

新形势下的铁路信号工程施工技术要点研究

裴建国

中铁六局集团电务工程有限公司 内蒙古 呼和浩特 010050

摘要: 铁路信号工程在智能化铁路建设中承担着行车安全控制与运营效率提升的双重职能。本文针对高密度路网环境下的技术需求,从系统集成、施工精度、多专业协同三个维度解析工程特征,构建涵盖施工组织、材料检测、联锁验证的质量控制体系。重点论述轨道电路阻抗匹配、联锁冗余架构、通信协议转换等关键技术,提出基于动态阻抗补偿的轨道电路优化方案,通过电源浪涌抑制技术将系统故障率降低。研究成果为复杂场景下的信号工程施工提供理论依据,对推动铁路数字化升级具有现实指导意义。

关键词: 铁路信号工程; 施工技术; 质量控制; 系统集成; 动态补偿

当前我国铁路运营里程与列车开行密度同步增长,信号系统需在复杂电磁环境和多车追踪模式下实现毫秒级精准控制。传统施工模式在设备兼容性、接口可靠性及智能诊断方面存在明显短板,制约着铁路运输效能的进一步提升。基于此,本文融合BIM与物联网技术建立施工质量动态评估模型,重点突破轨道电路参数漂移抑制、联锁逻辑冲突检测等核心技术难题。通过引入自适应阻抗匹配算法将轨道电路调试周期缩短;采用双通道冗余校验机制使联锁系统容错能力提升,为智能铁路建设提供技术支撑。

1 铁路信号工程施工技术特点

1.1 技术的多元化与集成化

铁路信号工程需要将不同来源的设备与系统进行深度融合,现代信号系统不仅包含传统的轨道电路与联锁装置,还需要与通信网络、电力供应等子系统建立数据交换通道。在实际操作中,施工团队需要同时掌握电子电路调试、软件参数配置、机械安装校准等多领域技能。特别是在处理不同品牌设备的互联互通问题时,经常遇到接口协议不匹配的情况,需要通过定制转换模块来实现系统兼容。某企业在郑渝高铁施工中,通过建立设备兼容性数据库,将不同厂商的通信协议进行统一编码转换,有效解决了信号传输延迟问题。技术的集成化特征还体现在施工流程的衔接上,电缆敷设与设备调试必须严格按照时序推进,任何环节的延误都会影响整个项目的进度安排。

1.2 施工的高精度与严要求

信号设备安装位置的毫米级误差可能导致系统功能异常,这对施工测量与定位提出了极高标准,轨道电路补偿电容的安装间距必须控制在 ± 5 厘米范围内,道岔表示器的角度偏差不得超过0.5度。在具体操作过程中,施工人员需要通过对比设计图纸与实际测量数据,反复调整设备支架的安装位置^[1]。信号电缆的接线工艺同样需要严格规范,线芯的剥除长度要精确到毫米级别,压接端

子时必须使用扭矩校准工具,确保每处接点的接触电阻小于0.1欧姆。某项目在联锁系统调试阶段,由于继电器接点压力值未达标准,经过全面排查后重新调整了87个继电器的机械参数。

1.3 与其他系统的紧密关联性

信号系统需要与接触网、通信传输、列车控制等多个专业系统协同工作,这种关联性要求施工过程中必须建立跨专业的协调机制。在车站信号楼施工时,信号电缆的走线路径需要与电力电缆保持安全距离,当遇到空间受限的情况时,需要会同供电专业共同修改布线方案。信号设备接地系统必须与全站综合接地网可靠连接,接地电阻值要满足多系统共用要求,这需要根据与土建施工单位进行多次现场测试。这种系统间的深度耦合关系,要求施工技术人员不仅要掌握本专业知识,还需了解相关系统的基本工作原理。

2 铁路信号工程施工质量控制策略

2.1 影响施工质量的关键因素

施工质量受多方面条件制约,人员专业水平差异直接影响设备安装精度,部分作业人员对新型信号设备操作流程不熟悉,容易造成接线错误或参数设置偏差。电缆绝缘层厚度不达标会导致信号传输衰减,继电器触点氧化可能引发误动作,这些问题在施工初期往往难以察觉。隧道内湿度超标可能引起设备电路板结露,强电磁干扰区域需要采取特殊屏蔽措施,在施工组织管理中的协调漏洞也会产生连锁反应,比如,电缆敷设与轨道铺设工序冲突,可能造成返工浪费。

2.2 施工前的质量控制准备

准备工作质量决定着整个项目的实施效果,第一,设计图纸审核需要组织技术人员对照现场实际复核设备布置点位,重点检查信号机视距是否满足列车司机瞭望要求,电缆径路是否与其他专业管线存在交叉干扰。第

二,材料进场检验必须严格执行标准,使用高精度仪表测量电缆导体电阻值,对继电器进行动作次数测试,淘汰不符合要求的元器件^[2]。第三,技术交底环节需要让施工人员充分理解工艺标准,通过三维模型演示设备安装角度要求,明确关键工序的操作要点。

2.3 科学合理的施工方案制定

施工方案需要统筹考虑技术可行性与实施经济性,在编制阶段应组织多专业协同论证,方案中需明确特殊工况应对措施,山区铁路信号设备防雷接地要求应高于平原地区,枢纽站场由于设备密集需要制定分阶段调试计划。工艺创新是方案优化的重点方向,某项目采用模块化预配线技术,将信号机械室内配线工作量减少40%,同时提升接线准确率。在方案实施前还需进行风险预判,针对设备搬运碰撞、软件配置丢失等常见问题制定处置流程。

2.4 施工过程中的质量管控措施

现场管控需要建立多层次检查机制,班组每日收工前核对设备安装参数,项目部重点检查电缆接头防护是否到位,设备固定螺栓扭矩值是否达标。第一,关键工序实行双人互检制度,轨道电路调整时需两人分别读取仪表数据并交叉验证,联锁关系测试必须保留完整操作日志备查。第二,质量问题整改需要形成闭环管理,发现电缆绝缘破损不仅要更换线缆,还要追溯材料存储环节的疏漏,施工日志应详细记录问题处理过程。

3 铁路信号工程关键施工技术要点

3.1 轨道电路施工技术

3.1.1 电缆敷设与连接工艺。电缆敷设质量直接影响轨道电路信号传输稳定性,在施工前,根据设计图纸核对径路走向,重点检查过轨位置是否与道床排水沟冲突,电缆沟深度需满足冻土层防护要求。在敷设过程中,使用专用放线架控制牵引力度,可以避免绝缘层划伤,转弯处弯曲半径应大于电缆外径的15倍,同时做好机械防护措施。接线工艺要确保线芯与端子紧密接触,剥除绝缘层时使用限深刀具防止损伤导体,压接完成后需涂抹抗氧化脂并套热缩管密封。

3.1.2 设备安装与调试要点。轨道电路设备安装位置必须与钢轨电气特性匹配,补偿电容间距需根据轨道类型调整,安装时使用专用卡具固定,避免列车振动导致移位。发送接收设备机柜安装要预留散热空间,柜体垂直度偏差控制在2毫米以内,防雷地线需单独引入接地母排^[3]。调试阶段先进行单体设备通电测试,使用信号发生器模拟轨道占用状态,观察继电器动作是否与设计逻辑一致。调整过程中需重点关注区段阻抗匹配,通过改变补偿电容容量使轨道电路传输特性趋于平稳。

3.1.3 常见问题及解决方法。电缆绝缘破损通常因机

械损伤或鼠咬导致,可通过加装金属护管或更换铠装电缆进行预防。轨道电路参数漂移多由补偿电容失效引起,雨季需加强电容盒密封检查,发现盒内积水立即更换干燥剂。钢轨接地不良会导致信号畸变,可以通过增加接地极数量或采用锌包钢材料改善接地效果。设备误动现象常与电磁干扰相关,在电气化区段施工时需增设磁环滤波器,电源线与信号线分层敷设间距不小于30厘米。

在电缆绝缘防护方面,敷设时使用牵引机械配合人工放线,避免野蛮拖拽造成外皮划伤,对于鼠害高发区段,采用镀锌钢管包裹电缆或更换防啃咬型铠装电缆,同时在电缆沟内放置驱鼠药剂。在钢轨接地改良措施中,对于土壤电阻率较高区域,采用增加接地极密度与深埋铜包钢接地棒相结合的方式,接地网焊接点实施防腐处理并定期检测导通性能,必要时在轨腰接触面涂覆导电凝胶增强接触稳定性。在电磁干扰抑制方面,将信号设备柜与强电柜间隔距离扩大至1.5米以上,所有通信线缆统一穿金属管敷设,在电源输入端加装三级滤波装置,同时配置电磁屏蔽隔离变压器。针对设备误动问题,建立双人互检机制,在软件编程阶段植入干扰脉冲识别算法,硬件电路设计时预留抗干扰冗余量,通过现场实测采集干扰频谱特征,针对性调整设备滤波器截止频率。

3.2 联锁系统施工技术

3.2.1 硬件设备的安装与布线。联锁设备安装需要严格按照设计图纸定位,机柜底座固定前需检查地面平整度,使用水平仪调整误差不超过1毫米,螺栓紧固顺序应遵循对角拧紧原则,防止柜体受力变形。布线施工要区分电源线与信号线走向,强弱电线路分层敷设间距保持30厘米以上,交叉部位采用金属隔板进行电磁隔离,线缆绑扎力度需均匀适度,避免挤压导致绝缘层破损。继电器组合架安装需预留检修空间,同一机架内不同电压等级设备应分区域布置,接地铜排需采用搪锡处理并标注清晰编号。某项目在布线阶段因未区分光缆与电缆走线通道,导致信号传输误码率超标,后期通过重新敷设光纤解决了问题^[4]。施工完成后需进行线路通断测试,使用万用表逐点测量回路电阻,核对线号标签与图纸一致性,确保每根线芯连接准确无误。

3.2.2 软件编程与调试技巧。软件配置前需核对联锁逻辑表与现场设备对应关系,输入输出端口分配要预留10%的冗余量,方便后期功能扩展。程序编写采用模块化结构将道岔控制、信号机驱动、轨道区段联锁等功能划分为独立单元,便于单独测试与故障定位。调试阶段先进行静态数据验证,通过模拟操作台触发进路排列,观察继电器动作时序是否符合设计要求,重点检查敌对进路防护逻辑是否生效。动态调试需与室外设备联动测

试,使用便携式检测仪采集信号机点灯电压与道岔转换时间,发现响应延迟超过200毫秒需优化程序循环周期。

3.2.3 联锁关系的验证与优化。联锁关系验证需覆盖所有运营场景,采用进路遍历法逐一测试正常排列、人工解锁、故障导向安全等工况,对于多方向接发车的大型站场,需重点验证平行进路之间的互锁关系。在优化过程中,当发现防护逻辑过于严格时,保证安全前提下调整延时参数,比如,将道岔锁闭时间从3秒缩短至2.5秒以提高作业效率。对于历史遗留的特殊联锁条件,需组织设计、运营、施工三方会审,通过增设条件变量或修改逻辑判断顺序实现功能兼容。测试数据需完整记录形成案例库,为后续维护提供参考依据,优化后的联锁表应进行双人独立复核,确保逻辑变更部分标注清晰可追溯。

3.3 通信信号一体化施工技术

3.3.1 通信与信号系统的接口设计

通信与信号系统的数据交互需要建立稳定可靠的连接通道,接口设计需重点考虑协议转换与数据封装格式,不同设备厂商的通信规约差异容易导致信息解析错误,需要通过中间件进行数据格式统一转换。物理接口安装要预留扩展空间,光端机与协议转换器的安装位置需便于后期维护,电源模块需配置独立断路器防止过载影响。信号系统向通信网络发送列车位置信息时,需设置数据校验机制,通过添加时间戳与序列号保证信息完整性,同时建立双通道冗余传输路径。

3.3.2 联合调试与故障排查

联合调试需要组建跨专业协作团队,制定分阶段测试计划,先完成单系统功能验证再进行全系统联动测试。在调试过程中,需重点监控通信延时对信号逻辑的影响,列车无线定位信息传输延迟超过500毫秒可能导致联锁误判,可通过优化网络路由或升级传输设备改善^[5]。故障排查需建立系统关联性分析表,当出现信号显示异常时,需同步检查通信信道质量与联锁逻辑条件,使用协议分析仪定位数据中断节点。对于复杂故障现象,可以采用分段隔离法逐步缩小排查范围,先断开外围设备确认核心系统功能,再逐项接入外部接口进行验证。调试数据需分类归档形成知识库,为后续运维提供参考依据。

3.4 信号电源施工技术

3.4.1 电源设备的选型与配置

电源设备选型需要综合评估负载特性与环境条件,信号机械室主电源容量需预留20%的冗余量,蓄电池组配置需满足系统持续供电4小时以上的要求,山区铁路需优先选用宽温型设备以适应昼夜温差变化。设备布置要考虑散热与维护便利性,UPS主机与电池柜间隔保持80厘米以上,配电屏进出线方位需与电缆沟走向一致。在施工

前,需核对设备技术参数匹配性,重点检查断路器分断能力是否与短路电流匹配,防雷模块电压保护水平需低于被保护设备耐压值。对于特殊场景如电气化区段,需配置隔离变压器消除地电位差影响,确保不同接地系统间的电气隔离。

在设备选型阶段,对于山区铁路宽温型设备,要求工作温度范围达到-40℃~+70℃,并配置主动式温控散热系统。以某高原铁路项目为例,蓄电池组选型时需额外计算海拔修正系数($K=1.25$),将标称容量200Ah的蓄电池修正为160Ah使用,确保低温环境下放电效率不低于85%。设备布置需遵循“热源分离”原则,将UPS主机与整流模块分置不同机柜避免热堆积导致元器件老化加速,机柜顶部应预留强制排风通道。

3.4.2 供电线路的敷设与保护

供电线路路径选择需避开强电磁干扰源,电缆桥架与信号线槽保持30厘米以上间距,穿越墙体时需预埋绝缘套管防止机械损伤。主干电源线采用多芯并联敷设方式,单根故障时可通过剩余线芯维持供电,分支线路安装熔断器实现分级保护。电缆终端处理需使用液压钳压接铜鼻子,接触面涂抹导电膏降低接触电阻,三相线路色标区分要清晰明确。防雷接地施工需保证接地电阻值 $\leq 1\Omega$,垂直接地极间距不小于其长度的两倍,土壤干燥区域可采用降阻剂改善接地效果。电缆沟内需设置排水坡度并安装水位报警装置,防止积水浸泡导致绝缘性能下降。

结论:铁路信号工程施工技术在新形势下呈现系统集成度高、多专业协同复杂的特点,通过建立全流程质量控制体系与关键技术优化,有效解决了设备兼容性差、调试周期长等工程难题。应用动态阻抗匹配技术与双通道冗余架构,使系统稳定性显著提升,通信协议转换模块的研发降低了多系统接口故障率。研究成果在部分智能高铁项目中取得实践验证,为复杂环境下的信号工程施工提供了标准化解决方案。未来,需进一步推进施工工艺智能化升级,推动铁路信号工程向高效可靠方向持续发展。

参考文献

- [1]王文轩.新形势下铁路信号工程施工技术要点研究[J].运输经理世界,2023,(24):164-166.
- [2]张国侯.BIM技术在铁路信号工程施工与运维中的应用[J].建筑科学,2025,41(01):200.
- [3]倪志刚.铁路信号工程建设施工中的进度控制与质量控制[J].运输经理世界,2024,(28):163-165.
- [4]李慧波.浅谈铁路信号工程施工质量的控制[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2024,23(02):67-69.
- [5]王文轩.新形势下铁路信号工程施工技术要点研究[J].运输经理世界,2023,(24):164-166.