

铁路信号系统联锁试验施工中的关键节点控制策略

魏鹏

国家能源集团新朔铁路有限责任公司新准铁路，甘肃省白银市，730900；

摘要：铁路信号系统联锁试验施工是行车安全核心，决定联锁正确性与设备稳定性。本文以微机联锁技术为核心、结合信联闭一体化需求，剖析施工前准备等五大关键节点，针对风险提出资质管控、规范落地等策略。经华东某高铁枢纽站场验证，该策略可将信号系统故障停机率降至 0.03 次/千小时，较行业平均低 67%，为联锁试验施工提供标准化方案。

关键词：铁路信号系统；微机联锁；联锁试验；信联闭；关键节点控制

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.045

引言

铁路是国家综合交通骨干，运输安全与效率依赖信号系统精准控制，联锁试验施工是信号系统“故障导向安全”的关键工序。随微机联锁技术普及，信号系统升级为软件化、智能化控制，联锁关系复杂度升 3-5 倍，信联闭子系统协同逻辑达数百项。据《中国铁路安全发展报告（2024）》，联锁试验施工疏漏致信号故障占铁路行车事故诱因 23%，道岔密贴超标等是主因。故围绕微机联锁技术特性，构建全流程关键节点控制体系，对保障铁路运输安全意义重大。

1 铁路信号系统联锁试验施工流程概述

1.1 施工前准备

作为联锁试验基础环节，需完成“人-机-料-法-环”全要素筹备：人员组建含信号工程师、调试技师的专业团队；技术资料收集微机联锁系统原理图、信联闭接口协议等文件；设备材料完成转辙机、轨道电路、闭塞机等核心设备质量核验，确保符合微机联锁系统兼容性要求。

1.2 联锁关系设计与审核

以微机联锁系统为核心，结合站场布局、行车密度（日均接发列车 300 列次以上需双机热备架构）、列车类型（动车组信号响应速率 $\leq 0.3s$ ）设计联锁逻辑，明确信联闭协同规则。设计后由多专业团队审核软件逻辑、硬件接口及闭塞协议兼容性，避免“信号显示与闭塞分区不匹配”等问题。

1.3 设备安装与调试

按微机联锁系统安装规范，完成信号机（定位误差 $\leq 50mm$ ）、道岔（分部位控制密贴间隙）、轨道电路（分路残压 $\leq 7.4V$ ）及闭塞设备的安装；调试阶段遵循“单

机测试-子系统联调-信联闭协同调试”顺序，采用专用测试仪器校验设备参数，确保各子系统符合微机联锁控制要求。

1.4 联锁试验实施

包含室内模拟与室外现场两类试验：室内通过微机联锁仿真平台，模拟 200+故障场景（如道岔断表示、闭塞分区占用）验证逻辑安全性；室外在天窗时段开展信联闭一体化测试，核对信号机显示、道岔动作与闭塞机状态的协同一致性。

1.5 验收与交付

依据国家及行业标准，对试验报告、设备参数、信联闭协同性能进行全维度验收，验收合格后交付运营单位，并提供 1 年以上的跟踪维护服务。

2 关键节点控制策略

2.1 施工前准备阶段的控制策略

2.1.1 人员管理

实施“资质核验-分层培训-动态考核”三级管控。资质上，信号工需持中级及以上《铁路信号工职业资格证书》，联锁试验人员额外持铁路总公司核发的《信号联锁试验资格证书》，持证率 100%。培训开展 15 天专项课程，涵盖《计算机联锁技术条件》解读、微机联锁故障排查、信联闭协同测试，经仿真平台考核（实操 ≥ 90 分）方可上岗。考核将“道岔调试准确率”“试验数据完整性”纳入月度绩效，激励规范操作。

2.1.2 技术资料管理

建立“专人负责-全员研学-动态修正”机制。指定 2 名信号工程师专职管理资料，含标注 CPU 冗余路径的微机联锁原理图、明确数据格式的信联闭接口协议及设备手册，加密云盘存储保完整。组织 3 次技术交底，用

三维建模演示微机联锁逻辑,确保人员理解“双机热备切换信号保持机制”。施工中发现资料矛盾(如轨道电路配线图与实际不符),24小时内联动设计单位出变更单,同步更新版本并留存记录。

2.1.3 设备及材料管理

构建“供应商准入-双重检验-全周期防护”体系。供应商需有《铁路信号设备生产许可证》且近3年无质量投诉。检验时,施工单位与第三方分别测试ZD6型转辙机(动作时间 $\leq 3.8\text{s}$)、JZXC-480型轨道电路(分路灵敏度 $\leq 0.06\Omega$)、微机联锁主机(双机切换 $\leq 0.5\text{s}$),双合格方可入库。存储控温湿度(15-25℃、40%-60%),运输用防震泡沫,全程记录状态(如转辙机振动加速度 $\leq 5\text{m/s}^2$),杜绝隐患。

2.2 联锁关系设计与审核阶段的控制策略

2.2.1 设计规范遵循

严格依据《铁路信号设计规范》(TB10007-2017)、《计算机联锁系统技术条件》(TB/T3027-2015)、《铁路信号联锁试验规程》(TB/T3553-2020)设计,聚焦微机联锁特性:硬件用“二取二”安全冗余架构,单CPU故障不影响系统;软件满足“故障导向安全”,如道岔无表示触发区段红光带。日均接发320列次的枢纽设“进路预锁闭”功能,缩短列车等待时间。通过RailSys软件建模,模拟动集混跑场景,验证逻辑与行车匹配性,建模误差 $\leq 3\%$ 。

2.2.2 多专业协同设计

针对信号、通信、工务、闭塞跨专业需求,建“周会商+共享平台”机制。每周组织设计、厂商、运营单位开会,解决“信号显示与闭塞分区不匹配”“道岔与工务轨距衔接”等问题。用BIM平台共享微机联锁与闭塞机接口参数(传输速率19200bps、CRC校验),通信专业依此配设备;工务提供道岔尖轨磨耗数据,信号专业调转辙机拉力(如磨耗 $\leq 1\text{mm}$ 时设18kN),防专业脱节致联锁失效。

2.2.3 审核机制完善

组建“信号专家+设计+施工+运营”联合审核组,用“代码走查+场景模拟”双维度审核。代码走查校验软件逻辑漏洞(如敌对进路锁闭覆盖异常场景);场景模拟通过仿真平台复现“反向列车退行”等20种极端工况,验证信联闭协同。建问题清单,对“3号道岔定位时S5信号机未防护反向退行”等问题,明确责任人与 ≤ 72 小时整改时限,整改后重测至通过率100%。

2.3 设备安装与调试阶段的控制策略

2.3.1 安装质量控制

定精细化规程,明确道岔分部位密贴标准:尖轨尖端 $\leq 0.2\text{mm}$ (0.2mm塞尺插入 $\leq 10\text{mm}$),第一连接杆 $\leq 0.5\text{mm}$,第二连接杆 $\leq 1.0\text{mm}$;S700K型转辙机校验锁闭杆行程偏差 $\leq 2\text{mm}$ 、表示杆旷量 $\leq 0.5\text{mm}$ 。实施“关键工序旁站制”,信号机用激光测距仪定位(横向 $\leq 30\text{mm}$ 、纵向 $\leq 50\text{mm}$),轨道电路配线线号与图纸100%一致,旁站员实时记数据。密贴超标道岔立即换备用软件,返工重测,不合格项闭环率100%。

2.3.2 调试流程规范

建“单机-子系统-信联闭协同”三级调试体系,依《铁路信号工程施工质量验收标准》(TB10415-2018)设参数阈值:单机测转辙机(电流1.5-2.0A、转换 $\leq 3.8\text{s}$)、信号机(主灯丝电压10.2-11.4V、光强 $\geq 200\text{cd}$)、轨道电路(开路10.5-16V、分路残压 $\leq 7.4\text{V}$);子系统验通信稳定性(丢包率 $\leq 0.1\%$);信联闭协同模拟列车进站,查闭塞分区-信号-进路联动。配信号测试仪(精度 $\pm 0.5\%$)、示波器(带宽 $\geq 100\text{MHz}$)采数据建电子档案;故障定位用“设备+逻辑”双路径,依TB10415-2018确保准确率 $\geq 95\%$ 。

2.4 联锁试验实施阶段的控制策略

2.4.1 试验方案制定

试验人员持《信号联锁试验资格证书》上岗,方案含信联闭一体化内容:目的为“验微机联锁逻辑、信联闭协同”;内容含信号与闭塞匹配(如分区占用信号不开放)、进路与闭塞衔接(如半自动闭塞确认回执后锁闭);步骤按“室内模拟 \rightarrow 室外单机 \rightarrow 室外联调”,室内 ≥ 48 小时,室外选23:00-4:00天窗;分工为“指挥1名、记录2名、防护3名”;安全措施含警示标志、停用区段、应急电源(续航 ≥ 4 小时),方案经运营、监理审批后实施。

2.4.2 室内模拟试验控制

基于微机联锁仿真平台建200+故障场景库,验信联闭逻辑:模拟“道岔断表示”查红光带触发($\leq 0.3\text{s}$)及闭塞机停发码;模拟“闭塞分区虚假占用”验信号关闭与进路解锁;测敌对进路防护(如3道接车时5道发车进路不锁闭)。发现“信号与闭塞不同步”,立即联设计单位改软件,重测至24小时无故障。

2.4.3 室外现场试验控制

按方案“天窗点分层测试”:一时段测信号机与道岔协同,二时段测轨道电路与闭塞机联动,三时段测信联闭全流程。每50米设1名防护员持对讲机联络;试验员用便携测试仪核对信号电压(如进站红灯 $\geq 10\text{V}$)、道岔电流($\leq 2.0\text{A}$),对“7号区段分路残压超标”等问题现场处理(如钢轨打磨),保数据达标。

2.4.4 试验数据记录与分析

2 名专职人员记数据（设备动作时间、信号状态、轨道参数、闭塞机状态），准确率 100%。每日用 SPSS 软件分析，借“参数趋势图”识隐患（如轨道电压波动 >5% 预示电缆绝缘不良）；异常数据（如转辙机电流骤升）2 小时内排查，定整改方案并验证。

2.5 验收与交付阶段的控制策略

2.5.1 验收标准明确

依 TB10415-2018、TB/T3549-2020、TB10418-2018 设 126 项指标：硬件需微机联锁双机切换 $\leq 0.5\text{s}$ 、道岔密贴达标；软件需联锁无漏洞、信联闭响应 $\leq 0.3\text{s}$ ；文档需试验报告完整、设备证齐全。验收分“施工自检→监理复检→业主终检”，每阶段出书面报告，前阶段不合格不进入下一阶段。

2.5.2 验收过程管理

验收组“现场测试+资料审核”：现场抽 20% 进路验联锁（如敌对闭锁）、测轨道分路残压（ $\leq 7.4\text{V}$ ）；资料查试验记录、设备资质。对“2 份报告缺闭塞机数据”下整改通知，72 小时内补测，整改后复核至全达标，合格出具《验收报告》定结论。

2.5.3 交付后的跟踪与维护

施工单位建“1 年跟踪+季度巡检”机制：每月远程监控 CPU 负载、丢包率，每季度现场查道岔润滑、信号光强；2 小时响应运营反馈，24 小时到场处理。交付 3 个月内组织维护培训，1 年期满出《运行评估报告》提优化建议，保障系统稳定。

3 案例分析

以华东地区某高铁枢纽站场为例，该站为区域性枢纽，日均接发列车 320 列次，设 8 条到发线、4 条正线、6 组复式交分道岔，采用 JD-1A 型微机联锁系统，涉及 23 台信号机、46 个轨道区段、18 组道岔及 ZPW-2000A 型自动闭塞设备，信联闭协同逻辑复杂度高。

3.1 施工前准备管控

人员方面，32 名施工人员均持《信号联锁试验资格证书》，5 年以上经验者占 62.5%；开展 15 天培训，仿真考核 28 人合格（通过率 87.5%），实施“1 名资深技师带 2 名新手”的师徒结对制。设备方面，采用“双盲检验”，施工单位与第三方分别测试 ZD6 型转辙机（动作时间 3.5-3.7s）、ZPW-2000A 闭塞机（频率偏差 $\leq 0.1\text{Hz}$ ），87 台套设备全部达标，不合格品追溯率 100%。

3.2 核心环节管控

联锁设计与审核构建“五方协同”体系（设计院、

厂商等），用 CAD 与 RailSys 建模，发现“3 号道岔定位时 S5 信号机未防护反向退行”问题，新增“反向进路锁闭叠加”模块，经 15 次迭代优化解决；针对复式交分道岔设计“多机牵引同步控制”逻辑。安装实施“三检制”，道岔用激光准直仪定位（尖轨尖端密贴 0.1-0.2mm），2 组超标道岔 4 小时内换轨；调试时解决 7 号轨道区段 12mV 谐振干扰（加装 RC 回路后降至 2.8mV），18 组道岔调试合格率 100%。联锁试验采用“数字孪生+天窗分层测试”，室内模拟 200 种故障场景通过率 100%（道岔断表示红光带响应 0.25s），室外 3 个天窗测试 120 条进路，整改 5 处信号与闭塞不匹配问题，试验人员操作规范率 100%。

3.3 验收与交付效果

验收组依 TB10415-2018 测试 126 项指标，微机联锁双机切换 0.4s、信联闭响应 0.28s，均达标；15 天内完成“远程监控界面优化”。投用 1 年来，信号系统故障停机率 0.03 次/千小时，较行业平均（0.09 次/千小时）降 67%，无联锁安全事件，相关经验纳入区域施工指南。

4 结论

本文围绕铁路信号联锁试验施工，以微机联锁为核心、结合信联闭需求，提五大节点策略：施工前“资质+检验”筑基，设计“规范+协同”保逻辑，安装调试“标准+流程”控质量，试验“持证+模拟”验可靠，验收“量化+维护”闭环。案例显策略降风险、提质效。未来智能铁路下，联锁向“云联锁”升级，需研 5G 远程试验、AI 预测、全国数据库，升施工水平保安全。

参考文献

- [1] 张勇. 铁路车站信号联锁试验模拟装置系统设计研究[J]. 交通科技与管理, 2024(5): 89-91.
- [2] 唐学锋. 铁路信号联锁试验模拟控制盘: CN201420222319.4[P]. 2014-07-30.
- [3] 王明辉, 黄峰. 一种铁路信号联锁关系验证系统与方法: CN202211056590.0[P]. 2023-04-18.
- [4] 李万宇. 铁路信号施工联锁试验方法研究[J]. 铁路技术创新, 2019(3): 78-80.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路信号设计规范: TB10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

作者简介: 魏鹏, 19860506, 男, 汉族, 甘肃会宁人, 全日制本科学历, 助理工程师, 研究方向: 铁路信号方向。