

# 城市轨道交通全自动运行线路同站台换乘 无线干扰解决方案

邹定锋

(福州地铁集团有限公司, 350001, 福州//高级工程师)

**摘要** 为了解决 1.8 GB 专用频段对城市轨道交通两线换乘区域的 LTE(长期演进)干扰问题,以福州轨道交通 4 号线 GOA4(无人干预列车运行)级 FAO(全自动运行)线路与 5 号线 GOA2(半自动化列车运行)级线路的换乘站(浦口站)为例,通过 TD(时分)-LTE 技术分析与实地测试,对两线换乘区域的 LTE 抗干扰设计与 1.8 GB 频段规划进行了深入研究,形成了 4 号线、5 号线换乘区域 LTE 抗干扰解决方案,为福州后续城市轨道交通线路类似问题的解决提供参考。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行线路;同站台换乘;无线干扰

**中图分类号** U231.7

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.02.008

## Solution to Same-platform Interchange Wireless Interference of Urban Rail Transit FAO Line

ZOU Dingfeng

**Abstract** To solve the LTE (long-term evolution) interference problem in the two-line interchange area of urban rail transit with 1.8 GB dedicated frequency band, the interchange station (Pukou Station) of Fuzhou Rail Transit Line 4 GOA4 (unattended train operation) grade FAO (fully automatic operation) line and Fuzhou Rail Transit Line 5 GOA2 (semi-automatic train operation) grade FAO line is taken as an example, and the LTE anti-interference design and 1.8 GB frequency band planning of the two-line interchange area are studied in depth through the analysis and field test of TD (time division)-LTE technology. The LTE anti-interference solution of the interchange area of Line 4 and Line 5 is formed, providing a reference for the solution of similar problems of the subsequent rail transit lines in Fuzhou.

**Key words** urban rail transit; FAO line; same-platform interchange; wireless interference

**Author's address** Fuzhou Metro Group Co., Ltd., 350001, Fuzhou, China

随着我国城市轨道交通的快速发展,运营线路初步成网,同站台换乘车站亦随之增多。以目前福州轨道交通线网为例,福州轨道交通 1 号线、6 号线(以下分别简为“1 号线”“6 号线”)在梁厝站可同站台换乘,福州轨道交通 4 号线、5 号线(以下分别简为“4 号线”“5 号线”)在浦口站可同站台换乘。其中 4 号线、5 号线、6 号线均采用 TD-LTE(时分-长期演进)技术实现 CBTC(基于通信的列车控制)系统信息的车-地传输,且这 3 条线路均使用 1.8 GB 专用频段。根据工信部无[2003]408 号《关于扩展 1 800 MHz 频段无线接入系统使用频段的通知》的相关规定,1.8 GB 的 TDD(时分双工)可用频段为 20 MHz,即 1 785 ~ 1 805 MHz。

建设初期,福建省无线电管理委员会批复分配给浦口站 15 MHz 1.8 GB 无线频段,供 4 号线、5 号线共同使用。若按照每条线各使用 10 MHz 带宽进行设计,就存在站台换乘区域同频干扰的问题,导致车载信号设备无法收到更新的移动授权,触发列车紧急制动,严重影响线路运营。因此,对于 TD-LTE 技术下同站台干扰的研究具有十分重要的意义和价值。

## 1 TD-LTE 技术在 4 号线、5 号线 CBTC 系统中的应用

### 1.1 TD-LTE 组网

TD-LTE 由核心网设备、网络维护管理设备、接口服务器、时钟服务器、核心交换机、防火墙、基站 BBU(基带处理单元)设备、基站 RRU(基站射频单元)设备、TAU(车载接入单元)设备、天馈系统(如漏泄同轴电缆(以下简为“漏缆”))、防雷器以及传输通道等组成。

信号系统涉及到行车安全, T/CAMET 04005.3—2018《城市轨道交通车地综合通信系统

(LTE-M) 总体规范 第 3 部分:综合承载信息分类与要求》明确规定, CBTC 系统传输业务属于生产安全信息网业务。因此, 为充分考虑网络的可靠性, 4 号线、5 号线均采用双网冗余承载方式(以下简称“ A 网”“ B 网”), 确保业务不中断。

4 号线、5 号线 TD-LTE 承载 CBTC 系统信息业务的无线场强覆盖范围包括全线隧道区间, 以及车辆段和停车场区域。正线区间采用 RRU 与漏缆辐射方式进行场强覆盖, 如图 1 所示。

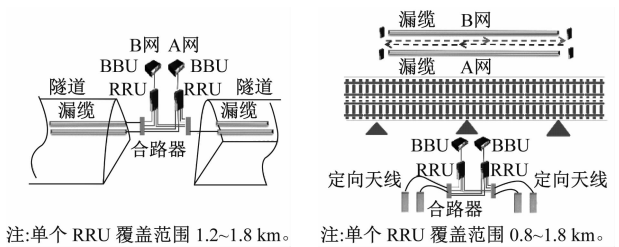


图 1 正线区间采用 RRU 与漏缆辐射方式进行场强覆盖示意图

Fig. 1 Diagram of field intensity coverage by RRU and leakage coaxial cable radiation in main line interval

对于 4 号线、5 号线全线隧道区间的组网, 上、下行独立设置漏缆和 RRU 设备, 且各敷设至少 1 条

漏缆。漏缆固定在隧道壁上, RRU 小区按平均 600 m 的覆盖半径部署。隧道区间组网如图 2 所示。

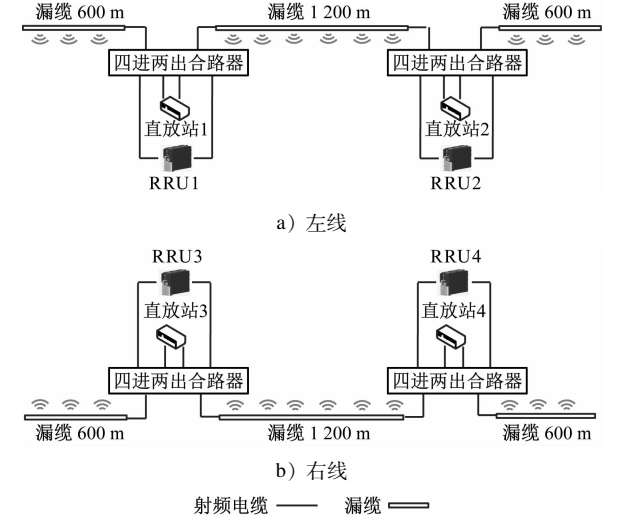


图 2 隧道区间组网示意图

Fig. 2 Diagram of tunnel interval networking

每个 RRU 组成 1 个通信小区。TD-LTE 技术应遵循 3GPP(第三代伙伴计划)协议的相关规定, RRU 小区带宽可划分为 10.0 MHz、5.0 MHz、3.0 MHz、1.4 MHz。3GPP 协议下采取的相同子帧配比、不同带宽时的峰值速率、最小速率如表 1 所示。

Tab. 1 Peak rate and minimum rate of same sub-frame ratio and different bandwidths under 3GPP protocol					
带宽/MHz	子帧配比	下行峰值速率/(Mbit/s)	下行最小速率/(Mbit/s)	上行峰值速率/(Mbit/s)	上行最小速率/(Mbit/s)
3	0	7.37	3.685	4.82	2.41
5	0	12.28	6.140	8.04	4.02

注: 子帧配比 0 表示下行子帧: 上行子帧 = 1: 3, 其中下行在下载, 即地面发送至列车; 上行为上传, 即列车发送至地面。

## 1.2 业务传输与带宽需求

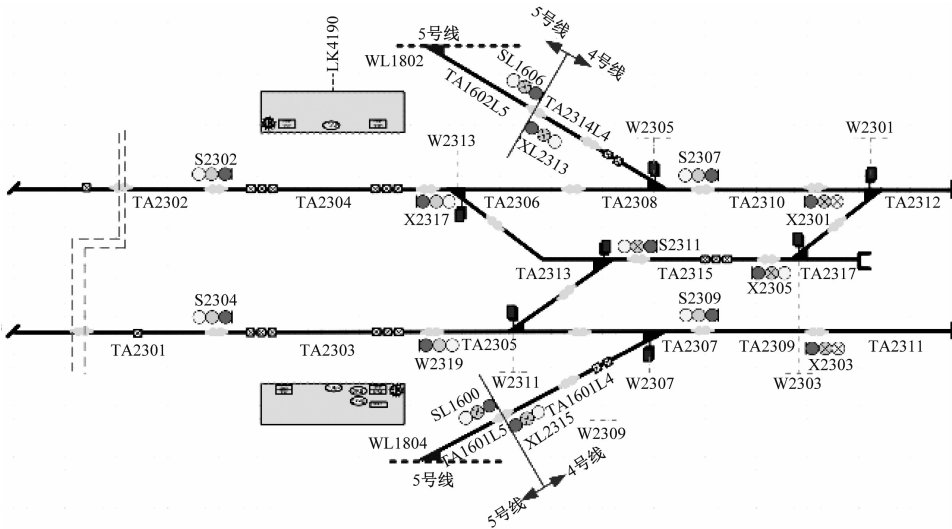
### 1.2.1 4 号线业务传输与带宽需求

4 号线为 GOA4(无人干预列车运行)级 FAO 线路, 除利用 TD-LTE 技术实现车-地 CBTC 系统传输业务外, 还需通过此 TD-LTE 通道, 由信号系统传输车辆状态信息和紧急信息文本: ① 信号系统信息, 根据 CZJS/T 0062—2016《LTE-M 系统总体架构及系统功能规范》中子规范《LTE-M 系统需求规范》的要求, 4 号线为 GOA4 级 FAO 线路, 每列列车上、下行每路传输速率分别不小于 512 kbit/s; ② 车辆状态信息, 包括运行列车的车辆管理信息及测试诊断信息, 属于生产安全信息网业务。每列列车上行 A、B 网每路传输速率不小于 24 kbit/s, 最大传输速率为 80 kbit/s; ③ 紧急信息文本, 需要实时下发

并播放, 属于生产安全信息网业务。每列列车下行 A、B 网的传输速率不小于 10 kbit/s。

根据以上单列列车行车安全相关的 CBTC 系统信息、列车状态信息和紧急信息文本的双网冗余传输需求, 同时考虑 CZJS/T 0062—2016 中子规范《LTE-M 系统承载 CBTC 业务及接口规范》中关于每个 RRU 小区至少关联 6 列列车的运营要求, 根据 3GPP 协议下不同带宽的峰值速率和最小速率可见, FAO 模式下其 A/B 单网的最小射频带宽不小于 5 MHz。4 号线线路布置如图 3 所示。4 号线浦口站 RRU 小区在极限情况下可同时容纳 7 列 FAO 列车, 在正常情况下需确保 4 列 FAO 列车正常业务传输。

综上, 对于 4 号线, 以每列 FAO 列车传输速率 512 kbit/s 计算, 正常运行情况下为保证 4 列车同



注:TA 为计轴区段; S、SL、X、XL 为信号机; W、WL 为道岔。

图 3 4 号线浦口站线路布置示意图

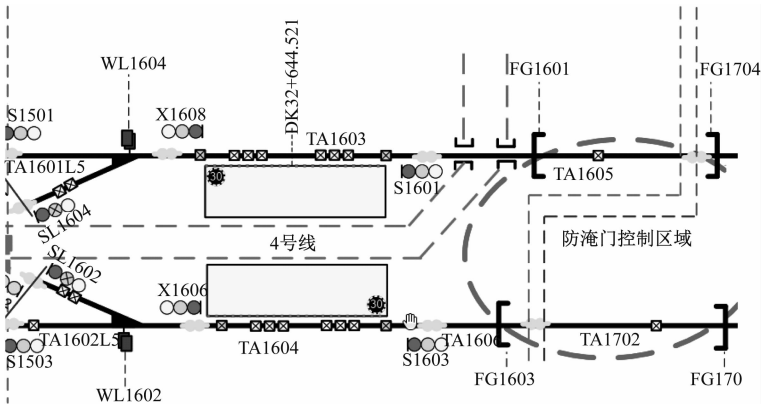
Fig. 3 Track layout of Line 4 at Pukou Station

时在线,传输速率为 2.0 Mbit/s;而极限情况下 7 列车传输速率共需 3.5 Mbit/s。因此 4 号线带宽应不小于 3 MHz。

1.2.2 5 号线业务传输与带宽需求

5 号线为 GOA2(半自动化列车运行)级 FAO

线路,TD-LTE 仅用于 CBTC 系统业务传输。5 号线线路布置如图 4 所示。5 号线浦口站 RRU 小区内最多可以容纳 6 列非 FAO 列车,正常运营情况下需确保 2 列非自动运行列车的业务传输。



注:FG 为防淹门。

图 4 5 号线浦口站线路布置示意图

Fig. 4 Track layout of Line 5 at Pukou Station

对于 5 号线,以每列列车上、下行每路传输速率均不小于 256 kbit/s 计算,满足 RRU 小区内同时关联 2 列列车的要求时,传输速率需 512 kbit/s;如需满足极限情况下每个 RRU 小区关联 6 列列车的要求时,传输速率共需 1.5 Mbit/s。因此,5 号线带宽需求应不小于 1.4 MHz。5 号线 LTE 通信 A、B 网的带宽计算如表 2 所示。

2 浦口站同站台换乘无线干扰分析与解决方案

2.1 同站台换乘无线干扰分析

福州轨道交通浦口站采用双岛四线设计,4 号线、5 号线可在同站台换乘。两侧站台宽度均为 14.5 m,站台两侧均由站台门遮挡。4 号线、5 号线轨行区之间的岔区为相连通的开放区域,见图 5。

表 2 5 号线 LTE 通信 A、B 网带宽计算表

Tab.2 Bandwidth calculation of network A and network B of Line 5 LTE communication

项目	是否属于 安全信息网业务	传输速率/(kbit/s)			
		A 网(带宽为 5 MHz)		B 网(带宽为 5 MHz)	
		下行	上行	下行	上行
CBTC 业务数据	是	$3.0 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$
车辆状态信息	是		480		480
紧急信息文本	是	60		60	
合计		$\geq 3.0 \times 10^3$	$\geq 3.5 \times 10^3$	$\geq 3.0 \times 10^3$	$\geq 3.5 \times 10^3$

注:子帧配比为 0。

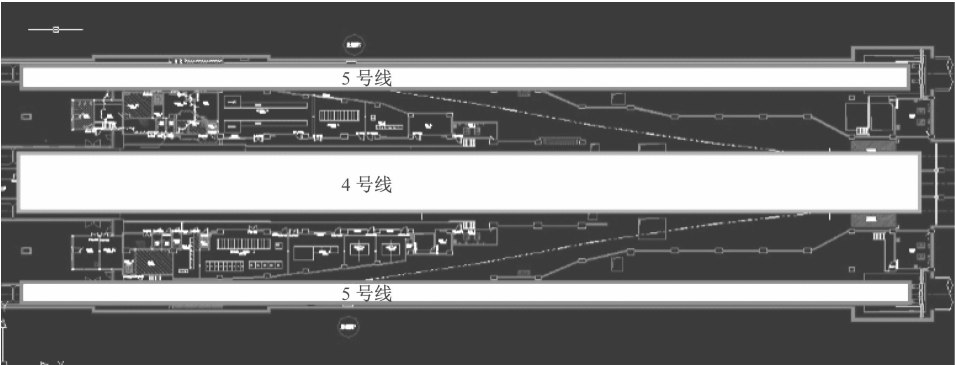


图 5 浦口站 4 号线、5 号线同站台换乘示意图

Fig. 5 Diagram of same-platform interchange at Pukou Station of Line 4 and Line 5

建设初期,浦口站已由福建省无线电管理委员会批复分配 1.8 GB 无线频段(1 785 ~ 1 800 MHz),共 15 MHz,为 4 号线、5 号线共用。根据 4 号线、5 号线带宽的需求,若 4 号线 A、B 网分别设计 5 MHz 带宽,5 号线 A、B 网分别设计为 3 MHz 带宽,即出现无线频段重叠的情况。换乘区域为敞开区域,区域之间无实体墙遮挡,站台间隔为 14.5 m,其空间隔离度为 83 dB,站台门可提供 6 dB 隔离度;功分、接头及跳线损耗按 5 dB 计算,可提供的隔离度为 94 dB,无法满足隔离度 126.5 dB 的要求。

若 4 号线 TD-LTE 系统 A、B 网按照 5 MHz + 5 MHz 配置,5 号线 TD-LTE 系统 A、B 网按照 3 MHz + 3 MHz 配置,则会出现 2 条线 LTE-M 同频干扰问题。TDD 系统的干扰主要是帧失步。TDD 系统是时分同步的系统,与 FDD(频分双工)系统不同,该系统的上行和下行均处于同一个频率,两个方向数据的区分根据时间同步来设定,故 TDD 系统要求使用 GPS(全球定位系统)时钟或稳定的 IEEE 1588 V2 协议中的高精度时钟,使整个系统保持在同一时间段内。

例如,4 号线 TD-LTE 系统在整网同步后,浦口站基站下发给 4 号线列车车载终端数据和接收 4 号线列车车载终端数据都是在同步时间段内,如前 20

ms 由基站将数据下发给终端,后 20 ms 由终端将数据下发给基站,若保持以上数据上传、下载周期同步,TD-LTE 系统接收和发射均无问题。但如果覆盖区域内 5 号线 TD-LTE 系统使用相同频率的信号衍射过来,由于 4 号线、5 号线 TD-LTE 系统无法实现时间同步,如 5 号线 TDD 系统可能前 20 ms 由车载终端将数据发给基站,后 20 ms 由基站将数据发给车载终端,则会造成 4 号线 TDD 系统前 20 ms 的数据被其他系统的基站接收。5 号线 TDD 系统接收到 4 号线 TDD 系统发送的数据后并将其进行解码,但该数据原本不是发给 5 号线的,因此无法解析,只能丢弃。此种反复的接收、解码、丢弃,就会影响正确数据的解码,造成网络速率低、误码多、信号质量差,影响 2 条线信号系统的运行,导致列车在此处由于通信中断丢失列车移动授权等安全信息而触发紧急制动,会严重影响线路运营。

2.2 同站台换乘无线干扰解决方案分析

由于 4 号线、5 号线 TD-LTE 系统为两家不同制造商提供,无法通过跨线共小区方式解决同频干扰问题;另外为实现同站台换乘,亦无法在 2 条线路之间增加墙体或其他物理隔离方式来解决。因此,只能考虑采用调整 2 条线路的带宽,通过频段隔离方式进行解决。

1) 若4号线RRU小区A、B网带宽按照5 MHz+5 MHz设计,5号线RRU小区A、B网带宽只能按照3.0 MHz+1.4 MHz设计。此方案完全满足4号线承载业务的传输速率和容量需求。5号线B网带宽仅配置了1.4 MHz,满足日常运行场景需求,RRU小区内可确保关联2列列车。根据实际测试结果,在1.4 MHz带宽实际测试中,车载终端测试到的上行的最小传输速率为0.63 Mbit/s。实际车辆正常行驶过程中,车载LTE设备接收频段会从5 MHz带宽切换到1.4 MHz。在5.0 MHz带宽下,中心频率为1 797.5 MHz;在切换到1.4 MHz时,中心频率变为1 783.7 MHz。在模拟终端带宽从5.0 MHz切换至1.4 MHz的过程中,受到1.4~5.0 MHz中心频率跳变的影响,测试端带宽速率降低为0.492 Mbit/s,按照GOA2级FAO线路单列列车需使用256 kbit/s的传输速率计算,只能满足1列列车同时接入的需求,故该方案不可行。

2) 若从优先满足5号线RRU小区A、B网最低带宽需求3 MHz+3 MHz的配置出发,4号线TD-LTE系统中A网配置为5 MHz带宽,B网配置为3 MHz带宽,详细配置方案如下:5号线A网频段带宽为1 791~1 794 MHz,B网频段带宽为1 785~1 788 MHz;4号线A网频段带宽为1 795~1 800 MHz,B网频段带宽为1 788~1 791 MHz。为了更准确地判断此方案,通过外场试车线实地测试,发现4号线RRU小区B网带宽设置为3.0 MHz时,B网上行峰值传输速率为2.3 Mbit/s,以每列FAO列车传输速率512 kbit/s计算,可同时关联4列FAO列车,可满足4号线浦口站站台区域及存车线同时容纳4列FAO列车同时在线。同时根据规划的列车运行时刻表以及A网频段分流,B网带宽基本满足4号线CBTC系统及其他业务的需要。但还需优化RRU小区划分,减小此特殊带宽区域的范围。在线路基站规划方面,调整浦口站原RRU安装位置,同时新增1处RRU基站,从而将4号线浦口站RRU小区的覆盖范围从原先的1 000 m缩小至500 m,即仅需覆盖站台和存车线,以满足此区域内停放4列列车的通信传输需要。综合考虑LTE技术的可行性以及RRU小区覆盖范围的控制等因素,认为

此方案可行。

### 3 结语

5号线已根据本次研究成果以及形成的最终频段划分方案进行了现场部署和配置,并于2022年4月投入正式载客运营。目前信号系统运行稳定,未出现因TD-LTE系统带宽不足或其他通信问题导致的列车紧急制动问题。4号线目前处于建设期,将以本频段划分方案为指导开展TD-LTE系统的部署与配置,并在后期具备调试条件后进行现场验证。研究结果将为未来城市轨道交通线路站点TD-LTE频段的申请提供参考与数据依据。建议后续在同站台换乘的车站区域申请20 MHz带宽,为项目执行提供更大的外部条件。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部关于重新发布1 785~1 805 MHz频段无线接入系统频率使用事宜的通知:工信部[2015]65号[Z]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部,2015.  
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Industry and Information Technology on reissuing frequency usage arrangements of the 1 785~1 805 MHz wireless access system; MIIT[2015] No. 65 [Z]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, 2015.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 关于推荐城轨交通项目新建CBTC系统使用1.8 GB专用频段和LTE综合无线通信系统的通知:中城轨[2016]003号[Z]. 北京:中国城市轨道交通协会,2016.  
China Association of Metros. Notice on recommending the use of 1.8 GB dedicated frequency band and LTE integrated wireless communication system in the new CBTC system of urban rail transit project; ZCG[2016] No. 003[Z]. Beijing: China Association of Metros, 2016.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于固定无线视频传输系统使用频率的通知:工信部无[2008]332号[Z]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部,2008.  
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Notice on usage frequency of fixed wireless video transmission system; MIITR[2008] No. 332[Z]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, 2008.

(收稿日期:2022-09-26)