

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2022.06.012

# 铁路5G-R无线接入网组网方案

葛伟涛, 冯敬然, 周 敏, 杨 琪, 李珉璇

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

**摘要:** 普速铁路和高速铁路建设标准不同, 5G-R 的覆盖方案也不尽相同。针对普速铁路和高速铁路不同场景, 对铁路沿线隧道和非隧道区域的 5G-R 无线接入网组网方案进行研究, 分别分析设置电桥和不设置电桥两种方案的优缺点, 并给出建议方案, 以供铁路 5G-R 网络规划借鉴参考。

**关键词:** 下一代铁路专用移动通信网络; 5G-R; 无线接入网; 组网方案

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2022)06-0059-05

## Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network

Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, Yang Qi, Li Minxuan

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** The construction standards of conventional and high speed railways are different, and the coverage schemes of 5G-R are also different. Aiming at different scenarios such as conventional railway and high speed railway, this paper studies the networking scheme of 5G-R wireless access network in tunnel and non-tunnel areas along the railway lines, respectively analyzes the advantages and disadvantages of the two schemes with and without bridge, and proposes the scheme for reference for railway 5G-R network planning.

**Keywords:** next generation railway dedicated mobile communication network; 5G-R; wireless access network; networking scheme

### 1 概述

目前, 铁路专用移动通信系统主要采用 GSM-R 系统, 为窄带移动通信系统, 只能承载语音业务或少量的数据业务。随着国内铁路向数字化、智能化方向发展, GSM-R 系统已经无法满足智能铁路

发展的需要。另外, GSM 产业日益萎缩, 预计到 2030 年设备厂商将逐渐停止 GSM-R 相关产品的供应。5G 具有大带宽、低时延、多接入、高可靠等技术优势, 是目前已商用的技术中最先进、产业发展趋势最好、适合行业应用的宽带移动通信技术体系, 具有良好的政策支持和商业环境。结合国内加快 5G 网络等新型基础设施建设的决策部署, 下一代铁路专用移动通信系统将采用 5G-R 系统。

5G-R 系统按照独立组网考虑, 主要包括核心网、无线接入网 (RAN)、用户设备 (UE) 及运营

收稿日期: 2021-08-31; 修回日期: 2022-03-01

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司重点课题项目 (2020YY240811)

第一作者: 葛伟涛 (1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路专用无线通信, 邮箱: geweitao@crdc.com。

与支撑系统 (OSS) 4 个部分。其中, 无线接入网主要由 5G-R 基站 (gNB)、天馈线、漏泄同轴电缆等组成, 其中基站根据应用场景可分为宏覆盖基站和室内覆盖基站。宏覆盖基站用来覆盖铁路线路 (含隧道), 主要以分布式基站的方式组网, 包括基带处理单元 (BBU) 和射频拉远单元 (RRU)。

## 2 5G-R接入网组网方案研究

### 2.1 5G-R覆盖场景

根据《铁路 5G 专网业务和功能需求暂行规范》(铁科信 [2021]63 号), 铁路 5G-R 不仅要给铁路行车指挥、运营维护人员提供语音通信, 还要提供大量视频通信、数据信息传送等, 因此 5G-R 的应用及覆盖范围将比 GSM-R 更广泛。根据 5G-R 业务需求, 5G-R 覆盖场景主要包括铁路线路非隧道区域、铁路线路隧道区域、沿线车站 / 站场、局 / 段 / 所等生产办公场所、列车车厢内等, 其中铁路线路隧道和非隧道区域的 5G-R 组网方案是研究重点。

### 2.2 铁路线路非隧道区域组网方案

根据列车运营时速、信号列控等级的不同, 5G-R 分为单网覆盖和冗余覆盖两种方式。普速铁路或信号列控等级采用 CTCS-2 的高速铁路 5G-R 应采用单网覆盖, 300 km/h 及以上、信号列控等级采用 CTCS-3 的高速铁路或重载铁路 5G-R 应采用冗余覆盖。

#### 1) 单网覆盖方案

由于 5G-R 系统拟用 2 100 MHz 的频率, 系统带宽为上、下行各 10 MHz。为了将频谱效率最大化, 满足更多业务的承载需求, 同时考虑到铁路对可靠性要求较高, 结合目前设备厂商支持的组网方式, 可在每个物理站址设置 2 套 4T4R RRU 进行同频组网。由于环形组网对占用光纤资源较少, 可靠性较高, 因此推荐 BBU 和 RRU 之间采用环形方式组网。根据 RRU 与天线之间是否设置电桥, 单网覆盖有以下两种方案。

#### 方案一：单网覆盖不设置电桥方案

每个物理站址设置 2 套 4T4R RRU 和 2 副天线, RRU 通过馈线直接与天线相连。BBU 内主控

板、基带板、电源模块等关键板件按照冗余配置。RRU1 和 RRU3 组成一个环, RRU2 和 RRU4 组成一个环。为充分利用 BBU 关键板件的冗余特性, 减小 BBU 单基带板故障时对系统的影响, 每个 RRU 环的环头、环尾接入 BBU 的不同基带板上。组网示意如图 1 所示。

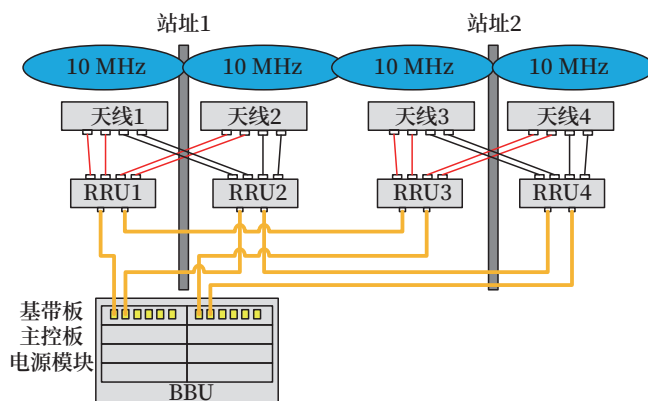


图1 单网覆盖不设置电桥方案

Fig.1 Scheme of single network coverage without bridge

#### 方案二：单网覆盖设置电桥方案

每个物理站址设置 2 套 4T4R RRU 和 2 副天线, RRU 通过馈线经 3 dB 电桥与天线相连。其他连接方式与方案一相同, 如图 2 所示。

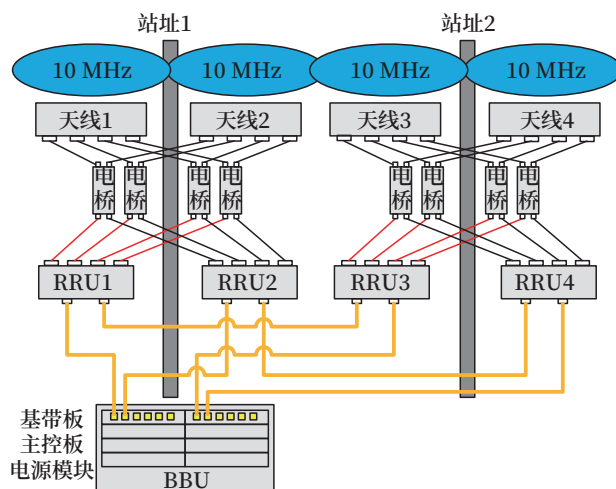


图2 单网覆盖设置电桥方案

Fig.2 Scheme of single network coverage with bridge

上述两个方案, 每个物理站址设置两套 RRU, 任意一套 RRU 故障时, 还有另外一套 RRU 在工作, 覆盖不受影响。两套 RRU 均正常工作时, 两

种方案基站侧均实现 4T4R MIMO。但方案二 RRU 和天线间设置了电桥，不仅增加 3 dB 损耗，馈线连接方式也更加复杂，故障点也会增多，因此方案一优势较大。当其中一个 RRU 故障时，方案一基站侧由 4T4R 变为 2T2R，相当于基站发射功率减少 3 dB，下行波束赋形增益减少 3 dB。方案二仍为 4T4R，但有 3 dB 电桥插入损耗。整体来看，方案二下行覆盖比方案一有 3 dB 波束赋形增益。由于单 RRU 故障模式不是常态，而且方案一施工简单，综合考虑，单网覆盖时推荐按照方案一不设置电桥进行组网。

## 2) 冗余覆盖方案

冗余覆盖主要包括同站址双网和单网交织冗余方案。与 GSM-R 不同，5G-R 将承载大量视频通信和数据传送，若将 10 MHz 带宽分成 2 个 5 MHz，分别组成同站址异频双网（每张网络使用 5 MHz）或单网交织冗余（两个相邻小区之间采用不同的 5 MHz 带宽），将大大影响 5G-R 系统的频谱效率和传输速率，因此 5G-R 冗余覆盖推荐采用 10 MHz 同频组成双网覆盖，即同站址同频双网方案。BBU 和 RRU 之间采用环形组网时，根据 RRU 与天线间是否设置电桥，冗余覆盖有以下两种方案。

### 方案一：同站址同频双网不设电桥方案

每个物理站址设置 2 套 4T4R RRU 和 2 副天线，RRU 通过馈线直接与天线相连。设置 2 套 BBU 作为信源，2 套 BBU 可以设置在同一物理站址，也可设在不同物理站址以增加容灾性。两套 BBU 其中一套 BBU 主用，另一套 BBU 备用，主、备用 BBU 通过承载网之间进行心跳连接。BBU 内主控板、基带板、电源模块等关键板件按照冗余配置。RRU1 和 RRU3 组成一个环接入 BBU1，RRU2 和 RRU4 组成一个环接入 BBU2。为了充分利用 BBU 关键板件的冗余特性，减小 BBU 单一基带板故障系统的影响，每个 RRU 环的环头和环尾接入同一 BBU 的不同基带板上。组网示意如图 3 所示。

### 方案二：同站址同频双网设电桥方案

每个物理站址设置 2 套 4T4R RRU 和 2 副天

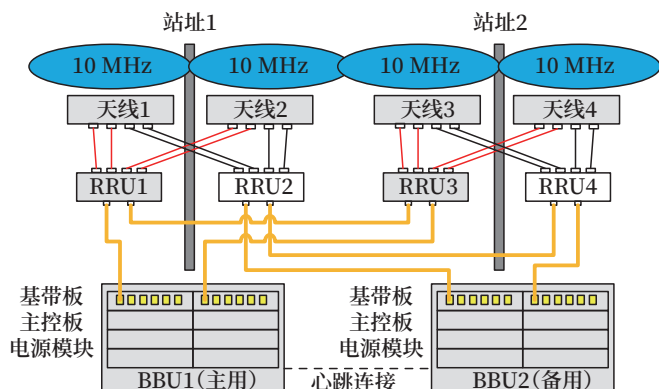


图3 同站址同频双网不设电桥方案

Fig.3 Scheme of same address, same frequency and double network without bridge

线，RRU 通过馈线经电桥与天线相连。其余组网方式与方案一相同，如图 4 所示。

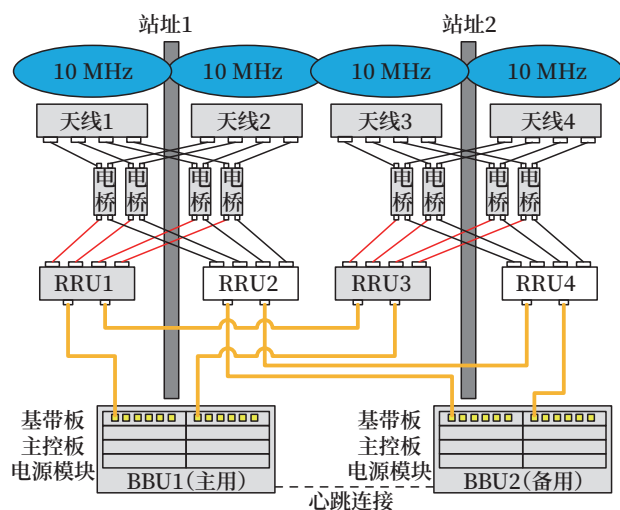


图4 同站址同频双网设电桥方案

Fig.4 Scheme of same address, same frequency and double network with bridge

上述 2 个方案中，BBU1 主用，BBU2 备用，每个物理站址的 2 个 RRU，也是一个主用、一个备用。由于同站址同频组网，为减小备用 RRU 对主用 RRU 信号的干扰，正常情况下，主、备用 RRU 均处于加电状态，但只有主用 RRU 发射信号，备用 RRU 处于加电但不发射功率状态。当设备或接口故障时，触发主、备系统倒换。因此两个方案正常情况下，方案一基站为 2T2R，方案二基站为 4T4R，虽然引入 3 dB 电桥插损，但下行有 3 dB 波束赋形增益。当一个 RRU 故障时，方案一和方案二的 MIMO

方式不变。考虑到高速铁路及重载铁路业务承载需求高于普速铁路，因此冗余组网推荐采用方案二。

### 2.3 铁路线路隧道内组网方案

铁路 5G-R 基站主要采用分布式基站方式组网，隧道内主要采用“隧道外 / 隧道口 BBU + 隧道口 / 隧道内 RRU + 隧道内漏缆 + 隧道口天线”的方式进行覆盖。

考虑到 5G-R 系统对 MIMO 的需求，隧道内敷设漏缆的条数应大于等于 2 条。参照公网覆盖设计经验及测试效果，两条漏缆间距为  $4\lambda$  时 MIMO 覆盖效果较好，按照 2 100 MHz 计算，5G-R 两条漏缆间距可按 0.6 m 设置。由于标准动车组列车车顶距轨面高度为 4.05 m，为了保证漏缆覆盖效果，漏缆挂设高度应大于动车组车顶天线的高度，建议漏缆最低挂设高度距轨面 4.2 m。若隧道内挂设 2 条漏缆，漏缆可挂设在距轨面 4.2 ~ 4.8 m 的高度。若挂设 4 条漏缆，漏缆可挂设在距轨面 4.2 ~ 6 m 的高度。由于接触网下锚底座挂设在距轨面 5.1 ~ 6 m 的位置，挂设 4 条漏缆时，漏缆遇到接触网下锚底座需要提前上绕或下绕避开，增加了施工和维护的难度。考虑到隧道壁空间、隧道内施工及维护的难度及成本，推荐隧道内敷设 2 条漏缆组成 2T2R MIMO 覆盖隧道内。

#### 1) 隧道单网覆盖

##### 方案一：不设置电桥方案

在隧道口 / 隧道内每个物理站址设置 2 套 2T2R RRU，隧道外 / 隧道口机房内设置 1 套 BBU，如图 5 所示。RRU1、RRU3、RRU5 组成 1 个环，RRU2、RRU4、RRU6 组成 1 个环。为最大化利用 BBU 主控板的冗余特性，每个环的环头和环尾接入 BBU 不同的主控板上。在隧道内挂设 2 条漏缆，RRU 通过馈线直接和漏缆 / 天线相连。

##### 方案二：设置电桥方案

与方案一不同的是，RRU 通过馈线经电桥与隧道内漏缆和隧道口天线连接，其余组网方式均与方案一相同。如图 6 所示。

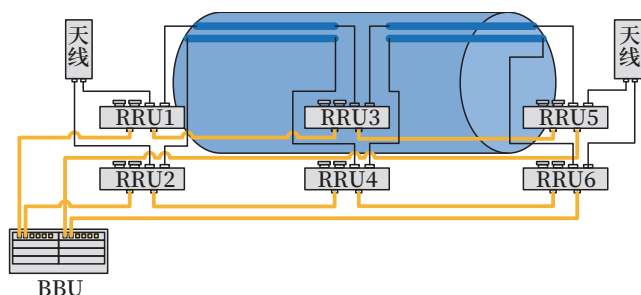


图5 隧道内单网覆盖不设置电桥方案

Fig.5 Scheme of single network coverage without bridge in tunnel

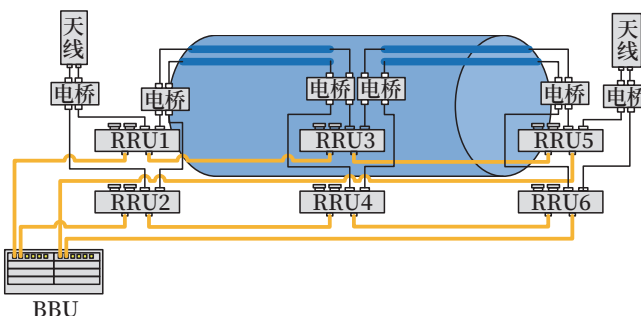


图6 隧道内单网覆盖设置电桥方案

Fig.6 Scheme of single network coverage with bridge in tunnel

两个方案在正常工作模式下均能实现 2T2R MIMO，但方案二有 3 dB 电桥插损，因此方案一比较好。当单个 RRU 故障时，方案一由 2T2R 降为 1T1R。方案二仍为 2T2R，方案二比方案一下行有 3 dB 增益，由于单 RRU 故障模式不是常态，而且方案一施工简单，综合考虑，单网覆盖时隧道推荐按照方案一不设置电桥进行组网。

#### 2) 隧道冗余覆盖方案

在隧道口 / 隧道内每个物理站址设置 2 套 2T2R RRU，在隧道口 / 隧道外机房内分别设置 2 套 BBU，1 套主用，1 套备用，如图 7 所示。RRU1、RRU3、RRU5 组成 1 个环接入 BBU1，做为主用 RRU 环，RRU2、RRU4、RRU6 组成 1 个环接入 BBU2，做为备用 RRU 环。由于采用同频组网，为减小备用 RRU 对主用 RRU 的影响，备用 RRU 设备只加电，但不发射功率。为最大化利用 BBU 主控板的冗余特性，每个环的环头和环尾接入 BBU 不同的主控板上。隧道内挂设 2 条漏缆，为了实现隧道内 2T2R 的 MIMO，需要在 RRU 和漏缆之间安装 3 dB 电桥。

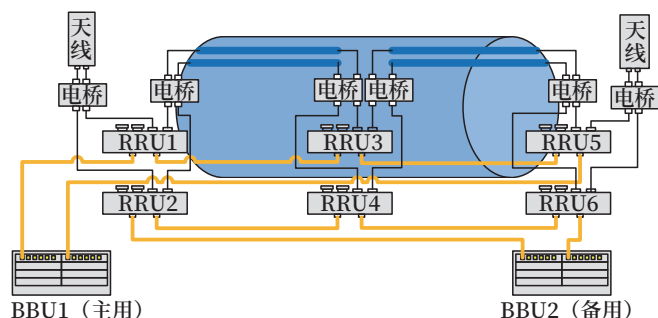


图7 隧道冗余覆盖方案

Fig.7 Scheme of redundancy coverage in tunnel

### 3 总结

与 GSM-R 系统相比, 5G-R 系统不仅承载语音业务, 还要承载大量的数据业务。从系统需求到系统架构, 从覆盖场景到组网方案, 从工程设计到工程建造, 从工程验收到运营维护等均变得更加复杂。目前, 5G-R 系统的业务需求、关键技术、系统方案、系统指标、应用场景等还在研究中。本文重点针对普通单网和冗余组网两种覆盖模式以及铁路沿线非隧道区域和隧道区域两种覆盖场景, 对 5G-R 系统无线接入网的组网方案进行研究, 以供今后相关技术标准制定以及工程设计借鉴参考。

#### 参考文献

- [1] 王同军. 铁路 5G 关键技术分析和路线 [J]. 中国铁路, 2020(11): 1-9.  
Wang Tongjun. Key Railway 5G Technology Analysis and Development Route[J]. China Railway, 2020(11): 1-9.
- [2] 姜永富. 我国铁路专用移动通信技术发展思路探讨 [J]. 中国铁路, 2019(4): 73-78.  
Jiang Yongfu. Development of China's Railway Dedicated Mobile Communication Technology[J].

China Railway, 2019(4): 73-78.

- [3] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路 5G 专网业务和功能需求暂行规范: 铁科信 [2021] 63 号 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.
- [4] 周宇晖. 铁路 5G 专网系统架构和组网技术研究 [J]. 中国铁路, 2020(11): 10-15.  
Zhou Yuhui. System Architecture and Networking Technology of Railway 5G Private Network[J]. China Railway, 2020(11): 10-15.
- [5] 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.
- [6] 王玮. 5G-R 冗余技术方案研究 [J]. 中国铁路, 2021(8): 13-18.  
Wang Wei. Research on Redundancy Technology Scheme of 5G-R[J]. China Railway, 2021(8): 13-18.
- [7] 杨锐, 郭桂芳, 赵武元. 铁路 5G-R 运维技术方案研究 [J]. 中国铁路, 2021(8): 19-25.  
Yang Rui, Guo Guifang, Zhao Wuyuan. Research on Technical Scheme for Operation and Maintenance of 5G-R[J]. China Railway, 2021(8): 19-25.
- [8] 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.  
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.

(上接 49 页)

CTC 系统列车占用丢失报警功能技术要求》的通知: 运基信号 [2011] 535 号 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2016.

- [11] 中国铁路南昌局集团有限公司. 关于重新公布《南昌局集团公司 FZk-CTC 调度集中系统涉及运输相关规则》的通知: 南铁运 [2020] 42 号 [S]. 南昌: 中国铁路南昌局集团有限公司, 2020.