

环境与设备监控系统的传感器布点优化研究

程 浩 裘成烨

宁波市轨道交通集团有限公司建设分公司 浙江 宁波 315000

摘 要:城市轨道交通 BAS 系统是保障车站通风空调、给排水及机电设备安全运行的核心自控系统,传感器布点科学性直接决定环境调控精度与设备运维可靠性。针对当前地铁车站普遍存在的布设同质化、重点区域盲区、测点冗余与缺失并存、数据采集失真等问题,本文结合地下车站封闭性强、客流波动大、设备集中化的运行特征,提出分级分区、疏密适配、风险导向的布点优化原则,从公共区、设备房、隧道区间及附属机房等关键区域展开优化设计,完善温湿度、CO₂ 浓度、水位及设备状态等测点布局方案。研究可有效消除监测盲区、提升数据精度,为 BAS 系统智能化运维提供技术支撑。

关键词: 轨道交通; 环境与设备监控系统; 传感器; 布点优化; 智能监测

引言:随着城市轨道交通网络化运营加速,地下车站密闭空间环境复杂、机电设备密集、客流动态波动显著,对环境与设备监控的实时性、精准性要求持续提升。BAS 系统依靠传感器采集环境参数与设备运行数据,实现通风空调、排水、动力设备的联动调控,是地铁安全运营的重要保障。当前多数 BAS 系统仍沿用传统均匀布点模式,未结合车站功能分区、客流特征及设备风险等级差异化布设,导致高风险区域测点稀疏、普通区域测点冗余、监测数据滞后失真,引发环境舒适度不足、设备隐患漏判、能耗浪费等问题。

1 轨道交通 BAS 系统及传感器布点概述

1.1 轨道交通 BAS 系统功能与架构

城市轨道交通 BAS 系统属于地铁机电自控核心系统,主要用于对车站、区间、车辆段的环境参数与机电设备运行状态进行全天候监测与自动调控。系统整体分为感知层、传输层、平台层与应用层,感知层传感器是数据采集的基础核心,直接决定系统调控精度。BAS 核心功能涵盖环境参数监测、通风空调联动控制、给排水设备监控、动力设备状态采集、异常报警及能耗调控,能够根据客流变化、室外温度及设备工况自动调节运行负荷,在保障乘车舒适度、规避安全隐患、降低运营能耗方面发挥关键作用。相较于民用 BAS 系统,轨道交通 BAS 系统具有监测区域封闭、设备密集、工况波动大、安全等级高、联动逻辑复杂的显著特征,对传感器布点合理性要求更高。

1.2 轨道交通常用传感器类型及监测原理

地铁 BAS 系统部署的传感器主要包括温湿度、CO₂

浓度、水位、风压风速、设备状态及漏水监测等类型。温湿度传感器多采用 Pt100 测温元件,防护等级不低于 IP65,采集公共区、设备房及风管内温湿度,为空调通风调控提供支撑;CO₂ 浓度传感器用于监测密闭区域空气污浊度,判断通风换气需求;水位与漏水传感器布设于泵房、轨行区、设备夹层,防范积水淹泡风险;风速风压传感器安装于通风管道及风机出入口,监测通风系统运行状态;设备状态传感器依托开关量信号采集风机、水泵、空调机组的启停与故障状态。各类传感器各司其职,构成地铁环境与设备监控的感知网络^[1]。

1.3 传感器布点的基本规范与布设原则

依据《建筑设备监控系统工程技术规范》及地铁机电设计标准,传感器布点需遵循真实性、全面性、合理性、经济性四大原则。布设应避开阳光直射、风口直吹及设备热源干扰,确保数据真实反映区域环境状态;大空间公共区须均匀布设多点测点以规避盲区;设备密集、风险较高的机房及泵房应加密测点以提升隐患识别能力;同时兼顾经济性,避免过度冗余。常规要求中,大空间公共区按 20~30 平方米布设一个环境测点,室外传感器避开风口与直射区域,管道式传感器贴合介质流向布设,上述要求为布点优化提供了基础依据。

2 轨道交通传感器布点现存突出问题

2.1 布点模式同质化,缺乏分区差异化设计

当前多数地铁车站传感器布设采用统一均匀布点的同质化模式,未结合轨道交通不同区域的功能属性、客流特征、设备风险等级差异化设计。车站站厅、站台大客流区域与设备值班室、通道闲置区域测点密度一致,

大客流密闭区域 CO₂ 浓度、温湿度监测测点不足,无法精准捕捉客流高峰下的环境参数波动;而人员稀少的附属通道测点冗余,造成设备与运维资源浪费。同时隧道区间、轨行区等高风险区域测点稀疏,环境与设备状态监测覆盖不全,难以满足地铁动态运营的监测需求,整体布点适配性较差。

2.2 重点风险区域存在监测盲区

地铁车站设备房、水泵房、通风机房、电缆夹层等关键设备区域,是机电故障、积水隐患的高发区域,也是当前布点缺陷最突出的区域。多数车站仅在设备房中心布设单一温湿度测点,未针对发热设备、积水风险点位加密监测,设备局部高温、局部漏水隐患无法及时识别^[2]。隧道曲线段、区间联络通道、轨行低洼区域缺少水位与环境监测传感器,雨季积水、通风异常等隐患难以提前预警。此外,空调风管末端、风机出口等关键设备末端测点缺失,导致通风空调系统调控精度不足,出现局部区域冷热不均、换气不充分的问题。

2.3 传感器布设位置不规范,数据失真严重

施工与运维阶段的不规范布设,导致大量传感器采集数据失真,失去监测价值。部分室外温湿度传感器安装于阳光直射、风口直吹位置,数据受外界干扰波动剧烈;室内传感器紧贴墙面、设备热源安装,无法真实反映区域环境均值;管道式风速、温度传感器安装位置偏离直管段,受气流紊流影响,监测数据偏差较大。同时部分漏水监测绳、水位传感器布设贴合地面杂物、积水死角,易出现误报警、漏报警问题。失真数据会直接导致 BAS 系统联动调控失误,出现设备频繁启停、能耗升高、环境调控失效等问题,影响地铁运营稳定性。

2.4 测点冗余与运维管理滞后

部分新建地铁车站为追求监测全覆盖,盲目增加传感器数量,普通区域测点密集冗余,产生大量重复数据,增加系统数据处理压力与设备运维成本。冗余测点长期运行易出现故障、漂移,且缺乏常态化校准机制,导致系统误判频发。同时轨道交通传感器缺乏分级运维机制,所有测点采用统一检修标准,高风险关键测点校准频次不足、普通测点过度运维,造成运维资源分配不合理,长期运行后传感器精度衰减,进一步加剧监测失效问题。

3 轨道交通传感器布点优化总体思路与原则

3.1 总体优化思路

本次优化立足轨道交通场景特性,摒弃传统均匀布点模式,建立“风险分级、区域分类、疏密适配、精准

布设”的全新布点体系。以消除监测盲区、提升数据精度、降低运维成本、适配联动调控为核心目标,将地铁区域划分为公共客流区、设备高危区、隧道区间区、附属辅助区四大类别,根据各区域的环境波动特征、设备风险等级、安全重要度,差异化确定测点密度、布设位置与传感器类型。同时结合 BIM 空间建模与监测仿真,优化传感器安装点位,规避环境干扰,实现监测全覆盖、无盲区、高精度,兼顾安全性与经济性^[3]。

3.2 差异化布点优化原则

一是风险优先原则。针对水泵房、通风机房、电缆夹层、隧道低洼段等高风险区域,加密传感器测点,优先保障设备安全与隐患预警能力;普通通道、闲置附属区域适度精简测点,控制设备成本。二是精准适配原则。根据不同区域的监测需求匹配传感器类型,客流区重点布设温湿度、CO₂ 浓度传感器,设备区重点布设温度、漏水、设备状态传感器,通风系统匹配风速风压传感器。三是抗干扰布设原则。所有传感器避开热源、风口、直射光照、遮挡障碍物,选取能够真实反映区域平均状态的点位安装,保障数据稳定性。四是经济高效原则。在满足监测规范与安全需求的前提下,精简冗余测点,建立分级校准运维机制,实现监测效果与运维成本最优平衡。

4 轨道交通各区域传感器布点优化方案

4.1 车站公共客流区布点优化

车站站厅、站台为大客流、大空间密闭区域,环境参数随客流变化波动剧烈,是环境调控的核心区域。传统单一均匀布点无法适配客流动态变化,优化采用“网格化均匀布设+重点加密”模式。常规区域按照 25 平方米布设一组温湿度、CO₂ 传感器,保障基础环境监测全覆盖;客流出入口、扶梯口、候车密集区等人员集中点位,加密布设 CO₂ 浓度与温湿度传感器,精准捕捉客流高峰环境参数变化。传感器安装高度统一控制在 1.8 至 2.2 米,避开空调出风口与广告灯箱热源干扰,确保数据真实反映乘客活动区域环境状态。取消公共区冗余测点,合并间距过近的监测点位,减少数据冗余,为空调通风系统精准联动调控提供可靠数据支撑。

4.2 设备高危功能区布点优化

水泵房、通风机房、空调机房、电缆夹层、弱电设备房等高危设备区域,以设备安全监测、隐患预警为核心优化目标。水泵房重点优化水位传感器与漏水监测布点,在集水井最低位置布设高精度水位传感器,沿地面低洼区域铺设漏水检测绳,全覆盖积水风险区域;通

风、空调机房在风机进出口、风管直管段布设风速、风压、温度传感器,精准监测通风设备运行状态,杜绝紊流干扰导致的数据偏差。电缆夹层与电气设备房采用分层布点模式,在设备顶部、中部布设温湿度传感器,监测设备发热情况,同时增设烟雾辅助监测测点。精简设备房内无效冗余测点,保留核心监测点位,实现设备运行状态全方位精准监控,提前预警高温、积水、设备故障隐患^[4]。

4.3 隧道与区间轨行区布点优化

地铁隧道区间密闭性强、通风条件差、低洼积水风险高,且列车运行产生活塞风导致环境参数波动频繁,是传统布点的薄弱区域。优化方案摒弃区间稀疏布点模式,采用“分段布设、重点加密”方式。常规平直区间每 200 米布设一组温湿度、风速传感器,监测区间通风环境状态;曲线段、联络通道、区间低洼积水段、通风井周边重点加密测点,增设水位与风压传感器,实时监测区间积水、通风异常情况。所有区间传感器固定于隧道侧壁稳固位置,避开列车行驶气流直接冲击区域,提升设备稳定性与数据准确性,保障隧道区间设备运行与行车环境安全。

4.4 附属辅助区域布点优化

车站通道、值班室、设备走廊等附属辅助区域,人员流动少、环境波动小、安全风险低,优化以精简冗余、节约成本为核心。取消原有密集布设的环境传感器,按照 50 至 80 平方米布设一组温湿度传感器,满足基础环境监测需求即可。仅在消防通道、关键过渡区域保留少量状态监测测点,大幅精简冗余设备,降低后期检修校准工作量。同时统一规范剩余传感器安装位置,避开杂物遮挡、潮湿死角,解决原有测点数据无效、误报频发的问题,实现资源合理配置。

5 布点优化配套保障与运维体系完善

5.1 传感器安装施工标准化管控

为保障布点优化效果落地,需建立标准化施工管控体系,严格遵循轨道交通机电施工规范。所有传感器安装前结合车站 BIM 模型复核点位,规避遮挡、干扰因素;管道类传感器确保安装于直管段有效监测位置,保障介质监测精度;壁挂式传感器保持水平固定,安装高度统一标准化;室外传感器加装防护箱体,杜绝光照、风雨干扰。施工完成后逐点调试校准,测试数据采集精度、传输稳定性,对偏差超标、安装不规范的测点立即整改,确保所有优化布点点位合规、数据可靠。

5.2 建立分级运维校准机制

针对优化后的测点体系,建立差异化分级运维机制,提升运维效率。将隧道区间、设备机房等高风险测点列为一级测点,每季度开展精度校准、故障排查;公共区核心测点列为二级测点,每半年校准维护一次;附属区域普通测点列为三级测点,每年常规检修即可。建立传感器运维台账,记录校准数据、故障情况、更换记录,及时更换老化、漂移失效设备,从制度上保障监测系统长期稳定运行,解决传统运维一刀切、资源浪费、精度失控的问题。

5.3 联动调控逻辑优化升级

依托优化后的布点监测数据,同步升级 BAS 系统联动调控逻辑。基于多点位精准监测数据,实现分区精细化通风、空调调控,根据不同区域温湿度、CO₂ 浓度差异,差异化调节设备运行负荷,避免全站统一调控造成的能耗浪费与环境失衡。建立异常数据预警机制,当监测数据超出阈值时,自动触发设备调控与故障报警,实现从被动监控向主动预判、精准调控转变,全面提升地铁环境管控与设备安全运维智能化水平。

结束语

轨道交通环境与设备监控系统传感器布点质量,直接决定地铁环境舒适度、设备运行安全与能耗管控水平。本文针对当前地铁传感器布设同质化、监测盲区多、数据失真、测点冗余等突出问题,结合轨道交通各区域功能特征与风险差异,构建了分级分类、疏密适配的布点优化体系,完成公共区、设备区、隧道区间及附属区域的精准布点优化。通过标准化施工与分级运维机制配套完善,可有效消除监测盲区、提升数据采集精度、节约运维成本。优化方案贴合地铁实际工况,能够显著提升 BAS 系统联动调控能力,为城市轨道交通智能化、精细化、安全化运营提供有力保障。

参考文献

- [1] 飞. 轨道交通环境设备监控系统节能设计及实践[J]. 科技资讯,2023,21(24):161-164.
- [2] 王建堂. 城市轨道交通机电设备监控系统信息化研究[J]. 电子测试,2022(6):67-68,66.
- [3] 肖刘超. 当议轨道交通 BAS 关键技术[J]. 数字通信世界,2023(8):46-48.
- [4] 尹娟,薛艺. 城市轨道交通运营智能化监控系统设计与工程应用[J]. 人民公交,2026(8):145-147.