

# 轨道交通线网车载电子地图传输方案研究

赵 亮

(中国铁路设计集团有限公司, 300251, 天津//高级工程师)

**摘 要** CBTC(基于通信的列车控制)系统的 VOBC(车载控制器)通过调用预制、存储的线路数据来获取线路信息,其存储的数据称为车载电子地图。车载 ATP(列车自动防护)/ATO(列车自动运行)系统以车载电子地图为基础,结合列车自身定位系统的数据,根据移动授权实现列车的安全运行。为满足网络化运营下线路间互联互通的要求,设计了 4 个车载电子地图传输方案,分别是基于无线传输的线网电子地图方案、基于固定范围的线网电子地图方案、基于行车交路的线网电子地图方案、基于行车交路的单线电子地图方案。从车载电子地图的传输范围和运营交路角度对全线网车载电子地图进行“切片”和“订制”处理,并对 4 个方案进行了对比分析,得到结论如下:只有 1~2 条互联互通线路的线网宜选用基于无线传输的线网电子地图方案;有 3 条及以上互联互通线路的线网宜选用基于固定范围的线网电子地图方案和基于行车交路的单线电子地图方案。

**关键词** 基于通信的列车控制;互联互通;车载电子地图;传输方案

**中图分类号** U284.48

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.11.009

## Vehicle On-board Electronic Map Transmission Scheme of Rail Transit Network

ZHAO Liang

**Abstract** The VOBC (vehicle on-board computer) of CBTC (communication based train control) system obtains line information through invoking prefabricated and stored line data, i.e., the on-board electronic map. Based on which and combined with the self-positioning system data, the on-board ATP/ATO system realizes train safe operation through mobile authorization. To meet interoperation requirements between lines in the context of networking operation, 4 electronic map schemes are designed, including wireless communication network based scheme, fixed range based scheme, routing transmission based scheme and a single line electronic map scheme based on routing transmission. The on-board electronic map of the whole network is 'sliced' and 'customized' from the perspective of electronic map transmission range and operation routing, then 4 schemes are comparatively analyzed. It is con-

cluded that a network with only one to two interoperating lines should select the electronic map scheme based on wireless transmission; a network with three or more interope-rating lines should select the electronic map transmission scheme based on fixed range and the single line electronic map scheme based on routing transmission.

**Key words** CBTC; interoperation; vehicle on-board electronic map; transmission scheme

**Author's address** China Railway Design Corporation, 300251, Tianjin, China

## 1 既有列车控制系统线路信息情况

列车控制系统(以下简称“列控系统”)主要包括两种制式标准,分别为国家铁路(以下简称“国铁”)线路采用的 CTCS(中国列车运行控制系统)制式标准和城市轨道交通线路采用的 CBTC(基于通信的列车控制)制式标准。这两种制式标准在部分设计理念上有所不同。

CTCS 通过应答器和 RBC(无线承载控制器)传输列车运行前方局部线路的数据。其中:应答器存储局部(一般链接列车运行前方的 2 组应答器)的线路数据;RBC 通过无线网络传输列车运行前方 2 个车站范围内的线路数据。每列车对线路数据即用即删,不存储固定线路数据。CTCS 获取线路数据的方式提高了列车网络化运行的灵活性和可用性,减轻了 VOBC(车载控制器)的存储压力,提高了 VOBC 的运算速度。

中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系列团体规范》规定,采用 CBTC 制式的城市轨道交通线路,其线路信息以车载电子地图(以下简称“电子地图”)方式被拷贝或无线传输至 VOBC,并通过与地面应答器或 DSU(数据存储单元)校核电子地图的版本号,保证 CBTC 系统内各子系统共用相同的电子地图。CBTC 的电子地图有全局观念,即线

网内列车的 VOBC 和每个 DSU 均掌握以轨道区段为单位的所有线路信息。对于封闭和稳定的线路/线网而言, CBTC 系统设计方案的线路数据传输压力较小, 即完成一次性传输后, 若线路不发生变化则不需实时更新。但是, 线路的局部变动会影响整个电子地图的修改, 此时需要更新所有列车和 DSU 的电子地图版本。

采用 CBTC 的城市轨道交通线路, 其电子地图的传输数据量约为 1~2 Mbit, 数据主要包括 4 个方面: ①线路数据; ②轨道区段数据; ③轨旁设备数据, 包括应答器、信号机、车档、ZC (区域控制器)、ATS (列车自动监控)、CI (计算机联锁)、DSU、MSS (维护支持系统) 等; ④安全通信协议数据。基于欧洲标准设计的应答器报文的传输数据量共计 830 bit, 其数据量主要包括帧标志位 (约 50 bit)、用户信息包 (约 772 bit) 和结束信息 (约 8 bit)。通过对比可知, 传输数据量的差别决定了 CBTC 系统电子地图的数据传输很难与应答器的数据传输相匹配。

## 2 电子地图传输方案研究

为实现城市轨道交通的网络化运营, 使得各线间能互联互通, 本文设计了 4 个电子地图传输方案, 从电子地图传输的范围和运营交路的角度, 对全线网的电子地图进行“切片”和“订制”处理, 并对各方案进行分析、对比。

### 2.1 基于无线传输的线网电子地图方案

在基于无线传输的线网电子地图方案 (方案一) 中, VOBC 储存最新的完整版线网电子地图, 并通过无线网络及时予以更新。方案一的架构如图 1 所示, 需设置线网的 COCC (网络运营协调中心), 在 COCC 配置专用的电子地图服务器 (即线网级的 DSU), 用以存储全线网各线的电子地图信息, 并汇总、编制全线网的电子地图。此外, 在各城市轨道交通线路的 OCC (运营控制中心) 内分别设置服务于本线的电子地图服务器 (即线路级的 DSU)。线网中的线路或设备若发生变化, 均会导致电子地图中轨道区段数据和轨旁设备数据产生变化, 此时需更新 COCC 电子地图服务器的版本, 并通过线网电子地图服务器将电子地图信息下发至各线的电子地图服务器。在运营结束后, 各线的电子地图服务器还需向该线所有列车广播发送新版的电子地图信息。

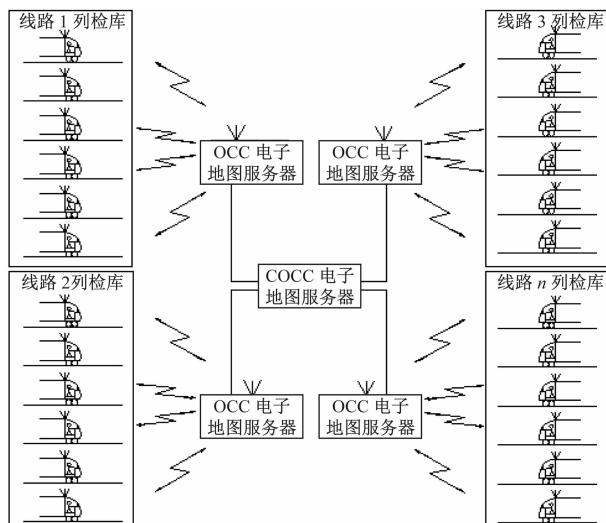
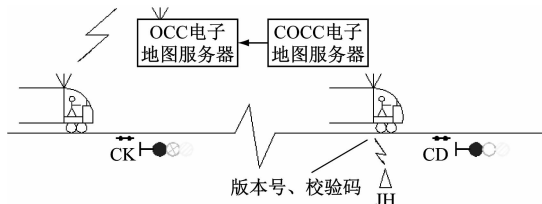


图 1 基于无线传输的线网电子地图方案架构示意图

Fig. 1 Diagram of network electronic map scheme based on wireless transmission

为防止 OCC 更新的电子地图与现场的电子地图不一致, 在出段信号机处设有用于电子地图版本校核的 JH (无源应答器)。JH 用以存储最新的电子地图版本和 CRC (循环冗余校验) 码, 并在每次电子地图版本升级时采用人工方式进行应答器的数据更新。当车载设备读取到 JH 后, VOBC 将比对应答器的版本号和 CRC 码。线网电子地图版本校核机制如图 2 所示, 当比对结果不一致时, 列车将紧急制动, 将报警信息发送至所属线路 OCC 甚至 COCC。列车在完整、准确接收电子地图前无法出段, 以避免对运营造成影响。



注: CK——出库信号机; CD——出段信号机。

图 2 线网电子地图的版本校核机制

Fig. 2 Verification mechanism of network electronic map version

### 2.2 基于固定范围的线网电子地图传输方案

上述方案一可实现全线网的电子地图统一更新和提供下载服务, 并采取校核机制来确保版本的一致性。COCC 电子地图服务器对全线网车载设备的列车网络地址进行统一规划, 并预留了未来可能增加的列车网络地址, 以达到线网列车数增加后尽

量减少全线网电子地图修改次数和修改量的目的。但由于城市轨道交通网络很大,线网中任何一处线路发生局部变化,都会导致整个线网电子地图的更新。而且,由于 VOBC 内存有多条线路的电子地图,占用了较多的计算和存储资源,势必导致 VOBC 的运算速度减慢。

为此,对方案一进行完善后,得到基于固定范围的线网电子地图传输方案(方案二)。方案二以车站/区间数量或线路区间长度(如 10 个车站/区间范围或 10 km 范围)作为“切片”单位,对电子地图进行分割处理。每列车在运行前,其 VOBC 会提前更新下载运行线路前方“切片”范围内的电子地图。方案二下,VOBC 可合理利用存储空间,减轻了 VOBC 的计算压力。该方案适用于较大规模的城市轨道交通线网。

### 2.3 基于行车交路的线网电子地图传输方案

基于行车交路的线网电子地图传输方案(方案三)由 COCC 配置列车行车交路范围内的电子地图,通过无线网络传输至 VOBC。VOBC 根据配置的行车交路范围内的电子地图执行列车控制任务。该方案以单个车站及其对应的区间为最小单位,将最小单位信息汇总至 COCC 电子地图服务器后,

COCC 电子地图服务器对线网电子地图进行配置,各线同步更新从 COCC 下载的线网电子地图数据。ZC 或 DSU 根据当前列车位置,以目的地站为目标计算该列车本次行程的进路范围,并下载本次运行进路范围内的电子地图。VOBC 通过无线网络,从始发站所在线路的 ZC 或 DSU 下载本次行车任务范围内的电子地图。在正常工况下,VOBC 按目的地码结合电子地图控制列车运行。若出现超出电子地图范围的特殊情况,VOBC 将命令列车紧急制动,司机按调度命令以 RM(限制人工模式)将列车驶入最近的折返线内。此时,需在 VOBC 接收到新的电子地图和目的地码,并通过距离列车最近的 2 个应答器获得新的列车定位及运行方向后,将列车运行模式升级至 AM(自动驾驶模式)、CM(自动防护模式),列车方可重新投入正线运营。

图 3 为基于行车交路的线网电子地图方案示例。VOBC 在获得目的地码和 1G、1DG、2G、3G、 $\cdots$ 、 $nG$ 、 $(n+1)G$  等各轨道区段的电子地图后,列车按照既定的行车交路,从 1 号线 1<sup>#</sup> 站出发,运行通过 1 号线相关车站后,到达目的地站(2 号线 2<sup>#</sup> 站)。随后,列车将再次申请新的列车识别码、目的地码和下一个运行交路范围内的电子地图。

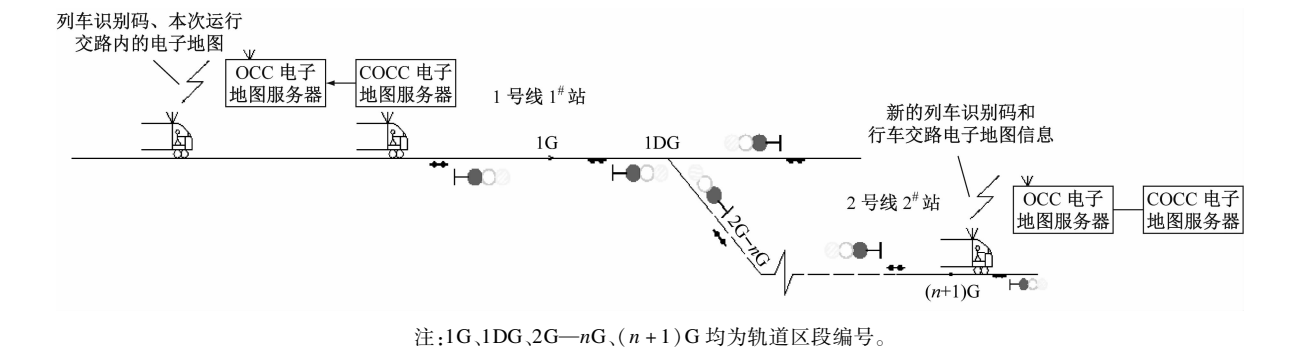


图 3 基于行车交路的线网电子地图传输方案示例

Fig. 3 Example of network electronic map transmission scheme based on traffic routing

方案三采用了“订制”电子地图的设计理念,仅为列车 VOBC 传输本次运行交路范围内的电子地图。对于平均站间距不大于 1.5 km、存车折返线间距不大于 15 km 的普通地铁线路,电子地图种类可以固化(如将运行交路固化为第一个具有存车折返线的车站至第二个具有存车折返线的车站的线间区段),进而降低电子地图的复杂程度。

### 2.4 基于行车交路的单线电子地图传输方案

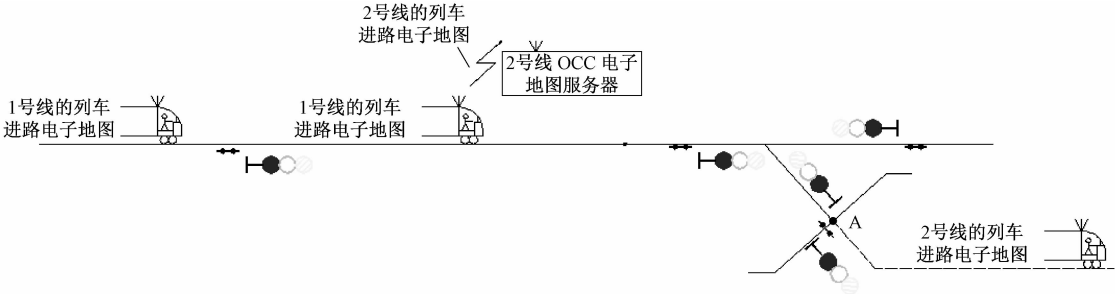
基于行车交路的单线电子地图传输方案(方案四)可按 1 条线路内列车运行进路进一步分割传输

电子地图。与方案三相比,方案四不需要设置 COCC 电子地图服务器,只需设置各线 OCC 电子地图服务器。线路 OCC 电子地图服务器负责根据列车运行图/时刻表编制列车在本线运行进路范围内的电子地图。VOBC 存储所在线路列车进路范围内的电子地图,在跨线交接区段从跨线后所在线路的电子地图服务器中下载运行前方线路列车进路的电子地图。列车成功跨线运行后,列车可以 AM、CM 等正常驾驶模式行车,此时 VOBC 将删除跨线前的电子地图,仅保存当前所在线路的电子地图。

若 VOBC 在跨线交接区段未能成功下载电子地图,则列车只能以 RM、EUM(非限制人工驾驶模式)运行,此时司机应与调度配合,驾驶列车至最近的车站实施清客,再驾驶列车驶入最近的存车线退出运营。

图 4 为基于行车交路的单线电子地图传输方案

示例。列车在 1 号线运行时,VOBC 存储了 1 号线列车进路范围内的电子地图;列车运行至 1 号线与 2 号线的交接区段时,VOBC 将从 2 号线 OCC 电子地图服务器下载 2 号线列车进路范围内的电子地图;列车进入 2 号线后,VOBC 将删除 1 号线的电子地图,仅保留 2 号线的电子地图。



注:A 为 1 号线、2 号线的分界点。

图 4 基于行车交路的单线电子地图传输方案示例

Fig.4 Example of single line electronic map transmission scheme based on traffic touting

3 电子地图传输方案比选

上述 4 个电子地图传输方案均需对原 CBTC 系统的传输数据流和硬件配置进行修改,但其在电子地图传输频次、传输数据量、VOBC 存储要求、适用线网规模、系统复杂度和系统可靠性等方面有所区别,具体的方案对比如表 1 所示。

表 1 4 种电子地图传输方案在系统性能上的对比

Tab.1 System performance comparison of 4 electronic map transmission schemes

方案	电子地图 传输频次	传输 数据量	VOBC 存储要求	适用线网 规模	系统 复杂度	系统 可靠性
方案一	低	大	高	小	小	高
方案二	高	小	低	大	中	中
方案三	低	中	中	中	中	中
方案四	中	小	低	大	中	中

通过以上对比可知,应基于无线传输技术的发展程度、城市轨道交通的线网规模和系统可靠性等选择电子地图传输方案:

1) 若线网内互联互通线路数量较少(仅有 1~2 条线路),且 VOBC 存储的电子地图不影响系统响应速度时,方案一具有明显优势。虽然方案一需要传输整个线网内各线完整结构的电子地图,但此工作可在运营结束后再进行下载和更新,对线路/线网的正常运营影响不大。

2) 方案二可支持互联互通线路数量较多(3 条及以上线路)的城市轨道交通线网。与普通地铁线路的电子地图数据量相比,方案二在电子地图传输数据量上有所减少。对于采用 CBTC 信号制式的城际铁路和市域(郊)铁路,因线路的站间距较大,方案二按照线路长度来划分电子地图,其传输方式更为灵活。

3) 方案三可以降低传输频次,降低无线网络压力,避免出现因无线网络问题导致列车在区间或在无停车折返线车站降级运行等问题,提高信号系统的整体可用性。方案三适用于平均站间距不大于 1.5 km 且设置的两个相邻存车折返线间距不大于 15 km 的普通地铁线网。

4) 方案四可支持互联互通线路数量较多(3 条及以上线路)的城市轨道交通线网。因交路折返站一般设置不少于 2 条折返线,故在电子地图传输失败时,方案四下故障列车可采用人工驾驶方式运行至折返线,对正常运营的影响较小。此外,方案四只传输本线范围内固定的几条列车运行交路或转线作业进路的完整电子地图,其传输数据量小于 1 条完整线路电子地图的传输数据量。

4 结语

综上分析,本文得到结论如下:对于有 1~2 条互联互通线路的线网,方案一更具优势;对于有 3 条

(下转第 47 页)