

# 轨道交通车辆车门的电气控制与故障诊断方法研究

付青云

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400000

**【摘要】**：轨道交通车辆车门作为保障乘客安全与运营效率的关键部件，其电气控制系统的稳定性直接影响列车运行质量。围绕车门控制回路结构、控制逻辑及关键电气元件运行特性展开分析，结合重庆轨道交通实际运行环境，对车门开闭过程中的控制信号传递及联锁机制进行梳理。在此基础上，对常见故障类型进行归纳，包括驱动异常、信号失效及联锁故障等，并结合典型故障现象建立对应的诊断思路。通过对故障特征与电气控制关系的关联分析，形成较为清晰的判别路径，为车门系统运行状态识别与维护提供技术依据。

**【关键词】**：轨道交通车门；电气控制；故障诊断；联锁机制；重庆轨道交通

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.091

## 引言

列车进出站过程中，车门频繁启闭，承受高强度运行负荷，其运行状态直接关系到乘客安全与运输秩序。随着城市轨道交通网络不断扩展，重庆轨道交通线路环境复杂，坡度大、曲线多，对车门系统的响应速度与控制精度提出更高要求。实际运营中，车门故障往往表现为启闭异常或联锁失效，不仅影响行车效率，还可能引发安全隐患。电气控制系统作为车门运行的核心，其信号传递、逻辑控制与执行机构之间的协同关系，成为影响系统稳定性的关键因素。围绕车门电气控制特性与故障表现之间的内在联系展开分析，有助于更准确地识别异常状态，并深化对系统运行机理的认识。

## 1 车门电气控制结构与运行特性分析

车门电气控制系统由控制单元、驱动装置、信号采集模块及联锁保护电路共同构成，其运行依赖于多信号协同与逻辑判断的精确配合。控制单元通常以列车网络控制系统为核心，通过接收来自司机室操作指令、站台信号及列车运行状态信息，对车门启闭动作进行统一调度<sup>[1]</sup>。驱动部分多采用电机驱动机构，配合减速装置实现平稳开关门过程，电流与电压变化能够直接反映执行机构的运行状态。信号采集模块则通过位置传感器、限位开关及压力检测元件，对车门开闭位置、障碍物状态及锁闭情况进行实时反馈，形成闭环控制结构。

在具体运行过程中，车门控制逻辑呈现出明显的联锁特征。列车只有在完全停稳、允许开门信号有效的前提下，控制系统才会释放开门指令，确保运行安全。开门过程中，控制电路需对驱动电机输出进行动态调节，使车门运动速度保持在设定范围内，同时通过反馈信号不断修正执行状态。当车门接近终点位置

时，限位信号触发，控制单元及时切断驱动输出并完成锁闭确认。关门阶段则涉及防夹保护逻辑，当检测到异常阻力或信号中断时，系统会立即执行反向开门指令，以避免夹伤风险。各类控制信号在不同阶段之间相互制约，形成多层次保护机制。

结合重庆轨道交通实际运行环境，车门电气控制系统需适应大坡度、曲线运行及高频启闭工况带来的影响。坡道区段可能导致列车停稳状态判定更加复杂，对车门联锁信号的稳定性提出更高要求；曲线站台则会引起车门与站台间隙变化，增加控制系统对开门精度的依赖程度。同时，高密度运营使车门系统长期处于高负荷状态，电气元件的响应速度与抗干扰能力成为关键因素。在此条件下，控制回路中信号延迟、接触不良及电磁干扰等问题更易显现，对系统运行特性产生直接影响，使电气控制结构在实际应用中呈现出更加复杂的动态特征。

## 2 典型故障表现及诊断路径构建

车门系统在长期高频运行条件下，电气故障呈现出多样化特征，主要集中在驱动异常、信号传输失效及联锁逻辑紊乱等方面。驱动类故障多表现为车门开启或关闭过程中动作迟缓、卡滞或无法完成全行程，这类问题通常与驱动电机性能下降、电源电压波动或执行机构阻力增大有关<sup>[2]</sup>。信号类故障则体现在控制指令无法正确响应，位置反馈信号异常或状态指示不一致，可能由传感器失灵、接插件接触不良或线路断续引起。联锁相关问题更具隐蔽性，当列车状态信号与车门控制逻辑出现偏差时，容易导致车门无法正常解锁或误判锁闭状态，对行车安全形成直接影响。

针对不同类型故障，其诊断路径需围绕电气控制回路展开，由表及里逐步定位异常源。通过对控制单元输入信号进行检测，可判断外部指令是否有效传入；

结合驱动回路电流、电压变化情况，有助于识别执行机构是否处于正常工作区间。位置反馈信号的连续性与稳定性，是判断车门运动状态的重要依据，若出现信号跳变或丢失，需重点排查传感器及相关线路。对于联锁异常，则需要结合列车运行状态信号与车门控制逻辑进行交叉验证，分析各类条件信号之间的匹配关系，从而确认故障产生的具体环节。

在重庆轨道交通实际运行条件下，环境因素对故障表现具有显著影响。潮湿气候易引起电气连接部位绝缘性能下降，导致信号干扰或误动作；复杂线路结构使列车运行振动频繁，可能造成接插件松动或线路疲劳损伤。高密度运营背景下，车门系统持续处于高负荷状态，电气元件老化速度加快，使故障呈现出渐进性与间歇性特征。在此情况下，通过结合运行数据记录与实时监测信息，对故障特征进行动态比对，有助于提高诊断准确性，并为后续处理提供可靠依据。

### 3 控制逻辑优化与运行可靠性提升

车门电气控制系统的运行稳定性在很大程度上取决于控制逻辑的合理性与信号处理的精确程度。通过对原有控制逻辑进行细化，可实现对不同运行状态的精准识别与响应匹配。基于列车运行状态、站台对位信息及司机操作指令的多源数据融合，控制单元能够对开关门条件进行动态判断，避免因信号延迟或误判引发异常动作<sup>[3]</sup>。在控制程序中引入分级控制机制，使开门、关门及锁闭过程分别对应不同的控制策略，同时对驱动输出进行分阶段调节，有助于降低机械冲击与电气波动对系统的影响。对关键控制节点设置冗余判断逻辑，可在单一信号异常情况下维持系统基本功能，增强整体抗干扰能力。

针对复杂运行环境带来的不确定因素，可通过优

化信号采集与处理方式提升系统响应的稳定性。对位置检测信号采用多点采样与滤波算法处理，能够有效抑制瞬时干扰信号带来的误判风险；在电气连接环节强化屏蔽与接地设计，有助于降低电磁干扰对控制系统的影响。对驱动电机运行状态进行实时监测，通过采集电流曲线与负载变化情况，可提前识别异常趋势，并通过控制逻辑调整输出参数，使车门运动保持在安全范围内。结合重庆轨道交通坡度大、曲线复杂的线路特征，对列车停稳判定条件进行优化，使车门控制系统在复杂工况下仍能准确执行联锁逻辑，减少误开门或延迟响应现象。

在运行可靠性提升过程中，系统维护与状态评估同样具有重要影响。通过构建基于运行数据的状态监测体系，对车门开闭时间、驱动电流变化及故障记录进行持续跟踪，可形成具有参考价值的运行特征曲线。利用历史数据对比分析，能够识别出潜在性能衰减趋势，为控制逻辑调整提供依据。在设备层面，通过优化电气元件选型与提高关键部件的耐久性，降低因元件老化引发的控制失效风险。在控制系统中引入故障自检功能，对关键回路进行周期性检测，可在异常初期及时发出预警信号，减少突发性故障对运营的影响，使车门系统在长期高负荷运行条件下保持稳定状态。

### 4 结语

轨道交通车辆车门电气控制系统在保障列车安全运行中占据关键地位，其运行状态直接影响运输效率与乘客安全。围绕控制结构、故障特征及逻辑优化的深入分析，使车门系统各环节之间的关联关系更加清晰。结合实际运行环境对控制逻辑与诊断路径进行完善，有助于提升系统响应的稳定性与故障识别的准确性，为车门设备的安全运行提供可靠支撑。

### 参考文献：

- [1] 王双英.轨道车门与屏蔽门之间异物检测与定位研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2025,43(03):144-147.
- [2] 赵锐,赵祎杰,熊欣,等.轨道交通车辆车门系统生命周期环境效益评价[J].济南大学学报(自然科学版),2025,39(01):11-19.
- [3] 张译文.轨道交通车辆车门的电气控制与故障诊断方法研究[J].中国设备工程,2024,(12):204-206.