

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.014

污水厂CASS工艺改为Bardenpho工艺不停水扩容改造

崔天怀¹, 程军¹, 杨坤²

(1. 陕西省水务集团有限公司, 陕西 西安 710021; 2. 中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 汉江流域是南水北调中线工程的重要水源涵养区,随着汉江流域水污染防治的不断推进和污水管网的不断完善,陕西省某县城污水处理厂逐渐超负荷运行,出水水质不能稳定达标,亟需扩容改造。在用地受限且要求不停水建设的情况下,该扩容改造工程将CASS工艺原位改造为五段式Bardenpho工艺,并提出了不停水改造的技术路线。通过扩容改造,污水处理规模从 1×10^4 m³/d提升到 2.3×10^4 m³/d,实际平均出水COD、NH₄⁺-N、TN较CASS工艺分别降低28.4%、76.4%和29.2%,碳源和除磷药剂投加量分别减少40%和60%左右,出水水质全面达到并优于一级A排放标准。污水处理总成本约1.48元/m³,经营成本0.87元/m³。该工程改造方案最大限度地利用了原有CASS池土建设施,有效节省了投资和运营费用,具有较好的经济技术优势。

关键词: CASS工艺; Bardenpho工艺; 扩容改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0085-05

Design of a Wastewater Treatment Plant Expanded and Reconstructed from CASS Process to Bardenpho Process without Shutdown

CUI Tian-huai¹, CHENG Jun¹, YANG Kun²

(1. Shaanxi Water Affair Group Co. Ltd., Xi'an 710021, China; 2. CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: Hanjiang River basin is an important water conservation area for the middle route project of South-to-North Water Diversion Project. With the continuous promotion of water pollution prevention and control in the basin and the continuous improvement of sewage network, the operation of a county wastewater treatment plant in Shaanxi Province is overloaded, and the effluent quality cannot meet the discharge standards stably. Therefore, the wastewater treatment plant is in urgent need of expansion and reconstruction. In the case of land limitation and continuous operation requirement, the CASS process was transformed into a five-stage Bardenpho process in situ in the expansion and reconstruction project, and the technical route of transformation without shutdown was proposed. The scale of the wastewater treatment plant was increased from 1×10^4 m³/d to 2.3×10^4 m³/d after expansion. Compared with CASS process, the average COD, NH₄⁺-N and TN in effluent were reduced by 28.4%, 76.4% and 29.2%, respectively, and the dosages of carbon source and phosphorus removal agent were reduced by approximately 40% and 60%, respectively. The effluent quality reached and was better than the first level A limit specified in the discharge standard. The total cost of sewage treatment was approximately 1.48 yuan/m³, the operating cost was 0.87 yuan/m³. The project made full use of the original civil construction facilities of CASS tank, effectively saved the investment and operating cost, and showed good economic

and technological advantages.

Key words: CASS process; Bardenpho process; expansion and reconstruction

CASS工艺是一种常见的活性污泥法污水处理工艺,它具有能耗低、投资和运行成本低、污泥产量少、占地面积小等特点^[1-2],在我国中小城镇污水处理厂中应用非常广泛^[3]。但是,由于CASS工艺的预反应区容积较小(仅有20%左右)且回流量偏低,同时主反应区缺少混合搅拌,不能从时间和空间上实现严格意义上的厌氧、缺氧反应,因此CASS工艺的生物脱氮除磷作用通常比较有限^[4],实际出水水质有时很难得到可靠保证^[5-7],通常采用强化缺氧反硝化脱氮、增加深度处理、优化回流和运行模式等措施进行提标改造^[8-10]。

陕西省汉江流域某县城污水处理厂设计规模 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2009年建成,主体采用CASS工艺,出水执行一级A排放标准。由于该地区属于南水北调中线工程水源涵养地,纳污河流月河水水质标准为地表水Ⅱ类。为保护汉丹江流域水质安全、推进水污染防治工作,陕西省从2017年全面启动了污水截流工程项目,随着城区管网的不断完善,污水处理厂来水量逐渐超过设计负荷,造成出水水质不稳定,尤其在冬季低温期间,出水指标不能稳定达标。为尽快达标排放,解决污水溢流问题,对该污水处理厂进行了扩容提标改造。

1 污水处理厂现状

现状污水处理厂设计规模 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工艺流程:进水→粗格栅→提升泵房→细格栅→曝气沉砂池→CASS池→絮凝沉淀+D型滤池→紫外消毒池→巴氏计量槽→出水。其中生化段基本参数如下:CASS池2座,共4格,单座尺寸 $47.1 \text{ m} \times 30.5 \text{ m} \times 6.4 \text{ m}$,有效水深5.5 m,单格有效容积 $3\,950 \text{ m}^3$,采用微孔曝气盘曝气。CASS池运行时序:进水曝气1 h,单独曝气2 h,沉淀1 h,排水闲置1 h,每周期5 h。

污水处理厂的进水量 $(1.2 \sim 1.4) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超设计规模40%左右且来水不均匀,高峰时段运行压力进一步增加。实际进、出水水质如表1所示。水质随季节波动较大,冬春季进水浓度较高,夏秋季明显降低。污水处理厂冬季最冷月原水水温 $9 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。水量的超负荷和水质水量波动造成实际出水指标不稳定。

表1 原设计及实际进、出水水质

Tab.1 Original design and actual influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	TN	SS	TP
原进水设计值	400	200	20	40	200	5
进水平均值	245.5	112	31.13	42.52	168	3.85
出水平均值	24.3	8.7	2.35	13.3	12.8	0.14

2 污水处理厂扩容改造设计

2.1 设计水质

设计进水水质取95%保证率统计值,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,具体如表2所示。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	TN	SS	TP
进水	380	160	45	60	200	5
出水	50	10	5(8)	15	10	0.5

2.2 方案比选

本次扩容提标改造的重点在于NH₄⁺-N、TN、SS三项指标。提出2种设计方案。方案一:将现状CASS工艺改造为A²/O系列连续流工艺,新建沉淀池及深度处理系统;方案二:一期CASS工艺保留,新建二期A²/O工艺。

方案一:现状CASS池有效容积 $15\,800 \text{ m}^3$ 。根据进、出水水质及BOD₅负荷核算该CASS池改造为A²/O系列连续流工艺后处理水量为 $18\,433 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为确保改造期间不停水,需要先行建设 $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 处理系统用于改造期间的导水。总处理规模达到 $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。占地面积约 0.6 hm^2 ,估算总投资为5980万元。

方案二:新建 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ A²/O+深度处理系统,占地面积 1.47 hm^2 ,估算投资9300万元。

综合分析,方案一占地面积小,投资低;能够最大限度利用原有池容提高处理水量;运行稳定,可大大提高系统耐冲击负荷能力,避免了水质水量波动对出水水质的影响;改造完成后全厂采用同一种工艺,运行简单方便,有效避免了CASS间歇流与A²/O连续流在水量分配上的不便。

由于厂区临近高速路、河道和村镇,可利用空间狭小,建设用地不足 0.67 hm^2 。因此,通过经济技术比选论证,确定采用方案一。考虑到总氮去除率要求较高及后期进一步提标的要求,确定主体生化段采用五段式Bardenpho工艺,通过在后缺氧段投加碳源可实现深度脱氮;深度处理采用磁混凝沉淀工艺^[11],以节省占地面积,确保出水稳定达标。工艺流程见图1。

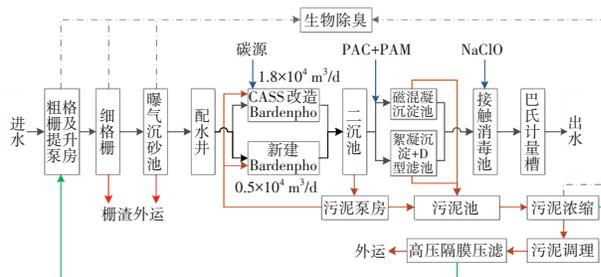


图1 污水处理厂提标改造工艺流程

Fig.1 Process flow chart of upgrading and reconstruction of the WWTP

2.3 主要工艺设计

① 预处理工艺

设计规模 $2.3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.48,经核算原有粗格栅及提升泵房、细格栅、曝气沉砂池满足设计要求,全部利旧。

② CASS池改造

设计规模 $1.8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计 BOD_5 负荷 $0.061\text{ kg}/(\text{kgMLVSS}\cdot\text{d})$,氨氮负荷 $0.031\text{ kg}/(\text{kgMLVSS}\cdot\text{d})$,生化池MLSS约为 $4000\text{ mg}/\text{L}$, $\text{MLVSS}/\text{MLSS}=0.7$,设计水温 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 。

CASS池改造如图2所示。

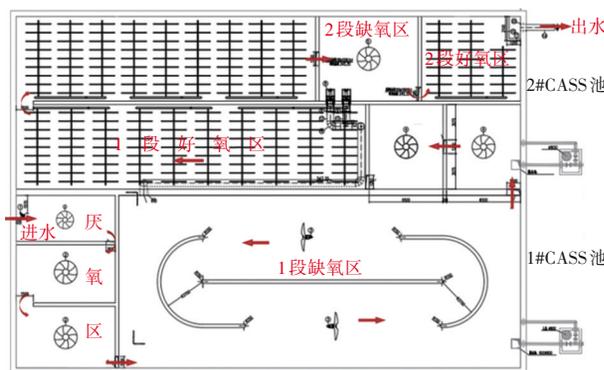


图2 CASS池改造示意

Fig.2 Schematic diagram of CASS process transformation

生化池分为两个系列,每2座CASS池为1组。平均总停留时间 21.07 h 。其中厌氧区容积 1500 m^3 , $\text{HRT}=2\text{ h}$;1段缺氧区容积 4500 m^3 , $\text{HRT}=6\text{ h}$;1段好氧区容积 6750 m^3 , $\text{HRT}=9\text{ h}$;2段缺氧区容积 1500 m^3 , $\text{HRT}=2\text{ h}$;2段好氧区容积 1550 m^3 , $\text{HRT}=2.07\text{ h}$ 。设计硝化液回流比 300% 。

③ 新建生化池

设计规模 $0.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.2。平均总停留时间 21 h 。其中:厌氧区容积 417 m^3 , $\text{HRT}=2\text{ h}$;1段缺氧区容积 1250 m^3 , $\text{HRT}=6\text{ h}$;1段好氧区容积 1875 m^3 , $\text{HRT}=9\text{ h}$;2段缺氧区和2段好氧区容积和停留时间均分别为 417 m^3 和 2 h 。设计硝化液回流比 300% 。

④ 二沉池及污泥回流泵房

新建中进周出辐流式二沉池2座,直径 30 m ,平均时表面负荷 $0.68\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,污泥回流比 $50\%\sim 100\%$;新建配水井及污泥回流泵房1座。

⑤ 磁混凝沉淀池

设计规模 $1.8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.48,混凝反应池由4个反应池组成,单个反应池反应时间 2 min 。二沉池出水与絮凝剂、磁粉、回流污泥混合反应形成密实絮体之后进入沉淀池,进一步去除TP、SS等污染物。沉淀池采用上方下圆单泥斗形式,池内径 7 m ,设置斜管 64 m^2 ,沉淀池平均表面负荷 $8.3\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

⑥ 接触消毒池

设计规模 $2.3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.48,采用次氯酸钠消毒,接触时间 30 min 。

3 不停水改造措施

按照先新建后改建的原则,提出以下扩容改造施工工序:

工序一:完成新建 $0.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 生化池、二沉池、配水井、污泥回流泵房、二次提升泵房、磁混凝沉淀池及接触消毒池的施工,原有巴氏计量槽利旧。新增鼓风机、污泥脱水机、变配电室等设备安装到位。

工序二:分别接通1#、2#两座CASS池出水管至二沉池配水井管道,接通污泥回流泵房至CASS池配水井的污泥回流管。将1#、2#滗水器提升到最高水位,以A/O工艺运行,对3#、4#两座CASS池进行停水改造。

工序三:3#、4#池改造完成后切换进水按五段式Bardenpho工艺正常运行,以同样的方式改造1#、2#生化池。

当1#、2#两座CASS池按照A/O工艺运行时有效容积为7 900 m³,处理水量可达到9 000 m³/d。缺氧区占比20%,缺氧/好氧反应时间分别为4.2 h和16.8 h。好氧时间相对较长,能够保证出水COD、NH₄⁺-N达标。运行中可以通过适当控制低溶解氧,强化同步硝化反硝化作用,确保达标排放。值得注意的是,由于CASS池原有污泥回流比偏小,仅有50%左右,显然不能达到脱氮要求,应增设临时回流泵提高回流比。

4 实际运行效果与成本分析

改造项目于2021年6月1日正式投产,运行8个月的实际水质见表3。实际进水量为(1.5~1.68)×10⁴ m³/d;出水平均COD、NH₄⁺-N、TN较上年同期CASS工艺运行时分别降低28.4%、76.4%、29.2%。1段好氧区出水各项指标除TP外均已稳定达标。出水总磷指标较上年同期CASS工艺略有升高,主要原因是将生化系统协同除磷改为后段化学除磷,其中混凝剂PAC(粉剂)投加量平均为22.5 mg/L,PAM投加量2.65 mg/L,药剂投加量较CASS工艺减少60%左右。另外,更理想的厌氧环境和更长的停留时间有利于原水碳源以及外加碳源的充分利用,碳源投加成本较原CASS工艺减少40%左右。碳源平均投加量为32.6 mgCOD/L,且主要集中在冬季运行期间,温度升高后逐渐降低。为确保碳源投加准确高效,在进水C/N比分析的基础上,通过出水氨氮指标控制曝气量及溶解氧,避免了过量曝气引起碳源消耗,同时重点关注生化池出水NO₃⁻-N指标,以此作为碳源投加量的重要依据。经过各阶段的精确控制,出水各项指标都能稳定达到并显著优于一级A排放标准;尤其在冬季1月最低水温仅有9℃的情况下各项指标依然稳定,系统耐冲击能力显著提升。

表3 提标改造后实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality after upgrading and reconstruction mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	TN	SS	TP
进水平均值	236.7	108	37.84	43.25	136	4.26
出水范围	5.4~32.1	3~6	0.06~3.11	3.8~13.69	3~8	0.02~0.31
出水平均值	17.36	4.25	0.51	9.22	4	0.198

经过改造,药剂投加成本明显降低,同时出水水质更加稳定,说明污水处理厂技术改造达到了预期效果,值得进一步推广和应用。

该扩容改造项目总投资5 980万元,单位处理总成本1.48元/m³,单位经营成本0.87元/m³,其中吨水电耗平均0.613 kW·h/m³、药剂投加成本0.344元/m³,在经济技术方面比原CASS工艺提标及新建A²/O工艺具有一定优势。

5 结论与建议

陕西省某污水处理厂扩容改造项目在用地受限及不停水改造的要求下,将常规CASS工艺改造为五段式Bardenpho工艺,通过原位改造,污水处理规模从1×10⁴ m³/d提高到2.3×10⁴ m³/d。实际出水水质较CASS工艺明显提升,生化系统耐受低温及负荷冲击的能力显著增强,出水水质稳定达到一级A排放标准。

本项目设计具有明显的优势和特点:一是节约土地;二是降低了工程造价,节约了投资;三是原位建设改造,避免了异地建设,节约了运行管理成本;四是工期短,节约了时间;五是处理效果好,运行稳定、可靠。

为尽可能减少对生产运行的影响,建议:①应该充分调查厂区地下管线及现状设备设施情况,做好完善的施工安排及各工艺环节的衔接准备工作;②按照先新建后改建的原则,在所有新建设施完成联动调试且改造设备全部到厂之后开始改造施工;③要做好施工单位与运营单位的协调配合工作,尽量选择早季进行改造,避免雨水对施工周期的影响,同时减小改造期间的运行压力。

参考文献:

- [1] 张晨. 低碳源城镇污水处理厂CAST工艺改造与调控[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
ZHANG Chen. Sewage Treatment Plant's Transformation and Regulation by CAST Process with Low-carbon Source Sewage [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014(in Chinese).
- [2] 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 the Performance and Optimum Operation of CAST Process [D]. Shanghai: Tongji University, 2007(in Chinese).
- [3] 李志华,杨红亮,赵雨. 小城镇污水处理厂CAST工艺

- 启动及运行策略[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 140-144.
- LI Zhihua, YANG Hongliang, ZHAO Yu. Start-up and operation strategy of CAST process in wastewater treatment plants in small towns [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18):140-144(in Chinese).
- [4] 马娟,王谨,俞小军,等. 不同运行模式下改良型CAST工艺处理生活污水的除磷性能[J]. 环境科学, 2017,38(12):5146-5153.
- MA Juan, WANG Jin, YU Xiaojun, *et al.* Phosphorus removal capacity of domestic wastewater treated by a modified CAST process under different operating modes [J]. Environmental Science, 2017, 38(12): 5146-5153 (in Chinese).
- [5] 徐立杰,王淑莹,甘冠雄,等. CAST工艺改良对系统强化除磷性能的影响[J]. 化工学报, 2011, 62(5): 1402-1407.
- XU Lijie, WANG Shuying, GAN Guanxiang, *et al.* Phosphorus removal performance of modified CAST process [J]. CIESC Journal, 2011, 62(5): 1402-1407 (in Chinese).
- [6] 俞勇,喻盛华,陈达钢,等. CAST工艺的脱氮除磷强化改造[J]. 中国给水排水, 2020,36(12):125-128.
- YU Yong, YU Shenghua, CHEN Dagang, *et al.* Improvement of nitrogen and phosphorus removal in CAST process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12):125-128(in Chinese).
- [7] 安东子,寇彦德,谭国霞,等. CAST工艺强化脱氮的设计改进[J]. 工业用水与废水, 2017, 48(1): 47-49, 74.
- AN Dongzi, KOU Yande, TAN Guoxia, *et al.* Improved design of strengthen denitrification of CAST process [J]. Industrial Water & Wastewater, 2017, 48(1):47-49, 74 (in Chinese).
- [8] 吴飞,徐剑新,吕晨. CASS工艺园区污水处理厂提标改造为AAO+三级处理工艺后的运行效果对比分析[J]. 环境工程学报, 2020, 14(4):1129-1136.
- WU Fei, XU Jianxin, LÜ Chen. Contrastive analysis of operation effect of the park sewage treatment plant with the upgraded and reconstructed AAO-tertiary treatment process from CASS process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(4): 1129-1136 (in Chinese).
- [9] 王洪刚,纪海霞,程树辉,等. 北方某污水厂CASS工艺升级改造设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(10): 60-63.
- WANG Honggang, JI Haixia, CHENG Shuhui, *et al.* Design of upgrading project of CASS process in a sewage treatment plant in northern China [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(10):60-63(in Chinese).
- [10] 申晨亮,荆涛,于浩然,等. 襄城县污水处理厂污水处理工艺提标改造[J]. 节能与环保, 2022(1):56-58.
- SHEN Chenliang, JING Tao, YU Haoran, *et al.* The upgrading and reconstruction of wastewater treatment process of the Xiangchengxian sewage treatment plant [J]. Energy Conservation & Environmental Protection, 2022(1):56-58(in Chinese).
- [11] 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).
-
- 作者简介:**崔天怀(1967-),男,陕西凤翔人,大学本科,高级工程师,西安石油大学研究生校外指导老师,陕西省水务集团有限公司副总经理,主要研究方向为水文水资源与污水处理及资源化利用,曾荣获2018年度陕西省安康杯竞赛先进个人、2019年陕西省劳动竞赛优秀个人荣誉称号。
- E-mail:**13571497631@139.com
- 收稿日期:**2022-05-07
- 修回日期:**2022-06-07

(编辑:孔红春)