

# 上海城市轨道交通 LTE-M 系统建设规划研究

王 盛

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//工程师)

**摘 要** 无线通信技术的总体发展趋势是向高速化、大带宽、高安全性方向演进。上海城市轨道交通应选择基于 TD-LTE (分长期演进) 技术的 LTE-M (城市轨道交通用长期演进) 作为今后新建线路与老线大修的无线解决方案。分析了现有上海城市轨道交通 LTE-M 系统在投入使用后遇到的问题, 提出了优化与提升方案, 并为今后上海城市轨道交通 LTE-M 的建设提出了规划方案。

**关键词** 城市轨道交通; 长期演进; 基于通信的列车控制; 组网方案; 综合承载网

**中图分类号** U231.7

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.11.017

## Research on Construction and Planning of Shanghai Urban Rail Transit LTE-M System

WANG Sheng

**Abstract** The overall development trend of wireless communication technology is to evolve towards high speed, large bandwidth and high security. Shanghai urban rail transit should choose LTE-M (long term evolution for metro) based on TD-LTE (time-division long term evolution) technology as the wireless solution for building new lines and overhaul of old lines in the future. By analyzing the problems encountered after putting in use LTE-M system in the existing Shanghai urban rail transit, optimization and improvement scheme is put forward, as well as the planning scheme for the future construction of Shanghai urban rail transit LTE-M.

**Key words** urban rail transit; LTM; CBTC; networking scheme; integrated bearing network

**Author's address** Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

随着无线通信的快速发展, 各类不同体系的无线制式在各行业中有着不同程度的应用。随着无线通信技术从 2G (第 2 代移动通信技术)、3G (第 3 代移动通信技术) 逐渐发展为 4G (第 4 代移动通信技术)、5G (第 5 代移动通信技术), 其技术发展的总体趋势一定是朝着高速化、大带宽、高安全性方向

演进。

在无线通信技术不断快速发展的前提下, 选择一个合适的无线通信技术, 为城市轨道交通的各类业务服务非常重要。从总体上看, 城市轨道交通存在窄带集群通信、宽带数据通信等业务需求, 为 CBTC (基于通信的列车控制)、集群调度、乘客信息、视频监控等系统等提供数据传输平台。

目前, 以 LTE (长期演进) 系统为代表的 4G 已全面商用, LTE-M (城市轨道交通用长期演进) 是城市轨道交通未来的发展方向。中国城市轨道交通协会于 2016 年发布了《关于推荐城轨交通新线 CBTC 系统使用 1.8 G 专用频段和 LTE 综合无线通信系统的通知》(以下简称“通知”)。2018 年, 中国城市轨道交通协会发布了《城市轨道交通车地综合通信系统 (LTE-M) 总体规范》(以下简称“规范”)。该规范规定了 LTE-M 系统的总体架构及系统功能, 为今后的城市轨道交通车地综合通信提供了建设的依据、标准和规范。

基于上述的通知与规范, 在上海轨道交通 14 号线、15 号线、18 号线的建设中已经采用了基于 TD-LTE (分长期演进) 技术的 LTE-M 系统的综合承载方案。本文旨在对在通知与规范指导下建设的上海城市轨道交通 LTE-M 系统进行分析, 总结该系统在建设过程中及投入使用后取得的经验和遇到的问题, 并根据存在的问题提出今后上海城市轨道交通 LTE-M 系统的建设规划方案。

## 1 上海城市轨道交通 LTE-M 系统的业务需求及组网方案

根据通知与规范, 结合上海城市轨道交通自身 LTE-M 网络承载业务的特点与需求, 形成了适合上海城市轨道交通的 LTE-M 组网方案。

### 1.1 无线通信业务在带宽、安全性、冗余度上的需求

根据上海城市轨道交通目前存在的业务及未

来需要承载的业务,结合通知与规范的要求,本文总结了无线通信系统的主要业务类型、功能及带宽需求,如表 1 所示。其中,集群调度业务需满足单个小区 5 路组呼、2 路单呼,以及 1 路视频呼叫(带宽需求为 512 kbit/s)、1 路紧急车辆广播的需求。单户、组呼、视频呼叫为长发性需求,紧急广播为偶发性需求。集群调度的总体带宽需求约为 1 Mbit/s。冗余通道提供的呼叫需求为语音呼叫。

表 1 上海城市轨道交通无线通信业务带宽、安全性、冗余度的需求

Tab. 1 Bandwidth, safety and redundancy requirements of Shanghai urban rail transit wireless communication service

业务名称	带宽需求/ (kbit/s)		是否影响 行车安全	业务使用频率及 冗余度需求
	上行	下行		
信号 CBTC 业务	2 000	2 000	是	常发,需要建立冗余通道
集群调度业务	1 000	1 000	是	常发,需要建立冗余通道
列车状态数据传送	4	450	是	常发
车载视频监控	无	4 000	否	偶发
紧急文本下发	10	10	否	偶发

1.2 LTE-M 系统频段分配及组网方案

根据工业和信息化部发布的工信部无[2015] 65 号《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》,城市轨道交通内 LTE 系统可申请 1.8 GHz 频段(1 785 ~ 1 805 MHz),共 20 MHz 带宽。

上海城市轨道交通区域范围内申请使用的专用频段为 5 MHz(频率区段为 1 800 ~ 1 805 MHz)。

表 2 LTE-M 系统频段分配表

Tab. 2 LTE-M system frequency band allocation table

车站类型	承载业务	使用频段/ MHz	频段专用性
地下车站	列车运行控制,集群调度,紧急文本下发,车辆视频监控	1 785 ~ 1 800	专用频段
	列车运行控制,集群调度	1 800 ~ 1 805	专用频段
高架车站、地面车站	列车运行控制,集群调度,紧急文本下发,车辆视频监控	1 785 ~ 1 800	公共频段
	列车运行控制,集群调度	1 800 ~ 1 805	专用频段

1.3 线路高架区域同频干扰的解决方案

考虑到 LTE 系统频段较为紧张,可能会在部分线路高架区域存在同频干扰的情况,而不同 LTE 系统之间的干扰会对小区吞吐量、覆盖范围产生影响,所以在建设时应考虑高架区域不同 LTE 系统间同频邻区的干扰。

在高架和地面区域剩余的 15 MHz 频段为与其他行业共用的频段,在地下区域剩余 15 MHz 频段为城市轨道交通行业专用。

对于信号 CBTC 系统,需要能够保证其系统的冗余以及单点的故障不影响列车位置的定位。而且,由于信号 CBTC 业务的特殊性,需要保证信号 CBTC 业务最大可能地避免受到同频干扰。而对于行车集群调度业务,也需要保证在正线发生单点故障时调度业务的正常运作。此外,随着全自动运行在上海城市轨道交通中的进一步应用,LTE 网络自身的稳定性、可靠性也显得更为重要。

在上海市无线电委员会正式批复给上海城市轨道交通专用的 5 MHz 频段(1 800 ~ 1 805 MHz)基础上,为了充分利用有限的频率资源、最大程度降低干扰,结合上海城市轨道交通无线通信业务带宽、安全性、冗余度需求,LTE-M 系统的频段分配及组网方案如下:在建设 LTE-M 系统时可采用 A、B 双网冗余设计,2 个网络完全独立、并行工作、互不影响。表 2 为 LTE-M 系统频段的具体分配情况,其中:A 网用于列车运行控制、列车状态数据传送、集群调度(主用)、紧急文本下发、车辆视频监控等业务,使用的公共频段为 1 785 ~ 1 800 MHz,频率带宽为 15 MHz;B 网络用于列车运行控制和集群调度(备用)业务,使用的城市轨道交通专用频段为 1 800 ~ 1 805 MHz,频率带宽为 5 MHz。这样的频段分配方式解决了高架车站有 15 MHz 频段属于公共频段的问题,即使高架站的公共频段受到同频干扰,列车运行控制业务与集群调度业务也能承载在专用的 5 MHz 频段内。

为此,可以预先对高架区域进行扫频,了解高架区间其他 LTE 系统的覆盖情况、使用频率及覆盖功率。应根据扫频结果,与相关先建 LTE 系统的使用单位进行沟通,协调各自公共频段的频点使用情况。协调后如仍无法避免使用公共频点,则可以适当缩小小区半径、提升小区边缘信号的接收功率,

以避免相互干扰;也可以针对先建 LTE 系统天线布点的具体情况,选择适当的覆盖方式及漏缆辐射角度,以对抗干扰。

## 2 上海城市轨道交通现有 LTE-M 系统存在的问题

上海轨道交通 14 号线、15 号线、18 号线无线通信系统的综合承载基于规范要求进行建设。这 3 条线路采用了 LTE-M 技术的无线综合承载,该技术在城市轨道交通业内已得到了成功的应用。但在实际的建设与使用中,LTE-M 系统还存在一些问题,主要体现为以下几个方面。

### 2.1 存在接入隐患

上海城市轨道交通管辖的线路多,单条线路建设的时间跨度大,今后的新线建设与老线改造时间跨度也较大,完成新老所有线路 LTE-M 系统的建设和改造可能需要 20 年以上的时间,而 LTE-M 系统设备寿命周期一般为 10~15 年。

现有的集群 EPC(核心网)需要接入全线网的集群业务,以及除 CBTC 以外的其他数据业务中。随着时间的推移,可能会出现因产品迭代导致今后的接入网设备无法接入现有集群 EPC 的情况。为了兼容新的接入网设备,集群 EPC 被迫换代,进而增加了建设费用。

目前,数据 EPC 设备采用各线路均独立组网的方式,但由于城市轨道交通建设的特殊性,线路的延伸线一般会比正线晚几年开通,届时也将可能产生因产品迭代而导致的接入网设备无法接入数据 EPC 的问题。

### 2.2 部分设备受供应商管控

由于全线网共用一个主备冗余的集群 EPC,这使得今后所有线路的 A、B 网接入层设备均需与此集群 EPC 对接。集群 EPC 与接入网设备如果不是同一供应商,不同供应商设备间的匹配性可能比较差,虽然可以完成互联互通的基本功能,但其互联互通稳定性和可靠性存在隐患。若为避免类似隐患,又存在着接入网设备被单一供应商垄断的风险,导致造成后期续约成本偏高。

### 2.3 LTE-M 系统统一网管有待完善

现有 LTE-M 系统的网管是按照业务各自设置的。对 1 条城市轨道交通线路而言,A、B 网 CBTC 业务的 EPC 网管分别管理其接入网设备与 CBTC 业务的配置;而集群调度业务、除 CBTC 以外其他

数据业务,以及站厅层接入网设备的管理与配置由集群调度业务核心的网管管理。从系统整体管理的角度看,缺少了统一管理 LTE-M 核心及接入网设备的网管。

### 2.4 线路联络线信号覆盖不完整

联络线作为线路与线路之间的桥梁,使得列车跨线运行成为可能。随着信号与车辆系统互联互通要求的提高,今后列车的跨线运行也将可能实现。而既有的联络线区域只完成了 A 网的覆盖,虽然可以满足集群调度业务与除 CBTC 业务以外其他数据业务的正常使用,但不满足 CBTC 业务的双冗余需求,也可能会对列车跨线运行造成阻碍。

## 3 上海城市轨道交通 LTE-M 系统建设规划方案

综上所述,LTE-M 系统的建设规划不仅仅需要考虑新线的建设需要,更需要考虑老线改造的实际情况。

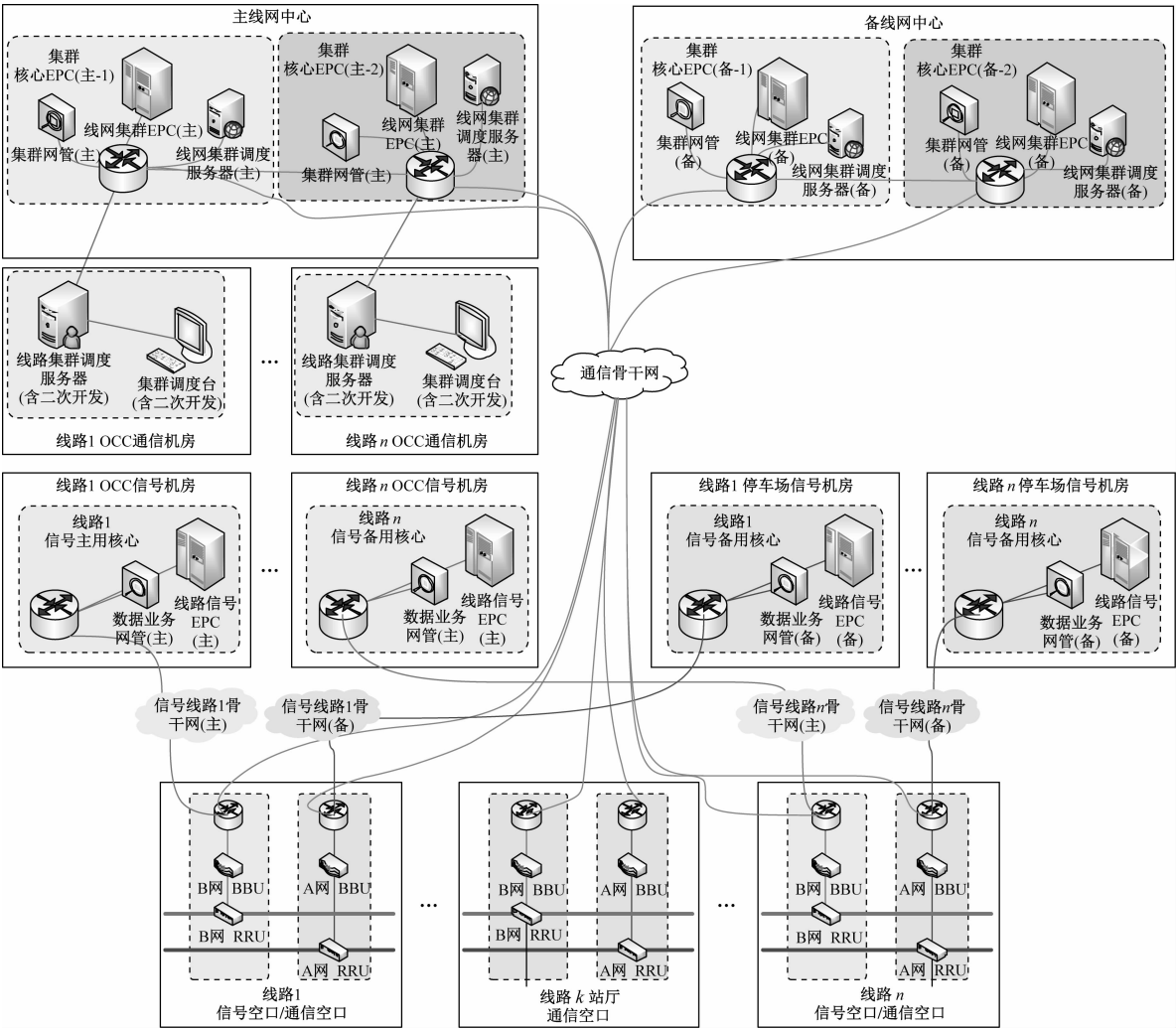
上海城市轨道交通应建设一个基于 TD-LTE 技术的城市轨道交通综合无线宽带网络,采用 LTE-M 综合承载方案,主要用以承载信号 CBTC、集群调度、车载视频重要图像(1~2 幅图像)、乘客紧急按钮视频对讲、乘客信息紧急文本通知、车辆状态信息(影响行车安全的部分信息)等业务,其拓扑结构如图 1 所示。

上海城市轨道交通 LTE-M 系统建设应从集群 EPC 和数据 EPC、接入网和天馈设备、终端设备 3 个方面,结合 CBTC、集群、车载视频等业务发展与需求,整体考虑其建设规划。

### 3.1 集群 EPC 的建设规划

为了实现上海城市轨道交通线路 LTE 宽带集群的互联互通功能,应在主、备线网中心分别设置 1 套主备冗余的集群 EPC,并且共享设置 1 套用户归属服务器,以实现对接多线 LTE 集群通信各类终端的注册,从而实现覆盖范围内的用户漫游通话、跨线通信等功能。

考虑到各线路 LTE-M 系统的建设周期长,存在着因产品迭代导致系统接入的隐患,建议在第 1 套集群 EPC(主备冗余)进入半生命周期以后,开始引入第 2 套集群 EPC(主备冗余)的建设。待第 2 套集群 EPC 建设完成后,后续开通的新线或大修改造的老线的集群调度业务均接入第 2 套集群 EPC。而当第 2 套集群 EPC 进入半生命周期后,第 1 套集



注:BBU——基带处理单元;RRU——射频拉远单元;OCC——运营控制中心。

图 1 上海城市轨道交通 LTE-M 系统建设规划拓扑结构图

Fig. 1 Diagram of Shanghai urban rail transit LET-M system construction planning topology structure

群 EPC 正好进入到大修周期,开始大修改造。

增加 1 套集群 EPC 虽然增加了建设的成本,但 2 套集群 EPC 分担了今后上海城市轨道交通线网 20 余条线路的集群调度业务,可以很好地降低出现全线网集群调度业务中断的可能性,减小了单套集群 EPC 的负担;而且 2 套集群 EPC 的运营周期正好处在设备半生命周期上,大大增加了集群 EPC 设备的可维护性,也降低了今后集群 EPC 进入大修周期后大修改造的难度。

3.2 数据 EPC 的建设规划

各城市轨道交通线路应分别设置 A、B 网 2 个数据 EPC,以分别完成 A、B 网的数据业务的承载。为了满足信号 CBTC 业务的冗余度要求,A、B 网的数据 EPC 可分别设置在每条线路的 OCC 与车辆基地。由于 A、B 网的接入网设备分别接入 2 个数据

EPC,为保证单线设备的一致性,建议单线路的数据 EPC 与其对应的接入网设备应采用相同的供应商设备。

随着技术的不断发展,信号系统今后也有互联互通需求,因此各线路的 A、B 网的数据 EPC 应预留有线链路的互联接口,今后如有必要,则可通过有线链路连接各个线路的 A 网和 B 网,最终形成 2 张线网级的 A 网、B 网。

3.3 接入网、天馈及终端设备的建设规划

接入网设备包括接入交换机设备、BBU 设备和 RRU 设备;天馈设备主要包括泄漏同轴电缆、全向/定向天线;终端设备主要包括网管、手持终端、调度台;车载设备包括 TAU(车载接入单元)、集群车载台、车载天线等。

考虑到今后信号系统的互联互通需求,应在联

络线完成 A、B 网的覆盖, 布设相应的接入网设备和天馈设备, 以保证联络线 CBTC 业务的正常使用。

### 3.3.1 接入网设备的设置规划

接入交换机应按 A、B 网分别独立设置。BBU 设备部署可参照信号系统中信号集中站的位置进行, 布置在信号集中站内, 其中: 区间行车区域覆盖 BBU 设备设置在车站的信号机房内; 车站覆盖 BBU 设备设置在车站的通信机房内。

RRU 的 A、B 网设备在区间轨旁均匀部署, 应包含联络线部分; 集群业务需要覆盖的区域, 若与信号系统列车控制业务覆盖区域重叠的, 则共享其接入网设备, 若不重叠, 则单独部署 RRU 的 A 网设备。

### 3.3.2 天馈设备设置规划

站台及正线区间的天馈设备通过泄漏同轴电缆进行覆盖, 正线上、下行线路的外侧各敷设 2 条漏泄同轴电缆, 分别馈入 A、B 网, 以完成网络覆盖。

站厅的天馈设备由全向/定向天线进行覆盖。由于站厅层无数据业务需求, 仅有集群调度业务, 因此至布设 1 套全向/定向天线, 馈入 A 网, 以完成站厅层的网络覆盖。

### 3.3.3 车载设备设置规划

TAU 由信号系统专用 TAU 设备、综合承载 TAU 设备等组成。每列车两侧车头位置应分别设置 1 套信号专用的 TAU 设备和 1 套综合承载 TAU 设备, 两侧信号/综合承载 TAU 设备应互为主备, 冗余热备配置。信号专用 TAU 设备可同时接收且只接收 A、B 网中的列车运行控制信息。综合承载 TAU 设备接收 A 网的综合承载业务。

集群车载台由车载主机、车载台控制终端组成。每列车两侧车头位置应分别设置 1 套集群车载台, 两侧设备应可同时运行但在同一时段内只有列车前进方向的一侧处于激活状态。

车载天线安装于车辆两端司机室外部, 每列车的两端司机室外部各设置 1 组 (A、B 网), 通过合路器及射频馈线与 TAU、集群车载台相连接。

### 3.3.4 网管、调度台设置规划

LTE-M 作为一个综合承载系统, 可以根据不同业务需求配置多个专项网管。

由于设计理念的差异, LTE 原装网管无法通过接口相互对接, 且 TAU 与无线车载台终端一般都采用二次开发设备, 原装网管也无法管理这些终端

设备。

在线路级 OCC 通信机房设置线路级网管终端, 分别接入集群 EPC 原装网管和集群车载台二次开发网管数据, 以管理、配置本线路集群业务。

在线路级 OCC 信号机房设置线路级网管终端, 分别接入线路数据 EPC 原装网管和 TAU 网管数据, 以管理、配置本线路数据业务。

可在线网中心设置 1 个 LTE 统一综合网管, 以获取全线网所有 EPC、RRU、BBU、TAU 及集群车载台的状态信息, 统一综合网管只监不控。此外, 还可进一步接入漏缆监测、接口监测等网管数据, 最终实现 1 个网管统一管理全线网 LTE-M 设备的目的。

各线路调度台分别设置在各自 OCC 内, 接入主线网中心集群 EPC。各线路调度台同时通过交换机和通信骨干网接入备线网中心集群 EPC。调度台设置浮动 IP (互联网协议), 保证任何单个集群 EPC 发生故障均不会影响调度台的工作。

## 4 结语

上海城市轨道交通 LTE-M 系统的建设目的是为了实现综合承载 CBTC、集群调度以及和行车密切相关的业务。LTE-M 应逐渐取代目前运行的窄带集群、Wi-Fi (无线保真) 等系统, 最终建设成 1 个统一的城市轨道交通综合无线宽带网络。

## 参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统 (LTE-M) 总体规范: T/CAMET 04005. 1—2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018: 9.  
China Association of Metros. Long Term Evolution for Metro (LTE-M)-Generic specification: T/CAMET 04005. 1—2018 [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018: 9.
- [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.  
LI Houkai. Wireless network planning scheme for TD-LTE bearing metro signal [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017 (6): 66.
- [3] 王亮, 张路昊. 利用承载 CBTC 的 LTE-M 双网提升集群业务可靠性方案 [J]. 都市快轨交通, 2020 (5): 148.  
WANG Liang, ZHANG Luhao. Improvement of trunk service reliability using LTE-M dual-net of CBTC [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020 (5): 148.

(收稿日期: 2021-04-27)