

电气工程节能技术在水厂供水泵组调度中的应用

李 林

(河北建投沙河供水公司, 河北 邢台 054000)

摘 要 我国对极致能耗问题的重视度不断提高, 水厂供水系统的能耗问题日益突出。本文针对水厂供水泵组的调度策略, 探讨了电气工程节能技术的应用, 通过分析变频调速、智能调度系统、高效电机等技术在供水泵组中的实施方案, 阐述了这些技术对提高供水系统能效的重要作用。研究表明, 合理应用电气工程节能技术可显著降低水厂供水泵组的能耗, 提高运行效率, 为水厂实现节能减排目标提供了有效途径。

关键词 电气工程; 节能技术; 水厂; 供水泵组; 调度

中图分类号: TU991.62; TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.008

0 引言

水厂供水系统是城市基础设施的重要组成部分, 其中供水泵组作为核心设备, 能耗占比较大, 随着能源价格上涨和环保要求不断提高, 降低供水泵组能耗已成为水厂管理的重要课题, 电气工程节能技术的发展为解决这一问题提供了新的思路和方法。本文探讨电气工程节能技术在水厂供水泵组调度中的应用, 分析其实施效果, 旨在为水厂节能改造提供参考。

1 变频调速技术在供水泵组中的应用

1.1 变频调速原理及其在供水泵组中的实施方案

变频调速技术是基于电机转速与供电频率之间的关系原理, 通过改变电机供电频率来调节电机转速进而实现对水泵转速的精确控制。在供水泵组中, 变频调速系统主要由变频器、电动机、水泵、传感器和控制器等组成, 变频器通过改变输出电压的频率和幅值, 调节电机转速从而调节水泵的转速, 实施方案通常包括以下步骤: 根据供水系统的特性和需求, 选择适当容量的变频器和配套电机; 安装压力传感器和流量传感器, 用于实时监测管网压力和流量。然后, 设置变频器的参数, 包括加减速时间、最高和最低运行频率等; 编制控制程序, 实现根据管网压力和流量变化自动调节水泵转速, 在实际应用中可采用单泵变频或多泵变频方案, 单泵变频适用于小型供水系统, 而多泵变频则更适合大型供水系统, 可实现多台水泵的协调运行, 进一步提高系统效率, 还可结合PID控制算法, 实现对管网压力的精确控制, 保证供水稳定性。

1.2 变频调速技术对供水泵组能耗的影响分析

变频调速技术对供水泵组能耗的影响主要体现在以下几个方面: 通过调节水泵转速, 可以使水泵在最佳效率点附近运行, 显著提高水泵的运行效率。根据相似原理, 水泵的流量与转速成正比, 扬程与转速的平方成正比, 而轴功率与转速的三次方成正比, 因此当水泵转速降低时功率消耗会急剧下降, 从而实现显著的节能效果, 研究表明, 在某些工况下, 采用变频调速技术可使水泵能耗降低30%~50%。

变频调速可以实现水泵的软启动和软停止, 减少启停过程中的冲击, 延长设备寿命, 间接降低维护成本和能耗, 变频调速技术可以精确控制管网压力, 避免过高的管网压力造成的能量浪费和管网损失。通过维持恒定的管网压力可以减少管网漏损, 进一步降低能耗, 变频调速技术还可以实现水泵的无级调速, 使供水量更加贴合实际需求, 避免传统调节方式(如阀门调节)造成的能量损失^[1]。

2 智能调度系统在供水泵组管理中的应用

2.1 智能调度系统的构建及其功能

智能调度系统是一种基于计算机技术、通信技术和控制技术的综合性管理系统, 旨在实现供水泵组的智能化运行和管理, 系统的构建通常包括硬件层、数据层、应用层和决策层四个部分。

硬件层主要由各种传感器、执行器、通信设备和计算机设备组成, 负责数据采集和执行控制指令。数据层包括数据库系统和数据处理模块, 用于存储和处

理各类运行数据。应用层包括监控系统、分析系统和优化系统等功能模块,负责实现系统的各项功能。决策层则是系统的核心,包括专家系统和人工智能算法,用于制定最优的调度策略,智能调度系统的主要功能包括:(1)实时监控,通过各类传感器实时监测供水泵组的运行状态,包括水泵转速、流量、压力、电流等参数。数据分析利用大数据技术和机器学习算法,对历史运行数据进行分析,预测未来的用水需求和设备状态;(2)优化调度,根据预测结果和实时运行状态,制定最优的泵组运行方案,包括启停顺序、运行时间和运行参数等;(3)故障诊断,通过对运行数据的分析及时发现潜在的设备故障并给出维护建议。远程控制实现对供水泵组的远程监控和操作,提高管理效率;

(4)能耗分析,对系统的能耗情况进行实时监测和分析,为节能改造提供依据。智能调度系统与 GIS 系统的结合为供水泵组管理提供了更全面的空间信息支持。通过整合 GIS 系统中的区域计量数据和电气自动化系统,可以实现更精确的供水管理和能耗分析。区域计量数据提供了不同地理区域的用水量和压力分布信息,而电气自动化系统则提供了泵站设备的实时运行状态,这两者的结合使得系统能够根据地理位置和时间变化,动态调整供水策略。例如,在用水高峰期,系统可以根据 GIS 中的区域用水特征,自动调整特定区域的泵站运行参数以满足需求并优化能耗,这种集成还有助于快速定位管网故障,优化管网布局并为未来的基础设施规划提供数据支持。

2.2 智能调度系统对供水泵组运行效率的提升效果

智能调度系统对供水泵组运行效率的提升效果主要体现在以下几个方面:通过精确的需求预测和优化调度,智能调度系统可以使供水泵组始终在最佳工况下运行,显著提高能源利用效率。研究表明,采用智能调度系统可使供水泵组的能耗降低 15%~30%,智能调度系统可以实现泵组的动态优化组合,根据实时用水需求和设备状态,选择最佳的泵组运行方案,避免单台水泵长时间满负荷运行或多台水泵低负荷运行的情况,从而提高整体运行效率。

通过实时监控和数据分析智能调度系统可以及时发现设备异常和潜在故障,实现预防性维护,减少设备故障停机时间,提高系统可靠性和运行效率,智能调度系统还可以优化管网压力控制,通过精确控制供水压力减少管网漏损和能量浪费,在实际应用中,某大型水厂采用智能调度系统后,年均节电率达到了 18.5%,管网漏损率降低 2.3%^[2]。

3 高效电机技术在供水泵组中的应用

3.1 高效电机的选型及其在供水泵组中的应用策略

高效电机技术在供水泵组中的应用是实现节能减排的重要途径,高效电机的选型需要综合考虑水泵的功率需求、运行特性和能效标准,应选择符合 IE3 或 IE4 级别的高效电机,这些电机采用先进的材料和设计技术,如优质硅钢片、减薄叠片和优化槽型等,显著降低了铁损和铜损。值得注意的是,永磁同步电机因具有高效率、高功率密度和优异的调速性能而在供水泵组中得到广泛应用,永磁电机利用高性能永磁材料制造转子,无需励磁绕组,大大减少了铜损,同时由于气隙磁场强度高,转矩密度大,可以实现更紧凑的设计,提高整体系统效率,在变频调速应用中,永磁电机还表现出良好的低速性能和宽调速范围,非常适合供水泵组的变负荷运行需求。

在应用策略方面可采取以下措施:第一,对现有低效电机进行更换,优先考虑运行时间长、负载率高的电机;第二,在新建或改造项目中直接选用高效永磁电机并与高性能变频器配套使用,实现最佳节能效果;第三,采用先进的电机控制技术,如永磁电机的矢量控制和转子位置无传感器控制等,进一步提高运行效率;第四,实施定期维护和诊断计划,确保电机持续高效运行;第五,考虑采用电机能效管理系统,实时监测和优化运行效率。在多台泵并联运行的情况下可采用不同功率的高效永磁电机组合以适应不同的用水需求,还应注意电机与水泵的匹配问题,确保电机在水泵的最佳效率点附近运行。

3.2 高效电机对供水泵组能耗的影响分析

高效电机对供水泵组能耗的影响主要体现在以下几个方面:高效电机本身的效率更高,直接减少了电能损耗,以 IE3 级电机为例,其效率比标准 IE1 级电机提高 2%~4%,在大功率电机中,这一差异更为显著,考虑到供水泵组的长时间运行特性,这种效率提升可以带来可观的节能效果。研究表明,在某大型水厂中,更换高效电机后,泵组年均节电率达到 5.8%,高效电机的温升较低,减少了冷却损耗,同时提高了电机的使用寿命,间接降低了能耗,高效电机通常具有更好的功率因数,减少了无功功率损耗,改善了供电质量,在供水泵组中,这一特性可以减少线路损耗,提高整个系统的能效。

高效电机与变频器配合使用时,可以实现更宽范围的高效运行,特别是在部分负载条件下,节能效果更为显著,某研究表明,采用高效变频电机后,供水泵组在不同负载下的平均节能率可达 15%~25%,高效

电机还具有更好的过载能力和动态响应特性,有利于优化泵组的启停策略和负载分配,进一步减少能耗,需要注意的是,高效电机的节能效果与运行时间和负载率密切相关。对于运行时间长、负载率高的泵组,更换高效电机的经济效益更为显著,在实际应用中应结合泵组的运行特性和负载曲线,进行全面的经济性分析以确定最佳的电机选型和更换策略,高效电机技术在供水泵组中的应用,不仅可以直接降低电能消耗,还能通过提高系统可靠性和运行稳定性,实现长期的节能效果,是水厂实现节能降耗目标的重要手段^[3]。

4 电气工程节能技术在供水泵组调度中的综合应用

4.1 多种节能技术的协同应用策略

在供水泵组调度中,多种电气工程节能技术的协同应用可以实现更优的节能效果,这种策略主要包括以下几个方面:将变频调速技术与高效电机相结合,可以在宽广的运行范围内保持高效率,变频器可根据实时需求调节电机转速,而高效电机则确保在不同转速下都能维持较高效率,将智能调度系统与变频调速技术相结合,可以实现更精确的需求预测和泵组控制,智能调度系统通过分析历史数据和实时信息,预测未来用水需求并据此制定最优的泵组运行方案,而变频调速技术则精确执行这些方案。

将高效电机技术与电机智能控制技术相结合,可以进一步提高电机运行效率,例如采用矢量控制技术可以优化高效电机的动态性能,实现更快的响应速度和更高的控制精度,将能量回收技术与变频调速技术相结合,可以在泵组减速或停机时回收部分能量,进一步提高系统能效,在实际应用中还可以考虑将这些技术与其他节能措施相结合,如优化管网布局、采用高效水泵等。制定全方位的节能策略,例如某大型水厂通过综合应用变频调速、高效电机和智能调度系统并优化管网布局,实现了年均节电率20.5%的显著效果,这种协同应用策略不仅可以最大化各项技术的优势,还能克服单一技术的局限性,实现整体最优的节能效果^[4]。

4.2 综合应用电气工程节能技术的经济效益分析

综合应用电气工程节能技术在供水泵组调度中可以带来显著的经济效益,这种效益主要体现在以下几个方面:(1)直接的能源成本节省。通过变频调速、高效电机和智能调度系统的协同应用,供水泵组的能耗可显著降低,以某中型水厂为例,综合应用这些技术后,年均节电量达到150万kWh,按照0.8元/kWh的电价计算,每年可节省电费120万元。(2)设备维护成本的降低。变频调速技术可以实现水泵的软启动和软停止,减少机械磨损;智能调度系统可以优化设备运行状态,延长设

备寿命^[5]。某研究表明,这些技术的应用可使设备维护成本降低15%~20%。(3)人力成本的节省。智能调度系统的应用可以减少人工干预,提高自动化水平,从而降低人力成本,例如在某大型水厂中运行人员减少30%,年节省人力成本约50万元,还需考虑水资源节约带来的效益。(4)通过精确控制供水压力和减少管网漏损,可以降低水资源浪费。某项目中,通过综合节能技术的应用,年节水量达到100万立方米,按2元/立方米计算,相当于节省200万元,然而,在评估经济效益时,还需考虑初始投资成本,以上述中型水厂为例,综合节能改造投资约500万元,包括变频器、高效电机和智能调度系统的购置和安装费用,考虑到年节省成本约370万元(包括电费、维护费、人力成本和水资源节约),静态投资回收期约为1.35年,从长期来看,这种投资具有显著的经济效益,还需考虑到节能减排带来的社会效益和环境效益,如减少碳排放、提高供水可靠性等。在供水泵组调度中综合应用电气工程节能技术不仅可以带来显著的直接经济效益,还能产生可观的间接效益,是水厂实现可持续发展的重要途径^[6]。

5 结束语

电气工程节能技术在水厂供水泵组调度中的应用,为提高供水系统能效提供了有效手段,通过变频调速、智能调度系统和高效电机等技术的合理应用,可显著降低供水泵组的能耗,提高运行效率,这些技术的协同作用不仅实现了能源的节约,还提升了供水系统的整体性能和可靠性。未来,随着人工智能、大数据分析和物联网等新兴技术的融入,水厂供水系统的节能潜力将进一步被挖掘,这些创新不仅可以降低运营成本,还能显著减少碳排放,为实现水务行业的低碳转型和可持续发展目标做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 王冬生,李智轩,渠赛赛,等.基于PSO-SVR的取水泵组优化调度方法研究[J].给水排水,2022,58(08):143-150.
- [2] 相皓.净水厂取水泵组节能优化调度研究[D].南京:南京邮电大学,2020.
- [3] 侯秀丽,张雪,蒋福春,等.水厂取水泵组优化调度设计[J].给水排水,2020,56(08):31-36.
- [4] 杨先锋.面向新型建筑智能化平台的二次供水泵组优化运行策略研究[D].合肥:安徽建筑大学,2020.
- [5] 田辉.新能源应用与电气工程节能技术分析[J].集成电路应用,2024,41(08):102-103.
- [6] 贾文海.照明节能技术在建筑电气工程中的应用研究[J].中国照明电器,2024(06):22-24.