

泵站节能优化设计对市政排水效率的提升研究

高卓卓

石家庄市排水管护中心, 河北 石家庄 050000

[摘要] 通过优化泵站的布局设计、设备选型以及运行控制策略, 全面提升市政排水系统的运行效率和节能效果。结合先进的数值模拟技术和现场测试数据, 分析泵站运行过程中的能耗特点和优化空间, 提出高效水力结构与智能控制系统的综合应用方案。在实际应用中, 通过引入变频调速技术和实时监控系统, 实现排水量动态调节与能耗的显著降低。优化设计显著提升了市政排水系统的运行稳定性和突发排水能力, 为城市排水管理的智能化和可持续发展提供了重要技术支撑。

[关键词] 泵站优化设计; 节能技术; 市政排水; 变频调速; 智能控制

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14794

中图分类号: TV675

文献标识码: A

Research on the Improvement of Municipal Drainage Efficiency through Energy-saving Optimization Design of Pumping Stations

GAO Zhuozhuo

Shijiazhuang Drainage and Protection Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: By optimizing the layout design, equipment selection, and operation control strategy of pumping stations, the operational efficiency and energy-saving effect of municipal drainage systems are comprehensively improved. By combining advanced numerical simulation technology and on-site testing data, analyze the energy consumption characteristics and optimization space during the operation of the pump station, and propose a comprehensive application plan for efficient hydraulic structure design and intelligent control system. In practical applications, by introducing variable frequency speed regulation technology and real-time monitoring systems, dynamic adjustment of drainage volume and significant reduction of energy consumption can be achieved. The optimized design significantly improves the operational stability and emergency drainage capacity of the municipal drainage system, providing important technical support for the intelligent and sustainable development of urban drainage management.

Keywords: optimization design of pumping stations; energy-saving technology; municipal drainage; variable frequency speed regulation; intelligent control

市政排水系统是保障城市运行和生态环境的重要基础设施, 泵站作为其核心组成部分, 在应对高峰排水需求和节能减排目标中扮演着关键角色。然而, 传统泵站设计往往存在能耗高、运行效率低的问题, 难以满足现代城市对高效、智能排水的需求。随着新技术的不断发展, 优化泵站设计已成为提高排水效率和实现节能的重要途径。通过合理布局、引入先进设备以及优化运行策略, 不仅能降低能耗, 还能有效应对城市内涝等突发状况, 为市政排水系统的可持续发展提供强有力的技术支持。

1 泵站节能优化设计的技术原理与方法

1.1 优化水力结构设计

水力结构设计是影响泵站运行效率的核心因素。通过改进进水池、泵房以及出水管道的的设计, 可以有效减少水流紊动和能量损失。采用数值模拟技术对水力条件进行精确分析, 优化水流路径, 确保水流稳定性, 降低水力损失。例如, 在进水池设计中引入导流板或消能装置, 可以有效减小水流冲击, 提升泵站整体运行效率。

1.2 设备选型与优化

泵站设备选型直接关系到能耗水平和排水能力。在节

能优化设计中, 选用高效节能水泵及电机, 并结合实际排水需求, 合理配置设备的规格和数量。针对不同排水负荷, 优先选择具备高效能曲线的泵型, 避免因超负荷或低负荷运行导致的能源浪费。此外, 采用变频调速技术实现设备的灵活调节, 有助于降低电力消耗并延长设备使用寿命。

1.3 智能控制系统的应用

智能控制系统的引入使泵站的运行更加精准高效。通过实时监测排水流量、液位和能耗数据, 智能控制系统能够动态调整泵站运行参数, 优化设备启动和运行时间。集成物联网技术与大数据分析功能, 可实现多泵协调运行, 避免设备过载或闲置, 进一步提升能源利用效率。

1.4 节能优化设计的综合实施策略

节能优化设计需要结合技术与管理手段的综合实施。通过实施分区排水、分时调节策略, 均衡泵站的工作负荷, 减小能源浪费。在建设阶段, 严格把控施工质量, 确保泵站设计与实际运行条件高度契合。此外, 定期开展能耗评估和运行状态诊断, 及时调整运行策略, 确保节能效果的持续提升。

合理运用上述技术和方法, 不仅可以显著降低泵站能

耗,还能够全面提升市政排水系统的运行可靠性和适应性。

2 市政排水系统中泵站运行现状与问题分析

2.1 现有泵站运行模式概述

目前,市政排水系统中的泵站多采用传统固定运行模式,运行参数和设备配置通常以设计流量为基准。然而,由于实际排水需求的动态变化,泵站在高负荷和低负荷状态下的能耗水平普遍较高,造成能源浪费。同时,在突发强降雨或洪水情况下,部分泵站难以及时应对,运行效率受到严重限制。

2.2 能耗问题与节能潜力

泵站运行中的能耗问题是现有系统的一大痛点。一方面,水泵和电机效率受设备老化、运行工况偏离设计值等因素影响而显著降低;另一方面,缺乏变频调速技术的传统泵站设备在低负荷运行时能耗明显增加。此外,水流紊动、管道阻力过大等水力因素也加剧了能源损耗。研究表明,优化设备性能和运行策略具有显著的节能潜力,可以将能耗降低 10%至 30%。

2.3 水力设计与运行问题

当前部分泵站的水力结构设计存在不合理之处,例如进水池布局不科学、流速分布不均匀等问题。这些缺陷导致水流紊动和能量损失增加,严重影响泵站运行效率。尤其是在暴雨季节,高流量的紊动水流会进一步加剧泵站设备的磨损。此外,泵站内的排水设备与管道系统的匹配性不足,也限制了整体运行效能的提升。

2.4 智能化水平不足

尽管近年来一些泵站开始引入自动化控制系统,但总体而言,市政排水系统的智能化水平仍显不足。一些泵站缺乏实时监控和数据采集功能,无法对排水流量、能耗水平及设备状态进行精确监测和分析。这不仅增加了管理难度,还导致运行策略难以及时调整,从而进一步限制泵站的节能效果和运行稳定性。

2.5 应急能力与运行管理问题

在极端天气条件下,部分泵站的应急排水能力不足成为亟待解决的问题。由于设备老化、设计标准滞后以及管理机制不完善,现有泵站难以快速响应大规模排水需求。此外,缺乏系统化的运行维护管理和能耗评估手段,也使得泵站的长期稳定运行受到制约。

通过深入分析这些问题,可以为后续优化设计和技术改进提供明确方向,推动市政排水系统实现更高效、节能的运行模式。

3 节能优化设计在市政排水效率提升中的实践应用

3.1 水力优化技术在泵站设计中的应用

水力优化技术是提升泵站效率和稳定性的重要手段。通过优化泵站的水力设计,可以显著减少能量损失并提高运行效率。在实际项目中,采用数值模拟技术对水流进行全面分析,特别是在泵站进水池、泵房和出水管道的结构

设计上,能够显著提高水流的平稳性。例如,某市政泵站项目通过对进水池内水流进行数值模拟,优化了导流板的布置和消能装置的尺寸,从而有效减少了水流的紊动和涡流现象,降低了水流对泵体的冲击,避免了不必要的能量损耗。此外,在泵站的出水管道上采用了流速调节装置,能够根据实际排水需求调节水流速度,避免了泵站设备的过载运行,提高了整体运行效率。这些水力优化措施显著提升了水力系统的稳定性与运行效率,为市政排水系统的高效运行奠定了坚实基础。

3.2 变频调速技术的引入与应用

变频调速技术是实现泵站节能的关键技术之一,能够根据排水需求动态调整水泵的运行频率,优化能效并延长设备使用寿命。某市泵站通过安装变频器,在排水需求低时能够调低水泵的运行频率,从而有效减少能耗。例如,在排水高峰期,变频器能够自动增加水泵的运行频率以满足需求,而在非高峰时段,变频器则降低频率,从而避免了能量的浪费。变频调速技术还可减少泵站设备的启动冲击,降低机械部件的磨损,进一步延长设备的使用寿命。实际应用表明,通过变频技术改造,某泵站的年能耗降低了 20%以上,显著提升了节能效果。

3.3 智能监控系统的实施与成效

智能监控系统在泵站中的应用,使得泵站管理更加科学和灵活。通过部署物联网传感器和实时监控设备,泵站能够全面采集流量、液位、能耗和设备状态等数据,并通过大数据分析平台进行处理。这些数据帮助优化泵站运行参数,提高运行效率,预测设备故障,并制定预防性维护计划。在某试点泵站项目中,智能监控系统通过实时数据采集和分析,使得泵站能够实现远程管理与自动化调节,确保了多泵系统的高效运行。具体来说,智能系统能够根据实时排水情况调节泵速,并在发现设备异常时自动发出警报,从而避免了设备故障造成的停运和能量浪费。该系统的实施大幅提升了排水效率,减少了非必要的能源消耗。

3.4 综合节能优化策略的实践经验

为实现全面的节能目标,泵站的节能优化设计不仅需要技术手段,还需加强管理措施的落实。某市政项目结合水力优化设计、变频调速、智能监控等多种技术手段,通过设备的合理选型和智能化系统的应用,降低了整体能耗。同时,在管理上,通过加强设备的日常维护和运行参数的监控,确保了泵站在不同排水需求下的高效运行。例如,该项目通过实施分区排水和分时调度策略,有效平衡了各区域泵站的工作负荷,减小了高峰时段的能耗压力,并通过节能评估体系定期分析泵站的运行数据,为后续优化措施提供了依据。这一综合性节能策略的成功实施,不仅提升了泵站的节能效果,也为市政排水系统的可持续运行提供了宝贵经验。

节能优化设计的多方面实践应用,不仅提高了市政排水效率,还显著减少了能源浪费,为实现绿色低碳的城市

发展目标奠定了基础。

4 泵站节能优化设计对市政排水可持续发展的影响

4.1 提高排水系统运行效率

泵站节能优化设计通过技术创新显著提升了市政排水系统的运行效率。优化的水力设计减少了能量损失,设备运行效率得以充分发挥。例如,在排水负荷高峰期,优化设计能够确保水流畅通,避免堵塞和设备过载现象。在低负荷时,通过变频调速技术合理调节水泵运行频率,减少不必要的能耗。这种灵活高效的运行模式不仅降低了能源浪费,还提升了排水系统的可靠性,确保城市排水需求在各种工况下都能高效满足。

4.2 推动节能减排目标实现

泵站作为市政排水系统中的重要组成部分,常常承担着大量的能耗,因此其节能优化设计对于实现节能减排目标至关重要。通过选用高效能水泵、引入变频调速技术和智能控制系统,泵站的能耗可以得到显著降低,同时温室气体排放也能够减少。

以某市泵站节能改造项目为例,该项目通过全面升级水泵设备、引入变频器控制水泵运行频率,并采用智能监控系统对泵站运行进行实时监控和调整。传统的泵站运行模式通常存在设备过载运行和低效运行的情况,而通过引入变频调速技术,泵站能够根据实际排水需求动态调节水泵的运行速度,避免了能量的浪费。此外,智能监控系统通过对水流、液位、能耗等数据的实时采集和分析,使得泵站能够精准调节工作负荷,从而减少了过度运行的现象。这一系列优化措施实施后,该泵站年均能耗降低了 25%,相应的二氧化碳排放量减少了数百吨。

4.3 增强城市应急排水能力

泵站的节能优化设计不仅提升了日常运行效率,还显著增强了城市在面对极端天气和突发排水需求时的应急能力。在极端降雨等突发情况下,泵站能迅速做出响应,确保排水系统的畅通。智能监控系统通过实时采集雨水量、排水负荷和设备运行状态等关键数据,结合先进的预测模型,能够提前预测可能的排水压力,并通过自动化调度优化泵站设备的运行。这种系统能在降雨集中时迅速增加泵站的排水能力,防止因设备响应不及时导致的城市内涝问题。

此外,合理配置多泵协调运行方案及备用设备,提高了泵站的容错性和应急能力。在发生设备故障或排水需求剧增的情况下,备用设备可以迅速投入使用,确保排水系统不中断,最大程度地减少极端天气带来的影响。例如,某市通过实施多泵并联运行和动态调整策略,在强降雨期间成功避免了多次城市内涝事件的发生。

4.4 支撑市政排水系统的可持续发展

可持续发展要求市政排水系统不仅要满足当前的排

水需求,还要为未来的发展留足空间。泵站节能优化设计正是实现这一目标的关键途径。通过提升技术水平,如水力优化设计、变频调速技术和智能监控系统的应用,泵站能够更加高效地运行,从而显著降低能源消耗和运营成本。这使得更多的财政资源能够用于排水系统的升级和扩建,确保系统的长期可持续性。

另一方面,智能化管理和实时监控手段能够提供详尽的数据支持,帮助运营者实时监测和分析泵站的运行状况,及时发现问题并进行调整,为后续系统的优化积累了宝贵经验。节能优化设计不仅提升了泵站的运行效率,还促进了环保理念的深度融入,推动了绿色发展的实践,为社会树立了市政工程领域的示范效应,展示了如何在满足当前需求的同时,为未来发展创造更大的潜力。

通过泵站节能优化设计,市政排水系统不仅在能效和可靠性上得到显著提升,更在低碳发展、应急能力和未来扩展性等方面表现出重要价值。这种多维度的影响为市政排水系统的长期稳定运行和可持续发展提供了重要保障。

5 结束语

泵站节能优化设计在提升市政排水效率和推动可持续发展中具有重要意义。通过水力优化设计、变频调速技术和智能监控系统的综合应用,不仅显著降低了能源消耗,提高了排水系统的运行效率,还增强了城市应对极端天气的能力。在实际应用中,节能优化设计帮助减少了温室气体排放,降低了运营成本,为市政排水系统的绿色转型提供了技术支撑。同时,优化设计推动了城市排水系统的现代化和智能化,为未来扩展和升级提供了坚实基础。未来,应进一步结合新兴技术与管理策略,在更广范围内推广泵站节能优化设计,为实现城市低碳发展和水资源可持续利用贡献更多力量。

【参考文献】

- [1] 付小莉,郁片红,李君茜.城镇排水泵站进水水道水力优化设计试验研究[J].中国给水排水,2023,39(1):99-104.
 - [2] 沈强儒,张建国,曹慧,等.农村小型泵站系统节能优化设计关键技术综述[J].水利科技与经济,2022,28(3):1-6.
 - [3] 刘庆,邹鲁,江琴.石家庄地下轨道交通2号线给排水及消防案例优化设计[J].给水排水,2023,59(5):116-121.
 - [4] 张家伦.工业企业供水管网系统节能技术研究[D].沈阳:东北大学,2021.
 - [5] 张全礼,张瑞茹.对水利泵站水泵节能技术的研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(7):308-310.
- 作者简介:高卓卓(1996.11—)女,河北省石家庄市人,汉族,硕士学历,初级工程师,就职于石家庄市排水管护中心,从事市政工程及城市泵站运行管理相关工作。