

# 跨座式单轨车辆制动系统常见故障及处理措施

昌 琴

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

**【摘要】**：跨座式单轨车辆制动系统直接关系到列车运行安全、停车精度和运营稳定性。针对制动缓解异常、制动力不足、空气压力异常、传感器失效及控制单元故障等常见问题，文章分析故障产生原因，提出检查管路密封、校验控制信号、维护制动执行机构、完善日常检修流程等处理措施。通过提升故障诊断效率和维修规范性，能够有效降低制动系统故障率，保障单轨车辆安全、平稳、高效运行。

**【关键词】**：跨座式单轨车辆；制动系统；常见故障；故障诊断；处理措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.002

## 引言

跨座式单轨交通具有占地少、适应性强、运行灵活等特点，在城市轨道交通体系中应用日益广泛。制动系统作为车辆安全运行的关键组成部分，其性能直接影响列车停车精度、乘客安全和运营效率。实际运行中，制动系统易受机械磨损、气路泄漏、电气控制异常及维护不到位等因素影响，产生多种故障。因此，围绕常见故障类型及处理措施开展分析，有助于提高检修质量，增强车辆运行安全保障能力。

## 1 跨座式单轨车辆制动系统运行特征

### 1.1 制动系统结构组成

跨座式单轨车辆制动系统通常由制动控制单元、空气供给装置、基础制动装置、紧急制动回路、停放制动机构以及状态监测部件共同构成，各部分之间通过气路、电路和控制逻辑形成联动关系。制动控制单元承担指令接收、信号转换和制动力分配功能，可根据牵引制动手柄位置、车辆速度、载荷状态及线路运行条件，对制动过程进行动态调节。空气供给装置主要包括空压机、干燥器、储风缸、减压阀和相关管路，用于为气动制动执行部件提供稳定压力，其输出的空气压力是否充足直接影响制动响应速度和制动力输出效果。基础制动装置多由制动夹钳、制动盘、闸片、制动缸等部件组成，其机械状态决定了制动力能否可靠传递到车轮或走行机构。紧急制动回路具有独立性和优先性，当车辆出现超速、信号异常、司机紧急操作或安全回路断开等情况时，可快速触发强制制动。停放制动机构主要用于车辆静止状态下防止溜车，一般依靠弹簧储能或气压释放实现动作。传感器、压力开关、速度检测装置和故障记录模块则承担状态反馈功能，能够实时采集制动压力、车辆速度、部件动作状态及异常报警信息，并将相关数据传输至制动控制单元和检修诊断系统。当制动系统出现压力波动、信号中断或执行机构动作异常时，这些反馈信息可为检修人员判断故障位置、分析故障原因和评估运行风险提供数据依据。

### 1.2 制动控制运行逻辑

跨座式单轨车辆制动控制运行逻辑以安全优先、分级响应

和协同控制为基本原则。制动指令由司机控制、列车自动控制系统或安全保护系统发出后，经车辆控制网络传输至制动控制单元，再由控制单元结合车辆运行状态完成制动力计算与输出。车辆在正常减速过程中，通常会根据速度变化和载荷条件对制动力进行调节，避免制动力突变导致车辆冲动、轮轨附着状态异常或乘客舒适性下降<sup>[1]</sup>。电制动与空气制动之间需要保持协调关系，当电制动能力满足减速需求时，空气制动可处于补充或待命状态；当电制动不足、车辆低速运行或系统检测到牵引制动异常时，空气制动会及时介入，保证制动过程连续稳定。紧急制动逻辑具有更高控制优先级，一旦安全回路中断、关键设备反馈异常或运行参数超过允许范围，系统会绕过部分常规控制程序，直接建立制动压力并推动执行机构动作。制动缓解过程同样需要符合逻辑顺序，控制单元需确认制动指令撤销、气压达到规定范围、执行机构复位信号正常后，才允许车辆进入牵引状态。在上述运行逻辑中，任何信号延迟、压力反馈失真或执行机构动作不同步，都可能引发缓解不良、制动力不足或误报故障等问题。

### 1.3 日常检修管理要求

跨座式单轨车辆制动系统日常检修应围绕气路密封、电气信号、机械磨损和功能试验等关键环节开展，检修内容需要覆盖车辆出库前检查、运营间隔巡检、定期维护和专项排查。气路部分应重点检查空压机工作状态、储风缸压力变化、管路接头密封性、排水排污情况以及干燥器吸附效果，防止水分、油污或泄漏而造成压力建立缓慢和制动响应异常。电气控制部分需要核对制动控制单元通信状态、继电器动作情况、压力传感器反馈值、速度信号采集精度和故障代码记录，避免因信号偏差影响系统判断。机械部件检修应关注制动盘表面磨损、闸片厚度、夹钳动作的灵活性、制动缸推杆行程和连接部位紧固情况，发现偏磨、卡滞、裂纹或异常响动时应及时处理。功能试验环节应按照检修规程完成常用制动、快速制动、紧急制动、停放制动及缓解试验，确认制动建立时间、缓解时间和压力变化符合技术要求。检修管理还需做好故障记录、数据追踪和复查验证，将同类故障发生频次、处理方式和更换部件情况纳入

台账管理,从而便于后续分析故障规律,提高制动系统维护的针对性和稳定性。

## 2 跨座式单轨车辆制动故障诱因分析

### 2.1 空气管路压力异常

空气管路压力异常是跨座式单轨车辆制动系统运行中较为典型的故障类型,主要表现为总风压力建立缓慢、制动缸压力不足、压力波动频繁、缓解后残压偏高等情况。该类故障多与管路密封性能下降、接头松动、阀件动作不灵敏、过滤干燥效果减弱以及储风装置供气能力不足有关。车辆长期运行过程中,空气管路受振动、温差、湿度和油污影响,密封圈容易老化变形,接头部位可能出现微量泄漏,这类问题短时间内不易被发现,但会造成制动压力保持能力下降。若干燥器排水不彻底,压缩空气中含水量增加,低温环境下可能导致阀体内部结冰或动作阻滞,影响气压传递速度。减压阀、截断塞门、电磁阀等部件若存在卡滞、磨损或污染,会使制动指令下达后压力不能按照规定曲线建立,造成制动响应滞后。空气压力异常还可能引发故障报警、制动不缓解、制动力输出不稳定等连锁问题,影响车辆正线运行秩序。对此类故障进行判断时,应结合压力表读数、故障记录、泄漏声音、保压试验结果和阀件动作状态进行综合分析,避免仅根据单一压力数值仓促作出判断。

### 2.2 电气控制信号偏差

电气控制信号偏差主要发生在制动指令传输、状态反馈、传感器采集和控制单元判断等环节,常见表现包括制动指令响应不一致、压力反馈数值异常、故障代码误报、缓解信号延迟、制动级位识别不准确等。跨座式单轨车辆制动系统依赖车辆网络、制动控制单元、继电器、压力传感器、速度传感器和相关线路完成信息传递,任一环节出现接触不良、信号衰减、参数漂移或通信中断,都会影响系统对制动状态的判断<sup>[2]</sup>。长期运行环境中,电气连接器可能因振动产生松动,端子氧化则会导致接触电阻增大,使信号传输出现间歇性异常。压力传感器若存在零点漂移或灵敏度下降,控制单元接收到的反馈值会偏离实际压力,进而造成制动压力调节不准确。速度信号采集异常时,系统可能误判车辆运行状态,使电制动与空气制动配合出现偏差。软件参数设置不当、控制逻辑校验不足或历史故障清除不彻底,也可能导致故障信息与实际状态不完全一致。此类问题具有隐蔽性和间歇性,排查时需要结合在线监测数据、通信记录、端口电压、线束绝缘状态和传感器标定结果进行比对,确保信号来源与执行结果相互吻合。

### 2.3 基础制动部件磨损

基础制动部件磨损主要集中在制动盘、闸片、夹钳机构、制动缸推杆及连接销轴等位置,其状态直接影响制动力传递效率和制动平稳性。跨座式单轨车辆在频繁启停、坡道运行和高客流工况下,制动系统承受较高使用频率,闸片与制动盘之间

反复摩擦,容易形成厚度减薄、表面划伤、局部高温、偏磨和裂纹等问题。闸片磨耗超过限度后,摩擦接触面积和摩擦系数可能发生变化,导致制动距离延长,同时制动时还可能出现异响或振动。制动盘表面若存在沟槽、热斑或变形,会造成制动力分布不均,使车辆制动过程产生冲击感。夹钳机构长期受粉尘、油污和机械疲劳影响,活动部位可能出现回位不畅、夹紧力不足或单侧动作偏差,进而导致闸片磨耗不均。制动缸推杆行程若超出规定范围,说明机械间隙或执行部件状态存在异常,需要进一步检查连接机构和调整装置。销轴、衬套等小型连接件虽然体积较小,但磨损后会影响到制动动作的同步性和稳定性。基础制动部件磨耗具有逐渐累积特征,故障初期通常表现为轻微噪声、制动效率下降或局部升温异常,若未及时处理,可能发展为制动失效、部件损伤扩大,最终导致车辆退出运营等问题。

## 3 跨座式单轨车辆制动故障处理路径

### 3.1 故障分类诊断流程

故障分类诊断流程应以制动系统报警信息、车辆运行状态和现场检查结果为依据,将故障划分为气源类、控制类、执行类和综合关联类等不同类型。诊断工作可从车辆故障记录入手,读取制动控制单元存储的故障代码、触发时间、车辆速度、压力变化和制动级位等信息,明确故障发生时的运行工况。对于气源类故障,应重点核对总风压力、制动缸压力、管路保压时间和阀件动作状态,判断压力异常属于供气不足、泄漏损失还是压力调节失准。对于控制类故障,需要围绕制动指令传输链路开展排查,核查网络通信、继电器动作、传感器反馈和控制单元输入输出状态,确认故障是否由信号偏差引起。执行类故障诊断应结合制动动作试验、推杆行程测量、夹钳回位情况和闸片接触状态,判断制动力是否能够顺利传递。综合关联类故障具有多点耦合特征,常表现为报警信息与实际故障部位不完全对应,需要通过静态测试、动态试车和历史故障数据比对逐步缩小范围。整个诊断流程中应避免依赖单一故障码直接更换部件,而应按照“信息采集—状态验证—部位定位—原因确认”的顺序推进,使故障判断具备可追溯性和准确性。

### 3.2 检修处置闭环管理

检修处置闭环管理应贯穿故障发现、任务派发、维修实施、质量复核和结果归档全过程,确保制动系统故障处理不停留在临时排除层面。车辆出现制动异常后,应依据故障等级确定处理方式,对影响正线运行安全的故障及时组织扣修,对暂不影响安全但存在发展风险的隐患纳入跟踪计划。维修实施环节需要按照标准作业文件开展,明确检查项目、检测工具、技术限值和更换标准,防止因处置方法不统一造成故障反复<sup>[3-5]</sup>。涉及阀件、传感器、闸片、制动缸等关键部件时,应记录拆检状态、测量数据、换件编号和调整参数,便于后续质量追溯。维修完

成后不能仅以报警消除作为结束条件，还需完成制动建立、缓解、保压、紧急制动和停放制动等功能验证，必要时进行低速动态试验，确认车辆制动性能恢复到规定要求。复核环节应由不同岗位人员对维修结果进行确认，重点检查连接件紧固、管路密封、参数设置和故障记录清除情况。档案管理需要将故障部位、原因分析、处置措施、复测结果和运行观察情况纳入台账，形成同类故障对比资料，为检修周期优化和备件管理提供数据依据。

### 3.3 智能运维技术应用

智能运维技术应用可提升跨座式单轨车辆制动系统故障识别的及时性和处理的精准性，其核心在于利用状态监测、数据采集、趋势分析和预警模型对制动系统运行状态进行持续跟踪。车辆运行过程中，制动控制单元、压力传感器、速度检测装置和车载网络能够产生大量状态数据，包括总风压力变化、制动缸压力曲线、制动响应时间、缓解时间、闸片温升、故障触发频次等信息。通过数据平台对这些信息进行集中管理，可识别压力衰减过快、响应时间延长、同一部件频繁报警等早期

异常特征。智能诊断系统可将实时数据与标准阈值、历史维修记录和相同车型运行数据进行比对，辅助判断故障发展趋势，减少人工排查中的经验依赖。对易损部件可建立寿命预测模型，根据闸片磨耗量、制动次数、线路坡度和载荷变化推算剩余使用周期，推动维修模式从定期维修向状态维修转变。移动检修终端、电子作业单和二维码备件管理也可应用于现场作业，使检修人员快速获取设备履历、维修标准和历史故障情况。需要强调的是，智能运维并非替代人工检修，而是通过数据支撑提高诊断效率、减少重复性故障、优化检修资源配置。

## 4 结语

跨座式单轨车辆制动系统故障处理应围绕结构认知、故障识别、原因判断和规范处置展开。空气管路压力异常、电气控制信号偏差和基础制动部件磨耗均可能影响车辆制动性能与运行安全。完善分类诊断流程、强化检修闭环管理、引入智能运维技术，可提升故障排查效率和维修质量，降低故障反复发生概率。未来，制动系统维护工作需坚持数据支撑与现场检修相结合，以推动车辆运行安全保障能力持续提升。

### 参考文献：

- [1] 汉洪泉.动车组制动电磁阀动作响应性能评价与剩余使用寿命预测[D].哈尔滨工业大学,2025.
- [2] 官源.跨座式单轨水平轮压力检测装置设计与研究[D].重庆大学,2021.
- [3] 陈志勇.跨座式单轨牵引车曲线通过性研究与分析[D].重庆大学,2021.
- [4] 张彦焯,谢耀征.跨座式单轨车辆制动系统与制动模式[J].城市轨道交通,2020,(9):59-62.
- [5] 胡彪,谢双.单轨车辆制动性能仿真研究[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2020 万知科学发展论坛论文集（智慧工程一）2020:98-105.