

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.021

银定庄污水厂深度处理工艺选择及运行实效

王建兴, 吕恺祺, 郭中伟, 仝恩从
(保定市排水总公司, 河北 保定 071105)

摘要: 鉴于白洋淀上游环保要求的提高,保定市银定庄污水处理厂一、二期工程需进行整体改造,包括新建Bardenpho工艺生物反应池、二沉池,深度处理采用磁混凝沉淀、臭氧高级氧化及超滤膜工艺,通过参数优化,突破了场地面积限制。实际运行结果表明,出水COD、TP、TN、氨氮均能稳定达到《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018)的重点控制区标准,不仅实现了污水处理厂出水水质的提升,而且进一步提高了污水厂的处理能力。

关键词: 污水处理厂; 深度处理; 磁混凝; 臭氧催化氧化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0125-05

Advanced Treatment Process Selection and Operation Effect of Baoding Yindingzhuang WWTP

WANG Jian-xing, LÜ Kai-qi, GUO Zhong-wei, TONG En-cong
(Baoding Drainage Company, Baoding 071105, China)

Abstract: In view of the improved environmental protection requirements in the upper reaches of Baiyangdian Lake, the phase I and II projects of Baoding Yindingzhuang wastewater treatment plant (WWTP) need to be entirely reformed, including the new Bardenpho biological reaction tank and secondary sedimentation tank. The advanced treatment adopts magnetic coagulation sedimentation, ozone advanced oxidation and ultrafiltration membrane process. Through parameter optimization, project broke off the limitation of site area. The operation results show that the effluent COD, TP, TN and ammonia nitrogen all stably reach the standards for key point control areas in the *Discharge Standard of Water Pollutants in Daqing River Watershed* (DB 13/2795—2018). The project not only improves the effluent water quality of the WWTP, but also further improves the treatment capacity of it.

Key words: wastewater treatment plant; advanced treatment; magnetic coagulation; ozone catalytic oxidation

保定市银定庄污水处理厂原设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准,2015年经过升级改造,出水水质达到一级A标准。2017年,随着雄安新区成立,白洋淀生态功能保护和修复已成为区域环境治理的重中之重,而保定市位于雄安新区及白洋淀上游,保定市区污水处理厂出水经府河汇入白洋淀,因此,国家和河北省政府对保定市的污染治理提出了更高的要

求。根据河北省落实基础设施建设“十三五”规划实施意见,保定市银定庄、鲁岗两座污水处理厂需要将出水水质进一步提升至地表Ⅳ类水标准(其中TN≤15 mg/L)。2018年10月,河北省出台了《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018),其中保定市属于重点控制区。在此背景下,银定庄污水处理厂深度处理工程的建设变得非常必要和紧迫,目的是将银定庄污水厂的出水水质由一级A标准提升

到大清河流域的重点控制区标准,除TN排放限值为15 mg/L外,其余指标均达到地表Ⅳ类水标准。

1 深度处理改造前概况

银定庄污水处理厂一期工程设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于1996年投产;二期工程溪源污水厂设计规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2007年投产,一、二期设计工艺均为A/O。2015年银定庄污水厂一、二期工程先后完成了升级改造^[1],通过应用移动床生物膜反应器(MBBR),以及新建活性砂滤池、纤维转盘滤池等,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

2017年1月—2018年6月银定庄污水处理厂一、二期设计及实际运行水质见表1。

表1 设计及实际进、出水水质

Tab.1 Design and actual influent and effluent

		quality				
项目		mg·L ⁻¹				
	COD	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP
设计进水	500	200	170	50	70	7
设计出水	50	10	10	5(8)	15	0.5
一期实际出水 (90%涵盖率)	31	7.5	7	1	15	0.5
一期实际最高出水	40	9.5	8	4.9	15	0.5
二期实际出水 (90%涵盖率)	36	8.5	8	3.5	3.5	0.4
二期实际最高出水	46	10	9	4.6	14.6	0.5
注: 银定庄污水处理厂一、二期工程进水pH较为稳定,常年稳定于7.0~7.6之间;进水水温夏季平均约25℃,冬季平均约15℃,最高28℃,最低9℃。						

2 深度处理改造方案选择

此次深度处理改造后出水水质需达到河北省《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018)的重点控制区排放限值,即 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5 \leq 6 \text{ mg/L}$,氨氮 $\leq 1.5(2.5) \text{ mg/L}$, $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$, $\text{TP} \leq 0.3 \text{ mg/L}$ 。

银定庄污水厂深度处理改造用地紧张,污水厂东侧为基本农田,北侧临路,西侧为规划路,只有南侧与规划路间有一小块市政用地,最终新征土地仅约为 3.83 hm^2 (57.5亩,规划红线以内)。

白洋淀为半封闭水体,自净能力较弱,为控制其富营养化,要求上游的城市污水处理厂尽量提高除磷脱氮效果。银定庄污水处理厂实际进水水质较原设计值低且生活污水占70%,板纸、机械、食品

等工业企业废水占30%,在进水指标正常情况下,出水COD为15~25 mg/L,当进水COD超过排入下水道标准时,出水COD为30~40 mg/L。深度处理改造前夏季出水COD、氨氮、BOD₅等已达到大清河流域重点控制区排放限值要求,冬季出水氨氮不稳定,接近标准上限,TP受进水水质影响较大,出水指标接近标准上限。

为进一步消除出水中的难降解COD,同时考虑污水厂出水还有一定的色度和气味,以及附近造纸工业园区污水厂臭氧催化工艺对COD的良好去除效果,深度处理工程在工艺段末端选择了臭氧催化氧化工艺。臭氧在低浓度投加时对出水的色度与气味有良好的去除效果,同时能够有效应对进水COD超标引起的出水COD波动情况。

为使出水TP稳定达标,同时考虑到占地限制,选择了除磷及沉淀效果俱佳的磁混凝高效沉淀工艺,根据调研分析,磁混凝的除磷成本控制在0.07元/ m^3 以下。

超滤主要去除水中悬浮颗粒物、浊度、大分子有机物以及细菌,对SS、微生物有良好的截留效果,与传统的多介质过滤和活性炭过滤相比,大大减少了占地面积。超滤的出水SS稳定小于5 mg/L、SDI值稳定小于5,大肠菌群基本去除。考虑到保定市属资源型缺水地区,应在河湖景观、城市绿化、工业、道路清扫、建筑冲厕等领域大力推广再生水利用,从而达到节约优质水资源的目的。目前,保定市已在工业冷却、河道景观方面使用了大量污水处理厂再生水,为进一步提升再生水利用率,已经开始铺设由污水处理厂至市区各大公园的再生水供水管网,为公园绿地浇灌及湖泊景观输送再生水,并计划进一步扩大城市道路清扫再生水使用量。新版的《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020)标准,对再生水的各项指标尤其是细菌有了更高的要求,考虑到加氯对动植物的不利影响,超滤无疑是一种既安全又可提供优质再生水源的处理工艺。因此,在银定庄污水处理厂二期工程设置了 $22.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的超滤膜系统。

针对保定市城区污水处理能力不足的实际情况,结合实测进水水质及占地条件,经过理论核算,原有生物池系统加上新建的3座生物池,共可满足实际进水水质条件下(TN为60 mg/L,氨氮为40 mg/L) $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理量需要。新建 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的

污水生化处理系统,原有 $24\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 生物处理系统处理能力降为 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。污水中除TP以外的污染指标大部分在Bardenpho生物池中降解,因此在二级生物处理后未采用深床反硝化滤池,二级出水直接进入磁混凝高效沉淀池处理,节约了投资与占地。

该项目的改造方案:

① 新建 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 粗格栅、进水泵站、旋流沉砂池。

② 新建生物池,采用改良Bardenpho工艺,在不额外增加混合液回流比的情况下,能实现较好的脱氮效果,在回流比相同的条件下Bardenpho工艺的脱氮效果优于 A^2/O 工艺。

③ 新建二沉池,选用矩形周进周出形式,减少占地面积。

④ 新建混凝高效沉淀池,高效去除SS、总磷。

⑤ 新建臭氧催化氧化池,采用臭氧高级氧化工艺,高效去除难降解COD。

⑥ 二期新建膜车间,进一步去除污水中SS、微生物等,增强污水处理效果,提供优质再生水资源。

深度处理改造后的一、二期工艺流程分别如图1、2所示。

一期改造主要新建构筑物选址于原一期厂区北侧(部分原附属设施拆除并择地另建),二期改造主要新建构筑物选址于原二期厂区南侧新征用地。

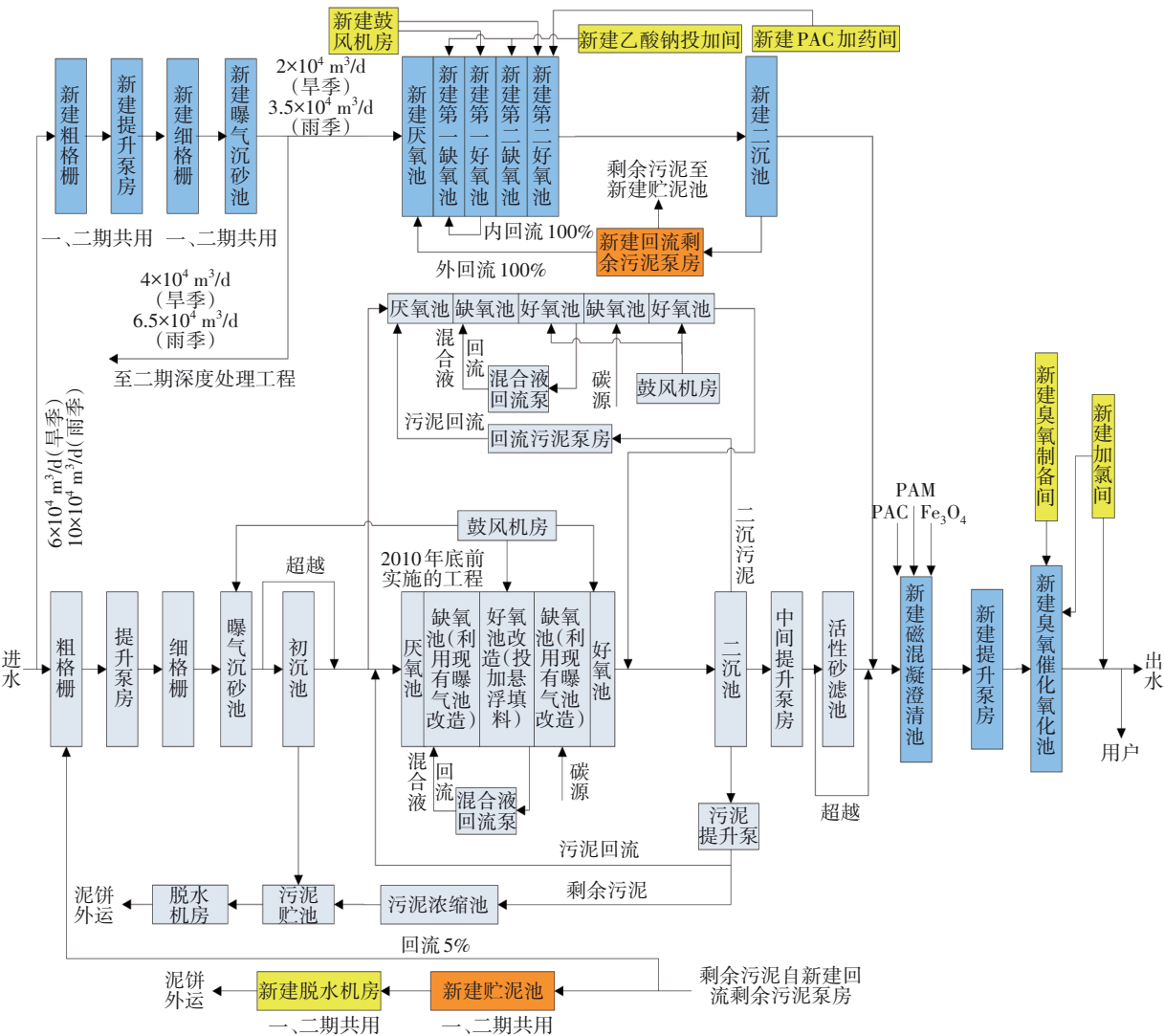


图 1 改造后一期(银定庄污水厂)工艺流程

Fig.1 Flow chart of Yindingzhuang wastewater treatment plant phase I after transformation

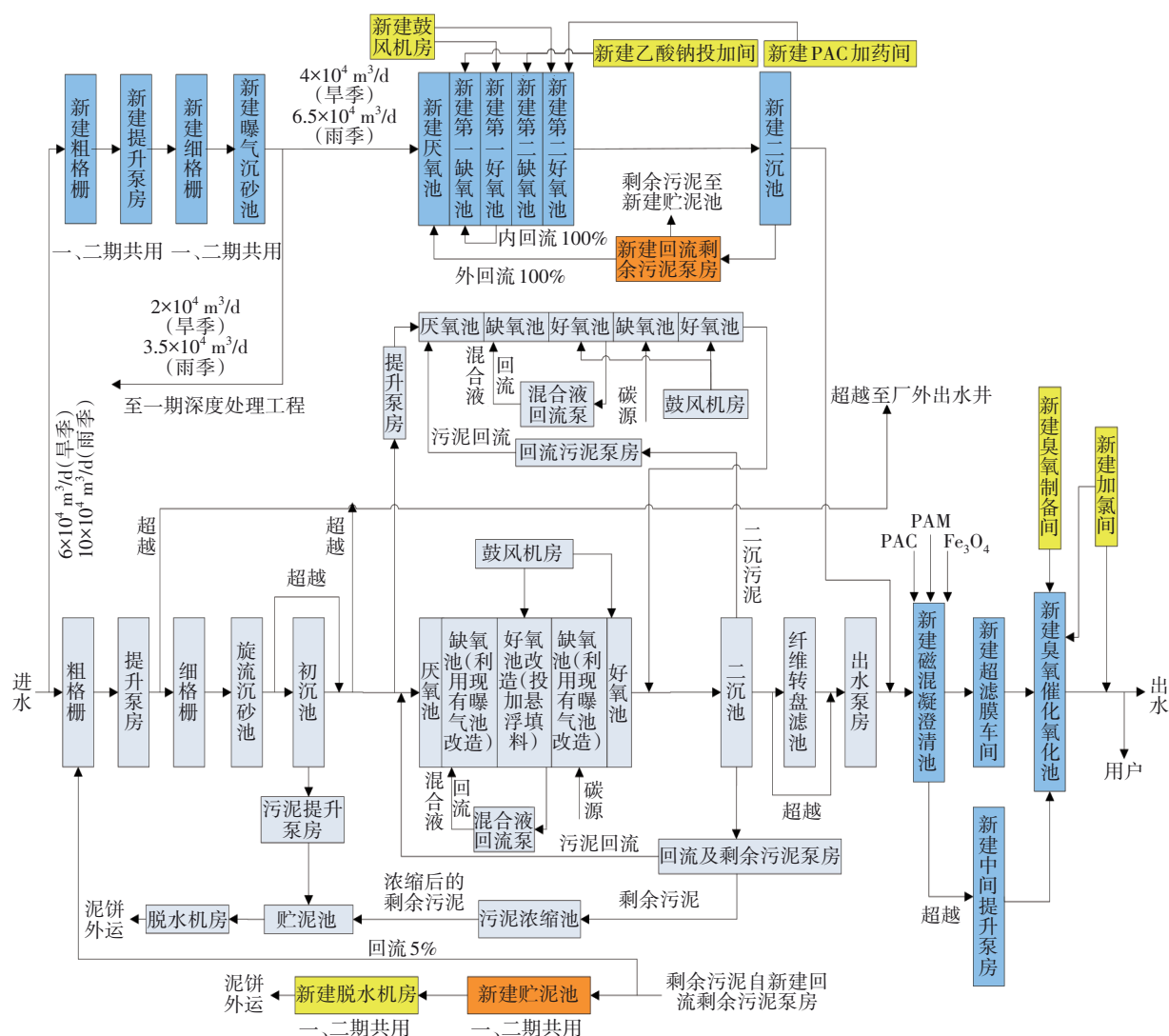


图2 改造后二期(溪源污水厂)工艺流程

Fig.2 Flow chart of Xiyuan wastewater treatment plant phase II after transformation

3 主要构筑物及工艺参数

新建一、二期工程共用的进水提升泵房、粗格栅、细格栅及沉砂池,因场地限制,取消一沉池设计。粗格栅设置4廊道,最大过栅流速 $0.81 \text{ m}^3/\text{s}$,栅隙 20 mm 。孔板细格栅4台,栅孔 3 mm ,设计流量 $1.62 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

新建生物反应池,一期厂区新建生物池1座,处理能力 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.4$, $Q_{\text{最大}}=0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ 。二期厂区新建生物池2座,处理能力 $6.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.4$, $Q_{\text{最大}}=1.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因一、二期工程均用地紧张,为尽量减少用地,同时不降低污水处理能力,选择增加生物池深度,最终有效水深达到 9.05 m ,有效容积 $2.67 \times 10^4 \text{ m}^3$,且运行良好。设计泥龄 29 d ,新

建生物池1.2倍设计水量下的停留时间为 16.54 h ,其中厌氧段 1.3 h 、第一好氧段 6.4 h 、第一缺氧段 5.37 h 、第二缺氧段 2.94 h 、第二好氧段 0.53 h 。设计混合液悬浮固体浓度 4000 mg/L ,污泥负荷率 $0.065 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,产泥率 $0.70 \text{ kgSS/kgBOD}_5$ 。污泥回流比 100% ,内回流比 $100\% \sim 150\%$ 。为节约外加碳源,使生物池的第二缺氧段运行中满足溶解氧小于 0.5 mg/L 的缺氧工况,延长了第二缺氧段的停留时间(一级A升级改造时原生物池第二缺氧段停留时间为 2.2 h)。按泥龄 31 d 校核,原一期生物池处理能力满足新排放标准要求,处理能力由 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 降为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。原二期生物池处理能力由 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 降为 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

新建矩形周进周出二沉池,一期2座合建,二期4座合建,设计表面水力负荷 $2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,有效水深 5.5 m 。

新建磁混凝系统,一期设计进水量为 $11.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.4$, $Q_{\text{最大}}=1.86\text{ m}^3/\text{s}$ 。二期设计进水量为 $22.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.4$, $Q_{\text{最大}}=3.65\text{ m}^3/\text{s}$ 。其中澄清区平均表面水力负荷 $14.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,最大为 $19.8\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,磁粉投加量 $2.5\sim 3.5\text{ mg/L}$,聚合氯化铝投加量 $30\sim 50\text{ mg/L}$,PAM投加量 $0.4\sim 0.8\text{ mg/L}$ 。磁混凝反应系统和催化氧化系统的设计处理能力提高至 $34\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,合并处理新建生物系统二沉池及原生物系统二沉池出水。其中一期磁混凝设计处理能力为 $11.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,二期磁混凝设计处理能力为 $22.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.4$ 。通过挖潜改造,达到了提标+扩容的目的,可有效缓解保定市污水处理能力不足的状况,并解决服务范围内初雨处理问题。

新建臭氧高级催化氧化池,反应时间 45 min ,臭氧投加量 12 mg/L 。一期有效水深 10 m ,设计进水量 $11.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;二期有效水深 6 m ,设计进水量 $22.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

新建二期超滤膜系统,设计处理量为 $22.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,超滤膜孔隙为 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 。水+气洗周期 30 min ,维护性清洗周期 30 min ,清洗药剂为 NaClO 、 NaOH 、柠檬酸。

4 改造效果

新建生物反应池与磁混凝高效沉淀池COD降解及除磷脱氮效果显著,实测2021年2月8日—2022年2月8日出水 $\text{COD}<15\text{ mg/L}$ (73%涵盖率), $\text{COD}<20\text{ mg/L}$ (99%涵盖率); $\text{TP}<0.1\text{ mg/L}$ (75%涵盖率), $\text{TP}<0.2\text{ mg/L}$ (100%涵盖率); $\text{TN}<10\text{ mg/L}$ (88%涵盖率), $\text{TN}<15\text{ mg/L}$ (100%涵盖率);氨氮 $<0.5\text{ mg/L}$ (98%涵盖率),氨氮 $<0.75\text{ mg/L}$ (100%涵盖率)。改造后一、二期出水 BOD_5 均值分别为 3.67 、 3.79 mg/L , $\text{BOD}_5<6\text{ mg/L}$ (100%涵盖率)。

5 经济分析

该深度处理工程总投资约7.4亿元,其中超滤膜、磁混凝、臭氧催化氧化系统合计占50%以上。深度处理工程投产前处理成本约为 $1.635\text{ 元}/\text{m}^3$,其中电费 $0.198\text{ 元}/\text{m}^3$ 、污泥处置费 $0.123\text{ 元}/\text{m}^3$ 、药剂费 $0.700\text{ 元}/\text{m}^3$ 、维护费 $0.263\text{ 元}/\text{m}^3$ 、人工费 0.351

$\text{元}/\text{m}^3$ 。深度处理系统投产后,由于新增投加磁粉、液氧、超滤药剂等,电耗及维护成本增加等因素,吨水处理费用提高。其中,磁粉投加量为 1.3 t/d ,液氧在污水厂最高负荷率运行时消耗量为 22.7 t/d ,超滤系统药剂费用约 $0.02\text{ 元}/\text{m}^3$,维护成本约 $0.07\text{ 元}/\text{m}^3$,电力成本约 $0.12\text{ 元}/\text{m}^3$;臭氧系统维护成本约 $0.01\text{ 元}/\text{m}^3$,电力成本约 $0.226\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

经核算,经济运行(即厂区进水量较低,进水水质较好)时,超越臭氧及超滤系统,处理成本增加约 $0.05\text{ 元}/\text{m}^3$,总成本为 $1.685\text{ 元}/\text{m}^3$;高负荷运行(即厂区进水量大,进水水质较差)时,臭氧、超滤膜系统联合运行,成本增加约 $0.446\text{ 元}/\text{m}^3$,总成本约 $2.131\text{ 元}/\text{m}^3$ 。实际新增建(构)筑物占地仅为 7.31 hm^2 。

6 结论

银定庄污水处理厂深度处理工程自2021年1月正式投产后,运行稳定,雨季最大处理水量达到 $42\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,主要水质指标满足《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018)核心区排放标准,保定市出市河流断面污染物浓度大幅下降,有力支持了雄安新区及保定周边生态环境建设。该项目建设实现了提标、扩容、再生水回用三个目标,其中核心构筑物有效水深、占地指标及简捷工艺链(磁混凝后未采用深床反硝化滤池、硝化滤池)为大规模污水厂提标改造进行了有益探索。

参考文献:

- [1] 全恩从,郭中伟,王思宇,等.保定市三座污水处理厂升级改造工程[J].中国给水排水,2015,31(18):86-89.
- TONG Encong, GUO Zhongwei, WANG Siyu, et al. Upgrading and reconstruction project of three sewage treatment plants in Baoding City [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18): 86-89 (in Chinese).

作者简介:王建兴(1971—),男,河北保定人,大学本科,高级工程师,主要从事污水处理厂运行管理工作。

E-mail: pssyfzc@126.com

收稿日期:2022-01-18

修回日期:2022-03-12

(编辑:衣春敏)