基于物联网传感的重卡大功率充电桩运行状态智能监控技术研究

刘子豪

（昆明配售电有限公司，云南 昆明 650500）

摘 要 在新能源重卡规模化应用持续推进的背景下，180 kW ~ 480 kW 大功率直流充电桩成为港口、矿山、干线物流园区及高速服务区的核心补能基础设施。重卡充电桩长期处于大电流、高负荷、高频次运行状态，容易引发接头烧蚀、功率模块过热、绝缘老化、漏电等故障。传统场站存在隐患排查滞后、运维效率低下、安全风险突出等问题，难以适配大功率设备的安全运行需求。本文分析了基于物联网传感的重卡充电桩智能监控技术体系，阐述了该系统工作原理、实际部署应用方式及核心运维功能，以期为新能源重卡大功率充电设施的状态监测、故障预警、精益运维提供实践参考。

关键词 物联网传感；新能源重卡；大功率充电桩；运行状态监测

中图分类号：TM923；TP391.44 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.013

0 引言

在“双碳”战略推动下，国内货运行业绿色转型持续推进，新能源重卡已广泛应用于干线运输、港口及矿区作业场景，配套的 180 kW ～ 480 kW 大功率充电桩成为核心补能设施。与乘用车充电桩相比，重卡充电桩充电功率大、启停频次高，充电负荷呈现明显时段高峰，设备长期处于高负荷运行状态，加之多部署于露天、高粉尘、强电磁干扰的复杂工况，核心部件易出现温升异常、绝缘老化、接触不良等隐患[1]。当前多数场站仍采用人工巡检、事后维修的传统运维模式，难以提前识别早期故障隐患，易引发设备损坏、起火等安全问题，严重影响场站运营稳定性。对此，融合物联网传感、边缘计算与人工智能的智能监控技术，可实现充电桩运行状态实时感知、故障精准预警与智能运维，有效弥补传统运维短板。本文结合工程实际，系统梳理该技术的体系架构、应用方式及核心功能，为重卡大功率充电桩智能化运维落地提供技术参考。

1 重卡大功率充电桩运行工况与监控需求

1.1 实际运行工况特点

一是高负荷高频次运行，热损耗严重。重卡充电桩额定功率覆盖 180 kW ～ 480 kW，工作电流大、单次充电时长较长，功率模块、接线端子、充电枪头等核心部件持续发热，长期承受热疲劳损耗，易出现部件老化、接触不良等问题。二是服役环境恶劣，外部干扰强。设备多部署于露天高速服务区、粉尘密集的港口矿山、湿度较高的物流园区，长期面临温差剧变、凝露积水、粉尘堆积、设备振动等影响，大幅加速设备绝缘老化与机械部件损耗。三是电磁环境复杂，数据干扰大。场站多桩同时大功率充电时会产生强电磁辐射，易造成传感数据采集失真、设备控制逻辑异常，增加故障误判、设备误动作风险。

1.2 核心监控需求

结合场站运维统计数据与现有故障研究可知，重卡充电桩 80% 以上的突发故障均存在明确的前期征兆，主要集中在温升异常、电气参数畸变、环境工况超标等方面。传统单一的过压、过流阈值监测模式无法覆盖全场景故障隐患，难以满足大功率设备安全运维需求。为此，当前重卡充电桩智能运维需构建多维度全状态监控体系，核心需求包括：精准采集电气运行参数、实时监测关键部位温度变化、动态感知柜内环境状态、实现车桩数据协同交互、搭建故障分级预警与自动保护机制，同时具备设备健康评估、远程运维、数据统计分析能力，兼顾设备运行安全性与场站运维高效性[2]。

2 基于物联网传感的智能监控核心技术体系

2.1 多源物联网传感感知技术

传感感知层是智能监控系统的数据基础，通过布设多类型工业级传感器，实现充电桩电气、温度、环境、

作者简介：刘子豪（1994-），男，本科，助理工程师，研究方向：电气工程。

车桩交互四大维度运行数据的数字化、高精度采集，全面适配重卡大功率充电复杂工况[3]。

在电气参数传感方面，系统采用隔离型霍尔电流传感器、直流电压变送器、零序电流互感器及智能电表，分别部署于交流输入侧、DC-DC功率模块、直流母排、充电枪输出回路。该类传感器具备抗大电流冲击、抗强电磁干扰优势，可高频采集电压、电流、有功功率、功率因数、漏电流、谐波等核心参数，精准识别设备过载、漏电、绝缘老化、谐波超标等各类电气故障。

在温度传感方面，采用“接触式+非接触式”融合多点测温方案，消除监测盲区。将PT100铂电阻、NTC热敏电阻阵列等接触式测温器件，固定在IGBT功率模块、母排端子、线缆接头等核心发热部位；在充电枪触点、螺栓连接等易松动发热点位，布设无源RFID测温标签，实现无供电、长期稳定测温；搭配红外热成像设备对柜体整体进行非接触扫描，弥补单点传感器监测局限。现有研究证实，相较于固定温度阈值，温度温升速率更能体现设备早期故障特征，该测温方案可精准捕捉瞬时温升异常隐患。

在环境与安全传感方面，通过温湿度、烟雾、一氧化碳、水浸、振动传感器，实时监测柜内凝露、进水、散热失效、电弧分解气体、设备机械振动等状态，提前预判起火、部件卡滞、设备老化等安全隐患。车桩协同感知方面，基于国标GB/T通信协议与CAN总线对接重卡BMS系统，实时读取电池SOC、SOH、最大允许充电电流等核心参数，规避桩车充电参数不匹配引发的设备过载、电池损伤问题。

2.2 边缘计算本地预处理技术

重卡充电桩数据采集频次高、海量数据实时传输存在延迟高、带宽占用大、断网失效等痛点。为此，当前主流监控系统均搭载边缘网关，实现现场数据本地预处理。边缘网关可实时完成原始数据的降噪、滤波清洗、特征提取与阈值初判，实现数据轻量化处理。针对过温、漏电等高危故障，网关可实现毫秒级本地响应，自主执行降功率、紧急停机等保护动作，无需依赖云端指令，保障极端工况下设备安全稳定运行。正常运行数据经压缩打包后上传云端，有效降低传输带宽压力，同时支持网络中断时本地缓存数据，确保数据不丢失、监控不中断。

2.3 分层物联网传输技术

针对港口、露天高速服务区等场站网络信号不稳定的问题，系统采用多协议融合的分层传输架构，保障数据传输的稳定性与实时性。底层传感器通过RS485、CAN总线实现短距离、高可靠数据汇聚；场站端通过4G/5G、以太网双链路实现远程数据传输；系统整体采用MQTT、OCPP2.0.1行业通用协议，支持数据加密传输与断点续传。该传输方案可适配各类复杂场站网络环境，同时兼容老旧充电桩设备改造，无需更换原有设备主体，改造成本低、适配性强。

2.4 云端智能分析与故障诊断技术

云端平台依托大数据与人工智能算法，突破传统单一阈值告警的局限性，实现设备故障智能化、精准化研判，核心包含三类技术。一是基础阈值规则诊断，依托预设参数阈值，实现过压、过流、过温、漏电等常规故障的分级告警与基础研判；二是无监督机器学习算法，通过孤立森林、LSTM时序分析等模型学习设备正常运行特征，精准识别早期微弱异常，有效解决大功率充电桩故障样本稀缺、隐患难识别的行业难题；三是多特征融合判别技术，融合电气、温度、环境多维数据，过滤环境干扰引发的误告警，大幅提升故障识别准确率。同时，系统搭载PHM设备健康管理技术，可精准评估功率模块、充电枪、接触器等易损部件的剩余使用寿命，实现设备预测性维护。

3 物联网传感智能监控技术应用方式

3.1 新建场站标准化成套部署

针对全新规划建设的重卡补能场站，采用标准化成套部署模式搭建物联网传感监控系统。结合180 kW～480 kW不同功率等级充电桩的运行工况、负荷特性与故障规律，针对性布设全套物联网传感设备，重点覆盖功率模块、直流母排、充电枪触点、接线端子等故障高发、易发热关键点位，配齐电气传感、多点温度传感、环境安全传感等设备，构建全覆盖、高精度的现场传感感知网络。同时，配套部署边缘网关与物联网传输模块，完成传感设备组网调试、通信协议适配与运行参数标定，依据设备额定工况设置传感数据预警、降功率、紧急停机三级安全阈值，实现充电桩设备投运即可具备全方位智能化监控能力[4]。

3.2 老旧场站轻量化智能改造

针对传统存量重卡充电桩智能感知缺失、监测手段单一、仅支持基础计量的短板，采用轻量化改造方式实现智能化升级，无需更换充电桩主体设备。通过外置高精度物联网传感终端、无源测温标签、环境采集模块及边缘网关设备，快速补齐老旧设备的状态感知能力，弥补传统设备无法监测温度、环境、隐性故障的缺陷。改造后的传感系统可完全兼容场站原有运维管理平台，实现新旧设备数据互通、功能叠加。通过新增的多维传感数据采集，彻底解决老旧设备运行状

态不可视、故障隐患不可查的问题，以低成本、无停机影响的方式完成老旧充电桩监控能力的智能化升级。

3.3 场站日常协同运维应用

在日常运营过程中，系统采用“本地传感保护 + 远程集中管控”的协同运维模式。在设备运行全过程中，各类物联网传感设备持续采集实时运行数据，边缘网关依托实时传感数据实现毫秒级本地故障研判与安全保护，可独立应对过热、漏电、过载等突发故障，保障设备复杂工况下的运行稳定性。同时，云端平台汇聚全场站所有充电桩的传感数据，实现多设备、多场站运行状态的集中可视化管控，替代传统高频人工巡检模式。运维人员可依托传感数据变化规律预判设备健康衰减趋势，开展针对性维保作业。此外，系统可基于传感大数据联动车队管理系统与电网调度系统，结合充电桩实时负荷状态实现错峰充电、负荷均衡调度，有效提升重卡补能场站整体运营效率与电网适配性。

4 物联网传感智能监控技术核心应用功能

4.1 基于多源传感的全维度可视化监测功能

该功能是物联网传感监控技术的基础核心能力，依托全覆盖传感感知网络，实现重卡充电桩运行状态无盲区、高精度实时监测。通过电气传感器实时采集交直流电压、工作电流、输出功率、漏电流、谐波等核心电气参数，精准反映设备充电负荷与电气运行状态；通过多点温度传感阵列动态监测关键部位温度数值与温升速率，捕捉局部过热、接触不良等隐性隐患；通过环境传感器实时监控柜内温湿度、积水、烟雾、振动等工况，识别环境诱因故障；结合车桩协同传感数据，同步掌握重卡电池充电约束条件。所有传感数据实时汇总至可视化平台，直观展示设备空闲、充电、故障、离线状态，实现设备运行状态的数字化、可视化管控。

4.2 基于传感数据的分级告警与智能保护功能

系统依托实时传感数据的动态变化，构建三级智能告警与自动保护机制。一是轻微隐患预警，当传感数据小幅偏离正常工况区间，系统推送预警信息，提示运维人员提前排查，规避隐性故障扩大；二是智能功率调控，当传感监测到温度、电流等参数临近安全阈值，系统自动动态降低充电功率，在保障基础充电服务的前提下降低设备负荷，避免故障发生；三是紧急安全保护，当传感数据捕捉到急剧升温、漏电、绝缘失效等高危异常，系统立即触发断电保护，同步推送故障点位与故障类型信息，从源头杜绝设备烧毁、场站起火等安全事故，大幅提升大功率充电场景的运行安全性。

4.3 基于时序传感数据的预测性健康运维功能

该技术依托长期积累的时序传感大数据，结合 PHM 健康评估算法，实现充电桩核心部件的预测性运维。系统持续采集功率模块、充电枪、接触器等易损部件的温度、振动、电气损耗等传感数据，持续追踪设备性能衰减趋势，精准评估部件剩余使用寿命[5]。通过传感数据的细微变化，提前识别绝缘老化、接触电阻增大、散热能力下降等早期隐性故障，自动生成精准维保工单。该功能有效减少设备突发停机故障，降低非计划停运时长，同时通过持续迭代传感数据模型，不断提升故障识别精度，实现设备从“被动维修”向“主动运维”的升级。

4.4 基于物联网传感的远程智能运维功能

依托物联网传感组网与云端数据互通能力，系统实现充电桩全流程远程智能化运维，运维人员可基于云端同步的实时传感数据，远程读取设备运行日志、查看历史工况曲线、修正设备运行参数、复位设备状态，针对参数异常、轻微程序故障等常见问题，无需现场作业即可完成处置。同时，系统自动归档所有传感数据、故障记录、维保信息，构建设备全生命周期数字化台账，替代传统人工纸质记录模式，实现设备运维流程标准化、数字化、远程化。

5 结束语

基于物联网传感的重卡大功率充电桩智能监控技术体系依托多源传感感知、边缘计算、云端智能分析技术，搭建了全方位、全流程、智能化的设备运行监控与运维管理体系，有效解决了传统人工巡检运维效率低、隐患排查滞后、故障处置被动、安全风险高的行业痛点。系统通过多维度数据精准感知、边缘端实时安全保护、云端智能故障研判、全流程闭环运维管控，实现了重卡大功率充电桩运行状态可视化、故障预警提前化、设备运维智能化、负荷调度精细化，提升了重卡补能设备的运行安全性与场站运维效率。

参考文献：

[1] 肖晗. 重卡充电桩成“流量担当”[N]. 深圳商报,2025-04-16(A03).
[2] 国网湖南省电力有限公司. 湖南电动汽车公司: 临澧新安镇重卡充电站建成投运 [J]. 农村电气化 ,2024(08):24.
[3] 王强强. 新能源重卡充电服务区多类型储能系统的集成设计 [J]. 汽车画刊 ,2025(03):7-9.
[4] 孙洁 , 房新灿 , 刘晓悦 . 基于 NB-IoT 的充电桩数据监控及合理分配 [J]. 电测与仪表 ,2024,61(03):211-216.
[5] 房新灿 . 基于 NB-IoT 的充电桩远程数据监控 [D]. 唐山 : 华北理工大学 ,2021.