

# 铁路长大下坡道防护及日常注意事项

李丽梅

国能新朔铁路有限责任公司大准公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要：**本文聚焦铁路长大下坡道防护核心，以信号联锁技术为研究重点，界定长大下坡道范围及风险特征，阐述信号联锁技术基础与特殊要求。分析区间闭塞与联锁结合、ATP系统(列车自动保护系统)融合等关键防护技术，剖析设备、环境、人为因素引发的故障风险，明确日常维护流程、校验规范及逻辑保护要点，梳理故障应急处置流程。研究旨在通过系统梳理信号联锁在防护、维护、应急中的应用要点，为长大下坡道行车安全提供技术支持。

**关键词：**铁路；长大下坡道；信号联锁；防护技术；日常注意事项

**引言：**长大下坡道因坡度大、坡长连续，易引发列车制动失效、溜逸等安全隐患，是铁路行车安全管控的重点区段。信号联锁系统作为行车安全的核心保障，其可靠性直接决定长大下坡道防护成效。随着铁路运输量提升，对信号联锁系统的响应性、兼容性提出更高要求。本文基于国能新朔铁路实际运维场景，围绕信号联锁技术在长大下坡道的应用、风险、维护及应急处置展开研究，为解决该类区段防护难题提供理论与实操参考。

## 1 铁路长大下坡道核心界定及信号联锁技术基础

### 1.1 长大下坡道的定义、判定标准及风险特征

铁路长大下坡道指坡度大、坡长连续，对列车运行安全影响显著的线路区段，其判定需结合线路等级、牵引类型综合确定。普速铁路通常以坡度 $\geq 6\%$ 且连续坡长 $\geq 8\text{km}$ 为标准，高速铁路因列车性能差异，判定阈值相应调整。该类区段核心风险为列车制动系统负荷激增，易引发制动热衰退、失效，且重力作用加剧列车溜逸风险，对信号联锁系统的防护及时性、可靠性提出严苛要求，需通过精准信号控制规避追尾、冲突事故。

### 1.2 信号联锁技术核心原理与功能定位

信号联锁技术是铁路行车安全的核心保障，核心原理是依托联锁机、继电器、轨道电路等设备协同，实现信号机、道岔、进路间的逻辑约束，确保进路安全及信号显示与列车运行状态匹配。其核心功能包括进路建立与解锁、信号机控制、轨道占用检测及故障报警，可有效防范列车误入未解锁进路、越过禁止信号。在长大下坡道区段中，该系统还承担制动辅助控制、异常状态预警的延伸功能，是衔接列车运行与线路防护的关键枢纽。

### 1.3 长大下坡道对信号联锁系统的特殊要求

相较于普通线路，长大下坡道对信号联锁系统有三项核心特殊要求：（1）响应时效性，需快速捕捉列车超速、制动异常信号，联动调整防护逻辑，缩短反馈延

迟；（2）冗余可靠性，需配备双重联锁机制，避免单一设备故障导致防护失效，适配高风险工况；（3）协同兼容性，需与ATP系统、制动系统精准联动，实现信号指令与制动操作同步，同时兼容不同牵引类型列车参数，确保联锁逻辑适配复杂运行需求，为后续防护系统设计提供支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 长大下坡道信号联锁防护关键技术应用

### 2.1 区间闭塞与联锁结合的防护技术

区间闭塞与联锁系统的深度结合，是长大下坡道行车防护的基础技术，核心围绕线路占用状态管控与进路安全逻辑展开，具体技术要点如下：（1）分区闭塞与联锁逻辑的适配技术，根据长大下坡道坡长、坡度分布，划分适配的闭塞分区长度，通过联锁机预设逻辑，确保闭塞分区占用状态与信号显示严格对应，杜绝分区重叠占用风险。

（2）闭塞方式切换的联锁控制技术，针对长大下坡道可能出现的列车运行速度差异，实现自动闭塞与半自动闭塞模式的联锁切换，切换过程中保持信号指令的连续性与一致性，避免信号中断引发安全隐患。（3）区间轨道电路与联锁的协同技术，强化轨道电路对列车位置的精准检测，将检测数据实时传输至联锁系统，通过联锁逻辑过滤轨道电路干扰信号，确保列车占用、出清信息反馈准确，为闭塞防护提供可靠数据支撑。

### 2.2 列车超速防护（ATP）与信号联锁的融合应用

ATP系统与信号联锁的融合，是长大下坡道防超速的核心技术，聚焦速度管控与信号指令的协同同步，具体技术要点如下：（1）速度阈值的联锁预设技术，结合长大下坡道坡度参数，通过联锁系统设定分级超速阈值，将阈值数据同步至ATP系统，形成“信号联锁定标、ATP执行管控”的协同模式，实现超速前的提前预警。（2）信号指令与ATP速度控制的联动技术，联锁系统根据进路状态、前方分区占用情况发送行车信号，ATP系统接收

信号后，通过内置算法转化为速度控制指令，联锁系统实时监控ATP指令执行状态，确保信号与速度管控一致。

(3) 融合系统的故障隔离技术，在ATP或联锁单一系统出现异常时，通过预设联锁逻辑实现故障隔离，保留核心速度防护与信号显示功能，避免单一系统故障导致整体防护失效，同时发出故障告警信号。

### 2.3 特殊工况下（如制动失效）联锁应急防护技术

针对长大下坡道制动失效等特殊工况，联锁应急防护技术聚焦快速响应与安全兜底，通过预设逻辑与联动控制构建防护体系，具体技术要点如下：(1) 工况识别的联锁触发技术，通过联锁系统与列车制动系统的信号交互，实时捕捉制动异常信号，当判定为制动失效工况时，自动触发应急联锁逻辑，无需人工干预即可启动防护流程。(2) 应急进路的联锁快速建立技术，触发应急逻辑后，联锁系统优先解锁预设应急避险进路，同步关闭相关区域信号机，禁止其他列车进入避险区段，确保故障列车拥有专属避险通道。(3) 多系统协同的联锁兜底技术，联动区间信号、道岔及列车控制系统，通过联锁逻辑强制控制道岔转向避险线路，同时向ATP系统发送紧急制动强化指令，形成“进路保障+速度管控”的双重应急防护，最大限度降低事故风险<sup>[2]</sup>。

## 3 铁路长大下坡道信号联锁系统故障风险分析

### 3.1 设备自身故障

设备自身故障是联锁系统最直接的风险来源，受设备老化、性能衰减及部件适配性影响，核心风险如下：

(1) 联锁机故障，运算模块失效、逻辑程序错乱或数据存储异常，导致联锁逻辑运算失常，信号显示与进路状态不匹配。(2) 信号机故障，出现灯光熄灭、显示错误、切换卡顿等问题，无法提供准确指引，且故障信号难以及时反馈，干扰防护逻辑。(3) 轨道电路故障，表现为短路、开路、接收灵敏度下降，无法精准检测列车位置，向联锁系统传输错误信息，引发进路误解锁、信号误开放隐患。(4) 辅助设备连带故障，继电器、电缆等部件故障易造成供电不稳、信号传输中断，致系统运行异常，且故障排查难度大。

### 3.2 环境因素引发的联锁系统异常

长大下坡道多穿越复杂地形，环境因素易通过侵蚀、干扰引发系统异常，核心风险如下：(1) 极端天气侵蚀，雨雪致设备受潮结冰、破坏绝缘；高温加速设备老化变形，影响联锁机效率及信号机稳定性。(2) 地质灾害冲击，滑坡、落石损毁硬件设备，沉降、位移改变安装精度，干扰信号传输与检测。(3) 环境干扰，强电磁、粉尘、风沙干扰信号传输引发数据丢失或误码；昼夜温差剧

烈造成部件热胀冷缩，引发接触不良、机械卡阻。

### 3.3 人为操作失误对联锁逻辑的影响及风险

人为操作贯穿系统运维管控全流程，失误易破坏联锁逻辑完整性，引发连锁风险：(1) 参数配置失误，运维中调整设备参数不当，违背下坡道防护逻辑，导致系统发出错误指令。(2) 操作流程不规范，进路办理、故障复位等未按规程执行，强行解锁进路、违规切换模式，破坏设备间逻辑约束。(3) 运维检修失误，检修时误碰部件、接反线路，或未完成联锁试验即恢复运行，遗留隐性故障，致联锁逻辑在特定工况下失效且难以察觉。(4) 误碰延续进路室外轨道电路，表现为短路、开路、接收灵敏度下降，信号关闭。

## 4 铁路长大下坡道信号联锁系统日常维护注意事项

### 4.1 日常巡检流程与关键检查项

日常巡检要遵循“全流程覆盖、重点聚焦风险”原则，按既定时序开展，确保联锁系统运行状态可控，核心注意事项如下：(1) 严格执行巡检时序规范，每日班前核对巡检清单，明确长大下坡道关键区段优先级，优先完成联锁机、信号机、轨道电路等核心设备巡检，避免遗漏高风险点位。(2) 联锁机巡检重点关注运行状态，检查指示灯显示是否正常、风扇运转是否平稳、机柜内温度湿度是否在标准范围，同步查看设备运行日志，排查异常告警记录。(3) 信号机巡检聚焦显示状态与机械性能，检查灯光亮度是否达标、颜色切换是否顺畅、灯座与透镜有无破损，同时清理设备表面粉尘、杂物，检查密封性能防止受潮。(4) 轨道电路巡检注重线路连接与信号反馈，检查钢轨接续线、引接线连接是否牢固、有无锈蚀，测试轨道电路发送与接收电压、电流是否在额定范围，排查分路不良隐患。(5) 辅助设备巡检不可忽视，检查继电器动作是否灵活、无卡阻，电缆线路有无破损、绝缘层是否完好，接地装置连接可靠，确保供电与信号传输稳定。(6) 巡检记录需实时同步，对发现的隐患按严重程度分级标注，明确整改时限与责任人，避免隐患遗留累积，确保巡检与整改形成闭环管理。

### 4.2 联锁设备定期校验与参数调整规范

定期校验与参数调整需遵循技术标准，精准把控操作流程，保障联锁逻辑与设备性能匹配，核心注意事项如下：(1) 制定差异化校验周期，结合长大下坡道设备运行负荷，缩短核心联锁设备校验周期，对联锁机、轨道电路等关键设备实行季度校验，辅助设备按半年度校验执行。(2) 校验前做好准备工作，备份联锁机逻辑程序与参数配置，断开非必要关联设备，设置安全防护标识，防止校验过程中误触发联锁逻辑或影响其他设备

运行。(3)严格按校验规程操作,对联锁逻辑关系逐项验证,确认进路建立、信号显示、道岔转换之间的逻辑约束准确无误,同步测试设备响应时间是否符合标准。

(4)参数调整需基于实测数据,根据设备老化程度、线路工况变化,精准调整轨道电路灵敏度、联锁机运算阈值等参数,调整后需反复测试,确保参数与实际运行需求适配。(5)校验与调整后做好记录归档,详细记录校验结果、参数调整前后数值、操作人员及时间,同步更新设备技术档案,为后续维护提供数据支撑。(6)避免校验与行车高峰冲突,合理规划作业时间,如需在行车间隙作业,需提前办理作业许可,配备专人监护,确保突发情况可及时中止作业、恢复系统运行。(7)日常注意工电结合部位,做好日常教训教育工作,维护部门要认识到工电结合部的重要性,长大下坡道延续进路设备不能随意人为误动,不能接临时线构通电路,室外不能误动进路上道岔、钢轨、接续线等设备。解决检修与行车矛盾,确保设备良好状态。

#### 4.3 维护过程中的联锁逻辑保护要点

维护作业需强化联锁逻辑保护意识,规范操作流程,防止作业过程中破坏逻辑完整性,核心注意事项如下:(1)作业前确认系统运行模式,对联锁系统进行状态锁定,禁止在未解锁防护状态下开展带电作业,避免误操作改变联锁逻辑配置。(2)带电作业需采取隔离措施,使用专用工具,避免误碰联锁机核心模块、继电器触点及线路接口,防止短路或信号传输中断引发逻辑紊乱。(3)禁止擅自修改联锁程序与逻辑参数,如需优化调整,需经技术审核批准,由专业人员操作,调整后必须完成全场景联锁试验,确认无逻辑冲突后方可投入使用。(4)维护过程中若触发设备告警,立即停止作业,排查告警原因,不得强行复位或屏蔽告警信号,避免掩盖隐性故障,破坏联锁逻辑防护机制。(5)多设备协同维护时,明确分工与操作顺序,先完成单一设备维护与测试,再进行关联设备联动检查,确保各设备联锁关系不受作业影响。(6)作业完成后进行全面复核,逐一确认设备状态、联锁逻辑、信号显示均恢复正常,无遗留操作痕迹,经双人核对无误后,方可解除安全防护、恢复系统正常运行<sup>[3]</sup>。

#### 5 长大下坡道信号联锁故障应急处置规范

长大下坡道信号联锁故障处置需遵循“快速响应、安全优先、流程闭环”原则,精准分类故障并规范操作,最大限度降低行车风险。(1)常见联锁故障分类及应急响应流程,故障按影响范围分为核心设备故障与辅助设备故障,按表现形式分为逻辑故障与硬件故障。响应流程需先快速判定故障类型与影响范围,立即启动对应应急预案,同步上报故障信息并封锁相关区段,通知运维人员到场处置,全程做好故障动态记录,确保各环节衔接有序。(2)故障处置中的信号联锁安全把控要点,严格执行双人监护操作,禁止擅自修改联锁逻辑或屏蔽告警信号。处置时优先采取隔离故障点措施,避免故障扩大影响其他设备,全程监控信号显示与进路状态,严禁在故障未排除前解除区段封锁,坚守行车安全底线。(3)应急处置后的系统复位与校验流程,故障排除后按规程逐步复位设备,先进行单点设备测试,再开展联锁逻辑联动校验。校验需覆盖进路建立、信号切换、道岔转换等核心功能,确认无异后,方可解除封锁、恢复正常行车,同步完善处置与校验档案<sup>[4]</sup>。

结束语:本文围绕长大下坡道信号联锁防护及日常管理全流程,完成技术应用、风险分析、维护规范及应急处置的系统梳理。信号联锁技术的精准应用与规范管控,是化解长大下坡道行车风险的关键。后续可结合智能化技术,优化联锁系统故障预警与自适应能力。唯有严格落实维护规程、规范应急处置,才能充分发挥信号联锁防护效能。

#### 参考文献

- [1]田长海,李博,张守帅.高速铁路长大下坡道闭塞分区自动化布置研究[J].铁道学报,2024,46(11):102-109.
- [2]陈芳超.浅谈铁路信号联锁系统的发展和故障分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(11):001-004.
- [3]魏韬.铁路信号联锁故障诊断及具体应用[J].智能城市,2021,7(2):139-140.
- [4]李想,杨飞,李海峰,等.重载铁路长大坡道列车失控可能性及避难线设置研究[J].铁道运输与经济,2024,46(11):78-85.