

通信电源配套线缆测试工装的设计与应用

张一帆, 赵清风*, 宋家铭, 佟金源

(大连柏盛源科技有限公司, 辽宁 大连 116031)

摘要 针对通信电源配套线缆在装配与运维环节中存在的人工检测效率低、一致性差、误检风险高等问题, 提出一种基于单片机控制的线缆测试工装。该工装由供电与稳压、检测采样、主控逻辑、人机交互和可替换转接线模块构成, 能够完成通断、短路及线序异常检测, 并通过拨码开关实现多芯数配置。以生产现场 40 根通信线缆为样本进行对比测试, 结果显示: 与传统人工方法相比, 工装方案总测试时长由 40 min 降至 20 min, 单根平均测试时长由 1.0 min 降至 0.5 min, 误检数量由 1 根降至 0 根。结果表明, 该工装可显著提升检测效率与一致性, 适用于相关线缆的批量检验与维护复测场景。

关键词 线缆测试; 通信电源; 工装设计; 自动化检测; 可靠性

中图分类号: TM247

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.001

0 引言

在通信电源系统中, 配套线缆承担供电与控制信号传输任务, 其连接质量直接影响设备运行稳定性。在线缆连接环节出现开路、短路或错序时, 不仅会增加设备运行风险, 也会加大故障排查难度^[1-2]。随着现场安装与维护对测试效率、一致性和可追溯性要求不断提高, 传统手工逐点测量方式已难以满足批量检测和统一判据的需求^[3-5]。因此, 设计一种结构简洁、检测快速、结果明确的线缆测试工装具有实际意义。本文围绕线缆检测对象、故障类型、检测方法及应用效果展开研究, 并通过 40 根样本对比试验验证工装的效率与准确性。

1 测试需求分析与总体方案

1.1 应用场景与测试对象

本文所用工装主要用于通信电源相关装配和维修过程中的低压控制线、信号线及配套连接线的出厂检验与复测。考虑到现场测试既需要快速筛选, 也需要异常定位, 工装设计兼顾了效率与故障识别需求。

被测对象为多芯线缆, 端 A 与端 B 分别连接工装两侧接口, 芯线数量记为 N。为适配不同连接器类型, 工装采用可替换转接线结构, 避免针对不同类型线缆重复配置专用测试平台。

1.2 故障类型与评价指标

结合通信电源安装与维护中的典型风险点, 本文定义四类目标故障: (1) 开路故障: 目标芯线无导通; (2)

短路故障: 目标芯线与多个端子形成非预期导通; (3) 线序错误: 目标芯线导通至错误端子; (4) 接触不稳定: 重复检测结果不一致。评价指标包括总测试时长、单根平均测试时长、误检数量和重复性表现。上述指标兼顾效率和质量, 可用于量化工装在批量生产与维护复测中的综合效能。

1.3 总体架构

工装总体结构如图 1 所示, 由外壳、电路板、插座、按键、指示灯、显示器和拨码开关构成。结构设计遵循“硬件解耦、功能分层、接口可替换”的原则。

2 工装设计与实现

2.1 硬件模块设计

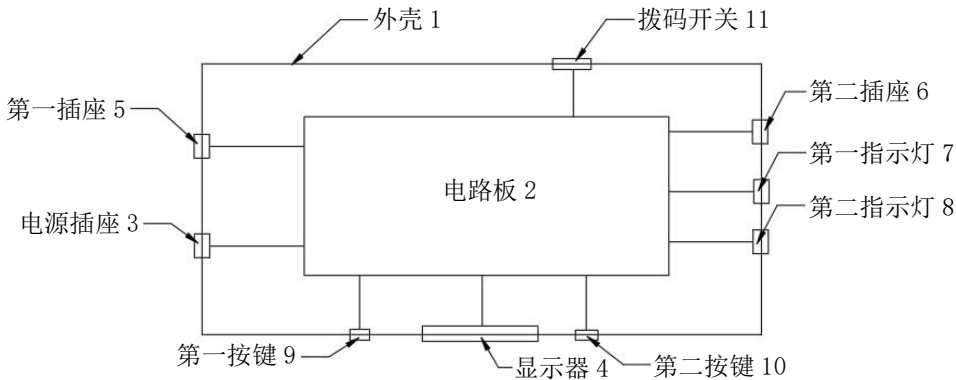
为兼顾测试稳定性和现场可维护性, 硬件分为五个层级: (1) 供电与保护层: 输入 DC12V, 经稳压后提供主控与采样工作电压, 并设置基础过压 / 反接防护;

(2) 采样检测层: 完成端口激励与回读采样, 输出导通状态数据; (3) 主控决策层: 由单片机执行扫描、判据计算和结果管理; (4) 参数配置层: 通过拨码开关设置芯数 N, 支持多规格线缆复用; (5) 交互显示层: 显示测试状态和故障编号, 指示灯给出运行阶段提示。电路板内部功能分区如图 2 所示, 供电电路、主控电路、检测电路、按键电路、显示电路和指示灯电路协同工作。

本文工装采用“主控集中判定 + 接口模块化适配”的结构, 在保证功能完整的同时控制系统复杂度。针对现场电磁干扰风险, 布线采用检测通道与控制通道

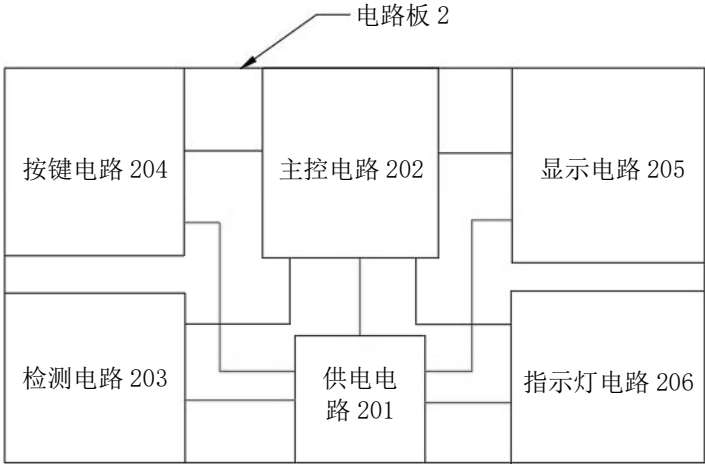
作者简介: 张一帆 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 地铁车辆。

***通信作者**: 赵清风 (1980-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 机械电子工程。E-mail: zhaqingfeng2005@163.com



(注：1- 外壳，2- 电路板，3- 电源插座，4- 显示器，5- 第一插座，6- 第二插座，7- 第一指示灯，8- 第二指示灯，9- 第一按键，10- 第二按键，11- 拨码开关。)

图 1 线缆测试工装结构示意图



(注：201- 供电电路，202- 主控电路，203- 检测电路，204- 按键电路，205- 显示电路，206- 指示灯电路。)

图 2 电路板模块组成示意图

分离原则，缩短敏感采样路径，降低误触发概率。

2.2 检测模型与判据

设端 A 端子集合为 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ ，端 B 端子集合为 $B=\{B_1, B_2, \dots, B_N\}$ 。系统按序对 A_i 施加检测激励并采样 B 端响应，形成导通映射矩阵 M：

$M(i, j)=1$ ，表示 A_i 与 B_j 导通； $M(i, j)=0$ ，表示 A_i

与 B_j 未导通。理想线序条件下，每一行仅有一个“1”，且满足 $i=j$ 。故障判据见表 1。

2.3 软件流程与状态机

软件采用状态机组织检测流程，避免人工流程漂移。核心状态顺序为：S0 初始化、S1 读取拨码参数、S2 待测确认、S3 逐线扫描、S4 矩阵判定、S5 显示通过、

表 1 线缆故障类型与判据

故障类型	矩阵特征	输出信息
开路	第 i 行全为 0	提示“第 i 芯开路”
短路	第 i 行中 1 的数量 > 1	提示“第 i 芯疑似短路 / 串接异常”
线序错误	第 i 行仅一个 1 且位置 $j \neq i$	提示“ $i \rightarrow j$ 错序”
接触不稳定	多轮扫描矩阵不一致	提示“接触不稳定，建议复测”

(注：判据输出同时用于返修定位，减少复核时间。)

S6 显示故障编号与类型、S7 等待复位。流程采用参数先行、扫描后判定、结果可复核的闭环模式，并引入多轮一致性检测，以提高对接触不稳定问题的识别可靠性。

2.4 关键参数与工程化约束

参数设置遵循以下原则：（1）稳定优先：保证主控与采样供电稳定，避免阈值漂移引发误判；（2）节拍优先：在满足端口建立时间的前提下缩短扫描周期；（3）判据统一：通断阈值和结果输出规则固化，避免班组差异；（4）可维护性优先：转接线、接口和按键采用可替换设计。在工装实现中，采用固定判据和状

表 2 工装方案与人工方案对比结果

方案	线缆数量 / 根	总测试时长 / min	单根平均测试时长 / min	误检数量 / 根
工装方案	40	20	0.5	0
人工方案	40	40	1.0	1

试时长均较人工方案降低 50%；人工方案误检率为 2.5%（1/40），工装方案误检率为 0。说明在当前样本规模下，工装方案在效率和准确性上均优于人工方案，且更利于返修定位。

4 讨论与应用价值

4.1 典型应用场景

该工装可用于以下场景：（1）通信电源配套线缆出厂全检；（2）机房安装后的联调前复检；（3）维护检修中的故障复现与定位；（4）多型号线缆混线生产下的快速筛查。

4.2 当前边界

本文方案主要关注低压导通类检测，未涉及绝缘耐压、耐压击穿等高压电气性能项目。对强电磁干扰或极端环境条件下的工程应用，还需结合现场屏蔽、接地及环境适应性设计进一步检验。工装判据的长期稳定性与接口磨损有关，需建立周期性校准和点检体系。

4.3 工程实施建议

为确保推广效果，建议同步实施三项措施：（1）建立标准作业指导书，统一插接、设置、启动、复位与复测流程；（2）建立“班组—设备—样本”三维记录，提升测试可追溯性；（3）建立点检与维护制度，重点核查接口状态、供电稳定性与显示告警功能。以上措施有助于将工装效益稳定转化为质量与效率收益。

态机调度，用确定性的逻辑代替经验性判断，以提高测试结果的一致性。

3 实验验证与结果分析

3.1 试验条件与方法

在生产现场选取同批次 40 根通信线缆，分别采用“工装方案”和“人工方案”完成全检。两组试验均由同班组执行，记录总测试时长、单根平均测试时长和误检数量，终止条件为“完成全检并形成记录”。

3.2 对比结果

对比结果见表 2。

由表 2 可知，工装方案总测试时长和单根平均测试

5 结论

本文围绕通信电源相关线缆检测需求，完成了线缆测试工装的设计、实现与现场验证。主要结论如下：（1）通过“逐线激励—矩阵判定—状态机执行”的方法，可实现通断、短路、错序与接触不稳定的统一检测；（2）在 40 根样本对比中，工装方案总测试时长与单根平均时长均降低 50%，误检数量由 1 根降至 0 根；（3）工装方案在结构复杂度可控前提下实现了效率提升与一致性增强，具有通信电源工程场景下的推广应用价值。未来将围绕扩大样本规模、完善数据导出能力和补充更高层级电气性能测试展开，以进一步提升方案通用性与工程稳健性。

参考文献：

- [1] 丁云飞,鲁云涛.高效智能的通信电源技术发展趋势分析[J].中国宽带,2025,21(07):151-153.
- [2] 叶猛.通信电源系统的电气安装技术创新与效能提升[J].中国信息界,2024(09):42-44.
- [3] 王雪涛.通信电源启动冲击电流与电磁干扰性能优化[D].吉林市:吉林化工学院,2024.
- [4] 张乐,周体民,温长亮,等.通信电源监控系统运行维护与管理[J].中国新通信,2021,23(08):41-42.
- [5] 田云霞,张青云,林海霞.多路通信电源欠压锁定电路数字控制方法研究[J].电源学报,2021,19(03):147-152.