

铁路客车真空集便装置蓄电器温度测试装置应用研究

刘浩然 邓敏君 孙天昊

中国铁路济南局集团有限公司济南车辆段 山东 济南 250001

摘要: 铁路客车真空集便装置蓄电器长期车载动态运行时, 易出现温度异常升高问题, 加速设备老化并引发电气故障。传统测温方式精度低、数据不连续、人工依赖度高, 无法满足精准运维需求。本文结合车载测温原理与蓄电器产热特点, 优化传感布设、数据算法及抗干扰结构, 研发软硬件一体化测温装置。经标定与现场实测验证, 装置测温精准、运行稳定, 可实现全天候测温及超温预警, 为车载电气设备安全运维和故障预判提供技术支撑。

关键词: 铁路客车; 真空集便装置; 蓄电器; 温度测试装置; 工程应用

引言: 真空集便装置是铁路客车车载电气系统的关键配套设备, 蓄电器运行温度直接影响设备使用寿命与行车电气安全。列车运行中的颠簸振动、复杂电磁环境及频繁负载切换, 易导致蓄电器异常发热, 诱发设备故障。当前人工巡检与简易测温方式难以实现全时段动态温度监测。对此, 本文研发专用蓄电器温度测试装置, 经多场景工况试验验证性能, 旨在提升测温精准度与智能化水平, 完善客车电气设备运维体系。

1 铁路客车真空集便装置蓄电器理论基础

1.1 真空集便装置整体结构与工作原理

(1) 铁路客车真空集便装置整体组成结构: 该装置是铁路客车核心车载电气设备, 主要包含真空断路单元、电能逆变模块、蓄电器组、智能温控组件、传感检测单元及线路保护模块。设备采用集成化紧凑布局, 适配客车狭小安装空间, 符合车载设备轻量化、集约化的布置标准。(2) 装置运行工况与核心工作机制: 装置依托客车车载供电系统全程运行, 始终保持变频变压动态工作状态。通过逆变模块实现电能参数转换调节, 搭配真空断路单元完成电路安全通断, 蓄电器组作为辅助储能部件, 可稳定工况切换过程中的电压, 有效规避车载供电波动问题。(3) 装置在客车运行中的核心功能: 主要负责车载电气系统稳压供电、电能变换, 同时具备线路过载、短路保护功能, 为列车制动、车内照明、车载控制等关键系统提供稳定电能, 保障列车电气系统全程安全平稳运行。

1.2 蓄电器工作特性与发热机理分析

(1) 蓄电器基本结构与电气工作特性: 蓄电器由电芯模组、智能保护电路板、外接接线端子及防护外壳构成, 具备可逆充放电特性, 可实时储存电能, 能在装置电压波动、负载突变时快速补偿电能, 适配列车动态变化的车载供电工况。(2) 负载运行、充放电过程中的发

热原理: 装置带载运行及频繁充放电时, 蓄电器电芯固有内阻会产生损耗, 电能转换过程中持续生成热能; 列车高速运行、大功率负载接入产生的大电流工况, 会加快电芯内部离子迁移速度, 增大内阻产热效率, 使设备温度持续升高。(3) 温度异常对蓄电器及整机的危害机制: 蓄电器超温工作会加速电芯老化, 降低储电容量与充放电效率, 长期高温易引发电芯失效, 严重时会造成线路短路、模块烧毁等故障, 导致真空集便装置停机, 直接影响客车电气系统的整体运行稳定性^[1]。

2 铁路客车真空集便装置蓄电器温度测试装置整体设计与研发

2.1 测试装置总体设计方案与设计目标

(1) 装置设计需求分析: 结合铁路客车真空集便装置蓄电器实际测温需求, 本次装置设计围绕高精度检测、高稳定运行、强环境适配三大核心需求展开。高精度检测可精准捕捉蓄电器细微温升, 控制测温误差, 满足车载电气检测规范; 高稳定性适配列车长时间不间断运行场景, 规避数据漂移、信号断连问题, 保障全天候作业; 强适配性可适配车厢狭小安装空间, 适应列车颠簸、电压波动、温差剧烈等复杂车载工况。(2) 整体硬件与软件系统架构设计: 装置采用模块化分层设计, 硬件包含传感采集、数据传输、供电防护三大独立模块, 分工明确、协同工作, 便于现场安装调试与后期运维升级。软件采用上下位机双层架构, 下位机完成温度数据采集、滤波校准与信号传输, 上位机实现数据可视化、云端存储、超限预警及数据分析, 依托软硬件联动实现蓄电器温度智能化全流程监测^[2]。(3) 装置设计技术指标与性能目标: 装置以蓄电器温度精准、实时、稳定监测为核心目标, 测温精度与响应速度符合行业标准, 可捕捉设备动态温升。支持24小时不间断运行, 数据传输稳定性高, 具备超温预警、数据溯源、多工况适配等功

能,可满足车载设备检测、故障预判及运维分析的工程应用需求。

2.2 测试装置硬件系统设计

(1) 温度传感器选型与测温点位布局设计:结合蓄电器结构特征与核心产热区域分布规律,优选抗干扰、高精度、耐高低温的工业级温度传感器,适配车载复杂电磁与温变环境。采用分区布点测温方案,将核心测温点位布置于蓄电器电芯组、接线端子、外壳贴合面等主要发热区域,同时在集便装置关键散热位置增设辅助测温点,全方位覆盖设备产热区域,精准捕捉局部过热隐患与整体温升规律。(2) 数据采集、传输模块硬件电路设计:数据采集模块搭载高速主控芯片,搭建多路同步采集电路,可同步收录多位点温度信号,实现高频次、高精度数据采样。数据传输模块采用稳定的有线传输架构,优化电路布线路径,降低信号传输衰减与外界干扰,保障下位机至上位机数据传输的实时性、准确性,杜绝数据延迟、丢失、失真等故障问题。(3) 供电模块、防护模块硬件配置设计:供电模块适配客车车载供电体系,设计专用稳压、降压电路,可自适应车载电压波动工况,为装置各硬件单元提供稳定额定工作电源。防护模块集成防尘、防震、防过压过流多重防护结构,设备外壳采用全密封防护设计,电路内置熔断、稳压保护元器件,有效抵御车载振动、粉尘侵蚀、电压冲击,大幅提升装置运行安全性与服役寿命^[3]。

2.3 测试装置软件系统设计

(1) 温度数据采集与预处理程序设计:下位机程序搭载优化型高精度采集算法,控制传感器定时高频采集温度数据。配套开发数据预处理程序,可自动识别并剔除环境干扰引发的异常数据、波动数据,完成数据滤波、校准、降噪处理,有效提升原始数据质量,为后续数据分析、状态判定提供精准的数据基础。(2) 数据存储、实时显示与超限预警程序开发:软件系统具备自动化数据存储功能,可分类归档各类测温数据,支持历史数据随时溯源、查询、导出。操作界面可实时同步展示各测温点位的温度数值与动态温升曲线,直观呈现设备实时运行状态。同时依据铁路设备安全标准预设温度阈值,编写智能超限预警程序,温度超标时自动触发声光预警,便于运维人员及时排查过热故障^[4]。(3) 上位机数据交互与数据分析模块设计:上位机搭建可视化专属数据交互界面,实现软硬件数据实时互通、控制指令双向传输。内置数据分析模块可自动统计温升速率、稳态温度、点位温差等核心运行参数,自动生成设备运行数据报表,辅助分析蓄电器产热规律,为设备故障诊断、

性能优化、精准检修提供详实的数据支撑。

2.4 装置抗干扰与适配优化设计

(1) 客车复杂电磁环境抗干扰设计:列车车载电气设备密集,电磁辐射叠加干扰严重,装置采用软硬件双重优化方案提升抗干扰能力。硬件层面优化电路布线布局,增设电磁屏蔽防护结构,削弱电磁信号耦合干扰;软件层面升级智能滤波算法,精准过滤电磁干扰诱发的异常数据,保障复杂电磁环境下测温数据的稳定性与真实性。(2) 高低温恶劣工况适配优化方案:针对列车户外运行高低温交替、温差跨度大的恶劣工况,硬件全部选用宽温域工业级元器件,拓宽装置正常工作温度区间。软件增设动态温度补偿算法,精准修正极端高低温环境下的测温误差。同时优化设备散热与保温结构,规避高温积热、低温器件失效问题,全面提升装置全工况、全环境适配能力。

3 铁路客车真空集便装置蓄电器温度测试装置试验验证与工程应用分析

3.1 测试装置实验室性能标定试验

(1) 试验环境搭建与试验方案设计:为全面验证测试装置核心性能指标,搭建标准化实验室标定测试平台,配套恒温试验设备、标准测温仪器、稳压供电设备及模拟负载装置,精准模拟蓄电器各类温升工况。依据铁路车载设备检测标准制定规范化试验方案,明确试验温度区间、采样频率、测试时长及环境控制参数,统一试验变量与测试条件,为装置性能标定提供标准化试验基础。(2) 测温精度、稳定性、响应速度标定测试:依托实验室模拟测试平台,开展多维度性能对比试验,将本文研发装置与高精度标准测温设备同步布点、同步检测。通过梯度升温、恒温静置、快速变温等模拟工况,系统测试装置的测温精准度、长期运行稳定性、温度变化响应灵敏度,全面核验装置各项核心性能指标是否满足设计要求与行业标准。(3) 试验数据整理与性能误差分析:试验完成后分类汇总各组测试数据,统计不同温度区间内的测温误差、数据波动幅度与信号响应延迟参数。针对测试过程中出现的数据偏差问题,深度剖析误差成因,主要包含传感器环境适配偏差、数据采集算法滤波精度不足、电路微弱信号干扰等,为装置后续性能迭代优化提供数据支撑。

3.2 铁路客车现场装机应用试验

(1) 现场安装工艺与测试流程规划:结合客车真空集便装置的结构布局与车载安装要求,制定标准化现场安装工艺规范,明确传感器布点位置、线路布线标准、设备固定方式及绝缘防护要求,有效规避车载振动、

电磁干扰带来的安装隐患。同时制定全流程现场测试规范,涵盖设备通电自检、参数校准、工况测试、数据记录、设备拆除等关键环节,保障现场试验安全、规范、有序开展。(2)不同运行工况下蓄电器温度实测试验:依托真实客车运行场景,开展多工况现场实测,分别采集车辆怠速静置、低速行驶、高速巡航、频繁启停等运行工况,以及空载、轻载、满载等负载条件下的蓄电器温度数据,总结不同工况下设备的温升变化规律,验证装置在复杂车载工况下的适配性与检测可靠性。(3)实测数据采集与运行状态分析:通过测试装置实时收录现场多点位温度数据、温升速率、稳态温度等核心参数,同步记录列车运行状态信息。对比分析不同工况下的温度差异,探究负载强度、运行时长对蓄电器产热的影响规律,精准判定真空集便装置与蓄电器的实际运行状态,验证装置现场测温的有效性与稳定性^[5]。

3.3 应用效果对比与故障预警验证

(1)与传统测温方式的性能对比分析:将本文研发装置与传统人工手持测温、简易定点测温方式进行多维度性能对比,从测温精度、实时性、数据连续性、自动化程度、运维效率等方面开展对比分析。传统测温方式以人工间断检测为主,存在数据滞后、误差偏大、无法实时监测动态温升等缺陷,而本装置可实现24小时全自动连续监测,数据精度更高、实时性更强,综合检测优势极为显著。(2)蓄电器过热故障模拟与预警功能验证:通过实验室模拟与现场工况调整相结合的方式,模拟蓄电器过载运行、散热受阻等典型过热故障场景,测试装置的温度捕捉能力与超限预警性能。试验结果证明,该装置可快速识别温度异常波动与超温状态,及时触发预警提示,能够有效预判蓄电器过热故障,满足车载设备安全运维与隐患前置排查的需求。(3)装置运行可靠性与实用性评估:依托实验室标定数据与长期现场装机试验,从运行稳定性、环境适配性、操作便捷性及故障识别精度等方面,对装置综合性能进行评估。该装置抗干扰能力强、运行稳定、操作简便,可适配客车复杂车载工况,完全满足蓄电器常态化、精准化测温需

求,具备良好的工程实用性与推广价值。

3.4 装置应用现存问题与优化方案

(1)现场应用过程中发现的问题总结:经过多场景现场试验应用,发现装置存在部分优化空间。列车高速行驶产生的强电磁干扰,会导致少量测温数据出现轻微波动;低温高寒工况下,传感器温度响应速率有所下降;同时设备外接布线结构繁琐,长期处于车载振动环境,线路防护存在一定安全隐患。(2)针对性的软硬件优化与改进方案:针对上述现存问题制定精准优化方案,硬件层面强化线路电磁屏蔽防护,优化布线布局,加固接线端口与线路固定结构,更换低温响应性能更优的传感元件;软件层面升级自适应滤波算法,提升电磁干扰环境下的数据纠错能力,新增低温测温动态补偿程序,进一步提升装置全工况、全环境下的检测精度与运行稳定性。

结束语

本文完成了铁路客车真空集便装置蓄电器测温装置的结构设计、系统优化及工程试验研究,弥补了传统测温技术的短板。该装置可适配车载复杂工况,精准采集温度数据、实现故障超前预警,实用性与可靠性良好。文章总结了设备现场应用的现存不足并提出改进方案。后续将持续优化软硬件性能,提升极端环境适配能力,完善车载电气设备智能化运维体系,保障铁路行车电气安全。

参考文献

- [1]王浩.铁路客车真空机变储能装置温度特性检测技术研究[J].铁道车辆,2024,62(7):45-50.
- [2]刘阳,赵鑫.轨道交通储能器件温度监测系统设计与试验[J].铁道机车车辆,2023,43(4):89-94.
- [3]陈峰.铁路真空变流装置储能单元热失控检测技术[J].机车电传动,2022,10(6):112-117.
- [4]周明.车载真空电力装置温度检测系统优化设计[J].铁道工程学报,2023,40(9):78-83.
- [5]李明远.铁路客车车载蓄电器高低温测试系统设计与应用[J].机车电传动,2023,23(5):136-141.