

# 城市轨道交通车辆运行安全与车辆智能化

苗 旺

天津轨道交通运营集团有限公司 天津 300000

**摘要：**城市轨道交通车辆运行安全与车辆智能化是城市公共交通发展的核心议题。本文从技术革新、效率优化及社会效益三方面分析其重要性，探讨车辆关键部件性能、运行环境、设备监测及运维机制等核心要素，重点研究智能化在提升运行控制精准性、故障预警处理能力、应急响应机制及乘客安全保障中的作用，构建系统化安全体系，为城市轨道交通可持续发展提供技术支撑。

**关键词：**城市轨道交通；运行安全；车辆智能化

**引言：**随着城市化进程加速，轨道交通已成为城市交通网络的骨干，其运行安全直接关系乘客生命财产安全与社会稳定。车辆智能化通过实时监测、故障预警、自主决策等技术赋能，为安全运行提供系统性解决方案，推动轨道交通从“功能交通”向“品质交通”转型。技术革新驱动的安全模式不仅提升单次运行安全系数，更构建可预测、可控制、可优化的安全体系，成为未来城市轨道交通发展的核心竞争力。

## 1 城市轨道交通车辆运行安全与车辆智能化的重要性

城市轨道交通车辆运行安全与车辆智能化是城市公共交通发展的核心，其重要性体现在技术革新、效率提升及社会效益。随着城市化进程加速，轨道交通已成为城市交通网络骨干，运行安全性直接关系乘客生命财产安全与社会稳定。车辆智能化通过技术赋能，为安全运行提供系统性解决方案，是行业发展必然趋势。（1）技术层面：智能化系统通过实时监测、故障预警与自主决策，显著提升车辆运行可靠性。智能传感器实时采集车辆状态数据，提前识别潜在故障避免突发事故；自动驾驶技术精确控制车辆速度与间距，减少人为操作误差降低碰撞风险。预防性维护突破传统“事后维修”局限，实现从被动应对到主动防御的转变。（2）效率优化：智能化系统通过数据融合与算法优化提升线路运营效率。智能调度系统根据实时客流动态调整发车间隔避免运力浪费；能源管理系统精准控制牵引与制动降低能耗，实现绿色出行。这不仅提升运营效率，更推动城市交通向低碳化、可持续方向发展。（3）社会效益：智能化车辆通过提升乘客体验增强公共交通吸引力。智能导航系统提供实时到站信息减少乘客等待焦虑；无障碍设施与智能报警系统保障特殊群体出行安全，体现社会公平。这种以用户为中心的设计，推动轨道交通从“功能交通”向“品质交通”转型。城市轨道交通车辆运行安全与车辆智能

化是技术进步与社会需求的双重驱动<sup>[1]</sup>。其重要性不仅在于提升单次运行安全系数，更在于构建可预测、可控制、可优化的系统化安全体系，为城市可持续发展提供支撑。技术赋能的安全模式，将成为未来城市轨道交通发展的核心竞争力。

## 2 城市轨道交通车辆运行安全的核心要素

### 2.1 车辆关键部件安全性能

城市轨道交通车辆运行安全的核心要素中，车辆关键部件的安全性能是基础保障。制动系统作为车辆安全的核心部件，需具备高可靠性、快速响应及抗疲劳特性，确保在紧急情况下有效减速或停车，避免脱轨或碰撞风险。转向架作为支撑车体与传递载荷的关键结构，需通过优化设计提升抗侧滚、抗蛇行能力，保障车辆运行稳定性，减少脱轨概率。车门系统需兼顾安全与便捷，采用防夹装置、紧急开启功能及实时状态监测，避免夹人事故并保障紧急疏散效率。电气系统需强化绝缘性能与过载保护，防止短路、漏电等电气故障引发火灾或设备损毁。牵引系统需通过精准控制与故障诊断，确保动力输出平稳，避免因动力异常导致的车辆失控。关键部件的安全性能需通过严格的设计标准、材料筛选及定期检测维护实现。例如，采用高强度轻量化材料降低部件疲劳风险，运用无损检测技术提前识别潜在裂纹或磨损，结合智能监测系统实时反馈部件状态，实现从被动维护到主动预防的转变。这种系统性安全设计，为城市轨道交通车辆运行提供了坚实的技术支撑。

### 2.2 运行环境安全影响因素

城市轨道交通车辆运行安全的核心要素中，运行环境安全影响因素需从多维度综合考量。轨道几何状态直接影响车辆平稳性，如轨距偏差、轨面平整度超标可能导致车辆振动加剧，加剧部件疲劳，甚至引发脱轨风险；线路周边地质条件亦需关注，软基路段易产生不均匀沉

降，导致轨道变形，威胁行车安全。气象环境对运行安全影响显著，雨雪天气会降低轨道摩擦系数，延长制动距离，增加追尾或滑行风险；冰冻天气可能导致道岔冻结、接触网结冰，影响设备正常运作；高温环境下轨道胀轨风险上升，需通过热胀冷缩补偿设计及实时监测预警规避风险。电磁环境干扰不容忽视，高压电缆、通信基站等设施产生的电磁场可能干扰车载信号系统，导致信息误传或设备误动作<sup>[2]</sup>。同时周边施工振动、地下空洞等隐蔽工程可能破坏轨道结构稳定性，需通过地质雷达、振动监测等技术手段提前识别风险。运行环境安全需通过动态监测、风险评估与应急处置体系实现系统性防控，通过多源数据融合分析，实时识别环境风险，结合智能调度系统调整行车策略，确保车辆在复杂环境中安全运行。

### 2.3 设备状态实时监测要点

设备状态实时监测是保障城市轨道车辆安全运行的核心技术手段，其要点聚焦于多维度数据采集与智能分析。传感器网络需覆盖关键部件，如制动盘、转向架、电气柜等，通过振动、温度、压力等参数实时捕捉设备状态变化，避免因单一参数误判导致的安全风险。数据传输需确保低延迟与高可靠性，采用无线通信与有线网络冗余设计，防止信号中断影响监测连续性；边缘计算节点可对数据进行初步处理，如滤波、特征提取，降低云端传输压力，同时实现局部故障的快速响应。智能分析算法需具备自学习能力，通过历史数据训练模型，识别设备劣化趋势与异常模式，实现故障预测而非仅故障报警；例如基于振动频谱分析的轴承故障预警，或基于温度梯度的电气连接松动检测。监测系统需与车辆控制系统深度集成，当检测到关键部件异常时，可自动触发降级运行模式或紧急制动，避免事故扩大；同时，监测数据需形成闭环管理，指导维护策略优化，从“定期维修”向“状态维修”转型，提升运营效率与安全性。

### 2.4 运维环节安全保障机制

运维环节安全保障机制是城市轨道车辆运行安全的最后防线，需构建“预防-监测-响应-优化”的闭环体系。预防性维护通过标准化作业流程与智能工具应用，降低人为操作失误风险，例如采用电子化作业指导系统规范检修步骤，避免漏检漏修。智能诊断系统通过多源数据融合分析，实现故障精准定位与趋势预测，例如，结合振动、温度、声学等多维度传感器数据，运用机器学习算法识别设备劣化特征，提前预警潜在故障，避免突发停运。人员能力提升是关键支撑，需通过常态化培训与模拟演练强化运维人员应急处置能力，例如开展故

障场景模拟训练，提升团队协作与快速决策水平，确保在设备异常时能迅速采取有效措施。应急响应机制需明确分级处置流程，确保故障发生后能快速启动预案，例如，建立“现场-调度-专家”三级响应网络，通过实时通信系统实现信息高效传递，确保故障处理及时性<sup>[3]</sup>。同时，通过事后复盘优化维护策略，形成持续改进的安全管理闭环，提升运维环节的整体安全水平。

## 3 车辆智能化对城市轨道车辆运行安全的提升作用

### 3.1 提高运行控制的精准性

智能感知技术通过多维传感器网络实时采集车辆状态与环境数据，如振动、温度、压力等参数，为精准控制提供高精度数据支撑。智能算法基于实时数据动态调整车辆速度、间距及制动策略，避免人为操作误差，提升控制精度；例如，自动驾驶系统根据实时客流密度与轨道几何状态自动优化行车路径，确保车速与车距精准匹配，减少追尾风险。智能调控系统与车辆控制系统深度集成，形成“感知-决策-执行”闭环链路。当监测到轨道微小形变或设备异常时，系统可实时调整牵引力与制动力分配，避免打滑或制动失效；同时，基于多模态AI的决策模型可融合视觉、声纹等多维信息，精准识别乘客异常行为或设备异响，提前触发安全防护措施。通过这些技术迭代，城市轨道车辆运行控制精准性显著提升，实现从“经验驱动”到“数据驱动”的转变。这种精准控制不仅降低事故风险，更优化线路运营效率，推动城市轨道交通向更安全、更高效、更智能的方向发展，为城市可持续发展提供坚实技术保障。

### 3.2 增强故障预警与处理能力

智能诊断系统通过多源数据融合与机器学习算法，实现从“故障发现”到“故障预测”的升级。系统集成振动、温度、声学等传感器数据，构建设备健康状态数字孪生模型，实时分析部件劣化趋势；例如，基于振动频谱的轴承早期裂纹识别，或通过电流谐波分析的电气接触不良预警，均能提前数周至数月发现潜在故障，避免突发停运。智能调控与车辆控制系统深度集成，形成“预测-预警-预防”闭环。当系统预测到高风险故障时，可自动触发降级运行策略，如限制车速、调整行车线路或启动备用系统，确保风险可控。同时，自适应材料与智能结构的应用，如形状记忆合金自动修复轨道裂纹、磁流变减振器实时调整悬挂刚度，提升行车平稳性并增强故障处理能力。这些技术推动故障预警从“被动响应”转向“主动干预”，实现风险预判与动态优化<sup>[4]</sup>。通过技术迭代，城市轨道车辆运行安全性显著提升，构建覆盖全生命周期的智能化安全防护体系，为城市可持续

发展提供前瞻性技术支撑，推动轨道交通向更安全、更智能的方向迈进。

### 3.3 优化应急响应机制

车辆智能化技术为城市轨道应急响应机制带来系统性优化，通过构建全流程智能处理体系提升安全保障能力。智能监测预警系统实现对车辆关键部件运行状态的实时感知，通过多维度数据采集与分析，提前识别潜在故障风险，为应急处理争取时间窗口。多维度风险评估模型能够整合车辆状态、线路环境等信息，通过智能算法快速判断事件性质与影响范围，为后续决策提供科学依据。快速决策支持平台基于预设方案与实时数据，自动生成最优应对策略，辅助操作人员在紧急情况下迅速作出准确判断。协同响应机制借助智能通信系统实现各环节信息实时共享，确保应急指令高效传达与执行。智能资源调配系统根据事件需求自动规划物资与人员调度路径，提升应急资源利用效率。事后分析优化模块通过对事件数据的深度挖掘，持续完善应急处理流程与系统参数，形成闭环改进机制。这些智能化手段的应用，使应急响应从被动应对转向主动预防，从经验判断转向数据驱动，从单一环节处理转向全系统协同，全面提升城市轨道车辆运行的安全保障水平。

### 3.4 提升乘客安全保障

车辆智能化技术从多个维度强化乘客安全保障体系，通过构建全场景防护网络提升出行安全感。智能环境监控系统实时监测车厢内温度、湿度、空气质量等指标，自动调节通风与空调系统，营造舒适安全的乘车环境。智能视频监控系统具备异常行为识别功能，能够及时发现车厢内的安全隐患，通过声光报警提醒乘客与工作人员；车门智能防护机制采用多传感器融合技术，精准检测障碍物并自动控制车门开关，防止夹人夹物风险。紧

急呼叫系统实现一键连接与定位功能，乘客遇到突发情况时可迅速获得响应支持。智能疏散引导系统通过车厢显示终端与语音播报，实时提供清晰的逃生指引，帮助乘客在紧急情况下快速疏散。无障碍设施智能化升级为特殊需求乘客提供便捷服务，包括自动感应开启轮椅通道和盲文导览系统<sup>[5]</sup>。这些智能化举措共同构建起全方位的乘客安全防护网络，从环境保障行为监测到应急支持，形成全链条安全服务体系，切实提升乘客出行的安全体验。

结束语：未来，技术持续迭代，智能化将推动轨道交通更安全、高效、绿色发展，为城市可持续发展添动力。智能感知实现全维度监测与毫秒级防护；自动驾驶达厘米级精度，优化通行；数字孪生打通数据壁垒，形成全周期管理；能源管理系统实现碳管控。这些创新叠加，让轨道交通成智慧交通枢纽，提升城市发展与出行品质。

### 参考文献

- [1]何剑,和学庆.城市轨道交通车辆运行平稳性因素探究[J].人民公交,2025(8):99-101.
- [2]崔志奇.城市轨道交通车辆运行控制系统优化与节能策略[J].人民公交,2025(16):113-115.
- [3]张建华.光热成像技术在城市轨道交通车辆智能运维中的应用研究[J].城市轨道交通研究,2025,28(1):233-236.
- [4]刘鹏飞.城市轨道交通车辆段场智能化管理及发展研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(2):093-096.
- [5]田师娇,罗湘萍,肖春昱,周劲松,官岛.主动径向故障导向安全行为对轨道交通车辆运行安全性的影响[J].机械工程学报,2025,61(12):182-190.