

居民小区二次供水设施改造节能探讨

文 / 陈满庆 深圳市深水光明水务有限公司

摘要: 在二次供水设施完成建设后, 部分小区出现能耗增高问题。本文针对居民小区二次供水设施节能改造进行探讨, 分析二次供水系统高能耗原因后, 针对不同原因制定节能降耗改造策略, 并以实际案例小区为研究对象, 分析改造方案的可行性。仅以本文, 供我市自来水部门、市政基础设施部门借鉴参考, 合理规划节能改造方案并推动改造项目的实施, 从而有效落实节能减排发展目标。

关键词: 居民小区; 二次供水; 供水方式; 案例分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.100

在现代城市建设、发展中, 二次供水设施为保障居民用水安全性、稳定性的技术环节。然而, 传统二次供水系统往往存在能耗高、设备老化、管理不善等一系列问题。进行二次供水设施的节能改造, 是推进居民小区二次供水设施提高系统运行效率, 在落实节能降耗同时一并实现显著环保效益、经济效益的重要措施。而抓准二次供水设施主要能耗点, 制定科学的节能改造策略, 是指导供水管理部门开展高质量改造工作, 落实节能减排改造目标的高价值研究行为。

一、当下居民小区二次供水设施主要能耗点分析

(一) 水泵机组电耗

居民小区在经历二次供水设施改造后, 最大电能消耗点在于水泵机组。目前, 我国大量居民小区二次供水设施的供水压给压方二次供水设施, 主要采用二次加压供水, 改造阶段配工频水泵+高位水箱。根据《给排水设计手册》内容显示, 采取变频调速的形式进行居民小区供水, 相比单纯高位水箱供水模式以及叠压变频供水等模式, 有着最高的能耗, 如表1:

表1 不同供水加压方式能耗对比

序列	加压方式	供水压力	能耗
1	高位水箱	$\Delta P \leq$ 水箱高低水位差	1
2	气压供水	$\frac{P_1}{P_2} = 0.4$ 5.0-0.85	> 1
3	叠压变频供水(管网叠压变频调速)	$\Delta P \leq 0.01\text{MPa}$	≈ 1
4	叠压变频供水(高位水箱)	$\Delta P \leq$ 水箱高低水位差	< 1
5	变频调速供水	$\leq 0.01\text{MPa}$	1~2

结合表1数据不难看出, 变频调速供水的能耗, 在其他给压方式的1~2倍左右。导致这一问题, 根本因素在于工频泵(管道泵)+高位水箱的供水形式, 工频泵主要集中于水泵高效段运行, 但变频调速设备的加压形式, 水泵为恒定工作压力, 当用户用水量发生变化, 会基于变频调速来满足不同水量需求。水量较小情况下,

水泵通常会偏离高效段。此外, 水泵选型也是导致能耗过高的问题。根据调查, 大量居民区二次供水改造阶段, 往往因设计者资料不足、经验不足等问题放大安全系数, 造成水泵选型与配置不合理问题, 继而造成水泵长期运行与低效区。

(二) 供水方式损耗

在居民小区的二次供水系统中, 供水方式的设计, 对二次系统效率、稳定性有直接。针对部分建有高层建筑的居民小区, 二次供水设计, 需根据不同楼层的高度进行压力调节, 以确保各楼层供水压力均衡。然而, 一些居民小区由于分区楼层设计不合理, 供水系统常常需要安装大量减压阀设备, 导致这一问题可能源于二次供水系统初期设计期间未充分考虑建筑实际高度、水压需求, 导致各分区供水压力差异过大。为保障不同楼正常用水压力, 只能通过增设大量减压阀实现细化调节。然而, 安装过多减压阀, 每一级减压过程都会造成一定的能量损耗, 检减压阀是通过机械阻力将高压水转化为低压水, 这一过程中存在严重的能量的非回收性消耗, 且减压阀的频繁启闭将加剧设备磨损, 带来维护与更换成本^[2]。

二、居民小区二次供水设施改造节能策略

(一) 水泵机组改造策略

1. 调整二次加压供水方式

对于大量居民小区二次供水系统改造后, 因采用“管道泵+屋顶水箱”二次加压供水方式导致水泵能耗过高的问题, 可将二次加压供水方式调整为“变频调速泵+地下水池”的二次加压模式。

一方面, 传统管道泵在恒定高压下运行, 即使在用水量较低时, 仍旧会继续高速运转, 导致能耗过高。采用变频调速泵技术, 二次供水系统可根据实际用水需求实时调整水泵运行速度, 让水泵在低需求时以较低转速运行, 有效减少不必要的能源消耗。同时, 变频调速泵, 可动态调整水流量和压力, 满足不同时段用水需求, 基于灵活的调节方式, 可有效提高二次加压供水系统运行效率, 且变频调速泵, 相比管道泵有着更长的使

使用寿命。另一方面，将供水储存设施从屋顶水箱更换为地下水池，是进一步实现优化系统设计的思路。地下水池受到外界环境温度带来的影响较小，有着更高的水质稳定性，其不仅能够降低水池的清洁、维护成本，且地下水池的安装位置，便于供水维管部门开展集中管理、维护，大幅度减少系统复杂性。

2. 合理进行水泵选型与配置

合理进行二次供水系统水泵选型与配置，是实现加压供水节能的关键环节。水泵选型阶段，设计单位需要对居民小区进行全面的负载分析、用水需求调研。深入了解居民小区各时段的用水量、压力需求。同时，基于数字模拟、实地测试，确定供水系统在不同时间段运行的实际负载。精确的需求调研，将确保改造期间选择最适合水泵型号，避免功率因过大、过小导致能源浪费。

3. 智能控制与管理

首先，可通过安装压力传感器、流量计、液位传感器，实时采集二次供水管网的运行压力、流量、水池液位关键数据。基于数据的获取智能控制系统提供基础，保证变频水泵的运行，能够及时响应实际供水需求的变化。其次，设置变频水泵动态采参数调节机制，根据监测数据的获取，利用计算机系统可以实时调节变频水泵的转速、功率输出，以实现变频水泵的最佳运行状态。例如，当居民小区进入用水高峰，系统可提高水泵转速，确保供水压力稳定性。进入水低谷时，则系统自动控制降低转速，减少能源消耗同时，基于动态调节来避免水泵频繁启停操作，降低水泵机械损耗。最后，可设计居民小区二次供水系统多泵协同控制机制。在多泵控制系统中，智能控制系统同时进行多台水泵的协同控制、优化调度，基于对每台水泵合理分配负载，避免单泵过载运行问题，并提高整体效率且降低能耗高。例如，系统可根据居民小区不同时段实际需求轮换运行水泵，确保每台水泵始终处于最佳工况，从而延长设备的使用寿命，降低高负载运行，一并节约电能与水泵机械磨损成本。

4. 开展节能评价

节能评价是验证二次供水系统节能改造效果的重要手段。在进行节能改造后，自来水公司应围绕水泵机电耗进行节能评价，具体指标应包含供水单位电耗、供水综合单位电耗，同时基于计量设备，收集节能改造阶段的总用电量、总用水量、各组水泵用电量、水泵效率、点击效率。其中，供水单位电耗指标计算方式如式1：

$$W = D / Q \quad (1)$$

式1中，供水单位电耗为W (kW·h/km³)，Q表示水泵机组的总供水量 (km³)，D表示水泵机组的总用电量 (kW·h)。供水综合单位电耗计算方式如式2：

$$G = D / Q / H = W / H \quad (2)$$

式2中，供水综合单位电耗以D (kW·h

(km³·MPa))表示，H (MPa)表示水泵机组扬程参数。

对于水泵机组的节能评价指标，主要包括 η_3 ——泵节能评价值、水泵机组节能评价值以 $G_{\text{节}}$ ——及水泵机组节能挖潜值。其中，水泵机组的节能评价值，以供水综合单位电耗G表示^[3]。

(二) 供水方式优化

针对缺少合理分区楼层导致能耗过高的问题，可基于如下步骤进行节能优化改造。

首先，初步调研与数据分析，即二次供水系统设计期间，对建筑物高度、住户数量、日常用水量数据进行详细调研、统计，计算出各楼层的供水压力需求，以及现有供水系统的压力分布情况。同时，确定分区楼层数量和高度。通常，每区供水高度不应超过40m，即大约13层楼高，具体分区数量与每区楼层数，可根据实际情况进行调整。例如，对于30层的居民小区高层建筑，可将其划分为3个供水区，每区覆盖10层楼。这一过程下，工程设计阶段需详细进行水力计算，模拟分区方案下的水压力分布，确保各分区内部供水压力均衡且满足住户需求。其次，设置分区供水设备，在每个分区设置独立变频水泵、储水池等加压设备，确保各自区域供水压力高度稳定。具体实施期间，可以在建筑物不同高度位置，如第10层及、20层，分别设置独立的加压站，满足分区供水需求。对于减压阀的设置，应仅在需要精细压力控制的关键节点进行设置，如用户入户管道前端等，同时减压阀采购阶段应选择高精度、低损耗型设备，以进一步提高系统运行效率。高阶段，需要根据分区供水方案，选择适宜规格的水泵、储水池以及管道系统，确保设备性能、可靠性。且安装期间，要严格按照设计图纸施工，确保各设备和管道连接准确性、密封性满足设计要求。最后，安装完成后需及时进行系统调试，通过实测数据对比，检查分区供水压力是否合理。随后，可根据实际运行结果，进一步优化减压阀、水泵运行参数与数量，确保系统达到最佳节能效果。综合分析，通过对二次供水系统合理分区楼层设计，优化减压阀配置，将显著提高居民小区二次供水系统运行效率，且降低能量损耗。同时，科学地分区设计，不仅能够满足不同楼层的供水需求，亦可一定程度简化系统结构，减少二次供水系统长期运行下的维护成本^[4]。

(三) 改造案例分析

1. 项目背景与现状问题

某小区建设于2002年，小区内包含16栋8层建筑，3栋18层高层建筑，市政供水压力位0.3MPa。该小区二次供水系统应用背景下，对于18层高层建筑，1层与2层采取市政供水，3栋至18层采取管道泵+屋顶水箱加压供水形式，加压总户数490户，7.5kW管道泵功率。该小区2010年进行二次供水系统改造。然而，在多年使用二次

供水系统背景下,自来水公司发现该小区二次供水系统改造后,大量泵站能耗出现严重提高,且设置大量增压泵背景下,小区二次供水系统高居不下,已严重超出同等规模小区二次供水系统。

自来水公司安排技术团队进行该小区二次供水系统调查,最终确认该小区二次供水系统主要能耗点在于管道水泵与大量安装的减压阀。目前,该小区加压供水形式采用管道泵+楼顶水箱形式,且由于二次供水系统改造前缺少详细的规划,导致6栋18层高层建筑中安装大量减压阀以维持490户居民水压。

2. 改造方案与实施过程。

针对该小区二次供水系统能耗不断提升问题,自来水公司联合市政设计单位,提出“管道泵+屋顶水箱改造为变频调速泵+地下水池”“设置智能系统”“重新规划分区楼层”的整体改造方案。

(1) 水泵改造与实施

设计一个符合标准容积的地下水池,作为供水储备池。同时,水池内置液位传感器,实时监测水位高度,自动控制补水启动和停止。根据二次供水系统压力需求,结合数字模拟与实际测试,最终对3栋18层高层建筑配置3台变频调速泵, $Q=21\text{m}^3/\text{d}$ 、 $H=118\text{m}$,电机功率 $=11\text{kW}$,水泵为10级立式水泵,出水压力值80m。管道方面,重新铺设输水管道,即从地下水池到各楼栋的主供水管道,选用耐压、防腐材料,确保安全可靠,同时在各楼栋或楼层设置分配管道,保证各用户单独供水,避免供水阶段相互影响。

确认施工方案后,自来水公司向相关部门提交详细设计图纸、技术方案。批准后,采购合适规格和型号的变频调速泵、管道材料及控制设备,按设计方案进行安装。完成安装工程后,对新系统进行全面调试,保证各项参数符合设计要求,完成全新供水系统验收工作。

(2) 智能控制设计与实施

二次供水系统控制方面,在管理中心集成智能控制系统,通过传感器数据实现对水泵、阀门等设备的自动化监控,自来水公司工作人员远程,便于日常管理、故障诊断、流量与压力检测、水泵变频调控。硬件部分,将流量传感器安装于主要管线,压力传感器设置在管件节点一检测管道压力。系统运行期间,基于流量、压力传感器数据调整变频水泵转速,实现精准控制。整个系统由PLC进行数据采集、处理、指令发送。

确认设计方案后,交付某软件公司进行系统方案实施,实施后对系统进行轮询测试,确认各项传感器可精准获取主管道压力、流量等参数,系统可精准控制变频水泵运行参数,最终进行项目验收^[5]。

(3) 规划分区楼层

根据建筑高度与供水需求数据调查进行分区供水策略制定,将小区内3栋18层建筑划分为三个供水区,每

区供水压力独立调控,其中,低区为1~6层,供水压力100-150kPa,中区7~12层,供水压力150-250kPa,高区13~18层,供水压力250-350kPa。减压阀配置发那个面,低区保留7层主供水管道入口减压阀,负责将高压供水调节至100-150kPa。中区保留13层主供水管道入口减压阀,将高压供水调节至150-250kPa。高区保留水泵出口到高区供水管道的减压阀,确保高区供水压力稳定在250-350kPa范围内。完成安装后,严格开展减压阀供水测试,对各区域供水压力进行测量,测量结果满足设计要求。

3. 改造效果

首先对用水量进行对比,3栋18层高层建筑改造前、改造后月用水量基本一致,均在 5km^3 左右。电耗量方面,改造前3栋18层高层建筑供水系统电耗 $2671\text{kW}\cdot\text{h}/\text{月}$,节能改造后电耗下降至 $2010\text{kW}\cdot\text{h}/\text{月}$ 。采取上文制定的评价体系,结合统供水单位电耗、供水综合单位电耗、总用水量、总用电量等数据的计算。最终得出改造后全新系统 $G_{\text{管}}=403\sim 750\text{kW}\cdot\text{h}$ ($\text{km}^3\cdot\text{MPa}$),即二次加压设施吨水百米扬程耗电量为 $0.40\sim 0.75\text{kW}\cdot\text{h}$, η_3 泵节能评价值为26.25%,说明节能效果良好。

结束语

综上所述,在本文进行居民小区二次供水系统能耗点分析后,可确认二次供水系统能耗过高原因在于加压方式不合理、水泵机组选型不合理以及因为合理进行楼层供水分区导致供水方式的损耗。针对上述问题,本文提出了以“变频水泵+地下水池”取代“管道水泵+楼顶水箱”的形式,同时合理配置变频泵型号的策略,且加入了智能控制系统,提出了节能评价策略。针对供水方式损耗,本文则提出了合理进行楼层分区的策略。在将本文策略应用实际案小区后,该小区电耗显著下降,且评价结果下 $G_{\text{管}}=403\sim 750\text{kW}\cdot\text{h}$ ($\text{km}^3\cdot\text{MPa}$), $\eta_3=26.25\%$,节能效果良好,论证了本次策略的可行性。

参考文献

- [1]魏丽媛.浅析建筑给排水设计在旧建筑改造中的应用[J].陶瓷,2024,(04):99-101.
- [2]罗磊.老旧小区给排水系统改造相关问题分析[J].建材发展导向,2023,21(16):143-145.
- [3]常少辉,赵秀成,王小辉,等.新型永磁调速器在闭式冷却水泵节能改造中的应用[J].中国机械,2023,(20):75-78.
- [4]孙小燕.供水系统水泵机组节能改造技术设计效果分析[J].河南水利与南水北调,2022,51(12):44-46.
- [5]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,2022,58(12):117-121.