

述评与讨论

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2026. 02. 001

基于用水规律的养老建筑变频供水泵房运行优化

杨凤伟¹, 谢小凤¹, 陈钟珉¹, 赵志宇¹, 谈超群²

(1. 上海城投水务(集团)有限公司 业务受理分公司, 上海 200042; 2. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 养老建筑的用水规律、水泵能耗等信息,对于供水设施运行优化、提升养老建筑服务配套质量具有重要意义。以上海市某新建养老建筑供水泵房20个月的实测数据为研究对象,从供水时长分布、供水能耗、供水效率等角度系统评价了该养老建筑的运行能耗。分析结果表明,泵组长期运行在小流量工况下,与变频器运行频率存在显著错位情况,因此该变频水泵长期在大于实际需要的功率下运行,泵组运行能耗较高且供水效率远低于节能评价要求。针对上述问题,通过分析变频供水泵组的关键影响因子,提出变频水泵选型配置原则和优化方案,可为该类建筑的水泵能耗优化提供参考。

关键词: 养老建筑; 用水规律; 水泵能耗; 供水效率

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)02-0001-08

Operation Optimization of Variable Frequency Water Supply Pump House in Residential Building for the Aged Based on Water Usage Patterns

YANG Fengwei¹, XIE Xiaofeng¹, CHEN Zhongmin¹, ZHAO Zhiyu¹, TAN Chaoqun²

(1. Business Acceptance Branch, Shanghai Chengtou Water Group Co. Ltd., Shanghai 200042, China; 2. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Water usage patterns and pump energy consumption in residential building for the aged are important for optimizing water supply facility operations and improving service quality. This article focuses on the pump house of a newly-built residential building for the aged in Shanghai, analyzing 20 months of measured data. The research systematically evaluates the building's energy consumption from the perspective of the distribution of water supply duration intervals, water supply energy consumption, and water supply efficiency. The analysis highlights that the pump system operates for extended periods at low-flow rates, with a significant mismatch between the settings of the variable frequency drive and actual demand. As a result, the variable frequency pumps operate at higher power levels than actually required, leading to elevated energy consumption and a water supply efficiency that falls far below the energy-saving evaluation standards. To address these issues, this study analyzes the influencing factors of variable frequency water supply pumps and proposes selection criteria and optimization strategies for such pumps, offering useful references for improving the energy consumption in water pumping systems in similar buildings.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52070041); 上海城投水务(集团)有限公司科研项目(KY.YW.23.001)

通信作者: 谈超群 E-mail: tancq@seu.edu.cn

Keywords: residential building for the aged; water usage patterns; energy consumption of pump; water supply efficiency

根据《上海蓝皮书:上海社会发展报告(2022)》预测,2025年上海市60岁及以上户籍老年人口规模将突破600万人,老龄化率将突破40%^[1],加大老年人口配套建筑的建设力度将成为必然趋势。探索养老建筑二次供水的实际需求和自身特点,提出针对性的供水设施运行优化措施对于提升养老服务配套质量,积极应对人口老龄化国家战略具有显著意义。

随着养老建筑规模的发展壮大,二次供水设施呈现点小面广的显著特点。现行《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)规定,独立建造的一、二级耐火等级老年人照料设施的建筑高度,不宜大于32 m,不应大于54 m;独立建造的三级耐火等级老年人照料设施,不应超过2层。在老年人照料建筑高度受限的情况下,二次供水多采用恒压变频加压供水形式^[2-3]。《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)规定,变频加压泵组的额定流量不得小于设计秒流量,这虽能满足多数设计项目在极端情况下的用水需求,但会导致其额定供水流量往往长时间高于实际用水量,水泵绝大部分时间偏离实际流量而处于低效率运行,造成极大的能耗浪费^[4],与我国“双碳”目标相悖。此外,二次供水设施设计及优化过程中,缺乏实测的用水规律、水泵能耗等基本信息,限制了二次供水变频系统的优化。

以上海市黄浦区某新建养老建筑为例,从时长分布、泵组运行能耗、供水效率等角度分析该养老建筑的实测用水规律,并提出该变频供水系统的优化配置方案,以期为同类型构筑物的二次供水变频系统优化提供理论支撑。

1 研究对象及方法

1.1 供水模式和设备配置

该养老建筑位于上海市中心城区黄浦区,于2021年6月开业,7月底老年客房入住率100%。建筑高度23.05 m,地上7层,其中1层为多功能厅、大堂、医疗护理等公共空间,2~7层为养老客房区,合计床位数222个;地下1层为厨房、食堂、洗衣间、冷库等功能区,地下2层为泵房、停车库等功能区。该养老建筑1层~地下2层采用市政压力直接供水方

式,2~7层老年客房区采用变频水泵加压供水方式,该部分设计最高日供水量为38.64 m³/d,设计最大时用水量为4.30 m³/h。地下2层设置生活水池和加压泵组,水池有效容积18 m³。设计变频泵组选型配置如下:流量为15 m³/h,扬程为51 m,轴功率为4 kW,配置2台水泵,1用1备,同时配备80 L气压水罐。选用CBN16-4型水泵,额定工况下流量为15 m³/h、扬程为50 m、轴功率为4 kW,配套电机型号为YE3-112M-2。

该养老建筑供水系统见图1。

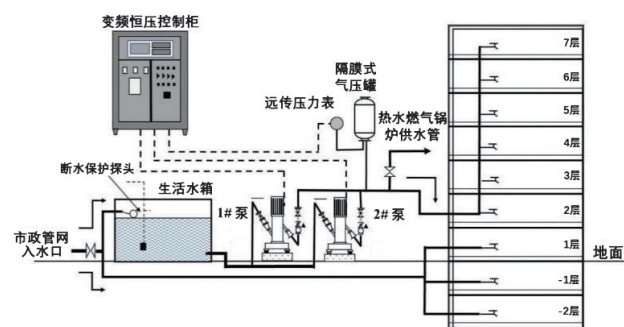


图1 案例养老建筑供水系统示意

Fig.1 Schematic diagram of water supply system for residential building for the aged

1.2 数据采集

采用上海某公司的智慧物联网平台,在2021年6月—2023年1月期间对该养老建筑的供水数据进行间隔累计记录和瞬时记录,历时20个月。采集泵组出口水压、电源变频频率、电机转速、水泵耗电功率、瞬时流量等数据各473万条,数据采集间隔10 s;采集流量、电耗、水泵启动次数、水泵运行时间等累计数据各16.3万条,数据采集间隔5 min。

1.3 用水量季节性差异分析

采用最小显著性差异法(LSD),对春、夏、秋、冬四季的用水量变化进行差异性分析,利用显著性水平 p 值对统计结果进行评价,当 $p < 0.05$ 时,表明结果具有统计学差异,当 $p < 0.001$ 时,表明结果具有显著统计学差异,当 $p < 0.0001$ 时,表明结果具有极显著统计学差异。

1.4 变频泵组供水能耗计算

泵组运行有效能耗计算公式如下:

$$E_0 = \frac{\rho g Q H t}{1000 \times 3600} \quad (1)$$

式中: E_0 为水泵机组运行有效能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; ρ 为水的密度, 取 1000 kg/m^3 ; H 为水泵机组运行扬程, m ; Q 为水泵机组供水流量, m^3/h ; g 为重力加速度, 取 9.8 m/s^2 ; t 为水泵运行时间, h 。

该养老建筑在20个月统计期内, 变频泵组累计供水量 13879 m^3 , 有效能耗为 $1889.1 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 则水泵运行单位有效能耗为 $0.136 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$, 为固定值。

1.5 变频泵组实际运行能耗计算

水泵日常实际运行能耗可采用下式计算:

$$E' = \frac{E}{Q'} \times 100\% \quad (2)$$

式中: E' 为水泵机组实际运行能耗, $\text{kW} \cdot \text{h/m}^3$; E 为水泵机组运行实际总能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; Q' 为水泵机组供水总量, m^3 。

1.6 变频泵组供水效率计算

水泵机组效率是由水泵效率和电机效率分别通过《清水离心泵能效限定值及节能评价值》(GB 19762—2007)和《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》(GB 18613—2012)进行评价。但从实际运行角度出发, 实际用水量、水泵启动次数等因素都会影响水泵的运行, 因此对水泵机组整体运行效率采用下式进行计算:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{3600 P} \times 100\% \quad (3)$$

式中: η 为水泵机组整体运行效率, %; P 为水泵机组电机实际拖动功率, W 。

由于水泵电机实际拖动功率难以测量且一直处于变化中, 难以量化长周期的机组运行效率, 因此在某一研究时段内, 采用下式计算水泵机组的整体供水效率:

$$\eta = \frac{E_0}{E} \times 100\% \quad (4)$$

2 结果与讨论

2.1 用水量及用水规律分析

对473万条最大瞬时流量数据进行分析, 可知最大实测瞬时秒流量出现在2021-08-27T14:00:58, 供水流量达到 $11.67 \text{ m}^3/\text{h}$, 占泵组设计秒流量的77.8%。次大实测瞬时秒流量出现在2021-09-15T17:42:37, 供水流量为 $11.52 \text{ m}^3/\text{h}$, 占泵组设计秒流量的76.8%。将统计期内20个月的473万条瞬时流量数据按照与系统设计流量(Q_s)的关系进行

划分, 得到如图2所示的水泵供水流量时长区间分布。可知, 变频供水系统有98.86%的时间在其供水流量不高于 $Q_s/4$ 的工况下运行。

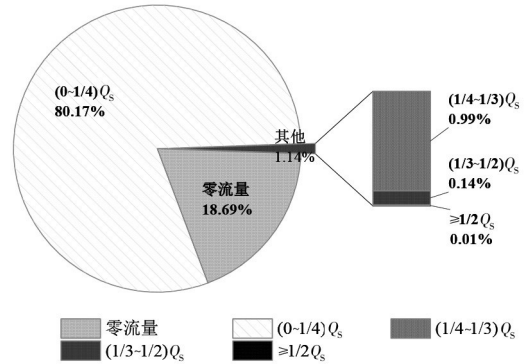


图2 水泵供水流量时长区间分布示意

Fig.2 Schematic diagram of water pump water flow duration interval distribution

该养老建筑不同季节的平均逐时用水量分布如图3所示。

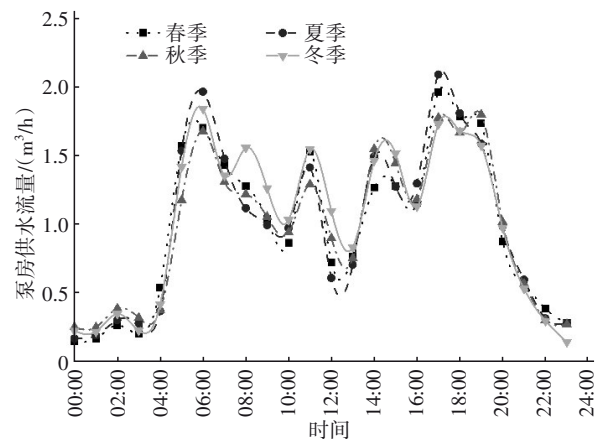


图3 不同季节的平均逐时用水量分布

Fig.3 Distribution of average hourly water consumption in different seasons

由图3可知, 4个季节的平均日逐时用水变化规律基本趋于一致: 21:00—次日05:00为用水低峰期, 06:00—07:00均达到平均日第1个用水高峰值, 07:00—11:00用水量总体呈下降趋势。10:00—16:00用水量曲线均呈倒“W”型, 并都在17:00—19:00达到第2个用水高峰, 用水量最大为夏季的 $2.01 \text{ m}^3/\text{h}$, 春季的 $1.97 \text{ m}^3/\text{h}$ 次之, 秋季和冬季的用水量相对较小且接近。显著性差异分析显示, 各季节的用水量仅在05:00—06:00、08:00—09:00、12:00—13:00、15:00—16:00四个时间段存在统计学差异。其中, 在05:00—06:00时段内, 秋季用水量与春季、

夏季、冬季均有较显著的差异,其 p 值分别为0.001、0.002和0.016,均小于0.05。在08:00—09:00时段,冬季用水量与春季、夏季、秋季也存在差异性,其 p 值分别为0.041、0.005和0.019,均小于0.05。这可能是由于季节变化,秋冬季相对于春夏季的日照时间较短,老年人生活习惯(如起床时间)发生相应变化。

2.2 变频水泵实测运行电耗指标分析

2.2.1 变频供水系统的节能机理

按照变频水泵的运行机理,变频供水泵的三相交流电动机的转速与频率、极数、转差率之间的关系如下:

$$n = \frac{60f(1-s)}{P'} \quad (5)$$

式中: n 为水泵电机转速, r/min; f 为交流电的频率, Hz; s 为转差率; P' 为磁极对数。

按照离心泵的比例律,在相似情况下水泵的流量、扬程和功率分别与其转速的1次方、2次方和3次方成正比。在恒压变频供水泵电机的转差率和磁极对数不变的情况下,水泵转速与电流频率成正比,水泵电机功率与电源频率的3次方成正比,故当水泵在用水低峰期小流量下恒压降频运行时,理论上能大大降低供水运行电耗。根据水泵的比例律,理论上当水泵转速降低10%时,轴功率降低27.1%;当水泵转速降低20%时,轴功率降低48.8%。当水泵运行的平均流量为额定流量的50%~60%时,根据水泵比例律,水泵转速降低为原转速的50%左右,水泵扬程降低为原扬程的30%左右,此时变频调速泵的节能效果可达70%^[5]。

2.2.2 变频水泵实测电耗指标分析

① 变频水泵逐月实测电耗指标分析

水泵耗电量逐月变化趋势分析表明,2021年6月—2022年1月,水泵电耗与用水量总体都逐月增长,二者呈正相关;2022年3月—5月,该养老建筑因防疫管理,用水量呈小幅下降趋势,水泵电耗量呈现平稳趋势;2022年6月—10月,随着气温升高,用水量逐月增长,但水泵电耗反而呈小幅下降趋势。水泵供水能耗及整体供水效率逐月分布如图4所示。

由图4可知,2021年6月、7月的实际供水能耗较高,分别为1.91、1.04 kW·h/m³,其中6月供水能耗者达到其余月份平均值的2.4倍,是有效供水能

耗的14.0倍,推测其原因可能是养老建筑在投入使用初期总用水量较少且用水时间分散,水泵长时间在低效区运行。实际供水能耗最低的是2022年10月的0.64 kW·h/m³,该月份的用水量为877 m³,也是所有月份中的最大值;整体而言,实际供水能耗与月供水量呈负相关,月用水量越大,实际供水能耗就越小。然而,20个月的逐月供水能耗平均值为0.85 kW·h/m³,是有效供水能耗的6.25倍,可见供水能耗浪费严重。泵组整体供水效率与月供水量呈正相关,最高值为2022年10月的21.2%,次高值是2022年11月的20.5%,最低值是2021年6月的7.0%。在规定的相同单位时间内,变频水泵的实际总供水流量越小,其供水能耗越大,泵组整体供水效率越低。

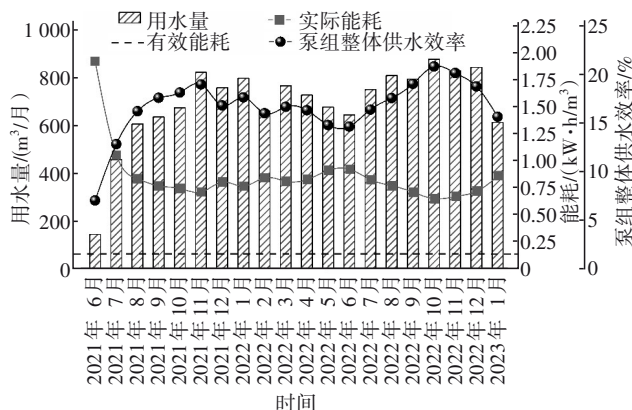


图4 水泵供水能耗及整体供水效率逐月分布

Fig.4 Monthly distribution of overall water supply efficiency and energy consumption for water pump

② 平均日水泵逐时能耗指标分析

对20个月内的流量、实际供水能耗、泵组整体供水效率等数据进行逐时平均统计,结果如图5所示。

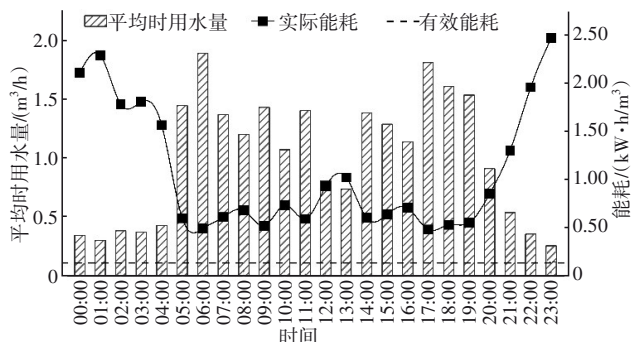


图5 平均日供水能耗逐时分布

Fig.5 Hourly distribution of energy consumption of average daily water supply

由图5可知,平均日21:00—次日05:00为用水低峰期,供水能耗较高,21:00—24:00实际供水能耗随用水量的逐时减少而迅速上升,23:00—24:00达到最高值($2.47 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$),是有效能耗的18.2倍;00:00—06:00实际能耗随用水量的逐时增加而逐渐下降。05:00—21:00的供水能耗趋于稳定,其中用水早高峰(06:00—07:00)约为 $0.49 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,用水晚高峰(17:00—20:00)约为 $0.50 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。将平均日24 h供水能耗取平均值,即 $1.07 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,是泵组运行有效供水能耗的7.9倍。

平均日水泵整体供水效率逐时分布见图6。可知,泵组的整体供水效率与逐时供水量的大小呈正相关,平均为16.9%。前文提到,当变频供水系统在工作时,加压水泵有98.86%的时间在其流量不高于 $Q_s/4$ 的工况下运行,平均日逐时流量都在该区间内,用水量最大的时段06:00—07:00,其流量占额定流量的比例也仅为12.6%,水泵效率为27.6%,供水泵组的整体供水效率远低于《清水离心泵能效限定值及节能评价值》(GB 19762—2007)要求,可见变频供水系统在小流量运行工况下的节能性较差。

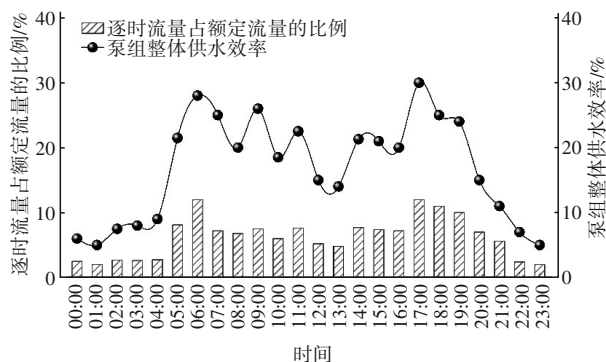


图6 平均日水泵整体供水效率逐时分布

Fig.6 Hourly distribution of average daily water pump overall water supply efficiency

③ 大流量供水下的变频水泵能耗指标分析

经数据分析,从统计期的所有数据中筛选出该泵房的最高日用水量为 $38.19 \text{ m}^3/\text{d}$,时间为2021年11月5日。该日水泵逐时供水能耗指标分布见图7。可以看出,该日用水量最大时段为18:00—19:00,用水量为 $2.77 \text{ m}^3/\text{h}$,该时段供水实际能耗为 $0.289 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,泵组整体效率达到47.1%;21:00—22:00供水实际能耗为 $4.07 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,泵组整体供水效率仅为3.3%。该日供水能耗平均为 $0.81 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,泵组

的整体供水效率平均为25%,均高于平均日逐时的对应值。

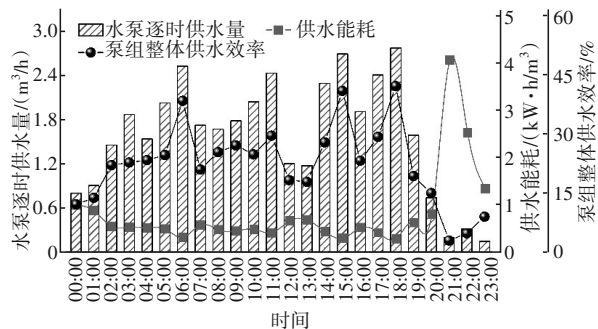


图7 2021年11月5日水泵逐时供水能耗指标分布

Fig.7 Distribution diagram of hourly water supply energy consumption index of water pump on November 5, 2021

2.3 节能效果评价与思考

2.3.1 变频供水系统的节能性评价

① 水泵机组节能评价指标

居民小区二次加压水泵比转速(n_s)通常为35~150,流量为 $5\sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$,依据GB 19762—2007,水泵节能评价值 η_3 为40.1%~74.9%^[6]。经查询,CBN16-4型水泵为4级立式水泵,电机额定功率为4 kW,转速为2 915 r/min,流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为50 m。由于水泵出水实际设定扬程为45 m,电机转速为2 915 r/min,设计选用了YE3-112M-2型电机,电机效率为88%。根据水泵流量、单级扬程、转速,计算得到水泵比转速为103,依据GB 19762—2007,经计算查阅,该泵节能评价值 η_3 为63%,对应的水泵整体供水效率为55.4%。另外,由CBN16-4型水泵的流量-效率($Q-\eta$)曲线可知,该泵在额定工况点下的供水效率为72%。

② 变频供水系统的总能耗指标

从物联网平台获得该养老建筑20个月的实测电耗数据:1#泵累计电耗为 $5\,514.5 \text{ kW}\cdot\text{h}$,2#泵累计电耗为 $5\,501.2 \text{ kW}\cdot\text{h}$,泵组累计电耗为 $11\,015.7 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。结合变频泵组的有效能耗($E_0=1\,889.1 \text{ kW}\cdot\text{h}$),可计算得到此时间段内泵组整体供水效率为17.15%。考虑水泵的电机效率(88%),则水泵效率 η' 为19.50%。可以看出,该变频泵组未达到GB 19762—2007中规定的节能评价值(63%),更未达到该泵在额定工况点下的供水效率(72%)。众所周知,工频供水泵理论上应在额定工况点运行,但变频泵组在该时段内的总体效率仅为水泵额定工况效率的

27%,其能耗至少为水池+工频水泵+高位水箱供水的3.7倍,不仅不节能,反而造成更严重的能源浪费。

2.3.2 变频泵组高能耗原因分析

① 变频器运行频率分布

对该养老建筑变频器的频率数据进行分析,变频器运行频率 $f \geq 25$ Hz的时长占92%, 16.7 Hz $\leq f < 25$ Hz的时长占0.3%, 12.5 Hz $\leq f < 16.7$ Hz的时长占0.2%, 0 Hz $\leq f < 12.5$ Hz的时长占0.5%, $f=0$ Hz的时长占6.9%。

② 变频供水系统高能耗原因

a. 变频水泵流量区间分布与频率区间分布错位。按水泵相似定律,供水流量与变频器的转速/频率成正比,水泵消耗功率与变频器的频率/转速的3次方成正比,由于该养老建筑的水泵有98.86%的时间是在其流量不高于 $Q_s/4$ 的工况下运行,当变频器的运行频率 $f \leq 12.5$ Hz时,其节能效果最佳,变频水泵的转速/频率脱离该区间越远、时间越长,能耗越大。从实测数据可知,变频器在92%的时间内其频率 $f \geq 25$ Hz,其无效能耗占比较高。

b. 变频水泵的有效频率区间有限。假设通过实时调整变频器频率达到能耗最优的目的,一方面,为满足变频供水系统在最小流量工况下克服供水高差静扬程及管道损失的要求,通常设置泵组出口最低压力;当变频器运行频率低于最小有效频率时,水泵电机无法将水有效输出到用水端。另一方面,生产厂家对电机下限频率进行了限制,一般为25 Hz或30 Hz。综上,变频器调频宽度有限,受最小有效频率和电机下限频率的限制,不能完全根据用水量的变化实时调整变频器的频率。《住宅小区二次供水泵房技术规程》(T/ZS 0227—2021)规定:应根据电机特性,锁定输出最低频率,防止误操作时负载转矩大于失步转矩。变频器输出频率上、下限分别设为50和30 Hz,当变频器频率升至50 Hz或降至30 Hz时,如果累计2 min内变频器的运行频率一直维持在上限或下限,管网压力仍不能满足要求时,可编程逻辑控制器(PLC)将执行加/减泵子程序^[7]。

c. 变频水泵“大马拉小车”造成高能耗。当变频水泵长期运行在小流量区间时,必然造成水泵实际运行流量和实际运行功率的错配,系统会因不能进行相应的小频率调频或小频率下水泵无效空转,

使水泵在小流量工况下消耗的功率总是大于水泵的最低有效功率,造成供水能耗较高,故该养老建筑的水泵选型过大是导致供水运行能耗过高的主要原因。

③ 变频供水泵组节能优化方案

a. 变频水泵组节能的关键影响因子

由图4可知,任意两个供水量不同的月份相比,供水量较大的水泵效率高于用水量较小的,供水量较大的水泵供水能耗低于供水量较小的;由图5~7可知,任意两个供水量不同的小时段相比,供水量较大的水泵效率高于供水量较小的,供水量较大的水泵供水能耗低于供水量较小的。大流量供水工况和平均日小流量供水工况下的水泵能耗指标分析结果如表1所示。

表1 大流量供水工况和平均日小流量供水工况下的水泵能耗指标分析结果

Tab.1 Analysis results of pump energy consumption index under large flow water supply condition and average daily small flow water supply condition

项目	供水流量/(m ³ /h)	占额定流量的比例/%	实际能耗/(kW·h/m ³)	泵组整体供水效率/%
20个月的平均日平均时	1.00	6.7	1.070	16.9
2021年5月18日13:00—14:00	6.40	42.7	0.188	65.1
2021年5月18日14:00—15:00	6.49	43.3	0.216	56.6
2021年5月18日15:00—16:00	6.21	41.4	0.193	63.1

由表1可以看出,在20个月的数据统计周期内,平均日平均时流量占泵组额定流量的6.7%,是日常小流量运行工况的典型代表;而2021年5月18日的13:00—16:00,平均时流量占额定流量的42.4%,为供水大流量工况,后者的供水能耗是前者的19.9%,水泵效率是前者的3.93倍。可见,变频水泵的实际供水流量及实际供水流量占变频水泵额定流量的比例,是决定水泵节能效果的关键因素,但供水流量由用水人员的客观需求决定,无法改变,故调节实际供水流量占变频水泵额定流量的比例,能直接影响变频水泵的节能效果。

随机选取该变频水泵140组不同流量占比及其对应水泵整体供水效率的数据,分析 $Q-\eta$ 曲线规律,结果见图8。可知,变频水泵的实际供水流量占

水泵额定流量的比例与泵组的整体供水效率呈现正相关。水泵供水流量低于 Q_s 的15%时,泵组整体供水效率随着流量占比的增大快速升高,该区间 $Q-\eta$ 曲线的斜率最大,说明该区间内流量比例增大对节能的边际影响较大;水泵供水流量为 $Q_s/4$ 时,泵组整体供水效率为40%~45%;水泵供水流量为 $Q_s/3$ 时,泵组整体供水效率为42%~53%;水泵供水流量为 $(0.45\sim0.50)Q_s$ 时,泵组整体供水效率为60%~70%,接近CBN16-4型水泵的额定工况点效率值。

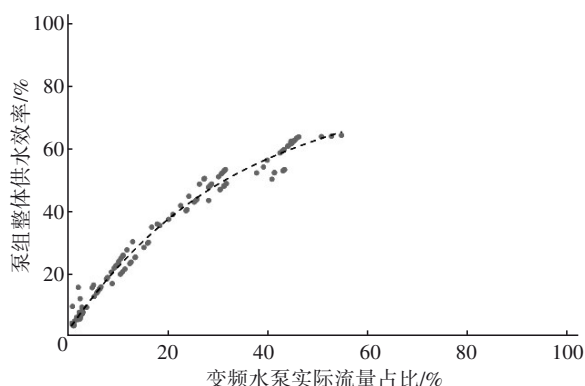


图8 变频水泵实际运行流量占额定流量的比例与泵组整体供水效率的对应关系

Fig.8 Corresponding relationship between the percentage of the actual running flow of the variable frequency pump and overall water supply efficiency of the pump system

b. 变频水泵选型配置原则与优化

根据上文分析,当水泵节能评价 η_3 满足GB 19762—2007的规定时,对应的水泵整体供水效率 $\geq 55.4\%$,由图8可知,将实际供水流量占比提高到38%以上时,水泵才能达到理想的节能效果。结合图2的用水时长分布规律,水泵在供水流量不高于 $Q_s/4$ 工况下的运行时长占总时长的98.86%;由图6可知,平均日21:00—次日05:00为用水低峰期,平均流量占比为2.5%,平均日05:00—21:00为用水高峰期,平均流量占比为9.0%。根据《二次供水设备节能认证技术规范》(CQC 3153—2022)与《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)配置水泵,其中水泵在满足最多配备3用1备的前提下,使用台数越多,效率越高,单位供水能耗越低。

综上,在系统设计总流量按照规范不变的条件,对同等规模的养老建筑提出两种水泵配置方案建议:在水泵配置完备的前提下,选择2台大流量工作泵(单泵流量为 $0.35Q_s$)、1台中流量工作泵(水泵

流量为 $0.25Q_s$)、1台小流量工作泵(水泵流量为 $0.05Q_s$),所有水泵均设变频调节器;用水高峰期采用中流量工作泵供水,流量占比为38%,符合要求;日常用水低峰期采用小流量工作泵供水,流量占比为50%,也符合要求;当用水流量 $>Q_s/4$ 时启动大流量工作泵供水。在仅有小流量水泵前提下选择备选方案,即选择4~5台小流量工作泵,单泵流量为 $(1/5\sim1/4)Q_s$,用水高峰期实际供水流量占变频水泵额定流量的比例为38%~45%,满足不小于38%的要求;配置适当容积的气压水罐,用于每日用水低峰期的小流量保压。

3 结论

① 案例养老建筑中老年人用水时间在不同季节保持稳定,四个季节的平均日逐时用水变化趋势基本一致。受老年人生活习惯和健康状况的影响,每日用水高峰期通常出现在06:00—07:00和17:00—19:00,而夜间21:00—次日05:00则为用水低峰期。

② 在统计的20个月期间,该养老建筑变频供水泵组的整体供水效率 η 和水泵效率 η' 分别为17.15%和19.50%,小于《清水离心泵能效限定值及节能评价》(GB 19762—2007)中要求的节能评价 η_3 (63%)。经估算,该变频供水系统的能耗约为“水池+工频水泵+高位水箱”供水的3.7倍,不仅不节能,反而存在较大的能源浪费。

③ 该养老建筑变频供水系统正常工作时,其泵组在流量不高于 $Q_s/4$ 的小流量工况下运行时长占比达98.86%;泵组在流量 $>Q_s/4$ 、 $\geq Q_s/3$ 和 $\geq Q_s/2$ 工况下运行时长占比分别为1.14%、0.18%和0.01%。而变频器在 $f \geq 25$ Hz的高频率下的运行时长占92%,造成变频水泵流量区间分布与频率区间分布错位,变频水泵长期在大于实际需要的功率下运行,导致高能耗。

④ 变频水泵实际供水流量占其额定流量的比例是决定系统节能的关键因子。案例养老建筑二次供水水泵效率节能评价 $\eta_3 \geq 63\%$ 时(满足节能认证要求),对应的水泵整体供水效率 $\eta \geq 55.4\%$,实际供水流量占比 $\geq 38\%$ 。同类型建筑可以依据建筑平均日的用水规律曲线,合理确定大小工作泵的调度投运,高峰投运大流量泵,低峰投运小流量泵或气压水罐,使变频水泵流量占比能一直维持在最

低流量占比以上,保证节能效果。

参考文献:

- [1] 杨发祥,李卓航.深度老龄化背景下机构养老服务的结构性瓶颈:以上海市为例[J].华东理工大学学报(社会科学版),2014,29(4):106-116.
YANG F X, LI Z H. The structural bottlenecks of pension institution services in the advanced stage of aging: a case study of Shanghai municipal[J]. Journal of East China University of Science and Technology (Social Science Edition), 2014, 29(4): 106-116 (in Chinese).
- [2] 王昶军.变频供水设备在高层住宅供水系统节能改造中的应用[J].铁道标准设计,2006(6):110-111.
WANG C J. Application of the variable-frequency water supply facility in the transformation of water supply system in high-level residential buildings [J]. Railway Standard Design, 2006(6): 110-111 (in Chinese).
- [3] 吴明全,邢屹.变频器和PLC在小区生活水泵房的应用[J].计算机与数字工程,2009,37(9):194-198.
WU M Q, XING Y. Control system of domestic water pump house in the community by frequency converter and programmable logic controller [J]. Computer and Digital Engineering, 2009, 37(9): 194-198 (in Chinese).
- [4] 侯海俊,朱雷.变频技术在二次供水系统中的应用[J].数字技术与应用,2012(5):102.
HOU H J, ZHU L. Application of frequency conversion technology in secondary water supply systems [J].

Digital Technology and Applications, 2012(5): 102 (in Chinese).

- [5] 常金秋.多层住宅变频供水节能问题[J].上海应用技术学院学报(自然科学版),2003,3(3):203-206.
CHANG J Q. The problem of power saving on frequency conversion and water supply in high buildings [J]. Journal of Shanghai Institute of Technology (Natural Science), 2003, 3(3): 203-206 (in Chinese).
- [6] 鲁彬,冯霞,甘光华,等.居民小区二次供水设施改造节能思考与研究[J].给水排水,2022,48(12):117-121.
LU B, FENG X, GAN G H, et al. Thinking and research on energy-saving optimization of reconstructed project for secondary water supply facilities in residential communities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(12): 117-121 (in Chinese).
- [7] 彭大胜.变频供水稳定性及其节能的探讨[J].广东科技,2009(6):166-167.
PENG D S. Discussion on the stability and energy conservation of variable frequency water supply [J]. Guangdong Science & Technology, 2009(6): 166-167 (in Chinese).

作者简介:杨凤伟(1987—),男,云南临沧人,硕士,高级工程师,研究方向为自控科学与工程。

E-mail:876849029@qq.com

收稿日期:2023-12-08

修回日期:2024-04-10

(编辑:丁彩娟)

珍惜水,爱护水,以水促和平