

城市轨道交通 CBTC 系统车地通信中断原因及应对措施探讨

陈翰理

杭州市地铁教育科技有限公司 浙江 杭州 311100

【摘要】：城市轨道交通 CBTC 系统在提高列车运行效率和安全性方面发挥着重要作用，但车地通信中断问题常常影响系统的稳定性和运行性能。本文对 CBTC 系统中车地通信中断的原因进行了深入分析，探讨了信号干扰、硬件故障、系统配置不当等多个方面的因素。通过对比现有的通信保障措施，提出了一系列应对策略，包括优化硬件设计、增强信号干扰防护、改进通信协议等。通过这些措施，可以有效提升车地通信的可靠性，保证列车的顺畅运行和系统的稳定性。

【关键词】：CBTC 系统；车地通信；通信中断；应对措施；轨道交通

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.011

引言

城市轨道交通作为现代城市的重要交通方式，承担着大量的客运任务。而 CBTC（基于通信的列车控制系统）作为轨道交通系统的核心组成部分，对提高列车的运行效率与安全性至关重要。车地通信中断问题一直是制约 CBTC 系统稳定运行的瓶颈之一。通信中断不仅可能导致列车运行延误，还可能对系统安全性构成威胁。因此，解决 CBTC 系统中车地通信中断的问题成为当前城市轨道交通系统面临的重要挑战。为了确保城市轨道交通的高效与安全运行，必须对通信中断的原因进行详细分析，并提出切实可行的解决方案。通过研究并改进现有的通信保障措施，可大大提升系统的稳定性和运行可靠性，从而推动城市轨道交通技术的持续进步。

1 CBTC 系统车地通信中断的主要原因分析

在 CBTC 系统中，车地通信中断的原因主要来源于多方面的因素。信号传输过程中受到的干扰是导致通信中断的重要原因之一。由于城市轨道交通线路通常穿越复杂的地理环境，电磁干扰和信号衰减问题在车地通信系统中表现尤为突出。尤其在城市高楼密集区域，强电磁场会严重影响通信信号的质量，导致数据传输的丢失或误差。由于 CBTC 系统依赖无线通信技术，在某些复杂地形或隧道中，信号的传输距离受限，容易出现信号无法覆盖到位的情况，进而引发通信中断。

硬件故障也是引发通信中断的重要因素之一。在 CBTC 系统中，车地之间的通信通常依赖于无线设备和传感器的协调工作。如果硬件设备老化或发生故障，尤其是无线电接收器和发送器，可能导致信号无法有效接收或发送，出现丢包或通信中断现象。设备的设计不合理、质量问题、外部环境的过度损耗，都可能成为硬件故障的根源^[1]。由于 CBTC 系统通常采用的是高频率的无线电波，若系统硬件出现问题，则可能直接导致车地通信的不可持续，甚至完全中断。

系统配置不当和通信协议的不兼容也是造成车地通信中断的潜在风险。在 CBTC 系统中，车地之间的通信需要保证极高的时效性和可靠性，这对系统的网络配置要求极高。如果网

络拓扑结构不合理，或者配置时未考虑到所有运行场景，可能导致通信链路不稳定，影响数据的快速传输。若系统在设计阶段未能充分考虑各种环境因素和实际运行状况，可能会导致车地之间通信路径的选择失误，进一步加剧了通信中断的概率。

2 信号干扰与硬件故障对车地通信的影响

信号干扰对车地通信的影响主要体现在其对无线信号的传输质量和稳定性造成严重威胁。城市轨道交通系统中，车地之间的通信多依赖于无线电波传输，而这些信号在实际运行中容易受到周围电磁环境的干扰。轨道交通沿线通常会遇到大量的电气设备和信号源，这些设备产生的电磁干扰会干扰车地通信信号，导致数据传输不稳定或者丢失。特别是高频信号，在遇到金属建筑物、隧道和地下设施时，会加剧信号的反射、折射和衰减，从而影响信号的质量。无线电频率的重叠和其他系统（如移动通信、广播电视）使用相同频段时，也会导致频率干扰，影响车地通信的正常运行。

硬件故障同样在车地通信中占据重要位置。CBTC 系统依赖大量的硬件设施，包括传感器、无线电发射接收设备和通信基站等。如果这些硬件设备发生故障，通信链路便可能中断^[2]。车载终端的无线接收器或地面基站的发射器一旦出现故障，信号的传输路径就会中断，导致车地之间的信息传递无法顺利进行。随着设备使用时间的增加，硬件的老化和磨损也是常见问题，传感器的灵敏度降低、通信模块的工作稳定性变差，都会导致系统的通信质量大幅下降。与此同时，硬件故障的发生往往在不易察觉的情况下逐步积累，可能在高峰时段或复杂环境下发生通信中断，从而影响整个交通系统的安全性。

对于 CBTC 系统来说，硬件设施的配置和维护管理显得尤为重要。设备的可靠性直接关系到车地通信的稳定性与准确性，任何一处硬件故障都可能导致通信链路的的中断或性能下降。在频繁的通信干扰和硬件故障情况下，系统需要具备强大的冗余机制与自恢复功能，确保即便某个部分发生故障，也能通过其他路径和备份设备恢复通信，避免整个系统失效。

3 现有通信保障措施的不足与挑战

目前, CBTC 系统的通信保障措施虽然在一定程度上提升了车地通信的稳定性, 但依然面临着诸多不足和挑战。现有的保障措施大多集中在硬件设施的优化和系统冗余的设计, 但在实际应用中, 许多通信问题依旧难以解决。现有通信系统对电磁干扰的抵抗能力相对较弱。在复杂的城市环境中, 强电磁场和频率干扰源多样化, 导致无线通信信号容易受到外部干扰, 进而影响车地之间的数据传输和控制命令的执行。当前的屏蔽技术和干扰抑制措施在高强度干扰环境下效果有限, 无法完全确保通信信号的稳定。

通信链路的冗余设计虽然能够在一定程度上提供备份, 但现有的冗余机制并没有在系统设计阶段全面考虑所有可能出现的通信中断场景^[3]。冗余设计通常依赖于同类设备或协议进行备份, 若出现某一设备或协议本身存在缺陷或故障, 冗余机制可能无法有效发挥作用, 从而未能达到理想的通信保障效果。更为关键的是, CBTC 系统中的通信协议和网络拓扑结构相对固定, 缺乏灵活性。在遇到特定环境或设备异常时, 无法及时调整通信链路或协议, 以适应新的运行需求, 这使得系统对突发故障的响应速度较慢, 难以实现实时、有效的修复。

在硬件设施方面, 虽然在某些区域增加了基站和通信节点的覆盖, 但仍然无法完全消除一些区域的信号盲点, 尤其是在地下隧道和高密度建筑群之间的过渡区。这些区域往往成为通信链路的薄弱环节, 导致信号的中断或丢失。而现有的应急通信手段虽然有助于保障在短时间内恢复基本通信, 但缺乏长期稳定性, 且未能解决根本性的硬件问题。现有的通信保障措施在面对高强度干扰、复杂环境和突发故障时, 依然无法完全满足 CBTC 系统的高可靠性需求, 依靠现有技术仍存在一定的局限性。

4 有效的应对策略与技术手段探讨

应对 CBTC 系统车地通信中断的有效策略和技术手段, 需要从多个层面进行综合设计和优化。针对信号干扰问题, 改进现有的通信信号处理技术是关键。首先, 采用更加先进的抗干扰技术, 提升系统的抗电磁干扰能力, 能有效减少外部电磁环境对通信的影响。当前无线通信设备可以通过优化频率调制方式和提高抗干扰能力来应对复杂的电磁环境, 同时增加频谱的使用效率和灵活性, 有助于提升系统的通信质量。动态频率选择技术可以在遇到干扰源时迅速调整频率, 避免长期在干扰频段上工作, 减少信号丢失的几率。在硬件设计上, 采用屏蔽技术和高性能天线, 确保设备在恶劣环境下仍能稳定工作, 进一步增强通信的可靠性。

针对硬件故障问题, 采用冗余设计和容错机制是解决该问题的有效途径。加强系统的冗余设计, 确保关键设备如车载通信设备和地面基站具备备份功能, 在设备出现故障时, 系统能

够自动切换至备用设备, 保持车地通信不中断。为确保冗余设计的高效性, 可以利用多路径和多协议的并行传输方式, 使得车地之间的通信不仅依赖单一链路, 而是多条链路共同工作, 从而在某一链路失效时, 其他链路能够接管其功能。冗余设计不仅要考虑硬件层面的备份, 还需在通信协议上做到灵活切换, 确保系统的稳定性和高效运行。

针对系统配置不当和网络拓扑结构的限制, 采取智能化的网络配置优化和动态路由调整技术, 能够大幅提高系统的响应能力和适应性^[4]。传统的固定网络配置在面对复杂的环境变化时, 往往无法有效适应, 因此引入自适应网络拓扑结构和路由算法至关重要。通过实时监测通信链路的健康状态和信号质量, 动态调整网络的拓扑结构和路由路径, 可以确保数据传输的稳定性和高效性。智能调度和网络自愈功能能够使系统在出现故障时, 迅速识别并修复问题, 最大程度减少通信中断对运行的影响。

进一步提升车地通信的稳定性, 还需加强通信协议的可靠性和容错能力。现有的通信协议虽然具备一定的冗余功能, 但对于复杂环境下的故障恢复能力较弱。通过优化通信协议的设计, 可以提升其在异常情况下的容错性和自恢复能力, 确保在发生通信中断时, 系统能够迅速恢复通信并保证信息的完整性与实时性。采用高可靠性的协议架构, 并与智能故障检测技术相结合, 能够在设备发生故障时, 通过协议自身的机制进行自动修复, 减少人工干预和系统停机时间。通过以上技术手段和策略的综合应用, 可以有效减少 CBTC 系统车地通信中断的风险, 提高系统的稳定性与可靠性, 确保城市轨道交通的安全高效运行。

5 应对措施实施效果与系统稳定性提升

实施有效的应对措施对 CBTC 系统车地通信的稳定性提升具有显著效果。改进的信号处理技术和抗干扰措施使得系统在高电磁干扰的环境下表现更为稳定。通过引入高性能的抗干扰设备和优化的频率调制方式, 通信信号能够在复杂的环境中保持较高的可靠性, 极大减少了外部干扰对通信链路的影响。在实际应用中, 采用动态频率调整技术使得通信设备能够及时避开高干扰频段, 保证了信号的稳定传输。采用先进的屏蔽和抗衰减设计, 大幅提升了信号的穿透力和抗干扰能力, 使得车地之间的通信稳定性有了显著提升。这些技术手段的应用, 尤其是在城市高密度电磁环境中的表现, 能够有效防止通信中断, 并显著提升系统在实际运行中的可靠性。

硬件设施的冗余设计和容错机制的加强, 也极大提高了系统的稳定性。在多个备份设备和通信链路的支持下, 当某个设备出现故障时, 系统能够自动切换到备份设备或链路, 保证车地通信不受影响。冗余设计不仅限于硬件的冗余, 系统中对通信协议和路径的冗余保障也起到了至关重要的作用。在发生硬

件故障的情况下，系统能够快速检测故障点，并通过备用路径和协议进行数据传输，有效降低了故障带来的影响。实际运营中，冗余机制大大降低了设备故障对系统运行的影响，减少了因硬件故障导致的通信中断时间，从而增强了 CBTC 系统的可靠性。

通过引入智能化的网络配置优化和动态路由调整，系统的自适应能力得到了显著提升。在运行过程中，系统能够实时监控通信链路的状态，并根据实际情况动态调整网络的拓扑结构和数据传输路径。这种灵活的调整能力使得系统在遭遇信号衰减或设备故障等问题时，能够迅速响应并做出优化调整。通过自动化的动态调整，不仅提高了系统的容错能力，还降低了人为干预的需求，从而提升了整体系统的稳定性和运行效率。动态路由和自适应网络拓扑的结合，使得系统能够在不同环境条件下始终保持高效的通信传输能力，确保了列车的顺畅运行。

在通信协议方面，通过优化和增强协议的容错能力，系统在发生通信中断时能够快速恢复。这种优化后的协议具备了更加灵活的故障恢复能力，能够有效保障信息在传输过程中的完整性和实时性^[5]。当出现网络拥堵或设备故障时，协议能够优先选择最合适的备用链路进行数据传输，避免了因某个环节故

障而导致的全局通信中断。系统通过协议自恢复功能，有效提升了容错能力，减少了因协议不稳定而引发的通信问题。

这些应对措施的实施不仅增强了系统对外界干扰的抵抗力，还提升了设备的可靠性和系统的自愈能力。优化后的车地通信系统表现出了更高的稳定性，在高强度的电磁环境和复杂的运行条件下，能够保持通信的顺畅和稳定运行。这些技术手段和策略的落实，不仅保障了 CBTC 系统的安全性，也为城市轨道交通的高效运营提供了强有力的支持。通过不断优化和更新技术手段，CBTC 系统的稳定性将持续得到提升，从而为城市轨道交通系统的现代化建设提供更加坚实的基础。

6 结语

在城市轨道交通 CBTC 系统中，车地通信的稳定性至关重要。通过对信号干扰、硬件故障及系统配置等问题的深入分析，并结合冗余设计、动态路由和智能化协议等技术手段的实施，显著提高了系统的可靠性与抗干扰能力。应对措施的有效执行，不仅保障了通信的顺畅，还为轨道交通系统的高效运行提供了坚实的基础。未来，随着技术的进一步发展，CBTC 系统的稳定性将持续得到优化，推动城市轨道交通系统向更高效、安全的方向发展。

参考文献:

- [1] 马兴宇,王聪,张海峰,等.LTE 技术在城市轨道交通车地通信网络系统中的应用研究[J].交通科技与管理,2025,6(06):7-9.
- [2] 徐琳.基于车车通信的 CBTC 系统研究与应用[J].信息记录材料,2025,26(01):241-244.
- [3] 郭碧.基于 PRP 监测帧的城轨信号系统车地无线通信冗余网络监视方法[J].铁道通信信号,2025,61(01):57-63.
- [4] 卢丹蕾,李士寒.CBTC 系统 WLAN 车地无线通信网络在线监测关键技术及应用[J].铁道通信信号,2024,60(10):65-73.
- [5] 余海波.基于 5G 的地铁车地通信网络切片方案探讨[J].广西通信技术,2024,(03):10-15+29.