

既有民用建筑暖通空调设备老化故障分析及升级改造措施

王晓中 马永亮 李月姣

机械工业第六设计研究院有限公司 河南 郑州 450007

摘 要：现阶段大量既有民用建筑暖通空调设备进入超期服役阶段，普遍存在设备老化、故障频发、运行降效严重等问题，不仅建筑运行阶段能耗和碳排放居高不下，而且影响室内使用环境品质保证与设备稳定安全运行。本文以老旧民用建筑暖通空调系统为研究对象，系统梳理换热设备、动力设备、管网及控制系统的典型老化故障类型，分析设备老化引发的能耗升高、运维成本增加、安全隐患等工程问题。结合现场实际工况，提出适配性较强的升级改造原则、系统改造方案及关键施工调试技术。

关键词：既有民用建筑；暖通空调；设备老化；故障分析；升级改造

引言：随着国内既有民用建筑存量持续增加，早期配套的暖通空调设备受当时设计标准偏低、设备制造工艺有限、长期运维保养不足等因素影响，整体空调系统老化问题日益突出。多数老旧空调系统已无法满足现行节能标准与室内舒适环境使用要求，存在能耗浪费、运行不稳、故障多发等现实问题。为有效改善老旧暖通系统运行状态，降低建筑运维能耗与安全风险，本文针对既有民用建筑暖通空调设备开展故障分析，结合工程实际制定系统化升级改造方案与施工技术措施，对推进既有建筑节能绿色化改造、提升设备高效运行安全稳定、实现建筑领域控碳降碳具有现实意义。

1 既有暖通空调设备典型故障类型

1.1 换热设备故障

换热设备是暖通空调系统冷热交换的核心部件，老旧蒸发器、冷凝器、盘管等热交换部件长期带病运行，可集中归纳为结垢堵塞与换热性能衰减两类故障。结垢堵塞方面，水循环中的泥沙、矿物质、微生物杂质会持续附着在换热管壁，长期堆积形成水垢和淤泥。多数老旧建筑空调系统缺少完善可靠的水质处理设备，且长期未专业清洗维护，导致管道通径收窄、水流受阻，部分管路出现淤积堵塞问题。换热效率衰减方面，管道内壁结垢会大幅降低换热性能，同时设备换热翅片氧化、积尘，造成冷热交换不充分。

1.2 动力设备故障

空调水泵、风机、压缩机等动力设备长期不间断运行，机械损耗大、老化问题突出。一是部件磨损故障，轴承、叶轮、密封件、传动皮带等易损件会自然老化磨

损，超期服役设备易出现轴承间隙变大、叶轮变形、密封失效等问题，引发设备松动、构件错位等机械故障。二是噪音与振动异常，部件磨损、设备固定支架松动、基础减震构件老化，会导致设备运行时产生异响和剧烈振动，既降低运行稳定性，又加速周边管路及配件损坏。三是设备能效衰减，老旧动力设备多为定频结构，伴随电机老化、机械损耗增加，设备运行负载损耗持续上升，有效做功效率逐年降低。

1.3 管网系统故障

暖通空调系统输配管网长期隐蔽运行，受环境、介质、施工工艺影响，故障隐蔽性强、覆盖范围广。首先是管网漏损，老旧管道多为碳钢材质，长期受水腐蚀、氧化锈蚀，管壁变薄产生沙眼、裂缝，同时管道法兰、阀门密封垫老化失效，引发水系统渗漏、风系统漏风等问题。其次是管网堵塞，管道锈蚀脱落的铁锈、介质杂质淤积，叠加施工残留杂物堆积，易造成局部管路堵塞，导致介质输送不畅。最后是水力失衡，老旧管网结垢程度、管径损耗不均匀，且老化阀门调节功能失效，使系统各支路阻力差异增大，冷热介质流量分配不均，能量供给错配末端需求。

1.4 控制系统故障

老旧暖通空调控制系统硬件陈旧、技术滞后，自动化调控故障频发。一是调控功能失灵，传感器、控制器、执行器等核心元器件超期服役、老化失效，无法精准采集室内温湿度及设备运行参数，导致系统启停、负荷调节等核心功能异常，出现设备无故启停、温度调节失效等问题。二是控制精度不足，传统模拟控制系统分

辨率低、响应速度滞后,无法根据室内负荷动态变化实时微调设备运行状态,温湿度控制误差大,系统运行稳定性差。三是能耗失控,老旧控制系统无智能变频、负荷联动调节能力,设备始终以固定工况运行,无法适配建筑负荷的动态波动,产生大量无效能耗^[1]。

2 设备老化故障带来的工程问题与风险影响

既有民用建筑暖通空调设备长期老化失效,会引发多项工程实际问题与设备运行风险,直接关联空调系统整体运行费用与建筑使用效益。(1)系统长期低效运行,建筑能耗显著增加,老旧设备换热、输配效率衰减,加之管网水力失衡、自控调节失效,设备长期高负荷低效运转,相比全新合规系统,整体能耗涨幅明显,造成持续性能源浪费。(2)室内环境品质不达标,老化空调系统温湿度调控精度不足、送风不畅、过滤能力下降,无法稳定维持室内热舒适环境,同时易出现送风浑浊、空气质量变差等问题,无法满足民用建筑日常使用的环境标准。(3)设备故障频次逐年攀升,运维成本持续增加,老化设备易出现渗漏、异响、停机、部件损坏等问题,日常检修、零部件更换及故障抢修工作量大幅提升,长期运维经济投入居高不下。(4)系统存在安全隐患,超期服役的动力设备、电气控制部件易出现线路老化、设备过载、管路破损等问题,不仅易造成系统瘫痪停运,严重时还会引发漏电、漏水、设备损毁等安全事故,大幅提升设备提前报废的概率^[2]。

3 既有民用建筑暖通空调设备升级改造原则与方案设计

3.1 升级改造总体原则

既有民用建筑暖通空调改造区别于新建建筑设计,需结合建筑原有结构、设备现状、使用需求制定针对性改造方案,全程遵循多项核心原则,保障改造工程合理落地。(1)节能适配性原则,改造方案优先贴合现行建筑节能规范,摒弃老旧高能耗设备,选用高效节能设备与技术,匹配建筑实际冷热负荷,杜绝设备选型冗余、能耗浪费问题。(2)安全实用性原则,改造过程不改动建筑主体承重结构,设备安装、管路改造、电气布线均符合暖通施工安全标准,保障系统长期运行稳定。(3)经济可控性原则,立足既有设备现状,优先采用修复优化、局部替换的改造方式,避免盲目全系统拆除重建,严控改造成本,兼顾短期施工成本与长期运维经济效益。(4)兼容适配性原则,新改造设备、管网及控制系统需与原有系统兼容,减少适配冲突,降低改造后系统调试难度。

3.2 核心动力设备优化改造方案

针对水泵、风机、冷水机组等核心动力设备老化、能效衰减问题,结合设备服役状态分类实施改造。(1)超期服役设备直接替换,对磨损严重、能效过低、频繁故障的定频水泵、离心风机、老旧机组,替换为高效变频节能设备,设备参数依据建筑实时冷热负荷精准选型,杜绝大马拉小车的工况问题。(2)尚可使用设备优化升级,对工况基本稳定、无结构性损坏的动力设备,保留主体设备,加装变频调控模块、减震装置和智能监测配件,改善设备定频运行、振动噪音大的问题。(3)设备布局优化,梳理原有设备杂乱布局,调整设备安装位置,规整管线对接方式,减少介质输送阻力,降低设备运行损耗。

3.3 空调末端与换热设备提质改造方案

换热设备结垢堵塞、末端设备换热低效是老旧系统的常见问题,改造以提质增效、消除故障为核心。(1)老旧换热设备清理修复,对冷凝器、蒸发器、板式换热器开展高压水清洗、除垢除锈作业,清除管壁水垢、淤泥和氧化层,修复轻微腐蚀、变形的换热构件,恢复设备原有换热性能。(2)失效末端设备更换,对积尘严重、翅片破损、换热能力大幅衰减的风机盘管、空调末端机组进行整体更换,选用换热系数更高、静音效果更好的新型末端设备。(3)增设过滤净化装置,在换热设备进水、进风端加装高精度过滤器,从源头减少杂质堆积,延缓设备结垢腐蚀,降低后期故障发生率。

3.4 暖通管网系统修复与优化改造方案

管网漏损、堵塞、水力失衡问题需通过针对性修复和系统优化彻底解决。(1)破损管网更换修缮,对锈蚀严重、存在渗漏隐患的老旧碳钢管道、破损阀门、老化密封配件进行整体更换,管路接口重新做密封处理,杜绝系统跑冒滴漏问题。(2)管网疏通清理,对保留原有管网开展全方位疏通作业,清除管道内部铁锈、淤积杂物,恢复管道标准通畅,保障介质输送通畅。(3)水力平衡优化,更换老化失效的调节阀、平衡阀,通过专业调试校准各支路阻力,调整管网管径配比,解决系统水力、风力分配不均的问题,消除局部冷热不均的工况缺陷。

3.5 智能化自控系统升级改造方案

针对老旧控制系统精度低、调控失灵、能耗失控问题,全面升级智能自控体系。(1)硬件设备更新替换,拆除老旧传感器、温控器、模拟控制器,更换为高精度数字式传感设备和智能控制器,精准采集室内温湿度、设备运行负荷、介质流量等核心参数。(2)搭建联动调控系统,构建设备联动控制体系,实现机组、水泵、风机根据室内负荷自动启停、变频调节,替代传统人工手

动操控模式。(3)增设运行监测模块,加装能耗监测、故障报警装置,实时监控运行状态,设备出现异常可及时预警,便于运维人员快速排查故障,提升系统智能化管控水平^[3]。

3.6 改造适配性优化设计

结合既有建筑结构限制、使用场景开展适配性优化设计,保障改造工程贴合现场实际。(1)贴合建筑现场条件,改造前核查建筑层高、吊顶结构、管线走向,所有新设备、新管网安装均适配原有建筑布局,避免二次结构改动。(2)分区差异化改造,根据建筑不同区域使用功能、冷热负荷差异,制定分区改造方案,办公、住宅、公共区域针对性匹配设备参数与调控模式。(3)预留后期升级空间,改造设计兼顾远期使用需求,管网接口、控制系统预留拓展空间,适配后续建筑功能调整与节能技术升级,提升系统使用寿命与适配性。

4 既有民用建筑暖通空调设备升级改造关键技术

4.1 节能改造核心技术应用

在既有民用建筑暖通空调改造工程中,节能核心技术主要以变频节能技术、余热回收利用技术为主,适配老旧系统改造场景,实用性与适配性较强。(1)变频节能改造技术,针对原有定频水泵、风机、冷水机组进行变频改造,取消设备固定工频运行模式。根据建筑冷热负荷、室内温度变化、管网介质流量等实时参数,自动调节设备运行频率与转速,避免设备长期满负荷空载运行,有效解决传统设备启停频繁、工况冗余、能耗过高的问题。该技术无需大规模改动原有管路结构,改造成本低、适配性强,是老旧空调系统节能改造的主流技术。(2)余热回收利用技术,针对空调机组排风、机组冷凝余热进行回收利用。通过加装余热回收装置、板式换热设备,将空调排风余热、机组废热进行收集置换,用于新风预热、热水预处理等工况,减少锅炉、机组的额外能耗输出,有效提升能源利用率,改善老旧系统能源浪费严重的问题。

4.2 老旧设备拆除与新设备安装施工管控要点

既有建筑暖通改造施工空间受限、原有管线复杂,设备拆除与新装施工需严格管控流程,规避施工隐患,保障改造工程质量与建筑原有结构安全。(1)前期勘测与方案交底,施工前全面排查老旧设备布局、管线走向、建筑承重结构及电气线路分布,明确拆除范围与施工禁区,结合现场工况制定专项拆除安装方案,完成技术交底,杜绝盲目施工造成的管线破损、结构损坏问题。(2)老旧设备拆除管控,遵循先电气后设备、先附

属后主体的拆除顺序,提前断电断水泄压,对老化锈蚀严重的管路、设备进行分段拆除,避免一次性拆解造成结构坍塌、管路断裂渗漏等问题,同时做好现场废旧物料分类清运。(3)新设备安装质量管控,新设备安装严格遵循暖通施工规范,校准设备安装水平度、固定精度,规范管路对接、密封焊接及电气接线工艺。针对民用建筑吊顶空间狭小、管线密集的特点,优化设备安布局,做好减震、降噪、密封处理,保障新设备安装稳固、工况达标。

4.3 改造后系统调试与水力平衡优化技术

设备改造完成后,系统调试与水力平衡优化是消除管网工况紊乱、解决冷热不均问题、保障改造效果的核心工序,直接决定暖通系统后期运行稳定性。(1)系统整体工况调试,对机组、水泵、风机及自控系统进行单机与联动调试,逐一检测设备启停工况、变频调节性能、参数响应精度,排查管路渗漏、设备异响、调控滞后等问题,确保各设备运行参数符合设计标准。(2)管网水力平衡调试,采用专业水力测试设备,检测各支路水流流量、压力差值,对各支路手动调节阀、电动平衡阀进行精准调节,修正老旧管网阻力不均、流量分配失衡的缺陷,保证各楼层、各区域介质输送均匀,消除局部过冷、过热现象。(3)系统稳态优化调试,完成初步调试后,开展72小时系统连续试运行,记录不同负荷工况下的运行数据,针对性微调设备运行参数与管网阀门开度,优化系统整体运行工况,使改造后暖通系统始终处于高效、稳定的运行状态^[4]。

结束语: 本文通过分析既有民用建筑暖通空调设备各类老化故障特征,明确了换热、动力、管网及控制四大系统的主要病害问题与运行风险。结合老旧建筑改造限制条件,确定了节能、安全、经济、兼容的改造原则,完成设备更新、管网优化、智能升级等改造方案设计,梳理了施工管控与系统调试的关键技术。

参考文献

- [1] 陈超垚.既有居住建筑暖通改造中散热器选型与布置优化研究[J].新材料·新装饰,2026,8(13):98-101.
- [2] 张自仕,李国正.既有建筑暖通空调改造问题对策研究[J].居业,2026,(6):82-84.
- [3] 刘威.既有建筑暖通空调系统节能改造设计[J].睿士,2024,(19):173-175.
- [4] 李行.建筑暖通空调系统的节能改造技术研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025,(11):106-109.