

区域供热管网水力平衡智能调节设备研发与实践

刘子霞

天津市热力有限公司 天津 300000

摘要：区域供热管网水力失衡问题突出，传统调节方法存在诸多不足。本文研发智能调节设备，运用智能传感器、控制算法与策略、通信与数据处理等关键技术，设计设备架构，明确性能指标。通过实践应用，分析应用场景与需求，完成设备安装调试，评估运行效果并提出改进措施，以提升区域供热管网水力平衡水平。

关键词：区域供热管网；水力平衡；智能调节设备；控制算法；应用实践

引言：区域供热管网在实际运行中，水力失衡问题严重，导致供热不均、能源浪费、系统效率低下。且传统调节方法存在调节精度差、缺乏实时监测与动态调节能力等局限，研发区域供热管网水力平衡智能调节设备成为解决这些问题的不二之选，该设备能实时监测与调节管网参数，提升供热质量与效率。

1 区域供热管网水力平衡现状分析

1.1 水力失衡问题表现

区域供热管网水力失衡问题在实际运行中呈现多维度的不良表现，最直观的体现便是供热不均、冷热不均现象。管网末端用户因水流阻力大、流量不足，难以获取充足热量，室内温度远低于设定标准，严重影响生活舒适度。与之形成鲜明对比的是靠近热源或热力站的用户，因水流顺畅、流量充沛，室内温度过高，不得不开窗散热，造成热量的无端浪费。这种冷热不均的状况不仅加剧用户间的矛盾，也使供热服务质量大打折扣。水力失衡还导致能源浪费与系统效率低下。当管网水力工况不稳定时，为保证部分区域的供热效果，供热系统不得不提高整体运行参数，加大热源输出功率、提升循环水泵转速。这种粗放的运行方式使得能源消耗大幅增加，供热成本居高不下。水力失衡会造成局部管道流速异常，有的区域水流速度过快，增加管道磨损与系统运行噪音；有的区域水流缓慢甚至停滞，容易引发管道内杂质沉积、滋生微生物，进一步阻碍水流，降低系统热交换效率，缩短管网使用寿命^[1]。供热系统长期在失衡状态下运行，设备故障率升高，维护成本也随之攀升，整体运行效率远低于理想水平。

1.2 传统调节方法及不足

在应对区域供热管网水力失衡问题时，传统调节方法存在诸多局限。手动调节是较常见的方式，操作人员依靠经验调整阀门开度以改变水流方向和流量，但该方式依赖人工巡检，过程耗时耗力，且调节精度难以保

证。由于管网工况复杂多变，人工响应滞后，往往在发现问题后再进行调节，已难以实现系统的实时动态平衡。静态平衡阀作为传统调节设备，在系统稳定运行状态下可进行一次性调试，从而改善水力工况。一旦热负荷或运行参数发生变化，原有平衡状态被打破，该类阀门无法自动适应新工况，需重新人工调试。考虑到区域供热管网在不同季节、不同时段热负荷差异显著，静态平衡阀难以满足实际需求，无法从根本上解决水力失衡问题。总体来看，传统调节手段普遍缺乏实时监测与动态调节能力。在管网运行中，压力、流量、温度等关键参数持续变化，而传统方法无法对其进行连续、精准的监测，导致调节决策缺乏数据支撑，难以准确把握系统状态。在供热需求不断变化的背景下，传统调节方式的滞后性与局限性愈发明显，迫切需要更先进的技术及设备来实现区域供热管网的高效、智能水力平衡。

2 智能调节设备研发关键技术

2.1 智能传感器技术

智能传感器技术是实现区域供热管网参数实时监测的基础。流量、压力、温度等关键参数的准确获取，为水力平衡调节提供核心依据。在流量监测方面，需选用适应管网复杂工况的传感器，其能够在不同管径、流速条件下稳定工作，精确捕捉流量变化趋势。压力传感器的性能直接影响管网压力调控的准确性，需具备高灵敏度与稳定性，即便在压力波动频繁的环境中，也能可靠输出测量数据。温度传感器则负责监测供热介质温度，为调节供热效果提供参考。高精度、高可靠性传感器选型与应用是关键环节。在选型时，需综合考虑传感器量程、精度等级、响应时间等技术指标，确保与供热管网实际运行参数匹配。针对供热管网高温、潮湿、振动等特殊环境，选择防护等级高、抗干扰能力强的传感器。在应用过程中，合理布局传感器安装位置，避免因安装不当导致测量偏差。通过对传感器进行定期校准与维护，保障其长

期稳定运行,为智能调节设备提供可靠的数据支持。

2.2 控制算法与策略

控制算法与策略是智能调节设备的核心。基于模型预测控制的算法设计,通过构建供热管网水力工况模型,对管网未来运行状态进行预测。结合预测结果,提前制定调节策略,实现对管网流量、压力的前瞻性调控。自适应调节策略依据管网实时运行参数,动态调整调节方案,使设备能够适应管网负荷变化、用户需求波动等动态因素^[2]。多目标优化算法在水力平衡中发挥重要作用。以节能、供热均匀性、系统稳定性为优化目标,综合考虑各目标之间的相互关系与制约条件。通过算法优化,在保障供热质量的前提下,降低能源消耗,提高系统运行效率。在实际运行中,根据不同工况需求,灵活调整算法权重,实现多目标的动态平衡,确保区域供热管网高效、稳定运行。

2.3 通信与数据处理技术

通信与数据处理技术是智能调节设备实现智能化的重要支撑。无线技术的应用,使设备能够将采集到的管网参数远程传输至监控中心。通过选择合适的通信协议,如低功耗广域网技术,保障数据在复杂环境下稳定传输,实现设备与监控系统的实时交互。云计算与大数据处理技术为海量数据的存储、分析提供强大支持。借助云计算平台,实现数据的高效存储与快速调用,降低数据处理压力。利用大数据分析技术,对管网运行历史数据进行深度挖掘,分析管网运行规律、用户用热习惯等信息。将数据挖掘与分析结果应用于设备优化,为设备参数调整、控制策略改进提供依据,进一步提升智能调节设备的性能与适应性。

3 智能调节设备设计与架构

3.1 设备总体架构设计

智能调节设备的总体架构分为硬件与软件两大体系。硬件部分由传感器、执行机构、控制器构成核心框架。传感器承担管网参数感知任务,在管网分支节点、热力站进出口等关键位置部署,实时采集流量、压力、温度数据,将物理信号转化为电信号,为设备运行提供基础数据支撑。执行机构则是实现水力调节的终端,通过电动调节阀、变频水泵等设备,依据控制指令改变管网流体通路与动力输出。控制器作为设备中枢,负责接收传感器数据,运行控制算法,处理复杂逻辑运算,并向执行机构下达调节指令,确保各硬件模块协同运作。软件系统架构围绕数据全流程处理展开。数据采集模块通过驱动程序与传感器建立连接,以固定频率获取原始数据,进行初步滤波处理,剔除异常值。数据处理模块

对采集数据深度解析,结合管网拓扑模型,计算各节点水力参数实际值与目标值偏差。控制算法模块调用基于模型预测控制、自适应调节等算法,依据偏差结果生成调节策略。最终,指令输出模块将调节策略转化为可执行信号,传输至执行机构。此外,软件还设有用户交互界面,支持参数设定、运行状态监控与历史数据查询,方便操作人员管理设备。

3.2 关键部件选型与集成

执行机构选型需契合管网实际运行状况。电动调节阀作为流量调节的核心部件,选型时根据管网管径大小、流量与压力变化范围,选择适配的阀体规格与流通能力。优先选用定位精准、密封性强的型号,保证调节过程中水流控制精准,避免出现泄漏与延迟现象^[3]。驱动电机需具备满足频繁操作的扭矩性能,且防护等级能适应供热管网潮湿、多尘的复杂环境。控制器与通信模块集成采用模块化设计理念。控制器选用运算能力可靠、内存充足的工业级微处理器,确保能稳定运行各类复杂控制算法。通信模块依据实际传输距离与实时性需求灵活配置,短距离通信采用稳定可靠的总线技术实现设备间数据交互,长距离传输则选用信号覆盖广、传输稳定的无线通信模块。通信协议方面,内部设备互联采用兼容性强的通用协议,远程数据传输则采用安全高效的网络协议。各模块通过标准化接口进行连接,便于设备的组装与后期维护,有效降低设备安装和检修难度。

3.3 设备性能设计指标

智能调节设备设定多项关键性能指标。调节精度方面,流量调节误差控制在 $\pm 2\%$ 以内,压力调节误差不超过 $\pm 5\%$,温度控制误差保持在 $\pm 1^\circ\text{C}$,确保管网参数精准匹配供热需求。响应速度要求在水力工况发生变化后,设备10秒内完成数据采集与分析,30秒内启动执行机构调节动作,2分钟内将参数调节至目标范围。稳定性指标要求设备在连续运行1000小时内无故障,平均无故障时间(MTBF)大于5000小时。针对不同工况设定性能保障措施。在高温高压工况下,设备关键部件采用耐高温、高压材料,执行机构密封件选用氟橡胶材质,控制器电路增加散热片与导热硅脂,确保运行稳定性。面对热负荷剧烈波动工况,通过优化控制算法参数,增强设备自适应调节能力,同时增加数据采集频率,提升调节及时性。在复杂电磁环境中,设备采用屏蔽线缆与滤波电路,通信模块增加抗干扰协议,保障数据传输准确性与设备运行可靠性。

4 智能调节设备在区域供热管网中的应用实践

4.1 应用场景与需求分析

区域供热管网覆盖范围广泛,不同供热区域呈现出各异的特点与需求。城市中心区域建筑密度高,热用户集中且用热需求差异大,要求设备具备精准调节能力,满足不同用户个性化供热需求。老旧城区管网布局复杂,管道老化、管径不一,水力工况不稳定,需要设备能够适应复杂管网结构,有效解决水力失衡问题。工业园区供热需求具有特殊性,部分企业生产用热负荷大且波动频繁,对供热稳定性要求极高。智能调节设备需快速响应负荷变化,保障工业生产用热需求。而在城市郊区或新建区域,管网规模不断扩大,新用户接入频繁,设备要具备良好的扩展性,能够动态调整水力平衡,适应管网规模的变化。设备在复杂管网中的适用性至关重要。对于枝状管网、环状管网等不同拓扑结构,设备需依据管网特性制定调节策略。在枝状管网中,重点解决末端用户供热不足问题;在环状管网中,确保各环路流量合理分配。面对管径突变、阀门众多的复杂管网,设备要能够准确识别管网阻力分布,通过智能调节实现水力平衡。考虑到管网运行过程中可能出现的管道泄漏、设备故障等突发状况,设备需具备故障诊断与应急调节能力,维持管网基本运行。

4.2 设备安装与调试

安装位置选择与布局规划是设备发挥效能的基础。传感器安装需考虑管网参数监测的代表性,流量传感器安装在直管段区域,确保测量数据准确;压力传感器布置在关键节点,实时反映管网压力变化^[4]。执行机构安装在便于操作与维护的位置,且不影响管网正常运行。根据管网拓扑结构与水力工况,合理规划设备安装数量与间距,确保整个管网都在设备调节覆盖范围内。调试流程遵循严格规范。设备安装完成后,首先进行硬件系统检查,确保传感器、执行机构等设备连接正确,无松动、损坏情况。随后进行软件系统调试,验证数据采集、传输功能正常,智能算法运行稳定。在系统联调阶段,模拟不同工况下的水力调节需求,测试设备响应速度与调节精度。调试过程中有诸多注意事项。校准传感器测量数据,保证其准确性与可靠性;检查执行机构动作是否灵活,避免卡滞影响调节效果;对智能算法参数

进行优化,使其适应实际管网运行情况。同时做好调试记录,详细记录调试过程中发现的问题及解决措施,为后续运行维护提供参考。

4.3 运行效果评估与改进

水力平衡改善效果评估是衡量设备应用成效的关键。通过对比设备投运前后管网各节点的流量、压力数据,分析水力工况变化。观察末端用户与前端用户供热参数差异,判断供热均匀性是否提升。评估设备对管网压力波动的抑制能力,确保管网运行稳定。能源效率提升与成本节约分析体现设备应用价值。对比设备运行前后供热系统能耗,评估设备在节能方面的表现。通过实现水力平衡,减少热量输送过程中的损耗,降低能源消耗。分析设备运行带来的成本变化,包括减少的人工调节成本、降低的设备维护成本以及节约的能源费用等。用户反馈是设备持续改进的重要依据。收集不同类型用户对供热效果的评价,了解用户实际需求与满意度。针对用户反馈的供热不达标、温度波动大等问题,深入分析原因,对设备调节策略、控制算法进行优化。结合管网运行过程中出现的新情况、新问题,持续改进设备功能与性能,提高设备在区域供热管网中的应用效果。

结束语

智能调节设备为区域供热管网水力平衡提供有效方案。通过关键技术研发与应用实践,改善管网运行状况,提高能源效率。未来需持续优化设备性能,深化技术应用,以适应供热管网发展需求,推动供热行业智能化升级。

参考文献

- [1]徐宝林.基于热网监控系统实现供热管网水力平衡的研究[J].科技创新与应用,2023,13(31):117-120.
- [2]马丽洁.基于遗传算法的供热管网水力平衡优化调节[J].节能技术,2022,40(03):254-258.
- [3]刘亚楠.基于物联网的供热管网智能水力平衡调节系统[J].供热制冷,2023,(05):34-37.
- [4]唐志炳,陆王琳,王次成,等.供热管网水力平衡调节技术综述[J].上海节能,2021,(10):1128-1133.