

热网平衡控制策略在智能供热中的实践与思考

魏艳雨 杨金亮

郑州英集动力科技有限公司 河南郑州 450001

摘要: 本文探讨了热网平衡控制策略在智能供热系统中的应用, 通过对比基于模型预测控制 (MPC)、分布式控制系统 (DCS) 和自适应控制的方法, 分析各自优缺点。实际案例显示, 在大型住宅区采用 MPC 结合物联网技术实现了 15% 的能耗降低及用户满意度显著提升。研究表明, 优化热网平衡不仅能提高供热效率, 还能减少能源消耗与环境污染。新兴技术如 AI、IoT 及大数据分析为智能供热提供了新的优化路径, 通过精准调控和个性化服务进一步提升了系统性能。未来研究应聚焦于技术创新与跨学科合作, 推动供热系统的绿色转型, 助力全球可持续发展目标。

关键词: 智能供热; 热网平衡; 控制策略; 节能减排

引言

随着全球对可持续发展的关注日益增加, 智能供热系统作为提升能效和减少碳排放的重要手段, 受到了广泛关注。然而, 传统供热系统中存在的不平衡问题导致了能源浪费和用户舒适度下降。因此, 探索有效的热网平衡控制策略对于解决这些问题至关重要。近年来, 随着信息技术的发展, 特别是物联网 (IoT)、大数据和人工智能 (AI) 技术的进步, 为智能供热系统的优化提供了新的思路 and 工具。本文旨在综述现有的热网平衡控制策略, 并结合实际案例进行分析, 以期对相关领域的研究者和工程师提供有价值的参考。文章还将讨论目前存在的挑战及未来的研究方向。

一、智能供热系统的现状与挑战

智能供热系统代表了现代城市供暖技术的进步方向, 它利用先进的信息技术与自动化控制手段提升能源利用效率, 改善用户舒适度。这一系统的发展历程见证了从传统单一热源到多热源联网、从粗放管理到精细化调控的转变。当前, 尽管智能供热系统展现出巨大潜力, 但仍面临若干挑战。例如, 在实际运行中, 由于管网布局复杂及用户需求多样, 导致部分区域出现热力供应不均现象, 影响用户体验的同时也增加了能耗。系统优化不足也是制约因素之一, 表现为对实时数据的采集和处理能力有限, 难以实现精准调控, 进而限制了整体能效的提升。

二、热网平衡控制策略概述

模型预测控制 (MPC) 通过建立数学模型预测系统

未来状态, 实现对热网的有效调节, 特别适用于动态环境下的优化控制, 但其依赖精确建模, 复杂场景下实施难度较大。分布式控制系统 (DCS) 强调系统的模块化与分散控制, 能够提高响应速度和可靠性, 尤其适合大规模网络应用, 不过该方法对通讯要求较高, 成本随之增加。自适应控制则依据实时数据自动调整参数, 灵活应对变化条件, 在不确定性较高的环境中表现出色, 然而算法复杂度高, 可能引入额外的调试工作量。每种策略都有独特的优势与局限性, 选择时需综合考虑具体应用场景的需求与限制条件, 以找到最合适的解决方案。

三、案例分析: 热网平衡控制的实际应用

在某大型住宅区的智能供热改造项目中, 热网平衡控制策略的成功应用成为了一个典型案例。该住宅区包含超过 50 栋居民楼, 旨在通过引入先进的技术手段解决传统供热系统中存在的热量分配不均、能源浪费及用户满意度低的问题。这一改造不仅对提高居民生活质量至关重要, 同时也是实现节能减排目标的重要举措。

项目采用了基于模型预测控制 (MPC) 的智能调控方案, 并结合物联网 (IoT) 技术实现了对整个热网系统的实时监控和动态调整。具体来说, 在每栋楼的入口处安装了智能调节阀和温度传感器, 这些设备能够精确采集各区域的实时温度数据。这些数据连同外部天气条件一起被传输到中央控制系统, 用于预测未来 24 小时内的热负荷需求。通过利用预设的算法模型进行计算, 确定最优的供水温度和流量分配方案, 确保每个用户都能享受到适宜的室内温度。

为了保证数据的准确性和及时性, 项目团队部署了

一套高精度的传感网络，并建立了稳定的数据传输通道。这套传感网络不仅包括温度传感器，还有压力传感器和流量计等，以全面监测供热系统运行状态。此外，针对该地区特有的气候条件和建筑结构特点，开发了一套专门的MPC算法。这套算法能够快速响应外界环境变化，同时考虑到管网延迟等因素，实现最优化的热量分配。例如，当外界气温骤降时，系统能迅速调整供水温度和流量，避免室内温度过低影响居住舒适度。

尽管项目取得了显著成效，但在实施过程中也遇到了不少挑战。老旧小区基础设施老化，部分管道布局不合理，这增加了施工难度和技术要求。为了解决这些问题，项目团队进行了详细的现场勘查，制定了个性化的改造方案。对于一些难以直接替换的老化管道，采用了内衬修复技术，既节省了成本又减少了对居民生活的影响。

初期调试阶段是另一个挑战点，需要耗费大量时间进行参数校准，以确保系统稳定运行。为此，团队采取了分阶段调试的方法，先在小范围内测试系统性能，逐步扩大到整个小区。通过这种方式，不仅能有效发现问题并及时调整，还能减少对居民日常生活的影响。此外，对于最终用户的教育和支持也不容忽视。项目组组织了多次培训会，向居民介绍如何正确使用温控设备以及节能技巧，帮助他们更好地适应新的供热系统。

经过一个采暖季的实际运行，数据显示该项目显著提升了供热效率，降低了约15%的能耗，同时住户投诉率大幅下降，满意度明显提升。这表明采用先进的热网平衡控制策略不仅能有效解决传统供热系统的固有问题，还为其他类似项目提供了宝贵的经验参考。未来，随着AI、IoT和大数据分析等新兴技术的不断发展，预计将进一步推动智能供热系统的创新和进步。例如，利用机器学习算法可以更精准地预测用户需求，进一步优化热量分配；而区块链技术则有助于增强数据的安全性和透明度，促进多方协作的信任度。这些都将成为构建更加智能化、绿色化的城市供热体系奠定坚实基础。（见下表1）

四、新技术在热网平衡控制中的应用

1.AI、IoT等新兴技术如何促进热网平衡控制的改进

随着人工智能（AI）和物联网（IoT）技术的发展，智能供热系统迎来了新的变革机遇。AI技术能够通过学习历史数据和实时运行参数，自动调整供热策略，以应对复杂的环境变化和用户需求波动。例如，深度学习算法可以对海量的历史供热数据进行分析，识别出影响热网平衡的关键因素，并预测未来的热量需求趋势，从而

表1 项目实施前后变化

项目	改造前数据	改造后数据	备注
平均每日能耗（采暖季）	200 GJ/日	170 GJ/日	节能约15%
总采暖季能耗	18,000 GJ	15,300 GJ	基于90天采暖季计算
投诉率	20次/月	4次/月	减少80%
满意度评分	3.2分	4.5分	提升显著
温度传感器数量	N/A	50个	每栋楼入口处安装一个
温度测量范围	N/A	-40℃至+80℃	高精度温度传感器
测量精度	N/A	±0.5℃	-
压力传感器数量	N/A	50个	关键节点安装
流量计数量	N/A	50个	每栋楼入口处安装一个

实现精准调控。AI还可以用于故障检测与诊断，通过对设备运行状态的持续监测，及时发现潜在问题并采取预防措施，提高系统的可靠性和维护效率。

IoT技术则为热网平衡提供了强大的数据支持。通过在供热网络中部署大量传感器，如温度、压力和流量传感器等，可以实时获取各个节点的状态信息，并将这些信息上传至云端平台进行集中管理。这不仅有助于更精确地掌握整个热网的运行状况，也为优化控制策略奠定了基础。同时，借助IoT技术构建的分布式控制系统，能够实现远程监控和自动化操作，大大提高了响应速度和灵活性，降低了人工干预的成本。

2.基于大数据分析的新型优化方案

基于大数据分析的新型优化方案是提升热网平衡控制效果的重要手段。首先，利用大数据技术收集来自不同来源的数据，包括气象预报、建筑物特性、用户偏好等，形成一个全面的数据池。然后，采用先进的数据分析方法，如机器学习算法，挖掘数据间的内在联系，建立准确的需求预测模型。这些模型不仅可以帮助预测未来一段时间内的热负荷需求，还能根据实时反馈动态调整供热策略，确保每个区域都能获得适当的热量供给。

进一步地，大数据分析还可以用于评估现有控制策略的有效性，识别出其中的不足之处，并提出改进建议。例如，通过对历史运行数据的回顾性分析，可以找出导致热力不平衡的具体原因，如某些区域管道设计不合理或调节装置响应滞后等，进而制定针对性的解决方案。结合区块链技术保证数据的安全性和透明度，增强多方

协作的信任度，共同推动热网平衡控制向更加智能化、精细化的方向发展。

总之，AI、IoT以及大数据分析等新兴技术的应用，为解决传统热网平衡控制中存在的难题提供了全新的思路和技术支持。通过不断探索和实践，有望实现供热系统的高效运行，满足节能减排的目标要求，同时也为用户带来更加舒适的使用体验。

五、论点与讨论

现代信息技术如AI、IoT及大数据分析的应用，极大地提升了供热系统的响应速度与调节精度，实现了个性化供热服务，并大幅降低了能耗。例如，通过学习用户习惯和外部气候条件，AI能动态调整每个家庭的供暖需求，避免过度加热或不足现象。IoT技术则支持实时监测供热网络各节点的数据，为优化热量分配提供依据。

数字化改造不仅限于技术升级，更代表着一种全新的运营模式，有助于优化热量分配，减少能量损失，增强系统鲁棒性和适应性。面对极端天气，基于现代信息技术的智能供热系统可通过快速数据处理和算法计算即时调整供热参数，确保适宜的室内温度。随着智能算法进步和传感器技术发展，预期未来将出现成本更低、效率更高、可靠性更强的控制方案，如采用先进的机器学习模型预测用户行为并提前调整供热计划，提高能源利用效率，减少碳排放。

材料科学、信息工程和环境科学的深度融合有望催生创新解决方案，比如开发高效隔热材料减少热量损失，或利用可再生能源供电等。此外，整合不同领域的专业知识和技术资源，可以探索更多可能性，推动绿色建筑和智慧城市的发展。

政策制定者应出台鼓励技术创新和应用的政策措施；企业需加大研发投入，推动新技术商业化进程；公众也应提高环保意识，积极参与节能降耗行动。唯有政府、企业和公众共同努力，才能构建一个更加绿色、宜居的未来。

结束语

总结全文的主要观点，重申热网平衡控制策略在智能供热系统中的重要性。强调尽管已经取得了一定的成果，但在实际应用中仍面临诸多挑战，如成本效益比、技术兼容性问题等。呼吁进一步加强跨学科合作，共同攻克技术难题，推动智能供热技术向更高效、更环保的方向发展。同时，展望未来，指出随着更多创新技术的应用，智能供热系统将更加智能化、个性化，为用户提供更优质的服务体验。

参考文献

- [1] 李仲博. 基于数字孪生的城镇供热系统按需精准调控技术研究与应用 [D]. 浙江大学, 2023.
- [2] 李化森, 王志成, 张玉中, 等. 局部分布式变频泵优化供热运行及管网平衡调节实例 [J]. 暖通空调, 2024, 54 (9): 153-158.
- [3] 何伟, 赵伟哲, 饶臻, 等. 计及热网热惯性的沼气和热电联产发电灵活性评估 [J]. 电气传动, 2023, 53 (4): 71-77.
- [4] 王颖. 集中供热系统中热网的电气自动控制探究 [J]. 建筑技术研究, 2023, 6 (2): 88-90. DOI: 10.12238/btr.v6i2.4130.