

Energy-saving control optimization of variable frequency speed regulation pump sets in secondary water supply

Jinfan Hong

Shenzhen Guanghuiyuan Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Wuchuan, Guangdong, 518000, China

Abstract

This paper focuses on the energy-saving control optimization research of variable frequency speed regulation pump sets for secondary water supply, analyzes the related factors between their operating conditions and energy conservation, and finds that there are energy consumption fluctuations and insufficient adaptation in dual-pump and triple-pump variable frequency speed regulation. Under variable pressure conditions, there are problems such as a decline in pump set efficiency and inflexible pressure regulation. Targeted optimization plans are proposed: for the dual pumps, adjust the pressure setting parameters, frequency range and PID control indicators; for the three pumps, improve the interlocking start-stop mechanism and speed regulation logic; for the low flow range, install a small flow pump and integrate the pressure tank and control logic for improvement. After the solution was applied to high-rise residential buildings, old residential areas and centralized secondary water supply stations, it effectively controlled energy consumption, reduced pipeline leakage, extended equipment maintenance cycles, ensured water supply stability, and improved residents' water usage experience and the operation and maintenance efficiency of the water supply system.

Keywords

Secondary water supply variable frequency speed regulation pump set Energy-saving control optimization Working condition analysis Application effectiveness Parameter optimization

变频调速泵组在二次供水中的节能控制优化

洪金发

深圳市广汇源水利建筑工程有限公司, 中国·广东 吴川 518000

摘要

本文聚焦二次供水变频调速泵组节能控制优化研究, 剖析其工况与节能关联要素, 发现双泵、三泵变频调速存在能耗起伏及适配不足, 变压力工况有泵组效率下滑、压力调控不灵活等问题。针对性提出优化方案: 双泵调整压力设定参数、频率区间及PID控制指标, 三泵完善联动启停机制与转速调节逻辑, 低流量区间配小流量泵并整合压力罐与控制逻辑改进。方案应用于高层住宅、老旧小区及集中式二次供水站后, 有效控能耗、减管网漏损、延设备维护周期, 保障供水稳定性, 提升居民用水体验与供水系统运维效益。

关键词

二次供水变频调速泵组; 节能控制优化; 工况分析; 应用实效; 参数优化

1 引言

城市化推进中, 二次供水系统运行效率与能耗问题凸显。传统二次供水泵组工况适配性差、控制方式单一, 存在能耗高、压力波动大等问题, 影响供水稳定性且增加运维成本。面向优质供水需求与节能降耗要求, 研究二次供水变频调速泵组节能控制优化意义重大。本文从该泵组工况与节能影响切入, 分析不同配置及变压力工况下运行特性, 提出优化措施, 结合高层住宅、老旧小区验证实效, 为系统高效节能运行提供参考。

【作者简介】洪金发(1989-), 男, 中国广东吴川人, 本科, 工程师, 从事给排水施工研究。

2 二次供水变频调速泵组工况与节能影响分析

2.1 二次供水双泵变频调速工况及能耗分析

二次供水双泵变频调速系统含“一主一辅”与“交替变频”两类核心工况, 早 6:30-8:30、晚 18:00-20:00 用水高峰启用“一主一辅”模式, 主泵 50Hz 运转, 辅泵 30Hz-45Hz 动态调节, 流量 8m³/h-12m³/h、能耗 1.2kW·h-1.8kW·h; 凌晨 0:00-5:00 低用水时段切换“交替变频”模式, 单泵 20Hz-25Hz 运行, 流量 2m³/h-4m³/h、能耗 0.3kW·h-0.5kW·h。工况切换需关注压力过渡能耗波动, 高峰转低峰时变频调节延迟超 5 秒易致压力超调、能耗暂升, 双泵额定扬程差异也影响能耗, 系统设计需结合小区楼层与管网阻力。

2.2 二次供水三泵变频调速工况及节能适配分析

在二次供水三泵并联变频调速场景中, 工况随用水量

动态调整: 供水 $Q < 1/3Q_{\max}$ (Q_{\max} 为三台泵最大流速) 时, 单台泵变频运行, 微机依供水变化调转速稳压力; $1/3Q_{\max} < Q < 2/3Q_{\max}$ 时, 首台泵切工频, 第二台泵软启动后变频, 二者协同; $Q > 2/3Q_{\max}$ 时, 前两台泵工频, 第三台泵变频启动。供水减少时, 先停第三台泵, 再让第二台泵变频, 最终仅留第一台泵变频^[1]。不同运行模式能耗差异大, 依托三台额定功率 3kW 水泵的二次供水叠压试验平台, “全变频”与“变频+工频”控制对比显示, 全变频达相同设定压力时整体节能效果更优, 变频泵运行频率较低时, 节能优势更突出。

2.3 二次供水变压力工况下泵组节能短板分析

在二次供水变压力工况里, 泵组节能层面存在不少短板。管网压力需求随用水时段变动, 早晚高峰时段需求较高, 深夜低谷时段需求较低, 传统泵组选型依据最大用水工况, 致使低流量、低压力工况下效率大幅下滑, 某型号水泵在用水量降至额定流量较低水平时, 效率会从较高水平明显落至中等水平。压力调节环节, 分时段给定压力控制方式依托人工经验设定, 难以有效应对突发用水高峰; 基于流量检测的自动调压方式灵活性欠佳, 压力过渡也不够平缓, 压力升至 0.6MPa 时还易出现波动, 这类情况既造成能量浪费, 还可能对设备形成损坏。泵组选型存在偏差、管网存在漏损问题以及稳压设备应用不合理等因素, 导致变频机组难以进入休眠状态, 只能长期处于偏工况运行状态, 这一现象进一步加剧能耗浪费。

3 二次供水变频调速泵组节能控制优化措施

3.1 二次供水双泵变频调速参数精准优化措施

在二次供水双泵变频调速系统内, 需精准优化多项关键参数以达成节能目标。结合水泵特性曲线与实际用水需求科学设定压力设定值, 某高层住宅用水高峰压力需求 0.4MPa、低谷 0.25MPa 时, 可按不同时段灵活调整压力设定值, 规避过度加压造成的能耗损耗^[2]。变频器频率范围需合理界定, 常规调速区间 20Hz-50Hz, 依据流量变化精细调节, 用水低谷阶段将频率精准调控至 30Hz 左右, 通过降低电机转速实现节能。PID 控制参数同样需要优化, 比例系数 K_p 取 1.2、积分时间 T_i 设为 10s、微分时间 T_d 定为 0.5s, 助力系统快速响应压力变化, 流量突变时迅速调节水泵转速, 在稳定水压的同时减少能耗, 保障供水过程的稳定性与高效性见图 1。

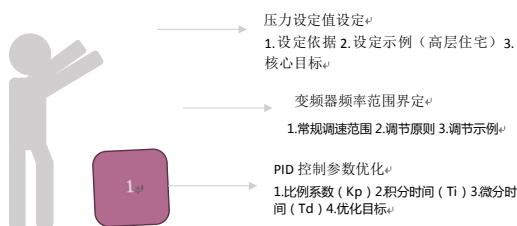


图 1: 二次供水双泵变频调速系统节能参数优化要点

3.2 二次供水三泵变频调速联动运行优化措施

在二次供水三泵变频调速联动运行优化措施中, 需精准把控水泵启停与转速调节, 系统依托压力传感器实时监测管网压力, 与设定值比对后通过 PID 调节变频器输出频率, 动态调控水泵转速以维持恒压^[3]。每次启动优先选取累计运行时间最短的水泵作为变频主泵, 每 24 小时自动切换主泵, 保障三台泵运行时长均衡。压力不足时, 变频主泵频率升至 50Hz 上限仍无法满足需求, 原主泵切换至工频, 变频启动第二台泵; 若压力依旧不足, 第二台泵转工频, 变频启动第三台泵; 压力过剩则依次关停工频泵, 仅保留变频泵调节, 直至仅剩一台变频泵运行。某小区应用中, 高峰时段两台泵工频、一台泵变频, 夜间低谷仅一台泵变频且频率低至 25Hz, 压力过高时系统进入休眠, 由气压罐维持压力, 节能效果显著。

3.3 二次供水低流量区间泵组节能配置措施

在二次供水低流量区间, 合理配置小流量泵可提升节能效果, 流量较小时大型主泵持续运行易偏离高效工作区间导致耗能增加, 此时启用小流量泵更为适配, 部分小区夜间用水需求大幅降低, 最小流量或仅 1-3 立方米每小时, 主泵功率较大时维持运行会消耗大量电能, 选用额定流量 2-5 立方米每小时的小流量泵能精准匹配低流量需求, 避免“大马拉小车”现象。采用压力罐与泵组联合运行同样是有效手段, 压力罐可储存定量水并维持系统压力, 系统处于低流量需求时压力罐释放储水, 泵组无需频繁启动, 某小区安装压力罐后, 低流量区间泵组启动次数从每小时 8-10 次减少至 2-3 次, 大幅降低泵组能耗及磨损。优化泵组控制逻辑、设定合理启停压力值也至关重要, 压力降至下限值时启动泵组, 上升至上限值时停止运行, 经精准调控使泵组在低流量区间高效稳定运行, 减少不必要能耗。

4 二次供水变频调速泵组节能优化应用实效

4.1 高层住宅二次供水变频泵组节能优化实效

高层住宅二次供水变频泵组节能优化实效, 体现在用水高峰与低谷时段的稳定运行及能耗控制中, 该类住宅住户数量多、用水时段集中, 早 6:30-8:30、晚 18:00-20:00 为用水高峰, 优化后的变频泵组可依供水管网压力变化自动调节转速, 保障 18 层以上住户水压稳定在 0.32MPa 的同时, 单台泵运行功率较传统定频泵降低 2.1kW, 高峰时段连续运行 4 小时能减少电能消耗 8.4kWh。用水低谷时段 (0:00-5:00), 泵组借优化后的低流量运行模式维持管网基础压力 0.18MPa, 单台泵运行电流从传统模式 12.5A 降至 8.3A, 每小时耗电量从 2.6kW·h 减少至 1.8kW·h, 低谷时段 8 小时运行累计节约电能 6.4kWh。优化后的泵组采用智能启停控制, 规避频繁启停造成的能耗浪费, 每月可减少无效运行时间约 12 小时, 对应减少电能消耗约 31.2kWh, 设备运行噪音从 65 分贝降至 52 分贝, 进一步提升住户居住体验见

表 1。

表 1: 高层住宅二次供水变频泵组节能优化实效表

参数分类	参数名称	优化前数值	优化后数值
高峰时段	水压需求	0.32	0.32
	单台泵运行功率	13.1	11.0
	高峰时段耗电量	52.4	44.0
低谷时段	节能效果	-	8.4
	管网基础压力	-	0.18
	单台泵运行电流	12.5	8.3
	每小时耗电量	2.6	1.8
智能启停控制	节能效果	-	6.4
	无效运行时间	-	12
	节能效果	-	31.2
噪音控制	设备运行噪音	65	52

4.2 老旧小区二次供水变频泵组改造节能实效

老旧小区二次供水系统改造前,多数小区采用传统恒速泵组供水,单台水泵额定功率常为 15kW,受居民用水需求影响日均运行 18 小时,日均耗电量约 270kWh。这类泵组压力控制稳定性不足,早中晚用水高峰易超压供水,既造成大量无效能耗与能源浪费,又加重供水管网负担,使管网漏损率长期偏高,单月漏水量超 300 立方米,既影响供水效率,又增加水资源损耗。改造时施工团队将原有恒速泵组全替换为 3 台 11kW 变频水泵,配套安装智能压力传感器与变频控制柜,智能系统可依实时用水量调节水泵转速与运行台数,提升供水系统灵活性^[4]。改造后水泵日均运行缩至 14 小时,日均耗电量降至 154kWh,单月节约 3480kWh;供水压力控制精度改善,波动范围 $\leq \pm 0.02\text{MPa}$,管网漏损率下降,单月漏水量低于 120 立方米,既保障居民 24 小时稳定供水,又降低系统能耗与后续运维成本,实现经济与社会效益双重提升。

4.3 集中式二次供水站变频泵组运行节能实效

集中式二次供水站服务范畴涵盖若干居民小区及商业区域,日均供水量处于 5000 立方米至 8000 立方米区间,传统定速泵组运转期间需持续保持较高出口压力,单日耗电量通常稳定在 1200 千瓦时至 1500 千瓦时范围^[5]。变频调速泵组投入应用后,系统能依据供水管网实时压力反馈调节运转

参数,早 6 时至 8 时、晚 18 时至 20 时的用水高峰时段,双泵联动变频可将供水压力稳定在 0.45MPa 至 0.5MPa,满足 1500 户至 2000 户家庭同步用水需求;凌晨 0 时至 5 时用水低谷时段,单泵低频运转将压力控制在 0.3MPa 至 0.35MPa,规避管网压力过高引发的能耗浪费问题。实际运行数据统计显示,优化后的变频泵组单日耗电量降至 850 千瓦时至 950 千瓦时,每月电能消耗减少量在 7500 千瓦时至 16500 千瓦时之间,且泵组启停频率降低使得设备维护周期从原先 3 个月延长至 6 个月,单次维护成本减少幅度为 800 元至 1200 元,供水稳定性得到保障的过程中也达成了能耗与运维成本的双重优化目标。

5 结语

二次供水变频调速泵组的节能控制优化,依托工况剖析、措施实施与效果核验搭建完整技术框架。针对双泵、三泵及变压力运行场景开展深度探究,明晰不同工况下泵组能耗特性与节能薄弱环节,为优化方向提供数据支撑与问题指引。优化手段上,双泵参数精确调节、三泵协同运行设计及低流量区间设备配置方案,分别从参数设定、运行模式、设备适配维度解决能耗问题,既保障供水压力平稳,又避免“大马拉小车”式能源浪费。实际应用中,高层住宅、老旧小区及集中式供水站的实践反馈显示,优化后系统能耗水平明显下降,漏损情况得到改善,设备维护需求减少,还伴随运行噪音减轻、供水稳定性提升。该优化框架达成二次供水“节能、稳定、低耗”目标,为城市供水系统能效提升与可持续运转提供有效技术方案。

参考文献

- [1] 吴则奔.变频调速泵在加压供水工程中首次充水的应用[J].水与水技术,2021,(00):99-103.
- [2] 傅国.浅析建筑给水系统设计计算中的若干要点[J].科学技术创新,2021,(11):111-113.
- [3] 侯圣语.基于PLC的变频调速恒压供水技术应用研究[J].科学技术创新,2023,(13):209-212.
- [4] 闫莎莎.变频调速恒压供水系统设计[J].企业科技与发展,2022,(01):33-35.
- [5] 杜明兵.基于PLC的变频调速恒压供水系统研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(11):34-36.