

给排水机电设备节能参数优化分析

郝彦博

(秦皇岛排水有限责任公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘要 在能源结构不断调整的背景下, 给排水系统的节能优化问题备受重视。传统的给排水系统中, 水泵始终保持全速运转, 采用阀门控制水量, 用水较少时, 水泵面临的压力较多, 造成电能浪费。本文以某住宅小区的供水系统为研究对象, 探讨使用变频调速技术构建一套水泵与管网相关联的数学模型, 提出一种全新的控制方案: 根据不同阶段控制水压, 将控制参数调节至省电模式, 结合用水量大小, 将其划分为不同区域和时段, 对目标水压进行自动调整, 确保水泵扬程与负荷高度匹配, 结合真实用水数据, 对运行效果进行测试。结果显示, 采用新方案以后, 系统每天节省能源消耗超过 16%, 有效提高了整个供水系统的效率。

关键词 给排水系统; 机电设备; 节能参数

中图分类号: TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.028

0 引言

给排水系统长期运行, 保障着人们日常生产生活的用水需求。以生活供水系统为例, 为满足全天候不间断的用水供给, 系统需全天持续运转, 其中水泵更是长期处于工作状态。而由于居民用水需求随时段、场景动态发生变化, 水泵负荷也会发生改变, 因此, 其耗电量同样不容忽视。在传统供水系统中, 水泵始终保持一个固定转速, 管道出口压力不变。一旦用水量下降, 水泵依然高速运转, 系统压力很高, 需将阀门调小, 或者促进多余的水流入旁边管道之中。这种调节方法并未从根源上解决问题, 还会诱发一系列问题, 如在低流量时段, 压力过高, 造成大量的电能浪费。因此, 有必要对系统的运行参数进行调整, 优化设备的运行状态, 达到理想的节能效果。

1 案例概况

本文以某小区的二次供水系统为案例, 该小区的运行时间超过 15 年, 共计 16 栋住宅楼, 总户数 768 户, 常住人口约为 2 300 人。小区供水方式如下: 先通过市政管网将水输送到小区, 再利用小区内部设备进行二次加压, 将水输送到高层住户家中。在地下设备间设置水泵房, 安装 CDL20-3 型立式多级离心泵, 在日常工作模式, 两台水泵工作, 一台作为备用。原有的控制方式以出口恒压控制为主, 压力始终保持在 0.42 MPa。为了分析系统真实运行情况, 将 2024 年 8 月 17 日作为代表性的一天展开研究, 当天是暑期周末, 居民在家时间较长, 用水需求集中, 用水量很大。根据实际

监测数据可知, 当日最大瞬间用水量为 36.85 立方米 / 小时, 最小瞬间用水量为 6.12 立方米 / 小时, 用水量存在较大波动, 一天用水量变化曲线为典型的早晚两个高峰, 早高峰时段为 6:30 到 8:30, 晚高峰时段为 17:30 到 20:30。其余时段的用水量较少, 凌晨 0:00 到 5:00 用水量长期小于 10 立方米 / 小时。

统计结果表明, 系统当日共耗电为 49.76 度, 每供水 1 立方米, 每 1 MPa 压力消耗 0.417 度电, 系统综合效率平均值为 61.5%。这说明, 在用水很少时, 水泵依然保持很高的压力, 水泵提供的扬程远高于实际需要。

根据现场测试和数据计算结果可知, 能耗偏高的主要原因如下: 一是水泵出口压力值固定, 并未结合用水量大小的变化, 对压力进行自动化调整, 当用水量较少时, 水泵依然保持高压运行状态; 二是小区管道运行时间较长, 面临较大的阻力, 在水泵提供的总压力中, 超过 60% 用于克服管道阻力, 真正输送到用户家的压力并不多, 存在较大的能量损耗; 三是在低流量运行阶段, 水泵的运行状态远离其最高效工作点, 消耗更多能量, 运行效率降低; 四是在有些时间段, 水泵面临频繁启动和停止, 不仅对设备造成损伤, 消耗大量的电能, 还会导致水压和系统运行不稳定。

综上所述, 该供水系统的控制方式和运行参数匹配方面并未达到最优, 还有改进空间。利用变频调速和压力分段控制策略可以保证系统的实际运行状态充分满足居民的用水需求, 实现精准化调整, 进一步降低单位供水能耗, 提高系统运行效率。

作者简介: 郝彦博 (1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 机电工程。

2 机电设备节能参数优化

2.1 变频调速技术概述

变频调速技术的关键在于改变电源频率，使电机转速得到连续调节。当电机转速发生变化，水泵的出水量、出水压力、高度也会随之发生变化，确保水泵充分满足实际用水需求^[1]。

电机转速表达式为：

$$n = (60f/p)(1-s) \quad (1)$$

式(1)中， n 代表电机转速(r/min)， f 代表电源频率(Hz)， p 代表极对数， s 转差率。

f 可以人为调节，当 f 变小，转速 n 降低；当转速降低，水泵流量、扬程都会变小。因此，通过降低频率，降低转速，可以降低水泵的输出能力。

对于离心式水泵，根据相似定律，可以得出以下三个关键关系：

$$Q \propto n$$

水泵流量 Q 与电机转速 n 呈正比关系，转速越快，出水量越大，反之，出水量会同步减少。

$$H \propto n^2$$

水泵扬程 H 与电机转速 n 的平方呈正比关系，转速变化对扬程有更大的影响。

$$P \propto n^3$$

水泵的轴功率 P 与电机转速 n 的立方呈正比关系，当转速稍微下降，功率会大幅度下降。

其中， Q 代表流量， H 代表扬程， P 代表轴功率。

根据小区实际情况，供水系统在大部分时间处于低负荷运行状态，水泵无需高速运行，只需利用变频技术降低其转速，就能进一步减少电量消耗，达到明显的节能效果。

2.2 能耗模型构建

给排水机电系统传递能量时，首先通过电网满足供电需求，电经变频器调节后驱动电机转动，利用联轴器传递动力，带动水泵实现抽水加压，最后将水压进管网，输送给用户。

系统总有效率为每一阶段效率的乘积，表示如下：

$$\eta_{\text{总}} = \eta_{\text{变频器}} \times \eta_{\text{电机}} \times \eta_{\text{联轴器}} \times \eta_{\text{水泵}} \times \eta_{\text{管网}}$$

只要其中某一效率下降，总有效率会立刻下降。

只要变频器的电机转速调的不会低于正常转速的70%，其自身耗电比较有限，转换效率能够保持在95%左右，由于变频器自身不会产生较大的损耗，因此，不会降低节能效果。一旦水泵不再处于最佳工作状态，其工作效率会明显下降。管网的运行效率与有静扬程与动扬程占比有关，管道运行时间越长，面临的阻力

越大，动扬程占比越高，就会面临更严重的能量损耗，管网运行效率越低^[2]。

2.2.1 管网特性模型

管网特性模型如下：

$$H = H_{st} + SQ^2 \quad (2)$$

式(2)中， H 代表水泵总扬程， H_{st} 代表静扬程， S 代表管路阻力系数， Q^2 代表流量的平方， SQ^2 代表动扬程。

在本案例中，静扬程占比为35%，动扬程占比为65%，后者与 Q^2 成正比，说明只要对流量和压力进行有效控制，就能达到理想的节能效果。

2.2.2 水泵特性曲线修正

变频修正模型如下：

$$H = k^2(A_0 + A_1Q/k + A_2(Q/k)^2) \quad (3)$$

式(3)中， H 代表水泵扬程， Q 代表流量， k 代表调速比， A_0 、 A_1 、 A_2 代表水泵额定转速下的性能曲线系数。

这个公式准确展示了变频后的水泵性能曲线，采用水泵曲线和管网曲线交点可确定不同流量和不同调速比下的最佳运行状态。

2.2.3 阶梯恒压控制优化

在本案例中，结合小区实际用水流量范围与计算结果，将一天之中的用水情况划分为三段，实现对压力的有效控制，如表1所示。

表1 阶梯恒压控制优化数值

流量区间	优化设定压力
0 ~ 12 m ³ /h	0.30 MPa
12 ~ 25 m ³ /h	0.35 MPa
> 25 m ³ /h	0.39 MPa

与原有固定压力0.42 MPa相比，对系统进行优化后，可有效避免水压始终过高，将多余的压力去掉，从根源上达到节能目的。

其控制目标函数为：

$$\min \sum SiPi(Qi) \quad (4)$$

式(4)中， Si 代表水泵运行状态， $Pi(Qi)$ 代表对应流量下功率。

采用流量传感器对当前用水量进行监测，再将信号传递给PLC。PLC根据前面设定的流量区间，对目标压力进行自动切换。这一策略可有效保证现有扬程曲线与管网真正需求贴近。

3 机电设备节能参数优化结果与验证

3.1 搭建仿真平台

结合本案例真实的用水数据，搭建动态仿真模型。使用工业控制计算机满足模型的计算需求，利用专门

的变频器对水泵转速进行控制；采用电磁流量计对管网流量进行精准测量；采用专业的仿真软件对水泵、管网和控制策略的联动效果进行精准模拟。将当天流量数据输入到模型之中，对两种控制方式下的运行状态分别模拟：一是原恒压控制，二是优化后的阶梯恒压控制^[3]。

3.2 优化结果

优化后系统运行参数如表2所示。

表2 优化前后系统运行参数对比

指标项目	优化前	优化后	变化情况
峰值流量 (m ³ /h)	36.85	36.40	满足设计需求
日累计耗电量 (kW·h)	49.76	41.58	↓ 8.18 kW·h
日节电量 (kW·h)	—	8.18	—
节能率 (%)	—	16.4	显著降低能耗
单位供水能耗 [kW·h/(m ³ ·MPa)]	0.417	0.348	↓ 16.6%
系统综合效率 (%)	61.5	70.2	↑ 8.7%

3.2.1 高峰运行分析

早晨和晚上是用水最多的时段，在这两个时段，系统会将压力自动调节至0.39 MPa，确保所有住户的水压充足，避免出现缺水等问题。同时，压力非常稳定，上下浮动不超过0.02 MPa。

3.2.2 低负荷阶段分析

深夜的用水量很少，流量很低，系统会自动将压力调节至0.30 MPa，电机的转速明显下降。根据水泵功率和转速的立方关系，当转速稍微下降时，系统耗电会明显下降，在夜间，系统长时间低负荷运行，可节省大量电能^[4]。

3.3 运行稳定性

对系统进行优化后，水泵无需进行频繁启停，可有效减少电流对系统造成的冲击与设备磨损；水压更加平稳，供水质量有所提升，给住户带来更好的用水体验；设备转速更加合理，运行速度放缓，水泵和管道等设备的振动幅度变小，噪声降低。这充分说明，通过对参数进行优化，不仅可以提高节能效果，还能保证整个供水系统运行更加平稳^[5]。

4 机电设备节能参数优化经济与工程价值

优化后的节能效益测算结果如表3所示。

4.1 改造难度和成本低

本优化方案无需对现有的水泵设备进行更换，也无需改造泵体结构，只需对水泵的控制方式进行调整，

改造难度和成本较低。改造期间，只需针对变频器和控制模块加大资金投入力度。

4.2 耗时较短，适应范围广泛

整个改造过程耗时较短，不会造成长时间供水中断，不会对居民用水造成严重的影响。该方案既适合针对老旧小区进行改造，又适合新建小区，具有广泛的应用价值。

4.3 智慧与远程控制

这一方法可与智慧水务系统对接，实现对供水数据和设备运行情况的远程查看和控制，工作人员通过对数据进行分析，结合分析结果，就可以优化系统运行状态^[6]。

表3 节能效益测算结果

指标项目	数值	计算依据 / 说明
日节电量 (kW·h)	8.18	优化前后日耗电量差值
年运行天数 (d)	365	按全年运行计算
年节电量 (kW·h)	2 986	8.18×365
电价 (元 /kW·h)	0.85	当地居民电价水平
年节约电费 (元)	2 538	2 986.85

5 结束语

采用固定出口恒压控制模式很难适应用水量过大或过小的变化需求，一旦用水量变小，压力会增高，水泵在低负荷运行状态时，会消耗更多电能。采用变频调速技术构建专门的数学模型，将水泵和管道相结合，并通过这一模型对不同用水量下的水泵运行策略进行优化，达到节能效果。采用阶梯横压控制策略，可将用水量划分为不同区间，针对区间设置相应压力，确保系统输出压力与实际需求更加贴近，避免产生较大的浪费。

参考文献:

- [1] 梁耀绅. 给排水机电设备节能运行参数调控优化研究[J]. 粘接, 2026, 53(02): 522-525.
- [2] 倪信仙, 洪宗玮, 万吉, 等. 工业污水处理厂机电设备节能改造[J]. 设备管理与维修, 2025(18): 135-137.
- [3] 文建为, 毛晶. 机电系统能效管理与节能技术分析[J]. 中国机械, 2025(20): 121-124.
- [4] 杨刚. 机电设备协同控制技术在煤矿节能降耗中的应用[J]. 能源与节能, 2026(01): 78-81, 225.
- [5] 吴哲峰. 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究[J]. 能源与节能, 2025(12): 98-100, 196.
- [6] 朱志如. 煤矿机电设备节能技术的应用与发展[J]. 能源与节能, 2025(11): 119-122.