

快速检测工装应用对提升检测维护效率的研究

王 森

上海申通地铁集团有限公司技术中心 上海 200030

摘要：以上海地铁专用无线宽带集群终端为研究对象，针对其检测维护效率低、流程不规范等问题，基于《上海地铁专用无线宽带集群终端接口规范》研发专用快速检测工装。阐述工装的设计思路、硬件架构与软件系统设计方案，分析其在终端入库检测、日常巡检、故障维修、报废检测等全生命周期运维中的应用场景，并通过试点应用验证工装的实际效果。结果表明，该工装可将单台终端全项检测时间缩短70.6%，故障定位准确率提升至98%，试点期间节约维护成本约80万元，同时推动运维标准化率提升至95%。快速检测工装的应用有效解决了传统检测维护模式的痛点，显著提升了地铁专用无线通信终端的运维效率，为上海地铁运维模式智能化、高效化转型提供了实践支撑，也为同类城市轨道交通通信设备运维提供了参考。

关键词：城市轨道交通；上海地铁；专用无线宽带集群终端；快速检测工装；检测维护效率；运维标准化

引言

作为全球运营里程最长、客运量最大的城市轨道交通网络之一，上海地铁截至 2025 年底已开通线路 20 余条，运营里程突破 800 公里，在用专用无线宽带集群终端超 10000 台。该终端作为行车指挥、应急抢险、现场作业的核心通信载体，其运行稳定性直接关系地铁运营安全，但长期高频使用、复杂运行环境及设备老化等因素导致终端故障频发。传统人工检测模式存在流程繁琐、故障定位不准、标准化程度低等问题，难以满足大规模终端运维需求。

1 相关理论与技术基础

1.1 专用无线宽带集群终端分类与要求

上海地铁专用无线宽带集群终端分为车载终端、固定终端、调度终端三类，承担语音调度、数据传输、视频回传、定位监测等核心功能。根据接口规范要求，终端需满足通信距离、传输速率、抗干扰能力、环境适应性等性能指标，其中电源接口、数据接口、射频接口等接口性能为标准化核心，是检测维护的关键要点^[1]。

1.2 集群终端接口规范核心内容

该规范明确了终端接口的通用设计原则、具体技术参数、标准化测试方法及设备兼容性要求，统一了不同厂家终端的接口标准与检测标准，解决了接口不统一、检测流程不一致的问题，为快速检测工装的研发提供了明确的技术依据，确保工装可实现各类终端的标准化检测。

1.3 快速检测工装核心技术

快速检测工装的研发依托三大核心技术：自动化检测技术，通过数据采集、信号处理与自动控制，实现终端参数的自动采集、分析与判断，替代人工操作；故障

诊断技术，基于规则与数据挖掘算法，实现故障类型、位置及原因的快速识别；数据通信技术，采用以太网、RS232 等标准化接口，实现工装与终端、上位机的实时数据传输，为运维决策提供数据支撑。

2 快速检测工装设计

2.1 设计思路与原则

2.1.1 设计思路

围绕适配性、高效性、精准性、便捷性四大核心，严格遵循接口规范要求，确保工装适配各类终端；集成自动化检测功能，优化检测流程，缩短检测时间；采用高精度数据采集与信号处理技术，提升检测与故障诊断精度；设计简洁直观的人机交互界面，简化操作流程，实现检测数据的智能化管理^[2]。

2.1.2 设计原则

- 1) 标准化原则：所有接口、测试方法均符合上海地铁专用无线宽带集群终端接口规范，确保通用性与兼容性；
- 2) 可靠性原则：选用高稳定性软硬件组件，保障工装在地铁复杂运维环境中稳定运行；
- 3) 可扩展性原则：采用模块化设计，预留扩展接口，适配终端设备升级与规范更新；
- 4) 经济性原则：在满足功能与性能要求的前提下，优化设计方案，控制研发与制造成本，便于大规模推广。

2.2 功能需求与性能指标

2.2.1 核心功能

工装需具备接口检测、性能测试、故障诊断、数据管理、兼容性测试及便捷操作六大功能，可检测终端各类接口参数、评估整体性能、快速定位故障并提供维护建议，同时实现检测数据的存储、查询、分析与标准化

报告生成,支持手动与自动双操作模式^[3]。

2.2.2 关键性能指标

电压检测精度 $\pm 0.01V$, 电流检测精度 $\pm 0.001A$, 传输速率检测精度 $\pm 1\%$; 单台终端全项检测时间 ≤ 5 分钟, 较传统人工检测缩短 70% 以上; 支持以太网、射频等多种接口, 连续工作时间 ≥ 8 小时, 无故障运行时间 ≥ 1000 小时; 工作温度 $-10^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$, 适配地铁站、车辆基地等复杂环境; 以太网传输速率 $\geq 100Mbps$, 无线通信传输速率 $\geq 10Mbps$ 。

2.3 硬件架构设计



图1 快速检测工装的外观示意

工装硬件采用模块化功能设计和一体化结构外观设计, 便于现场携带与操作, 如图1所示, 其设计主要由六大模块组成:

1) 核心控制模块: 采用主频 $\geq 2.4GHz$ 的高性能嵌入式处理器, 为工装控制核心, 负责数据处理、模块协同与故障诊断;

2) 数据采集模块: 搭载高精度采集芯片, 实现终端电压、电流、信号强度等参数的快速精准采集;

3) 接口适配模块: 集成以太网、射频、列车急停等多种接口, 具备自动接口识别功能, 适配各类终端;

4) 显示操作模块: 配备 10.1 英寸触摸显示屏 (1280×800 分辨率), 搭配物理按键, 实现人机交互与紧急操作;

5) 电源模块: 宽电压输入 (9V~24V), 具备过压、过流、短路保护, 支持外置备用电池, 续航 ≥ 2 小时;

6) 数据通信模块: 采用以太网 + 4G/5G 双通信方式, 支持数据加密传输, 实现与上位机的实时数据交互。

2.4 软件系统设计

软件系统采用分层设计, 分为底层驱动层、核心功能层、应用层, 各层相互独立又协同工作:

1) 底层驱动层: 包含接口、数据采集、显示、通信等驱动程序, 实现硬件设备的精准控制与热插拔适配;

2) 核心功能层: 由接口检测、性能测试、故障诊断、数据管理模块组成, 是工装功能实现的核心, 可完成终端参数检测、故障分析与数据存储; 3) 应用层: 包

含参数设置、检测控制、结果显示、报告生成模块, 提供中文可视化操作界面, 支持检测报告 PDF、Excel 格式导出与打印。

2.5 调试与校准

工装研发完成后, 开展全流程调试与校准: 硬件调试检查模块连接与运行稳定性; 软件调试验证功能完整性与运行流畅性; 采用标准检测设备进行精度校准, 调整采集参数确保检测精度达标; 选取不同厂家、不同类型的终端进行兼容性测试, 确保工装适配上海地铁所有专用无线宽带集群终端。经调试校准, 工装各项性能指标均达到设计要求。

3 实际应用效果分析

选取上海地铁 3 条涵盖不同供应商终端的线路作为试点, 将快速检测工装应用于 6 个月的终端检测维护工作, 共完成 800 台次终端检测 (入库 200 台次、巡检 400 台次、维修 150 台次、报废 50 台次), 通过对比工装应用前后的检测维护数据, 量化分析应用效果。

3.1 检测效率显著提升

工装应用后, 各类检测环节时间大幅缩短: 单台终端全项检测从 17 分钟缩至 5 分钟, 缩短 70.6%; 批量检测 100 台从 40 小时缩至 8 小时, 缩短 80%; 日常巡检单台从 5 分钟缩至 2 分钟, 缩短 60%; 故障排查从 15 分钟缩至 3 分钟, 缩短 80%; 报废检测从 18 分钟缩至 5 分钟, 缩短 72.2%。批量检测效率提升尤为显著, 有效解决了大规模终端检测效率低的问题^[4]。

3.2 维护成本大幅降低

维护成本 (人力、备件、时间) 全面下降: 试点线路运维人员从 12 人减至 6 人, 人力成本降低 50%; 备件成本从 150 万元降至 120 万元, 降低 25%, 有效减少了误修、漏修导致的备件浪费; 故障影响时长从 100 分钟缩至 30 分钟, 时间成本降低 70% 以上。试点期间, 3 条线路共节约维护成本约 80 万元, 经济性显著。

3.3 故障处置效果大幅改善

工装的精准故障诊断能力提升了故障处置质量: 故障定位准确率从 70% 提升至 98%, 故障处置成功率从 75% 提升至 99%, 故障复发率从 15% 降至 2%。精准的故障定位避免了传统人工排查的误判、漏判问题, 大幅提升了终端设备的运行稳定性。

3.4 运维标准化水平显著提高

工装严格遵循接口规范, 实现了检测方法、检测标准、检测报告的全面标准化, 解决了传统人工检测流程不统一、数据不规范的问题。试点线路终端检测维护标准化率从 60% 提升至 95%, 运维操作更加规范, 检测数据更加

准确，为运维管理与决策提供了可靠的数据支撑。

4 问题与优化建议

4.1 应用中存在的问题

试点应用过程中，工装仍存在以下问题：1) 对部分老旧终端，因接口老化、参数偏差导致适配性不佳，检测数据准确性受影响；2) 软件系统长时间连续检测时，偶尔出现卡顿、闪退等问题，影响检测工作连续性；3) 部分运维人员对工装操作流程不熟悉，操作熟练度不足，未能充分发挥工装效率；4) 工装检测数据与上海地铁现有运维管理系统对接不畅，数据实时共享与深度分析能力不足。

4.2 优化建议

针对上述问题，结合上海地铁运维需求，提出以下优化建议：1) 优化兼容性：升级接口适配模块，增加接口老化检测与补偿功能，建立终端设备信息数据库，实时更新参数，提升对老旧终端的适配性；2) 提升软件稳定性：对软件系统进行迭代升级，修复漏洞，优化数据处理算法，增加容错机制，避免因数据异常、硬件故障导致的软件故障；3) 加强人员培训：制定系统的工装操作培训计划，开展理论+实操培训与考核，提升运维人员的操作熟练度与故障诊断能力；4) 完善数据共享机制：打通工装与地铁现有运维管理系统的接口，实现检测数据实时共享，引入大数据分析技术，挖掘设备运行规律与故障隐患，为运维决策提供科学支撑；5) 拓展工装功能：结合 5G、物联网技术，增加终端固件远程升级、设备远程检测功能，进一步提升运维效率，推动运维模式智能化^[5]。

5 结论与展望

5.1 研究结论

1) 基于《上海地铁专用无线宽带集群终端接口规范》研发的快速检测工装，实现了与上海地铁各类专用无线宽带集群终端的精准适配，具备接口检测、性能测试、故障诊断等完整功能，满足终端全生命周期运维需求；2) 工装可广泛应用于终端入库检测、日常巡检、故障维修、报废检测等场景，实现了检测维护流程的标准化、自动化，有效解决了传统人工检测模式效率低、精度差、流程繁琐等痛点；3) 试点应用表明，该工装可

将终端检测时间缩短 60% 以上，故障定位准确率提升至 98%，运维标准化率提升至 95%，试点期间节约维护成本约 80 万元，显著提升了检测维护效率与运维质量，降低了运维成本；4) 快速检测工装的应用为上海地铁专用无线宽带集群终端的高效运维提供了可靠支撑，保障了终端设备的运行稳定性，为地铁运营安全提供了通信保障，同时推动了上海地铁运维模式向智能化、高效化转型。

5.2 研究展望

随着上海地铁网络的持续扩展与技术升级，专用无线宽带集群终端的种类与数量将持续增加，对检测维护效率的要求将进一步提高。未来将围绕以下方向开展研究：1) 智能化升级：引入人工智能、机器学习技术，实现终端故障的预测性诊断，提前识别潜在故障，推动从“事后维修”向“事前预防”转变；2) 功能拓展：结合 5G、物联网技术，开发远程检测、远程维护功能，实现终端设备的远程监控与故障处置，减少现场运维工作量；3) 一体化检测：优化工装兼容性，实现对地铁通信系统基站、调度台等其他设备的检测，构建地铁通信设备一体化检测维护平台；4) 推广应用：将快速检测工装在上海地铁全网络推广，同时总结应用经验，形成标准化的应用方案，为国内其他城市地铁专用无线通信设备的检测维护提供实践借鉴，推动城市轨道交通通信运维水平的整体提升。

参考文献

- [1]上海市住房和城乡建设管理委员会。城市轨道交通专用无线通信系统技术标准(DG/TJ08-104-2022)[S].上海:上海市住房和城乡建设管理委员会,2022.
- [2]上海申通地铁集团有限公司。上海地铁专用无线宽带集群终端接口规范[S].上海:上海申通地铁集团有限公司,2021.
- [3]张磊。城市轨道交通专用无线终端检测技术研究[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(8):78-82.
- [4]黄旭。城市轨道交通LTE无线集群系统运维技术探讨[J].城市轨道交通研究,2021,24(S1):156-158.
- [5]李建明。轨道交通专用通信设备智能化检测工装研发与应用[J].中国设备工程,2022(19):102-104.