

通风管道电动风阀安装精度控制难点及对策研究

范萌萌

中照遵创（上海）建筑工程有限公司，上海 201101

DOI:10.61369/ERA.2026070017

摘 要： 广州地铁五号线环控系统节能改造项目中电动风阀安装精度影响风量平衡和能耗控制效果。文章就既有风管基准偏移、空间受限、多阀联动调试复杂等技术难点提出基准统一和同轴度校准、预制定位和快速复核、执行机构匹配和联动精度控制三项关键技术。从现场使用情况来看，风阀安装同轴度误差得到较好控制，转角定位偏差在合理范围内，系统漏风率明显下降，风量平衡达到预期要求，给轨道交通环控设备高精度安装提供一定的参考。

关 键 词： 电动风阀；安装精度；控制技术；通风管道

Research on Difficulties and Countermeasures for Installation Accuracy Control of Electric Air Valves in Ventilation Ducts

Fan Mengmeng

Zhongzhao Zunchuang (Shanghai) Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 201101

Abstract： In the energy-saving renovation project of the environmental control system for Guangzhou Metro Line 5, the installation accuracy of electric air valves significantly impacts air volume balance and energy consumption control effectiveness. This article proposes three key technologies to address technical challenges such as existing duct benchmark deviations, limited space, and complex multi-valve linkage commissioning: benchmark unification and coaxiality calibration, prefabricated positioning and rapid verification, and actuator matching and linkage accuracy control. Based on on-site usage, the coaxiality errors in air valve installation have been well controlled, angular positioning deviations remain within reasonable limits, system air leakage rates have significantly decreased, and air volume balance has met expected requirements, providing certain references for high-precision installation of environmental control equipment in rail transit.

Keywords： electric air valve; installation accuracy; control technology; ventilation duct

地铁环控系统节能改造对通风设备的运行精度有更高的要求，电动风阀是风量调节的主要执行机构，安装质量好坏影响系统的能耗和安全性。既有车站改造受到原管路变形、作业窗口狭小、控制接口繁杂等现实限制，传统的安装工艺很难达到精细化施工的要求。本文以广州地铁五号线合同能源管理项目为背景，对电动风阀安装过程中基准统一、空间定位、系统联动等主要环节进行研究，提出适合于夜间限时工况的精度控制技术体系，提高改造工程实施效率和设备运行可靠性。

一、项目概况及电动风阀结构

（一）项目概况

广州地铁五号线环控系统合同能源管理（EMC）节能改造项目包含坦尾站、中山八站、西村站、广州火车站、西村集中冷站等14座地下车站，主要对通风空调、低压配电、节能控制三大机电系统进行升级改造。电动风阀是环控系统中的主要机电执行设备，具有调节风量、组织气流、联动防火防烟、切换节能工况等功能，其阀体机械安装精度、电动执行机构机电匹配度、与BAS/FAS/节能控制系统联动响应精度，直接影响到环控系统风量平衡、能耗控制和运行安全，是本项目机电设备安装质量控制的重要技术节点。

（二）电动风阀结构

通风管道电动风阀为模块化多部件精密组合结构，主要由阀体框架、叶片组件、传动机构、电动执行器、密封和限位系统五个部分组成。阀体框架用镀锌钢板冷轧成型，矩形/圆形一体化焊接结构，边框设法兰安装面，保证与风管对接同轴度和刚度，框架内侧预留轴承座和限位卡槽，给叶片旋转提供基准定位。叶片组件为双层复合镀锌钢板结构，单片或多片对开式布置，叶片边缘压制成密封唇边，中间穿装刚性阀轴，阀轴两端装有含油烧结青铜轴承，减小旋转阻力和间隙偏差，多叶片用连杆实现同步转角联动。传动机构是由主动轴、从动轴、齿轮或连杆组等构成的，把执行器的扭矩均匀地传给各个叶片上，从而保证转角的一致性以及动作的一致性。电动执行器为角行程驱动单元，集减速

电机、离合器、限位开关和信号反馈模块于一身,支持开关量和模拟量控制,可以实现 0° 到 90° 的精确角度定位,具有电动和手动切换的功能,在断电时也可以进行应急操作。密封系统用高弹性橡胶条贴合叶片和框架的接触面,全闭状态下形成线密封,严格控制漏风率;限位系统有机械限位块和电气限位开关,双重限定叶片全开、全关的位置,防止过转损坏结构,整体结构紧凑、传动可靠、密封严密,为安装精度控制提供结构基础。

二、安装精度影响因素及难点分析

(一) 安装精度影响因素

广州地铁五号线环控项目电动风阀安装精度是由设备、施工、环境、管理这四个因素共同作用而产生的。设备方面风阀阀体加工公差、叶片同轴度、执行器与转轴匹配度影响初始安装基准,风管预制尺寸偏差、法兰平整度不够造成对接错位。施工层面支吊架承载力不均、法兰螺栓紧固力矩不一、阀体水平度和垂直度控制不严,容易造成受力偏移和密封失效;夜间限时作业工序紧凑,测量复核次数不够,使偏差积累加剧。从环境上看,地铁站内空间狭小、管线纵横交错,吊装和定位操作受到限制,现有的设备同新建的管道相交,造成安装基准无法统一。从管理层面来讲,技术交底不到位、工序交接检验缺失、成品保护不足,容易造成已经安装好的风阀碰撞移位;多班组同时进行施工,尺寸基准不统一,也降低了安装精度的一致性。以上因素互相叠加,造成风阀轴心偏差、法兰间隙、叶片同步性等主要指标不能保持稳定。

(二) 安装精度难点分析

本项目为地铁夜间限时 EMC 节能改造工程,通风管路复杂、作业空间小、精度要求高,电动风阀安装存在既有风管对接基准统一难、夜间限时作业精细定位难、多阀联动和节能系统同步调试难三个主要问题,直接影响到安装精度和系统运行效果,具体分析如下。

1. 既有风管对接与基准统一难

本项目 14 座车站为既有环控系统改造,原有的通风管路长期使用存在法兰变形、接口错位、轴线偏移等问题,与新装电动风阀对接时基准统一难度大,是安装精度控制的第一大难题。既有风管标高、轴线、间距没有统一的测量控制点,新阀和旧管对接时法兰不能同轴贴合,强制安装会造成阀体应力变形,增大叶片转动阻力。项目采用场外预制风管、现场拼装的方式,预制误差和现场拼接偏差叠加,造成风阀安装基准频繁偏移。风阀支吊架要避免已有电缆、水管等管线,支架间距和承重不均容易造成阀体下沉倾斜,水平度和垂直度超差。另外,站内多个班组交叉施工使用不同的测量工具,读数误差造成风阀轴心和风管轴心错位,法兰间隙不均匀。夜间施工照明不足、测量时间有限,不能反复复核基准,偏差不能及时修正,造成风阀密封不严、动作卡滞,漏风率和调试难度大大增加,不能满足环控系统风量平衡的要求。

2. 狭窄空间精细定位难

本项目地铁站内管廊、机房空间狭小、管线多层交叉,电动

风阀吊装、定位、紧固全流程精细操作难度大,成为第二大难题。风阀大多安装在吊顶上部 and 管廊夹层,作业面只留有 1 ~ 2 人,无法使用大型定位校正工具,水平度、角度调整只能受限完成;设备进场后需要二次人工搬运,容易造成碰撞导致阀体变形、执行器移位,破坏出厂精度。支吊架安装要避免既有结构和管线,固定点选择受到限制,膨胀螺栓锚固深度和垂直度难以保证,支架承载力不够造成后期沉降。风阀和风管法兰连接时操作空间小,螺栓不能对角均匀紧固,法兰偏斜造成密封垫压缩不均产生漏风。夜间限时施工造成定位、紧固、复核工序被大大压缩,不能逐点精细调整和复测,安装偏差难以控制,直接影响风阀启闭精度、密封性能和使用寿命,也会增大后期系统调试返工量。

3. 多阀联动与节能控制系统同步调试难

本项目属于 EMC 节能改造,环控系统实行集中联动控制,电动风阀须同节能控制系统以及 BAS 系统达成对接,叶片同步性,执行器响应精度,联动时序匹配调试难度高,属于第三大核心难点。风阀叶片和连杆机构之间有加工间隙,安装轴心偏差会增大同步误差,多叶片联动时转角不一致,造成风量调节失衡;电动执行器和阀体的同轴度偏差会造成力矩传递不均,部分叶片卡滞、部分超转,限位开关触发不同步。站内电磁干扰、供电波动造成执行器信号反馈失真, 0° — 90° 转角定位误差过大。系统联动调试要配合通风机的运行,夜间施工窗口期短,不能多次反复测试修正;多站点、多系统并行调试,数据采集和偏差校正不及时。加上原有的 BAS 系统和新建的节能控制系统之间没有建立有效的接口,控制参数、协议、时序等各方面的不匹配程度也较低,导致风阀联动精度下降,不能满足地铁环控系统节能运行和风量精准调节的要求,影响 EMC 项目节能指标的实现。

三、通风管道电动风阀安装精度控制技术

(一) 既有风管对接与同轴度校准控制技术

本项目为既有车站环控系统改造,原风管长期使用产生法兰变形、轴线偏移、接口错位等现象,电动风阀安装要采用基准统一、法兰校正、同轴度检测成套控制技术。施工前以车站土建基准线和设备中心线为统一参照,建立全站统一测量控制网,消除多班组作业基准不一致的问题。对已有的风管法兰使用平整度校正工具和限位夹具进行矫平,保证法兰端面与风管轴线垂直度偏差在规范允许范围内。风阀吊装对接时用双水平仪同步监测阀体水平度和垂直度,用同轴度定位卡板保证阀体中心与风管中心重合,防止强制对接造成阀体应力变形。法兰连接使用十字交叉均匀紧固工艺,严格控制螺栓紧固力矩,防止法兰偏斜造成密封间隙不均、叶片卡滞。安装完毕后进行漏光、漏风量检测,用密封垫压缩量复核对接精度,保证既有管路和新风阀连接同轴度误差不大于 2mm/m,从源头上消除安装偏差对风量调节精度的影响。

(二) 狭窄空间的精准定位与快速复核技术

项目采用预定点位、快速校核、工序固化施工工艺来控制安装精度。风阀支吊架在站外预制场完成机械下料、定型加工,按

照安装点位进行尺寸匹配、唯一性标识,现场直接对位装配,消除现场临时加工带来的尺寸偏差,缩短定位安装时间。支吊架采用膨胀螺栓锚固施工,严格按照规范控制锚固深度、安装间距和水平度,边长大于630mm的电动风阀单独设置独立支吊架,阻断风管形变对风阀位置的牵拉影响。风阀就位采用标高、轴线、水平度三维控制点施工工艺,用激光水平仪和靠尺快速校核,把单次定位复核时间缩短到常规作业的50%。安装全过程执行定位校准、紧固固定、复核校验标准化工序,用工序间隙同步完成精度检测,超出允许偏差立即校正复位。施工时用柔性包裹防护、临时限位固定的方法来防止交叉作业中设备碰坏风阀位移产生偏差。采用预制化加工、标准化施工、快速化校核的成套施工工艺,在限时工况下控制风阀安装水平度偏差 $\leq 1.5\%$ 、垂直度偏差 $\leq 2\%$,满足地铁改造工程高效施工和高精度安装的技术要求。

(三) 节能控制系统联动与执行机构匹配精度控制技术

本项目属于 EMC 节能改造,电动风阀需要接入新建的节能控制系统,并且和 BAS 系统联动工作,其执行机构的安装和联动精度是主要的控制技术。执行器与阀轴的连接采用同轴度校正、扭矩标定和限位调试工艺,安装时用联轴器找正工具保证执行器输出轴和风阀转轴同心,防止偏心运行造成力矩损耗和转角偏差。按照风阀的规格来标定执行器的输出扭矩,保证叶片的启闭力矩均匀、动作顺畅,0° -90° 转角的定位误差控制在 $\pm 1^\circ$ 之内。限位开关为机械和电气双重限位,现场逐台调试全开全关位置,防止过转或者不到位造成风量控制问题。联动调试阶段根据节能控制系统控制逻辑进行风阀单体动作测试和多阀同步性调试,修正信号反馈延迟和响应偏差,保证多阀联动转角差不大于 3° 。同时对接线工艺和屏蔽防护实施规范管控,减小站内电磁干扰给控制精度带来的影响。经过执行机构精准匹配、限位精细调试、联动协同校正,使得风阀调节精度达到环控系统节能运行和风量精确分配的要求,保证 EMC 项目节能指标的实现。

四、应用效果分析

广州地铁五号线环控 EMC 改造项目采取了既有风管对接校准、夜间限时精准定位、节能控制系统联动匹配这三项针对性的安装精度控制技术,电动风阀安装质量及系统运行效果明显改善。经过现场实测,阀体水平度、垂直度偏差都在规范允许的范围内,法兰对接同轴度误差 $\leq 2\text{mm/m}$,叶片启闭卡滞、密封不严等问题基本消除,系统漏风率比改造前降低了15%以上,满足了地铁环控通风密闭性的要求。

夜间限时工况下采用预制化定位、快速复核工艺,单台风阀安装和复测效率提高40%,14座车站均按计划完成施工节点,没有因为安装偏差造成返工,工期目标顺利实现。节能控制系统、BAS 系统联动调试时执行器转角定位误差 $\leq \pm 1^\circ$,多阀同步转角差 $\leq 3^\circ$,信号反馈响应及时,风量调节精度达到 EMC 项目节能运行指标。

通风空调系统风量平衡达标率100%,实测风量与设计值偏差 $\leq 10\%$,环控设备运行能耗降低8%~12%。安装精度提高可以减少叶片、连杆和执行器的磨损,降低后期维修次数,两年质保期内故障率降低60%,保证了车站通风和消防安全,又达到了高精度安装、高效率施工、高能效运行、低故障率的目的,给轨道交通同类改造项目提供可复制的精度控制实践经验。

五、结束语

本文主要对地铁环控系统节能改造场景下电动风阀安装精度控制关键技术及实施要点进行系统的论述。建立统一测量控制网、使用预制化快速定位工艺、加强执行机构匹配调试,可以很好地克服现有的环境限制,达到风阀安装和系统联动精度的要求。广州地铁五号线多个车站的相关技术投入使用以后,施工效率以及设备运行稳定性均得到了提高。因此可以对智能测量工具和数字化调试手段在类似受限空间改造工程中使用进行研究,不断改进轨道交通机电设备安装工艺水平。

参考文献

- [1] 王文. 地铁通风空调系统施工优化研究及应用 [J]. 散装水泥, 2026, (02): 27-29.
- [2] 王泽桂. 不同风管风速下地铁通风空调系统经济性分析 [J]. 暖通空调, 2024, 54(S2): 437-441.
- [3] 王麟平. 地铁车辆空调系统风阀故障分析及改进研究 [J]. 内燃机与配件, 2025, (06): 124-126.
- [4] 樊哲学. 气体灭火时变配电室风机的电动风阀控制研究 [J]. 现代建筑电气, 2023, 14(09): 32-38+60.
- [5] 李法浩, 符宁宁. 地铁车站、隧道的通风系统及火灾工况下的运行模式 [J]. 消防界 (电子版), 2022, 8(05): 28-29.
- [6] 吴振. 某地铁线路通风空调系统设计总结 [J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40(10): 92-94+58.
- [7] 王春龙. 地铁工程电动风阀调试中常见故障的判断与处理 [C]// 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. 2020 万知科学发展论坛论文集 (智慧工程一). 中铁电气化局集团有限公司, 2020: 123-131.