

建筑给排水系统中水泵选型与节能设计探讨

赵岩 杨文苏

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要]建筑给排水系统中水泵的合理选型与节能设计直接影响整个系统的运行效率与能耗水平。作为建筑水系统的核心动力设备,水泵的能耗约占建筑总能耗的 15%~25%,其选型不当不仅会导致能源浪费,还可能引发噪音、振动等系列问题。随着绿色建筑理念的普及和双碳目标的推进,水泵系统的节能优化已成为建筑给排水设计的关键环节。文章将从水力特性匹配、运行工况分析等角度,探讨水泵科学选型的方法与节能设计策略,为提升建筑水系统能效提供理论参考。

[关键词]建筑给排水系统;水泵选型;节能设计

DOI: 10.33142/aem.v7i5.16754

中图分类号: TU201

文献标识码: A

Discussion on Pump Selection and Energy-saving Design in Building Water Supply and Drainage System

ZHAO Yan, YANG Wensu

Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: The reasonable selection and energy-saving design of water pumps in building water supply and drainage systems directly affect the operational efficiency and energy consumption level of the entire system. As the core power equipment of building water systems, the energy consumption of water pumps accounts for about 15% ~25% of the total energy consumption of buildings. Improper selection of water pumps not only leads to energy waste, but also may cause a series of problems such as noise and vibration. With the popularization of green building concepts and the promotion of dual carbon goals, energy-saving optimization of water pump systems has become a key link in building water supply and drainage design. The article will explore the scientific selection methods and energy-saving design strategies of water pumps from the perspectives of hydraulic characteristic matching and operating condition analysis, providing theoretical reference for improving the energy efficiency of building water systems.

Keywords: building water supply and drainage system; pump selection; energy-saving design

引言

现代建筑给排水系统日趋复杂,水泵选型面临流量变化大、扬程需求多样等挑战。传统选型方法往往侧重于满足最大工况需求,忽视部分负荷下的运行效率,导致实际运行能耗居高不下。在建筑全生命周期中,水泵的能耗成本远超其购置成本,因此节能设计具有显著的经济效益和环境效益。本文结合变频控制、系统优化等先进技术,分析水泵高效运行的关键因素,探讨如何在设计阶段实现能耗最小化与系统可靠性的平衡,为可持续建筑水系统设计提供新思路。

1 建筑给排水系统水泵选型的关键因素

1.1 水力参数匹配与工况分析

水泵选型的首要任务是确保水力参数与系统需求精确匹配,这需要综合考虑设计流量、扬程及管网特性曲线。设计流量应基于建筑用水规律计算,考虑同时使用系数和峰值负荷,避免因流量估算偏差导致选型过大或不足。扬程确定需准确计算最不利点所需工作压力,包含几何高差、管道沿程损失、局部阻力及末端设备需求压力。特别要注意管网特性曲线的非线性特征,在并联水泵系统中需分析不同流量组合下的运行交点。对于变流量系统,应绘制水

泵性能曲线与管网阻力曲线的匹配图,确保在 30%~100% 负荷区间内都能保持较高效率。此外,还需校核水泵在最小流量工况下的运行稳定性,防止汽蚀和过热损坏。

1.2 能效特性与运行模式优化

水泵能效等级直接影响全生命周期能耗成本,选型时应优先选择达到国家 1 级能效标准的产品。重点关注水泵高效区范围,确保常用工况点落在最佳效率点(BEP)附近,一般控制工作点效率不低于最高效率的 90%。对于变流量系统,需比较工频+阀门调节与变频调速方案的经济性,变频控制虽初期投资较高,但在部分负荷时可实现显著节能。多台水泵并联运行时,应制定科学的启停策略,通过组合运行适应流量变化,避免单泵长期在低效区工作。热水循环系统还需考虑高温对机械密封和轴承的影响,选择耐高温型水泵。智能控制系统可实时监测压力、流量参数,动态调整运行参数以维持最优工况。

1.3 设备可靠性与环境适应性

水泵选型必须评估设备的长期运行可靠性,包括轴承寿命、机械密封性能及过流部件材质。清水泵与污水泵应严格区分,含有颗粒物的介质需选用耐磨设计的污水泵或杂质泵。安装环境对选型有重要影响,地下泵房需考虑防

潮设计,屋顶安装则要评估风荷载和抗震要求。噪声控制是民用建筑的重点,应选择低转速水泵或加装减振基座,确保噪声级符合《民用建筑隔声设计规范》要求。特殊场所如消防泵房还需满足耐火等级标准,化工建筑则要考虑介质腐蚀性选择特种材质。维护便利性同样关键,大型水泵应预留足够检修空间,快速拆装设计可大幅降低维护成本。通过全面评估这些因素,才能选出既满足功能需求又经济耐用的水泵设备。

2 水泵性能参数与选型计算方法

2.1 水泵基本性能参数解析

水泵选型的核心依据是其性能参数体系,主要包括流量、扬程、功率、效率和汽蚀余量五大关键指标。流量参数需区分体积流量(如建筑给水泵常用 $10\sim 50\text{m}^3/\text{h}$)和质量流量(如消防泵要求 $15\sim 45\text{kg}/\text{s}$),设计时应根据建筑用水特点确定最大设计流量(如酒店项目取峰值流量 $30\text{m}^3/\text{h}$)和常用流量范围($15\sim 20\text{m}^3/\text{h}$)。扬程参数表征水泵的做功能力,必须准确计算系统总阻力(例如某高层建筑总阻力=静扬程 35m +管道损失 8m +局部阻力 $5\text{m}=48\text{m}$),并考虑 $10\%\sim 15\%$ 的安全余量(最终取 55m)。轴功率(如 18.5kW)和有效功率(15kW)的比值决定运行效率(约 81%),高效区一般位于性能曲线最高效率点两侧的 $85\%\sim 110\%$ 流量区间(如某离心泵高效区为 $25\sim 32\text{m}^3/\text{h}$)。必需汽蚀余量(NPSHr= 3.2m)是防止汽蚀的关键参数,必须保证装置汽蚀余量(NPSHa= 4.0m)比NPSHr大 0.5m 以上。

2.2 选型计算的基本原理与方法

水泵选型计算需基于流体力学基本原理,采用伯努利方程建立系统能量平衡关系。计算流程首先确定设计流量,根据用水定额和时变化系数计算秒流量,再考虑同时使用概率确定设计流量。扬程计算需绘制管路特性曲线,通过达西-魏斯巴赫公式计算沿程阻力,采用当量长度法计算局部阻力。对于复杂管网系统,需进行水力平衡计算确定最不利环路。功率计算需考虑传动效率和电机富余系数,一般按 $P=\rho gQH/(1000\eta)$ 公式计算,并选取标准电机功率。在并联运行工况下,需要合成性能曲线并校核工作点是否在高效区。变频调速系统还需计算相似工况点的比例定律关系,确定转速调节范围。

2.3 性能曲线分析与工况调节

水泵性能曲线是选型决策的重要工具,包括Q-H流量扬程曲线(如某ISG型泵在 $20\sim 40\text{m}^3/\text{h}$ 区间呈平缓下降特性)、Q-P功率曲线($25\text{m}^3/\text{h}$ 时功率 18.5kW)和Q- η 效率曲线(峰值效率 82% 出现在 $30\text{m}^3/\text{h}$ 工况)。选型时应使工作点落在Q-H曲线的高效平坦段(如 $28\sim 32\text{m}^3/\text{h}$ 区间效率 $>80\%$),避开驼峰区($<15\text{m}^3/\text{h}$ 时曲线突变)和低效区($>45\text{m}^3/\text{h}$ 时效率 $<70\%$)。对于变流量系统,需分析不同转速下的相似抛物线(如 2900rpm 降至

1450rpm 时,流量由 $30\text{m}^3/\text{h}$ 降至 $15\text{m}^3/\text{h}$),通过变频调节实现工况点沿等效率曲线移动(保持效率在 $78\%\sim 82\%$ 区间)。水泵并联运行时,相同型号水泵的并联性能曲线采用横坐标叠加法绘制(如两台 $30\text{m}^3/\text{h}$ 泵并联后最大流量可达 $55\text{m}^3/\text{h}$),需注意并联后的实际工作扬程会高于单泵工况(单泵 35m 扬程时并联系统达 40m)。串联系列则应采用纵坐标叠加法(如三台 20m 扬程泵串联可达 55m),适用于高扬程系统。

3 节能设计原则与技术措施

3.1 系统化能效优化设计理念

节能设计应从建筑给排水系统的整体性出发,建立全生命周期的能效管理思维。在设计初期就要构建完整的能量流分析模型,将水泵、管网、终端设备视为有机整体,通过系统集成优化实现协同节能。重点研究负荷动态变化规律,基于建筑使用特征绘制全年负荷分布曲线,据此确定最合理的设备容量配置方案。采用“大温差、小流量”的管网设计原则,通过优化管径选择降低输送能耗,同时减少管道初投资。引入水力平衡计算技术,在系统设计阶段消除静态和动态水力失调,避免因流量分配不均导致的能量浪费。建立分级压力控制体系,按照不同用水区域的压差需求划分压力分区,采用减压阀组实现精准压力调节。这种系统化设计理念能够从根本上提升能源利用效率,实现建筑水系统的最佳运行状态。

3.2 高效设备选型与配置策略

设备能效提升是节能设计的核心环节,需要建立严格的能效评价体系。优先选用达到国家能效标准一级的产品,重点关注设备在部分负荷工况下的性能表现。水泵选型应采用“一用一备”或“两用一备”的合理配置方案,通过多台机组并联运行适应负荷变化。配置变频调速装置时,需精确计算调速范围和节能潜力,避免盲目采用变频导致投资浪费。热水系统应选用高效换热设备,优化传热温差和介质流速等参数,提升热能转换效率。管阀件选择要注重低阻力特性,优先采用全通路球阀、偏心蝶阀等低流阻阀门。设备机房布置要遵循流程最优原则,缩短管道连接距离,减少局部阻力损失。通过精细化设备选型与配置,可以在全工况范围内保持系统高效运行。

3.3 智能控制与运行优化技术

现代控制技术为系统节能提供了全新解决方案,需要构建多层次的智能控制系统。基于物联网技术搭建远程监控平台,实时采集压力、流量、温度等运行参数,实现系统状态的数字化呈现。开发自适应控制算法,根据用水模式变化自动调整设备运行参数,使系统始终工作在最佳效率点。采用模糊控制策略处理非线性系统特性,通过专家知识库实现运行参数的智能调节。建立预测控制模型,结合历史数据分析用水规律,提前调整设备运行状态。开发故障诊断系统,实时监测设备能效衰减情况,及时提示维

护保养需求。引入机器学习技术,通过大数据分析不断优化控制策略,实现系统能效的持续提升。这些智能控制技术的综合应用,可以显著提高系统的运行效率和稳定性。

3.4 能量回收与可再生能源利用

能量回收利用是节能设计的重要方向,需要充分挖掘系统的余能利用潜力。在高层建筑给水系统中设置水力发电装置,利用减压过程的势能差进行发电,实现能量梯级利用。热水系统采用热回收技术,通过板式换热器回收排水中的热量,用于预热冷水进水。开发新型能量回收装置,如压力交换器可将高压排水能量直接传递给低压进水。探索可再生能源在给排水系统中的应用,如太阳能驱动的水泵系统、风光互补的供水设备等。优化系统运行策略,利用峰谷电价差实施储能运行,降低用电成本。研究水-热-电联供系统,实现多种能源形式的协同优化。这些创新技术的应用可以大幅提升系统的综合能效水平,推动建筑给排水系统向近零能耗方向发展。

4 水泵系统优化设计

4.1 系统水力特性分析与优化

水泵系统优化设计的首要环节是深入分析管网水力特性,建立精确的水力计算模型。通过流体力学理论计算各管段沿程阻力和局部阻力,绘制完整的管网阻力曲线,确定系统特性方程。重点优化管网布局,采用环状与枝状相结合的混合管网形式,在保证供水可靠性的同时降低管网阻力。合理选择管径规格,通过经济流速计算确定最优管径组合,避免因管径过大增加投资或管径过小导致能耗上升。对于多压力分区系统,需建立分级压力控制模型,通过减压阀组实现压力精准调节。同时应优化管道走向,减少不必要的弯头和变径,采用大曲率半径弯管降低局部阻力损失。通过水力平衡计算消除系统失调,确保各用水点流量分配均衡,避免因水力失调造成的能量浪费。

4.2 水泵机组配置与运行策略

水泵机组配置方案直接影响系统能效水平,需要根据负荷特性设计最优组合方案。对于流量变化较大的系统,推荐采用“大小泵搭配”的配置方式,大泵满足基础负荷需求,小泵应对流量波动。多台水泵并联运行时,需精确绘制并联性能曲线,分析不同组合工况下的运行效率。开发智能群控策略,基于实时流量需求自动选择最优运行台数,确保机组始终工作在高效区。变频调速系统要合理设置控制参数,避免因频繁调节导致的效率损失。热水循环系统需考虑温度变化对水泵性能的影响,设置温度补偿控

制算法。同时要优化水泵启停逻辑,采用软启动装置减少电流冲击,延长设备寿命。

4.3 智能控制系统集成设计

现代水泵系统的优化设计离不开智能控制技术的支持,需要构建多层次的自动化控制系统。基于物联网架构搭建监控平台,集成压力、流量、温度、能耗等多维度传感器网络,实现系统状态的全面感知。开发先进控制算法,将传统 PID 控制与模糊逻辑、神经网络等智能技术相结合,提升系统响应速度和调节精度。建立负荷预测模型,通过机器学习分析历史用水数据,提前调整设备运行状态。实现云端数据交互,支持远程监控和故障诊断,提高系统管理效率。设计人性化的人机界面,直观展示能效指标和运行趋势,辅助管理人员决策。

5 结束语

水泵选型与节能设计是建筑给排水系统可持续发展的核心课题,未来研究应更加注重系统整体能效优化,通过智能控制技术、新型高效水泵的集成应用,构建更科学的节能体系。同时应强化全生命周期成本理念,在设计阶段综合考虑初投资与运行费用,推动建筑水系统向高效、低碳方向发展。随着技术进步和标准完善,水泵系统必将为绿色建筑建设作出更大贡献,助力实现建筑领域的节能减排目标。

[参考文献]

- [1]黄睿丹.建筑给排水系统与消防设施一体化设计研究[J].消防界(电子版),2024,10(21):55-57.
- [2]杨芳泉,陈少林.建筑给排水系统节能优化设计在智能住宅小区的应用[J].中国战略新兴产业,2024(32):116-118.
- [3]陈素生.建筑给排水节能节水措施探析[J].建材发展导向,2024,22(21):130-132.
- [4]段杨慧.建筑给排水系统节能节水技术分析[J].中国资源综合利用,2024,42(10):249-252.
- [5]孔维强.绿色建筑给排水系统标准化设计分析[J].大众标准化,2024(17):31-33.
- [6]郑晓雯.基于低碳技术的建筑给排水系统节能优化设计[J].中国轮胎资源综合利用,2024(9):38-40.
- [7]吴怡桦.建筑给排水系统节能优化设计在智能住宅小区的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(7):113-115.
- [8]胡杨.建筑给排水节能设计的优化及发展探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(20):196-198.

作者简介:赵岩(1986.1—),男,汉族,黑龙江省大庆市,硕士,华商国际工程有限公司,高级工程师。