

轨交室分系统的关键技术与实施难点

竺伟文

中国铁塔股份有限公司上海市分公司 上海 201702

摘要：随着城市轨道交通的快速发展，轨交室分系统作为确保通信质量和稳定性的关键环节，其技术与实施难点愈发受到关注。本文旨在深入探讨轨交室分系统的关键技术及其在实施过程中所面临的难点，以期对相关领域的进一步发展提供参考。

关键词：轨交室分系统；关键技术；实施难点

引言

城市轨道交通作为现代城市交通的重要组成部分，其通信系统的稳定性和高效性至关重要。轨交室分系统，作为轨道交通通信系统中的一个重要环节，其性能直接影响到乘客的出行体验和轨道交通的运营效率。因此，对轨交室分系统的关键技术与实施难点进行深入研究，具有重要的现实意义。

1 轨交室分系统的关键技术

1.1 无线传播技术

在轨交室分系统中，无线传播技术是确保整个通信系统稳定运行的核心。轨道交通环境复杂，特别是地铁、轻轨等封闭式交通方式，其无线传播面临的挑战更为严峻。为了保证乘客在车内能够享受到连续、高质量的通信服务，轨交室分系统必须采用先进的无线传播技术（图1）。信号调制技术是无线传播中的关键环节。由于轨道交通环境的特殊性，信号在辐射传播过程中容易受到多种因素的干扰，如电磁噪声、多径效应等。因此，选择合适的调制方式至关重要。例如，正交频分复用（OFDM）技术，通过将信号分散到多个正交子载波上进行传输，不仅可以有效抵抗多径干扰，还能提高频谱利用率，确保信号在复杂环境中稳定传输。此外，信号增强技术也是提升无线传播质量的重要手段。在轨交室分系统中，常采用的技术包括天线分集技术、功率控制技术等。天线分集技术通过利用多个天线接收同一信号的不同版本，然后合并处理，以提高信号接收的可靠性和稳定性^[1]。而功率控制技术则可以根据信号强度的变化动态调整发射功率，既保证了信号的覆盖范围，又避免了不必要的能量消耗。除了上述技术外，编码技术也在无线传播中发挥着重要作用。通过采用高效的编码算法，如LDPC（低密度奇偶校验码）或Turbo码，可以在有限的带宽内实现更高的数据传输效率，同时增强信号的抗干扰能力。

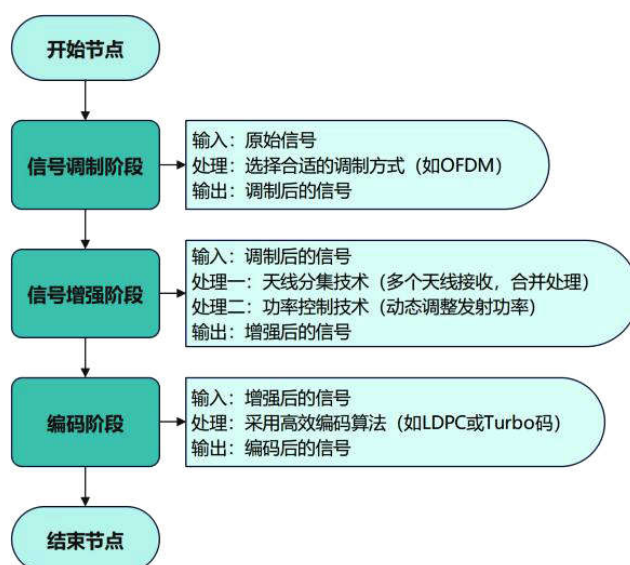


图1 轨交室分系统无线传播技术处理流程图

1.2 网络规划与优化

网络规划与优化是轨交室分系统中不可或缺的一环，它直接关系到轨道交通通信系统的高效和稳定运行。这一环节涉及到多个方面的综合考虑，包括基站布局、频率资源分配以及网络容量优化等（图2）。首先，基站布局的合理规划是网络规划与优化的基础。在轨道交通环境中，基站的位置选择至关重要。必须确保基站能够覆盖到所有的轨道交通线路和关键区域，同时避免信号盲区的出现。此外，基站的分布还需考虑地形、建筑物等障碍物对无线传播的影响，以确保信号的连续性和稳定性。其次，频率资源的有效分配也是网络规划与优化的关键环节。由于轨道交通通信系统中存在多个通信设备和服务，比如包括公众移动通信系统和专用通信系统，都使用无线传播方式，因此需避免不同设备之间的信号干扰。这要求规划者对不同设备的通信需求进行深入了解，并根据可能发生的干扰情况进行频率分配，以确保各设备之间的通信互不干扰，从而提高整

体通信效率。最后，网络容量的优化是网络规划与优化的重要目标之一。轨道交通通信系统需要满足大量乘客同时通信的需求，特别是在高峰时段。因此，必须对网络容量进行合理优化，以确保在高峰时段也能提供稳定的通信服务。这包括增加基站数量、提升网络设备性能、优化数据传输参数等措施，从而有效应对高并发通信场景。

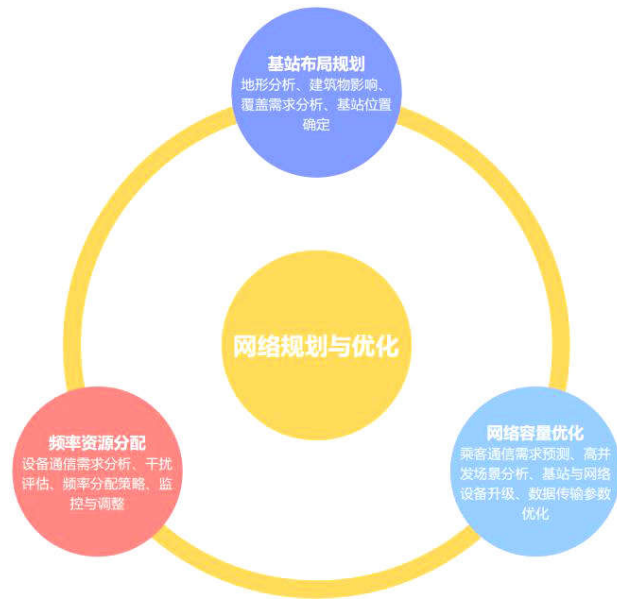


图2 轨道交通通信系统网络规划与优化框架图

1.3 设备选型与配置

轨交室分系统作为轨道交通通信系统的重要组成部分，其设备选型与配置对系统的整体性能和稳定性具有决定性影响。由于系统涉及的设备种类繁多，如基站台、移动终端、滤波器、合路器、耦合器、泄漏电缆等，因此在设备选型与配置时必须进行全面而细致的考虑（表1）。首先，设备的性能是选型时首要考虑的因素。基站台和移动终端的灵敏度、选择性和线性度等性能指标直接关系到信号的传输质量和系统的覆盖范围。在选择无线覆盖器件时，应确保其性能指标能够满足系统的实际需求，以保证信号的稳定传输和接收。其次，成本也是设备选型与配置中不可忽视的因素。在满足性能需求的前提下，应尽量选择性价比高、维护成本低的设备。这不仅可以降低系统的初始投资成本，还能减少后期的运营和维护费用，从而提高系统的经济效益。此外，设备的可靠性同样至关重要。轨道交通通信系统需要长时间稳定运行，因此所选无线覆盖器件必须具有良好的耐用性和可靠性。在设备选型时，应优先考虑那些经过市场验证、具有良好口碑和广泛应用的品牌和产品。除了上述因素外，设备的可扩展性和兼容性也是选型与配置时需要考虑的问题。随着技术的不断进步和系统的不断升级，所选设备应能够适应未来的扩展需求，并能与其他系统进行良好的兼容和集成。

表1 轨道交通通信系统关键设备选型与配置示例表

设备类别	关键性能	量化标准	成本	量化标准	可靠性	量化标准
基站台	灵敏度	-110dBm+	初期投资	≤ ¥50K/台	MTBF	≥ 5年
	选择性	≥ 30dB抑制	维护费用	≤ ¥5K/年	故障率	≤ 0.01%/年
移动终端	接收灵敏度	-105dBm+	设备价格	≤ ¥2K/部	抗摔性	1.5m跌落通过
	电池续航	≥ 72h待机	使用寿命	≥ 2年	防水等级	IP67+
滤波器	插入损耗	≤ 1.5dB	成本效益	≤ ¥100/个	温度漂移	≤ 0.5dB/°C
	带外抑制	≥ 30dB相邻频段			环境适应性	-40°C~+85°C

注：表格内容仅为示例，实际量化标准需根据具体需求和项目规范确定

2 轨交室分系统的实施难点

2.1 环境复杂性

轨道交通环境的复杂性是轨交室分系统实施过程中的首要难点。这种复杂性主要体现在多个方面（表2）：首先是物理环境的多样性，轨道交通线路常常穿越城市的核心区域，涵盖了隧道、地下空间等多种场景。这些不同的环境对无线传播产生了显著的影响。例如，在隧道中，信号的衰减和反射现象尤为严重，可能导致信号质量大幅下降。除了物理环境，电磁环境的复杂性也是一个不可忽视的问题。轨道交通线路周边往往存在大量的电磁干扰源，如高压接触网电线、其他无线通信设备等，这

些干扰源可能对轨交室分系统的信号造成严重影响，甚至导致通信中断^[2]。此外，不同环境之间的转换也是实施过程中的一个挑战。例如，当列车从地下隧道驶出到地面时，无线传播环境发生了显著变化，这就要求系统能够快速适应这种变化，确保信号的连续性和稳定性。

2.2 安全性与可靠性

在轨道交通通信系统中，安全性和可靠性是实施轨交室分系统时不可或缺的关键考量因素。由于轨道交通系统承载着大量乘客的出行安全，任何系统故障或安全漏洞都可能带来严重的后果。首先，室分设备的安全性是系统安全性的基础，比如电源配套设备等。在轨交室

分系统的实施过程中,必须选择经过严格测试和验证的高质量设备,确保其在各种恶劣环境下都能稳定运行。

此外,设备的安装和维护也必须遵循严格的操作规程,以防止人为因素导致的设备损坏或故障。

表2 轨道交通环境复杂性说明表

方面	具体描述	影响	应对措施
物理环境多样性	穿越城市核心区域,涵盖隧道、地下空间等	信号衰减、反射现象严重	采用高性能天线、优化布局
电磁环境复杂性	大量电磁干扰源,如高压接触网电线、其他无线通信设备等	信号干扰、通信中断风险	加强屏蔽、滤波措施,提高系统抗干扰能力
环境转换挑战	列车从地下到地面的无线传播环境变化	信号连续性和稳定性受影响	采用智能切换机制、

3 实施建议

3.1 进行充分的测试

在轨交室分系统实施的过程中,进行充分的测试是确保各个系统之间兼容性和无缝对接的关键环节(图3)。由于轨道交通系统的复杂性和关键性,任何潜在的问题都可能导致严重的后果,因此,测试工作必须细致、全面且专业。首先,测试应覆盖系统的各个方面,包括但不限于硬件设备的性能等。特别地,对于系统间的接口和交互功能,需要进行严格的兼容性测试,确保它们能够按照预期进行无缝对接。其次,测试应在模拟实际运行环境的情况下进行,以充分暴露可能存在的问题。这可以通过搭建测试环境、模拟不同场景下的运行情况来实现。同时,测试还应包括压力测试和容错测试,以评估系统在高负载和故障情况下的性能。最后,测试结果应被详细记录和分析,用于指导后续的系统优化和改进工作。任何发现的问题都应被及时修复,并重新进行测试,以确保系统的稳定性和可靠性。



图3 轨交室分系统测试流程框架图

3.2 设计冗余系统

在轨交室分系统的设计中,冗余系统的构建是确保系统高可靠性的重要策略。冗余系统旨在为主系统提供备份,当主系统因故障、维护或其他原因无法正常运行

时,能够迅速、无缝地切换到备用系统,从而确保轨道交通的正常运营。冗余系统的设计需要充分考虑轨道交通系统的实际需求,包括系统的负载能力、故障发生的可能性以及故障对运营的影响等因素。通过合理的系统架构设计和硬件配置,可以构建出高效、稳定的冗余系统^[4]。在冗余系统中,主系统和备用系统需要保持同步,确保在切换时数据的完整性和一致性。同时,备用系统应具备足够的性能,以应对主系统可能出现的各种故障情况。此外,冗余系统还应具备自动检测和切换机制,能够在主系统出现故障时自动切换到备用系统,减少人为干预和故障恢复时间。通过设计冗余系统,可以显著提高轨交室分系统的可靠性和稳定性,为轨道交通的安全、高效运营提供有力保障。

结语

轨交室分系统作为轨道交通通信系统的重要组成部分,其关键技术和实施难点不容忽视。通过深入研究这些关键技术和难点问题,我们可以为轨交室分系统的设计和实施提供更加科学的依据和指导。未来随着技术的不断进步和创新,相信我们能够克服这些难点,为城市轨道交通的发展提供更加稳定、高效的通信系统支持。

参考文献

- [1]林海泉,赵会兵,王璇.轨道交通室内无线信号覆盖及切换性能优化研究[J].铁道学报,2018,40(11):89-95.
- [2]邹春明,姚丹霖.轨道交通室内无线通信覆盖方案的研究与实践[J].城市轨道交通研究,2020,19(9):117-120.
- [3]陈东旭,韩存兵,邵明驰,等.城市轨道交通无线通信系统关键技术研究[J].城市轨道交通研究,2019,17(7):116-119.
- [4]马丽兰,卫瑞元.轨道交通无线通信系统的信号覆盖及网络优化[J].都市快轨交通,2021,25(2):40-43.