

# 轨道交通信号与列车运行协调性研究

刘鑫鑫

身份证号码：342401199808056920

摘要：轨道交通信号系统是管控列车运行状态、规范行车秩序的核心系统，与列车运行的协调性直接决定轨道交通整体运营的安全性与流畅性。在轨道交通网络化、高密度运营的发展背景下，信号系统与列车牵引、制动、调速等运行环节的适配衔接愈发重要，二者协调不足会引发行车卡顿、运行偏差、运营秩序混乱等问题，潜藏安全运营隐患。本文围绕轨道交通信号与列车运行的协调性展开系统性研究，阐述信号系统与列车运行的协同机理，分析影响二者协调匹配的各类核心因素，梳理当前轨道交通运营中存在的协调性问题，针对性提出优化二者协同适配、提升行车整体稳定性的有效策略。研究旨在完善轨道交通车机协同运行体系，提升列车运行的精准度与流畅性，为轨道交通安全高效、稳定有序运营提供理论支撑。

关键词：轨道交通；信号系统；列车运行；协调性；车机协同

## 引言

城市轨道交通已成为城市公共交通的核心载体，随着路网规模不断扩大、行车密度持续提升，列车运行的精准控制、有序调度成为轨道交通运维管理的核心重点。信号系统作为列车运行的指挥核心，承担着行车指令下发、速度管控、进路防护、运行状态监测的重要职能，所有列车运行动作均需依托信号指令完成落地执行。信号系统的指令输出、传输响应与列车自身的运行执行能力能否高度匹配，直接影响行车安全与运营效率。当前轨道交通运营过程中，普遍存在信号指令响应滞后、车机运行适配偏差、动态协同能力不足等协调性问题，难以适配高密度、高频次的行车需求。因此，深入研究轨道交通信号与列车运行的协同关系，排查协同运行短板，优化协同运行机制，对提升轨道交通整体运营质量、规避行车安全风险具有重要的现实意义。

## 一、轨道交通信号与列车运行协同机理

### （一）信号系统的行车管控功能

轨道交通信号系统是列车运行的核心指挥系统，具备全方位、全流程的行车管控能力，是保障列车规范运行的基础前提。信号系统可根据线路工况、行车计

划、路网车流状态，生成对应的行车控制指令，涵盖列车启动、调速、制动、停车、进路变更等各类运行操作。同时，信号系统能够实时监测列车位置、运行速度、行驶状态等核心信息，动态调整行车指令，规避列车超速、越位、追尾等风险。整套系统依托稳定的信息传输与指令输出，实现对单列车精准管控与多列车有序调度，为列车规范化、安全化运行提供核心保障。

### （二）列车运行的指令执行逻辑

列车运行的所有操作均遵循信号系统下发的标准化指令，具备固定的执行逻辑与运行响应机制。列车车载设备可实时接收地面信号系统传输的控制指令与线路数据，结合自身运行状态完成指令解析与动作执行。在正常运营状态下，列车会根据信号指令完成匀速行驶、减速慢行、精准停车等操作，同时将自身运行数据实时反馈至信号系统，形成闭环控制流程。列车的牵引响应速度、制动平稳性、速度调节精度，是决定指令执行效果的关键，也是影响车机协同协调性的核心载体条件。

### （三）车机协同的运行闭环体系

轨道交通信号系统与列车运行形成双向交互、动态适配的闭环协同体系，二者相互制约、相互适配，共同保障路网稳定运行。信号系统根据整体路网运营状态下发统筹指令，列车精准执行指令并反馈运行数据，信号系统依托反馈数据完成二次指令调整，实现动态协同管控。完整的协同闭环涵盖信息采集、指令下发、动作执行、数据反馈、动态修正多个环节，任一环节的衔接偏差，都会打破车机协同平衡，引发运行不协调问题，影响整体行车秩序。

## 二、轨道交通信号与列车运行协调性影响因素

### （一）设备硬件适配差异

硬件设备的性能差异与工况状态，是影响信号与列车运行协调性的基础因素。地面信号设备、车载接收设备、传输线缆等硬件设施的性能衰减、工况不稳定，会造成信号指令传输延迟、信号衰减、指令丢失等问题。不同服役年限、不同型号的列车设备存在性能差异，对信号指令的接收灵敏度、执行响应速度各不相同，容易出现同类指令下不同列车运行状态不一致的情况。同时，硬件设备长期运行产生的元器件老化、设备磨损等问题，会持续降低设备适配精度，逐步拉大车机运行的协同偏差。

## （二）系统软件与参数匹配问题

信号系统与列车车载控制系统的软件适配性、参数匹配度，直接决定车机协同的精准程度。信号系统的指令输出参数、速度控制阈值、制动预留参数，需要与列车的运行性能参数精准匹配，若参数设置不合理、新旧系统参数不兼容，会导致指令执行偏差。软件系统运行过程中出现的程序卡顿、数据交互异常、系统缓存堆积等问题，会影响指令传输与解析效率，造成列车响应滞后、运行调节不及时，引发车机运行节奏不匹配的现象，破坏整体运行协调性。

## （三）外部环境 with 运营工况干扰

复杂的运行环境与动态变化的运营工况，是诱发车机协同失调的重要外部因素。隧道密闭环境、恶劣天气、电磁干扰等外部条件，会影响信号传输的稳定性，造成指令传输波动。同时，轨道交通高密度行车、高峰时段车流集中的运营工况，会大幅提升信号系统的运行负荷，导致系统指令调度压力增大，动态响应速度下降。线路临时管控、行车计划调整等动态变化，也会打破常规协同节奏，若系统无法快速适配工况变化，就会出现列车运行与信号指令衔接不畅的问题。

# 三、提升信号与列车运行协调性的优化策略

## （一）优化硬件设备运维与适配性

常态化的硬件设备养护与适配优化，是保障车机协同稳定的基础举措。需建立标准化的信号设备与列车车载设备巡检养护机制，定期对信号传输设备、车载接收终端、线路线缆进行全面检修与校准，及时更换老化失效零部件，保障硬件设备运行性能稳定。针对不同型号、不同服役年限的列车，开展设备适配性检测，针对性调整硬件接收参数，缩小设备性能差异带来的协同偏差。同时，定期开展设备精度校准工作，提升信号传输与指令接收的精准度，夯实车机协同的硬件基础。

## （二）完善系统软件与参数协同配置

通过软件优化与参数精细化配置，可有效提升车机运行的匹配度。结合列车运行性能、线路工况、行车标准，统一优化信号系统与车载控制系统的核心运行参数，消除参数冲突与适配漏洞。定期对信号系统、车载控制软件进行升级优化，修复系统运行漏洞，清理系统冗余缓存，提升软件运行流畅度与数据交互效率。

建立参数动态调整机制，根据线路运行状态、设备服役周期，动态微调控制参数，保障不同工况下车机指令执行与运行状态的高度匹配。

### （三）构建动态化协同管控机制

适配高密度运营需求，构建动态响应、实时修正的车机协同管控机制。依托智能监测平台，实时采集信号指令数据、列车运行数据，动态比对二者运行偏差，及时识别协同失调隐患并自动修正。优化信号系统调度逻辑，提升系统动态响应能力，能够根据实时车流、线路状态快速调整行车指令，适配列车运行节奏。同时，完善协同运维管理制度，针对车机协同故障建立专项处置流程，强化运维人员协同管控能力培训，全方位提升信号与列车运行的整体协调性。

### 结束语

轨道交通信号系统与列车运行的高度协同，是保障轨道交通行车安全、提升运营效率、规范行车秩序的核心关键，二者的适配衔接质量直接决定轨道交通整体运营水平。本文通过梳理信号系统与列车运行的协同运行闭环体系，分析硬件适配、软件参数、外部工况三大协同影响因素，从硬件运维、软件优化、管控机制三个维度提出针对性的协同优化策略。随着轨道交通智能化、精细化运营水平的持续提升，车机协同管控将成为运维工作的核心重点。未来需持续优化车机适配体系，完善动态协同管控模式，不断缩小车机运行偏差，全面提升信号与列车运行的协调性，为轨道交通安全、稳定、高效运营提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]李媛婧. 轨道交通信号控制系统的技术分析[J]. 电子技术, 2024, 53(09): 326-327.
- [2]郗洪民, 李克. 双碳战略驱动下城市轨道交通信号技术创新实践[J]. 现代城市轨道交通, 2022, (08): 12-18.
- [3]肖旭慧. 城市轨道交通信号系统新技术发展现状与展望研究[J]. 运输经理世界, 2022, (14): 89-91.