

中央空调 VAV 系统不良改造影响及处理措施探究

陈凌霄

(中信银行股份有限公司信用卡中心, 广东 深圳 518000)

摘要 中央空调 VAV 系统因其显著的节能性、灵活性及舒适性优势, 被广泛应用于现代建筑中。但在实际工程应用中, 因施工不当或后期维护不利所导致的系统失效案例屡见不鲜。VAV 系统对二次改造施工精度要求严格, 交付前的系统测试调试环节至关重要, 后期物业运维管理也需要专业支持。本文以具体项目为例, 针对不良施工或系统维护不利导致的后果及措施建议进行分析, 并提出针对性的改进措施, 以期同类项目提供有益参考。

关键词 暖通工程; 中央空调; VAV 系统; 不良施工

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.010

0 引言

大中型建筑往往因后期入驻单位的需求不同而进行二次改造, 中央空调 VAV 系统的改造较传统空调区别大, 对改造团队的专业性要求更高, 对测试调试要求更严谨细致, 对物业公司的运行维修要求更严格。为实现中央空调 VAV 系统优势, 避免不良施工造成的负面影响, 本文通过分析案例项目 VAV 系统改造后的实际运行状况, 旨在揭示中央空调 VAV 系统不良改造影响, 并依此提出解决对策, 提升系统运行效能。

1 项目概况

1.1 项目介绍

本文所举例项目为高层写字楼的二次施工安装工程, 地址位于湖南省长沙市开福区。建筑物为超高层, 地面 45 层, 建面 6.6 万 m^2 , 空调系统采用冷水主机 + 楼层变风量系统 (AHU+BOX, 江森自控)。前期因空间使用需求, 部分楼层进行了二次装修, 装修之后对空调系统进行检测发现, 冷水主机 COP 值满足设计值, 性能正常, 运行良好; 但楼层变风量系统则遭不良施工破坏, 在空调运行情况下, 室内炎热, 员工感受差, 最高温度甚至超过 30 $^{\circ}\text{C}$, 无法满足办公需求。

1.2 VAV 系统运行原理与技术优势

VAV 系统全称为变风量系统, 该系统由空气处理机组、变风量末端、风管网络、自控系统、末端风口共同组成, 可通过调整送风量的方式调节室内环境。与传统定风量系统相比, 该系统在部分工况下的运行能耗更低, 可降低约 30% 至 50% 的风机运行能耗。此外,

该系统温度控制精确度较高, 误差仅为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 因此已在超高层建筑中实现了广泛应用^[1]。

2 VAV 系统运行状况

以第 37-45 层为列, 现场平面布局为椭圆形空间, 核心筒位于平面中央位置, 绕核心筒为公共走廊, 外围由数个大通间及独立空间相结合的办公区域组成。楼层风柜机房位于核心筒, 通过核心筒相对的两侧分别进行送风及回风。AHU 铭牌及设计风量为 2 800 m^3/h , 冷量为 154 kW, 设计流量 23 ~ 26 CMH, 单台 BOX 最大风量 1 300 m^3/h , 约 20 台 / 层。对 VAV 系统进行检测, 得到的数据如表 1、表 2 所示。

表 1 AHU 冷量检测表

AHU 编号	流量 (CMH)	进水温度 ($^{\circ}\text{C}$)	出水温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷量 (kW)
AHU-37	27	10.9	13.5	81.9
AHU-38	24.6	10.8	14.5	106.2
AHU-39	23.7	10.5	13.5	83
AHU-40	22.1	10.7	13.5	69.6
AHU-41	21	10.6	13.6	71.1
AHU-42	19.6	10.6	14.4	86.9
AHU-43	20.8	10.6	13.4	68
AHU-44	18.4	10.9	16	109.5
AHU-45	17.8	10.9	14.3	70.6

从现场测试数据知, AHU 换热量未达到设计冷量值, 风柜处理风量不足; 末端风口送风量远低于设计值, 送风量不足。

表 2 BOX 风口风量检测表

服务区域 43	编号	风口类别尺寸	设计风量 (m ³ /h)	实测风量 (m ³ /h)	比例
VAV-BOX-1	1 号	百叶 500*500	600	152	25%
	2 号	百叶 500*500	600	195	33%
VAV-BOX-2	1 号	百叶 500*500	600	289	48%
	2 号	百叶 500*500	600	300	50%
VAV-BOX-3	1 号	百叶 500*500	600	450	75%
	2 号	百叶 500*500	600	289	48%
VAV-BOX-4	1 号	百叶 500*500	600	320	53%
	2 号	百叶 500*500	600	334	56%
VAV-BOX-5	1 号	百叶 500*500	600	474	79%
	2 号	百叶 500*500	600	203	34%

进一步巡查现场发现:

1. 楼层机房 AHU 滤网尘垢厚重、翅片垢渍明显, 风柜风阻大, 换热器效率降低; 另外, 风机皮带松软, 送风压力降低。

2. BOX 末端软管老化漏风、软塌、死弯现象明显, 末端送风阻力大; 独立空间的送风末端 BOX 至风口的软管多数在 3 ~ 4 m, 过长软管亦导致送风阻力增加。

3. 未连接风管的 BOX 末端直接裸露在天花上方, 且阀门开启, 部分送风无法通过送风口被送至室内空间。

4. 独立空间天花上方隔墙未设置回风口, 系统回风被阻断; AHU 机房总回风口部分区域被后期分隔在天花之下, VAV 系统天花回风的气流组织被破坏。

5. 施工不当造成 BOX 通信线路故障, BA 系统显示 BOX 全部掉线, 末端控制失效, 风量无法根据实际负荷进行灵活调整。

3 VAV 系统不良改造解决措施

3.1 加强物业的运行维护、规范空调系统保养

除主机系统维护保养外, 还需加强对楼层风柜系统及末端设施的保养: 每日检查保养电池阀、温控器、电机、电气控制等元件, 确保设备运行精准可靠; 每日检查风柜风机皮带磨损情况, 酌情调整或更换, 确保风机压力; 每月进行风柜滤网清洗, 当压差超过 1.5 ~ 2 倍时及时更换, 避免滤网压力过大; 每半年或酌情进行换热器及风柜内部清洁, 确保翅片铜管及风管内部清洁明亮, 确保换热效率, 减少风柜风阻^[2]。

3.2 对风系统进行改造施工

1. 送风改造施工: 拆除 BOX 末端超长软管、拆除坍塌管、破损管、死弯管后重新规范施工, 软管长度

控制在 2 m 以内, 避免松软死弯现象; 将未接送风口的 BOX 风阀关闭, 并用保温棉等材料进行包裹, 胶布缠实, 做到不漏风^[3]。

2. 回风改造施工: 依据风量需求增加天花回风口; 在所有被阻断回风的空间天花上方进行隔墙回风贯穿施工, 添加回风通道, 确保回风通畅; 将风柜总回风口全部改造至天花之上, 确保总回风面积满足设计值^[4]。

3.3 DDC 控制系统改造施工

整理或重新施工 BOX 通讯信号线, 恢复全部 BOX 至楼层控制器的通讯连接, 并对系统进行全面精准测试调试, 完成风量平衡调试, 恢复 BA 控制, 实现 VAV 系统的精准、灵活、实时控制。

3.4 智能控制升级方案

针对自控系统在运行中产生的通信故障, 不仅需要展开简单的线路整理, 还可借助 IoT 进行系统升级。首先, 可应用 RS485+TCP/IP 混合通讯架构, 选择传输距离为 1 200 m 以上的屏蔽双绞线座位主干线, 同时将中继器设置在末端节点, 从而避免信号衰弱^[5]。其次, 可设置边缘计算网关, 加强 BOX 数据本地预处理, 从而降低云端通讯负荷, 进一步提高控制相应速度。最后, 引入 AI 算法模块, 利用历史数据训练监理“风量—负荷”预测模型, 提前调节风机频率, 从而实现“预制冷”, 显著提高系统相应效率。

3.5 新材料应用

首先, 应用阻力系数更低的硅钛合金防火软管, 不仅能够使末端风量达到预期设计要求, 还可延长使用年限。其次, 应用表面附着力更低的纳米涂层翅片降低灰尘堆积速度, 使换热器清洗周期延长至一年, 大幅降低维护成本。再次, 针对超高层垂直风管系统,

应选择由碳纤维增强树脂基复合材料制成的风管,较传统镀锌钢板可降低约75%的风管重量,提升约2倍的抗压强度。最后,可将电动变径阀设置在主风管与支管连接部位,借助压力传感器动态调节管径,使各支路风量达到平衡状态^[6]。例如:当某末端BOX风阀关小时,可同步缩小对应支管管径,使其他支路风量保持稳定状态,从而解决VAV系统在运行中存在的“末端相互干扰”问题。

3.6 新设备应用

首先,淘汰传统的AC风机,引入效率更高的PMSM风机,通过这种方式降低约15%至20%耗电量,年节约用电可达数万度。其次,还可引入BLDC风机,不仅可解决传统AC风机低效率运行问题,还可实现0至100%的线形调速。此外,BLDC风机运行噪声量较低,这与办公区静音要求一致。最后,可将硅胶转轮全热交换器与新风系统相结合,从而提升热回收效率。在过渡季节,可回收排风中的冷量及热量用于制冷及预热,降低冷水机组及锅炉运行负荷。

3.7 数字孪生技术深度融合

首先,结合BIM模型及AHU冷量、BOX风量、风管静压等数据,可模拟不同工况下的系统运行状态,从而提前掌握故障隐患点位。例如:当某层楼末端负荷突然出现明显变化时,数字孪生模型可预测风管静压范围,同时自动调整风机频率,避免系统运行中出现风量失衡的现象。其次,借助AI算法展开滤网压差变化趋势、风机能耗曲线等数据分析,结合数据构建设备故障预测模型。例如:当模型换热器污垢沉积引起冷量衰减超出一定范围时,可自动出具清洁工单,从而实现主动预防,进而提高维护效率。

3.8 低碳化与可再生能源联动

首先,在R32、R290等制冷剂不断推广与普及背景下,VAV系统冷水机组GWP值可下降至数百,可进一步降低VAV系统在运行中所产生的碳排放。此外,新型制冷剂热力性能更为优越,可提高约10%至15%的机组COP值,显著提升节能效果。其次,将VAV系统与光伏发电系统、电能存储设备、直流配电系统相结合,可构成“低谷储冷、高峰释冷”的运行模式。例如:在夜间等用电低谷时段,借助光伏余电或电网低价电储冷,在白天等用电高峰时段放冷,可大幅度降低电费支出。

3.9 物联网设备应用

首先,可引入毫米波雷达传感器与温湿度传感器监测室内是否有人活动,从而实现送风策略动态调

整。例如:当检测到会议室无人活动时,系统能够控制风量降低至设计数值的50%,利用“待机模式”降低电能消耗;当检测到会议室有人活动时,系统可控制风量恢复至正常状态,从而大幅降低非使用时段系统运行能耗。其次,可借助OPC UA协议将VAV系统与电梯系统、照明系统、安防系统等互联,实现数据互通。例如:当电梯内人流量增加时,VAV系统可增加该区域送风量,避免人员集中影响空气质量;在夜间时段,系统可自动切换为“节能模式”,降低非办公区域内送风量,从而实现运行能耗控制。

3.10 模块化与标准化设计

首先,可将VAV系统中的AHU、风管、末端BOX等部件由工厂进行预制生产,施工人员仅需展开现场拼装,从而降低施工误差。例如:可由工厂负责末端BOX与软管连接段的密封处理,现场安装过程中仅展开对接即可,从而大幅降低漏风量,提高系统运行效率。其次,在VAV系统不断推广下,应构建更为完善的标准规范,如《变风量空调系统工程技术规程》等,从而统一规定系统智能控制参数、节能指标等,实现VAV空调系统设计及使用目标,推动行业规范化发展。

4 结束语

中央空调VAV系统的二次改造是一项专业性强、系统性高的工程,从深化设计到运维管理的全流程均需严格把控,不良施工改造与运维将直接导致系统能效降低,影响用户的使用体验。为此,应通过规范施工标准、升级智能管控、引入创新技术及强化跨系统协同,可有效提升VAV系统的运行效能与可靠性,确保系统运行安全,为现代建筑的绿色节能与舒适运行提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 钱玉龙.VAV变风量空调系统施工技术[J].广东土木与建筑,2024,31(06):106-107,111.
- [2] 王丙亮,李世鲲,陈铭,等.深圳中信金融中心VAV空调系统的应用[J].安装,2024(05):19-21.
- [3] 施慧杰.变风量空调系统设计与实施要点探讨[J].居业,2023(07):112-114.
- [4] 姜秀鹏.上海某综合体项目冷热源及VAV系统设计应用[J].建筑节能(中英文),2023,51(05):73-78,102.
- [5] 孙玉鹏,宋征,陈伟青,等.建筑变风量空调系统调试分析[J].城市建筑空间,2022,29(S2):729-731.
- [6] 罗金卓,徐鸿,曹涛.武汉方正金融中心空调系统设计与分析[J].暖通空调,2022,52(10):55-61.