

城市轨道交通车站通风空调系统运行状态监测与故障诊断研究

卞康威 董亚博 班燎原
郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：轨道交通车站通风空调系统是保障站内环境稳定的核心机电设施，长期连续运行易出现性能衰减并滋生各类隐性故障，传统运维存在排查滞后、覆盖不全的明显短板。本文结合地下车站密闭空间特性，梳理系统运行监测方式与故障研判方法，归纳故障诱因与现场处理方案，可完善现有运维管控体系，提升设备运行稳定性与运维精细度。

关键词：轨道交通车站；通风空调系统；故障诊断；状态监测；地铁运维

引言：城市化进程中轨道交通出行规模持续扩大，车站内部环境稳定性与舒适性愈发关键。通风空调设备长期不间断运行，易受空间环境与持续负荷影响产生异常，传统巡检存在发现滞后、覆盖有限、判定依赖经验等问题。本文重点研究状态监测方法、常见故障处置、故障诊断流程与运维技术要点。

1 城市轨道交通车站通风空调系统研究概述

轨道交通地下车站为相对密闭的地下构筑物，自然通风换气条件有限，站内温湿度、空气质量的波动，会直接影响乘客出行体验与站内机电设备的运行状态。通风空调系统是车站机电配套体系的核心设施，承担站内空气调节、气流组织的核心职能，持续维持站内空间环境稳定。系统由通风机组、空调换热装置、配套管路及控制模块等单元组成，各部件协同配合，实现车站日常空气循环与温湿度调控。受地下空间高湿、粉尘积聚等环境条件影响，叠加设备常年连续运转的负荷，零部件易出现老化、性能衰减，滋生隐性故障，逐步削弱设备运行效能，最终导致站内环境调控效果下降。传统人工巡检模式难以及时捕捉设备细微的运行偏差，故障排查覆盖范围有限，问题处置存在滞后性，难以适配设备长期稳定运行的管控要求^[1]。开展通风空调系统运行状态监测与故障诊断研究，是破解传统运维短板、提升设备运行可靠性的重要路径，对推动轨道交通机电运维精细化、规范化发展具有实际意义。

2 城市轨道交通车站通风空调系统运行状态监测

2.1 通风空调系统运行状态监测内容与要求

轨道交通车站通风空调设备长期连续运行，工况易受地下封闭空间环境影响。日常状态监测需结合设备运行规律，明确监测项目与执行标准，对设备主体及核心

运转环节实现全方位跟踪。监测工作需贴合现场运行条件与设备连续作业特性，匹配一线运维实际需求，覆盖设备从投运到退役的完整运转过程，关注运行状态的动态变化，避免片面监测造成的状态研判偏差。监测对象以通风机组、空调换热装置及配套控制构件为主，全程跟踪设备运转工况的动态变化，及时捕捉部件性能衰减引发的细微运行偏移。监测工作不局限于阶段性抽查，而是融入设备运转的各个阶段，动态掌握不同工况下的设备运行状态。规范化开展监测工作，能够精准把握设备真实运行态势，有效区分正常工况与异常征兆，为后续状态研判、隐患排查及运维优化提供数据支撑，进一步细化站内机电设备的管控颗粒度。

2.2 通风空调系统环境参数监测

地下轨道交通车站相对封闭的空间格局，使得内部环境极易受设备运行与空间密闭特性影响，对各类环境参数开展持续性监测，可直观反映通风空调设备的实际工作效果。环境参数监测围绕站内站厅、站台、设备房等核心区域展开，按小时级频率采集温湿度、风速、风量、气压、空气洁净度五类核心指标。站内温度与湿度的动态变化，会直接改变室内换热条件与空气流通状态，造成设备运行负荷浮动，是日常监测的核心关注点。空气流动的平稳程度直接决定站内空气置换效果，持续把控各区域风速与风量状态，可规避局部空气滞留、环境分布不均等问题。站内气压状态监测用于维持地下空间气流秩序，减少压力失衡引发的环境调控波动。空气洁净度数据用于评估过滤装置运行状态，指导滤芯清洗更换周期^[2]。环境参数监测数据同步接入车站监控平台，与设备运行参数联动分析，辅助运维人员动态调整设备运行模式，匹配不同时段的客流与环境需求。

2.3 通风空调系统设备运行状态监测

轨道交通车站通风空调整体工况的平稳性，很大程度上取决于各类机电装置的工作状态，针对设备本体开展常态化状态跟踪，是保障整套系统可靠工作的关键手段。这类监测深入设备运行，从硬件工作状态层面梳理潜在问题，保障各类装置协同有序运转。通风机组承担站内空气输送与循环任务，监测项包含运行电流、轴承温度、机体振动、出风口风压，跟踪机组实际工作表现，规避气流输送不稳等问题。空调换热装置直接参与室内温度调节，监测项包含压缩机运行参数、换热器进出口温差、冷媒压力，机件工作状态的细微变化都会影响热量交换效果，纳入常态化监测范围。水系统构件为空调换热提供运行支撑，监测项包含水泵运行状态、管路压力、流量、阀门开度，保障换热流程连贯有序，减少设备运行波动带来的调控失效问题。各类控制装置负责协调系统各部件的运行节奏，监测项包含传感器反馈值、控制器输出信号、通讯链路状态，保障设备联动匹配度^[3]。细致开展各类设备的专项状态把控，可全面掌握站内机电装置的工况，及时发现部件性能变化和偏差，为日常运维提供参考依据。

2.4 通风空调系统运行状态分析与评价

各类环境指标与设备工况信息采集完成后，需对设备整体运行表现进行梳理研判，精准界定系统实际运行水准。分析立足于设备实时运转表现，结合地下车站环境变化规律，梳理工况波动特征，甄别稳定运行状态与潜在异常趋势。工作中重点关注设备运行动态变化，梳理工况浮动与环境调控效果的关联关系，明确各类运行波动对系统整体工作效果的影响。运行评价依托多维度角度开展，综合考量设备运转稳定程度、环境调控成效及各部件协同水平，完成全方位运行判定。现场采用基准比对法，将实时运行数据与设备额定参数、历史正

常工况数据比对，偏差超出预设阈值则标记为异常待核查。科学的研判方式可精准掌握设备整体运行状态，找出薄弱环节与不稳定问题，为设备运维调整和运行优化提供改良思路，持续优化机电设备管控模式，适配地下车站长期运行需求。

3 城市轨道交通车站通风空调系统故障诊断

3.1 通风空调系统常见故障类型与成因

轨道交通车站通风空调设备常年处于不间断运行状态，机件损耗与运行负担持续积累，易诱发多类设备异常，干扰站内环境调控的稳定性。按设备类别划分，系统高频故障集中在通风机组、空调换热装置、空调水系统、控制系统四大类，各类故障均有明确的表现特征、诱发因素与对应的现场处置方法。通风机组故障是现场发生率最高的机械类故障，典型表现为运行异响、出风口风量不足，多由轴承长期磨损、叶轮积尘堵塞、传动皮带松动老化引发，现场可通过检查更换磨损轴承、清理叶轮与进风面积尘、调整或更换传动皮带，快速恢复设备送风功能。空调换热装置故障直接影响站内温湿度调控效果，表现为制冷或制热效果差、出风温度偏离设定值，诱因包括换热器翅片积尘、冷媒管路泄漏、压缩机性能衰减，处置遵循先清理表面积尘、再排查管路补冷媒、后检测压缩机参数的顺序逐步推进。空调水系统故障属于介质输送类问题，常见水流不畅、管路接口漏水、水压异常波动，由管路内壁结垢堵塞、阀门阀芯损坏、连接密封件老化导致，现场以冲洗管路、更换损坏阀件与老化密封件为核心处置手段。控制系统故障表现为设备启停异常、多设备联动失效、工况调节滞后，多源于传感器采集偏差、通讯线路中断、控制器程序出错，处置优先核查传感器校准状态与通讯链路，再核验控制器运行程序^[4]。为便于现场运维人员快速查阅对照执行，将上述故障核心信息整理见表1。

表1 通风空调系统常见故障及现场处置方案表

设备类别	故障现象	故障原因	现场处置措施
通风机组	运行异响、风量不足	轴承磨损、叶轮积尘、皮带松动老化	1.检查更换磨损轴承；2.清理叶轮积尘；3.调整或更换传动皮带
空调换热装置	制冷/制热效果差、出风温度异常	换热器积尘、冷媒泄漏、压缩机故障	1.清洗换热器翅片；2.查漏并补充冷媒；3.检测压缩机运行参数
空调水系统	水流不畅、管路漏水、水压异常	管路结垢、阀门损坏、密封件老化	1.冲洗管路结垢；2.更换损坏阀门与密封件
控制系统	启停异常、联动失效、调节滞后	传感器故障、通讯中断、程序出错	1.校准或更换传感器；2.修复通讯线路；3.核验控制器程序

3.2 通风空调系统故障诊断思路与方法

通风空调设备故障排查遵循设备运行规律，建立适配现场工况的诊断模式，实现异常精准识别与妥善处

置。设备出现故障前通常伴随相应的运行异动，通过持续观察设备实际运转状态以及站内环境调控的实际效果，可提前捕捉各类异常苗头，明确问题出现的大致区

域。运维人员比对设备常规运行状态与实时运转表现，区分正常工况浮动和真实设备故障，避免过度检修或遗漏隐患。问题溯源过程结合设备构造特点与长期运行积累的损耗问题，层层梳理问题产生的内在诱因，分清独立部件故障与系统联动异常带来的不同运行问题。故障诊断按照状态筛查、溯源分析、精准定位的步骤逐步推进，不断缩小排查范围，提升问题识别的准确度。针对不同类型的设备问题，选用适配的诊断方式，机械运转类问题重点核查部件工作状态，环境调控失效问题着重检查换热与空气循环情况，控制系统异常则重点核验设备联动配合情况，匹配系统复杂运行特性，提升故障排查的整体质量。

3.3 通风空调系统故障诊断实现途径

设备故障研判工作依托切实可行的实施步骤开展，结合通风空调设备的构造属性与长期运行规律梳理落地模式，保障各类设备异常状况都能被精准捕捉与科学判定。实际开展诊断工作时，优先收集设备运行阶段产生的各类异动表现，结合环境调控效果的细微变化，总结不同设备异常对应的运行特点，搭建专属的识别依据。基于各类故障呈现出的运行特征，梳理适配站内设备工作状态的研判标准，细化各类异常问题的判定逻辑，让整套诊断工作拥有稳定的执行标准。诊断作业遵循由整体到局部的推进模式，先对整套系统的运行状态进行全面筛查，再针对性核查独立设备与核心零部件的工作情况，逐步深挖潜藏的运行隐患，精准锁定问题产生位置^[5]。针对筛查得到的各类异动迹象，结合设备构造原理与运行属性开展细致核验，区分常规工况浮动与实质性设备故障，规避诊断偏差问题，规范设备异常排查流程，提升故障识别的整体质量，为设备隐患治理与运行状态优化提供实操层面的参考。

3.4 通风空调系统故障预警与应对

机电设备运行过程中，运行参数的小幅偏移若得不到及时干预，会逐步演变为显性设备故障，构建预警响应体系可避免通风空调系统工况失稳，维持站内设备常态化平稳运行。设备预警工作依托长期状态监测积累的运行特征库，识别设备性能衰减与工况偏移的早期信号，及时捕捉潜在不良运行趋势。不同程度的设备异常对系统整体影响差异明显，按影响范围与干扰程度划分

为三级预警：一级预警对应参数小幅偏离额定区间，以远程调参、状态复核为处置方式；二级预警对应部件性能明显衰减，需现场巡检与预防性维护；三级预警对应故障风险持续加剧，须立即停机排查并启用备用运行方案。分级机制可协助运维人员厘清工作优先级，有序推进隐患排查与设备修整，提升日常运维的精准度与响应效率。系统触发预警后，匹配对应层级的处置流程，结合异常表现与问题类别开展针对性修整，及时消除部件运行缺陷，恢复设备正常工况^[6]。日常运维同步做好前置防护，依靠常态化设备养护与工况校正，降低运行异常发生概率，弥补传统运维响应滞后的不足，强化设备全周期管控效果，保障通风空调系统长期稳定运行。

结束语

针对轨道交通车站通风空调系统的运维痛点，结合系统运行特性与故障规律梳理可得：状态监测需覆盖环境参数、设备本体、控制系统三个核心维度，通风机组、换热装置、水系统、控制系统四类高频故障均有适配的现场处置方案，闭环式排查流程可有效提升故障处置的效率与精准度。未来，可结合物联网、大数据技术进一步优化在线监测模式，细化不同运行工况下的故障预警阈值，完善分级处置标准，推动轨道交通通风空调运维持续向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1]方如胜,韩星,廖毅,等.城市轨道交通车站热泵系统制冷剂充注量故障诊断方法研究[J].城市轨道交通研究,2026,29(2):160-166.
- [2]陈可为,杨闯,陈焕新,等.应用提升算法对地铁空调系统并发故障的高精度诊断研究[J].制冷技术,2025,45(6):8-17.
- [3]王旭.南宁轨道交通5号线通风空调专业智能运维系统应用研究[J].现代信息科技,2024,8(1):150-154.
- [4]王文强,赵跟党,刘正宁,等.基于边缘计算的车站空调控制系统应用研究[J].铁道科学与工程学报,2025,22(12):5579-5589.
- [5]杜乐.轨道交通车站机电设备故障诊断技术应用研究[J].人民公交,2026,(14):190-192.
- [6]刘亚招.通风空调电气控制系统故障诊断分析[J].今日制造与升级,2024,(6):119-121.