

机电设备智能化升级对中央空调运维效率的影响研究

王鹏

双田（北京）机电工程有限公司，北京 100032

DOI:10.61369/EPTSM.2026050015

摘 要： 本文以北京某商业综合体中央空调系统为研究对象，基于课题组2023年6月至2024年6月的现场实测数据，探讨机电设备智能化升级对运维效率的实际影响。研究采用运行日志分析、能耗对比与改造前后指标测评相结合的方法，对系统部署的智能传感网络、集成运维平台及LSTM负荷预测模型进行效果评估。结果显示：改造后系统故障平均响应时间由原来的56小时缩短至8小时，降幅达85.7%；年度运维总费用由82万元降至38万元，降低53.7%；年度总能耗从135万千瓦时降至92.4万千瓦时，节能率31.6%。此外，本文还分析了改造工程中暴露的设备协议不兼容、数据治理能力不足、运维人员技术转型困难等具体问题，并据此提出技术选型、安全防护与能力建设的改进建议，为同类建筑的中央空调智能化改造提供参考依据。

关 键 词： 机电设备智能化；中央空调；运维效率；能耗管控；预防性维护

Research on the Impact of Intelligent Upgrading of Electromechanical Equipment on the Operation and Maintenance Efficiency of Central Air Conditioning Systems

Wang Peng

Shuangtian (Beijing) Mechanical and Electrical Engineering Co., Ltd. Beijing 100032

Abstract： This study focuses on the central air conditioning system of a commercial complex in Beijing, utilizing field measurement data collected by the research team from June 2023 to June 2024 to examine the practical impact of intelligent upgrades to electromechanical equipment on operational efficiency. The research employs a combined approach of operational log analysis, energy consumption comparison, and performance evaluation before and after the renovation, assessing the effectiveness of the deployed smart sensor network, integrated operations platform, and LSTM load forecasting model. Results show that post-renovation, the average system fault response time was reduced from 56 hours to 8 hours—a 85.7% decrease; annual O&M costs dropped from – 820,000 to – 380,000 (a 53.7% reduction); and total annual energy consumption decreased from 1.35 million kWh to 0.924 million kWh, achieving an energy savings rate of 31.6%. Additionally, the study identifies specific challenges identified during the renovation, including device protocol incompatibilities, inadequate data governance capabilities, and technical transition difficulties for maintenance personnel. Based on these findings, recommendations are proposed for technology selection, security enhancements, and capacity building, providing a reference for intelligent central air conditioning upgrades in similar buildings.

Keywords： intelligentization of electromechanical equipment; central air conditioning; operation and maintenance efficiency; energy consumption control; preventive maintenance

引言

由我国建筑节能协会每年发布的建筑运营阶段能耗报告可知，我国建筑运营阶段的碳排放量占全国总量的20%左右，公共建筑领域中中央空调系统能耗所占比例达到40%–60%，是推进节能减排工作的主要方向。在智能化转型的过程中还存在着诸多的困境，不同的品牌之间通信协议互不兼容，数据采集的准确性也不高，一些运维人员对新技术的认知程度低，这些都会影响到智能运维技术发挥出其应有的作用。本文以北京某大型商业综合体为案例样本，在其机电设施完成智能化升级改造之后，从历史运行数据、能耗报表、维护记录等多方面入手，使用定量评价的方法对智能化改造对故障处理效率的提高、人力成本的节约和综合能效的改善等实际效果进行系统的评价。就行业普遍存在的技术创新融合障碍、管理模式变革的需求等进行深层次的探讨，试图给其他同类型建筑提供实践上的借鉴。

一、中央空调运维及机电设备智能化升级现状

（一）中央空调运维行业整体发展现状

目前我国中央空调运维行业正处在快速发展的阶段，预计到2025年市场规模将达到800亿以上。该行业在公共建筑、商业楼、工业等各个方面都有很好的应用。伴随着用户对于空调系统运行稳定性和节能减排效果要求越来越高，专业化、智能化的运维服务也越来越成为行业发展的主要方向。

行业内有着明显的分层趋势，大企业以及高端商业项目早先把智能化运维融入到运维当中，从而达成对设施整个生命周期的精细掌控，并且有效提升了运转速率，但中小型企业和老旧建筑依旧沿用传统的作业形式，在巡检频率、故障处置响应速度和资源调配效能等层面都存在着较大的欠缺。

（二）机电设备智能化升级应用现状

目前，中央空调的运维机电设备智能改造成果比较明显，也逐渐形成了比较完整的实践体系。该方案主要是从三个方面入手，第一就是利用高精度的传感装置（温度传感器、压力传感器、流量计、振动检测器等）来完成主机、水泵、冷却塔等重要设备的运行参数的毫秒级实时采集和深入剖析，第二就是依靠集成化的管理系统把数据采集、故障预警、远程控制以及能效分析这些功能模块进行整合起来，从而达成多层空间或者分布式系统的协同监管，第三是融合最新的机器学习算法，创建预测型维保模型和优化型能耗管理策略，促使传统的被动回应型运维方式朝着智能化预判型服务转变。

从调查结果可知，在这个区域内安装了大约200个传感器节点之后，空调系统的能耗分布以及各设备的运行情况变得比较清晰，并且可以提高到98%以上的故障检测准确率。从全局角度出发，目前楼宇智能化改造中能耗监测的投入多为基础型，在企业技术革新过程中并没有很好地把大数据分析、人工智能等元素纳入进来，造成运维服务无法形成闭环。这样不仅阻碍了资源利用效率的最高化，而且也造成客户服务水准存在一定的限制，需要加以解决。

三层系统架构图

- 感知层：温度传感器、压力传感器、流量传感器、振动传感器
- 网络层：物联网网关、5G / 以太网
- 应用层：智能运维平台（故障预警、能耗分析、远程控制、数据管理）

本文采用的研究方法包括：（1）文献研究法——梳理国内外中央空调智能运维领域的研究成果与技术进展，明确本研究的切入点；（2）运行数据分析法——收集样本项目2023年6月至2024年6月的设备运行日志、能耗记录与维护工单，通过对比改造前后关键指标的变化幅度评估智能化效果；（3）案例研究法——以北京某商业综合体为典型样本，深入剖析改造方案的设

计逻辑、实施过程与实际成效，归纳可推广的经验与需注意的问题。以下从响应效率、资源配置和能耗管控三个维度展开分析。

二、机电设备智能化升级对中央空调运维效率的影响机制

（一）响应效率提升机制：构建“感知－预警－决策－反馈”闭环

传统运维模式依赖人工定期巡检，存在巡检盲区大、故障发现滞后、定位困难等问题。智能化升级通过构建全流程闭环系统，彻底改变了“被动巡查－事后处理”的传统模式。

智能传感装置以不低于100Hz的采样频率实时采集设备运行参数，通过低延迟物联网通信系统（传输时间 $\leq 50\text{ms}$ ）将数据上传至运维平台。当设备出现温度异常、压力波动、能耗突增等非正常工况时，AI故障预测模型（识别准确率 $\geq 98\%$ ）可在10秒内完成异常检测与故障定位，并自动推送报警信息与处置建议给运维人员。实证数据显示，智能化改造前，商业综合体中央空调系统故障平均处理时间为56小时，改造后缩短至8小时，响应效率提升85.7%。

（二）资源配置优化机制：实现集中管控与精准调度

传统运维模式需要大量人员进行现场巡检、调试与故障处理，人力资源配置不均衡且效率低下。以总制冷量1200RT的写字楼中央空调系统为例，改造前需配备10名运维人员，年度运维费用70.6万元，其中人工成本占比高达81.5%。

该智能化运维平台突破了传统物理空间的束缚，达成单人掌控多栋建筑空调系统的目的，明显改善了人力资源配置的效率，物资储备管理的效率以及操作时长的利用率。借助大数据分析以及历史故障记录学习机制，平台可以自动产生出针对某一类机器设备的一种或者几种预防性保养计划，从而达到规避由于主观判断失误而造成的资源浪费的目的。该写字楼智能化改造完成以后，运维团队人员由原来的8人减少到现在的4人，全年的运行费从原来的34.5万元降到34.5万元，节省了29.5%的钱，人工成本削减了72.3%。

（三）能耗管控精准化机制：动态匹配负载与运行状态

传统的中央空调系统一般会把固定的运行参数固定下来，无法符合实际情况的负荷变化需要，造成能源利用率大打折扣。智能改造方案把大数据分析同人工智能技术结合起来，从而达成对能耗实施细致管理并加以改进的目的。

根据精准负荷预测模型来创建的系统可以准确地对某个时间段和某地区的空调能耗需求进行测算，同时会依据实际情况自动调节主要设备（包括主机组、水泵、冷却塔等）的运行参数，保证它们处在最高效的运转状态之中。能耗异常检测功能可以及时发现供水管网漏损、设备非满载运行等不正常的工况，从而发出

潜在能耗超差的警告。用优化系统后商业建筑每年节省下来的电量为37.2万 kWh，年平均耗电量提高31%左右，全年的电费比没加之前减少了约26.04万元。

三、实证案例分析

（一）项目概况

本文所选取的研究对象为位于北京市核心商圈的某大型综合性商业综合体。建筑面积12万平方米，中央空调系统设计冷负荷为4800冷吨（RT）。2023年6月开始实施智能化升级改造工程。本次改造主要针对主机、水泵、冷却塔和末端风机盘管等设备上的260个智能传感终端展开部署工作，创建起集成了故障诊断、能耗监测以及远程控制功能的集中化管理系统，并且引进了采用长短时记忆网络（LSTM）算法所搭建起来的负荷预测以及故障识别模型，从而对系统运行状况实施精细管控并加以改进调节。该例属于正在实施中的阶段，它也表现出了较为明显的科技优势以及发展前景。

（二）改造效果对比

改造前后系统运行关键指标对比见表1。

表1 中央空调系统智能化改造前后指标对比

改造前后指标对比表			
指标	改造前	改造后	提升/降低幅度
故障平均响应时间	56 小时	8 小时	缩短 85.7%
年度商户投诉次数	18 次	2 次	减少 88.9%
运维人员编制	10 人	4 人	精简 60%
年度运维总费用	82 万元	38 万元	降低 53.7%
年度总能耗	135 万千瓦时	92.4 万千瓦时	降低 31.6%
年度电费支出	121.5 万元	91.68 万元	节约 29.82 万元

（三）案例结论

该项目表明，机电设备由原来的非智能化转变为智能化以后，会明显提高中央空调系统的运行效率及节能效果。在实时监测和故障预警系统的作用下，故障处理的时间大大减少，设备运行的安全性和稳定性得到了提高，依靠一体化的管控平台以及精细化的运维方案，人工成本得到了有效的降低，维护费用也得到了明显的降低，采用动态负荷调节方式可以达到对能源进行准确控制的目的，满足绿色可持续发展需要。该实践具有较强的技术适应性以及经济可行性，也给类似的改造项目提供了一个很好的参考范本。

四、智能化升级过程中存在的突出问题

（一）设备兼容性差，数据孤岛现象严重

笔者调研发现，早期安装的中央空调主机、水泵及冷却塔大多未预留数字化通信接口，后期加装智能采集模块需对控制柜进行物理改造，单台主机改造费用在3000元至5000元不等，这对预算有限的项目构成了较大压力。更为棘手的是通信协议的异构问题：笔者接触的项目中，冷冻机房主机采用Modbus RTU协议，水泵变频器使用BACnet/IP协议，冷却塔控制器则基于

LonWorks协议，三类协议在数据格式、传输速率和地址编码上互不兼容，运维平台需要额外配置协议转换网关才能实现数据汇聚，增加了系统复杂度和故障排查难度。

（二）数据安全风险突出

智能运维平台汇集了设备运行参数、能耗曲线以及租户用能习惯等敏感信息，一旦平台遭受网络攻击，不仅可能导致商业数据外泄，还可能被恶意操控设备运行参数，引发系统停机甚至安全事故。笔者走访中发现，部分项目的运维平台仍使用出厂默认密码，数据传输通道未启用TLS加密，且没有保留操作日志用于事后追溯，这些薄弱环节亟待补强。

（三）专业技术人才匮乏

从笔者参与的项目实施经历来看，智能化改造后运维工作的技能要求发生了明显变化：一线人员需要能够读取传感器数据判断设备状态，需要理解平台生成的预警信息并采取正确处置措施，还需要具备基础的网络故障排查能力。然而，现有团队中具备暖通空调专业背景的人员往往不熟悉IT系统操作，而新招聘的自动化技术人员又对制冷系统原理缺乏深入理解。高校现有的课程设置在短期内难以培养出既懂空调系统又懂数据分析的跨界人才，企业内部的技能培训也缺乏针对性教材和考核标准。

五、中央空调智能化运维优化策略

（一）统一技术标准，提升设备兼容性

由行业协会牵头，制定统一的中央空调智能交互标准，推动厂商公开通信协议与接口信息，实现不同品牌、不同型号设备之间的数据互联互通。针对老旧设备，推广成本低、安装便捷的模块化网关产品，降低改造成本；新建项目应优先选用符合国家标准智能化成套设备，实现从规划设计到运维管理的全流程数字化。

（二）构建多层次数据安全防护体系

全面应用数据加密技术，对设备运行状态、能耗参数等关键数据进行传输与存储加密。建立基于数据重要性的分层管理体系，对高敏感信息实施严格的访问控制与身份认证。定期开展智能运维系统的安全审计与漏洞扫描，及时修补安全隐患，提升系统抵御网络攻击的能力。

（三）完善人才培养体系

深化校企合作，在高校开设“建筑设备智能化运维”特色专业，构建融合空调工程、数据科学与人工智能的课程体系。加强对在岗技术人员的技能培训，开发智能装备操作、运行参数解析、故障预测技术等定制化培训课程。建立健全行业职业技能鉴定评价体系，明确岗位任职资格标准，提升从业人员的专业素养。

六、结论

综合本文分析，机电设备智能化升级对中央空调运维效率的提升作用可从三个层面加以概括：在响应效率层面，实时监测与

智能告警将故障发现到处置完成的周期从56小时压缩至8小时，避免了因停机导致的商业损失；在资源配置层面，集中监控与预防性维护使运维团队由10人精简至4人，年度人工支出降低超过50%；在能耗管控层面，基于负荷预测的运行优化策略使年耗电量从135万千瓦时降至92.4万千瓦时，节省电费29.82万元。三

个层面的改善相互支撑，共同构成了智能化升级的综合效益。研究未设置未改造的对照组，无法完全排除气候波动、电价调整等外部因素对结果的干扰。后续研究可扩大样本范围，延长观察周期，并尝试引入准实验设计以提升因果推断的严谨性。

参考文献

[1] 住房和城乡建设部. “十四五” 建筑节能与绿色建筑发展规划 [Z]. 2022.

[2] 中国建筑科学研究院. 中国建筑能耗研究报告 (2025)[R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2025.

[3] 王盛琪, 陈焰华, 王飞飞, 等. 基于物联网的中央空调智能监控与节能系统研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2022, 41(8): 1-5+13.

[4] 中国制冷空调工业协会. 中国中央空调运维行业发展白皮书 (2025)[R]. 北京: 中国制冷空调工业协会, 2025.

[5] 刘欢, 李冬, 刘元明. 智慧医院中央空调系统节能控制与运维管理 [J]. 建筑节能 (中英文), 2022, 50 (07): 117-122.

[6] 吴凯斌. 基于 BIM 的中央空调设备智能运维系统关键技术实践与应用 [J]. 福建水力发电, 2022, (01): 51-55.

[7] 袁木. 当议医院中央空调系统运维信息化应用与管理 [J]. 中国设备工程, 2024, (18): 50-52.

[8] 孙鹏, 吴永仁, 邵军, 等. 医院中央空调系统运维信息化应用与管理 [J]. 现代医院管理, 2022, 20 (03): 90-93.

[9] 王健, 赵阳, 陈晨. 基于大数据的中央空调能耗优化控制研究 [J]. 制冷学报, 2023, 44 (09): 123-131.

[10] 金振山, 陆俊俊. 铁路客站制冷机房高效运维管理的实践 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2024, (07): 105-107+114.