

基于订单电量远程比对的充电桩计量检定系统

刘彤¹, 荣先金², 谢慧勤¹, 赵杰¹, 吴洁¹, 范继承¹

1. 国网武汉供电公司营销运营中心, 湖北 武汉 430000

2. 国网湖北省电力有限公司营销服务中心(计量中心), 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/EPTSM.2025080017

摘要：随着电动汽车充电设施的快速普及，现有检定人员与检测能力明显不足，传统人工检定方式需赴现场进行误差测试，效率低下，难以实现对所有公共充电设施的周期检定全覆盖。本文提出一种基于订单电量远程比对的交直流充电桩电能计量检定方法，该方法通过在充电回路中嵌入0.05级轻量化转接式测试仪与4G/5G通信模块，实现了充电电压、电流、功率等数据的实时采集与远程传输；利用卫星授时协议实现时钟同步，结合PWM信号与BMS报文自动识别充电起止时段，并将订单电量与测试仪电能值上传至省级电动汽车公共充电设施质量监管平台进行比对与误差计算。研究及应用表明，该系统可实现“边充边检”的无人化操作，能显著提升检定效率与准确性，具有良好的工程应用与推广价值。

关键词：充电桩；电能计量检定；订单电量远程比对；数据安全可信传输

A Metering Verification System For Charging Piles Based on Remote Comparison of Order Electricity Consumption

Liu Tong¹, Rong Xianjin², Xie Huiqin¹, Zhao Jie¹, Wu Jie¹, Fan Jicheng¹

1. Marketing and Operation Center of State Grid Wuhan Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

2. Marketing Service Center (Metering Center), State Grid Hubei Electric Power Co., LTD., Wuhan, Hubei 430000

Abstract : With the rapid popularization of electric vehicle charging facilities, there is a significant shortage of existing calibration personnel and testing capabilities. The traditional calibration method requires on-site error testing, which is inefficient and difficult to achieve full coverage of regular calibration for all public charging facilities. This paper proposes a remote comparison method for the metering calibration of AC and DC charging piles based on order electricity. This method embeds a 0.05-level lightweight relay-type test instrument and a 4/5G communication module in the charging circuit, achieving real-time data collection and remote transmission of charging voltage, current, power, etc.; using the satellite timing protocol to clock synchronization, combined with PWM signals and BMS messages to automatically identify the start and end time of charging, and upload the order electricity and the energy value of the test instrument the provincial-level public charging facilities quality supervision platform for electric vehicles for comparison and error calculation. Research and application show that the system can achieve unmanned "charge and check", significantly improving the calibration efficiency and accuracy, and has good engineering application and promotion value.

Keywords : charging pile; electric energy metering verification; remote comparison of order electricity consumption; secure and trusted data transmission

一、基于订单电量远程比对的充电桩计量检定系统设计

(一) 检定系统工作原理

通过在充电桩与电动汽车之间的充电回路中部署 0.05 级轻量化转接式测试仪与 4G/5G 通信模块, 实现充电过程中电压、电流、功率等数据的实时采集与远程传输; 在充电桩与测试仪中部署 GPS、北斗时钟模块, 利用卫星授时协议实现时钟同步, 结合 PWM 信号与 BMS 报文自动识别充电起止时间, 并将电动汽车充电过程的订单电量及测试仪记录的电能值通过 SSL/TLS 及数字证书认证加密上传至省级电动汽车公共充电设施质量监管平台; 在平台上进行数

据比对,依据检定规程进行误差计算、结果判断,实现与交流/直流充电桩的远程电能计量检定^[1]。工作原理如图1所示:

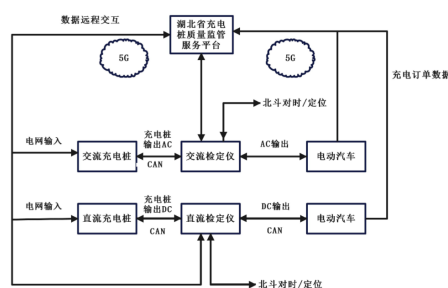


图1 原理拓扑图

（二）0.05级轻量化转接式充电桩测试仪

0.05级轻量化转接式测试仪，包括直流充电桩检测仪和交流充电桩检测仪，采用非嵌入式设计，内置北斗对时及定位系统、5G物联网、高精度计量模块、数据存储模块、电池管理模块、蓝牙通讯模块、CAN监测模块、温度监测模块等。

直流充电桩计量性能测试仪基于高精度采样与实时处理技术，实现充电过程中电压、电流、功率等参数的高精度实时监测^[2]。设备核心部件采用18位高速逐次逼近型ADC，采样频率高达50KHz以上，ARM主控采用32位ARM处理器，结合CPLD实现高速数据采集与处理。电压与电流分别通过精密电阻分压和直流比较仪进行采样，全量程精度达到0.05%。设备集成北斗/GPS授时、4G/5G通信、蓝牙及CAN总线接口，支持电能脉冲输出最高90kHz，具备良好的电气隔离与抗干扰能力。

交流充电桩计量性能测试仪，电压测量范围为220V/380V，电流为1-32A，精度均为0.05%。系统采用18位单通道AD7634逐次逼近型高速A/D转换芯片，电压采用精密电阻分压取样，电流经过CT后二次绕组接取样电阻，并配合程控放大与磁隔离技术，实现电压电流信号的隔离与同步采集，支持45-65Hz工频范围。内置ARM处理器完成实时电参量计算，具备有功与无功电能脉冲输出功能，最高频率22kHz，并集成多种通信方式，适应复杂现场检定需求。

（三）充电自动识别及时钟同步检测

在充电桩与测试仪中分别部署GPS、北斗时钟模块，通过NTP协议实现设备间的微秒级时间同步。同时，通过4G/5G网络与省级电动汽车公共充电设施质量监管平台保持时间同步，同步精度达到 $\pm 1\mu s$ 。为确保时钟可靠性，系统采用多源时钟冗余设计，当卫星信号丢失时，自动切换至网络授时模式，保证时间同步的连续性。

针对交流充电桩，系统通过实时监测控制导引电路（CP）与保护地（PE）之间的电压信号特征来自动识别充电过程。测试仪内置的PWM信号采集模块以10kHz采样频率实时采集CP-PE电压波形，通过分析脉宽占空比变化来判定充电状态。

对于直流充电桩，系统通过解析电池管理系统（BMS）通信报文来识别充电过程。测试仪通过CAN总线接口实时采集BMS通信数据，重点解析充电状态传输帧（CST）和充电系统数据帧（CSD），结合充电阶段状态机，精确记录充电起止时间。

所有采集数据均以北斗/GPS同步时间戳为基准，保障了多源数据的时间一致性。为关联数据，系统采用时间窗口匹配算法，将测试仪采集的电能数据与充电桩运营平台的订单数据在相同时间窗口内进行关联比对，确保数据比对的时间一致性。

二、充电桩订单电量云端比对及误差计算

测试仪累计的充电电量与充电桩运营平台生成的订单电量通过GPS、北斗同步时间戳进行匹配，依据检定规程中的工作误差计算方法，依据误差计算结果与规程允许的误差范围进行比对。规则引擎自动判定误差是否超出规程允许范围，并记录超标数据点。测试

仪通过4G/5G通信模块将误差计算结果、判定状态及充电订单信息加密上传至平台，平台结合充电桩运行状态进行二次校验^[3]。

（一）采集数据预处理与云端比对

采用动态阈值算法，剔除电压突变、电流畸变等异常值，清洗后的数据加密上传，并基于北斗、GPS时间戳，将测试仪数据与订单数据进行时间同步，同步精度达到 $\pm 1ms$ ，通过鲁棒性预处理，针对缺失值（插补/剔除）、异常值（基于统计学阈值或聚类离群检测）进行自动化清洗，统一数据采样频率。系统基于时间序列的实时比对算法，对数据的有效性进行验证，采用滑动窗口机制，实时计算误差值，并根据预设阈值进行自动判定，最终实现误差计算、数据校验与结果判定。

（二）检测误差计算模型

根据检定规程要求，将计量性能测试仪连接至充电连接点，并在选定的负载点，比较检定装置与被检充电桩同时测量的电能值，结合DJ1226电能表的预设值精度，以确定被检充电桩的工作误差；

交流充电桩计量检定测试仪通过CP与PE的电压值及PWM脉宽占空比来判断充电过程的开始与结束时间及充电功率的需求值，其中交流充电桩计量性能检定公式，如式（1）所示：

$$r = \frac{E' - E}{E} * 100\% + r_0 \quad \text{式（1）}$$

公式中输入的量为： E' 为被检充电桩停止充电与充电开始时电能示值之差，kW·h， E 为校验仪测量的电能值，kW·h， r_0 为检定装置的已定系统误差，不需修正时 $r_0=0$ ；（备注：该误差由测试仪出厂前在更高等级标准装置上进行校准而得，并固化在设备芯片中，在实际检定时自动参与计算。）

直流充电桩计量性能检定公式，如式（2）所示

$$r = \frac{E' - E}{E} * 100\% + r_0 \quad \text{式（2）}$$

公式中输入的量为： E' 为被检充电桩停止充电与充电开始时电能示值之差，kW·h， E 为校验仪测量的电能值，kW·h， r_0 为检定装置的已定系统误差，不需修正时 $r_0=0$ ；（备注：该误差由测试仪出厂前在更高等级标准装置上进行校准而得，并固化在设备芯片中，在实际检定时自动参与计算。）

三、检测数据安全交互与可信传输

（一）基于数字证书的双向身份认证机制

系统采用基于PKI（Public Key Infrastructure）的数字证书认证机制，确保接入实体身份的真实性。测试仪内嵌由国网电科院颁发的数字证书，通过4G/5G通信模块与平台建立SSL/TLS加密通道，在数据传输前使用私钥对数据进行签名，双方通过SSL/TLS握手协议交换证书，平台通过公钥验证签名真实性（包括有效期、颁发者、数字签名等），实现终端与平台间的双向身份认证，有效防御非法设备接入及中间人攻击。

（二）采用定制APN的通道隔离技术

为规避公共网络的安全风险，系统采用定制APN（Access

Point Name) 技术构建专用传输通道。测试仪通过内置物联网 SIM 卡接入运营商为电力系统专门划分的虚拟专用网络, 进行管理信息大区与互联网大区的物理隔离。该方案有效限制了网络攻击面, 防止来自公网的扫描与入侵尝试, 为数据传输提供底层通道安全保障。

（三）链路状态监控与应急响应

平台侧实时监控 APN 通道状态、证书有效期及数据校验结果, 一旦检测到 APN 通道异常、证书过期或校验失败, 立即触发断开连接并生成安全事件告警。系统具备持续的通信链路状态监测能力, 所有安全事件均记录于审计日志, 为安全态势分析与故障追溯提供数据支撑, 形成传输安全闭环管理。

四、充电桩远程检定流程与主站设计

（一）充电桩远程检定流程设计

（1）任务触发阶段：充电开始时, 运营平台生成订单并推送至检定系统, 系统自动启动检定任务;

（2）数据采集阶段：测试仪通过 PWM 信号（交流桩）或 BMS 通信报文解析（直流桩）自动识别充电开始和结束时间, 启动高精度数据采集电压、电流、功率信号; 所有数据打上北斗 / GPS 时间戳（同步精度 $\pm 1\mu s$ ）, 通过 4G/5G 网络加密传输至主站平台; 采用动态阈值算法对异常数据, 电压突变、电流畸变等异常值, 进行实时清洗, 确保数据质量。

（3）数据分析阶段：主站平台根据时间戳匹配测试仪数据与订单数据, 计算充电过程中的电能误差。规则引擎自动判定误差是否超出规程允许范围, 并记录超标数据点。测试仪通过 4G/5G 通信模块将误差计算结果、判定状态及充电订单信息加密上传至平台, 平台结合充电桩运行状态进行二次校验。

（4）检定结果生成与反馈：系统根据分析结果自动生成检定报告, 并通过可视化平台展示, 对于检定不合格的充电桩, 系统自动生成预警信息并推送到运维管理平台。

（二）主站平台设计

平台采用微服务架构, 各模块之间通过消息中间件进行通信, 保证系统的可扩展性和可靠性。数据存储采用多级方案, 实时数据存入时序数据库, 结构化数据存入关系数据库, 文件数据存入对象存储。主要包含以下功能模块:

（1）数据接入模块：负责接收和解析终端上传的计量数据, 支持 SSL/TLS 加密传输和数据完整性校验;

（2）订单管理模块：与充电运营平台对接, 通过标准化接口获取充电订单信息, 建立订单数据与检定数据的关联关系;

（3）检定分析模块：根据检定规程要求, 实现误差计算、误

差分析等功能, 支持规则的可配置化管理;

（4）报告管理模块：自动生成结构化检定报告, 支持多种格式导出和电子签章;

（5）监控预警模块：实时监测系统运行状态, 对异常情况发出预警信息。

检定流程图如图 2 所示:

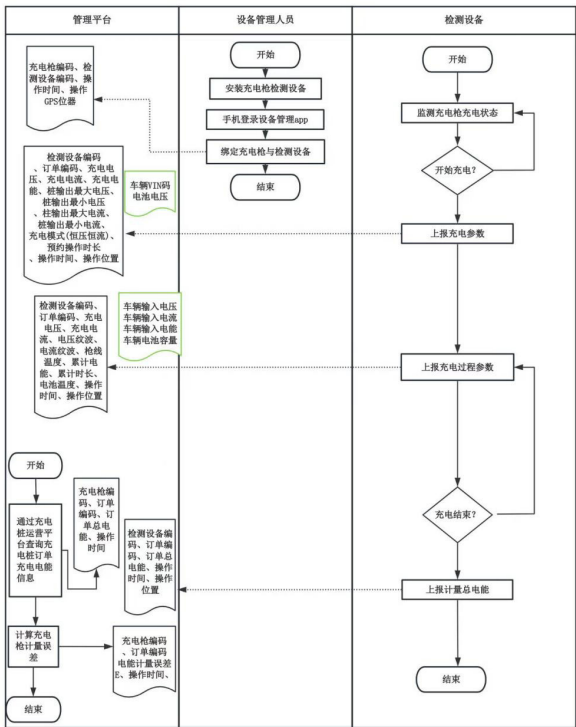


图 2：随冲随检流程图

五、总结

本研究成功设计了一套基于订单电量远程比对的充电桩计量检定系统, 有效解决了传统人工检定效率低、覆盖难的问题。该系统通过高精度测试仪、多源时钟同步和充电订单自动识别技术, 实现了对交流 / 直流充电桩的“边充边检”式远程在线检定, 可满足对 1 级和 2 级充电桩的检定需求, 显著提升了检定效率与自动化水平。安全传输方面, 采用国密算法与 APN 专网保障了数据可信性。应用表明, 该系统为充电设施规模化计量监管提供了可靠技术支撑。展望未来, 将进一步增强系统在网络不稳定条件下的鲁棒性, 并探索引入人工智能算法, 实现故障预测与健康管理, 推动检定模式从“定期检查”向“状态监管”转变。同时, 将积极参与相关标准制定, 促进该技术的规范化推广与应用。

参考文献

[1] 国家电网公司. 电动汽车充电桩检定规程: Q/GDW 11192—2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
[2] 王建军, 等. 基于物联网的充电设施远程监测系统[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(10): 120-126.
[3] 李晓峰, 等. 电动汽车充电桩电能计量误差分析与远程检定方法[J]. 电测与仪表, 2022, 59(5): 88-94.