

泵站节能改造的技术途径与实施效果

李建忠

卓资县水资源保护中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6772

[摘要] 泵站作为能源消耗密集型设施,其能耗由主辅设备、管网输送构成,受设备、运行、工况多因素耦合影响。通过对市政供水、农田灌溉等典型泵站多工况实测与数据表征,采用基准线对比法与能效差距法开展节能潜力量化评估。核心节能改造技术涵盖泵组优化、变频调速、水力系统优化、智能运维融合及可再生能源辅助供电。改造可实现10%—35%节能率,显著降低单位水量能耗,同时提升运行稳定性,带来电费节约、运维成本降低的经济收益,以及减碳降耗、保障核心功能供应的社会环境效益。

[关键词] 泵站节能改造; 技术优化; 可再生能源; 社会效益

中图分类号: TV675 文献标识码: A

The technical approach and implementation effect of energy-saving transformation of pumping station

Jianzhong Li

Zhuozhi County Water Resources Protection Center

[Abstract] As energy-intensive facilities, pumping stations derive their energy consumption from primary and auxiliary equipment as well as pipeline transportation, influenced by the coupling effects of multiple factors including equipment, operation, and working conditions. Through field measurements and data characterization of typical pumping stations in municipal water supply and agricultural irrigation systems, this study quantifies energy-saving potential using baseline comparison and energy efficiency gap methodologies. Core energy-saving technologies encompass pump group optimization, variable frequency speed regulation, hydraulic system optimization, intelligent operation and maintenance integration, and renewable energy-assisted power supply. The retrofitting achieves 10%–35% energy savings, significantly reducing energy consumption per unit water volume while enhancing operational stability. This yields economic benefits such as electricity cost savings and reduced maintenance expenses, along with social and environmental benefits including carbon reduction, energy conservation, and ensuring core functional supply.

[Key words] Pump station energy-saving retrofit; Technical optimization; Renewable energy; Social benefits

引言

在全球能源转型以及“双碳”目标逐步推进的背景下,能源高效利用已然成为各个行业发展过程中的核心诉求,泵站在市政供水、农田灌溉以及工业循环等诸多关键领域都有着广泛的应用,但在其长期运行过程中,能耗较高以及效率偏低的问题是普遍存在的,这会加重能源消耗所带来的压力,同时也会对行业朝着绿色低碳方向的转型形成制约。随着城市化进程不断加快以及工农业持续发展,泵站对于供水的需求在持续增长,能耗总量也在不断攀升,以往的运行模式及技术体系很难适应节能降耗这一发展要求。基于此,需要针对泵站能耗的现状展开分析,挖掘节能方面的潜力,探寻高效节能改造的技术途径。

1 泵站能耗现状与节能潜力分析

1.1 泵站能耗构成及影响因素

泵站能耗的核心构成涉及主辅设备能耗以及管网输送能耗,其中主泵机组能耗所占比例最高,一般能达到总能耗的70%以上。辅助设备比如真空泵、润滑油泵等的能耗占比大约在10%至20%之间,管网沿程以及局部水头损失所对应的能耗占比约为5%至15%,影响能耗的关键因素可分为设备、运行、工况这三类,具体情况如表1所示。在设备因素方面,泵组效率、电机匹配度直接对能量转换效率起到决定作用,在运行因素中,启停频率、调节方式会对能耗波动产生影响,在工况因素中,实际流量与设计流量的偏差、介质特性等会使能耗需求发生改变,多因素耦合作用下,泵站运行效率容易偏离最优区间。

表1 影响因素

影响因素类别	具体影响因素
设备因素	泵组效率、电机匹配度、设备老化程度
运行因素	启停频率、调节方式、运维水平
工况因素	流量偏差度、介质密度、进出口水头

1.2 典型泵站能耗实测与数据表征

选择市政供水、农田灌溉、工业循环这三类有代表性的泵站开展现场实测工作,运用电参数测试仪、超声波流量计以及压力传感器搭建多参数同步监测系统,监测周期囊括枯水期、平水期以及丰水期,以此保证数据具有代表性,实测的指标包含总耗电量、主泵单机耗电量、进出口压力、实际流量以及介质温度等^[1]。数据表征采用统计分析 with 图表相结合的方式,凭借计算单位水量能耗、泵组运行效率以及能耗波动系数等特征参数,对不同工况下能耗分布规律进行量化,建立实测数据库,在剔除异常数据之后进行归一化处理,为后续节能潜力评估提供基础数据支持。

1.3 节能潜力评估方法与量化分析

节能潜力评估运用基准线对比法和能效差距法相结合的方式,基准线选取同类型泵站的最优运行工况或行业能效标准限值,借助实测数据与基准线数据的差值来计算理论节能潜力。在量化分析过程中,依据实测数据构建能耗预测模型,明晰各影响因素和能耗的量化关系,接着采用敏感性分析确定关键节能因子,优先针对影响显著的因子开展潜力计算。最后引入节能潜力实现率指标,综合考量技术可行性、经济成本等因素,修正理论节能潜力,得到实际可实现的节能潜力值^[2]。此方法兼顾科学性与实用性,可为节能改造方案制定提供精准量化依据。

2 泵站节能改造核心技术途径

2.1 泵组优化与高效化改造

泵组优化及高效化改造属于泵站节能的关键部分,其关键是通过提高泵组能量转换效率来降低单位水量能耗。首先根据泵站实际运行工况,开展泵组性能校核工作,淘汰老旧且低效的泵型,选择符合工况要求的高效节能泵,如斜流泵、轴流泵等专用泵型进行优化选型^[3]。其次针对现有的泵组实施结构改进,包括叶轮、蜗壳等关键部件的水力性能优化,运用数值模拟方法优化流道设计,减少内部水力损失。对电机进行高效化升级,选用一级能效电机并保证电机与泵体的精准匹配,降低传动损耗。最后,凭借定期检修维护来保障泵组密封性能、轴承润滑状态等,维持泵组长期高效稳定运行,这种技术途径可使泵组运行效率提升10%—20%,节能效果较为明显。

2.2 变频调速(VFD)技术应用与控制策略

变频调速技术借助改变电机供电频率来调节泵组转速,以此实现流量和压力的动态适配,从根源上解决传统节流调节所引发的能量损耗问题。在技术应用过程中,依据泵站负荷特性选

择适配的变频调速装置,保证装置与电机电气兼容,优化装置安装和散热设计,以提升运行稳定性。控制策略优化是技术应用的关键,采用基于流量、压力反馈的闭环控制模式,可实时响应工况变化,对于多泵并联运行场景,设计负荷分配优化算法,可实现泵组协同调速,防止单泵频繁启停或低效运行^[4]。此外,引入最小流量保护逻辑,可避免泵体空转受损,这项技术在变工况泵站中的节能率可达20%—35%,特别适用于市政供水等负荷波动较大的场景。

2.3 水力系统优化

水力系统优化主要关注管路、阀组以及流道等关键部分,依靠降低水力方面的损失来提高系统整体的能效。在管路优化方面,将老旧且锈蚀的管路进行更换,选用有低摩阻特性的管材,对管路的走向加以优化,减少弯头、变径等这类产生局部阻力的部件数量,合理地设置管路支架以防止出现变形情况。阀组优化的关键是淘汰传统的节流阀,选用低阻力的蝶阀、球阀等高效阀组,优化阀组开度的调节方式,减少阀组节流所造成的损失;对于非工作状态下的阀组,加强密封性能的改造,避免出现泄漏损耗。流道优化借助数值模拟和物理模型试验相结合的办法,对进水池、出水池以及泵体流道进行整形设计,消除流道内漩涡、回流等不良的流态,提高流道的过流能力。借助上述这些综合优化措施,可有效地降低水力系统损失,提升泵站运行效率。

2.4 智能监控与运维管理技术融合

智能监控与运维管理技术相互融合运用数字化方式实现泵站全生命周期的精细化管理,为节能运行提供保障。在智能监控系统构建环节,布置覆盖泵组、管路以及电气设备等关键部位的传感器网络,实时收集能耗、压力、流量、振动等多维度数据,借助边缘计算节点实现数据实时处理与异常预警。利用物联网技术搭建远程监控平台,实现泵站运行状态的可视化监管,在运维管理优化方面,依据监控数据构建设备健康评估模型,实现故障预测与健康监测,防止因设备故障引发低效运行,建立能耗统计分析模型,精确找出能耗异常点,为节能优化提供数据支持,引入标准化运维流程,规范设备检修、保养周期以及操作规范,提高运维效率,借助管理优化挖掘节能潜力,能让泵站综合能耗再降低5%—10%。

2.5 可再生能源辅助供电系统集成

可再生能源辅助供电系统集成借助运用清洁能源来替代一部分传统电能,降低泵站对于常规电网的依赖程度,实现能源结构的优化以及节能降耗的目标,具体的集成方案需要依据泵站所在区域的资源禀赋情况来确定,优先选择光伏、风能等较为成熟的可再生能源技术,在光伏系统方面。在泵站的屋顶、空地等区域布置光伏组件,借助逆变器把太阳能转化为交流电,采用“自发自用、余电上网”的模式来供电,风能系统适合应用于风力资源丰富的区域,选用小型风力发电机组与光伏系统构建起互补供电模式^[5]。在系统集成过程当中,需要对储能装置的配置进行优化,以此解决可再生能源间歇性、波动性的问题,保障供电的稳定性,设计出合理的并网控制策略,实现可再生能源供

电与常规电网的平滑切换,此技术途径可降低泵站的用电成本,而且还可以减少碳排放,有一定的经济与环境效益。

3 案例分析与实施效果验证

3.1 能耗与运行性能优化效果

泵站节能改造的关键成效主要体现在能耗降低以及运行性能提高这两方面,而且其成效和前面各类核心技术的应用程度有着直接的关联,借助泵组的优化以及高效化改造、变频调速技术的运用,再结合对水力系统阻力损失的削减,可让泵站单位水量的能耗明显降低,其中变工况泵站的节能率一般可以达到20%至35%,常规恒定工况泵站的节能率也可保持在10%至20%。智能监控系统的应用实现了运行参数的实时优化,泵组运行效率的波动范围缩小到5%以内,有效地避免了低效运行的区间。此外,可再生能源辅助供电系统可替代10%至20%的常规电网电能,在多种技术协同作用下,泵站整体的运行稳定性以及能效水平获得了系统性的提升,极大地减少了因工况波动或者设备故障而造成的能耗浪费。

3.2 经济收益提升效果

节能改造所带来的经济收益主要源自电费节约、运维成本降低以及设备寿命延长这三个方面,并且收益水平与改造技术的选型以及泵站规模紧密相关。在电费节约方面,依据前文针对各类技术节能率的测算,单座中型泵站平均每年可节约的电费数额处于数十万元至数百万元之间,大型泵站每年节约的电费可达千万元级别,投资回收期一般控制在3至8年。运维成本降低是由于智能监控与运维管理技术相互融合,故障预测与健康管理模式使得非计划停机次数减少,检修成本显著降低,同时标准化运维流程缩短了检修时间,提高了运维效率。此外,泵组、电机等核心设备的优化升级以及精细化运维,可让设备的使用寿命延长5至10年,减少设备更新换代所需的资本投入,扩大了长期经济收益。

3.3 社会与环境效益释放效果

节能改造所带来的社会与环境效益有十分突出的公共属性,这与能源结构的优化以及生态保护的需求极为契合。在环境效益方面,能耗的降低可直接促使碳排放以及污染物排放减少,按

照每度电大约对应0.785kg二氧化碳排放来计算,一座每年节电百万度的泵站可年均减少近800吨二氧化碳排放,还可以降低因发电而产生的二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。可再生能源的集成应用可推动清洁能源替代,帮助“双碳”目标的实现。从社会效益层面来看,改造后的泵站运行稳定性得以提升,保障了市政供水、农田灌溉、工业循环等核心功能的可靠供应,减少了因供水不足或者灌溉滞后对社会生产生活所造成的影响,智能监控技术实现了远程运维,降低了一线运维人员的劳动强度,同时减少了野外作业的风险,兼顾了运维的安全性以及人性化需求,为泵站行业的绿色低碳转型提供了实践支持。

4 结语

泵站节能改造是解决能源消耗难题、推动行业绿色转型的关键措施,对能耗构成以及影响因素做系统分析,依据实测数据来开展精准的潜力评估,依靠泵组优化、变频调速等核心技术,可实现能耗降低以及运行性能提升,改造能带来可观的经济收益,还可以有效减少碳排放和污染物排放,保障民生与生产核心用水需求。未来要强化技术集成创新,结合不同泵站工况特性优化改造方案,推动节能技术大规模应用,持续提高泵站能效管理水平,为能源节约和生态环境保护提供更有力的支撑。

[参考文献]

- [1]梁善丁,周龙才,杨伟沛,等.单站双向调水泵站改造前后能效分析[J/OL].中国农村水利水电,1-11[2026-01-05].
- [2]游雪现,谢力峰,方海燕.提升泵站综合节能改造措施研究[J].水利科技与经济,2025,31(07):73-76.
- [3]于京凯,李效智,孙良.峡山水库方家屯供水枢纽节能改造及成效分析[J].山东水利,2025,(07):16-18.
- [4]吴逸鑫.供水系统泵站变频改造及优化控制策略研究[D].广东工业大学,2025.
- [5]宋磊.高压变频器在扬水泵站改造中的节能应用[J].电子元件与信息技术,2023,7(08):240-243.

作者简介:

李建忠(1974--),男,汉族,内蒙古自治区乌兰察布市人,本科,高级技师,主要从事水利工程方面研究。