

铁道信号联锁设备的故障诊断探讨

王志强

国家能源集团新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：随着铁路运输高速发展，联锁设备故障诊断愈发关键。本文聚焦于铁道信号联锁设备的故障诊断。首先介绍了铁道信号联锁设备的组成、功能及其在铁路运输中的关键作用。接着深入剖析了导致设备故障的常见原因，涵盖硬件、软件、环境以及人为操作失误等方面。随后详细阐述了多种故障诊断方法，包括基于信号监测、逻辑推理、智能诊断技术、远程诊断与监控系统以及故障树分析法等。通过对这些内容的探讨，旨在为铁道信号联锁设备的故障诊断提供全面且系统的理论支持与实践指导，提升铁路运输的安全性与可靠性。

关键词：铁道信号联锁设备；故障诊断；诊断方法

引言：铁路运输作为国家重要的基础设施和国民经济的大动脉，其安全高效运行至关重要。铁道信号联锁设备作为铁路运输的核心控制系统之一，承担着确保列车运行安全、提高运输效率的关键使命。它通过精确的信号控制与联锁逻辑，保障列车在站内和区间有序、安全地行驶。然而，在实际运行过程中，由于多种因素的影响，铁道信号联锁设备难免会出现故障，这不仅会影响铁路运输的正常秩序，甚至可能引发严重的安全事故。因此，深入研究铁道信号联锁设备的故障诊断方法，及时准确地发现并排除故障，对于保障铁路运输安全、提升运输效率具有不可忽视的重要意义。

1 铁道信号联锁设备概述

1.1 设备组成与功能

铁道信号联锁设备由硬件与软件系统协同构成。硬件层面涵盖联锁计算机、安全检验计算机、彩色监视器、微型集中操纵台、安全继电输入输出接口柜，以及轨道电路、色灯信号机、电动转辙机等室外设备。其中，联锁计算机执行核心逻辑运算，安全检验计算机负责故障导向安全校验，输入输出接口柜实现信号采集与设备驱动。软件系统包含车站数据库与联锁逻辑运算程序，数据库涵盖车站赋值表、联锁表等基础数据，应用程序通过模块化设计实现进路选排、信号控制、道岔转换等功能。设备通过电气或计算机系统强制建立信号机、道岔与进路间的安全制约关系，确保列车运行路径唯一性，动态监测轨道区段占用状态，实时更新联锁表数据，并依据故障-安全原则在设备异常时自动导向安全状态^[1]。

1.2 设备在铁路运输中的重要性

铁道信号联锁设备是铁路运输安全的核心保障系统。其通过强制联锁机制避免敌对进路同时建立，从技

术层面杜绝列车冲突风险，确保每列车的运行路径具备唯一性和安全性。在高速铁路场景中，设备需实现毫秒级响应能力，满足350km/h列车运行的安全需求。同时，设备支持车站咽喉区多组道岔协同控制、编组站调车作业自动化等复杂场景，显著提升运输效率。作为故障-安全系统，设备严格遵循任何单一故障必须导向安全侧的原则，在硬件故障、软件异常或环境干扰时自动切断危险输出，维持系统最低安全运行等级。此外，设备通过标准化接口与CTC调度系统、ATP列控系统集成，实现全线信号设备集中监控与智能调度，为铁路运输提供可靠的技术支撑。

2 铁道信号联锁设备常见故障原因分析

2.1 硬件故障

硬件故障是铁道信号联锁设备故障的常见原因之一。电子元件长期运行后，会出现老化现象，如电容漏液、电阻阻值变化等，导致电路性能不稳定。电路板可能因静电、潮湿或机械振动出现虚焊、短路问题，影响信号传输。电源模块若电压不稳定或滤波不良，会使设备供电异常，引发逻辑错误。继电器作为关键执行部件，触点磨损、线圈烧毁会导致动作不可靠。此外，室外设备如轨道电路受雷击、强电磁干扰时，轨道继电器可能误动或拒动；转辙机机械部件卡阻、电机故障，会造成道岔无法正常转换；信号机灯泡烧毁、显示单元故障，会使信号显示错误，这些硬件问题均会威胁行车安全。

2.2 软件故障

软件故障对铁道信号联锁设备运行影响显著。编程错误是主要因素，如逻辑判断条件设置不当，可能导致进路选排错误或信号错误开放；算法缺陷可能使设备在处理复杂联锁关系时出现死锁或溢出。软件版本不兼容，新版本与旧硬件或其他软件模块存在接口冲突，会

引发系统崩溃。数据错误也不容忽视，联锁表数据录入错误、车站数据库参数设置不当，会导致设备依据错误信息控制信号和道岔^[2]。

2.3 环境因素

环境因素对铁道信号联锁设备运行干扰较大。温度方面，设备机房若通风不良，夏季高温会使电子元件性能下降，加速老化；冬季低温可能导致电池容量降低、润滑油凝固，影响设备启动和机械部件动作。湿度过高时，设备内部易结露，造成电路短路、金属部件腐蚀；湿度过低则可能产生静电，损坏敏感电子元件。电磁环境复杂，如附近存在大功率无线电发射设备、电力牵引系统，产生的电磁干扰可能使设备信号失真、误动作。

2.4 人为操作失误

人为操作失误是引发铁道信号联锁设备故障的重要人为因素。操作人员业务不熟练，对设备操作流程和联锁关系理解不深，可能在办理进路时误触按钮、错误输入指令，导致进路错误建立或信号错误显示。违反操作规程，如未确认设备状态就进行操作、未按规定程序进行设备切换或维修，会破坏设备正常运行环境。注意力不集中，在监控设备时未能及时发现异常情况，或误判设备状态，延误故障处理时机。此外，新入职人员未经充分培训就上岗操作，缺乏应急处理能力，面对突发故障时可能操作混乱，进一步扩大故障影响范围，危及行车安全。

3 铁道信号联锁设备故障诊断方法

3.1 基于信号监测的诊断

基于信号监测的诊断是铁道信号联锁设备故障诊断的关键手段，其核心在于通过实时采集与分析设备运行信号，精准定位故障点。(1)该诊断方法依赖全面且精准的信号采集系统。在铁道信号联锁设备中，会布置多种传感器，用于实时监测轨道电路的电流、电压信号，以判断轨道区段是否被占用；同时监测色灯信号机的显示状态信号，确保信号显示正确；还会监测电动转辙机的动作电流、转换时间等信号，以此判断道岔转换是否正常。(2)信号分析环节至关重要。诊断系统运用先进的算法对采集到的信号进行深度分析。例如，采用时域分析法观察信号的波形特征，若轨道电路信号出现异常波动，可能预示着轨道电路存在短路或断路问题；频域分析法可分析信号的频率成分，当信号中出现不该有的频率分量时，可能表明设备受到电磁干扰。(3)基于信号监测的诊断具备实时性与预警功能。系统可以持续不间断地监测设备信号，一旦检测到信号异常，立即发出预警信息，告知维护人员故障可能发生的位置和类型。这种

实时预警机制使得维护人员能够在故障初期及时介入，避免故障的进一步扩大，有效减少故障对铁路运输的影响，保障列车运行的安全与顺畅^[3]。

3.2 基于逻辑推理的诊断

基于逻辑推理的诊断在铁道信号联锁设备故障排查中发挥着关键作用，它凭借对设备联锁逻辑关系的深入剖析来锁定故障根源。(1)该方法依托于对设备联锁逻辑的精准把握。铁道信号联锁设备有着严格且复杂的联锁逻辑，像进路选排、信号开放、道岔转换等操作都必须遵循特定的逻辑顺序和条件。例如，只有在道岔位置正确、轨道区段空闲且敌对进路未建立的情况下，信号机才能开放。诊断人员需对这些联锁逻辑规则了如指掌，以此作为推理的基础。(2)在实际诊断过程中，当设备出现故障时，诊断人员会根据现场观察到的现象，结合已知的联锁逻辑进行反向推理。比如，若发现信号机无法正常开放，就从信号开放所需的条件入手，逐一检查道岔位置、轨道区段状态以及敌对进路情况。若道岔位置正确且轨道区段空闲，但敌对进路显示异常，那么就可以初步推断故障可能出在敌对进路的联锁控制环节。(3)基于逻辑推理的诊断具有系统性和全面性。它不仅仅关注单个设备的故障，而是从整个联锁系统的角度出发，考虑各个设备之间的相互影响和逻辑关联。这种诊断方式可以避免因局部思维而导致的误判，能够更准确地找出故障的本质原因，为后续的维修和恢复工作提供可靠的依据，从而保障铁道信号联锁设备的稳定运行。

3.3 智能诊断技术

智能诊断技术为铁道信号联锁设备故障诊断带来了革新性变化，极大地提升了故障诊断的效率与准确性。(1)智能诊断技术借助大数据与机器学习算法，构建起强大的故障预测模型。通过收集大量设备正常运行及故障状态下的数据，涵盖信号参数、设备运行时长、环境因素等多维度信息，利用机器学习算法对这些数据进行深度挖掘与分析。经过训练后的模型能够精准识别设备运行的细微变化，提前预测潜在故障。(2)智能诊断技术融合了专家系统，模拟人类专家的诊断思维与经验。专家系统内嵌了丰富的铁道信号联锁设备故障诊断知识库，包含各种故障现象、原因及对应的处理方法。当设备出现故障时，系统依据输入的故障信息，在知识库中进行快速匹配与推理，迅速给出可能的故障原因及解决方案。(3)智能诊断技术具备自我学习与优化能力。随着设备运行时间的增长和新故障案例的积累，系统能够不断学习新的故障特征与处理方法，自动更新知识库与预测模型。这种自我进化能力使得智能诊断技术能够适应设

备不断变化的工作环境和故障模式，始终保持较高的诊断准确性和可靠性，为铁道信号联锁设备的稳定运行提供坚实保障。

3.4 远程诊断与监控系统

远程诊断与监控系统在铁道信号联锁设备运维管理中扮演着至关重要的角色，为保障铁路运输安全与高效运行提供了有力支撑。(1)远程诊断与监控系统实现了设备状态的实时远程监测。通过在铁道信号联锁设备关键部位安装各类传感器，如电流传感器、电压传感器、位置传感器等，能够实时采集设备的运行参数与状态信息，并借助有线或无线通信网络，将这些数据远程传输至监控中心。监控中心的大屏幕显示系统可直观呈现各设备的实时运行状态，工作人员无需亲临现场，就能随时掌握设备是否正常运行，及时发现潜在的故障隐患，极大地提高了监测效率与及时性。(2)该系统具备强大的远程诊断功能。当设备出现异常时，监控中心的系统软件能够依据预设的故障诊断模型，对采集到的数据进行分析处理，快速判断故障类型与位置。同时，系统还能结合历史数据与专家经验，为故障处理提供详细的解决方案与指导建议。(3)远程诊断与监控系统实现了设备的远程控制与维护。在必要时，工作人员可通过系统远程对设备进行参数调整、软件升级等操作，无需到现场进行繁琐的人工操作，不仅节省了人力与时间成本，还能减少因现场操作可能带来的安全风险，确保设备能够快速恢复正常运行，保障铁路运输的连续性与稳定性。

3.5 故障树分析法

故障树分析法作为一种系统、全面的故障诊断方法，在铁道信号联锁设备故障分析中发挥着重要作用，能有效梳理故障成因，为故障解决提供清晰路径。(1)故障树分析法以故障现象为顶端事件构建树状结构。针对铁道信号联锁设备，若出现信号错误显示这一故障现象，就将其作为故障树的顶端事件。然后，从设备的工作原理、联锁逻辑以及各部件的相互关系出发，逐步分析导致该顶端事件发生的直接原因和间接原因。例如，信号错误显示可能直接由信号机本身故障引起，而信号

机故障又可能是灯泡损坏、显示模块故障等导致的，将这些原因作为下一级事件，依次向下展开，构建出完整的故障树。(2)该分析法通过定量与定性分析确定故障关键路径。定性分析中，利用布尔代数运算找出故障树的最小割集，即导致顶端事件发生的最少基本事件组合。通过分析最小割集，能明确哪些基本事件的组合最容易导致故障发生，从而确定故障的关键环节。定量分析则是在已知各基本事件发生概率的基础上，计算顶端事件的发生概率，评估故障发生的可能性大小，为维修资源的合理分配提供依据。(3)故障树分析法有助于制定针对性的预防和维修策略。根据故障树分析结果，针对关键的基本事件和最小割集，制定相应的预防措施，如加强设备的定期检查、更换易损件等。同时，在维修过程中，可按照故障树的逻辑关系，从顶端事件开始，逐步排查至基本事件，快速准确地定位故障点，提高维修效率，保障铁道信号联锁设备的稳定运行^[4]。

结束语

综上所述，对铁道信号联锁设备故障诊断的探讨极具现实意义。基于信号监测、逻辑推理、智能诊断技术、远程诊断与监控系统以及故障树分析法等多种诊断手段，各有优势且相互补充，能从不同角度精准定位故障，提升诊断效率与准确性。随着铁路运输的快速发展，对信号联锁设备的安全性与稳定性要求日益提高。未来，我们需持续深入研究故障诊断技术，融合新技术、新方法，不断完善诊断体系，为铁道信号联锁设备的可靠运行筑牢根基，确保铁路运输安全、高效、畅通。

参考文献

- [1]王伟.铁路信号联锁系统的故障诊断与维修研究[J].铁道信号,2020,32(4):45-50.
- [2]李娜.基于大数据的铁道信号设备故障预测技术探讨[J].交通信息与安全,2021,21(3):22-28.
- [3]张敏.智能故障诊断技术在铁道信号系统中的应用[J].计算机应用研究,2021,38(5):78-84.
- [4]周蒙菲.铁道信号联锁设备的故障诊断[J].市场周刊·理论版,2020(60):0179-0179