

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2026. 02. 008

大型污水处理厂MBR膜设备间设计新思路

简德武, 孙巍, 刘向荣, 张文胜

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: MBR因其工艺需要,膜设备间内管路复杂拥挤,且需通过过量曝气控制膜污染,施工难度大,运行能耗高。针对大型污水处理厂MBR膜设备间在传统设计中存在的问题,提出一种节能降噪的设计新思路,将传统架空布置的管道改为下沉至管廊内敷设,并回填隔热渗透材料。该方案有效降低了管道施工安装难度及建设成本,保证了管道安装质量,消除了因管道振动产生的噪声,同时降低了膜设备间环境温度,减少了降温能耗。该创新设计已在北湖污水处理厂项目中得到实际应用,并取得显著成效,具有推广应用价值。

关键词: MBR膜设备间; 大型污水处理厂; 节能降噪

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)02-0054-04

Novel Design Concept for MBR Membrane Equipment Room in Large-scale Sewage Treatment Plants

JIAN Dewu, SUN Wei, LIU Xiangrong, ZHANG Wensheng

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: Due to its operational principle, the MBR process involves complex and crowded piping within the membrane equipment room, requires excessive aeration to control membrane fouling, and leads to high construction difficulties as well as elevated operational energy consumption. By summarizing and analyzing the problems existing in the construction and operation of MBR membrane equipment room in large-scale sewage treatment plants when traditional design is adopted, a novel design concept for energy-saving and noise-reduction is proposed. The traditional overhead arrangement of pipelines in the membrane equipment room is innovatively arranged by sinking them into the pipe gallery and backfilling with insulation and permeable materials. The scheme effectively reduces the difficulty and construction cost of pipeline installation while ensuring its quality. It also mitigates vibration-induced noise, lowers the ambient temperature in the membrane equipment room, and reduces the energy consumption required for cooling. This innovative design has been successfully implemented in Beihu sewage treatment plant, delivering remarkable results, which can demonstrate significant potential for broader application.

Keywords: MBR membrane equipment room; large-scale sewage treatment plant; energy-saving and noise-reduction

MBR工艺是将膜分离技术与传统活性污泥生物处理工艺有机结合的高效污水处理技术,以膜组件取代活性污泥法后端二沉池的固液分离功能,可显著提高出水水质和工艺的稳定性,同时通过膜的

截留作用延长难降解物质的水力停留时间,提高系统对难降解物质的去除效果。MBR将生物池、膜池、膜设备间等合建,具有构筑物及设备布置紧凑、占地少、出水优质稳定等优点,是目前最有前途的废水处理新技术之一^[1-2]。

近年来,随着我国城镇污水处理排放标准日益严格以及土地资源日趋紧张,MBR工艺凭借其独特优势,在新建、扩建及提标改造的城镇污水处理厂中得到广泛应用,尤其在地下式污水处理厂中占比最高。然而,在高排放标准要求下,采用MBR工艺的污水处理厂仍面临运营成本偏高、管道支架数量繁多、膜设备间布局拥挤、运维难度大等关键问题^[3-4]。在北湖污水处理厂的膜车间设计中,通过应用MBR膜设备间管道减振降耗技术,显著降低了管道及支架的安装难度与建设成本,释放了原架空管道占用的运维空间,并有效减少了膜车间的散热能耗,具有推广应用价值。

1 MBR膜设备间传统设计及存在的问题

MBR膜设备间内集成产水、供气及反洗等相关设备及管道,是确保膜系统稳定运行的核心单元。其中,供气管道负责输送膜擦洗所需气体,保障其正常功能;产水管道则用于收集膜过滤后的清水并输送至后续处理单元,维持系统连续运行。二者作为膜系统的主要工作通道,在设计中需重点考虑,且其布局占据了膜设备间的大部分空间。

在既有设计中,MBR膜设备间的工作管道普遍采用管架式敷设,具体如图1所示。

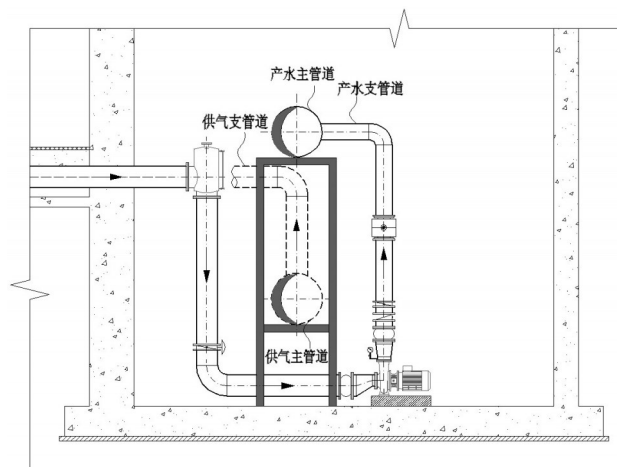


图1 MBR膜设备间管道现有架空设计示意

Fig.1 Schematic design of existing overhead pipelines in MBR membrane equipment room

然而,随着处理规模的扩大,传统设计在管道布局与空间利用方面的局限性日益凸显。以单组处理规模为10万 m^3/d 的MBR膜设备间为例,其产水与供气主管道直径均达1200mm,长度达90m,所需管道支架数量多,占用空间大。梳理现有设计在实际应用中存在的问题,主要归纳为以下几点:

① 管道支架工程量大,且对安装水平度要求严格。特别是主产水管道,由于其管径大、长度长,对支架各支撑点的水平度控制要求极高。若安装水平度不足,将导致实际支撑点数量减少、管道有效跨度显著增加,进而引发管体开裂或结构损伤。

② 管道系统稳定性差。膜池产水通过负压抽吸实现,在抽吸过程中易混入气体,若气水分离不充分,将引发水击现象。此外,产水主管道采用的架空布置方式存在天然结构稳定性缺陷,进一步加剧了管道的振动。

③ 噪声大。由于管道安装在管架上,尤其是主供气管道的振动,会引发膜设备间噪声水平显著升高。

④ 供气管道散热量大。南方夏秋季室外气温较高(可达40℃以上),管道在输送空气的同时持续向周围环境释放热量,导致膜设备间温度升高,工作环境差,严重时可能引发某些设备停机,影响MBR系统的稳定性。为解决这一问题,需额外配置制冷空调系统,会增加能耗及成本。

⑤ 运维检修空间受限,美观性差。供气及产水两条主要管道采用架空敷设方式,加之密集的管道支架系统,导致膜设备间内部空间拥挤,不仅增加了日常维护与检修操作的难度,而且在视觉上造成压抑感。

2 设计新思路的提出

针对大规模MBR膜设备间在实际应用中存在的问题,为突破传统设计局限,从设计源头实现降本增效,提出了管道减振降耗技术,将膜设备间内最为主要的供气与产水主管道由传统架空方式改为下沉至管廊内敷设,从根本上消除架空管道对大量支架及高水准水平度安装技术的依赖,有效解决管道振动问题,同时释放地面操作空间,便于运维检修。为进一步提升系统稳定性,在产水泵出水管道最高点设置排气阀。此外,在管廊内回填隔热渗透材料,既可以控制供气管道向外散热,又具备透

水性,从而解决设备间排水问题。

此次设计主要涉及管廊、供气和产水主管道,以及供气和产水支管道。其中,供气和产水主管道沿管廊长度延伸方向敷设于其内部,管道外壁与管廊内壁之间预留一定间隔,形成隔热减振空间,内部填充隔热渗透材料。此外,在产水支管道最高点设置排气阀。

将主管道布置于地下,有效释放了室内空间。采用隔热渗透材料包裹管道,显著减少了管道向周围环境散发的热量。同时,借助排气阀及时排出产水支管道中混入的气体,有效抑制水击现象,从而提高管道系统的运行可靠性。管道减振降耗技术的具体实施方式如图2所示。

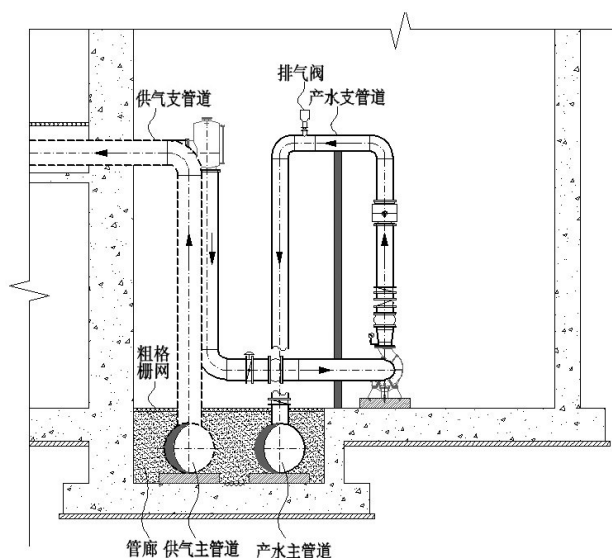


图2 MBR膜设备间管道减振降耗技术示意

Fig.2 Pipeline vibration reduction and consumption reduction technology schematic of MBR membrane equipment room

3 应用案例及效果

MBR膜设备间管道减振降耗技术已在多项工程设计中成功应用,其中北湖污水处理厂项目的实施效果尤为显著。该厂位于湖北省武汉市青山区,近期建设规模为80万 m^3/d ,其中40万 m^3/d 采用MBR膜工艺。全厂共设置2组膜池,单组设计规模为20万 m^3/d 。

北湖污水处理厂MBR膜池平面布置见图3,膜设备间实景图见图4。

管道减振降耗技术在该厂的MBR膜设备间中得到了全面应用,并取得以下主要成效:

① 节约建设成本,降低施工难度。通过取消架空管道所需的支架系统,不仅节省约90%的支架建设成本,而且免除了对管道高标准水平度安装的要求。

② 管道稳定性显著提升。管道在管廊内贴地敷设于中粗砂垫层上,结构更为稳固,具有良好的减振性能。同时,该技术有效消除了水击危害,进一步提高了产水系统的运行稳定性。

③ 噪声控制效果明显。与传统管架布置方式相比,膜设备间噪声水平大幅降低,实测噪声值 $\leq 45\text{ dB}$,降噪幅度达40%~55%。

④ 散热减少与能耗降低。管道下沉布置显著抑制了供气管道在夏季的散热强度,散热量减少312~950 kJ,通风散热设备的能耗相应节约80%~90%。

⑤ 空间释放与运维便利性增强。将供气与产水主管道由架空改为下沉布置,释放了膜车间的室内空间,视觉环境更为整洁,同时为运行维护提供了更大便利。

值得注意的是,该技术的应用也带来了其他建设成本的增加。由于将产水及供气主管道下沉敷设于管廊内,相应提高了管廊部分的土建投资。然而,相较于该技术所带来的运行工况稳定、长期能耗下降、噪声显著改善等综合效益,其在全生命周期内的经济性与技术优势仍然显著,具备较高的推广应用价值。

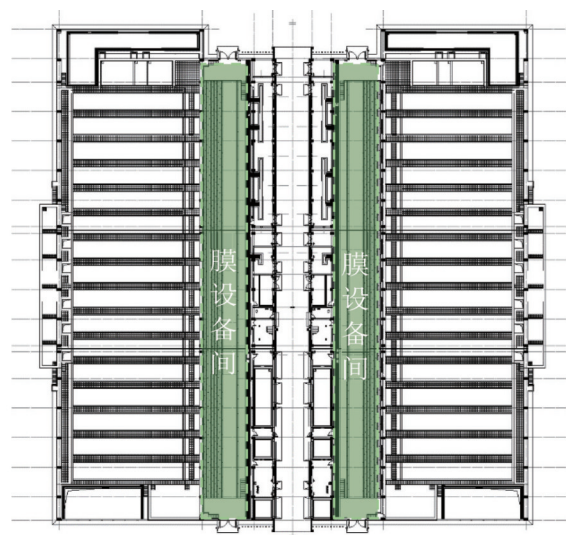


图3 北湖污水处理厂MBR膜池平面布置示意

Fig.3 Schematic layout plan of MBR membrane tank in Beihu sewage treatment plant



图4 北湖污水处理厂MBR膜设备间实景

Fig.4 Realistic view of MBR membrane equipment room in Beihu sewage treatment plant

4 结论

MBR膜设备间管道减振降耗技术通过结构简化的方式,显著降低了施工与安装难度,将传统架空布置的管道改为下沉至管廊内敷设,并回填隔热渗透材料,在有效节约管道支架建设成本的同时,保证了管道安装质量,提高了管道系统的运行稳定性,并实现了噪声与能耗的同步降低。该技术从设计源头满足了MBR工艺在降本增效与运维简化方面的核心需求。

该技术已在北湖污水处理厂规模为40万 m^3/d 的MBR膜设备间中成功应用,并取得显著成效,为今后大型污水处理厂MBR膜设备间的设计优化提供了重要实践参考,具备推广应用价值。

参考文献:

- [1] 李易寰,董玉明,高芳. AAOA-MBR工艺在污水厂提标扩建中的应用[J]. 中国给水排水, 2022, 38(18): 114-119.
LI Y H, DONG Y M, GAO F. Application of AAOA-MBR process in sewage treatment plant upgrading and expansion [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(18): 114-119(in Chinese).
- [2] 鲍任兵,马民,徐健,等. AAO及改良型工艺耦合MBR工艺应用研究综述[J]. 净水技术, 2022, 41(3): 26-31, 62.
BAO R B, MA M, XU J, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3): 26-31, 62(in Chinese).
- [3] 刘向荣,简德武,简爽. 高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 19-25.
LIU X R, JIAN D W, JIAN S. Discussion on the upgrading of municipal wastewater treatment plant under high emission standard [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 19-25(in Chinese).
- [4] 郝晓地,陈峤,李季,等. MBR工艺全球应用现状及趋势分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(20): 7-12.
HAO X D, CHEN Q, LI J, et al. Status and trend of MBR process application in the world [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(20): 7-12(in Chinese).

作者简介:简德武(1965—),男,湖北安陆人,硕士,教授级高级工程师,主要从事水务与环保工程设计研究与数字化创新工作。

E-mail: 1070559030@qq.com

收稿日期:2023-12-27

修回日期:2025-08-21

(编辑:沈靖怡)