

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.006

高层住宅串联叠压供水方式节能分析

雷春元¹, 康炳卿^{2,3}, 刘欢^{2,3}, 张震^{2,3}, 刘永佳¹, 王彤^{2,3},
范正义⁴

(1. 西安市自来水有限公司, 陕西 西安 710082; 2. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 3. 长安大学 住房和城乡建设部给排水重点实验室, 陕西 西安 710054;
4. 邦信智慧供水有限公司, 江苏 宿迁 430070)

摘要: 针对目前传统并联供水方式各分区供水规模较小、无法实现压力层级利用等局限性,对串联叠压供水方式在高层住宅中的应用进行研究,对其工作原理进行了论述,从设计秒流量、配泵轴功率、叠压节能角度对供水方式的节能原因进行理论分析。结合工程案例,利用数解法计算两种供水方式的全天累计能耗并对比,结果表明该案例下串联叠压供水方式相较传统并联供水方式节能率为5.75%,从节能角度为高层住宅供水方式的选择提供一定参考。

关键词: 高层住宅; 串联叠压供水; 节能分析; 能耗计算

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0040-07

Energy-saving Analysis of Series Superimposed Water Supply for High-rise Residential Buildings

LEI Chun-yuan¹, KANG Bing-qing^{2,3}, LIU Huan^{2,3}, ZHANG Zhen^{2,3},
LIU Yong-jia¹, WANG Tong^{2,3}, FAN Zheng-yi⁴

(1. Xi'an Water Supply Corporation Limited, Xi'an 710082, China; 2. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 3. Key Laboratory of Water Supply and Sewerage, <Ministry of Housing and Urban-Rural Development>, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 4. Bonce Wit Water Supply Co. Ltd., Suqian 430070, China)

Abstract: At present, the traditional parallel water supply mode has some limitations, such as the small scale of water supply in each sub-zone and the inability to realize the utilization of pressure levels. Alternatively, the application of the series superimposed water supply method in high-rise residential buildings is worth of studying. In this work, the principle of the series superimposed water supply method is discussed. From the perspective of design second flow rate, pump shaft power, and superimposed pressure, the energy-saving factors of the water supply method are analyzed theoretically. Combined with an engineering case, the whole day cumulative energy consumption of the two water supply modes is calculated and compared by using the numerical method. Compared with the traditional parallel water supply method, the energy saving rate of the series superimposed water supply method in this case is 5.75%. From the perspective of energy-saving, this work provides a certain reference for the selection of

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0406200)

通信作者: 王彤 E-mail: 894496318@qq.com

the water supply methods in high-rise residential buildings.

Key words: high-rise residential buildings; series superimposed water supply; energy-saving analysis; energy consumption calculation

为改善高层住宅同一系统供水带来的诸多弊端,保证建筑供水的安全可靠性,减少供水能耗,节约水资源,高层住宅供水系统应采取竖向分区方式。对于100 m以下的高层住宅,并联分区供水方式目前应用较为广泛,该供水方式各分区互不关联,自成系统,安全可靠,但各区用户规模较小,泵组所负责的用户当量数量较少,用水不均匀性较大,泵组启停频繁,功耗较大。杨政忠^[1]、余海静^[2]、赵炳君^[3]等均对串联分区供水方式进行了研究,并分别在不同超高层建筑工程实例中采用高区管网叠压的方式对高区用户进行加压,达到了节能经济合理的目的。但之前对于该种方式的研究大多停留在工程应用方面,并没有系统地进行理论节能分析及计算。鉴于此,从节能理论分析及泵组运行优化两方面对串联叠压供水方式进行研究,并在此基础上从工程案例角度验证节能理论,旨在为高层建筑供水方式的选择提供参考。

1 供水原理

串联叠压供水方式利用串联系统和叠压设备将各分区泵组联动运行。与传统并联供水方式类似,同区水泵和各分区供水管道均采用并联方式连接,但不同区的泵组采用串联方式衔接。以竖向三分区泵组为例,供水方式示意如图1所示。

利用低区泵组作为中区泵组的前级增压设备,为中区泵组提供全部流量,中、高区泵组的关系亦如此。高、中、低区泵组出水端均配有流量与压力传感器,其检测到的各区泵组出水流量及压力,用以控制高、中、低区泵组内不同水泵的运行。

该供水方式具有以下优点:①低区泵组供水规模增大,泵组效率提高,而且用户错峰用水的几率增加,用水均匀性提高。②与传统并联供水方式在泵组及管道布置方面均有相同点,不同的只是将后级泵组的进水管改为由前级泵组出水管吸水,因此利用楼内的管道布置方式,降低改造施工难度。③泵组可集中设置于地下室,便于日常维护及集约化管理,无中间转输水箱,节约占地空间,降低楼层荷载,同时封闭系统还减少了供水二次污染的风险。

该供水方式的技术难点为:因为采用泵组直接串联方式,控制系统联动性强,对整个供水控制系统的前期设计以及后期维护、监测、操控具有较高的要求。

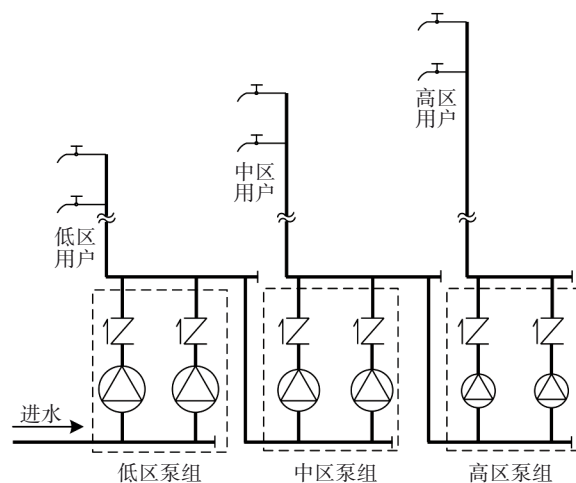


图1 串联叠压供水方式示意

Fig.1 Schematic diagram of series superimposed water supply mode

2 节能分析

2.1 设计秒流量分析

依据现行国家标准《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019,以下简称“建水规”)住宅设计秒流量计算相关规定,对管段卫生器具给水当量同时出流概率 U 、设计秒流量 q_g 与卫生器具给水当量总数 N_g 关系进行分析,绘制曲线如图2所示。

由图2可以发现,在平均出流概率 U_0 一定的前提下, $N_g=1.0$ 时, $U=100\%$,随着卫生器具当量总数 N_g 的增加,同时出流概率 U 不断减小,当 N_g 增加到足够大(U_0 为2.5%对应 $N_g=8\ 000$)时, $U=U_0$,这是使用同时出流概率 U 计算设计秒流量的边界条件,即设计秒流量和最大时用水量的衔接点,当卫生器具给水当量总数超过 $U=U_0$ 所对应的 N_g 值(记此边界条件为 N_0)时,最大时用水量将取代设计秒流量作为系统设计流量。为确定不同 U_0 值所对应的 N_0 值,可利用数学中的“相关”概念为各 U_0 值设置一个相同的边界条件,即 $U_0 \times N_0$ 等于一个常数,“建水

规”采用 $U_0 \times N_0 = 0.035 \times 5\,714 = 200$ 确定各 U_0 值的边界条件 N_0 值。

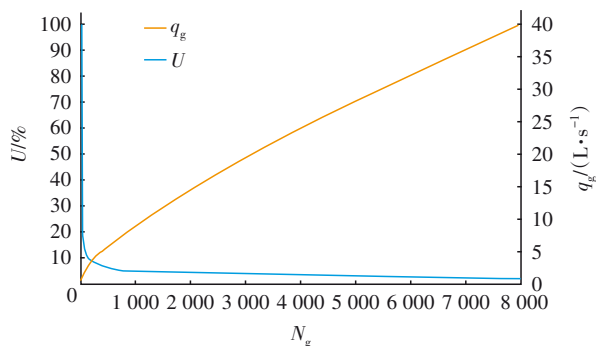


图2 管段卫生器具给水当量同时出流概率、设计秒流量与卫生器具给水当量总数的关系 ($U_0=2.5\%$)

Fig.2 Relationship between the simultaneous outflow probability, the design second flow rate of the pipe section sanitary ware water supply equivalent and the total number of sanitary ware water supply equivalent ($U_0=2.5\%$)

住宅建筑属于分散型用水建筑,用水历时长且用水设备使用情况不集中,而分散型用水的住宅建筑卫生器具同时出流百分数(出流率)随卫生器具当量数目的增加而减少,因此对不同分区合并后的设计秒流量计算并不是简单地将原各分区设计秒流量相叠加,而是应考虑概率因素,当卫生器具和

使用人数增多时,交错用水几率的增大使用户用水不均匀性减小,分区合并后的设计秒流量比各分区设计秒流量的累加值小。在串联叠压供水时,低区泵组负责的是整个供水系统的流量,此时低区供水规模增大,泵组设计秒流量根据其负责的当量数重新计算,而不应直接叠加原并联方式下的各区设计秒流量。由此可得出 $N_g \leq 200/U_0$ 时串联叠压供水方式和传统并联供水方式各分区设计流量的关系:低区 $Q_{并} < Q_{串} < 3Q_{并}$;中区 $Q_{并} < Q_{串} < 2Q_{并}$;高区 $Q_{并} = Q_{串}$ 。

2.2 配泵轴功率对比

根据以上分析,对两种供水方式下各分区配泵轴功率进行对比。对比前先做如下假设:①各分区楼层高度相同,且合并前各分区给水当量总数相同;②各供水分区管路水损近似相等。泵的轴功率计算公式如下:

$$N = \frac{\rho g Q H}{1\,000 \eta} \quad (1)$$

式中: N 为泵的轴功率, kW; ρ 为液体密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; Q 为流量, m^3/s ; H 为扬程, m ; η 为泵效率, %。

根据两种供水方式下各分区泵组流量及扬程的关系,不同分区配泵轴功率对比如表1所示。

表1 两种供水方式下各分区配泵轴功率对比

Tab.1 Comparison of pump shaft power of each sub-zone of two water supply modes

项 目	流量	扬程	有效功率	效率	轴功率
并联:高区	$\frac{1}{3}Q_{串} < Q_{并} < Q_{串}$	$H_{并} = 3H_{串}$	$\rho g Q_{并} H_{并} > \rho g \frac{1}{3}Q_{串} \times 3H_{串}$	$\eta_{并} < \eta_{串}$	$N_{并} > N_{串}$
串联:低区					
并联:中区	$\frac{1}{2}Q_{串} < Q_{并} < Q_{串}$	$H_{并} = 2H_{串}$	$\rho g Q_{并} H_{并} > \rho g \frac{1}{2}Q_{串} \times 2H_{串}$	$\eta_{并} < \eta_{串}$	$N_{并} > N_{串}$
串联:中区					
并联:低区	$Q_{并} = Q_{串}$	$H_{并} = H_{串}$	$\rho g Q_{并} H_{并} = \rho g Q_{串} H_{串}$	$\eta_{并} = \eta_{串}$	$N_{并} = N_{串}$
串联:高区					

由表1可知,串联叠压供水方式的三个分区在理论工况条件下,除高区与并联低区的配泵轴功率相同以外,另外两个区的配泵轴功率均要小于并联分区。所以理论工况条件下,可认为串联叠压供水方式配泵轴功率要小于传统并联供水方式,串联叠压供水方式更为节能。

结合算例对表1进行定量说明,以合并前低、中、高三区各100户为例,对传统并联分区供水方式和串联叠压供水方式各分区分别进行设计秒流量计算,计算结果如表2所示。为简化计算,此处取 $N_g = 4.0$, $U_0 = 2.5\%$ 。

表2 两种供水方式下设计秒流量计算对比

Tab.2 Comparison of calculation of design second flow rate of two water supply modes

项 目	泵组	供水规模/户	设计秒流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
传统并联供水	高区泵组	100	18.50
	中区泵组	100	18.50
	低区泵组	100	18.50
串联叠压供水	高区泵组	100	18.50
	中区泵组	200	$28.51 < 18.50 \times 2 = 37.00$
	低区泵组	300	$37.11 < 18.50 \times 3 = 55.50$

由表2可以发现,串联低区设计秒流量为并联

高区3倍设计秒流量的66.9%,串联中区设计秒流量为并联中区2倍设计秒流量的77.1%。

结合表1与表2的分析,对串联低区和并联高区轴功率进行对比,可以得出: $\rho g Q_{\text{串低}} H_{\text{串低}} = \rho g \times 66.9\% \times 3Q_{\text{并高}} \times \frac{1}{3} H_{\text{并高}} = 66.9\% \times \rho g Q_{\text{并高}} H_{\text{并高}}$ 。

国家标准《离心泵效率》(GB/T 13007—2011)规定了离心泵的效率标准,由此标准中相关图表可以总结离心泵的效率特征:水泵效率随着流量的增大而提高,在50 m³/h的流量范围内,不同系列水泵最高效率与额定流量的相关关系大体一致,即均呈现出水泵最高效率随额定流量的增加而升高的趋势^[4]。所以 $N_{\text{串低}} < 66.9\% N_{\text{并高}}$,即串联低区的轴功率最大值不超过并联高区轴功率的66.9%。同理,串联中区的轴功率最大值不超过并联高区轴功率的77.1%,串联低区和并联高区的轴功率相等。

由此可以将合并后各分区设计秒流量与合并前各分区设计秒流量累加值的比值作为衡量串联分区节能效果的量化指标,比值越小,说明串联分区轴功率相较于并联分区轴功率越小,节能潜力越大。

进一步,由上述分析探究合并前分区规模和分区合并后节能效果的关系。仍以三个分区为例,合并前分区规模分别取每区100、200、…、600户,计算其分区合并后的设计秒流量以及合并前各分区设计秒流量累加值,求取二者比值,绘制如图3所示曲线($N_g=4.0, U_0=2.5\%$)。

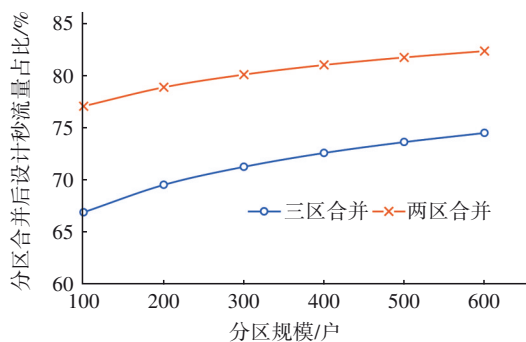


图3 分区合并后设计秒流量与合并前各分区设计秒流量累加值的比值($N_g=4.0, U_0=2.5\%$)

Fig.3 Ratio of the design second flow rate after partition merger to the cumulative value of each partition design second flow rate before merger ($N_g=4.0, U_0=2.5\%$)

由图3可以发现,合并前分区规模越小,其合并后所占原分区设计秒流量累加值的比重越小,而且

三区合并后的设计秒流量占比整体要小于两区合并后的设计秒流量占比。对于串联叠压供水方式,原并联供水方式下各分区户数规模越小,改造为串联叠压供水方式后其节能潜力越大,而且串联低区的节能效果优于串联中区。因此对于小规模分区的高层住宅采用串联叠压供水方式节能效果更为显著。

2.3 叠压节能分析

对两种供水方式下各分区泵组扬程关系进行研究,各区泵组出口设定压力应满足下式要求:

$$H = Z + \sum h + H_0 \quad (2)$$

式中: H 为泵组出口设定压力值,m; Z 为泵组出口至供水系统最不利点垂直高差,m; $\sum h$ 为供水管路系统水头损失,m; H_0 为供水系统最不利配水点最低工作压力,m。

由式(2)可知,两种供水方式的各分区泵出口压力均应满足:低区 $H_d = Z_d + \sum h_d + H_0$,中区 $H_m = Z_m + \sum h_m + H_0$,高区 $H_g = Z_g + \sum h_g + H_0$ 。

对各分区泵组扬程均取其最小值,见表3。

表3 两种供水方式下各分区泵组扬程

Tab.3 Pump heads of each sub-zone pump group of the two water supply modes

项目	传统并联供水	串联叠压供水
低区	$H_d = Z_d + \sum h_d + H_0$	$H'_d = Z_d + \sum h_d + H_0$
中区	$H_m = Z_m + \sum h_m + H_0$	$H'_m = Z_m - Z_d + \sum h_m - \sum h_d$
高区	$H_g = Z_g + \sum h_g + H_0$	$H'_g = Z_g - Z_m + \sum h_g - \sum h_m$

由表3可知,两种供水方式下低区泵组扬程一致,均需满足低区供水系统最不利用水点所需的全部压力,但串联叠压供水方式中、高区的泵组扬程小于并联供水方式。并联供水方式因各区泵组独立设置,互不关联,前级泵组的富余扬程无法充分利用;串联供水方式下,三个分区的 H_0 均由低区泵组提供,后级泵组所提供压力满足高差要求和系统水头损失要求即可,可利用图4说明串联叠压供水方式下各区泵组之间的扬程关系。

由图4可以直观地看到,低区泵组将水加压到低区设定恒压值 H_d ,满足低区用户供水的同时,中区泵组充分利用低区泵组供水的富余扬程,避免了低区泵组富余扬程 ΔH_1 的浪费,高区同理,避免了中区泵组富余扬程 ΔH_2 的浪费。因为压力的层级利用,串联叠压供水系统三个分区泵组扬程累加值为: $Z_g + \sum h_g + H_0 = H_g$,而并联供水系统三个分区泵

组扬程累加值为: $Z_d + \sum h_d + Z_m + \sum h_m + Z_g + \sum h_g + 3H_0 = H_d + H_m + H_g$,所以串联叠压供水较并联供水节省的压力为: $\Delta H_1 + \Delta H_2 = H_d + H_m$ 。

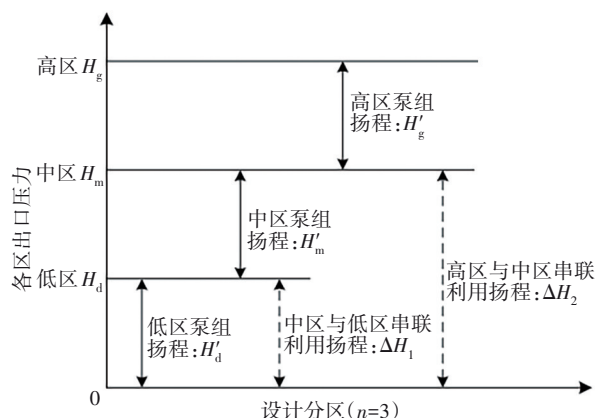


图4 串联叠压供水各分区泵组扬程关系

Fig.4 Pump head relationship of each sub-zone pump group in series superimposed water supply

综上,串联系统各分区泵组工作的最终目的是保证高区供水系统最不利点水压满足用户用水需求,低区及中区用户在保证高区用水的同时也可一并满足,系统整体供水压力仅相当于并联系统高区供水压力。因此,串联叠压供水方式较并联供水方式对富余扬程的利用率更高,可节省更多的供水压力。

3 工程案例

西安市某住宅小区有高层住宅楼A、B、C三栋,层数均为30层,每层6户,总计540户。楼内层高3 m,室内外高差0.6 m。给水泵房设置于B座地下室,同时为三栋高层供水,地下室层高4 m,泵房储水箱最低水位高出地面0.8 m。市政给水管接管点供水压力约为0.25 MPa。小区原生活给水系统属于传统并联分区供水方式,其竖向分区信息如表4所示。

表4 楼层竖向分区信息

Tab.4 Floor vertical zoning information

项目	楼层	户数	原供水方式
低区	1~4	72	市政管网直供
中区	5~17	234	变频调速水泵和低位水箱联合供水
高区	18~30	234	变频调速水泵和低位水箱联合供水

基于以上工程案例背景资料,对该工程案例采用不同供水方式下的设计参数进行计算,指导科学选泵。分别采用原并联供水方式和串联叠压供水方式,各供水分区仍采用原楼层分区方案。

原供水泵组中、高区出水管上均安装有远传水表,实时采集流量数据并上传至小区监管平台,数据采集的时间间隔为15 min,将1 h内采集的4个数据取平均值作为逐时流量。以2018年11月—2019年11月的数据进行统计分析,各区最高日15 min用水量变化情况如图5所示。

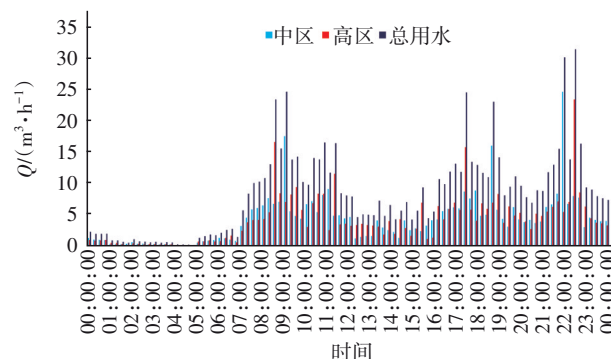


图5 各区最高日15 min用水量变化

Fig.5 Changes in the highest daily 15 min water consumption in each sub-zone

由图5可知,中区最高日峰值流量为24.70 m³/h;高区最高日峰值流量为23.44 m³/h;泵房总供水最高日峰值流量为31.47 m³/h。

本次模拟计算只考虑供水方式不同对能耗的影响情况,其余因素均视为次要因素进行简化。两种供水方式泵组主泵均采用全变频恒压控制方式,辅泵配合气压水罐使用,采用工频控制。由于不同分区设备所服务用户水量和水压均有所区别,故各分区设备选型情况也有不同。依据以上对泵组设计参数的计算以及对实测用水规律的分析,对两种供水方式下各分区泵组设备进行选型。

根据“建水规”及实测用水规律,对两种供水方式下中、高区泵组分别进行主泵选型及泵组配置,以传统并联供水方式下中区泵组为例进行分析。计算得到中区泵组设计秒流量为26.51 m³/h,扬程为79 m,并联泵组采用两用一备配置。以此数据对CR系列泵进行选型,发现CR10-14符合供水系统流量及扬程要求,具体选型参数见表5。

对CR10-14水泵进行高效区求解,该泵 $Q-H$ 特性曲线如图6中加粗实线所示。

由图6可知,CR10-14在设定压力值为75 m时单泵高效区理论流量范围为4.35~13.76 m³/h,结合水泵样本,该泵高效区实际流量范围为4.35~13.00 m³/h。

表5 主泵型号及参数

Tab.5 Models and parameters of main pumps

项目	分区	泵组配置	服务对象	配置流量/(m ³ ·h ⁻¹)	单泵流量/(m ³ ·h ⁻¹)	扬程/m	设定恒压值/m	选泵型号
传统并联	中区	两用	中区用户	26.51	13.26	79	75	CR10-14
	高新区		高新区用户	26.51	13.26	122	116	CR10-22
串联叠压	中区	一备	中、高新区用户	40.06	20.03	79	75	CR15-8
	高新区		高新区用户	26.51	13.26	44	42	CR10-8

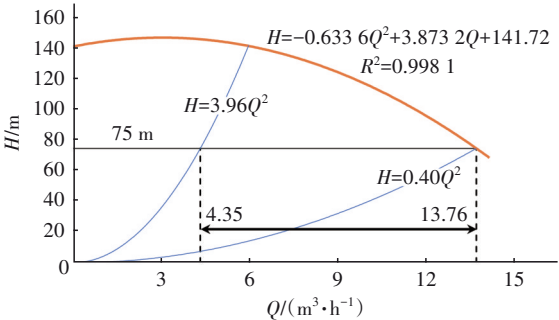


图6 CR10-14单泵 $Q-H$ 曲线及恒压 75 m 时的高效区流量调节范围

Fig.6 CR10-14 single pump $Q-H$ curve and high efficiency zone flow adjustment range at constant pressure 75 m

根据“建水规”、《二次供水工程技术规程》(CJJ 140—2010)、《微机控制变频调速给水设备》(CJ/T 352—2010),变频调速泵组应具有小流量运行功能并宜配置满足该工况的辅泵及气压水罐。结合相关研究^[5],对小流量工况辅泵进行选型,选型结果如表6所示。

表6 辅泵型号及参数

Tab.6 Models and parameters of auxiliary pumps

项目	分区	主泵高效区最小流量/(m ³ ·h ⁻¹)	系统所需供水压力值/m	辅泵型号	额定流量/(m ³ ·h ⁻¹)	额定功率/kW
传统	中区	4.35	64.3	CR3-23	3.0	2.2
并联	高新区	4.34	103.3	CR3-36	3.0	3.0
串联	中区	8.43	65.1	CR5-20	5.8	3.0
叠压	高新区	4.35	29.3	CR3-11	3.0	1.1

根据实测中区最高日流量情况,传统并联供水方式中区泵组运行调度情况如图7所示。

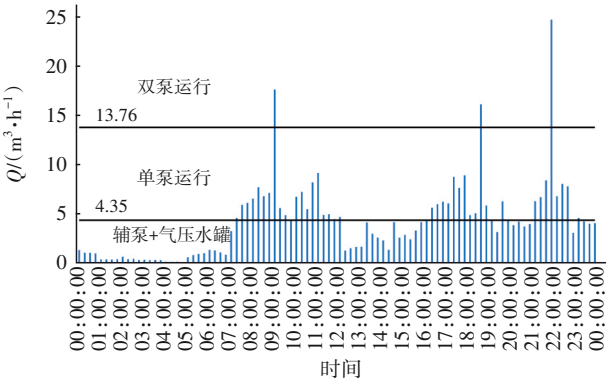


图7 并联中区泵组运行调度情况
Fig.7 Operation and scheduling of the parallel pump group in the middle zone

其他三组泵高效区范围计算及泵组运行调度安排与并联中区泵组同理,主泵在高效区内变频调速供水,小流量供水由辅泵配合气压水罐实现。结合变频调速泵组累计功耗计算方法,得到传统并联方式和串联叠压供水方式下中、高新区泵组累计能耗,结果如表7所示。

表7 不同供水方式下泵组全天累计能耗

Tab.7 Cumulative energy consumption of the pump set in different water supply modes throughout the day

项目	高效区供水			小流量供水			分区	总能耗/(kW·h)
	主泵型号	供水量/m ³	能耗/(kW·h)	辅泵型号	供水量/m ³	能耗/(kW·h)		
并联中区	CR10-14	76.64	22.68	CR3-23	23.43	10.80	33.48	84.07
并联高新区	CR10-22	74.22	34.09	CR3-36	25.80	16.50	50.59	
串联中区	CR15-8	151.57	43.79	CR5-20	48.53	17.12	60.91	79.24
串联高新区	CR10-8	69.92	11.80	CR3-11	30.11	6.53	18.33	

由表7可知,串联叠压供水方式下中区主泵及辅泵选型都较并联中区增大,主泵高效区流量区间后移且范围增大,计算可得中区主泵单位耗电量小于其他小型号泵,泵组效率约为71%,接近该型号泵的最大效率。辅泵在主泵高效区右移的前提下选泵型号也有所增大,因此也更为高效。在对工程案例的模拟能耗计算中,串联叠压供水方式的总能耗低于传统并联供水方式,节能率为5.75%,因此单纯从能耗对比角度来看,串联叠压供水方式更具

节能优势。

4 结论

① 当量总数 $N_g \leq 200/U_0$ 时,设计秒流量 q_g 随当量总数的增加呈非线性减速增长,这使得各分区合并后设计秒流量值小于合并前各分区秒流量累加值。

② 理论工况条件下,串联叠压供水方式配泵轴功率小于传统并联供水方式,合并前各分区规模越小,改造为串联叠压供水方式的节能潜力越大。

③ 串联叠压供水系统由于压力的层级利用,提供的压力只相当于传统并联供水系统为高区用户所提供的压力,有效节省了并联系统低区及中区相应的供水压力 $H_d + H_m$ 。

④ 工程案例能耗计算结果表明,该案例下串联叠压供水方式较传统并联供水方式的节能率为 5.75%,从工程案例的角度印证了串联叠压供水方式的节能理论。

参考文献:

- [1] 杨政忠,翟加君. 管网叠压在超高层建筑供水系统中的应用[J]. 中国给水排水,2013,29(24):45-48.
YANG Zhengzhong, ZHAI Jiajun. Application of pipe network pressure superposition to water supply system of super high-rise buildings [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(24): 45-48(in Chinese).
- [2] 余海静,李天鸣. 超高层建筑给水系统的供水方式及设计参数选择探讨[J]. 中国给水排水,2014,30(8):53-57.
YU Haijing, LI Tianming. Discussion on water supply

mode and design parameter selection of super high-rise building water supply system [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(8): 53-57(in Chinese).

- [3] 赵炳君. 叠压供水技术在 200 m 以上超高层建筑中的应用[J]. 中国给水排水,2016,32(2):45-48.
ZHAO Bingjun. Application of pressure-superposed water supply technology to super high-rise building with a height of over 200 meters [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2): 45-48(in Chinese).
- [4] 王彤,张震,张凯,等. 高层住宅串联分区与并联分区供水能耗对比[J]. 给水排水,2020,46(2):102-106.
WANG Tong, ZHANG Zhen, ZHANG Kai, et al. Comparison of energy consumption between high-rise residential series and parallel partition water supply [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(2): 102-106(in Chinese).
- [5] 刘洪海,李鸿敬,李明,等. 变频调速恒压供水系统中小流量水泵及气压水罐的选择[J]. 中国给水排水,2012,28(16):37-40.
LIU Honghai, LI Hongjing, LI Ming, et al. Selection of small flow pump and pneumatic tank in frequency conversion constant pressure water supply system [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(16): 37-40(in Chinese).

作者简介:雷春元(1967-),男,陕西西安人,硕士,高级工程师,研究方向为城市供水系统及水处理技术。

E-mail:1132783858@qq.com

收稿日期:2020-08-05

修回日期:2020-08-21

(编辑:丁彩娟)

坚持节约资源和保护环境的基本国策