

MBBR+磁混凝工艺于污水处理厂的应用

Application of MBBR+Magnetic Coagulation Process in Sewage Treatment Plant

杨晓峰¹ 朱文博² 李志超² 范晶晶²

Xiaofeng Yang¹ Wenbo Zhu² Zhichao Li² Jingjing Fan²

1. 太原市城市排水管理中心 中国·山西 太原 030006

2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 中国·天津 300381

1. Taiyuan Municipal Drainage Management Center, Taiyuan, Shanxi, 030006, China

2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300381, China

摘要: 随着全社会对环保的重视,污水处理厂排放标准越来越严格。中国太原市杨家堡污水处理厂的服务范围覆盖太原市中心城区,设计规模16万m³/d,排放标准由GB18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准提标至山西省DB14/1928—2019《污水综合排放标准》。原生化工艺采用改良活性污泥法,通过分析确定改造工艺为MBBR+磁混凝澄清+转盘滤池工艺。同时,对处理效果不佳的建、构筑物进行整改,保证该厂稳定安全运行,实现提质增效。本工程实施后,将会促进太原市的环境保护和生态治理。

Abstract: With the increasing focus on environmental protection of the whole society, the discharge standards of sewage treatment plants are more and more strict. The service scope of Taiyuan Yangjiapu Sewage Treatment Plant covers the central urban area of Taiyuan city, China, with a design scale of 160000 m³/d. The discharge standard was raised from the first level A standard of GB18918—2002 *Discharge Standard of pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* to DB14/1928—2019 Shanxi Province *Comprehensive Sewage Discharge Standard*. The original biochemical process adopted the modified activated sludge process. Through analysis, the modified process was MBBR + magnetic coagulation and clarification + rotary table filter. At the same time, the construction and structures with poor treatment effect were rectified to ensure the stable and safe operation of the plant and the improvement of the quality and efficiency. After the implementation of the project, the environmental protection and ecological governance in Taiyuan city will be promoted.

关键词: MBBR; 磁混凝澄清; 转盘滤池; 污水处理厂; 提质增效

Keywords: MBBR; magnetic coagulation clarification; rotary table filter; sewage treatment plant; quality and efficiency improvement

DOI: 10.12346/etr.v4i8.6875

1 引言

当前,全国重点区域及重点流域均对污水处理提出了更高的要求,污水处理厂提质增效成为业内关注的热点。按照山西省水污染防治领导小组办公室的要求,山西省现有污水处理厂出水水质标准需要由一级A标准提升到山西省DB14/1928—2019《污水综合排放标准》。太原市杨家堡污水处理厂位于中心城区,如何在现有占地情况下,提升、挖潜该厂的处理能力,实现提质增效,是一个重点、难点问

题。本文结合该水厂的现状和改造目标,提出了提质增效的思路,进行了工程设计,可为今后污水处理厂的提质增效提供思路和参考。

2 工程概况与现状分析

2.1 原厂概况

太原市杨家堡污水处理厂始建于1978年,服务范围北起尖草坪森林公园,南到南环南内环街学府街,东至东山过

【作者简介】杨晓峰(1966-),男,中国山西祁县人,本科,高级经济师,从事城市排水与污水处理、污泥处置、再生水利用、泵站的政策制定、运营管理和技术保障研究。

境体育路,西至滨河东路,承担着该区域内的污水处理任务。处理后将尾水排至汾河,对太原市的生态环境起着举足轻重的作用。一级处理系统于1986年10月投产运行,二级处理系统于1990年8月开始运行,污泥处理系统于1992年12月建成运行。2010年4月对原厂进行提标改造。改造后处理工艺为改良活性污泥法,处理能力为16万 m^3/d ,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级A标准。

太原市杨家堡污水处理厂于2019年8月起通过往生物

池内投加低温硝化菌来保证出水氨氮达标,运行成本较高且不稳定,不适合作为长期措施采用。同时,该污水处理厂已运行近40年,存在着设施老旧、能力不足、设施损坏废弃等问题。随着经济发展,太原中心城区水量持续上升,太原市杨家堡污水处理厂原有处理能力已经无法满足需要。

2.2 现状工艺流程

现状工艺流程见图1。

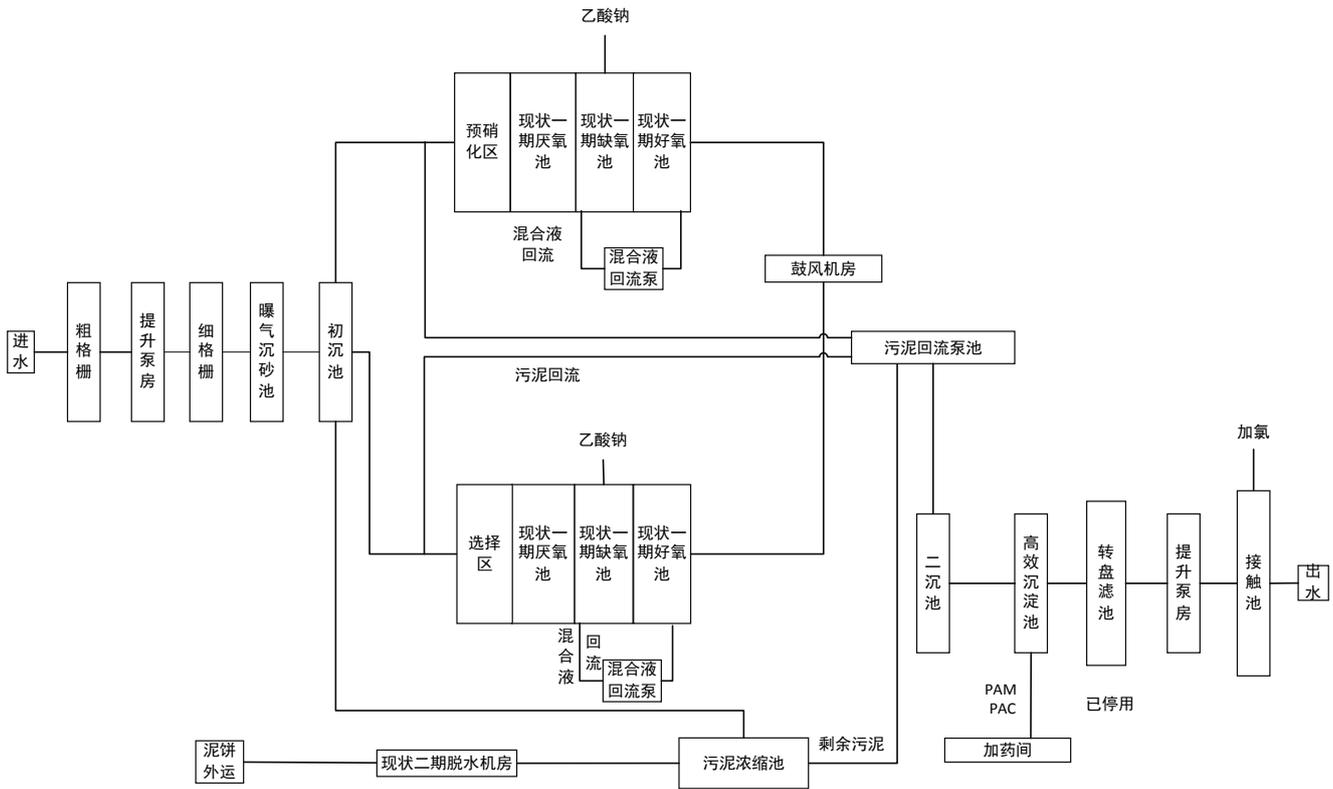


图1 现状工艺流程图

3 提质增效工程方案

3.1 工程规模及设计进、出水水质

3.1.1 工程规模

提质增效工程应尽可能有效利用现状建、构筑物及设备,不满足使用及设计条件时可进行重建、设备更换,以达成对现有设备、设施的最大利用。在此基础上复核现状工程的处理规模,结合《太原市国土空间总体规划(2020—2035)》方案,提质增效工程维持现状设计规模:16万 m^3/d 。

3.1.2 设计进、出水水质

按照2020、2021年实际进水水质数据90%的覆盖率并结合原设计进水水质,重新设定了进水水质,出水水质需满足山西省DB14/1928—2019《污水综合排放标准》的要求。提质增效工程的进、出水水质见表1。

3.2 处理工艺比选

3.2.1 二级生物处理工艺比选

根据进水水质和出水水质要求,本项目二级生物处理工

艺应采用生物脱氮除磷处理工艺。

本工程出水水质氨氮、总氮要求严格,在污水处理厂中应用广泛、能够满足要求的有BARDENPHO工艺^[1]、多点进水多级AO工艺^[2]、BAF工艺^[3]、MBBR工艺^[4]和MBR工艺等。

结合本工程的实际情况,MBR方案投资和运行成本较高,浪费了现有深度处理构筑物的部分能力。而BAF常结合现状生物池来弥补提标后的硝化或反硝化能力的不足,较少直接用于新建生物池。综合考虑本工程处理规模、设计进出水水质、投资成本、操作管理难度、业绩经验等多方面因素,最终选择应用较为广泛、出水水质稳定、运行成本较低的MBBR工艺用于二级生物处理。

按照系统内微生物主要存在方式,MBBR又分为泥膜复合MBBR工艺^[5]和纯膜MBBR工艺^[6]。泥膜复合MBBR工艺既包含悬浮态的活性污泥,又包含附着态的悬浮载体生物膜,处理能力以活性污泥为主,生物膜为辅,多用于污水

处理厂提标改造和节地新建；纯膜 MBBR 工艺不设置污泥回流，不富集活性污泥，微生物主要以附着态的悬浮载体生物膜方式富集，更有利于专性菌属的富集，VSS 生物量更大，容积负荷更高，所需池容小，水力停留时间更短。以上两种工艺均可以达到本工程出水标准，每个方案各有优缺点：

表 1 提质增效工程设计进、出水水质

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
设计进水水质 (mg/L)	420	310	350	44	6.6	63
设计出水水质 (mg/L)	40	10	10	15	2	0.4

①泥膜复合 MBBR 工艺流程较长，构筑物较多，占地较大，需拆除现状厌氧消化罐，工期稍长，工程总投资稍大。但此工艺综合了活性污泥法和生物膜法的优点，工艺成熟，运行稳定，运行管理较为简单，成本相对较低，中国国内有较多的工程案例可借鉴，且有较多的设备供应商可选择。

②纯膜 MBBR 工艺是较为新型的生物膜法，抗冲击负荷强，工艺流程短，工程总投资较低。因生物量较大，故占地小，现状拆除少，工期稍快。但国内工程案例较少，且缺少大规模的运行经验；为保证填料流化状态，推流器电耗较高，因缺少强化生物除磷，化学除磷的 PAC 药耗较大，成本偏高；因泥水分离和化学除磷集中在深度处理段，一旦深度处理段故障，出水达标压力较大。

综上所述，若从节省工程投资、占地等方面考虑，纯膜 MBBR 方案较优，从工艺的稳定性、运行管理的方便性、工程案例的可借鉴性、低成本、设备供应商选择范围大等方面考虑，泥膜复合 MBBR 方案更优。在本工程中，虽然泥膜复合 MBBR 工艺土建量稍大，但在做好施工组织安排情况下，可以做到两种工艺方案工期相差无几。

因此，选择泥膜复合 MBBR 工艺方案作为本工程的二级生物处理工艺。

3.2.2 深度处理工艺比选

现状杨家堡污水处理厂的深度处理工艺为高效沉淀池+转盘滤池，根据运行现状，若想达到出水标准，高效沉淀池需要投加约 1 mg/L 的 PAM。余留的 PAM 容易导致后续的转盘滤池滤布堵塞。因此，高效沉淀池若不改造，后续的转盘滤池不能满足提标后的要求。可以考虑将过滤工段改为占地小、且在国内得到成熟应用的纤维滤池。

然而，如果采用高效纤维滤池，则需要对原有转盘滤池、中间提升泵房、深度处理加药间等构、建筑物全盘拆除重建，土建和新更换的设备将不可避免造成一定的浪费。若要保留转盘滤池，则可考虑对现状高效沉淀池进行改造，在利旧的同时保证出水稳定达标。

因此，本工程深度处理工艺提出两个备选方案：高效沉淀池+纤维滤池，磁混凝澄清池+转盘滤池。对深度处理工段进行技术经济比选如表 2 所示。

表 2 深度处理工艺对比表

项目	高效沉淀池+纤维滤池	磁混凝澄清池+转盘滤池
深度处理投资	高 (7027.94 万元) (含新建中间提升泵房、纤维滤池、加药间投资)	低 (1863.94 万元) (含改造磁混凝澄清池、改造加药间投资,不含转盘滤池更换费用)
总成本	高 (2.155 元/吨水)	低 (2.127 元/吨水)
效果	好	好
抗冲击能力	较好	好
占地面积	大	小
实施阶段影响	实施时不需要停用高效沉淀池，但需要拆除转盘滤池和 3# 加药间及变电站，需要增加规模 16 万吨的临时泵站	保留转盘滤池和 3# 加药间及变电站、改造高效沉淀池时需要减产
操作管理	较复杂	一般
工程实例	较多	较少

磁混凝澄清池的表面负荷高，处理效果优异，即使在四组中有一组维护检修的情况下也能保证出水达标，而且对现有设备设施的影响较小，可以实现最大的有效利用和利旧。结合两个方案的总投资和成本，本工程拟采用磁混凝澄清池+转盘滤池作为深度处理工艺。该工艺方案虽然需要对高效沉淀池做改造，但由于高效沉淀池已经使用多年，设备存在老化的问题，本身也已经需要维护更换，而且对高效沉淀池的主体土建结构可予以保留。

3.3 提质增效思路

①预处理段：现状细格栅破损严重，处理效果不佳，已经无法有效拦截和清理污水中的漂浮物，同时，转鼓格栅存在毛发堵塞的问题，现考虑全部更换并选择内流式格栅，相比转鼓格栅的拦截效率更高。曝气沉砂池停留时间较短，设备部分损坏，未能有效实现截留污水中的砂砾，为保证沉砂效果，拟废除现有细格栅间及曝气沉砂池，新建一座细格栅间及曝气沉砂池。现状 4 座初沉池池体及配水渠土建部分已经年久失修，本次提质增效将 4 座初沉池全部拆除重建，并提高负荷、减小尺寸，从而节省碳源和减小占地。

②二级处理段：厂区现有生物池两座，处理能力分别为 7 万 m³/d 和 9 万 m³/d。经过现场实测数据分析，两座生物池已经长期满负荷甚至超负荷运行，年久失修，存在重大安全隐患。拟两座生物池分别减产至处理能力 5.5 万 m³/d 及 6.5 万 m³/d，再新建一座处理能力 8 万 m³/d 生物池，使改造后的处理能力共计可达到 20 万 m³/d，满足需求。厂区现有二沉池容量已不足以容纳改造后的水量，故考虑在原污泥硝化区的位置新建四座二沉池，以满足提量后的水量要求。与新建的生物池匹配。

③深度处理段：效沉淀池运行良好，但转盘滤池运行中

常常需要频繁反冲洗，出水效果欠佳、运行较为困难。此次改造将转盘滤池更换设备并恢复处理能力，对高效沉淀池进行改造，更换为磁混凝澄清工艺，提高处理效果，并减小对后续转盘滤池的影响，工艺组合更合理。现状加药间为氯化铁投加系统，拟改为 PAC 投加系统，与磁混凝澄清工艺相配套。

④污泥处理段：固体负荷较高，浓缩效果不佳，导致脱水机脱泥困难，增加了处理时间和出泥含水率。经过核算，拟新建一座污泥浓缩池，用于现状污泥浓缩；新建一座 2 格

污泥储池，对新增污泥进行短时转存，满足新增脱水机稳定运行要求；新建一座污泥脱水机房，减少污泥体积。

⑤其他：由于建设年代较远，一些功能已经不能适应现在的控制系统要求，本工程拟在原有办公楼中扩建中控室，改造全厂控制系统，使之达到本工程的控制要求，实现整个控制系统的协调统一。

3.4 总体工艺流程

太原市杨家堡污水处理厂提质增效工程总体工艺流程如图 2 所示。

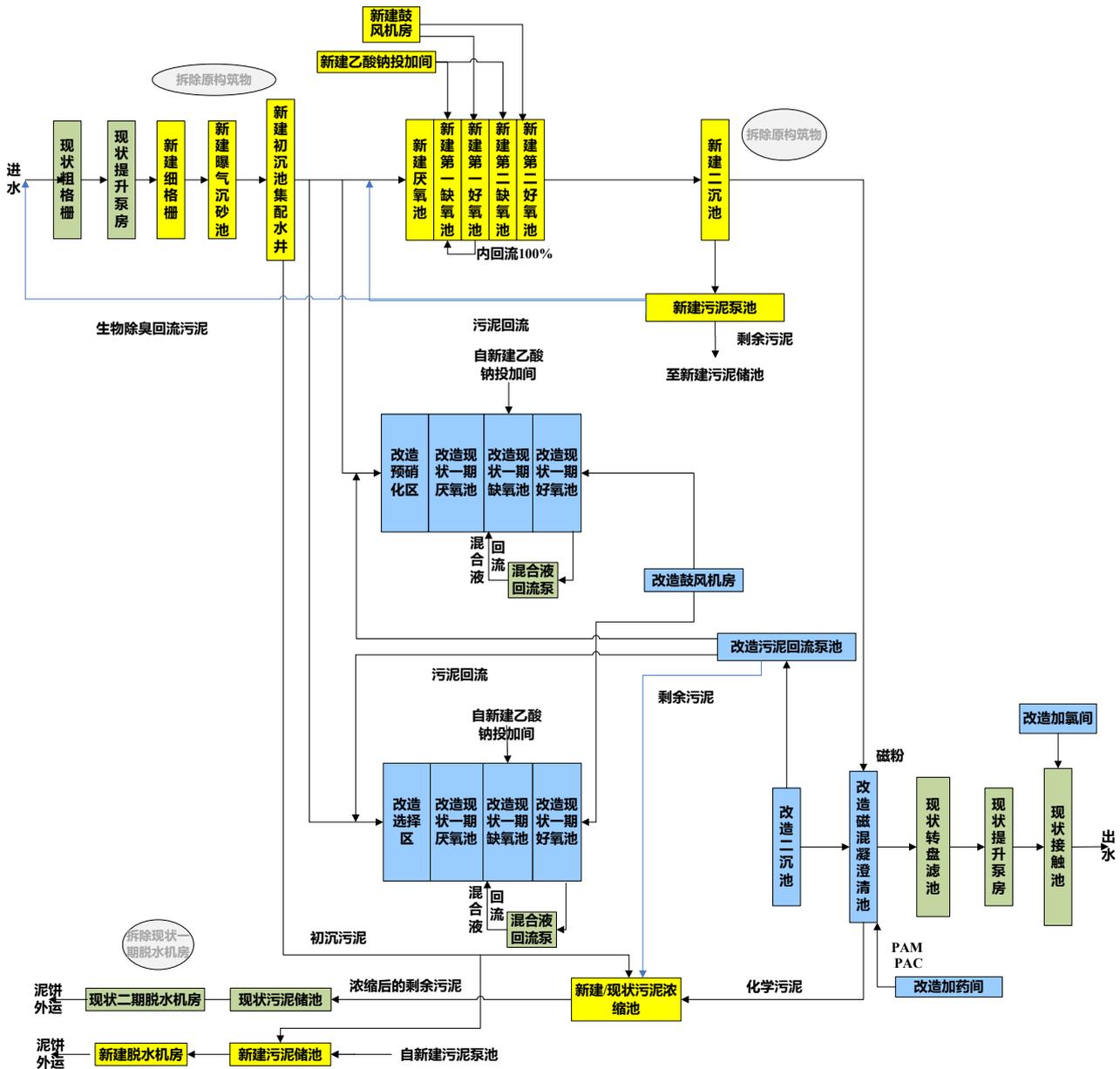


图 2 提质增效工程工艺流程图

4 提质增效工艺设计

4.1 原有处理系统改造

①生物池改造。一期和二期工程生物池分别在现状基础上减产至5.5万m³/d和6.5万m³/d,各增加一台穿墙式安装的潜水污水泵(冷备),单泵流量分别为926L/s和674L/s,扬程均为1.5m。

②二沉池改造。二沉池在现状基础上减产至12万m³/d。

③加药间改造。加药间新增6台PAC加药泵,4用2备,单泵流量150L/h,扬程30m;2台PAC卸料泵,1用1备,单泵流量100m³/h,扬程32m;3台储液罐,单罐体积20m³。

④高效沉淀池改造。改造为磁混凝澄清池,表面负荷14.45m³/m²·h,主要设备有剩余污泥泵8台,4用4备,单台流量50m³/h,扬程15m;回流污泥泵8台,4用4备,单台流量100m³/h,扬程15m;磁粉回收泵4台,2用2备,单台流量50m³/h,扬程15m。此外,还有4台磁混合反应搅拌机、4台磁粉反应池搅拌机、4台絮凝反应搅拌机、4台刮泥机、4台高剪机、4台磁分离机、2套自动反冲洗系统、1套磁粉自动投加系统。

4.2 新建处理构筑物

①预处理系统。新建预处理系统包含板式细格栅6台,4用2备,过栅流量0.6m³/s/台,渠道宽度1400mm,渠道深度1400mm,栅条间隙3mm,配套清洗压榨系统、冲洗水泵、冲洗水箱;曝气沉砂池1座2格,设计流量2.41m³/s,停留时间7.5min,曝气量9L/(m·s)空气。

②初沉池。拆除现状初沉池后新建,共4座,辐流式,设计流量2.41m³/s,直径25m,主要设备是刮泥机。

③生物池。1座2组,总设计流量0.93m³/s,有效水深8m,总泥龄13d;总停留时间14.6h,其中厌氧段1.2h,第一缺氧段6.2h,好氧段5.0h,后置缺氧段1.7h,后置好氧段0.5h;混合液悬浮固体浓度第一段4000mg/L,第二段4000mg/L;气水比6:1,最大内回流比300%,外回流比100%。

④二沉池。采用4座周进周出二沉池,表面负荷1.04m³/m²·h,直径32m。

⑤鼓风机房。4台鼓风机,3用1备,单机风量7000Nm³/h,风压9.3m,单机功率280kW。

⑥加药间。新建乙酸钠加药间1座,设置4台投药泵,3用1备,单泵流量2000L/h,扬程30m;2台卸料泵,1用1备,单泵流量100m³/h,扬程32m;7台储液罐,单罐体积20m³。

⑦污泥处理系统。污泥浓缩池1座,钢筋混凝土结构,

直径15m,主要设备是污泥浓缩刮泥机。污泥储池1座,圆形钢筋混凝土池,将污泥含水率降至80%以下。主要设备是1台潜水搅拌机。污泥脱水机房1座,主要设备是5台污泥浓缩脱水一体机,4用1备,单机处理能力80m³/h,工作时间12h。

⑧除臭系统。对预处理区、生物池厌氧区、污泥浓缩区等加密封盖,收集臭气,由引风机吸入生物除臭滤池设备进行处理,总处理风量175000m³/h。同时在生物池内放置生物除臭箱,进行全过程除臭。

5 经济分析

工程总投资为45804.90万元,来源为财政资金,无建设贷款,投资回收期为13.88年,投资收益率(税后)为5.77%。年生产成本为12544万元,其中固定成本8505万元,可变成本4039万元,单位生产成本为2.148元/m³;年经营成本为8573万元,单位经营成本为1.468元/m³。

6 结语

随着对水环境质量要求不断提高,污水处理厂的出水水质标准也日趋严格。太原市杨家堡污水处理厂提质增效工程针对该厂水质特点及现状,在现场调研、分析的基础之上,以MBBR+磁混凝澄清+转盘滤池工艺为核心改造方案,出水水质可以满足山西省DB14/1928—2019《污水综合排放标准》的要求,对原处理效果不佳的建、构筑物进行较为彻底的整改,在处理能力挖潜的同时保证该厂的稳定安全运行。本工程将杨家堡污水处理厂打造成花园式的中心城区污水处理厂,具有显著的环境、经济和社会效益。

参考文献

- [1] 刘雷斌,高守有.七段Bardenpho工艺在污水处理厂中的实践及效果分析[J].给水排水,2021,47(9):21-25.
- [2] 马宏伟,陈雅琼,陈阳.多级AO-MBR工艺用于污水处理厂提标扩建工程设计[J].给水排水,2017,43(6):30-34.
- [3] 戴文权,杜茂安,张翔,等.二级BAF工艺处理生活污水的效能[J].中国给水排水,2010,26(2):77-79.
- [4] 刘强.五段AO+MBBR工艺应用于污水处理厂提标改造[J].中国给水排水,2019,35(16):53-57.
- [5] 周家中,韩文杰,吴迪,等.MBBR泥膜复合系统泥膜竞争关系的影响因素[J].中国环境科学,2020,40(11):4735-4743.
- [6] 郑志佳,吴迪,张晶晶,等.两级后置纯膜MBBR的反硝化性能研究[J].环境工程,2019,37(9):68-73.