

高层民用建筑空调制冷系统运维隐患及整改优化研究

张 青

宁波市建设集团股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要：高层民用建筑空调制冷系统工况复杂、运维难度大，当前普遍存在设备老化、管网失调、自控失效及管理不规范等问题，易引发能耗超标、设备故障及安全隐患。本文梳理该系统运维基础与行业现状，全面剖析设备、管路、自控及管理系统的核心隐患与成因，针对性提出设备整改、系统优化、制度完善及智能化运维建设等策略，助力提升系统运行安全性与能效水平，为同类建筑运维提质增效提供参考。

关键词：高层民用建筑；空调制冷系统；运维隐患；整改优化

引言：随着高层建筑规模化建设，空调制冷系统成为建筑机电核心设施，其稳定节能运行直接关系建筑使用体验与运营成本。高层建筑风压特殊、管路冗长、负荷波动大，对制冷系统运维提出严苛要求。目前行业传统运维模式弊端凸显，设备隐患积累、能耗浪费、运维不专业等问题频发。基于相关行业规范，本文系统探究高层空调制冷运维隐患，剖析问题根源并制定优化整改方案，推动运维工作标准化、精细化、智能化发展。

1 高层民用建筑空调制冷系统运维基础理论与现状

1.1 高层民用建筑空调制冷系统核心构成与运行特性

(1) 系统核心组成：由冷水机组、冷却塔、水泵、末端设备、自控系统及管路管网构成。冷水机组通过压缩—冷凝—节流—蒸发循环制取冷冻水；冷却塔完成水气热交换；水泵提供循环动力；末端设备（风机盘管、AHU）处理空气；自控系统调节参数；管路实现冷量输配。(2) 高层建筑运行特性：面临风压大、管路长、负荷波动剧烈、设备集中、运维空间受限等工况。风压影响冷却塔散热与风口压差；长管路增大沿程阻力和输配损耗；负荷随日照、人流、季节大幅变化；设备集中布置于机房层或地下室，散热差、维修狭窄^[1]。(3) 系统运维核心要求：须满足安全运行（压力容器检测、电气防护）、能耗控制（能效比达标、负荷优化匹配）、故障防控（设备冗余、预警机制）、日常维保（管路清洗、水质管理）等标准，严格执行《建筑机电工程运行维护标准》相关条款。

1.2 空调制冷系统常规运维内容与规范标准

(1) 日常运维内容：包括设备启停操作、运行参数（温度、压力、流量、电流）监测记录、冷却塔及过滤器清洁、工况巡检（振动、噪音、渗漏检查）等常态化

工作，确保系统日间稳定运行。(2) 定期维保内容：涵盖压缩机润滑油更换、冷凝器/蒸发器清洗、管路除垢及钝化处理、电气控制系统调试、安全阀与压力表校验、制冷剂检漏与充注等周期性项目，按季节切换前实施全面检修。(3) 行业规范与标准：严格遵循 GB50736《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》、CJJ/T309《建筑机电工程运行维护标准》、GB/T18430《蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组》等规范，落实压力容器年检、水质管理及能效测定的法定要求。

1.3 现阶段高层空调制冷系统运维整体现状

(1) 运维管理模式现状：多数高层建筑仍采用传统人工运维模式，巡检记录依赖纸质工单，智能化覆盖率不足 30%。运维流程缺乏标准化作业指导，预防性维护计划执行率偏低，精细化管理水平亟待提升。(2) 设备运行现状：部分建筑制冷设备超期服役（超过 15 年设计寿命），压缩机磨损、换热器结垢、管路锈蚀问题突出，系统能效比普遍低于 3.5，故障频发且负荷调节能力不足，低负荷运行时大马拉小车现象严重。(3) 运维人员能力现状：基层运维人员专业培训缺失，持有制冷与空调特种作业操作证比例不足 60%，缺乏高层建筑专属运维技能（如高区水压调节、竖井管路诊断），故障预判依赖经验，应急处置能力薄弱，难以应对突发停机及制冷剂泄漏等事故。

2 高层民用建筑空调制冷系统运维核心隐患及成因分析

2.1 设备本体运维隐患及危害

(1) 核心机组隐患：压缩机转子磨损致容积效率下降，换热器结垢增大热阻，密封老化致制冷剂泄漏，引起制冷量衰减、能耗攀升，严重时电机过载烧毁，引发

非计划停机,影响高层建筑正常供冷。(2)辅助设备隐患:冷却塔填料碎裂、布水器堵塞、风机变形,致冷却水温逼近极限、散热下降;水泵叶轮锈蚀、轴承损坏、扬程不足,致流量偏离设计值、水力失调,冷却水循环恶化,压缩机功耗显著上升。(3)末端设备隐患:风机盘管翅片积尘、冷凝水盘排水不畅、电动阀卡滞,致换热效率降低、送风温度偏高,区域制冷不均;潮湿环境下滤网滋生霉菌,恶化室内空气质量,影响使用满意度和健康舒适度。

2.2 管路与控制系统运维隐患及危害

(1)管网管路隐患:高层立管长期承受较高静水压力,焊接接头应力腐蚀产生微裂纹,保温层受潮失效产生凝结露,管路弯头及过滤器处沉积杂质造成局部堵塞,引发冷量沿途散失、吊顶渗漏水渍、系统高低压异常波动,严重时爆管事故导致大面积停供。(2)自控系统隐患:温度/压力传感器漂移失真、DDC 控制器 PID 参数整定偏差、控制柜内线路绝缘老化引发信号干扰,造成机组加减载逻辑紊乱、阀门开度调节失准,空调系统无法依据实际负荷实时优化运行,出现大流量小温差等无效能耗现象,能耗浪费达 10%~20%^[2]。(3)水力系统隐患:同程式与异程式管路混接、静态平衡阀未进行初调试、压差旁通设定不当,造成系统水力失调,远端用户流量不足、近端用户流量过剩,制冷量分配严重不均,整体能效比下降,压缩机长期偏离高效区运行。

2.3 运维管理体系隐患及危害

(1)制度体系不完善:运维制度照搬通用标准,未针对高层建筑超高楼差、变流量调节等工况制定专项规程,巡检路线覆盖不全、维保周期模糊、考核指标缺失,存在维保漏项、月度检修滞后等问题,隐患长期积累最终引发故障。(2)运维操作不规范:运维人员为图省事擅自跳过机组预检程序、冷却塔风机反转未及时纠正、停机后未关闭对应阀门,违规操作加速设备非正常损耗,并埋下电气短路、高压爆管等安全隐患,直接威胁大楼供冷可靠性。(3)应急机制不健全:针对冷却水中断、制冷剂大量泄漏、高压报警连锁停机等典型突发故障,缺乏清晰的应急处置预案与现场处置卡,故障发生后盲目排查耽误抢险时间,贻误隔离故障源的最佳窗口期,易导致冷水机组冻管、压缩机液击等二次衍生损失。

2.4 运维隐患综合成因分析

(1)客观设备因素:设备运行年限逼近或超过设计寿命,材料疲劳与性能自然衰退难以逆转;初期选型未

充分考虑高层超高压管路及风压波动,机组与冷却塔适配裕度偏小;高层特殊工况加剧压缩机磨损与管路交变应力,缩短大修周期。(2)主观人为因素:运维人员缺乏高层制冷系统专项技能认证,对冷媒回收、充注操作掌握不熟练,巡检敷衍走过场、数据造假失真,责任意识淡薄,面对异常参数缺乏主动分析动力,小隐患拖延成严重故障。(3)管理机制因素:企业重使用轻维护,运维预算持续压缩;日常监督仅靠纸质签名确认,缺乏线上闭环跟踪与量化考核;智能化运维工具缺失,机组运行数据散落孤立,无法开展健康状态评估与劣化趋势预警,被动响应式维修长期主导。

3 高层民用建筑空调制冷系统运维隐患整改及优化策略

3.1 设备本体隐患专项整改措施

(1)核心机组整改:针对换热器结垢,采用化学清洗与物理通炮相结合的方式清除管壁污垢,恢复传热效率;对磨损压缩机转子实施更换或研磨修复,重新校准机组蒸发器、冷凝器进出水温度及压力参数设定值,使机组制冷量恢复至额定工况 90% 以上;对超期服役机组委托专业机构开展能效检测与剩余寿命评估,综合经济性比选后实施变频改造或整机更新,优先选用磁悬浮、气悬浮等高效节能型机组。(2)辅助设备整改:更换冷却塔老化破碎填料,选用阻燃型 PVC 薄膜填料提升换热面积;修复或更换变形风机叶片、磨损轴承,清理塔体周围杂物及进风口遮挡物保障通风顺畅;对水泵进行解体检修,更换机械密封、轴承及磨损叶轮,重新校准泵组转速与进出口阀门开度,消除运行异响与扬程不足问题,确保冷却水循环流量达到设计值^[3]。(3)末端设备整改:制定末端设备年度清洗计划,定期拆卸风机盘管翅片进行高压气吹或药水浸泡清洗,更换堵塞严重滤网,检修或更换阀芯卡滞的电动二通阀、锈蚀的调节阀,校准送风温度设定值,保障各楼层、各区域室内温度均匀达标,消除局部过热或过冷现象。

3.2 管路与控制系统优化整改方案

(1)管网系统整改:全面排查管路保温层破损点,采用闭孔橡塑材料重新包裹、严格密封接口,杜绝凝结露与冷量散失;对管壁锈蚀减薄、接头渗漏的管段进行切割更换,选用耐压等级不低于 2.5MPa 的镀锌钢管或衬塑复合管;疏通 Y 型过滤器及管路弯头处沉积杂质,优化高层立管承压分区设计,在超高层建筑中增设中间换热器或减压阀组,降低底部管路承压风险。(2)自控系统升级:全面更换输出漂移的温度传感器、零点偏移的压力变送器及绝缘老化控制线缆,升级 DDC 控制器

运算程序,引入基于室外温湿度及室内负荷预测的动态前馈控制算法,实现冷水机组台数控制、冷冻水出水温度重置、冷却塔风机变频联动的协同优化,精准匹配不同时段、不同朝向区域的差异化制冷需求^[4]。(3)水力平衡优化:采用超声波流量计对系统各支路进行冷媒水流量实测,逐一调节静态平衡阀至设计流量偏差不超过 $\pm 5\%$;在末端负荷变化频繁区域加装动态压差平衡阀,维持供回水压差恒定;对压差旁通阀设定值重新整定,消除大流量小温差的运行弊病,使系统综合能效比提升10%~15%。

3.3 运维管理体系完善与优化

(1)健全运维管理制度:编制《高层民用建筑制冷系统运维管理手册》,明确巡检路线与点位、维保周期与项目、设备台账登记规范、隐患上报及闭环处置流程,细化值班工程师、巡检员、维保技工各岗位职责边界与考核标准,实现制度化管理全覆盖。(2)规范标准化运维流程:编制设备启动前预检清单、日常巡检记录卡、月度/季度维保作业指导书及故障分级上报流程图,将所有操作节点固化为标准作业程序,推行操作票与工作许可制度,杜绝无票作业、参数随意调整等违规行为,实现运维全过程留痕、可追溯。(3)完善应急处置机制:针对压缩机卡死、冷却水断流、制冷剂大量泄漏、高压报警联锁停机、供电闪断等突发事件逐一编制应急处置卡,明确报警确认、紧急停机、隔离故障、启动备用设备、上报流程及恢复步骤等关键动作,每半年组织一次实战演练,检验通讯协调与物资储备,将故障平均响应时间压缩至15分钟以内。

3.4 智能化运维与长效优化体系构建

(1)智能化运维系统搭建:部署边缘计算网关接入冷水机组、水泵、冷却塔风机、末端及管路测点的温度、压力、流量、电流、振动等多维传感数据,搭建B/S架构的制冷系统智慧运维平台,实现运行参数实时监测、能效指标自动计算、异常趋势提前预警、维保

工单自动派发,推动运维从计划检修向预测性维护转型。(2)人员专业能力优化:联合设备厂家与行业协会,每年开展不少于40学时的专项培训,内容涵盖制冷循环原理、故障诊断方法、物联网平台操作、紧急处置流程等模块;实施理论考试与实操技能双重考核,考核结果与岗位晋升、绩效薪酬挂钩,激发运维人员自主学习与责任担当意识。(3)长效运维优化机制:建立包含设备铭牌信息、安装调试记录、维修更换履历、能效检测报告在内的全生命周期数字档案;每季度召开运维隐患复盘分析会,对照历史故障与能效数据动态调整维保策略与改造优先级,形成隐患识别—方案制定—整改落实—效果验证—标准固化的持续改进闭环,保障系统长期安全、节能、稳定运行^[5]。

结束语

本文系统梳理高层民用建筑空调制冷系统运维现状,精准识别设备、管网、自控及管理层面的各类隐患,明确设备老化、操作不规范、管理机制缺失等核心成因。通过落实专项整改、系统优化、制度完善及智能化建设等举措,可有效解决系统低效、故障频发等问题。研究成果能有效改善高层空调制冷系统运维质量,降低运行能耗与安全风险,可为建筑机电运维优化与长效管理提供实操依据。

参考文献

- [1] 陈俊宇.高层民用建筑中央空调制冷系统常见运维隐患及整改措施[J].工程建设与设计,2024,11(18):132-134.
- [2] 王健,李想.高层建筑中央空调制冷设备故障溯源与运维体系优化[J].建筑热能通风空调,2023,42(7):78-82.
- [3] 张磊.高层建筑集中空调制冷系统运行缺陷及节能整改技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,25(5):89-92.
- [4] 周志远.高层民用建筑空调水系统运维隐患分析及优化改造[J].机电工程技术,2023,52(11):201-204.
- [5] 林晓冬.城市高层建筑中央空调运维管理漏洞及隐患治理对策[J].城市建筑,2022,19(32):156-158.