

铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程建设方案

冯磊¹, 李雪¹, 许扬²

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 中国铁路沈阳局集团有限公司, 沈阳 110001)

摘要: 铁路 GSM-R 系统将演进到 5G-R 系统, 在 5G-R 系统正式投入使用前, 仍需要新建 GSM-R 系统, 未来 5G-R 系统与 GSM-R 系统将有一段时间同时运行。因此, 从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面进行深入探讨, 提出铁路 5G-R 与 GSM-R 共用共存工程建设方案, 确保顺利实现 GSM-R 向 5G-R 的过渡, 保护铁路建设投资。

关键词: 5G-R; 基础设施; GSM-R

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0044-06

5G-R and GSM-R Infrastructure Sharing Project Scheme

Feng Lei¹, Li Xue¹, Xu Yang²

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(2. China Railway Shenyang Group Co., Ltd., Shenyang 110001, China)

Abstract: GSM-R system will evolve to 5G-R system. Before the 5G-R system is put into use, the GSM-R system still needs to be built, and the 5G-R system and the GSM-R system will operate simultaneously for a period of time in the future. Therefore, this paper makes an in-depth discussion from the aspects of equipment evolution, service realization and infrastructure sharing, and puts forward the 5G-R and GSM-R infrastructure sharing project scheme, to ensure smooth transition from GSM-R to 5G-R and protect investment in railway construction.

Keywords: 5G-R; infrastructure; GSM-R

1 GSM-R向5G-R平滑过渡的必要性

随着 5G 系统大规模商用部署及应用验证, 5G

收稿日期: 2022-11-03; 修回日期: 2023-04-06

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目 (J2021Z506)

第一作者: 冯磊 (1983—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信, 邮箱: fenglei@crscd.com.cn.

产业链已经完备。在未来, 5G 将渗透到社会的各个领域。中国国家铁路集团有限公司 (以下简称国铁集团) 近年来密切跟踪 5G 技术发展, 开展 5G 铁路应用技术课题研究, 积极参与国际技术交流, 制定了基于 5G 技术研发 5G-R 作为下一代铁路移动通信系统的技术路线。未来铁路 5G-R 系统

将逐步取代 GSM-R。因此，需要探讨铁路 5G-R 与 GSM-R 共存演进策略，解决两种系统间迁移的技术难题，顺利实现 GSM-R 向 5G-R 的过渡，保护铁路建设投资，同时还应考虑尽量延续既有的运维管理机制、降低工程实施难度。本文将从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面进行深入探讨。

2 设备演进

2.1 核心网

5G-R 系统核心网包括 5GC、MC 设备及应用支撑设备。

5GC 采用服务化架构，基于云原生技术实现。MC 设备是分组域网络新增设备，实现集群业务功能。因此采用传统的 ATCA 架构的 GSM-R 网络核心网设备，无法通过升级现有的设备实现 5G 核心网 5GC、MC 设备功能。

核心网应用支撑设备包括 DNS、RADIUS、SMSC、5G-IN 等，虽然部分设备功能可以通过升级既有 GSM-R 共用设备实现，但考虑网元设备割接复杂，对既有设备影响风险较大，目前不考虑共用。

5G-R 系统与需要转接的应用业务之间的接口设备包括 5G-GRIS、CMP、RMS-I 等，5G 与 GSM-R 共用接口设备，业务与系统解耦，应用业务系统的实现方式最简单。建议 5G-R 系统与 GSM-R 系统共用 GRIS，与 CTC/TDCS 的接口不变，CTC/TDCS 无需修改，考虑到共用 GRIS 较既有 GSM-R GRIS 的功能有增加，建议新设 5G-GRIS、CMP、RMS-I 设备，兼容 5G 和 GSM-R 的接口设备功能，由新设设备替代既有设备，应用业务的接口保持不变，最大程度地降低对现网的影响，工程实施复杂性低。

2.2 无线网

不同制式的无线接入网一般采用不同的空中接口技术，物理层调制技术和接入访问层的接入技术不同。如 GSM-R 调制方式为 $BT = 0.3$ 的 GMS，信道编码为卷积码和线性分组码，多址方式为

FDMA，双工方式为 FDD，而 5G-R 的调制方式采用 QPSK、16QAM、64QAM、256QAM 等，信道编码采用 LDPC、Polar、Turbo 码，多址方式为 OFDMA、双工方式为 FDD 和 TDD，且两种系统的带宽、帧结构也都不相同。因此要实现 GSM-R 与 5G-R 接入网络的融合，则必须支持不同网络的空中接口标准，并考虑不同制式的接入网之间的协议及信令转换等问题，实现难度非常大。

目前设备厂家 5G-R 基站采用全新的平台开发，无法实现 GSM-R 基站向 5G-R 的平滑过渡。

2.3 终端

2.3.1 机车综合无线通信设备 (CIR)

CIR 设备无线列调、GSM-R 的多模块工作方式不变。5G-R 的射频功能由车载综合无线传输设备实现，CIR 只需实现 MC 及调度命令、车次号等应用业务传送功能。CIR 通过手动切换模块方式实现无线列调、GSM-R 与 5G-R 之间的跨网运行。

2.3.2 手持终端

GSM-R 系统与 5G-R 系统在网络侧互联，能实现系统用户间的语音业务互通，不能实现跨网漫游。

跨线、跨网运行的列车工作人员宜配置多模手持终端，支持 5G-R、GSM-R 两种制式。对于无跨线、跨网运行的列车工作人员及地面工作人员可配置单模手持终端，支持 5G-R 制式。

2.3.3 列控车载模块

考虑到列车跨线、跨网运行，很长一段时间内，列控车载模块将同时支持 GSM-R 和 5G-R 业务，支持 5G-R、GSM-R 双卡双待，支持 5G-R、GSM-R 天线合路。ATP 的通信模块将支持 5G-R 分组域承载业务和 GSM-R 电路交换业务，ATO 的通信模块将支持 5G-R 分组域承载业务和 GSM-R 分组域承载业务。

2.3.4 车载综合无线传输平台 WTP

5G-R 系统在车上新设车载综合无线传输平台 (WTP) 设备，各业务系统 (ATP/ATO 等列控业务除外) 有车-地无线传输需求时，统一接入车地宽带传输平台，实现业务的车-地无线传输功能。

2.4 天线及漏缆

2.4.1 基站天线

5G-R 基站天线采用 4T4R 或 8T8R 的多波束 MIMO 天线, 频段为 2.1 GHz。GSM-R 基站天线采用正负 45°双极化天线, 频段为 900 MHz。5G-R 基站天线与 GSM-R 基站天线频段差距大, 且天线技术不同, 无法合路后共天线发射。

2.4.2 车载天线

5G-R 系统在车上设置 WTP 设备, 既有 CIR 升级后接入车载综合无线传输设备实现 5G-R 业务, 因此 CIR 不进行 5G-R 射频发射, 无需连接 5G-R 天线。GSM-R 向 5G-R 不断演进需要时间, 在演进过程中两种制式需要并存。考虑到列车跨线、跨网运行的需求, 列控车载模块需要同时支持 GSM-R 和 5G-R 通信制式。CIR 将同时支持无线列调、GSM-R 和 5G-R, ATP、ATO 等需要同时支持 GSM-R 和 5G-R。考虑到车载终端及车顶天线没有安装空间, 整合车顶天线, 支持 5G-R、GSM-R、BDS、400 MHz 无线列调、5G 公网等多个系统制式的多个频段, 优化车顶天线布局, 在不增加车顶天线数量情况下, 提供 5G-R 天馈系统, 组合天线安装在既有车顶位置。5G-R 的终端天线振子数量根据系统业务需求确定, ATO 为 1 天线振子, ATP 为 2 天线振子, WTP 为 4 天线振子。

2.4.3 漏缆

5G-R 系统隧道区段采用双根漏泄同轴电缆方式, 漏泄同轴电缆之间的距离应符合 MIMO 性能要求, 即 $4 \sim 10 \lambda$ 的间距, 对于 2 100 MHz 频段, 此间距约为 0.6 ~ 1.5 m。

目前铁路在用的漏泄同轴电缆共 3 种型号, I 型电缆适用于 450 MHz, II 型适用于 450 MHz 和 900 MHz, III 型适用于 900 MHz, 均不支持 2 100 MHz 频段。因此 5G-R 系统需要使用支持 2 100 MHz 频段的新型漏缆。

考虑到 5G-R 系统、GSM-R 系统及无线列调将有一定时间的并存, 建议使用 IV 型漏缆兼容 5G-R 系统、GSM-R 系统及无线列调系统频段,

即支持 400 ~ 470 MHz、885 ~ 889 MHz、930 ~ 934 MHz、1 965 ~ 1 975 MHz、2 155 ~ 2 165 MHz 等多频段共缆, 与既有 I、II、III 型漏缆相比, 各频段的传输性能指标应不降低。

因此, 现阶段漏缆设置情况如下。

1) 对于后续建设的 GSM-R 线路建议采用 IV 型缆, 支持 5G 频段, 为 5G 信号的引入预留条件。架设高度距离钢轨顶面 4.5 m。未来建设 5G-R 时, 增加一条漏缆架设高度距离钢轨顶面 5.1 m 左右, 与既有 GSM-R 的漏缆形成双缆, 实现双根漏缆的 MIMO。

2) GSM-R 线路若已经采用 II 型或 III 型缆, 安装高度在 4.5 ~ 4.8 m, 无法支持 5G 频段。未来建设 5G-R 时, 如果 GSM-R 漏缆和 5G-R 漏缆共存, 垂直隔离距离应在 0.4 m 以上。GSM-R 和 5G-R 漏缆独立设置, 很难满足 MIMO 的性能及系统间漏缆的隔离距离要求。因此, 如果此区段 GSM-R 和 5G-R 需要同时共存, 则 5G-R 系统的漏缆需采用 IV 型缆, 将 GSM-R 信号与 5G-R 合路后, 馈入新设的漏缆里。在 5G-R 系统漏缆建成后, 拆除既有 GSM-R 漏缆。漏缆的吊挂高度, 应结合 5G-R 试验情况、车载天线的方向图确定, 并根据具体工程情况调整。

3 业务实现

5G 系统的业务承载能力相较于 GSM-R 有较大的提升, 因此在既有 GSM-R 改造为 5G-R 时, 会承载很多新的业务。业务承载方案为增量业务先调试, 存量业务一次性割接, 最终实现全部业务同步运行。对 GSM-R 系统而言, 全部业务一次性割接到 5G-R 系统, 避免两套系统在同一铁路线上同时运行承载业务, 以减少投资和维护上的压力。

3.1 语音业务

GSM-R 系统与 5G-R 系统之间的语音业务过渡, 可采用类似 450 M 无线列调系统与 GSM-R 系统语音业务过渡的方式, 即设置 GSM-R 系统与 5G-R 系统的切换点, 车载终端运行到切换点时,

基于地理位置信息，从一套系统自动切换到另一套系统，机车 CIR 从 GSM-R 系统模块切换为 5G-R 系统模块。这种过渡方式存在的弊端就是正在通信的语音业务将中断，切换完成后，需要重新进行建立连接。

3.2 列控业务

GSM-R 系统与 5G-R 系统之间列控业务的过渡，可按照 RBC 交权区车载 MT 与 RBC 之间的通信方式实施，前提是两套通信网络的边界设置在 RBC 的交权区。RBC 交权之前，车载 MT1 与当前 RBC1 通信，在交权区，根据 C3 列控系统应答器的设置，车载 MT2 注册到目标 RBC2，与 RBC2 建立连接，并与 RBC 之间进行数据交互。之后 MT1 释放与 RBC1 之间的连接。GSM-R 系统与 5G-R 系统在网络边界应存在覆盖重叠区，重叠区长度应满足两套车载 MT 与相关 RBC 通信的需求，保证 RBC 交权顺利完成。

3.3 其他业务

对于其他业务，终端运行到 GSM-R 与 5G-R 网络边界时，正在进行的通信业务将中断，到下一个系统覆盖范围内重新发起连接，进行通信。

4 基础设施共用

5G-R 系统可以尽可能利用 GSM-R 现有站址及配套设施，以降低建设和维护成本。可利旧设施主要为铁塔、机房、外电等资源。后续建设 GSM-R 系统的线路，有必要为将来 5G-R 的建设或改造考虑适当的预留。

4.1 通信基站站间距设置及征地预留

GSM-R 单网交织覆盖时，基站间距一般不超过 3.5 km。普通单网覆盖时，GSM-R 基站间距为 6 ~ 10 km。

5G-R 空间波覆盖能力，经理论测算，用户边缘速率为下行 5 Mbit/s、上行 1 Mbit/s 时，终端功率 2 W，车速 350 km/h，基站天线 8T8R，采用传播模型 cost231 传播模型做郊区空间波场景的链路预算，天线距离轨面高度 23 m，5G-R 站间距

能够达到 3.5 km。采用支持 8T8R 的基站设备、窄波瓣高增益天线、增加天线挂高、RRU 塔上安装等，还可以进一步增加站间距。

后续建设 GSM-R 系统的线路，结合 GSM-R 和 5G-R 基站覆盖能力，合理规划 GSM-R 设备站点，尽量直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备，并根据需要补充 5G-R 站点。

根据理论预测结果，初步建议在设计的 GSM-R 单网交织覆盖线路，基站间距按不宜超过 3.5 km 设置，将来 GSM-R 改造 5G-R 时，可直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备。普通单网覆盖线路，GSM-R 基站间距按不宜超过 7 km 设置，GSM-R 改造 5G-R 时，利用 GSM-R 站址安装 5G-R 设备，并在两个 GSM-R 站址中间增加一个 5G-R RRU 站址。在试验线验证后，方案可进一步优化。

4.2 隧道洞室预留

GSM-R 系统隧道内主要采用分布式基站或数字直放站进行覆盖，GSM-R 单网交织覆盖时，隧道内分布式基站或数字直放站间距一般 1.5 km 左右，普通单网覆盖时，隧道内分布式基站或数字直放站间距一般按 2 ~ 2.5 km 设计。

5G-R 隧道漏缆覆盖能力，经理论测算，用户边缘速率为下行 5 Mbit/s、上行 1 Mbit/s 时，终端功率 2 W，车速 350 km/h，基站天线 8T8R，采用 IV 型漏缆做链路预算，5G-R 站间距能够达到 1.6 km。

后续建设 GSM-R 系统的线路，结合 GSM-R 和 5G-R 的基站覆盖能力，合理规划 GSM-R 设备设置地点，为 5G-R 预留通信洞室。

根据理论预测的结果，初步建议在设计的 GSM-R 单网交织覆盖线路，隧道内分布式基站或数字直放站间距按不宜超过 1.5 km 设置，将来 GSM-R 改造 5G-R 时，可直接利用既有 GSM-R 站址安装 5G-R 设备。普通单网覆盖线路，两个 GSM-R 站址中间增加一个 5G-R RRU 站址，为 5G-R 预留通信洞室。在试验线验证后，方案可进一步优化。

对于高速铁路、客运专线、城际铁路等客运量比较大的线路，运营商和铁塔公司一般会在铁路沿线（含正线、车站及隧道）建设公网覆盖，考虑到4G/5G公网覆盖RRU间距500m的需求，有条件的项目，宜按照500m的间距预留隧道内洞室。

4.3 铁塔

根据相关规范，GSM-R铁塔的设计使用年限为50年，按此要求建设的铁塔，在5G-R系统建设时，可考虑利旧使用，对于后续建设的GSM-R铁塔，应考虑预留5G-R系统天馈系统安装的平台、天线支架及荷载要求。

1) 荷载

铁塔荷载应结合当地50年一遇最大风速以及列车通过风压等条件考虑天馈系统、视频监控、铁塔监测的荷载，根据需要预留5G-R覆盖天馈线荷载、检修作业人员荷载，包括后期RRU塔上设置时的通信设备及低压电源监控箱、防雷箱等设备荷载等。

2) 平台

结合不同频段不同制式的天线隔离度要求，铁塔在高度满足条件的情况下进行多层平台设置。目前在GSM-R铁塔上共平台安装5G-R天线和GSM-R天线时达不到水平隔离距离的要求，建议跨平台安装。以三层平台为例，顶部平台为铁路5G-R专网使用，中间层平台可与铁路专网系统（GSM-R、LTE等）共用，底部平台为公网使用。天线抱杆应优先满足专网需求。新建铁塔采用组合单元塔，在满足天线隔离距离和提供适当的维护操作空间情况下，三层平台的间距可在现有5m的基础上适当缩小。

4.4 光缆

5G-R采用分布式基站覆盖，个别为设置BBU机房，区间大多数采用RRU覆盖，因此BBU至RRU需大量的短段光缆（每RRU按4芯光纤预留）。因此后续建设GSM-R的线路，有条件时线路布放1条24芯区段贯通光缆。

4.5 机房及外电

安装5G-R系统BBU设备的机房，需要新设2套传输、2套BBU和2套RRU、1套综合配线柜共需要3个机柜的安装位置。按照双套传输（单套1kW）、双套BBU（单套0.4kW）、双套RRU（单套0.7kW）计算，总功率需求为4.2kW。

安装5G-R系统RRU设备的机房，需要新设2套5G-R RRU设备，共需要1个机柜的安装位置。按照双套RRU（单套0.7kW）计算，总功率需求为1.4kW。

根据相关规范，GSM-R机房的设计使用年限为50年，按此要求建设的机房，在5G-R系统建设时，可考虑利旧使用，对于后续建设的GSM-R站址，与5G-R共站址的机房，应考虑预留5G-R系统设备安装空间。安装BBU设备的机房需预留3个机柜位置，安装BBU设备的机房预留1个机柜位置。

对于后续建设的GSM-R站址，与5G-R共站址的机房，电力区间箱变、变电所变压器的容量，区间综合贯通线和一级贯通线以及调压器等可兼容5G-R用电量统筹设计。安装BBU设备的机房需预留4.2kW负荷，安装RRU设备的机房需预留1.4kW负荷。

5 总结

本文从设备演进、业务实现及基础设施共用等方面对铁路5G-R与GSM-R基础设施共用共存工程建设方案进行深入探讨。在5G-R的建设过程中，应当对基站的覆盖能力进行反复测试论证，做好站址规划工作，统筹利用基础设施资源。

参考文献

- [1] 庞萌萌. 铁路5G-R系统核心网架构研究[J]. 中国铁路, 2021(8): 1-6.
- Pang Mengmeng. Research on Core Network Architecture of Railway 5G-R System[J]. China Railway, 2021(8): 1-6.

- [2] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路 5G-R 无线接入网组网方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 59-63.
Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [3] 王建敏. 兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 42-46, 99.
Wang Jianmin. Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46, 99.
- [4] 肖正杰, 张亮, 孙迪. 铁路 5G-R 语音调度通信系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 36-39, 91.
Xiao Zhengjie, Zhang Liang, Sun Di. Research on 5G-R Voice Dispatching Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 36-39, 91.
- [5] 尹鹏. 5G-R 网络 EIR 设备研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (12): 51-55.
Yin Peng. Research on EIR in 5G-R Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 51-55.
- [6] 姜永富. 铁路 5G-R 研发关键问题探讨 [J]. 中国铁路, 2022 (9): 8-11.
Jiang Yongfu. Discussion on Key Problems of Railway 5G-R R&D[J]. China Railway, 2022(9): 8-11.
- [7] 周宇晖. 基于铁路 5G-R 的 CTCS-3 级列控系统适用性研究 [J]. 中国铁路, 2022 (9): 94-99.
Zhou Yuhui. Research on Applicability of CTCS-3 Train Control System Based on Railway 5G-R[J]. China Railway, 2022(9): 94-99.

(上接 25页)

- Ultra-High Speed Maglev Railway Based on Low Vacuum Pipeline[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(1): 32-36.
- [9] 周梓博, 于行健, 蒋海林, 等. 高速磁悬浮列车车地无线通信技术的探讨 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2022, 20 (8): 754-761.
Zhou Zibo, Yu Xingjian, Jiang Hailin, et al. Research on High-Speed Maglev Train-Ground Wireless Communication Technology[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2022, 20(8): 754-761.
- [10] 汤丹. 浅析 38G 无线电系统在上海磁浮示范运营线中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9 (10): 69-72.
Tang Dan. 38G Radio System in Shanghai Maglev Demonstration Line[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(10): 69-72.