

铁道信号电源接地故障分析

杨松涛

国能新朔铁路有限责任公司大准分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：铁道信号电源接地故障对铁路行车安全构成严重威胁。故障分为静态和动态两类，静态故障稳定存在，动态故障具有间歇性。接地故障会导致信号设备误动或拒动，进而影响整个信号系统。故障原因涉及环境、人为和设备因素。处理故障需提高设备绝缘性能、优化接地系统设计，并加强地线干扰抑制。预防策略包括提高设备质量、加强运维管理和优化接地系统。确保铁道信号电源稳定，是保障铁路运输安全的关键。

关键词：铁道信号；电源接地；故障处理方法

引言：铁道信号电源接地故障是铁路运输安全中不可忽视的重要问题。随着铁路交通的快速发展，信号系统作为保障列车运行安全与效率的核心，其稳定性与可靠性愈发关键。接地故障不仅影响信号设备的正常工作，还可能引发连锁反应，导致整个信号系统瘫痪，严重威胁铁路运输秩序与安全。因此，深入分析铁道信号电源接地故障的原因、影响及处理方法，对于预防故障发生、保障铁路运行安全具有重要意义。

1 铁道信号电源接地故障概述

1.1 故障定义与分类

1.1.1 静态接地故障与动态接地故障的定义及区别

静态接地故障指信号电源系统中持续存在的接地现象，故障点稳定，接地状态不随设备运行或外部环境变化而改变，如线缆绝缘层永久破损导致的接地。动态接地故障则具有临时性和不确定性，故障点会随设备振动、温度变化、湿度波动等因素出现或消失，例如线缆接头松动在列车经过时因振动形成瞬时接地。二者的核心区别在于稳定性：静态故障的接地状态持续稳定，动态故障的接地状态具有间歇性和易变性。

1.1.2 接地故障的常见形式

单极接地是最常见的形式，指电源系统中某一极（正极或负极）与地发生连通，此时系统仍能短时运行，但存在安全隐患。两极同时接地则更为严重，相当于电源正负极通过大地形成短路，会瞬间引发过流，可能烧毁电源设备。多种电源同时接地多发生在复杂信号系统中，不同电压等级的电源（如220V交流电源、24V直流电源）同时出现接地故障，会导致故障信号相互干扰，增加排查难度。

1.2 故障影响分析

（1）对信号设备的影响。接地故障会破坏信号设备的正常工作电压和电流平衡，可能导致设备误动或拒

动。例如，道岔转辙机因接地故障获得异常电流，可能在未收到指令时突然转换位置；信号机则可能因电压异常错误显示灯光，直接威胁列车运行安全，甚至引发追尾、脱轨等事故。（2）对整个信号系统的影响。单个设备的接地故障若未及时处理，可能通过电源网络引发连锁反应。故障电流会沿着接地回路扩散，干扰相邻设备的信号传输，导致更多设备进入故障状态，严重时会造成整个信号系统瘫痪，中断铁路运输秩序。

2 铁道信号电源接地故障原因探讨

2.1 环境因素

（1）自然环境中的酸雨、潮湿等条件对焊接点的腐蚀作用显著。酸雨含有酸性物质，会逐渐侵蚀焊接点的金属表层，破坏其原有的防护层，导致金属氧化生锈，降低焊点的导电性和稳定性，进而引发接地故障。潮湿环境则会使水分渗透到焊接点缝隙中，加速金属的电化学腐蚀，尤其在南方多雨地区或地下隧道等湿度较高的场所，这种腐蚀作用更为明显，长期下来极易造成焊点绝缘性能下降。（2）设施保护不到位会加剧自然老化问题。若信号电源相关设施的防护外壳损坏未及时修复，或缺乏有效的防潮、防尘措施，外界的灰尘、水汽等会持续侵入设备内部，导致线路绝缘层老化速度加快，金属部件生锈变质。同时，长期暴露在阳光暴晒、温度剧烈变化的环境中，设施材料会出现龟裂、硬化等老化现象，进一步削弱其绝缘性能，增加接地故障的发生概率^[1]。

2.2 人为因素

（1）施工人员责任心不强是引发接地故障的重要原因。在施工过程中，若施工人员操作不规范，如接线时未按照标准流程进行，可能造成人为错线，使不同线路之间出现非正常连接，形成接地隐患。此外，焊点虚接也是常见问题，焊接时未确保焊点牢固、饱满，导致线路接触不良，在设备运行过程中，随着振动等因素影

响,虚接部位容易出现火花,破坏绝缘层,引发接地故障。(2)倒接新旧设备时测试不彻底会留下安全隐患。倒接过程中,若未对设备的连接部位进行全面、细致的测试,难以发现接触不良或绝缘不良的问题。接触不良会导致电流传输不稳定,产生局部高温,损坏绝缘层;而绝缘不良则直接使线路与地之间的绝缘电阻降低,容易形成接地通路,这些问题在倒接后若未及时处理,会逐渐发展为接地故障。

2.3 设备因素

(1)电源设备质量不达标是接地故障的内在隐患。部分电源设备因生产工艺不合格或材料质量差,绝缘性能不符合标准要求,在使用过程中,绝缘层容易被击穿,导致设备内部线路与外壳或地发生连接,形成接地故障。尤其是在高电压、大电流的工作环境下,质量不达标的设备绝缘性能更易失效。(2)接地系统设计不合理会引发一系列问题。若接地系统的布局、导线规格等设计不符合规范,会导致接地电阻不稳定,出现忽高忽低的变化,影响接地效果。同时,设计缺陷可能使接地电位上升,当接地电位超过设备耐受范围时,会破坏设备的绝缘结构,造成线路与地之间的非正常导通,引发接地故障。

3 铁道信号电源接地故障处理方法

3.1 静态接地故障处理方法

(1)提高设备绝缘性能是处理静态接地故障的基础措施。需定期对信号电源设备的绝缘部件进行检查与维护,如更换老化的绝缘垫、绝缘套管等,确保设备各部件之间的绝缘电阻符合行业标准。同时,定期检测接地电阻,采用专用接地电阻测试仪,按照规范流程每季度至少检测一次,确保接地电阻值稳定在 4Ω 以下。若发现电阻值异常,需及时排查接地极腐蚀、连接松动等问题,通过清理锈蚀、紧固连接点等方式恢复正常电阻值^[2]。

(2)优化接地系统设计能从根源上减少静态接地故障。设计时需结合铁路沿线地质条件,选择合适的接地材料,如采用铜包钢接地极提高抗腐蚀能力;合理规划接地网布局,避免接地体之间距离过近导致相互干扰。同时,通过计算确定接地电阻的合理范围,既防止电阻过大影响泄流效果,又避免电阻过小造成不必要的能源损耗,确保接地系统处于稳定高效的工作状态。

3.2 动态接地故障处理方法

(1)加强地线干扰抑制是应对动态接地故障的关键。可在接地线路中增设滤波装置,如安装低频滤波器减少电磁干扰对地线的影响;采用屏蔽电缆包裹接地引线,降低外界信号对地线的干扰。同时,优化接地系统

布局,将信号设备的接地装置与动力设备接地装置保持安全距离(通常不小于5米),避免动力设备运行时产生的动态电流窜入信号接地系统,引发间歇性接地故障。

(2)实时监测电源系统运行状态能实现动态故障的快速响应。安装在线监测装置,对电源电压、电流、接地电阻等参数进行24小时连续采集,通过数据分析系统识别异常波动。当监测到接地电阻瞬时超标、电流出现尖峰等动态故障特征时,立即触发报警机制,通知维护人员携带便携式故障定位仪赶赴现场,结合历史数据快速定位故障点,及时处理线缆接头松动、绝缘层瞬时击穿等问题^[3]。

3.3 特定故障类型处理方法

(1)针对接地电阻变化故障,首先需全面检测接地电阻的变化趋势,通过多次测量绘制电阻变化曲线,判断故障是突发性还是渐进性。若为接地极腐蚀导致的渐进性变化,需更换耐腐蚀接地极并增加接地体数量;若因连接点氧化造成电阻骤升,需清理氧化层并采用放热焊接工艺重新连接,确保接地系统电阻稳定在标准范围内。(2)处理接地电位上升故障时,需从抗干扰角度优化系统。在接地网中增设均衡电位装置,如安装电位补偿器,平衡不同区域的接地电位差;采用深井接地方式,将接地极延伸至低电阻率地层,降低接地电位受地表环境的影响。同时,在信号设备与接地装置之间加装浪涌保护器,抑制瞬时高电位对设备的冲击,提高系统整体抗干扰能力。(3)接地短路故障多由接地线绝缘层破损、误接火线等原因引发,处理时需先断开故障回路电源,使用万用表检测短路点位置。若为接地线破损,需更换具有双层绝缘的专用接地线;若因接地装置与相线误接,需重新梳理线路,调整接地装置的连接方式,确保接地线仅与接地极和设备接地端相连,避免形成短路回路。(4)接地漏电故障通常表现为设备外壳带电、接地线路有微弱电流。处理时需先使用漏电检测仪定位漏电点,若为接地线老化破损导致的漏电,应立即更换截面积符合要求的新接地线;若因接地装置与金属构件接触不良产生漏电火花,需紧固连接螺栓并涂抹导电膏,修复接地装置的导电通路,确保漏电流通过正常路径泄放。

4 铁道信号电源接地故障预防策略

4.1 提高设备质量

(1)在设备选购环节,应优先选择具有良好市场口碑和长期可靠性的品牌产品。需严格审查供应商的资质认证,如是否通过ISO9001质量管理体系认证、铁路行业专用设备认证等,确保设备符合铁道信号电源系统的严

苛标准。同时,参考同行业的设备使用反馈,优先选用经过长期实践验证、故障率低的型号,避免因设备本身质量缺陷埋下接地故障隐患。例如,对于电源模块、绝缘部件等关键设备,需要求供应商提供详细的性能测试报告,重点核查其绝缘电阻、耐腐蚀性等指标。(2)定期对设备进行维护和检查是保持设备质量的关键。制定季度、半年及年度维护计划,内容包括清洁设备表面灰尘、检查绝缘层完好性、测试关键部件的电气性能等。对于焊接点、接线端子等易损耗部位,需采用红外测温仪检测温度变化,判断是否存在接触不良导致的过热现象;对电源设备的绝缘电阻进行周期性测试,确保其值不低于行业规定的最低标准(通常不小于 $10\text{M}\Omega$)。发现设备老化、性能下降等问题时,及时进行维修或更换,避免因设备劣化引发接地故障。

4.2 加强运维管理

(1)制定详尽且具有可操作性的运维管理制度是基础。制度需明确各岗位的职责分工,如巡检人员负责每日设备状态检查、维护人员负责定期检修等;规范运维流程,包括故障上报、排查、处理的具体步骤,以及各类记录表单的填写要求。例如,明确规定巡检时需记录接地电阻值、设备运行温度等关键数据,发现异常时需在2小时内上报并启动应急预案,确保运维工作有章可循、责任到人。(2)定期开展运维人员培训和考核,提升其专业素养和安全意识。培训内容应涵盖接地故障的识别方法、处理流程、安全操作规程等,结合实际案例讲解静态与动态接地故障的区分技巧,以及专用检测仪器的使用方法。考核采用理论测试与实操演练相结合的方式,确保运维人员能够熟练运用故障排查工具,准确判断故障类型并采取正确处理措施。同时,强化安全教育,强调作业时的停电、验电、挂牌等安全步骤,避免因操作不当引发二次故障^[4]。(3)借助现代信息技术手段,实现智能化、自动化的运维管理。引入物联网技术,在关键设备上安装传感器,实时采集接地电阻、温度、湿度等参数,通过云平台进行数据汇总分析,当参数超出阈值时自动报警。利用人工智能算法对历史故障数据进行挖掘,预测设备可能出现的故障风险,提前安排维护。例如,通过大数据分析发现某区域设备在潮湿季节接地故障频发,可提前加强该区域的防潮处理,

实现从“被动维修”到“主动预防”的转变。

4.3 优化接地系统

(1)设计合理的接地网结构是确保接地系统可靠运行的前提。根据铁路沿线的地质条件(如土壤电阻率、湿度等),采用网状、放射状等适合的接地网布局,选用铜材、镀锌钢材等耐腐蚀材料制作接地体,确保接地电阻满足相关标准要求(一般不大于 4Ω)。对于复杂地形区域,可采用深井接地与水平接地相结合的方式,通过增加接地体与土壤的接触面积降低电阻。同时,将信号系统接地与电力系统接地、防雷接地等进行分区设计,避免不同系统之间的干扰,确保接地网的稳定性。(2)定期检查接地系统的运行状态,及时发现并解决存在的问题。每半年对grounding体、接地线、连接点等进行一次全面检查,查看接地体是否有腐蚀、断裂现象,接地线绝缘层是否完好,连接点是否松动。采用接地电阻测试仪定期测量接地电阻,对比历史数据判断是否存在异常变化。若发现接地体腐蚀严重,需及时更换;若连接点松动,需紧固处理并涂抹防氧化涂料,确保接地系统始终处于良好运行状态。

结束语

铁道信号电源接地故障的分析与处理是确保铁路安全运行的关键环节。通过深入剖析故障成因、影响及应对策略,我们构建了全面而系统的知识体系。未来,面对铁路运输的新挑战,持续优化接地系统设计、强化设备维护管理、利用智能技术提升故障预警能力将成为常态。只有不断探索与创新,才能有效防控接地故障,为铁路运输的安全高效提供坚实保障,推动铁路事业稳健前行。

参考文献

- [1]张哲.铁道信号电源接地及混电的处理[J].工程技术:全文版,2020,(06):53-54.
- [2]窦娟,韦冬.铁道信号电源接地及混电的处理[J].科技创新与应用.2021,(13):126-127.
- [3]李平.铁道信号电源接地和混电的分析及处理[J].企业技术开发.2020,(09):94-95.
- [4]李昌竹.信号电源接地及混电分析处理问题研究[J].科技创新与应用,2021,(10):102-103.