

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.04.018

西宁某大型装配式污水处理系统的建设及运行

潘海龙, 曾俊, 宋子恒

(江苏泰源环保科技股份有限公司, 江苏 宜兴 214266)

摘要: 为缓解污水处理能力不足的问题, 西宁市新建一座处理量为10万 m^3/d 的污水处理厂。该厂采用“预处理+A²O-A+MBR+消毒”处理工艺, 占地2.93 hm^2 , 建成通水用时仅88 d, 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, 运行成本为1.16元/ m^3 。该厂装配式建设方式、处理工艺及成本分析等可为大规模装配式污水处理厂的建设和运行提供参考。

关键词: 装配式污水处理厂; A²O-A工艺; 建设周期; 占地面积; 处理成本

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)04-0120-06

Construction and Operation of a Large-scale Prefabricated Municipal Wastewater Treatment Plant in Xining

PAN Hailong, ZENG Jun, SONG Ziheng

(Jiangsu Taiyuan Environmental Protection Technology Co. Ltd., Yixing 214266, China)

Abstract: To address the insufficient wastewater treatment capacity in Xining, a new municipal wastewater treatment plant with a capacity of 100 000 m^3/d has been constructed. This plant employs an advanced treatment process of pre-treatment + A²O-A + MBR + disinfection. It achieved commissioning in just 88 days, occupying only 2.93 hm^2 of land. The effluent quality meets the first level A standard specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002), with operation cost of 1.16 CNY/ m^3 . This paper provides a detailed analysis of its prefabricated construction methodology, wastewater treatment process, and cost, aiming to offer new insights for the construction and operation of large-scale prefabricated wastewater treatment plants.

Keywords: prefabricated municipal wastewater treatment plant; A²O-A process; construction period; land occupation; treatment cost

传统的污水处理厂建设模式,无论是提标改造还是新建,大都存在施工周期长、资源投入大、建设成本高、废弃物排放多、碳排放量大等问题,与可持续发展理念不符^[1]。因此,探索一种施工周期短、占地面积小、绿色节能、资源节约的污水处理系统,已成为未来污水处理领域的重要发展方向^[2]。

装配式污水处理厂采用模块化设计和预制构件,能够在工厂内完成大部分生产工作,现场仅需进行快速拼装^[3]。这种建设模式不仅大幅缩短了建设周期,还减少了现场施工时间和对周边环境的影响。

例如,北方某污水处理厂采用装配式技术,仅用29 d就建成通水,通水后7 d出水水质达到排放标准^[4]。在可持续发展方面,装配式污水处理厂的紧凑设计显著减少了占地面积,特别是在土地资源紧张的城市地区,能够有效利用有限的土地资源。例如,成都市某应急污水处理工程采用装配式工艺,占地9 000 m^2 ,处理水量为(2.5~3.0)万 m^3/d ^[5]。因此,通过优化工艺流程、提高建设效率、节约土地资源和降低运行成本,装配式污水处理厂在应对城市污水处理挑战方面具有推广价值。

对西宁某装配式污水处理厂(规模为10万m³/d)进行分析,全面探究大型装配式污水处理厂在市政污水处理中应用的可行性。首先剖析该装配式污水处理厂的模块化设计理念,探讨其如何通过标准化的预制构件和灵活的组装方式,实现快速高效的建设。其次,分析该厂的装配式建造过程,评估其在缩短建设周期、减少现场施工干扰以及提升施工质量方面的优势。此外,还考察了该厂的工艺流程,包括采用的污水处理技术及其在去除污染物、稳定出水水质方面的表现。最后,对该装配式污水处理厂的运营成本进行全面核算,包括电力和燃气消耗、药剂投加、污泥处理、设备维护以及人员管理等方面的成本,评估其在长期运行中的经济可行性。

1 项目概况

1.1 项目背景

① 政策背景

项目建设旨在落实国家《重点流域水生态环境保护规划》与《西宁市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》,推动减污降碳协同增效,合理布局污水处理厂,推进再生水循环利用,确保再生水利用率达到目标水平。西宁市某污水处理厂位于城东区湟水河以南,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002)的一级A标准,主要应用于农田浇灌、绿地灌溉等,契合政策要求,是区域水生态环境保护与城市可持续发展的关键举措。

② 现状背景

随着城市化进程的加快,预计2030年西宁市中心城区人口将达到200万人,污水排放量显著增加。目前,该地区的污水处理厂难以满足污水处理量增长的需求,存在一定的处理缺口。因此,决定新建一座处理规模为10万m³/d的污水处理厂,以填补缺口并满足未来发展的需求。

1.2 项目难点

该项目选址于城东区湟水河以南、湟乐公园以西,规划建设用地仅为39 551.36 m²,总工期仅90 d,且出水水质须达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。此外,由于该污水处理厂位于公园附近,施工时不允许扬尘、噪声、污水、土石方、建筑垃圾等对周围环境产生影响。

2 建设方案

2.1 方案对比

建设方案有两种:传统钢筋混凝土结构污水处理厂与新型装配式污水处理系统,从占地、建设周期和施工环境进行比较,具体见表1。结合实际情况,本项目采用装配式污水处理系统方案。

表1 装配式污水处理系统与传统钢筋混凝土结构污水处理厂的对比

Tab.1 Comparison between prefabricated municipal wastewater treatment system and traditional reinforced concrete wastewater treatment plant

项目	装配式污水处理系统	传统钢筋混凝土结构污水处理厂
占地	采用模块化设计理念,实现布局的极致紧凑与各处理单元的高度集成,不仅契合空间优化需求,还能显著提升土地利用效率	各处理单元之间需较大间隔,布局分散,现场施工需预留较大空间,土地利用率低
建设周期	采用标准模块化设计,主要通过工厂预制与现场组装完成。箱体连接采用螺栓栓接工艺,施工过程受外界因素干扰极小	以现场施工为主,受天气、人力以及材料供应等因素的影响较大,特别是低温环境对混凝土浇筑效果具有显著影响 ^[6]
施工环境	施工现场仅需配备起重机和吊机,作业过程简洁高效,无大量扬尘、噪声及废弃物排放,真正实现了绿色施工与环境友好,有效保障了周边居民和企业的正常生产生活秩序	现场环境复杂,土建工程和设备安装同步进行,噪声、粉尘和废水排放对生态环境和居民生活干扰大

2.2 装配式污水处理系统建设

2.2.1 设计与优化

在本项目中,装配式污水处理系统的设计与优化集中在提升流体动力学性能和结构效率,包括对箱体板进行精细化设计,精确计算波纹的深度、宽度及角度,确保流体在箱体内形成紊流流态,以此增强水、气、污泥的混合效率。同时,在功能池内部

设计多次翻腾及折流结构,有效降低流态惰性,提升布水及出水的均匀性。此外,箱体被设计成几个标准模块,这些模块可以根据实际需要进行组合和扩展,以适应不同的处理规模和场地条件。

2.2.2 制造与运输

根据生活废水和城市污水对材料的腐蚀性研究数据,304不锈钢材质的平均腐蚀速率为(2~6)×

$10^{-4} \text{ mm/a}^{[7-8]}$ 。为此,本项目选用304不锈钢为原料制造箱体,以确保耐蚀性和使用寿命。全自动生产线和模块化产品如图1所示。箱体制造过程中采用

高精度的激光自动切割、开孔与焊接技术,从而确保箱体制造的精度与质量。制造完成的模块可直接运输至现场进行装配,便捷高效。



图1 全自动生产线和模块化产品

Fig.1 Automatic production line and modular products

2.2.3 拼接与建设

施工场地土地平整作业完成后,进行二次水泥浇筑以完成底部连接件的安装。预制不锈钢箱体以共壁方式进行模块化拼接,利用高强度螺栓进行紧固连接,确保箱体结构的整体性和稳定性,实现土地节约,有效避免了高海拔地区复杂环境下焊接施工的不稳定性。由于现场只需进行模块的装配,因此仅需起重机和吊机即可完成建设作业。

2.2.4 碳减排效果

本项目所采用的装配式污水处理系统,通过模块化设计、智能制造、模块化运输以及螺栓连接等技术手段,可降低二氧化碳排放量。以处理量为1万 m^3/d 的污水处理厂为例,根据《温室气体、产品的碳排放量、量化和通信的要求和指南》(ISO/TS

14067:2013)、《产品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》(PAS 2050:2011)和《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》进行碳排放核算,结果表明装配式污水处理系统与传统钢筋混凝土结构污水处理厂相比,从原材料的开采炼制到最终装配完成共可实现碳减排75.4%。

3 污水处理系统

3.1 设计进、出水水质

参考邻近污水处理厂近一年进水监测数据(COD月均值为120~380 mg/L、SS月均值为350~500 mg/L、氨氮月均值为15~70 mg/L、总氮月均值为35~80 mg/L、总磷月均值为6~13 mg/L),考虑进水水质波动以及当地居民生活污水特征等因素,确定设计进、出水水质如表2所示。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

项目	COD/(mg/L)	BOD ₅ /(mg/L)	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	SS/(mg/L)	NH ₃ -N/(mg/L)	pH
进水水质	≤500	≤150	≤90	≤11	≤400	≤85	6~9
出水水质	≤50	≤6	≤15	≤0.5	≤10	≤5(8)	6~9

注: 括号外的数值为水温>12℃时的控制指标,括号内的数值为水温≤12℃时的控制指标。

3.2 工艺流程及系统设备

根据项目需求及污水处理目标,确定采用“预处理+A²O-A+膜生物反应器(MBR)+消毒”工艺。该工艺结合生物处理与膜分离技术,能够高效去除污水中的有机物、氨氮、总氮和总磷,确保出水水质稳定达到一级A标准及再生水利用标准。MBR技术通过高效固液分离,显著提升出水水质,同时具有污泥浓度高、耐冲击负荷、污泥产率低等优点,能够降低污泥处理成本。此外,该工艺采用模块化设

计,占地面积小,契合项目用地紧张的实际情况,环境友好,符合绿色施工要求,是实现设计目标的最优选择,具体流程如图2所示。

本项目进水BOD₅/COD≥0.3、BOD₅/TKN=1.7,可生化性较好,但是缺乏足够碳源,故需额外投加碳源以提高污水可生化性。污水经过循环齿耙式粗格栅过滤大尺寸污染物后,经提升泵输送至细格栅去除小尺寸污染物,随后进入旋流沉砂池去除较大砂粒和无机物后进入初沉池,进一步去除SS和其

他杂质,再经由膜格栅去除细微杂质后进入调蓄池。

调蓄池出水自流进入A²O-A设备进行生化处理。前端厌氧池、缺氧池和后端好氧段串联在一起,厌氧段溶解氧约为0,缺氧段溶解氧不大于0.5 mg/L,好氧段溶解氧为2~6 mg/L,生化池污泥浓度为9 g/L,污泥负荷为0.06 kgBOD₅/(kgMLSS·d)。

经过A²O-A池生化处理后的污水进入MBR。在膜池进水处投加PAC使其与污水充分混合后进入膜池。膜池中设有帘式MBR膜组件,通过抽吸水泵进行膜过滤出水,池内由风机供气,膜池内设混合液回流泵和排泥泵,污泥浓度达到12 g/L以上,污泥负荷较低。

进入膜池污水中的硝化细菌继续发挥硝化和脱氮作用,同时好氧微生物通过内源呼吸对有机物进行氧化分解达到降低COD的目的。浸没安装的MBR膜装置对泥水混合液进行过滤处理,进一步去除SS、大肠杆菌等。处理出水进入接触消毒池,通过次氯酸钠消毒后达标排放。

经MBR膜池处理后产生含水率为99.2%的剩余污泥,在污泥池中经过机械搅拌,污泥含水率降至98%,随后通过污泥泵将混合泥水排入污泥浓缩池,经浓缩后进入叠螺脱水机,同时投加一定比例的PAM进行污泥脱水,含水率降至80%以下后入库由专人回收。

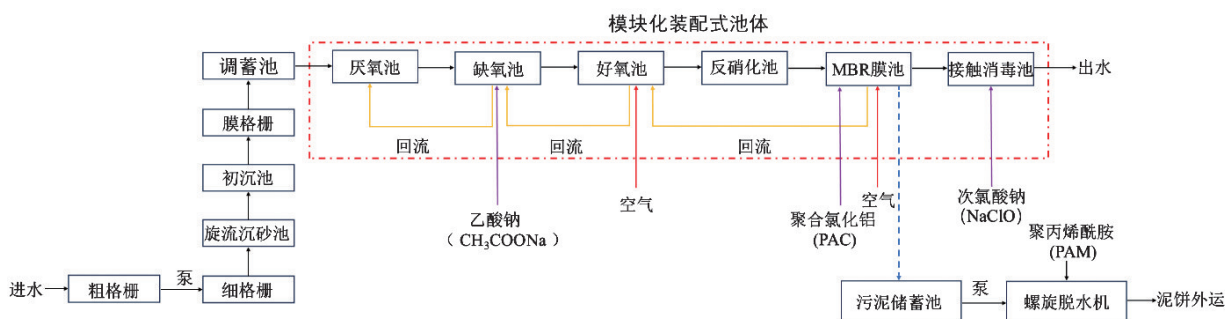


图2 污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of sewage treatment process

3.2.1 预处理系统

预处理系统包括粗细格栅、提升泵房、旋流沉砂池、初沉池和调蓄池等设施。进水渠道3条,单条渠道宽度1.5 m,共设置6台潜污泵(4用2备),单台泵流量1 253 m³/h、扬程17 m、功率90 kW;粗、细格栅进水均按照5万 m³/d设计,过栅流速均为0.6 m/s,设粗格栅3台,单台扬程为2.5 m,栅条间隙为20 mm,功率为1.5 kW;设细格栅2台,单台扬程为3.5 m,栅条间隙为5 mm,功率为1.5 kW;旋流沉砂池的设计流量为2万 m³/d,其搅拌机转速约16 r/min,配备5台处理量为15~20 L/s的砂水分离器和6台流量为1.71 m³/min的气提风机(5用1冷备);初沉池采用平流式,配备刮泥机和污泥泵各4台。调蓄池容积为1.2万 m³,配有7台潜水排污泵(5用2备)和10台潜水搅拌机。

3.2.2 生化系统

生化系统依次由厌氧池、缺氧池、好氧池、反硝化池和MBR膜池组成,池体均由SUS304不锈钢板拼接而成,生化系统共分5组,每组按照2万 m³/d设计,每组生化系统中厌氧池、缺氧池、好氧池、反硝

化池和MBR膜池按多序列布置。

单组厌氧池容积为1 296 m³,水力停留时间为1.55 h,配20台功率为2.5 kW、转速为480 r/min的潜水搅拌机;单组缺氧池容积为5 010 m³,水力停留时间为6.12 h,配80台潜水搅拌机和12台回流泵(10用2冷备),回流泵流量为600 m³/h、功率为22 kW,缺氧池至厌氧池回流比为100%;单组好氧池容积为7 516 m³,水力停留时间为9.02 h,配管式曝气和回流泵12台(10用2冷备),回流泵流量为600 L/s、功率为10 kW,好氧池至缺氧池回流比为500%;单组反硝化池的容积为1 252 m³,水力停留时间为1.5 h;单组MBR膜池容积为1 400 m³,水力停留时间为1.7 h,共配纤维膜组200套,总膜面积达到28万 m²,膜池至好氧池回流比为500%。

3.2.3 消毒系统

接触消毒池容积为2 160 m³,水力停留时间为0.54 h,采用次氯酸钠进行消毒,加药装置包含10 m³的溶剂储罐和4套计量泵,单泵流量500 L/h、扬程70 m、功率0.37 kW。

3.2.4 污泥处理系统

污泥处理系统由污泥储蓄池和污泥脱水间组成。污泥储蓄池分4格,单格尺寸为20.0 m×5.4 m×5.4 m,污泥停留时间为24 h,配备8台潜水搅拌机,单台功率为5 kW;污泥脱水间尺寸为35.0 m×9.0 m×8.9 m,配备6台叠螺污泥脱水机,单台功率为7.5 kW。

3.3 主要建(构)筑物清单

主要建(构)筑物清单如表3所示。

表3 主要建(构)筑物清单

Tab.3 List of main buildings and structures

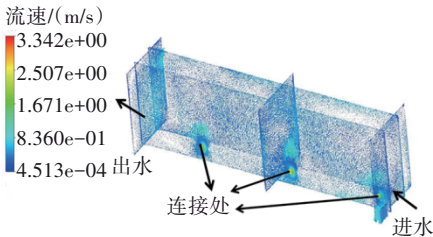
项目	尺寸	结构形式	数量/座
预处理间	270 m ²	钢	5
污泥脱水间	315 m ²	钢	1
膜设备间	3 768 m ²	钢	3
风机房	280 m ²	钢	1
配电间及控制室	315 m ²	钢	1
加药间及药库	210 m ²	钢	1
粗格栅及提升泵房	200 m ²	钢	1
格栅渠	140 m ³	钢筋混凝土	1
池体基础	15 012.60 m ²	钢筋混凝土	1
除臭设计基础	70 m ²	钢筋混凝土	2



a. 箱体内部结构



b. 箱体内水流情况



c. 箱体内水流速度分布

图3 箱体内部结构及污水流动情况

Fig.3 Internal structure of the container and sewage flow conditions

4.2 处理效果分析

本项目出水指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。实际进、出水水质如表4所示。

表4 实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality

项目	COD/ (mg/L)	TN/ (mg/L)	TP/ (mg/L)	SS/ (mg/L)	NH ₃ -N/ (mg/L)	pH
进水	355.4	55.3	7.0	644.8	37.7	7.7
出水	14.4	12.1	0.3	0.4	0.8	7.4

注: 对 COD、TN、TP、SS、NH₃-N 的去除率分别为 95.95%、78.68%、95.71%、99.38%、97.90%。

5 经济分析

运行成本分析见表5。

4 运行效果分析

4.1 污水流态

装配式污水处理系统具有节约占地等优势的关键是在有限的空间内实现污水流态的控制。污水进入箱体后,与箱体的波纹板和独特的内部结构不断碰撞、翻腾和折流,增强了水、气、污泥的混合效率。污水在箱体内部始终呈紊流流态,有效降低了流态惰性,提升了布水及出水的均匀性。建设完成之后,借助流体力学软件仿真模拟箱体内部污水的流态。

图3展示了箱体的内部结构以及流体的速度分布情况,可以观察到流体在2个串联的矩形通道中的流动特性。2个结构的连接处流速显著增加,这是由于流体通过收缩截面时流速加快,符合流体连续性原理。在结构内部流速分布整体均匀,而在折流和内部拉杆处,由于结构的几何变化和内部障碍物的存在,流速发生变化,实现了无额外搅拌器情况下污水高效流动与混合。通过计算流体力学(CFD)模拟验证了箱体设计的有效性,对于理解箱体内部的流体流动行为具有重要意义,也为后续箱体的优化提供了重要参考。

表5 运行成本分析

Tab.5 Operation cost analysis

项目	年均费用/(万元/a)	运行成本/(元/m ³)
电	1 276.29	0.349 7
水	77.66	0.018 3
燃气	29.44	0.008 1
污泥处置	730	0.200 0
人工	423	0.115 9
修理维护	649.07	0.177 8
乙酸钠	572	0.156 7
PAC	306	0.083 8
PAM	146	0.040 1
次氯酸钠	21.9	0.006 0

本工程总投资为85 775.74万元,其中工程费

用为64 607.19万元。综合电费、燃气费、药剂费、人工费、污泥处置费和日常修理维护费等项目,计算运行成本为1.16元/m³,比全国88座执行一级A标准的污水处理厂平均处理成本^[9]低1.79元/m³。

6 结论

西宁市某污水处理厂(规模为10万m³/d)采用装配式建设方案、预处理+A²O-A+MBR+消毒工艺,占地仅为2.93hm²,在88d工期内建成通水,处理后的水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,运行成本仅为1.16元/m³。该项目为大型装配式污水处理厂的建设及运行提供了参考案例。

参考文献:

- [1] 兰剑,闫东杰,王永平,等.污水处理厂提标改造对碳排放的影响[J].环境科学,2025,46(11):6863-6869.
LAN J, YAN D J, WANG Y P, et al. Effect of upgrading wastewater treatment plants on carbon emissions [J]. Environmental Science, 2025, 46(11): 6863-6869(in Chinese).
- [2] 陈秀娟,黄青飞,余经纬.装配式工艺在污水处理厂中的应用[J].供水技术,2025,19(2):38-42.
CHEN X J, HUANG Q F, YU J W. Application of prefabricated process in sewage treatment plant [J]. Water Technology, 2025, 19(2):38-42(in Chinese).
- [3] 宋文清,张岩.装配式污水处理站在应急处理工程中的应用[J].城市道桥与防洪,2023(12):108-110, M0012, M0013.
SONG W Q, ZHANG Y. Application of prefabricated sewage treatment station in emergency treatment engineering [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2023(12):108-110, M0012, M0013(in Chinese).
- [4] 高彦博,杨忠启,周家中,等.BFM装配式用于占地受限型污水处理工程设计[J].中国给水排水,2023,39(2):46-51.
GAO Y B, YANG Z Q, ZHOU J Z, et al. Application of BFM fabricated structure in the design of land limited wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(2):46-51(in Chinese).
- [5] 熊超,胡练伟.装配式“A/O+磁混凝沉淀”工艺在城市溢流污水处理工程中的应用;以成都市某应急污水处理工程为例[J].四川环境,2022,41(4):252-259.
XIONG C, HU L W. Application of assembled “A/O + magnetic coagulation and precipitation” process in urban overflow wastewater treatment plant; take an emergency sewage treatment project in Chengdu as an example [J]. Sichuan Environment, 2022, 41(4): 252-259 (in Chinese).
- [6] 张占宇,李岩,陆云涛.低温施工对混凝土性质影响综述[J].科技创新与应用,2022,12(30):165-168.
ZHANG Z Y, LI Y, LU Y T. A review on the influence of low-temperature construction on concrete properties [J]. Technology Innovation and Application, 2022, 12(30):165-168(in Chinese).
- [7] 张淑展.城市污水厂出水中有机物对冷却水系统中金属腐蚀的作用[D].新乡:河南师范大学,2018.
ZHANG S Z. The Effect of Organic Matter in Urban Sewage Treatment Plant Effluent on Metal Corrosion in Cooling Water Systems [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2018 (in Chinese).
- [8] 刘国伟,应琦琰,邹婷,等.不锈钢在水处理设备中的应用及其酸洗废水处理工艺[J].净水技术,2021,40(4):96-100,148.
LIU G W, YING Q Y, ZOU T, et al. Application of stainless steel in water treatment facilities and the process of pickling wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):96-100,148 (in Chinese).
- [9] 谭雪,石磊,陈卓琨,等.基于全国227个样本的城镇污水处理厂治理全成本分析[J].给水排水,2015,41(5):30-34.
TAN X, SHI L, CHEN Z K, et al. Cost analysis of the municipal wastewater treatment plant operation based on 227 samples in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(5):30-34 (in Chinese).

作者简介:潘海龙(1971—),男,江苏宜兴人,大学本科,高级工程师,主要研究方向为环保水处理工程装备、装配式污水(净水)处理装备。

E-mail: phl@jiangsutaiyuan.com

收稿日期:2025-08-21

修回日期:2025-10-08

(编辑:衣春敏)