

提水泵站多级联动控制策略与节能优化

何 欣¹ 张雨薇²

1. 丽江滇中引水工程有限公司 云南 丽江 674100

2. 金安桥水电站有限公司 云南 丽江 674100

摘 要: 在社会经济快速发展、用水需求持续攀升的背景下,提水泵站于水利系统中的地位愈发关键。但当前提水泵站运行面临能耗高、控制不精准等难题,增加了运行成本与能源浪费。本文深入剖析提水泵站多级联动控制策略与节能优化技术细节,针对运行现状及问题,提出全面可行的控制策略与节能优化举措,以提升提水泵站运行效率、降低能耗,推动水利事业可持续发展。

关键词: 提水泵站; 多级联动控制; 节能优化

1 引言

提水泵站作为水利系统的重要组成部分,承担着将水从低处提升至高处以满足农业灌溉、城市供水、工业用水等需求的关键任务。然而,在运行过程中,提水泵站普遍存在能耗过高、控制精度不足等问题。据相关统计显示,部分地区提水泵站的能耗在当地总用电量中占据相当比例。这不仅导致运营成本大幅增加,还造成了能源的严重浪费。因此,深入研究提水泵站多级联动控制策略与节能优化技术,对于提高泵站运行效率、降低能耗、实现可持续发展具有至关重要的现实意义。

2 提水泵站运行现状及存在的问题

目前我国多数提水泵站采用传统控制方式,依赖人工或简单自动系统进行管理,缺乏精确调控手段和有效的设备联动控制,导致运行效率低下。常见问题包括高能耗、“大马拉小车”现象以及因设备老化和维护不当加剧的能源浪费;控制不精准致使供水与需求不匹配,影响农业灌溉和城市供水;设备间缺乏协调联动,造成运行不稳定、磨损增加和水资源浪费;自动化程度低,现有系统功能单一,难以实现全面监测和智能控制,无法满足现代水利系统高效稳定的需求。这些问题限制了提水泵站的整体性能和服务质量提升。

3 提水泵站多级联动控制策略

3.1 基于水位的多级联动控制

水位是提水泵站运行的重要参数之一,其准确监测和合理控制对于泵站的稳定运行至关重要。通过在泵站的进水池、出水池等关键位置设置高精度的水位传感器,实时监测水位变化。这些水位传感器采用先进的压力传感或超声波传感技术,能够精确测量水位高度,并将数据传输至智能控制系统。智能控制系统根据预设的水位阈值进行多级联动控制。当进水池水位低于设定下

限时,系统自动增加开机台数或提高水泵转速,以增加进水量^[1]。例如,若设定进水池水位下限为3米,当实际水位降至2.8米时,系统会首先启动一台备用水泵,若水位继续下降至2.6米,则会进一步提高已运行水泵的转速,确保进水池水位稳定在合理范围内。当进水池水位高于设定上限时,系统自动减少开机台数或降低水泵转速,防止进水池溢流。对于出水池水位,同样根据实际需求进行相应的控制调整。若出水池水位过高,可能会影响下游的用水安全或造成管网压力过大,系统会自动减少开机台数或降低水泵出口压力,确保出水池水位稳定在合理范围内。

3.2 基于流量的多级联动控制

流量是衡量提水泵站供水能力的重要指标,精确的流量控制能够满足不同用户的用水需求。通过在泵站的出水管道上安装高精度的流量计,如电磁流量计或超声波流量计,实时监测流量变化。这些流量计具有测量精度高、响应速度快的特点,能够准确反映泵站的供水流量。智能控制系统根据用水需求进行多级联动控制。当用水需求增加时,系统自动增加开机台数或调整水泵的运行参数,以提高泵站的供水流量。例如,在农业灌溉高峰期,若系统监测到用水流量需求从每小时1000立方米增加到1500立方米,会自动启动一台备用水泵,并根据流量变化调整水泵的运行频率,确保供水流量满足需求。当用水需求减少时,系统自动减少开机台数或降低水泵的运行参数,避免水资源的浪费。同时,还可以根据不同时段的水需求特点,制定相应的流量控制策略,实现泵站的优化运行。例如,在夜间用水低谷期,系统会自动降低水泵的运行频率,减少供水流量,降低能耗。

3.3 基于压力的多级联动控制

在提水泵站的供水管网中,压力的稳定对于保证供水质量至关重要。过高的压力可能会导致管网破裂,造成水资源泄漏和安全隐患;过低的压力则会影响用户的正常用水。通过在供水管网的关键节点设置压力传感器,实时监测压力变化。这些压力传感器采用高精度的压力传感技术,能够准确测量管网压力,并将数据传输至智能控制系统。智能控制系统根据预设的压力阈值进行多级联动控制。当管网压力低于设定下限时,系统自动增加开机台数或提高水泵出口压力,以保证管网压力稳定。例如,若设定管网压力下限为0.3兆帕,当实际压力降至0.28兆帕时,系统会自动提高水泵的运行频率或启动一台备用水泵,增加供水压力。当管网压力高于设定上限时,系统自动减少开机台数或降低水泵出口压力,防止管网破裂。此外,还可以根据管网的拓扑结构和用水分布情况,合理调整泵站的运行参数,实现管网压力的均衡分布。例如,对于距离泵站较远或地势较高的区域,系统会适当提高该区域的供水压力,确保用户能够正常用水。

3.4 设备间的协同联动控制

提水泵站的各级设备之间存在着密切的联系,实现设备间的协同联动控制是提高泵站运行效率的关键。例如,水泵的启动和停止应与阀门的开度进行同步调整。当水泵启动时,智能控制系统会同时向阀门发送开度调整信号,使阀门逐渐打开,以避免对管网造成过大的冲击。在阀门打开过程中,系统会根据水泵的运行参数和管网压力情况,实时调整阀门的开度,确保水泵在高效区运行。当水泵停止时,系统会先逐渐关闭阀门,待阀门关闭至一定程度后,再停止水泵运行,防止管网中的水倒流。同时,电机与水泵之间也应实现协同控制。根据水泵的运行需求合理调整电机的转速和功率,确保电机在高效区运行^[2]。例如,采用变频调速技术,通过智能控制系统根据水泵的实际负荷情况,调整电机的输入频率,从而改变电机的转速和水泵的流量、扬程。当用水需求较小时,降低电机的转速,减少能耗;当用水需求较大时,提高电机的转速,增加供水能力。此外,还可以引入智能算法,如模糊控制算法、神经网络算法等,对设备间的协同联动进行优化,进一步提高泵站的运行效率和稳定性。

4 提水泵站节能优化措施

4.1 泵站设备选型与优化

(1) 水泵选型:对于水泵选型,需依据实际用水需求进行详细水力计算,并利用先进选型软件考虑效率曲线和汽蚀性能等要素,挑选高效节能型号,避免过大或

过小造成能耗浪费或需求不足。例如,针对扬程变化大的泵站,选择陡降型扬程-流量曲线的水泵可减少能耗损失,优先选用通过国家节能认证的产品。

(2) 电机选型:应选择高效节能电机如异步电动机或永磁同步电动机。异步电动机以其结构简单、运行可靠且成本低成为常见选择,采用变频调速技术可根据不同用水需求调整转速实现节能。永磁同步电动机虽然成本较高,但因其高效率、宽调速范围等特点,在节能要求高的泵站中有应用价值。

(3) 阀门选型:应选择密封性好、阻力小的蝶阀或球阀。蝶阀适用于大口径管道,具有结构简单、体积重量轻的特点;球阀则以开关迅速、密封可靠著称,适合高密封要求场景。选择时需考虑管道压力温度等因素,确保材质规格适配,并通过智能控制系统自动调节开度,减少水流阻力,降低能耗。通过以上措施,可以有效提升泵站运行效率,达到节能目的。

4.2 泵站运行管理优化

(1) 制定合理的运行计划:根据用水需求和水位变化情况,制定合理的提水泵站运行计划。充分考虑不同季节、不同时段的水用特点,合理安排开机台数、运行时间和流量等参数。例如,在农业灌溉季节,根据作物的生长阶段和需水量,制定不同的灌溉运行计划。在作物生长初期,需水量较小,可以适当减少开机台数和运行时间;在作物生长旺盛期,需水量较大,应增加开机台数和运行时间,确保作物得到充足的灌溉。同时,还应考虑不同时段的电价差异,尽量在电价低谷期增加泵站的运行时间,降低运行成本。例如,在夜间电价较低时,可以增加泵站的供水流量,储备一定量的水资源,以满足白天的用水需求。

(2) 加强设备维护与保养:定期对提水泵站的设备进行维护与保养,确保设备的正常运行。建立完善的设备维护档案,记录设备的维护情况和运行状态,为设备的优化管理提供依据。对于水泵,应定期检查水泵的叶轮、轴承、密封等部件的磨损情况,及时更换磨损的零部件。清理水泵内部的杂物和污垢,降低水泵的运行阻力,提高水泵的运行效率^[3]。对于电机,应定期检查电机的绝缘性能、温度、振动等情况,确保电机在安全、稳定的条件下运行。对于阀门,应定期检查阀门的密封性能和操作灵活性,及时调整阀门的开度,保证阀门的正常运行。

(3) 优化泵站布局:合理的泵站布局可以降低水流的阻力,减少能耗。应根据泵站的地形、地貌和水源分布等情况,优化泵站的布局,缩短输水管道的长度,减

少弯头和阀门等部件的使用,降低水流的能量损失。例如,在泵站选址时,应尽量选择靠近水源和用水区域的位置,减少输水距离。在设计输水管道时,应采用合理的管径和坡度,避免管道过长和弯头过多。同时,还可以采用并联管道的方式,增加管道的过流能力,降低水流的阻力。

4.3 智能控制与优化技术的应用

(1) 引入智能控制系统:采用PLC、DCS等智能控制系统,实现提水泵站的自动化运行与监测。PLC适用于中小型泵站,具备高可靠性与强扩展性;DCS适合大型泵站,实现集中管理、分散控制。系统可根据水位、流量等实时数据自动调节水泵运行台数或转速,优化运行效率。例如,水位下降时自动增加开机台数,流量减少时则降低转速。同时支持远程监控与故障诊断,提升运行安全性与可靠性,操作人员可通过手机或电脑远程查看并控制泵站运行。

(2) 应用优化算法:引入优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,对提水泵站的运行参数进行优化。遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的优化算法,通过不断地迭代和进化,寻找泵站运行的最优参数组合。粒子群算法是一种基于群体智能的优化算法,通过粒子之间的信息共享和协作,寻找最优解。例如,可以利用遗传算法对水泵的转速、阀门的开度等进行优化调整,实现泵站的节能运行。在优化过程中,将泵站的能耗作为目标函数,将水位、流量、压力等参数作为约束条件,通过遗传算法的不断迭代和进化,找到使泵站能耗最低的运行参数组合。

(3) 建立模型预测控制:建立提水泵站的数学模型,通过模型预测控制技术,对泵站的未来运行状态进行预测和优化控制。模型预测控制可以根据历史数据和实时监测数据,预测泵站的用水需求和水位变化情况,提前调整泵站的运行参数,确保泵站的稳定运行和节能效果。例如,建立泵站的水力模型和电机模型,通过模型预测控制技术,预测在不同运行参数下泵站的能耗和供水能力。根据预测结果,提前调整水泵的转速、阀门的开度等参数,使泵站在满足用水需求的前提下,能耗最低。

4.4 能源回收与利用

(1) 压力能回收:在提水泵站的运行过程中,水泵出口的水具有一定的压力能。可以通过安装压力能回收装置,如水力透平、压力交换器等,将这部分压力能回收利用,用于驱动其他设备或补充泵站的能量需求,从而降低泵站的能耗。水力透平是一种将水流的压力能转换为机械能的设备,通过将水力透平与电机相连,可以将回收的压力能转换为电能,回馈到电网中^[4]。压力交换器是一种利用压力能进行能量交换的设备,通过将高压水与低压水进行能量交换,将高压水的压力能传递给低压水,实现压力能的回收利用。

(2) 余热利用:提水泵站的电机在运行过程中会产生大量的余热。可以通过安装余热回收装置,如热交换器等,将电机产生的余热回收利用,用于加热生活用水或其他需要热能的场合,实现能源的综合利用。热交换器可以将电机产生的余热传递给水或其他介质,使水或其他介质的温度升高。例如,在提水泵站的机房中安装热交换器,将电机产生的余热用于加热机房内的供暖系统或生活用水,每年可节约大量的能源费用。

结语

本文深入研究了提水泵站多级联动控制策略与节能优化,提出了基于水位、流量、压力的多级联动控制策略及一系列节能措施,包括设备选型优化、运行管理改进、智能控制技术和能源回收利用,有效提升了泵站效率和可靠性,降低了能耗和成本。展望未来,随着科技发展,需进一步探索智能控制技术与优化算法在泵站中的应用,提高自动化水平,并关注新能源如太阳能、风能在泵站的应用以促进绿色发展。此外,加强泵站标准化建设与规范化管理也是重要方向,旨在提升整体服务质量,为国家水安全和经济发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]陶东,李娜,肖若富,等.多级提水泵站优化调度研究[J].中国农村水利水电,2020,(05):123-127.
- [2]朱灵兔.农田水利工程提水泵站施工质量控制要点[J].农业工程技术,2023,43(19):53+55.
- [3]魏临霞.农业水利工程中提水泵站运行管理问题及对策[J].新农业,2023,(09):106-108.
- [4]韩晓娟.农业水利工程中高扬程提水泵站节能降耗方法[J].南方农机,2022,53(13):169-171+183.