而不被好氧消耗掉,投加时间为反应池进水前 20 min。

4 运行效果

反应池升级改造实施过程中,通过逐池改造实现了污水处理厂不停产、不减产,减少了施工过程中对环境产生的污染。反应池稳定运行后,出水水质监测结果见表 4。可见,出水各项指标均优于一级 A 排放标准。

表 4 升级改造后出水水质

Tab.4 Effluent quality after uprading $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD_5	总氮	氨氮
出水	30 ~ 48	6 ~ 8	10 ~ 14	2 ~ 5

5 工程总投资及新增运行成本

升级改造工程主要包括 CASS 反应池改造、鼓风机房改造、新建磁混凝澄清池、新建紫外消毒渠等,工程总投资约为 20 286 万元,其中 CASS 反应池改造工程费用约为 6 216 万元。

增加动力费:吨水电耗平均增加 $0.072 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,其中 CASS 反应池及鼓风机房电耗平均增加 $0.055 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,电价按 $0.83 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计,以上新增动力费分别为 $0.060, 0.046 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

增加药剂费:主要包括碳源投加乙酸钠、除磷投加 PAC、污泥脱水投加 PAM 以及磁混凝澄清池投加的 PAM、磁粉所需费用,经核算,新增总药剂费为 $0.133 \text{ 元}/\text{m}^3$,其中 CASS 反应池碳源投加药剂费为 $0.08 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

新增人工费:新增定员 9 人,平均费用按 $4.8 \text{ 万元}/(\text{人} \cdot \text{a})$ 计,则人工费为 $0.008 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

综上,升级改造新增污水处理运行成本 $0.201 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 结论

① 优化 CASS 反应池运行周期,降低污水处理厂运行成本。延长单独进水时间,使污水中的碳源优先用于反硝化,提高进水 C/N 比,减少碳源的不必要浪费,节省了曝气去除碳源的能耗,同时减少外碳源的投加量,节省药耗。

② MBBR 工艺应用于 CASS 工艺升级改造,通过不锈钢隔墙与拦截筛网对反应池容积重新划分,优先保障总氮达标所需的缺氧池容,通过投加生物填料增加好氧段生物量,强化去除 COD、BOD₅、氨氮。改造工程量小,施工周期短,可为污水处理厂不停产、不减产升级改造提供借鉴。

③ 内回流设计强化缺氧区反硝化脱氮能力,通过控制溶解氧浓度发挥 MBBR 区同步硝化反硝化脱氮作用。

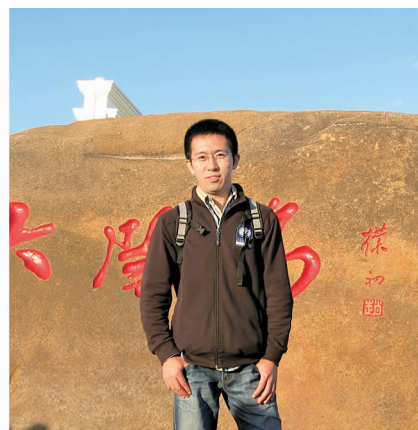
以上措施突破了传统 CASS 工艺对总氮去除的限制,对同类污水处理厂高排放标准升级改造具有重要意义。

参考文献:

- [1] 任明华. CASS 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] 严俊泉,焦建文,陆晓岚,等. CAST 工艺运行优化和控制研究[J]. 中国给水排水,2010,26(9):46-49.
Yan Junquan, Jiao Jianwen, Lu Xiaolan, et al. Study on operational optimization and control of CAST process[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(9): 46-49 (in Chinese).
- [3] 邓伟斌. 南方某污水处理厂 CAST 工艺提标改造[J]. 中国给水排水,2016,32(16):77-79.
Deng Weibin. Upgrading of cyclic activated sludge technology in a wastewater treatment plant in southern China[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16): 77-79 (in Chinese).
- [4] 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):106-110,115.
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, 115 (in Chinese).
- [5] 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.
Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, et al. Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface water standard[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 93-98 (in Chinese).



作者简介:王洪刚(1987-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,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:2018-11-22