

# 西安机场线 LTE-M 系统干扰保护及网络优化<sup>\*</sup>

王 鹏

(中铁第一勘察设计院集团有限公司通信信号设计院, 710043, 西安//高级工程师)

**摘 要** 各城市轨道交通 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)系统线网级应用的雏形已经形成。在 1.8 GHz 频率资源有限且半私有的前提下,实现线路间信号干扰保护,已备受轨道交通建设各方的高度关注。鉴于西安机场线 LTE-M 系统工程实施条件的特殊性 & 复杂性,以机场线工程应用实践经验为例,阐述主要干扰保护措施和网络优化方案。综合运用理论计算、软件仿真、现场实测、系统网优等手段提升 LTE-M 系统的抗干扰能力,为其他城市 LTE-M 系统线网级应用的频率规划、工程设计、网络优化提供参考。

**关键词** 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M); 干扰保护; 网络优化

**中图分类号** U285.21

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.05.010

## Interference Protection and Network Optimization of LTE-M System on Xi'an Airport Intercity Railway

WANG Peng

**Abstract** The prototype of the network-level application of the urban rail transit LTE-M system has been formed. Under the premise that 1.8 GHz frequency resources are limited and semi-private, how to achieve signal interference protection between lines has attracted great attention from all parties in urban rail transit construction. In view of the particularity and complexity of the implementation conditions of the LTE-M system project of Xi'an Airport Intercity Railway, taking its practical experience in engineering application as an example, the main interference protection measures and network optimization schemes are elaborated. Theoretical calculations, software simulations, field measurements, system network optimization and other means are comprehensively adopted to enhance the anti-interference ability of the LTE-M system, providing references for frequency planning, engineering design and network optimization of LTE-M system network-level application in other cities.

**Key words** urban rail transit LTE-M; interference protec-

tion; network optimization

**Author's address** Department of Communication Signal, China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd., 710043, Xi'an, China

西安机场线(西安北至机场城际轨道项目)是连接西安咸阳国际机场和高铁西安北站两大交通枢纽的城际铁路,与西安地铁 4 号线在北客站实现同台换乘。2016 年开始建设西安机场线 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)车地无线通信网,2019 年底正式投入使用。该网络综合承载的业务包括:PIS(乘客信息系统)视频业务、IMS(视频监视系统)业务、列车运行控制业务、列车紧急文本下发业务、列车运行状态监测业务。

基于西安机场线工程的特殊性 & 红线外多个 1.8 GHz TD-LTE(分时 LTE)系统网络建设情况,综合承载网的设计和 network 优化工程极富挑战性。

## 1 机场线 LTE-M 系统建设的难点

西安机场线全长 29.31 km,正线以高架长大区间为主,最高设计速度 100 km/h。该线以地方无委会正式批复的 1 790 ~ 1 805 MHz 频段资源为基础,构建双网 LTE-M 系统(10 MHz A 网和 5 MHz B 网)。此外,机场线贯穿多处商业和工业开发区,沿线有多家企事业单位自建有 1.8 GHz TD-LTE 系统。因此,西安机场线 LTE-M 建设所面临的难点主要集中在以下几方面:

1) 机场线与西安地铁 4 号线在北客站的干扰保护 & 网络优化。西安地铁 4 号线 LTE-M 系统占用 1 785 ~ 1 805 MHz 频段中全部 20 MHz 频率资源。机场线与西安地铁 4 号线在北客站实现地下二层一岛两侧同台换乘。4 号线站台轨行区无线信号覆盖采用中隔墙上挂板状定向天线的方式。

<sup>\*</sup> 中铁第一勘察设计院属科研项目(2021KY40ZD(CYH)-04)

2) 机场线与西安地铁 4 号线在草滩停车场的干扰保护与网络优化。机场线渭河南站(高架站)及邻近区间与西安地铁 4 号线草滩停车场仅一墙之隔,停车场内 LTE-M 系统采用立杆安装定向天线的方式实现信号覆盖。

3) 机场线与渭河电厂、长庆石化在高架区间的干扰保护与网络优化。机场线渭河南—秦宫区间外 2.5 km 处建有渭河电厂自建 LTE 系统。长陵—摆旗寨区间外 3 km 处建有长庆石化自建 LTE 系统,且均采用高铁塔 + 定向天线的方式实现厂区信号覆盖。

4) 机场线与西安咸阳国际机场在高架区间的干扰保护与网络优化。机场线空港新城站及邻近区间距离西安咸阳机场围墙最近处仅 600 m,西安咸阳国际机场 TD-LTE 宽带无线通信网占用 1 785 ~ 1 795 MHz 频率资源,该系统采用板状定向天线的方式实现信号覆盖。

## 2 机场线 LTE-M 系统干扰保护措施

对于系统的干扰保护,一般有频率隔离、空间隔离、小区间干扰协调、基站规划参数调整等手段,各种保护措施的特点如表 1 所示。

表 1 LTE-M 系统干扰保护措施

措施方案	具体内容	存在问题	措施适用条件
频率隔离	异频组网、频率退让;调整目标区域中心频点或者载波带宽	机场线获批 15 MHz 频率全部使用,无空闲频段;频带内资源利用率较高	系统可接受以减小载波带宽、牺牲部分业务数据流量为代价,避免与外部系统同频干扰
空间隔离	增加滤波器;调整天线方位角、倾角和高度;增加与干扰源发射设备空间距离	土建方案稳定后,天线或者漏缆安装位置可调范围较小	场段天线覆盖场景可用
小区干扰协调	干扰随机化、多用户检测、正交序列、IRC(干扰抑制合并)干扰抑制合并、干扰协调 ICIC(小区间干扰协调) <sup>[1]</sup>	机场线与 4 号线隶属于不同业主单位,无法共建核心网或核心网互联互通	要求与外部干扰共核心网或核心网互联互通
基站规划参数调整	接入网同步信号统一,时隙配比统一,特殊子帧配比统一;发射 TM2、TM3、TM5 模式配置	协调对方参数调整难度大;准确度基于仿真、测试结果	双方同站址或发射设备距离较近

针对机场线特殊工况,首先明确机场线 LTE-M 系统方案的工程设计原则:

1) 全线漏缆覆盖。针对机场线高架区间较多的特点,确定所有正线区间、出入段线、试车线全部使用漏缆覆盖;高架侧式车站、场段咽喉区使用吸顶或板状定向天线补盲<sup>[2]</sup>,可最大限度避免机场线对红线外部环境产生电磁干扰。同时漏缆覆盖具备场强集中的优点,更利于抵御外部干扰信号。

2) 优化漏缆敷设位置。通过将隧道区间漏缆敷设高度控制在 3.7 ~ 4.1 m 之间、高架区间漏缆敷设高度控制距离轨面 0.3 ~ 0.9 m 之间,可最大限度降低额外耦合损耗,提升抗干扰能力<sup>[3]</sup>。

3) 超级小区组网。在高架区间左、右线分别设置 RRU(射频拉远单元)实现 LTE 信号覆盖,左、右线同一里程 RRU 配置为超级小区,避免小区间干扰<sup>[4]</sup>。

4) 压缩覆盖范围。在遭遇干扰风险较高的区域内,适当压缩单 RRU 小区覆盖范围至 900 m 以内。同时为后期优化越区切换算法提供调整

余量<sup>[5]</sup>。

5) 提升终端可靠性。车顶设置两幅鲨鱼鳍单极化天线,车底左、右各设置一副板状双极化天线,提高系统可靠性。

6) A、B 网 RRU 均同站址布放。对于 LTE 的邻频干扰,主要考虑其带外阻塞的影响,因此设计时要求将双网 RRU 布放里程点均保持一致。

其次,采用定量分析的方式制定具体措施。根据 LTE-M 规范要求,最小 RSRP(参考信号接收功率)不低于 -95 dBm, SINR(信噪比)不低于 3 dB。SINR 的计算公式如下:

$$R_{\text{SIN}} = 10 \lg \left( \frac{V_{\text{C}}}{V_{\text{N}}} \right)^2 = 20 \lg V_{\text{C}} - 20 \lg V_{\text{N}} \quad (1)$$

式中:

$R_{\text{SIN}}$ ——SINR(信噪比),dB;

$V_{\text{C}}$ ——载波信号电平值的均方根;

$V_{\text{N}}$ ——其他噪声电平值均方根,包含了底噪、异系统的干扰信号以及来自机场线自身的同频干扰信号。

RSRP 可等价于  $20 \lg V$ 。考虑到底噪远小于来自同频异系统的干扰,可假设:

$$V_N = V_{\text{干扰}} + V_{\text{底噪}} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2)可得:

$$\begin{aligned} R_{\text{SIN}} &= 20 \lg V_C - 20 \lg V_N = P_{\text{RSR}} - 20 \lg V_N = \\ &= P_{\text{RSR}} - 20 \lg (2V_{\text{干扰}}) = \\ &= P_{\text{RSR}} - P_{\text{RSR 干扰}} - 6 \text{ dB} \end{aligned} \quad (3)$$

式中:

$P_{\text{RSR}}$ ——RSRP(参考信号接收功率),dBm。

结合工程经验,可将 SINR 指标设定为  $\geq 9\text{dB}$ ,则根据式(3)可得系统的干扰保护准则为<sup>[6]</sup>:

$$P_{\text{RSR}} \geq P_{\text{RSR 干扰}} + 15 \text{ dB} \quad (4)$$

即保证本线 LTE 信号与干扰系统信号之间 RSRP 差值  $\geq 15 \text{ dB}$  时,外部干扰对本系统的影响可忽略不计。以此参数作为定量分析的指标,依照理论计算、模拟仿真、外场实测、网络优化的系列步骤开展设计和调试工作。

另外,由于双方均工作在同一频带内,对于相互间的邻频干扰,同样要考虑带外阻塞的影响,在不考虑隔离度的情况下,只要干扰信号不大于  $16 \text{ dBm}/20 \text{ MHz}$  即可满足系统正常工作要求<sup>[1]</sup>。

### 3 机场线 LTE-M 系统优化

机场线与各外部 LTE 系统的干扰保护和网络优化策略基本一致。现以机场线与西安地铁的干扰分析和处理方案为例进行说明。

#### 3.1 机场线与西安地铁 4 号线在北客站干扰处理及网络优化

由于机场线获批的  $15 \text{ MHz}$  的频率资源与 4 号线使用的  $20 \text{ MHz}$  频段完全重叠,因此无法使用频率隔离措施。虽然 LTE 小区间的同频干扰是一种窄带的随机干扰,即使不采用 ICIC 技术,基于 OFDMA(正交频分多址接入)的 LTE 系统天然具备干扰随机化的能力<sup>[7]</sup>。但在双方系统均满负荷运行时,小区间干扰协调手段严重受限,只能通过空间隔离和基站参数配置手段进行设计和网络优化:机场线采用在本方中隔墙广告灯箱上方敷设漏缆的方式来精确控制信号场强和覆盖范围,漏缆敷设方向与 4 号线一致并互为镜像,确保沿着轨道同一方向的无线场强变化趋势相同,场强同强同弱便于干扰控制;机场线和 4 号线双方基站设置相同发射功率、相同时隙配比、相同特殊子帧配比,均首选 GPS 同步方案。

如图 1 所示,两线中隔墙间隔  $26 \text{ m}$ ,漏缆耦合损耗增加约  $11 \text{ dB}$ ,屏蔽门顶部钢板及墙体的穿透损耗  $\geq 10 \text{ dB}$ 。在双线同时开启屏蔽门时,无线干扰最为严重,即使不考虑车体、人体、天花板等影响,空间隔离度仍可达  $21 \text{ dB}$  以上。理论分析表明,在双方发射功率一致的情况下,方案能够满足系统信噪比  $\geq 15 \text{ dB}$  的限值要求,且信号强度远小于  $16 \text{ dBm}/20 \text{ MHz}$ ,初步认定干扰可控。

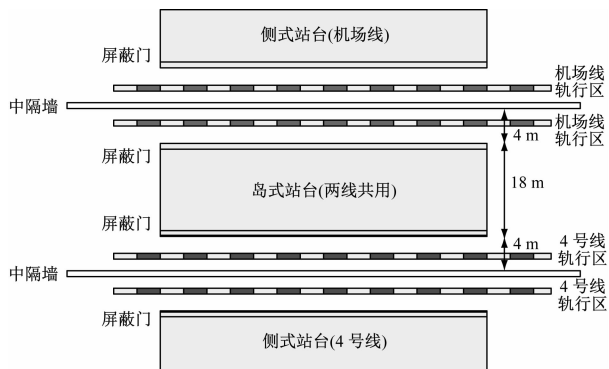


图1 机场线与4号线同台换乘示意图

后期网优阶段如图 2 所示,机场线轨行区范围内实测出 4 号线 LTE 信号强度均低于  $-100 \text{ dBm}$ ,在此区域内机场线控制发射功率  $\geq -80 \text{ dBm}$  (含衰落储备)时即可满足双方的干扰保护要求。

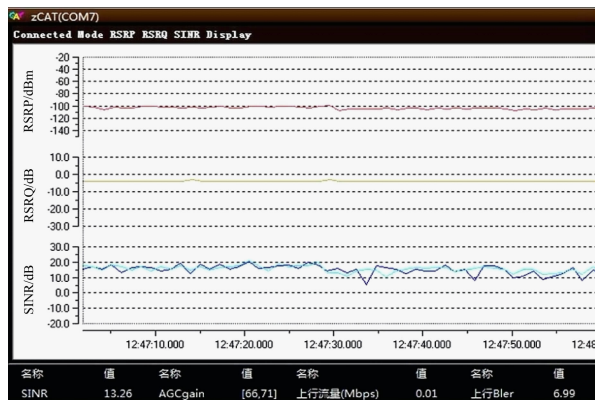


图2 机场线轨行区内的4号线信号强度

#### 3.2 机场线渭河南站与西安地铁 4 号线草滩停车场间的干扰处理及网络优化

西安地铁草滩停车场采用板状定向天线覆盖 LTE 信号。如图 3 所示,RRU1 距离渭河南站较近,其无线信号辐射范围大且较难收敛,此处以 RRU1 为研究对象。

在前期不具备现场测试、调试条件时,应首先收集 4 号线基站参数,对其进行仿真,模拟其覆盖范围和场强分布,保证后期机场线的设计能否预留优

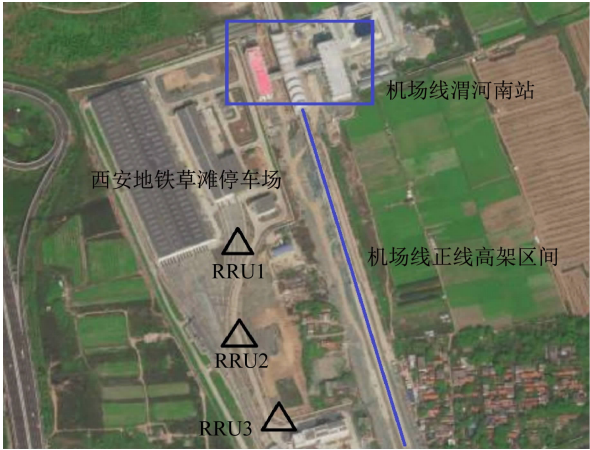


图3 4号线停车场RRU分布

化裕量。以 10 MHz 频宽的 A 网为例,仿真模型输入参数如表 2 所示。

表 2 仿真模型输入参数

参数类型	数值
频率资源/MHz	1 795 ~ 1 805
信道带宽/MHz	10
天线类型	板状定向
天线增益	13
水平面波瓣宽度/(°)	30
垂直面波瓣宽度/(°)	30
前后比/dB	>28
天线安装高度/m	6
小区发射功率/dBm	40

图 4 的仿真结果显示,机场线内来自 4 号线的干扰信号均大于 - 95 dBm。该结果与后期现场电磁环境测试的数据基本一致。

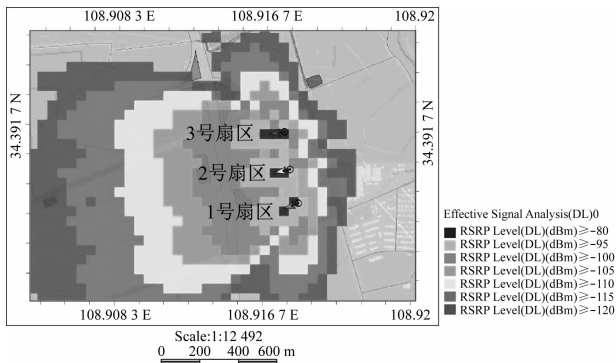


图4 渭河南站附近干扰强度分布

通过协调设备厂家优化 4 号线草滩停车场运用

库口 A 网 RRU1(3 号扇区、PCI 编号 127)的天线方位角、下倾角以及 RRU 功率,调整前后站点的工程参数如表 3 所示。

表 3 干扰站参数优化

优化前后	站高/m	方位角/(°)	下倾角/(°)	功率/dBm
优化前	6	101	6	40
优化后	6	130	8	37

经调整后,在机场线范围内实测来自 4 号线的干扰信号最高场强为 - 105 dBm,因此机场线控制本线信号强度  $\geq - 95$  dBm(含衰落储备)时即可满足系统运行要求。

4 结语

随着工业与信息化部关于 1.8 GHz 频率资源使用政策的发布,以及中国交通运输协会 LTE-M 系列规范的正式实施,LTE-M 系统在各城市轨道交通中的建设规模逐步加大,线网级应用的雏形已经形成。鉴于 20 MHz 频率资源有限以及多行业共用的性质,线网级应用将面临复杂的频率规划和干扰保护问题。机场线的工程特点几乎涵盖了所有需要进行 LTE-M 干扰保护设计和网络优化的场景。通过本文提及的工程设计思路,以及干扰保护所涉及的理论计算、仿真、实测、网优等措施,可为各城市 LTE-M 系统线网级应用的频率规划、系统设计、网络优化工作提供有价值的参考。

参考文献

[1] 肖清华,汪丁鼎,许光斌,等. TD-LTE 网络规划设计与优化[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.

[2] 李厚锴. TD-LTE 承载地铁信号无线网络规划方案[J]. 铁路通信信号工程技术,2017(6):66.

[3] 刘鑫. 隧道环境中漏泄同轴电缆挂设高度对漏缆辐射性能的影响分析[D]. 武汉:华中科技大学,2019.

[4] 宗毅. TD-LTE 网络高铁覆盖方案研究与设计[D]. 南京:南京邮电大学,2019.

[5] 王晓轩,唐涛,蒋海林,等. 基于 TD-LTE 的城市轨道交通车地通信系统越区切换算法[J]. 中国铁道科学,2019(3):109.

[6] 张世铭. LTE-M 系统在同站台平行换乘车站覆盖方案的应用研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2019(12):51.

[7] 沈嘉,徐霞艳,杜滢,等. LTE 同频组网关键问题分析[J]. 移动通信,2010(21):5.

(收稿日期:2020-08-07)