

基于共建共享模式的高铁隧道5G/4G覆盖策略

5G/4G Coverage Strategy of High-speed Railway Tunnel Based on Co-construction and Sharing Mode

张涛¹,刘莹莹²,张磊¹,马亚南³(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联通重庆分公司,重庆 401120;3. 河北电信设计咨询有限公司,河北 石家庄 050000)

Zhang Tao¹,Liu Yingying²,Zhang Lei¹,Ma Ya'nan³(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China Unicom Chongqing Branch, Chongqing 401120, China; 3. Hebei Communication Design&Consultation Co.,Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

摘要:

针对西部高铁线路隧道占比大的特点,基于共建共享模式,深入研究了高铁隧道5G/4G频率规划、网络覆盖、基站设备选型及泄漏电缆的使用等策略,并将研究成果应用于高铁隧道无线网络覆盖,达到良好的效果。

关键词:

共建共享;高铁隧道;5G/4G网络覆盖;泄漏电缆

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.005

文章编号:1007-3043(2024)01-0019-05

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In view of the characteristics of the large proportion of high-speed railway line tunnels in the west, based on co-construction and sharing mode, it in depth studies the high-speed railway tunnel 5G/4G frequency planning, network coverage, base station equipment selection, leakage cable use and other strategies, and the research results are applied to high-speed railway tunnel wireless network coverage, which achieves good results.

Keywords:

Co-construction and sharing; High-speed railway tunnel; 5G/4G network coverage; Leakage cable

引用格式:张涛,刘莹莹,张磊,等. 基于共建共享模式的高铁隧道5G/4G覆盖策略[J]. 邮电设计技术,2024(1):19-23.

1 概述

近年来,国家加大对铁路投资力度,我国铁路路网规模和质量大幅提升,截至2022年底,全国铁路营业里程达到15.5万km,其中高铁4.2万km,铁路网覆盖全国99%的20万人口以上城市。西部的高铁线路途经山地、丘陵,沿线地形地势复杂、隧道众多,如郑渝高铁(万州至巫山段)全长190km,隧道长度175km,隧道占比达92%。此类高铁隧道覆盖具有投资

大、列车速度快、车体穿透损耗大、隧道内无线信号干扰大等特点^[1],如何在狭长的高铁隧道内低成本地提供高质量的无线服务,是各大运营商面临的挑战^[2]。

针对上述高铁隧道覆盖的特点,基于共建共享模式,研究高铁隧道5G/4G频率规划、网络覆盖、基站设备选型及泄漏电缆的使用等策略,将研究成果应用于西部某高铁隧道无线网络覆盖,为运营商提供高质量、竞争力强的4G/5G网络。

2 共建共享模式

高铁隧道共建共享一般涉及2个方面:中国电信

收稿日期:2023-12-22

和中国联通(下文简称电联)基站设备共建共享,中国移动、中国电信、中国联通泄漏电缆、电力、光缆资源的共建共享,具体情况如图1所示。

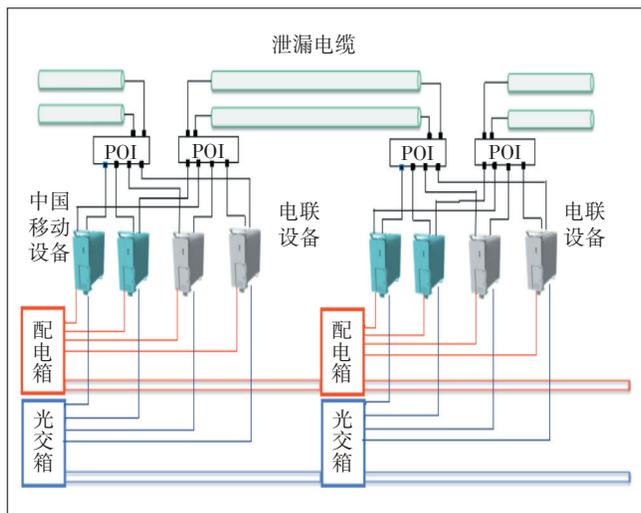


图1 共建共享模式组网示意

2.1 基站主设备共建共享

考虑高铁隧道网络覆盖规划、建设、维护、优化的便捷性和一致性,同时综合网络建设和维护成本,电联双方根据协商确定的承建区域分工,采用接入网共享,频率资源共享,核心网自建的模式建设5G/4G网络,优先采用5G/4G同厂家设备,确保共建共享区域的网络规划、建设、维护及服务标准统一,以便有效降低网络建设和维护成本,快速形成服务能力。

2.2 泄漏电缆、电力、光缆资源共建共享

泄漏电缆、电力、光缆是高铁隧道网络覆盖重要的配套资源,受隧道内空间狭小、建维成本高、施工协调难度大等因素限制,中国移动、中国电信、中国联通采用共建共享模式进行相关配套建设是最为经济可行的办法。

3家运营商多个系统设备(一般不超过6个),以隧道洞室为开断点(一般500 m间隔),通过POI或合路器馈入泄漏电缆,多系统信号通过泄漏电缆发射出去,完成高铁隧道内的网络覆盖。

高铁隧道内设备的电力由铁路公司供给,电力由铁路箱变引至设备开断点位置,运营商根据自身设备数量和功率,协商共享电力资源,按开断点配置3台RRU设备,配置3 kW的电力资源即可满足设备需求。

高铁隧道内光缆应具有路由短捷、故障率小等优点^[3],可采用统一建设,协商分配纤芯资源的方式共建共享。若每家运营商配置2个系统,考虑后期技术演进等因素预留,一般隧道内铺设1条288芯的贯通光缆基本可满足3家运营商设备级联和传输需求。

3 频率规划策略

频率规划时既要考虑当下4G网络用户的语音和数据业务需求,还要考虑5G网络的发展,做到4G/5G频率灵活调配,并兼顾与友商网络速率的竞对。

中国移动一般考虑在高铁隧道内部署1.8 GHz(下行1 805~1 830 MHz,上行1 710~1 735 MHz)和2.6 GHz(2 515~2 675 MHz)频段,其中1.8 GHz的20 MHz带宽用于4G网络,2.6 GHz的60 MHz带宽用于4G网络,剩余100 MHz带宽用于5G网络,后期视5G用户发展情况,调整4G/5G网络使用带宽。

图2所示为不同系统下用户下载速率体验仿真对比,若后期中国移动5G开通160 MHz,用户体验速率提升至410 Mbit/s。建议电联在高铁隧道内部署1.8 GHz(下行1 830~1 880 MHz,上行1 735~1 785 MHz)和2.1 GHz(下行2 110~2 155 MHz,上行1 920~1 965 MHz)频段,并考虑预留3.5 GHz(3 400~3 600 MHz)的资源。1.8 GHz的40 MHz带宽可用于4G网络共建共享,2.1 GHz的50 MHz带宽用于前期与5G网络共建共

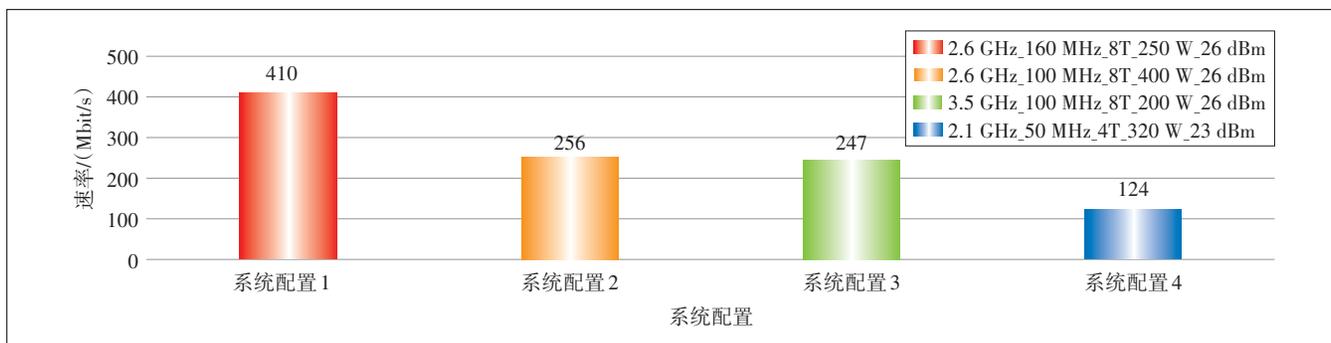


图2 不同系统下5G下行单用户平均速率仿真对比

享。后续视5G用户发展、友商网络速率竞对,及3.5 GHz上车实验等情况,适时扩展5G网络带宽,满足友商竞对的需求。电联高铁频率规划总结如表1所示。

4 网络覆盖策略

本章从链路预算、覆盖方式、组网方式等几个方

表1 运营商高铁隧道频率使用情况

运营商	频段	带宽
中国移动	1.8 GHz:下行1 805~1 830 MHz,上行1 710~1 735 MHz 2.6 GHz:2 515~2 675 MHz	4G:20 MHz+60 MHz 5G:100 MHz,可扩展至160 MHz
电联	1.8 GHz:下行1 830~1 880 MHz,上行1 735~1 785 MHz 2.1 GHz:下行2 110~2 170 MHz,上行1 920~1 980 MHz 3.5 GHz:3 400~3 600 MHz(预留)	4G:20 MHz+20 MHz 5G:50 MHz,可扩展至250 MHz

面论述高铁隧道网络覆盖。

4.1 链路预算

泄漏电缆在隧道内的传播只和横向传播模型有关,与隧道的弯曲程度无关。以LTE 1.8 GHz+NR 2.1 GHz频段为例,隧道内铺设5/4"漏缆,以RRU单通道发射功率40 W、铁路隧道内洞室标准间隔距离500 m^[4]为例进行无线链路预算,可以看到边缘场景基本能满足覆盖要求(见表2)。

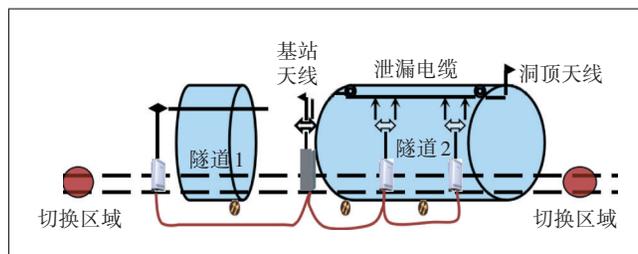


图3 长隧道及隧道群覆盖方式

表2 高铁隧道无线链路预算

链路预算	LTE 1.8 GHz(40 W)	NR 2.1 GHz(40 W)
设备输出功率/dBm	15.2	14
跳线及接头损耗/dB	1	1
合路器损耗/dB	5	5
泄漏电缆入口功率/dBm	9.20	8
漏缆250 m综合损耗指标/dB	84	84
8 m处损耗(宽度因子)/dB	6.02	6
车体阻挡+人体阻挡/dB	25	25
工程余量/dB	3	3
5/4"漏缆250 m综合损耗/dB	79	79
覆盖500 m的边缘场强/dBm	-103.82	-105
覆盖类指标要求/dBm	-105.00	-105

4.2 覆盖方式

高铁隧道采用RRU+天线+泄漏电缆混合方式进行网络覆盖,洞口采用定向天线外延的方式增大室外宏站与隧道区域的重叠覆盖区域,保证切换的顺利完成(见图3)。

4.3 组网方式

隧道设备组网方式如图4所示,500 m间隔的洞室,每个洞室内安装一个RRU,RRU之间优选3或2级级联, $n(n \leq 6)$ 个RRU配置成一个小区,上连红线外的BBU基带板,长距离的隧道分属不同小区^[5],考虑将切换区设置在隧道内。

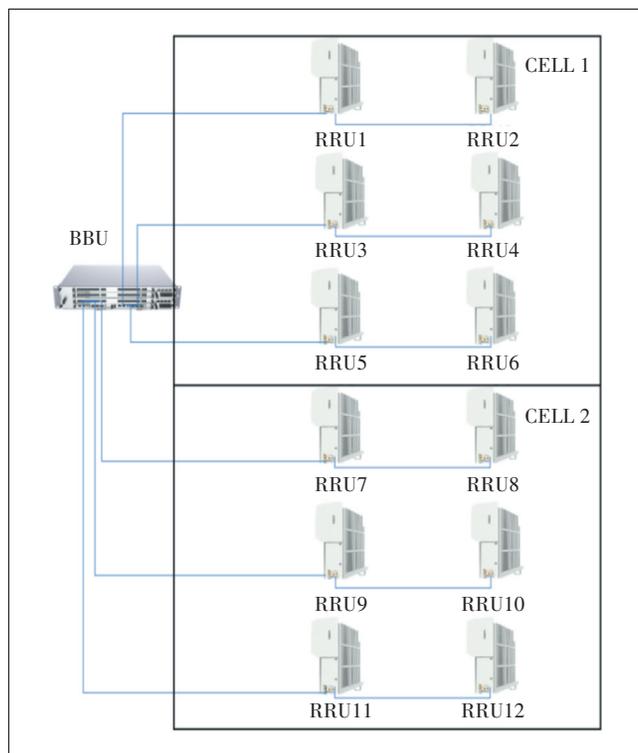


图4 隧道设备组网方式示意

5 基站设备选型

鉴于电联基站设备共建共享的背景,统筹考虑隧道内外5G/4G网络覆盖,可采用传统LTE1.8 GHz+

UNR2.1 GHz 基站或宽频 LTE1.8 GHz/UNR2.1 GHz 基站 2 种设备。表 3 从设备形态、发射功率、网络覆盖及投资成本等角度对比分析了传统设备与宽频设备的

优劣。

根据不同高铁线路的特点进行设备选型,对于客流量小的线路,电联双方采用共享载波(可开 40 W 功

表 3 基站设备选型对比分析

分类	RRU 数	发射功率	优点	缺点
传统 LTE1.8 GHz+UNR2.1 GHz 基站	2	1.8 GHz: 2TR 2×60 W 2.1 GHz: 4TR 4×80 W	①设备投资略少;②NR 2.1 GHz 隧道内外支持演进 4T4R	①LTE1.8 GHz 独立载波方式开通共享,单载波只能开 30 W 功率,长隧道存在弱覆盖风险;②设备数量多,施工费相对高
宽频 LTE1.8 GHz/UNR2.1 GHz 基站	1	1.8 GHz: 2TR 2×80 W 2.1 GHz: 2TR 2×80 W 或 1.8 GHz: 4TR 4×80 W 2.1 GHz: 4TR 4×80 W	①LTE1.8 GHz 独立载波方式开通共享,单载波能开 40 W 功率,基本满足隧道无线覆盖;②设备数量少,施工费相对低	①设备投资略大;②在开通 LTE1.8 GHz 的前提下, NR 2.1 GHz 只支持开通 2TR,与移动 5G 预留 160 MHz 带宽相比,劣势更大

率);对于隧道少且短(<450 m)可布放 4 根漏缆的线路,优先选择传统 LTE1.8 GHz+UNR2.1 GHz 基站设备;对于电联双方只接受独立载波且单载波开 40 W、隧道多且长、只能布放 2 根漏缆的线路,优先选择宽频 LTE1.8 GHz/UNR2.1 GHz 基站设备。

6 泄漏电缆使用

本章从共用方式、选型及安装布放等方面讨论高铁隧道中泄漏电缆的使用。

6.1 泄漏电缆共用方式

本节从漏缆数量、干扰控制、协调难度、优化维护及建设成本等方面,对比隧道内电联与中国移动共缆、分缆 2 种方式的优劣(见表 4)。若运营商沟通良好且投资受限,可选择共缆方式,否则选择分缆方式。

6.2 泄漏电缆选型

漏缆的传输损耗系数与频率成正比^[5],即频率越高,单位长度的传输损耗越大。针对 13/8"、5/4"泄漏电缆漏选择的问题,从频段支持、网络覆盖、网络演进、竞对分析及建设成本等几个方面进行性能对比分析(见表 5)。考虑电联 3.5 GHz 资源预留,建议优选 5/4"漏缆。

6.3 泄漏电缆安装布放示意

表 4 电联与中国移动共缆、分缆对分析

指标对比	电联与中国移动分缆	电联与中国移动共缆
漏缆数量	4 根或 2 根,优选 4 根	2 根或 1 根,优选 2 根
干扰控制	干扰系统较少	干扰系统较多,需提高 POI 及系统的干扰抑制指标
协调难度	协调难度小,可独自使用 5/4"漏缆	协调难度大,中国移动推荐 13/8"漏缆,不建议用 5/4"漏缆
优化维护	方便优化、维护、故障排查	优化、维护需同中国移动协商同意后方可开展
建设成本	泄漏电缆投资翻倍	相对较小,但对应 POI 投资有所增加

高铁车窗下沿距轨面 2 m,上沿距轨面 2.8 m^[6],为减少基站信号的穿透损耗,建议泄漏电缆能布放在高铁车窗范围内。

以电联与中国移动分用泄漏电缆,布放 4 条泄漏电缆为例,电联和中国移动的泄漏电缆交叉布放,其中中国移动的 2 条漏缆挂在距轨面 2.1 m 和 2.7 m 的隧道桥架上,电联的 2 条泄漏电缆挂在距轨面 2.25 m 和 2.55 m 的隧道桥架上,同时保证信号辐射方向无遮挡,可满足垂直隔离要求(见图 5)。

7 应用效果

将本文的研究成果应用于西部某隧道占比大于

表 5 13/8"、5/4"泄漏电缆性能对比分析

指标对比	13/8"漏缆	5/4"漏缆
频段支持	最高频段支持到 2.7 GHz,无法支持 3.5 GHz	可支持 3.5 GHz
网络覆盖	损耗较 5/4"漏缆小 1~2 dB,可满足 LTE1.8 GHz+NR2.1 GHz 覆盖指标要求	损耗较 13/8"漏缆大 1~2 dB,仍可满足 LTE1.8 GHz+NR2.1 GHz 覆盖指标要求
网络演进	5G 支持 NR2.1 GHz,带宽最大可达到 50 MHz	5G 支持 NR2.1 GHz+NR3.5 GHz,带宽最大可扩展到 250 MHz
竞对分析	NR2.1 GHz 50 MHz 容量和体验明显差于中国移动 2.6 GHz 160 MHz	后期 5G 信号上车后,可适时开通 3.5 GHz,实现容量和体验与友商相差不大
建设成本	基本相当	基本相当

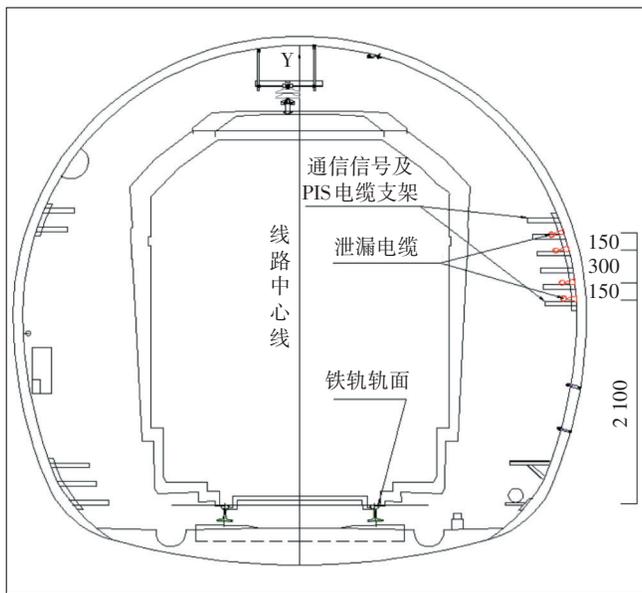


图5 隧道4缆安装示意

90%的高铁网络建设中,达到了良好的覆盖效果。从5G网络道路测试数据来看,平均RSRP为-90.5 dBm,覆盖率(RSRP \geq -105 dBm占比)为95.8%,平均SINR为19.82 dB,平均下载速率为43.55 Mbit/s(20 MHz带宽终端速率),具体情况如图6和图7所示。

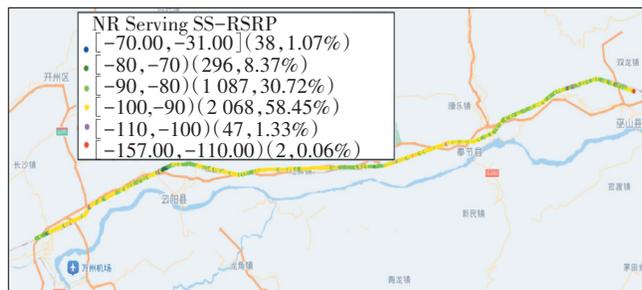


图6 某高铁5G网络RSRP路测结果

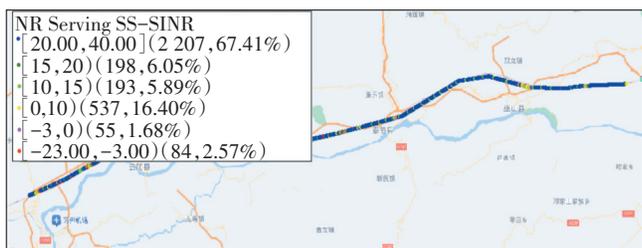


图7 某高铁5G网络SINR路测结果

4G网络道路测试数据如下:平均RSRP为-86.73 dBm,覆盖率(RSRP \geq -105 dBm占比)为99.59%,平均SINR为11.4 dB,平均下载速率为35.32 Mbit/s,具体情况如图8和图9所示。

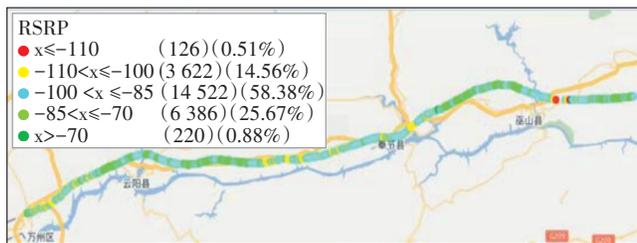


图8 某高铁4G网络RSRP路测结果

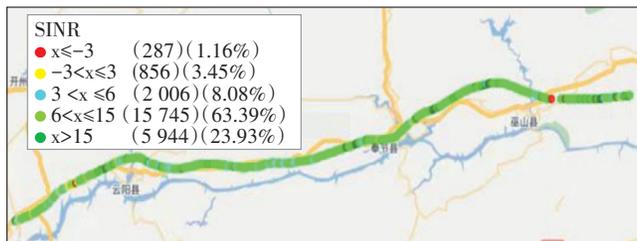


图9 某高铁4G网络SINR路测结果

8 结束语

针对高铁隧道覆盖建设投资大、列车速度快、车体穿透损耗大、隧道内无线信号复杂干扰大等特点,基于共建共享模式,研究了高铁隧道4G/5G频率规划、网络覆盖、基站设备选型及泄漏电缆的使用等策略,达到了良好效果和经济效益,为后续此类型网络建设提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 林铁力. 5G时代高铁覆盖解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2020(10):57-62.
- [2] 潘翔,张涛,李福昌. 高铁隧道场景的5G覆盖方案研究[J]. 邮电设计技术, 2019(8):26-29.
- [3] 李侠,张曜晖. 高铁光缆在中国联通干线光缆网中的应用研究[J]. 邮电设计技术, 2019(10):40-42.
- [4] 冯秋明,张星. UL2100 SDR在中国联通西部高铁场景应用研究[J]. 邮电设计技术, 2018(5):39-42.
- [5] 任晓勇. 泄漏同轴电缆耦合损耗计算方法的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2007.
- [6] 李争鹏. 高速铁路隧道公众移动通信网络覆盖方案研究[J]. 高速铁路技术, 2013(4):56-60.

作者简介:

张涛,毕业于西北工业大学,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络的规划与设计工作;刘莹莹,毕业于西南政法大学,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络设计工作;张磊,毕业于重庆邮电大学,高级工程师,学士,主要从事移动通信网络的规划与设计工作;马亚南,毕业于江西理工大学,学士,主要从事移动通信网络的规划与设计工作。