

移动作业终端智能充电管理柜技术研究

闫 冰

(国网北京市电力公司海淀供电公司, 北京 100085)

摘 要 移动作业终端数量迅速增加, 集中充电、安全监控、数据贯通成了供电单位现场管理的重点工作。本文围绕智能充电管理柜的软件体系, 研究在端、管、云架构下创建统一充电控制、实时监测、数据治理能力, 用协议识别、自适应策略、安全模型来实现多类设备的精准适配和全过程风险防护。依靠 PMS3.0、物资管理系统的对接, 整合作业、资产、充电记录, 形成闭环的数据链。结果表明, 软件系统可以明显提高充电效率和使用安全性, 有利于创建以数据为驱动的移动终端精细化管理模式。

关键词 移动作业终端; 智能充电管理柜; 自适应充电; 安全监控; 数据融通

中图分类号: TM910.6; TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.007

0 引言

移动作业装备在供电现场的覆盖度不断增大, 设备分散充电、状态不可视、安全风险难以提前识别等问题也逐渐暴露出来。创建统一、智能、可追溯的充电管理体系, 成为改善现场作业规范化和装备保障能力的重要走向。依靠智能充电管理柜的软件平台, 利用协议解析、自适应策略、安全模型、数据贯通技术, 达到多设备精准匹配、实时监测和全生命周期管理的目的。本文主要从系统架构和关键软件能力两个方面进行技术分析, 给移动作业终端的数字化管理提供参考。

1 移动作业终端智能充电管理柜技术概述

移动作业终端智能充电管理柜是为解决一线作业设备集中充电、安全管控、数据追溯问题而部署的智能化装备。该系统依靠软硬件的配合, 对手持 PDA、检测仪器、执法记录仪等各类移动终端实行统一充电、状态监测、全生命周期追踪^[1]。

软件系统采用的是端、管、云三层架构, 终端层集成智能充电控制器, 可以识别多种协议并且进行动态功率分配, 传输层采用 4G 或者 5G 通信网络来实现充电数据的实时上传, 平台层部署集中管理平台, 可以提供设备状态可视化、充电策略优化、异常预警等功能。系统有自适应充电算法, 能根据设备类型、电池状态、电网负荷等参数智能调节充电策略, 在保证充电效率的同时延长设备使用寿命。

系统和现有的 PMS3.0、物资管理系统无缝对接,

实现设备入库、领用、充电、维护闭环管理, 并提供数据驱动的决策支持。

2 移动作业终端智能充电管理柜软件技术难点

2.1 多协议智能适配

移动作业终端种类繁多, 有 PDA、检测仪器、执法记录仪等设备, 不同设备的充电协议、电压需求、电池类型有很大差异。传统的充电柜使用标准化的接口, 不能准确地识别设备的类型, 容易造成过充、欠充等。软件系统要实时识别接入设备的型号、电池状态、充电协议, 动态调节充电参数, 这就存在协议解析准确率、识别响应速度、多设备并发处理的难题。为了解决以上问题, 可以增加一个多协议自适应识别模块以及智能充电管理算法, 在建立设备指纹库及通信握手的基础上进行快速准确的识别, 再配合边缘计算提高响应速度, 采用负载均衡的方法增强对多个设备同时工作的支持程度并且通过对充电状态的监控以及反馈调节保证充电的安全可靠, 延长设备电池寿命。

2.2 安全监控实时预警

充电安全是终端管理的重中之重。系统要实时监测电压、电流、温度等主要参数, 一旦出现异常就要立即切断电源并发出报警。但是, 传统的方案依靠阈值报警, 不能预测潜在的风险。软件系统要加入机器学习算法, 创建充电过程的安全模型, 从而实现从“被动防御”到“主动预判”的转变, 但是算法模型的训练需要大量的历史数据支撑, 误报率控制是技术难点,

作者简介: 闫冰 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电气自动化研究与管理。

既不能漏掉真实的隐患,也不能频繁误报影响正常使用。因此,可以建立多种来源的数据融合方法,结合设备运行日志、环境参数以及过往发生的故障等进行不断改进模型的效果。另外,还可以加入在线学习以及模型自动更新的方法提高对于新异常的检测能力,在此基础上采用分层次报警以及阈值自适应调整的方法来保证安全性,同时尽量减少假阳性的情况发生,使该系统更加可靠和实用。

2.3 数据融合智能决策

充电数据、作业数据、设备管理数据之间互相独立,彼此间没有联系,形成了各自为政的局面。软件系统要打通多源数据,创建起统一的数字底座,从而实现充电行为同设备使用、运维管理之间的关联分析。但是,不同系统数据格式,接口标准不同,数据清洗和融合工程量大。同时,从海量数据中提取出有用的信息,为运维决策提供支持,要建立智能分析模型,这就对算法设计和算力资源提出了较高的要求。为解决以上问题,可以建立一套统一的数据标准及接口规范,利用数据中台对不同来源的数据进行融合处理;基于数据标签以及知识图谱建立起各方面的联系,提高数据利用率,在此基础上应用分布式计算以及智能化算法发现重要的信息以及隐藏在其中的趋势,从而更好地服务于运维工作,使系统从数据整合到创造价值^[2]。

3 移动作业终端智能充电管理柜软件技术应用

3.1 自适应充电策略

软件系统用AI驱动的自适应充电策略来解决多协议适配问题。构建设备指纹库,把手持PDA、检测仪器、执法记录仪等各种终端的充电协议、电压曲线、电池容量、充电倍率等关键参数信息整合起来,用深度学习算法建立设备特征识别模型,实现设备接入后毫秒级精准识别。系统内置动态功率分配算法,根据设备类型、电池SOC状态、当前电网负荷、环境温度等多维度参数,实时计算出最优充电电流和电压组合,在保证充电速度的同时有效避免过充对电池寿命的损害。边缘计算模块在本地完成协议解析、功率分配决策、充电过程控制,云端平台完成设备指纹库持续更新、充电策略全局优化。该策略支持USB-A、USB-C、DC等不同的物理接口,支持PD、QC、私有协议等多种充电协议,可以兼容不同的品牌、型号的移动终端,通过机器学习不断优化充电曲线,达到智能充电和电池保护的平衡。

自适应充电策略通过电池管理系统实时传输过来

的荷电状态、健康状况以及温度等主要参数,借助二阶等效电路模型来对电池的行为进行模拟,并且会依照动态调整充电电流和电压曲线。研究数据表明,用基于庞特里亚金最小值原理或者强化学习的自适应充电策略,在满足指定充电时间约束的情况下,可以有效地降低充电过程中产生的总热量。以相同的充电时间为例,标准的8C-3.6C两步恒流恒压协议比自适应策略产生的热量要多出27.3%。另外,一些先进的自适应充电管理柜可以兼容电网互动的需求,在实现电网到车辆充电的同时也为车辆到电网模式提供支持。采用集成比例积分控制和自适应控制器相结合的方式,系统在电网到车辆模式下将总谐波失真控制在1.33%以下,在车辆到电网模式下将总谐波失真控制在1.7%以下,同时实现98.3%的系统效率,20%至80%荷电状态的充电时间较传统方法缩短约30%。将荷电状态模式切换、热降额保护和谐波抑制结合起来,使智能充电管理柜可以适应复杂的电网环境,为规模化移动作业终端的能源集约管理奠定了技术基础。

3.2 预测性安全防护

部署预测性安全防护机制,用机器学习模型实现主动风险识别和预警。根据海量的历史充电数据训练异常检测模型,使用时间序列分析技术深度学习电压、电流、温度、充电功率等多维参数时序变化特征和关联关系,提前精准地发现热失控、短路、过压、过温、电池老化等潜在风险征兆。系统采用边缘计算结构,在柜端控制器上部署轻量化预警模型,使用本地算力达到毫秒级响应速度,保证预警和处置的及时性。当出现异常趋势的时候,系统就立刻开始智能分级处置程序,轻微异常自动缩减充电功率并继续观察,中度异常马上终止充电并且把警报信息发送给管理平台,严重异常直接物理断电并触发本地声光报警。同时,系统会建立安全事件知识库,不断收集新出现的案例来改进预警算法,调整检测阈值以减少误报率,从而实现从被动防御到主动预判的安全防护全面升级。

预测性安全防护并不是简单的被动式保护,而是一种用人工智能的主动防御和异常预警。移动作业终端以及充电过程中存在诸多安全问题,既有电池热失控等物理层面的安全隐患,也有数据被窃取、非法控制等网络层面的攻击风险。就物理安全而言,软件系统通过对充电过程中电压、电流、温度以及内部气压等时序数据展开持续监测,借助长短期记忆网络、随机森林或者自动编码器等机器学习算法,创建起设备正常运作的基线模型。一旦实时数据流出现微小的偏

离基线的变化,系统就能提前发现热失控、内短路等故障的早期征兆。根据实验数据可知,以机器学习为基础的异常检测框架在智能电网环境下对充电站进行应用时,异常检测准确率可以达到 96.8%,并且可以将系统的响应时间控制在 15 ms 以内,在故障恶化之前就触发熔断或者降流保护,大大降低了设备损坏和火灾的风险。智能充电柜是物理设备和信息网络之间的节点,很容易成为网络攻击的对象。预测性安全防护机制就是软件层面嵌入入侵检测和防御模块,对网络流量进行实时的分析,发现分布式拒绝服务、中间人攻击、欺骗、数据篡改等恶意行为。使用深度置信网络等先进的人工智能模型,可以从大量的网络数据中学习攻击模式,使得网络攻击检测率达到 98.9%,保证充电过程中的数据完整性和用户隐私的安全。多层次的、端边云协同的预测性防护体系可以对数百台充电柜以及移动作业终端进行集中安全态势感知,保证整个能源补给基础设施的可靠运行^[3]。

3.3 全链路数据融通

系统创建全链路数据融通平台,把充电柜同 PMS3.0 生产管理系统、物资管理系统、运维平台的数据孤岛全部打通。首先建立统一的数据接口规范和标准化的数据字典,使用 RESTful API 协议、消息队列中间件等多种技术手段实现跨系统数据实时互通、可靠传输。平台使用 Apache Kafka 实时流处理技术,将充电数据同作业任务单、设备台账信息、巡检维护记录等多方面关联起来进行深度分析,形成设备全生命周期数字画像。部署数据清洗、去重、标准化处理模块,解决多源异构数据格式不一致、质量参差不齐的问题,保证数据分析的准确性。运用大数据分析和挖掘技术,系统可以对充电资源进行调配,对设备故障进行预测,并且能自动生成维护建议,为管理者提供准确的决策支持,实现数据可视化大屏的展示,实时呈现设备状态、充电效率、安全指标、资源利用率等关键信息,实现由被动维护向主动管理的战略转型^[4]。

该技术的应用首先表现在多源异构数据的采集和融合上。智能充电柜内置各种传感器、通信模块,可以采集充电电压、电流、功率等电气量数据,也可以获取环境温度湿度、柜门状态、地理位置、操作日志等信息。经过 4G、以太网或者 HPLC 等通信方式将数据汇聚到物联平台,得到一个实时数据库、历史数据库以及基础数据仓库的综合数据层。在此基础上,软件平台用多模态数据分层融合框架,把各个终端、各种协议的数据清洗、对齐、标准化处理。对于车网互动场

景来说,系统要对电网调度指令、充电桩状态、用户行为数据以及电池健康数据等多方面信息实施时空配准,借助大模型或者博弈强化模型达成“动态定价—资源优化—无感调控”的协同决策。全链路数据融通的又一重要方面就是支撑运维管理的闭环。通过将移动作业终端和后台管理系统绑定起来,巡检人员可以利用手持终端实时接收到充电柜的故障预警信息,在现场处理完毕后直接把结果上传到云平台,从而形成故障发现、派单、处理、验收的闭环。该机制彻底改变了传统依靠纸质记录的巡检方式,使运维管理人员可以依靠数据分析准确把握设备维修和更换周期,经测算可以明显缩短充电设施维护维修周期,大幅度降低运维成本。另外,数据全链路贯通还可以为能源运营优化提供决策支持,对大量的充电数据进行统计分析后可以准确预测各个站点的负荷需求,进而改善充电资源的分配情况,提高充电桩利用率和电网运行稳定性^[5-6]。

4 结束语

智能充电管理柜的软件系统,为移动作业装备管理提供了充电控制以及数据治理的全部技术链路。多协议识别、预测性安全模型、全链路数据融通一起组成了系统能力的主要部分,使得设备充电更加高效、安全、透明。整合 PMS3.0、物资管理等平台之后,移动终端入库、领用、充电、运维就形成了闭环的数字管理。整体技术框架可以为开展装备精细化管理、智能化安全管控提供持续支持,具备向更大范围推广的条件。

参考文献:

- [1] 韦雅曼.基于 HPLC+HRF 双模通信的新能源汽车智能充电终端技术研究[J].装备制造技术,2024(01):28-32,46.
- [2] 袁亦凡.电动汽车智能充电桩控制系统研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(05):124-126.
- [3] 陈煜宏,武朝平,贾盼龙,等.智能充电桩的设计要求及技术分析[J].城市建筑空间,2022,29(S2):278-279.
- [4] 文家林,莫海铎.车联网技术在新能源汽车充电管理中的应用模式与挑战对策[J].汽车维修技师,2025(20):26-28.
- [5] 刘家斌.一种锂离子电池充电管理技术[J].中国新技术新产品,2021(19):43-46.
- [6] 沈海军,许少伦,蒋鑫磊.配电网内电动汽车充电管理技术研究[J].上海节能,2020(05):407-414.