

# 地铁车载信号系统功能及常见故障分析

姜珂白圆王若鸿

西安市轨道交通集团有限公司运营分公司 陕西 西安 710000

**摘要：**地铁车载信号系统是保障列车安全高效运行的核心组成部分，主要依托列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）、列车自动监控（ATS）三大功能实现对列车的精准控制。本文围绕系统功能展开剖析，重点探究常见故障类型，包括车地通信中断、车载设备内部通信异常等通信故障，传感器、车载控制器失效等设备故障，以及程序漏洞、软件兼容性问题等软件故障。同时，从故障诊断技术、应急处理措施和预防维护策略三方面提出应对方案，旨在为提升地铁车载信号系统的可靠性提供理论参考与实践指导，保障地铁运营的安全性与稳定性。

**关键词：**地铁车载信号；系统功能；常见故障分析

引言：随着城市轨道交通的迅猛发展，地铁作为城市公共交通的重要支柱，其运行的安全性与高效性愈发受到关注。地铁车载信号系统作为地铁运营的“神经中枢”，承担着列车运行控制、安全防护以及运营监控等关键任务，对保障列车准点、安全行驶起着决定性作用。然而，在实际运营过程中，车载信号系统受多种因素影响，难免出现各类故障，影响地铁正常运营秩序。因此，深入剖析地铁车载信号系统的功能，全面探究常见故障类型，并制定科学有效的故障处理策略，对于提升地铁运营质量、保障乘客出行安全具有极其重要的现实意义。

## 1 地铁车载信号系统功能剖析

### 1.1 列车自动防护（ATP）功能

列车自动防护（ATP）功能是地铁车载信号系统的核心安全保障，通过实时监控与动态干预，从根源上避免列车超速、追尾、越线等危险情况。其运作依赖车载传感器与地面信号设备的协同，持续收集列车位置、运行速度及线路限制等信息，经车载控制器分析后生成动态安全范围。当列车运行接近安全边界时，ATP会逐步启动预警、常规制动，若风险持续则触发紧急制动，确保列车始终处于安全状态。同时，ATP具备车地双向通信能力，严格遵循地面信号系统的进路授权，防止列车进入禁行区域。在道岔转换、施工区段等复杂场景中，ATP能灵活调整安全距离，为列车运行提供全方位的安全防护，是地铁运营中安全等级最高的保障机制。

### 1.2 列车自动运行（ATO）功能

列车自动运行（ATO）功能是实现地铁高效精准运营的关键，在ATP系统的安全框架内，承担列车全自动驾驶与精细化调度任务。其核心在于对运行过程的精准把控：接收ATS系统的运行计划后，ATO通过调节牵引和

制动系统，让列车按预设的最优速度曲线行驶，既能保证准点运行，又能有效降低能耗。站台停靠时，ATO借助站台信标与车载定位的配合，实现高精度停靠，方便乘客上下车。此外，ATO具有自适应调整能力，能根据实时路况灵活改变策略，比如前方列车临时停车时，自动优化减速方式以减轻冲击；高峰时段缩短停站时间，提升线路整体运输能力。通过替代人工驾驶的重复性操作，ATO不仅减轻了司机的工作强度，还通过标准化控制减少了人为操作差异对运营的影响<sup>[1]</sup>。

### 1.3 列车自动监控（ATS）功能

列车自动监控（ATS）功能是地铁运营的中枢系统，通过整合车载与地面信号数据，实现对全线列车的全局可视化管理和智能调度。其主要作用体现在三个方面：一是实时监控，ATS系统的中央显示屏能动态展示全线列车的位置、速度、运行状态及信号设备状况，让调度员全面掌握运营情况；二是计划执行，ATS依据预先制定的运行图向列车下达调度指令，并与ATO系统联动确保指令准确执行，列车偏离计划时会自动给出调整建议；三是应急响应，遇到设备故障、突发客流等情况时，ATS能迅速重新规划运行路线，如安排故障列车进入备用线，同时调整后续列车间隔以减少延误影响。此外，ATS系统还能记录和分析运行数据，为运营优化、故障追溯及新线规划提供依据，是保障地铁网络高效协同运转的核心支撑。

## 2 地铁车载信号系统常见故障探究

### 2.1 通信故障

#### 2.1.1 车地通信中断

车地通信中断是地铁车载信号系统高频出现的通信故障，表现为车载设备与地面控制中心、轨旁设备的信息交互完全中断。其成因多元，隧道内无线信号受墙体

遮挡、多列车同时运行时的信号干扰,会导致无线传输链路不稳定;轨旁天线松动、车载接收模块老化,会直接切断信号传输通道;极端天气如暴雨、强电磁风暴,也可能破坏信号传输环境。故障发生时,ATP无法获取地面限速指令,ATO失去运行调整依据,列车可能触发紧急制动或进入无序运行状态,严重影响线路通行效率。

### 2.1.2 车载设备内部通信异常

车载设备内部通信异常指车载信号系统各组件间的数据传输出现紊乱或中断,涉及ATP、ATO模块与传感器、显示器等设备的连接。常见诱因包括内部线缆接口氧化松动,导致数据传输时断时续;设备供电电压不稳,引发通信协议握手失败;不同模块间的通信协议版本不匹配,造成数据解析错误。故障表现为车载显示屏信息滞后或乱码,传感器采集的速度、位置数据无法实时同步至控制器,进而导致ATP安全计算偏差,甚至出现误报警或控制指令失效,威胁列车运行安全。

## 2.2 设备故障

### 2.2.1 传感器故障

传感器是车载信号系统采集关键数据的核心部件,其故障直接影响系统对列车状态的判断。常见的速度传感器故障多因长期振动导致内部元件松动,表现为速度信号跳变或无输出,使ATP无法准确计算安全距离;位置传感器易受粉尘污染,导致定位偏差,引发列车过站或停靠不准。此外,传感器线路老化短路会产生错误信号,如误报“列车超速”,触发不必要的紧急制动,干扰正常运营节奏。环境温湿度剧烈变化也会加剧传感器漂移,降低数据采集精度,形成潜在安全隐患。

### 2.2.2 车载控制器故障

车载控制器作为信号系统的“决策中心”,其故障会导致系统整体功能失效。硬件层面,控制器主板电容鼓包、芯片过热会引发运算中断,表现为列车突然失去自动驾驶能力,需切换至人工模式;接口模块损坏则导致与外部设备的数据交互中断,ATP/ATO指令无法执行。软件运行层面,控制器内存溢出或缓存错误会造成程序卡顿,出现“指令延迟”现象,如加速指令滞后于时刻表,导致列车晚点。长期高负荷运行还会加速控制器元件老化,增加无规律故障的发生概率。

## 2.3 软件故障

### 2.3.1 程序漏洞与错误

程序漏洞与错误是软件故障的常见类型,多源于开发过程中的逻辑缺陷或测试不充分。例如,ATP制动算法若存在漏洞,可能在复杂线路条件下(如连续弯道接坡道)计算出错误的安全距离,导致列车异常减速或制动

失效。部分程序对边界条件处理不足,当列车速度、位置等参数处于临界值时,易出现系统死机或功能紊乱。此外,代码迭代过程中若未彻底兼容旧版本逻辑,可能引入新的错误,如升级后的ATO程序可能在特定站台出现停靠指令延迟,影响运营准点率。

### 2.3.2 软件兼容性问题

软件兼容性问题主要体现在不同模块或系统间的协同异常。车载信号系统由ATP、ATO等多个软件模块组成,若各模块版本不匹配,可能出现数据交互错误。例如,新版ATS下发的调度指令格式若与车载ATO软件不兼容,会导致指令解析失败,列车无法接收运行调整信息。同时,软件与硬件驱动的兼容性不足也会引发故障,如更换传感器后未同步更新驱动程序,可能导致采集数据失真,影响系统决策准确性<sup>[2]</sup>。

## 3 地铁车载信号系统故障处理策略

### 3.1 故障诊断技术

#### 3.1.1 基于数据分析的诊断方法

基于数据分析的诊断方法依托车载信号系统实时采集的海量运行数据,通过构建算法模型实现故障的精准识别。系统会持续记录列车速度、位置、设备状态参数及通信日志等数据,利用大数据分析技术挖掘异常模式。例如,通过对比历史正常数据与当前传感器采集值,可快速定位数据跳变或偏移的异常传感器;运用机器学习算法对通信中断前的信号强度、数据包丢失率进行趋势分析,能提前预判车地通信链路的潜在风险。该方法的优势在于实现故障的早期预警,通过建立动态阈值模型,当参数接近临界值时自动触发报警,为维护人员争取处理时间,减少突发故障对运营的影响。同时,积累的故障数据可反哺模型优化,不断提升诊断准确率。

#### 3.1.2 故障树分析法

故障树分析法(FTA)是一种通过逆向逻辑推理追溯故障根源的系统性诊断方法。它以某一具体故障(如列车紧急制动失效)为顶事件,逐层分解导致该故障的直接原因,形成类似“树状”的因果关系图。例如,针对ATP系统失效这一顶事件,可分解为传感器故障、控制器运算错误、通信中断等中间事件,每个中间事件再进一步细化为线缆松动、软件漏洞等底层原因。通过对故障树各节点的逻辑关系(如“与”“或”门)分析,量化各因素的故障贡献度,优先排查关键路径上的高风险因素。该方法的核心价值在于理清复杂系统的故障传导机制,帮助维护人员从全局视角定位症结,尤其适用于多因素叠加导致的复合型故障。在实际应用中,结合故障树可制定标准化排查流程,提高故障定位效率,降低

人工诊断的盲目性。

### 3.2 应急处理措施

#### 3.2.1 临时降级运行模式

临时降级运行模式是信号系统故障时保障列车基本运行的关键应急手段,通过降低系统功能等级实现安全可控的运营过渡。当ATP或ATO系统出现严重故障(如车地通信持续中断、核心算法失效),无法维持全自动运行时,可切换至该模式。此时系统将简化安全防护逻辑,例如从“自动防护+自动驾驶”降级为“人工驾驶+速度监督”,由司机手动控制列车,ATP仅保留超速报警和紧急制动功能,同时限制最高运行速度(通常降至40km/h以下),并增大列车安全间隔。

#### 3.2.2 备用设备切换

备用设备切换是针对硬件或核心模块故障的快速恢复手段,通过启用冗余设备保障系统关键功能。车载信号系统设计中通常包含双重或多重备用配置,例如ATP控制器采用主备双机热备模式,传感器设置冗余采集通道。当主设备出现故障(如控制器无响应、传感器数据异常),系统会自动触发切换机制,备用设备在毫秒级时间内接管工作,确保信号输出不中断。若自动切换失败,维护人员可通过车载操作终端手动激活备用模块,同时记录主设备故障代码。对于车地通信这类依赖地面设施的环节,部分线路会部署备用通信链路(如从无线通信切换至漏缆通信),当主链路中断时快速切换,保障基础指令传输。备用设备切换能最大限度缩短故障影响时间,是减少运营延误的重要技术保障。

### 3.3 预防维护策略

#### 3.3.1 临时降级运行模式

临时降级运行模式是信号系统故障时保障列车基本运行的关键应急手段,通过降低系统功能等级实现安全可控的运营过渡。当ATP或ATO系统出现严重故障(如车地通信持续中断、核心算法失效),无法维持全自动运行时,可切换至该模式。此时系统将简化安全防护逻辑,例如从“自动防护+自动驾驶”降级为“人工驾驶+速度监督”,由司机手动控制列车,ATP仅保留超速报

警和紧急制动功能,同时限制最高运行速度(通常降至40km/h以下),并增大列车安全间隔。调度中心通过地面信号机或无线调度电话向司机下达指令,确保列车按固定进路有序运行。该模式虽降低了运营效率,但能在故障排查期间避免线路瘫痪,为抢修争取时间,是平衡安全与运营连续性的核心策略。

#### 3.3.2 备用设备切换

备用设备切换是针对硬件或核心模块故障的快速恢复手段,通过启用冗余设备保障系统关键功能。车载信号系统设计中通常包含双重或多重备用配置,例如ATP控制器采用主备双机热备模式,传感器设置冗余采集通道。当主设备出现故障(如控制器无响应、传感器数据异常),系统会自动触发切换机制,备用设备在毫秒级时间内接管工作,确保信号输出不中断。若自动切换失败,维护人员可通过车载操作终端手动激活备用模块,同时记录主设备故障代码。对于车地通信这类依赖地面设施的环节,部分线路会部署备用通信链路(如从无线通信切换至漏缆通信),当主链路中断时快速切换,保障基础指令传输。备用设备切换能最大限度缩短故障影响时间,是减少运营延误的重要技术保障<sup>[1]</sup>。

### 结束语

地铁车载信号系统作为列车安全高效运行的核心,其ATP、ATO、ATS功能的协同运作为城市轨道交通有序运转的基础。从功能剖析到故障探究,再到处理策略的梳理,可见系统的复杂性与维护的重要性。通信、设备、软件等故障虽难以完全规避,但通过科学的诊断技术、应急措施及预防策略,能有效降低其影响。

### 参考文献

- [1]吴晓天,兰天笑,刘夏璞,张伟.地铁信号系统车载常见故障及解决措施[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021(9):281-282.
- [2]高钰轩,宋彤,张雨菲.城市地铁信号系统的故障排除与维护[J].文渊,2022,(8):316-318.
- [3]吴岳飞.地铁车载信号系统功能及常见故障分析[J].中国新通信,2021,19(15):51.