

文章编号: 1674—8247(2025)01—0105—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2025.01.017

贵广客运专线提质改造 GSM-R 冗余覆盖组网方案研究

陈小平

(中国铁路广州局集团有限公司, 广州 518001)

摘 要:贵广客运专线改造后在 CTCS-3 级列控区段采用同址双基站冗余覆盖方案,通过对该组网方案工作原理进行分析,提出 A 网和 B 网基站功率、切换参数、邻区关系等参数设置建议,同时分析直放站区段存在快衰隐患,提出从信号思路,并对从信号设置、规划方案进行研究,选取一个基站的从信号进行模拟验证测试,结果表明引入从信号能够达到良好效果,研究结果对新铁路建设或既有铁路改造冗余覆盖的设计提供了新的思路。

关键词:GSM-R;CTCS-3;同址双基站;冗余覆盖;数字直放站

中图分类号:U285.2 **文献标志码:**A

Research on GSM-R Redundant Coverage Networking Scheme for Renovation of Guiyang-Guangzhou Passenger Dedicated Line

CHEN Xiaoping

(China Railway Guangzhou Bureau Group Co., Ltd., Guangzhou 518001, China)

Abstract: Following the renovation of the Guiyang-Guangzhou Passenger Dedicated Line, a redundant coverage scheme with co-located dual-base stations in the area of train operation control with CTCS-3 is adopted. By analyzing the working principle of this networking scheme, recommendations are proposed for parameter settings such as base station power, handover parameters, and neighbor cell relationships for both Network A and Network B. Additionally, the potential risk of rapid fading in repeater sections is analyzed, prompting a focus on signal design. Research is conducted on signal settings and planning schemes, with a slave signal from one base station selected for simulation and verification testing. The results indicate that the introduction of the slave signal achieves satisfactory outcomes. The findings of this study provide new insights into the design of redundant coverage for the construction of new lines or the reconstruction of existing lines.

Key words: GSM-R; CTCS-3; co-located dual-base stations; redundant coverage; digital repeater

贵广客运专线(贵阳至广州)是西南地区通往华南沿海地区的重要铁路通道,跨黔、桂、粤三省区,既有贵广客运专线采用 GSM-R 单网覆盖,实现语音调度通信、调度命令信息、无线车次号校核信息传送等功能^[1]。为提高铁路运营品质,改善人民群众旅行体

验,进一步节约时间成本,从 2022 年 12 月开始启动贵广客运专线提质改造工程,改建贵广客运专线龙里北(不含)至三水南(不含)段,其中中国铁路广州局集团有限公司管内怀集至肇庆东(不含)提质至 300 km/h,采用 CTCS-3 级列控系统^[2],GSM-R 系统由单网覆盖

收稿日期:2024-08-18

作者简介:陈小平(1968-),男,高级工程师。

引文格式:陈小平. 贵广客运专线提质改造 GSM-R 冗余覆盖组网方案研究[J]. 高速铁路技术,2025,16(1):105-109.

CHEN Xiaoping. Research on GSM-R Redundant Coverage Networking Scheme for Renovation of Guiyang-Guangzhou Passenger Dedicated Line[J]. High Speed Railway Technology, 2025, 16(1):105-109.

调整为冗余覆盖,肇庆东(含)至三眼桥线路所(含),保留单网覆盖。受征地难度大、投资高等因素影响,贵广客运专线提质改造工程 CTCS-3 区段,在广州局管内首次采用同址双基站冗余覆盖方案。本文对贵广客运专线提质改造后 CTCS-3 区段的冗余覆盖组网方案进行分析,并针对直放站区段存在的问题提出解决方案。

1 冗余方案的选择

贵广客运专线提质改造工程无线通信系统采用交织冗余和同站址冗余覆盖均技术可行^[3-4]。从项目的可实施性、土建及配套工程、安全风险及工程投资等方面对无线通信系统方案进行比选。

1.1 交织冗余方案

(1) 可实施性

交织冗余方案需新增基站、直放站场坪,新增红线外用地,同时受生态环境敏感区、水源保护区、生态红线及电磁辐射影响等,存在用地手续繁琐、环评水保专题论证及批复困难等问题,工期不可控。

(2) 土建及配套工程

①新增区间基站、区间直放站场坪,存在土建工程选址困难、边仰坡防护/行洪通道改造/通站道路工程量,既有无砟轨道过轨和既有桥梁墩台引下等难点。

②既有隧道内 2 km 间距的无线通信站点之间需新增站点,同时 5 km 以上隧道需增设防护门隔墙,另外将影响隧道套衬病害整治工程施工。

③既有路基桥梁地段需新设漏缆及辅助杆,辅助杆基础需开挖既有路基、桥梁,对既有路基、桥梁的安全性影响较大。

④新增区间基站、区间直放站,场坪需配套房建、电力、暖通、有线等工程,隧道内需配套隧道防护门、电力、有线等工程,施工周期长、难度大。

(3) 安全风险

按施工组织要求,本工程为既有铁路天窗点施工,工程期间不得影响列车日间正常运行。增设站点、漏缆覆盖区间,将增加大量土建工程,还需要在既有路基、桥梁等进行施工。工程量大,工期控制困难,若工程中发生路基沉降、桥梁墩台开裂等次生灾害,将对既有线路、桥梁安全产生较大影响,严重影响日间行车组织,安全运营。

1.2 同站址冗余方案

(1) 可实施性

同站址冗余方式均利用既有基站、直放站场坪,除少部分既有基站场坪因改扩建机房需接建场坪机房院落外,不新增红线外用地,工期可控,利于项目顺利

进行。

(2) 土建及配套工程

①土建工程量少,无土建工程选址、边仰坡防护、行洪通道改造、通站道路工程,无既有无砟轨道过轨和既有桥梁墩台引下等问题。

②既有隧道内无需新增站点。

③既有路基、桥梁地段无需新设漏缆及辅助杆,对既有路基、桥梁无影响。

④配套房建、电力、暖通、有线等工程量少,施工周期短、难度小。

(3) 安全风险

较采用交织冗余安全风险低。

1.3 工程投资

根据上述两个方式的工程情况,结合既有铁路改建工程造价编制依据,交织冗余较同站址冗余需增加投资约 3 亿元。

1.4 结论

本工程结合实际情况、项目特点及施工组织,综合比选项目可实施性、土建及配套工程、安全风险及工程投资等方面,无线通信系统推荐采用同站址冗余方案。

2 同址双基站冗余覆盖方案分析

目前 GSM-R 网络的冗余覆盖组网方案分为单网交织冗余和同站址双基站冗余。其中新建 CTCS-3 级铁路通常采用单网交织冗余方式组网。

单网交织冗余覆盖每站址设置 1 套基站,奇数、偶数基站交叠覆盖,奇数站和偶数站覆盖交织,当任何一个基站出现故障,可由相邻基站完成覆盖区域的业务接替,避免业务受到影响。单网交织冗余覆盖示意图 1 所示。

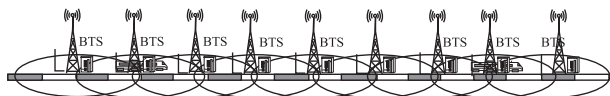


图 1 GSM-R 系统单网交织冗余覆盖示意图

同站址双基站冗余覆盖在同一站址设置 2 套基站,2 套基站形成双层网络冗余覆盖,同站址双基站冗余覆盖示意图 2 所示。A 网基站和 B 网基站独立工作,使用独立的频点,A 网基站类型一般为 C2(双频点),B 网基站类型一般为 C1(单频点)。同址基站共用 1 座铁塔,A 网和 B 网天线设置在铁塔不同平台,一般 A 网天线安装在高平台,B 网天线安装在低平台。

A 网及 B 网基站同时工作,主用为 A 网,备用为 B 网。相邻站点的 A 网、B 网互为切换邻区,保证异常情况下业务及时切换。正常情况下,业务均由 A 网承



图2 GSM-R 系统同址双基站冗余覆盖示意图

担,移动台任何时候都在 A 网小区附着及通话,处于专用模式下的移动台在 A 网基站间进行切换。当 A 网设备故障时,移动台从 A 网切换到 B 网,网络业务由 B 网承担,当移动台移动到正常 A 网覆盖区域时根据优先切换关系切换到 A 网基站,从而使网络起到基站覆盖冗余作用。同址双基站冗余工作原理如图 3 所示。

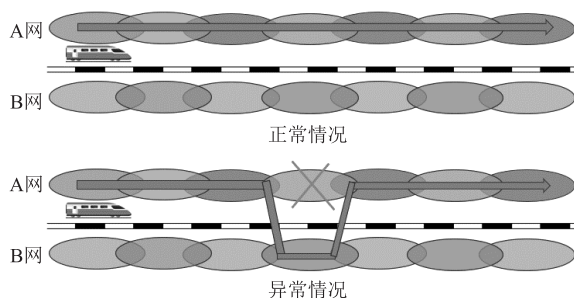


图3 同址双基站冗余工作原理示意图

同址双基站冗余覆盖方式,通过设置基站功率、切换参数等方式,控制业务优先由 A 网承担,主要采取以下方案:

(1) 基站发射功率。A 网基站(以下简称“A 站”)发射功率设置为 40 W,即 46 dBm, B 网基站(以下简称“B 站”)设置为 10 W,即 40 dBm, B 站发射功率较 A 站低 6 dB。换算公式为: $\text{dBm} = 10 \log(\text{功率}(\text{W}) \times 1000)$ 。

(2) 邻区关系设置。同址 A 站与 B 站设置邻区关系, A 站与邻站 A 站、B 站设置邻区关系, B 站与邻站 A 站、B 站设置邻区关系。

(3) 切换参数设置。为确保列车在 A 网运行,切换至 A 站的功率预算切换门限比切换至 B 站低,一般切换至 A 站功率预算切换门限为 3 dB,切换至 B 站功率预算切换门限为 6 dB。

(4) 在直放站覆盖区域远端机单点故障的情况下, A 网需往 B 网切换,通过故障远端后回切到 A 网。

(5) 防回切参数设置。同址 A 站、B 站间不设置防护回切时间,使异常情况下切到 B 网后,回到 A 网正常覆盖范围时可以及时切回 A 网。

3 直放站区段冗余覆盖分析

贵广客运专线广州局管内地处山区,隧道众多,弱

场区域使用直放站加漏缆方式进行覆盖^[5]。既有直放站信源只接 1 个基站,无冗余信号。贵广客运专线既有基站与直放站连接方式如图 4 所示。光远 1 和光远 2 的施主基站为基站 1,光远 3、光远 4 和光远 5 的施主基站为基站 2。

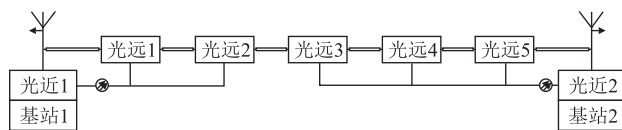


图4 贵广客运专线既有基站与直放站连接方式图

提质改造后,将模拟直放站更换为数字直放站,冗余覆盖方式为同址双站,即在同一站址设置 2 套直放站,1 套接 A 网基站,1 套接 B 网基站,设置 B 直放站比 A 直放站输出功率低 6 dB。贵广客运专线改造后基站与直放站连接方式如图 5 所示。

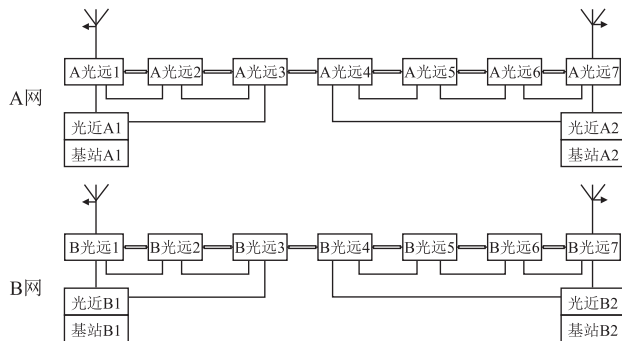


图5 贵广客运专线改造后基站与直放站连接方式图

根据前期国铁检测车覆盖图分析,贵广客运专线直放站覆盖区段存在多处快衰区域,这是由于漏缆区段重叠覆盖区域只有 1 路直放站信号覆盖所致。贵广客运专线改造后的冗余方式并没有扩大重叠切换区域,快衰(信号强度在短时间内快速衰落)问题依然存在,对高速下切换及重选提出了更高的要求^[6]。

以基站 29 至基站 30 区间为例:基站 29 至基站 30 重叠覆盖区域由光远 83(信号源基站 29)至光远 84(信号源基站 30),理论切换区域(即电平重叠覆盖区域)只有 1.5 km。基站 29 及基站 30 的网络系统如图 6 所示。

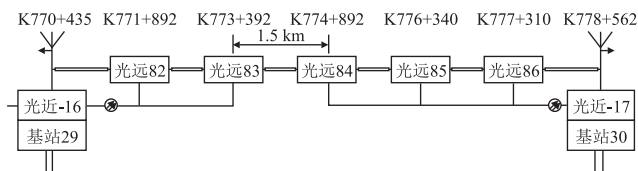


图6 基站 29 及基站 30 网络系统图

根据设计规范:相邻基站无线覆盖重叠区应保证

车载无线终端在设计时速下完成连续 2 次切换^[7]。一般情况下每次切换从采样、判决到执行约需 5 s,2 次切换需 10 s。根据现网 C3 线路实际运行情况,为确保网络服务质量,覆盖电平需在 -80 dBm 以上,根据现网覆盖图,基站 29 及基站 30 两路信号交叉处到电平衰减至 -80 dBm 时约为 750 m。

改造后,车速提至 300 km/h(83 m/s),2 次切换重叠区域最小应为 830 m,改造后在电平不变的情况下原 750 m 覆盖距离难以满足设计时速下连续完成 2 次切换。

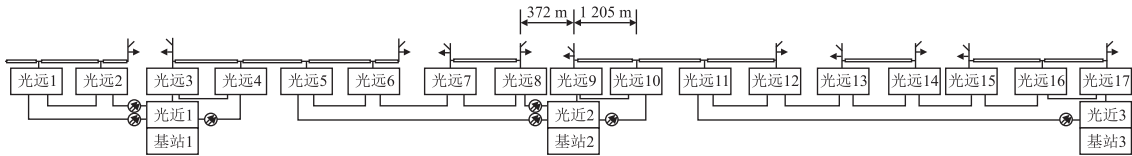


图 7 直放站区段引入从信号网络示意图

光近 2 作为基站 2 的从信号。

主信号接入相邻基站光远作为从信号,将从信号设置低于主信号 18 dB,根据贵广客运专线采用的数字直放站特性,当光远在主信号出现故障时,从信号会以主信号功率发射信号,此时可保证在光远出现故障时,不会切换到 B 网直放站,维持 A 网运行。

从信号接入的光远数量以基站所在位置为界,左边光远组接入左边相邻基站作为从信号,右边光远组接入右边相邻基站作为从信号。基站所在位置的光远优先考虑尽可能扩大切换区域,其次考虑平均光远的数量。以基站 2 为例,因光远 8 与基站 2 所在位置光远 9 的切换距离只有 372 m,切换距离过短,而光远 9 与光远 10 的切换距离为 1 205 m(满足 2 次切换最小重叠区域 830 m),所以光远 5、光远 6、光远 7、光远 8、光远 9 接入基站 1 从信号环,光远 10 接入基站 3 从信号环。

5 直放站区段从信号规划方案

贵广客运专线提质改造后直放站采用光纤数字直放站,从信号组网需考虑时延问题,直放站要求总时延 $T \leq 116.5 \mu s$ 。直放站时延计算需考虑光缆长度、设备时延、空中传播时延及预留时延余量,计算公式如下:

时延 $T = \text{光缆长度 } L \times 5 (\mu s/km) + \text{设备本身时延} (18 \mu s + 1.5 \mu s/\text{每增加 } 1 \text{ 台光远}) + \text{空中无线传输距离 } L_0 \times 3.3 (\mu s/km) + \text{工程最佳预留时延 } 21.5 \mu s (\text{含光缆预留} + \text{光法兰} + \text{光缆弯曲} + \text{TA 余量等})$ ^[8-9]。

直放站最长光纤长度受限于所带直放站数量,根据以上公式计算,从信号光纤长度规划如下:

- (1)1 拖 1(或 2):最长光纤长度不超过 16 km。

4 直放站区段引入从信号冗余覆盖方案

为解决上述同址双基站中直放站区段冗余覆盖问题,同时进一步增强 A 网的覆盖能力和稳定性,在直放站覆盖区段引入从信号方案,即前一个基站的信号延伸到下一个基站,下一个基站光远接入前一个基站的光近,如图 7 所示。基站 1、基站 2 的光远引入基站 2 信号作为从信号接入,即基站 1 的光远 3/4 和基站 3 的光远 11/12/13/14/15/16/17 组环接入基站 2

- (2)1 拖 3(或 4):最长光纤长度不超过 15 km。
- (3)1 拖 5(或 6):最长光纤长度不超过 14 km。
- (4)1 拖 7(或 8):最长光纤长度不超过 13 km。

直放站覆盖区段从信号规划原则如下:

(1)光纤直线距离 ≤ 16 km 的光远单链组网,光纤长度按直线距离 1.1 倍计算,时延超过 100 μs 调整需重新调整组网。

(2)距离 ≥ 16 km 需调整光远数量。

需要注意的是,在直放站区段接入从信号后,A 网需增加隔站相邻关系,如基站 A1 与基站 A3、基站 B3 互相增加相邻关系,保证在基站 A2 基站掉站后不向 B 网切换。

6 直放站区段从信号覆盖验证

根据主从信号参数设置原则,在主信号工作时从信号应比主信号低 18 dB,当主信号故障时,从信号功率提升至主信号设置功率。为确保在直放站区段引入从信号后的实际效果,验证主信号故障后从信号的场强变化情况,选取基站 04A 进行模拟测试,该小区相关直放站信号设置如表 1 所示。

表 1 基站 04A 相关直放站信号设置表

序号	基站	从信号设置
1	基站 03A	基站 02A/R10 从信号为基站 03A 从 1
		基站 04A/R1-R2 从信号为基站 03A 从 2、从 3
2	基站 04A	基站 03A/R9 从信号为基站 04A 从 1
		基站 05A/R1-R3 从信号为基站 04A 从 2、从 3、从 4
3	基站 05A	基站 04A/R3 从信号为基站 05A 从 1
		基站 06A/R1-R4 从信号为基站 05A 从 2 至从 5

正常情况下,如果基站 04A 故障后,基站 03A

从 2、从 3 信号及基站 05A 从 1 信号升高,切换从基站 03A 到基站 05A。

现场验证:当基站 04A 正常工作时,基站 04A/R1/R2/R3 场强峰值分别为 -37 dBm 、 -37 dBm 、 -45 dBm ,基站 04A/R1/R2/R3 从信号,即基站 03A 从 2、基站 03A 从 3、基站 05A 从 1 信号分别为 -43 dBm 、 -47 dBm 、 -56 dBm 。

关闭基站 04A,基站 03A 从 2、基站 03A 从 3、基站 05A 从 1 信号分别为 -33 dBm 、 -36 dBm 、 -47 dBm ,直放站从信号抬升与主信号基本一致,且均比基站 04B 信号强,从基站 03A 正常切换至基站 05A,达到从信号覆盖预期。

7 结束语

CTCS-3 线路对 GSM-R 冗余覆盖有更高的要求,经过对贵广客运专线提质改造后 CTCS-3 区段的同址双基站冗余覆盖方案分析,结合实际的电平覆盖情况,需要在直放站区段引入从信号,以提高网络可靠性。根据实施后动态检测及模拟测试结果分析,怀集至肇庆东(不含)段提质改造数字直放站远端机引入从信号后达到覆盖预期,满足动态检测要求,从信号冗余覆盖方案达到预期效果,使用良好。该方案的成功应用为 CTCS-3 线路冗余覆盖组网提供了新的模式,对铁路 GSM-R 网络的组网方案设计具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] TB 10088-2015 铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范[S].
TB 10088-2015 Technical Specifications for Railway Digital Mobile Communication System (GSM-R)[S].
- [2] 莫志松,郑升. 高速铁路列车运行控制技术:CTCS-3 级列车运行

控制系统[M]. 北京:中国铁道出版社,2016.

MO Zhisong, ZHENG Sheng. Train Operation Control Technology of High-speed Railway: CTCS-3 Class Train Operation Control System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2016.

- [3] 杨树忠,高利民,王惠生. 重载线路 GSM-R 同址双基站网络的必要性测试分析[J]. 中国铁路, 2014(6): 52-54.
YANG Shuzhong, GAO Limin, WANG Huisheng. Necessity Test and Analysis of GSM-R Double Base Station Network with the Same Site for Heavy-haul Lines[J]. China Railway, 2014(6): 52-54.
- [4] 张华峰. GSM-R 现网组网方案与建设对比研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(8): 156-159.
ZHANG Huafeng. Comparative Study on Networking Scheme and Construction of Existing GSM-R Network [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(8): 156-159.
- [5] TB 3367-2016 铁路数字移动通信系统(GSM-R)数字光纤直放站[S].
TB 3367-2016 Digital Optical Repeater of Global System for Mobile Communications-Railway (GSM-R) [S].
- [6] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Design Specification for High Speed Railway[S].
- [7] TB 10716-2013 高速铁路工程动态验收技术规范[S].
TB 10716-2013 Technical Specification for Dynamic Acceptance of High Speed Railway Engineering[S].
- [8] 林海鹏. 数字光纤直放站的特点及应用[J]. 通信与信息技术, 2011(4): 81-83.
LIN Haipeng. Characteristics and Application of Digital Optical Fiber Repeater[J]. Communication & Information Technology, 2011(4): 81-83.
- [9] 时庆飞. 光纤直放站原理及在铁路移动通信的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7(2): 38-40.
SHI Qingfei. Principle of Fiber-optic Repeater and Application in Railway Mobile Communication [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2010, 7(2): 38-40.