

# 城市轨道交通中的车地无线通信漏缆敷设方案

谢荣

(南京地铁运营有限责任公司 南京 210012)

**摘要** 文中研究了轨道交通车地无线通信技术,特别是漏缆技术的应用和敷设方案设计。首先,概述了车地无线通信技术的基本原理,讨论了漏缆技术在轨道交通中的应用,并分析了漏缆敷设方案的设计。其次,探讨了漏缆敷设方案的现场实施策略和优化措施,旨在提升作业效率和质量。最后,展望了未来的研究方向,以期后续研究提供参考,为轨道交通车地无线通信技术的发展提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 轨道交通;车地无线通信;漏缆技术;敷设方案设计;实施与优化

**中图分类号** TN92

## Leaky Cable Laying Scheme of Vehicle-ground Wireless Communication in Urban Rail Transit

XIE Rong

(Nanjing Metro Operation Co., Ltd., Nanjing 210012, China)

**Abstract** This paper studies the application of vehicle-to-ground wireless communication technology in rail transit, especially the application of cable leakage technology and the design of the laying scheme. Firstly, the basic principle of vehicle-to-ground wireless communication technology is outlined, the application of cable leakage technology in rail transit is discussed, and the design of the cable leakage laying scheme is analyzed. Secondly, the on-site implementation strategies and optimization measures of the cable leakage laying scheme are discussed, aiming to improve the operation efficiency and quality. Finally, the future research directions are prospected, in order to provide reference for subsequent research, and provide theoretical support and practical guidance for the development of rail transit vehicle-to-ground wireless communication technology.

**Key words** Rail transit, Vehicle-ground wireless communication, Leaky cable technology, Design of laying scheme, Implementation and optimization

## 0 引言

在轨道交通中,车地无线通信<sup>[1]</sup>至关重要,对列车运行的安全性和效率具有重要影响。随着城市的扩张和网络的复杂化,对通信性能和可靠性要求也越来越高。因此,研究车地无线通信中的漏缆敷设方案变得尤为迫切。高效的通信不仅可以保障列车安全,还能提升乘客体验,但面临着环境复杂性、电磁干扰等问题,需不断优化通信性能。本文旨在探讨漏缆敷设方案,以提升轨道交通通信系统的性能和可靠性,助力行业实现智能化、高效化发展。

## 1 轨道交通车地无线通信概述

### 1.1 车地无线通信技术的原理

车地无线通信技术对轨道交通中的数据传输至关重要。其基于电磁波原理,采用特定频段和调制技术来传输控制指令和监测数据。在技术上,需精确地处理信号;在物理上,需要灵活进行天线设计和频段选择,以增强信号,减

少干扰。本文分析了南京地铁 S6 号线的 LTE 无线系统。该系统采用 1.8 GHz 频段的 LTE-M 规范,支持多种业务,包括 CBTC 控制、集群通信等。系统采用 A/B 双网冗余架构,提高了可靠性和稳定性。宁句线 LTE 系统(见图 1)配置了两套 EPC 设备,分别位于控制中心的 A、B 网络,BBU 设备部署在沿线车站和车辆段的通信室内,通过独立光纤环网和专用传输系统提供 EPC 到 BBU 的 IP 连接,同时为 LTE 系统的 S1 接口提供数据传输通道。

### 1.2 漏缆技术在轨道交通中的应用

漏缆技术对轨道交通至关重要,它可以保障列车在运行时进行稳定的无线通信,确保安全性和实时监控<sup>[2]</sup>。该技术可以有效传输控制指令和状态信息,如速度和车门控制,确保通信的准确性和乘客安全。漏缆技术还支持乘客服务,提供上网和信息查询服务,改善了用户的出行体验,并具有强大的抗干扰能力,可以确保复杂电磁环境下的通信质量。目前,漏缆技术已在多个城市的轨道交通线路中得到了应用,提高了运营效率,减少了通信问题导致的列车晚点和故障现象,为城市交通出行带来了便利。

**作者简介:** 谢荣(1986—),本科,中级工程师,研究方向为城市轨道交通通信技术管理。

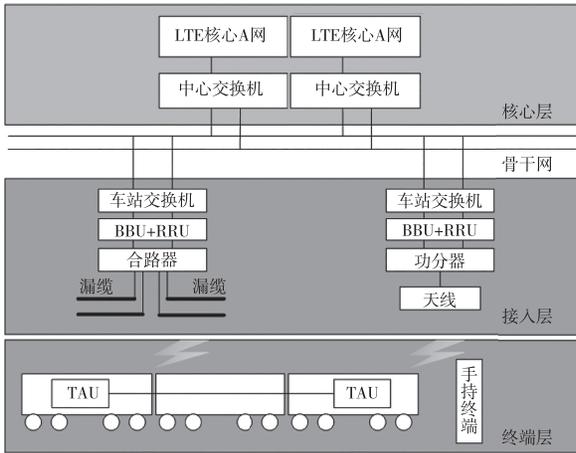


图1 车地无线通信系统结构图

## 2 漏缆敷设方案设计

### 2.1 漏缆敷设的一般要求

漏泄同轴电缆与其他系统的最小间距应为 300 mm，以减少干扰。与非高压带电体并排时，最小间距应超过 60 cm，与牵引供电设备带电部分的距离至少为 2 m。安装在隧道壁上时，最小间距应为 80 mm。钢丝承力索悬挂漏泄同轴电缆后的最大垂度不得超过 150 cm。电缆应每 1 m 设置一个卡具固定，每 10 m 设置一个防火卡具。在安装过程中，

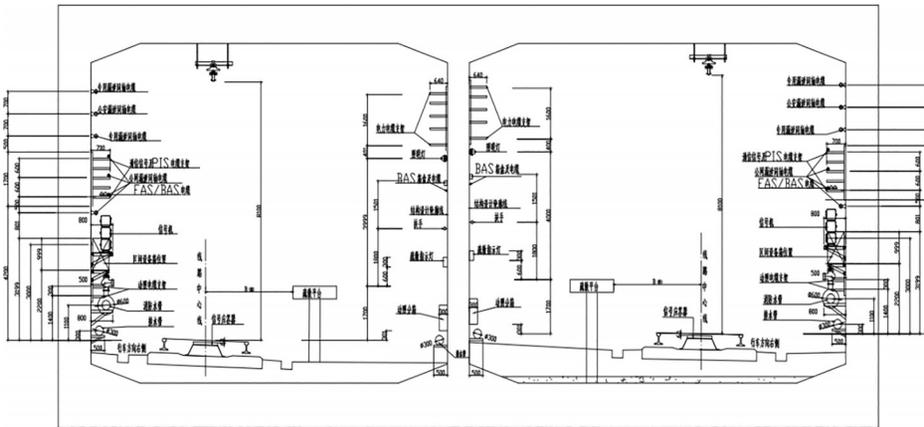


图2 隧道段漏缆敷设剖面图

### 2.3.2 高架及地面过渡段

高架线路两侧通常设有护栏或声屏障，其立柱多用H型钢或槽钢。施工时，这些立柱用于固定漏缆卡具，确保漏缆稳定。强电侧需安装两条 1-5/8 英寸漏泄同轴电缆，间距至少为 550 mm。其中一条漏缆利用声屏障设施，通过钢丝吊挂安装；另一条则置于强电侧托板的第二层<sup>[3]</sup>。在安装过程中，漏缆应尽量靠近列车底部，以便与列车底部的平板天线有效通信。

### 2.3.3 车站段敷设方案

车站站台主要可以分为侧式站台和岛式站台两大类。在侧式站台的设计中，漏泄同轴电缆被安装在沿着站台板边缘的侧墙位置。为确保漏缆能与列车底部的天线实现

漏缆槽孔对面的护套标记线应面向墙壁，确保开口方向正确。敷设范围包括正线区间线路、折返线、停车线、渡线、联络线、出入段线以及车辆在基地内的可达区域。集群调度通信系统还需考虑公共区域和终端用户使用区域。

### 2.2 漏缆敷设的基本原则

在轨道交通中，漏缆敷设方案的设计至关重要，其基本原则包括安全性、稳定性和兼容性。(1)安全性要求避免漏缆与危险区域交叉，确保不给人员和设备带来风险，同时不妨碍列车的运行和维护。(2)稳定性原则强调漏缆需适应环境变化，如温度、湿度、振动等，以保证信号的稳定传输。(3)兼容性原则要求方案与通信系统、信号系统及其他设施兼容，避免干扰。遵循这些原则，可设计出科学、高效、可靠的漏缆敷设方案，促进其持续发展。

### 2.3 漏缆敷设方式

#### 2.3.1 隧道区间覆盖方案

以单洞双轨为例，需在上下行弱电侧的隧道壁上结合预埋槽道敷设两条 1-5/8 英寸的漏泄同轴电缆。这两条漏泄同轴电缆应采用专用卡具进行安装，其间距应保持在 550 mm 及以上。为减少干扰，这两条漏泄同轴电缆与其他系统敷设的漏缆之间的距离应保持在 350 mm 以上。此外，漏泄同轴电缆的位置需与安装在列车顶部的平板天线相对应，以确保信号接收强度和抗干扰性能，具体布置如图 2 所示。

有效的对应和通信，其安装高度应距离轨面 500 mm 或 800 mm。

## 3 漏缆敷设方案的优化策略

在轨道交通车地无线通信中，漏缆敷设方案的优化至关重要。优化策略的制定需要综合考虑多方面的因素，以确保通信的稳定性和可靠性。

分析敷设环境至关重要，因为地理条件、隧道结构和电磁干扰会影响漏缆性能。在隧道弯道，需要调整漏缆弯曲半径，以防止信号衰减；在电磁干扰较强的区域，需要使用屏蔽性能更强的漏缆来降低干扰。

为解决城市轨道交通中的列车换乘问题,需特别规划换乘站的场强覆盖。换乘站分为同台和非同台两种,非同台换乘站因轨道不在同一层,可以自然地避免不同TD-LTE系统间的干扰。对于采用同台换乘的车站,本文提出了两种主要的覆盖优化设计方案。

(1)采用空间隔离方案,利用无线信号的衰减特性,通过增加信号源距离或设置障碍物减少干扰。可以通过等电平配置TD-LTE发射信号解决干扰问题,空间隔离的干扰裕量的计算如式(1)所示:

$$20 \lg(D/d) \quad (1)$$

其中, $d$ 是信号源最小距离, $D$ 是实际隔离距离。例如, $d$ 为2 m, $D$ 为10 m时,计算结果为14 dB。

在设计阶段,可考虑将漏泄同轴电缆安装在站台下方或隧道顶部,利用现有结构作为屏障,实现空间隔离。这种方法通常能提供10~15 dB隔离度,总体隔离度可达25 dB,满足了车地无线通信系统对载干比(CINR)的要求。具体布局设计方案如图3所示。

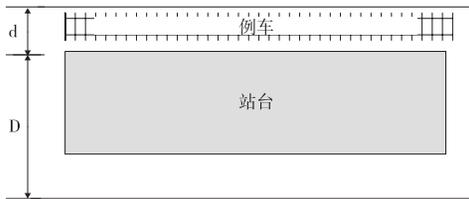


图3 采用空间隔离方式

(2)异频配置。在该方案中,为实现同台换乘站的场强覆盖优化,可以采用4个5 MHz的载波进行配置,通过采用

不同频率的载波进行通信,以有效避免同台换乘站中不同线路TD-LTE系统之间的干扰问题,提升车地无线通信系统的性能和稳定性。

除上述方法外,还可通过强化对漏缆连接头的处理和保护,使用高品质接头并进行防水、防潮、防腐处理,以增强系统的稳定性。通过监测和测试实时掌握信号强度和质量,及时作出调整。定期评估并根据评估结果优化敷设方案。综合考虑环境、漏缆选型、安装、接头处理、监测测试、协同优化和维护管理,提升轨道交通无线通信漏缆敷设方案的性能,确保列车的安全、高效运行。

## 4 结语

通过深入分析和优化,本文提升了车地通信的稳定性和效率,增强了列车运行的安全性和乘客的通信体验。在实施过程中,需要确保敷设质量,考虑实际情况和潜在问题。另外,技术发展和需求变化还要求工作人员继续完善工作,关注新技术(如5G和物联网)在漏缆方案中的应用,以提供更高速度、更智能的通信。

### 参考文献

- [1] 梁坤红,况东明.LTE-M在城市轨道交通中的运用[J].通讯世界,2020,27(4):59-60.
- [2] 陈尔超,王喜军,杨立新,等.轨道交通改造工程漏泄电缆敷设方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(2):89-94.
- [3] 张东涛.浅谈大准线400MHz无线补盲工程[J].铁道通信信号,2015,51(3):61-65.

(上接第47页)

人机的飞行速度和方向、基站的处理能力等来动态分配时隙,减少无人机在高速飞行过程中因时隙分配不当而受到的干扰。同时,需要在相邻的基站之间设计时隙错开方案,使无人机在接收一个基站的时隙信号时不会同时收到相邻基站的时隙信号,减少时隙干扰。为无人机预留一定的时隙,使其在特定的时间窗口内进行通信,以避免无人机在飞行过程中与其他通信系统的时隙发生冲突。此外,需要通过实时监测无人机在通信过程中的干扰情况,及时发现并避让时隙干扰。例如,当监测到相邻基站的目标时隙与无人机通信时隙重叠时,就需要立即对其进行调整。

可以在室外部署两个天线端口及3个上行时隙,以支持5G大规模上行业务。在布置过程中,可能会出现上下行时隙配比不匹配的情况,进而产生时隙干扰问题。这是因为在时分双工模式下,下行信号会在一定程度上干扰上行信号,且室外环境缺乏自然衰减作用,导致干扰更加突出。针对该问题,需要采用规避干扰的5G上行大带宽无线配置方法。首先,通过分析无人机业务区域、基站间的地理位置等,可以筛选出需要隔离的基站。其次,闭锁隔离基站扇区的部分下行时隙,并对隔离基站中的波束配置、功率等进行调整。通过这种方式,可以形成一种保护带,达到抗干扰的

效果,使得2D3U的5G大规模上行业务能正常运行。该方法不仅解决了时隙干扰问题,且操作简单,上行速率可超过500 Mbps,显著提升了泛低空覆盖效果。

## 3 结语

应用5G无人机泛低空覆盖组网技术,不仅可以扩大低空通信网络的覆盖范围,促进低空经济发展,还能增强无人机的安全性,为其提供一定的通信保障。本文从路径损耗、5G波束、干扰控制、资源等方面进行了分析,改良了泛低空覆盖组网技术,提高了其实用性。

### 参考文献

- [1] 杭小飞,汪滋润.泛低空5G专网中无人机巡检应用研究与实践[J].江苏通信,2024,40(3):28-32.
- [2] 刘牧洲,席绪亚,关蕾.5G网联无人机系统应用的关键问题[J].信息通信技术,2023,17(5):15-21.
- [3] 冯盾,田宁,陆强.5G无人机泛低空覆盖组网关键技术研究[J].数字通信世界,2023(3):17-20.
- [4] 赵建先,阮肖宾.5G通信面向无人机物联网低空覆盖组网探讨[J].广西通信技术,2022(4):1-8.