

# 无线通信技术在轨道交通通信中的应用

毛奇生

烽火通信科技股份有限公司 湖北 武汉 430205

**摘要：**无线通信技术是轨道交通通信体系的核心支撑。本文首先阐述轨道交通通信对无线技术的核心需求与核心应用场景，接着介绍常用无线通信技术类型，包括专用、公共及新型无线通信技术。随后详细分析无线通信技术在行车调度、车辆运行、车站运营、设备监控、乘客服务等环节的应用。最后探讨现有无线技术优化升级方向与新型无线技术融合应用方向，为轨道交通通信发展提供参考。

**关键词：**无线通信技术；轨道交通通信；应用场景；技术融合；通信优化

引言：轨道交通作为现代城市交通的关键部分，其高效安全运行依赖先进的通信技术。无线通信技术凭借灵活性与高效性，在轨道交通通信中占据重要地位。随着轨道交通智能化发展，对无线通信技术提出更高要求，不仅要满足实时性、可靠性等基础需求，还需适应多样化应用场景。深入研究无线通信技术在轨道交通中的应用，有助于提升轨道交通运营效率与安全性，推动其向智能化、现代化方向发展。

## 1 无线通信技术在轨道交通中的应用基础

### 1.1 轨道交通通信对无线技术的核心需求

轨道交通系统作为现代城市交通的骨干网络，其通信需求具有高度专业性与复杂性。从安全层面看，列车运行控制对通信实时性要求极高，需确保车地间指令传输延迟控制在毫秒级，避免因通信延迟导致制动距离偏差引发安全事故<sup>[1]</sup>。在效率维度，轨道交通需支持高密度客流下的信息交互，包括列车位置追踪、运行间隔调整等动态数据传输，这对无线通信的频谱利用率与多用户接入能力提出严苛挑战。此外，轨道交通场景涵盖地下隧道、高架桥、地面站台等多样化环境，无线信号传播面临多径效应、阴影衰落等物理限制，要求通信技术具备强抗干扰能力与自适应环境调节机制。从系统可靠性角度，轨道交通通信需满足7×24小时不间断运行需求，无线设备需具备高冗余设计与故障自愈能力，确保在极端天气或设备局部故障时仍能维持基本通信功能。随着智能化发展，轨道交通对无线通信的带宽需求呈指数级增长，高清视频监控、乘客信息服务、设备状态监测等业务均需依赖高速数据传输通道，这推动无线技术向大容量、低时延方向演进。

### 1.2 无线通信技术应用的核心场景划分

轨道交通无线通信的应用场景可依据功能属性划分为三大类。第一类是行车控制类场景，涵盖列车自动防

护、自动运行及自动监控等核心系统，此类场景对通信可靠性要求近乎苛刻，需采用专用频段与抗干扰技术确保指令传输零差错。第二类是乘客服务类场景，包括车载Wi-Fi、实时到站信息显示、应急广播等，此类场景需兼顾覆盖范围与用户体验，通常采用多频段协同组网方式实现站台与车厢的无缝覆盖。第三类是运维管理类场景，涉及车辆状态监测、轨道设备巡检、能源管理系统等，此类场景对通信的实时性与数据精度要求较高，需通过无线传感器网络实现设备状态参数的实时采集与传输。三类场景虽功能侧重不同，但均需依赖无线通信技术构建车地间、站台间、设备间的信息交互桥梁，共同支撑轨道交通系统的高效安全运行。

## 2 轨道交通通信中常用无线通信技术类型

### 2.1 专用无线通信技术

专用无线通信技术是轨道交通通信体系的核心支撑，这类技术针对轨道交通场景的特殊需求进行定制化开发，在安全性、可靠性与实时性方面具备显著优势。数字集群通信系统是应用最广泛的专用技术之一，通过时分多址技术实现频谱资源的高效利用，支持组呼、紧急呼叫、全呼等多样化调度功能，满足行车调度、应急指挥等场景的通信需求。这类系统通常采用窄带传输模式，在复杂电磁环境下仍能保持稳定连接，且具备快速呼叫建立与低延迟特性，确保关键指令的即时传达。此外，专用短程通信技术通过短距离高频段传输实现车与车、车与基础设施间的直接通信，无需经过核心网转发，这种架构设计大幅降低了通信时延，为列车协同运行与碰撞预警提供了技术基础<sup>[2]</sup>。专用无线通信技术还涵盖基于轨道电路的无线传输方案，通过在轨道旁部署传感器与中继设备，实现列车位置与速度信息的实时采集与传输，这种技术虽传输速率有限，但在可靠性要求极高的信号控制领域仍占据重要地位。

## 2.2 公共无线通信技术

公共无线通信技术凭借广泛的覆盖范围与成熟的产业生态，成为轨道交通通信的重要补充。蜂窝通信技术通过运营商网络为轨道交通提供大容量数据传输通道，4GLTE技术已广泛应用于车载视频监控、乘客信息服务等场景，其高带宽特性支持多路高清视频流的实时回传。5G技术的引入进一步拓展了公共无线通信的应用边界，通过增强移动宽带、超可靠低时延通信等特性，满足轨道交通对智能化运维与自动化控制的需求。无线局域网技术则在站台、车厢等封闭场景中发挥关键作用，通过部署Wi-Fi6等高性能接入点，为乘客提供高速互联网接入服务，同时支持设备状态监测、客流分析等内部业务的数据传输。公共无线通信技术的优势在于可利用现有基础设施快速部署，降低轨道交通运营商的建网成本，但需解决网络切换、干扰管理等技术挑战，以确保在高速移动场景下的通信质量。

## 2.3 新型无线通信技术

新型无线通信技术为轨道交通通信的未来发展提供了创新路径。毫米波通信技术凭借超高频段与大带宽特性，成为满足轨道交通高清视频传输与实时控制需求的潜在方案，其方向性传输特性还可提升通信安全性，但需解决穿透损耗与多径效应等技术瓶颈。可见光通信技术通过LED照明设备实现数据传输，在隧道等封闭场景中具备抗电磁干扰与无频谱限制的优势，可与现有照明系统深度融合，降低部署成本。量子通信技术则通过量子密钥分发实现通信的绝对安全，为轨道交通关键数据传输提供理论上的无条件安全保障，尽管目前仍处于实验阶段，但已成为未来安全通信的重要研究方向。这些新型技术虽尚未大规模商用，却为轨道交通通信的智能化、安全化演进提供了技术储备。

## 3 无线通信技术在轨道交通各环节的应用

### 3.1 行车调度环节的无线通信应用

行车调度是轨道交通运营的核心环节，无线通信技术为调度中心与列车、车站间的信息交互构建了实时通道。数字集群通信系统通过专用频段实现调度指令的快速下发，支持组呼、单呼等多样化通信模式，确保调度员与司机、站务人员间的无障碍沟通<sup>[3]</sup>。在复杂线路条件下，多基站协同组网技术可扩大信号覆盖范围，消除调度盲区，保障全线调度指令的准确传达。随着智能调度系统发展，无线通信还承担着列车运行计划、实时位置、速度等数据的双向传输任务，为调度算法提供动态输入，实现运行间隔的智能调整与突发事件的快速响应。

### 3.2 车辆运行环节的无线通信应用

车辆运行环节对无线通信的实时性与可靠性要求极高。车地通信系统通过无线链路实现列车自动控制指令的传输，包括牵引/制动指令、速度曲线调整等，确保列车按计划精准运行。在高速移动场景下，抗多普勒频移技术可维持信号稳定性，避免因速度变化导致的通信中断。车载无线传感器网络则负责采集轴温、振动、受电弓状态等关键参数，通过无线传输至地面监控中心，为故障预警与健康健康管理提供数据支持。此外，列车间通信技术通过短距离无线传输实现前后车位置共享，为协同运行与碰撞预警提供技术基础。

### 3.3 车站运营环节的无线通信应用

车站运营环节依赖无线通信技术实现多业务协同。站台无线覆盖系统为乘客提供互联网接入服务，同时支持客流统计、行为分析等智能化应用。站务人员通过手持终端接入无线专网，可实时接收调度指令、查询设备状态，并上传现场情况，提升应急处理效率。在大型枢纽站，多频段协同组网技术可避免信号拥塞，确保语音调度、视频监控、数据传输等业务的并发运行。此外，无线定位技术通过部署蓝牙信标或UWB基站，实现人员与设备的精准定位，为站内导航、资产追踪提供技术支持。

### 3.4 设备监控环节的无线通信应用

设备监控环节中，无线通信技术构建了覆盖全线的物联网感知网络。轨道巡检机器人通过无线传输将道岔状态、钢轨磨损等检测数据实时回传，替代人工巡检提升效率。轨道巡检机器人利用无线通信技术可以将检测数据实时回传，避免了人工巡检的繁琐和低效，提高了巡检的效率和准确性。接触网监测系统利用无线传感器采集弓网接触压力、温度等参数，通过无线中继传输至控制中心，实现故障的早期发现。接触网监测系统通过无线传感器采集关键参数，并通过无线中继传输到控制中心，能够及时发现接触网的故障隐患，保障接触网的安全运行。在隧道环境，无线低功耗广域网技术可连接分散部署的温湿度、气体浓度传感器，构建环境监测网络，为通风与照明控制提供决策依据。隧道环境复杂，无线低功耗广域网技术可以连接分散的传感器，构建环境监测网络，为通风和照明控制提供准确的数据支持，保障隧道内的环境安全。这些无线监测系统通过减少布线成本与维护难度，显著提升了设备监控的智能化水平。

### 3.5 乘客服务环节的无线通信应用

乘客服务环节中，无线通信技术推动了服务模式的数字化转型。车载信息娱乐系统通过无线接入地面服务器，为乘客提供实时新闻、到站提醒等个性化服务。车载信息娱乐系统利用无线通信技术接入地面服务器，能

够为乘客提供丰富多样的个性化服务,提升乘客的出行体验。站内电子导视屏通过无线更新内容,动态显示列车时刻、换乘路径等信息,提升出行体验。站内电子导视屏通过无线更新内容,可以及时准确地显示列车时刻和换乘路径等信息,方便乘客出行<sup>[4]</sup>。在应急场景下,无线广播系统可快速下发疏散指令,引导乘客有序撤离。在应急情况下,无线广播系统能够迅速将疏散指令传达给乘客,引导乘客有序撤离,保障乘客的生命安全。此外,乘客反馈系统通过无线终端收集服务评价,为运营优化提供数据支持。随着5G技术普及,超高清视频、AR导航等增值服务正逐步落地,进一步丰富乘客服务内涵。

#### 4 无线通信技术在轨道交通中的应用发展方向

##### 4.1 现有无线技术的优化升级方向

现有无线通信技术在轨道交通领域的应用已相对成熟,但仍存在进一步优化升级空间。在频谱利用效率方面,通过引入动态频谱分配技术,可根据不同业务需求实时调整频段资源分配,缓解高峰时段频谱紧张问题。例如,在行车调度高峰期,优先保障调度指令传输的频段带宽,减少数据传输延迟。针对信号覆盖盲区,采用智能波束赋形技术,使无线信号能量更集中地投向目标区域,提升隧道、地下站台等复杂场景的覆盖质量。在抗干扰能力上,研发自适应干扰抑制算法,可实时识别并抑制同频干扰、多径干扰等,保障通信稳定性。对于数据传输可靠性,通过引入前向纠错编码与重传机制结合的方式,降低数据包丢失率,确保关键指令准确传达。此外,现有无线设备的功耗优化也是重要方向,采用低功耗芯片设计与智能休眠技术,可延长设备续航时间,减少维护成本,尤其适用于偏远区域或移动设备的无线通信模块。

##### 4.2 新型无线技术的融合应用方向

新型无线技术为轨道交通通信带来新的发展机遇,融合应用成为关键趋势。5G与毫米波技术的融合,可充分发挥5G大容量、低时延特性与毫米波高频段、大带宽优势,满足轨道交通高清视频监控、列车协同控制等对数

据传输速率与实时性的严苛要求。例如,在列车自动驾驶场景中,5G毫米波通信可实现车与车、车与基础设施间的高清视频与传感器数据实时交互,提升运行安全性。量子通信技术与现有无线网络的融合,为轨道交通关键数据传输提供绝对安全保障<sup>[5]</sup>。通过量子密钥分发技术,可实现调度指令、乘客信息等敏感数据的加密传输,防止数据泄露与篡改。可见光通信技术凭借抗电磁干扰、无频谱限制特性,可与轨道交通照明系统深度融合,在隧道、站台等场景构建辅助通信网络,补充现有无线覆盖不足。此外,人工智能技术与无线通信的融合,可实现网络资源的智能调度与故障预测。通过机器学习算法分析无线通信数据,提前识别潜在故障点,优化网络配置,提升轨道交通通信系统的智能化水平与运行效率。

#### 结束语

无线通信技术在轨道交通通信中占据核心地位,从行车调度到乘客服务,各环节均依赖其实现高效、安全的信息交互。现有技术的优化升级与新型技术的融合应用,将进一步推动轨道交通通信向智能化、安全化方向演进。通过提升频谱利用效率、增强抗干扰能力、融合5G与量子通信等前沿技术,轨道交通通信系统能够更好地适应动态化、高密度的运营需求,为城市交通的可持续发展提供坚实技术支撑。

#### 参考文献

- [1]梁诚.城市轨道交通中无线通信技术的应用研究[J].通信电源技术,2025,42(9):137-139.
- [2]吴旭容.5G无线通信技术在城市轨道交通中的应用[J].长江信息通信,2024,37(7):226-229.
- [3]邱月娇,李美健.浅谈无线通信技术应用与轨道交通通信及信号业务[J].中国设备工程,2022(11):186-188.
- [4]马超,顾晓峻,李彬.无线通信技术在轨道交通中的应用[J].智能城市,2021,7(6):163-164.
- [5]冯禹.LTE技术在城市轨道交通车地无线通信系统中的应用[J].电声技术,2022,46(3):120-123,128.