

广州地铁7号线改造升级为全自动运行 线路的信号系统关键技术

邓 俊

(广州地铁集团有限公司, 510375, 广州//工程师)

摘 要 全自动运行系统代表着城市轨道交通未来的发展趋势,针对广州地铁7号线西延段和二期工程全自动运行建设需求,结合7号线现有技术和装备水平,通过探索既有信号系统关键设备升级改造和加装、信号车载设备与车辆接口等方案,设计了全自动运行系统整体技术方案。构建了最小化的全自动运行系统,为实现高级别的全自动运行功能,并验证了全自动运行系统各项关键技术能满足全自动运行要求。

关键词 城市轨道交通;信号系统;升级改造;全自动运行;关键技术

中图分类号 U231⁺.7; U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.020

Research on Key Reconstruction and Upgrading Technologies of Guangzhou Metro Line 7 to Fully Automatic Operation Signaling System

DENG Jun

Abstract The FAO (fully automatic operation) system represents the future development trend of urban rail transit. According to the FAO construction requirements of Guangzhou Metro Line 7 west extension and phase II engineering, combined with the existing technology and equipment level of Line 7, by exploring schemes such as the upgrading and installation of key equipment of existing signaling system, the interface between on-board signal equipment and vehicle, the overall technical scheme of the FAO system is designed. A minimized FAO system is constructed, and high-level FAO function is realized. All key technologies of the FAO system are verified to meet the FAO requirements.

Key words urban rail transit; signaling system; upgrading and reconstruction; FAO (fully automatic operation); key technologies

Author's address Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510375, Guangzhou, China

全自动运行(Fully Automatic Operation, FAO)系统是基于现代计算机、通信、控制和系统集成等技术实现列车运行全过程自动化的新一代城市轨道交通列车控制系统,已逐渐在各地城市轨道交通新线中普及应用。广州地铁7号线(以下简称“7号线”)一期(广州南站站—大学城南站)采用的是国内完全自主化的信号系统,其自动控制等级属于GoA2(半自动化列车运行),为向全自动运行系统过渡提供了良好的升级基础和先决条件。为了满足未来新线对GoA3(有人值守下列车自动运行)或GoA4(无人值守下列车自动运行)的功能要求及探索研究既有线改造升级为全自动运行系统的方案,本文结合7号线一期工程从关键技术研究、改造方案设计、系统功能变更、验证测试结果等方面进行论述,为后续类似项目的设计及工程实施提供借鉴。

1 改造升级为全自动运行线路的信号系统关键技术方案

根据7号线全线(包括一期、二期及西延段)建设规划,部分新建车辆段及停车场将到达GoA4全自动运行功能,正线区域需实现增强型GoA3全自动运行功能。

1.1 关键技术方案

1.1.1 既有线路升级实现增强型GoA3技术方案

以7号线现有的MTC-I型CBTC(基于通信的列车控制)系统为基础,对关键设备进行升级改造或加装,使其具备正线的全自动运行能力。具体改动如下:①选取一列列车作为测试验证列车,对其信号系统与车辆接口进行改造,增加跳跃、前进、退行、司机室门监测、按钮电气接口接入等GoA3必须具备的功能;②在广州南站站加装缝隙探测、列车精确定位等装置,并升级轨旁信号设备软件,使其

具备列车全自动运行的车站功能。

1.1.2 GoA4 全自动运行关键技术与试验

在 7 号线大洲车辆段部署必要的临时性测试设备,对 GoA4 全自动运行关键技术进行必要的测试。其包括:

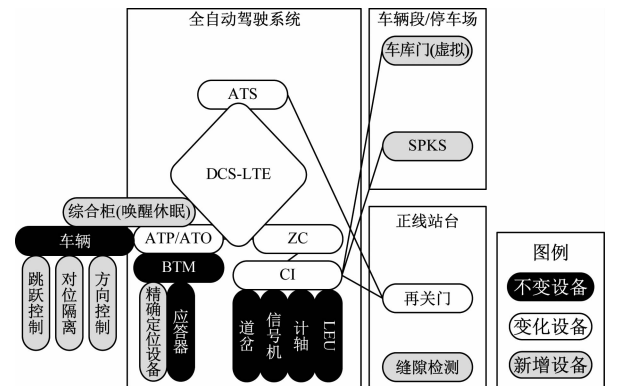
1) 验证多网融合的车地无线通信技术:验证 CBTC 主用通信网(LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)和 WLAN(无线局域网))+备用通信网(TETRA(数字集群通信系统))的多网融合方案,主用 LTE-M 或 WLAN 网络实现车地无线通信,在主用网络故障情况下使用备用通信通道进行车地无线通信,以保证列车运行的基本功能。

2) 验证车载 ATC(列车自动控制)设备自动休眠唤醒技术:在测试股道设置唤醒单元,配合列车上新增的唤醒设备,实现列车的唤醒以及唤醒后的位置校验等功能。

3) 列车高精度双向定位技术:使用环线定位技术,利用其双向可变通信的属性,实现地面 ATP(列车自动防护)设备到车载设备闭环位置检查通道。

1.2 改造方案设计

基于 7 号线 MTC-I 型 CBTC 系统的框架,在改造的列车、车站及线路上增加实现全自动运行系统功能的设备。具体的系统设备变更如图 1 所示。



注:CI——计算机联锁;ZC——区域控制器;ATS——列车自动监控;ATO——列车自动运行;BTM——车载应答器天线;SPKS——人员防护开关;DCS-LTE——车地通信设备;LEU——轨旁电子单元。

图 1 为实现全自动运行的系统设备变更图
Fig. 1 Equipment change diagram of fully automatic operation system

1.2.1 新增设备

全自动运行系统相对于 GoA2 的 CBTC 系统增加了如下设备:

1) 车辆段实现连续式通信等级控制相关设备:将车辆段划分全自动区域/非全自动区域;设置 LTE 无线通信设备实现全自动区域无线覆盖;布置应答器设备实现车载 ATP 的定位及位置修正;设置轨旁 ATP 系统实现车辆段移动授权发送;布置 SPKS 设备用于自动化区域内工作人员的防护。

2) 车载的唤醒休眠单元(WIU):用于与车辆、ATO 子系统、车载 ATP 子系统、ATS 子系统配合实现车辆段库线的唤醒、休眠等;WIU 设备双端布置,在车辆休眠后保持带电并与 ATS 保持通信。

3) 列检库内、存车线布置精确定位单元:用于车载 ATP 子系统唤醒上电后实现列车静态定位;用于车载 ATP 子系统休眠前的位置确认。

4) 站台布置精确定位单元:以实现停站过程中列车停车位置的精确检查及列车静态定位和车载 ATP 子系统休眠前位置的确认。

5) 站台布置再关门按钮:用于实现站台关门及折返站清客确认。

6) 站台布置缝隙探测设备:用于站台门缝隙探测功能的验证。

7) 站台联锁设备:增加再关门按钮的采集。

1.2.2 新增车辆接口

要实现列车全自动运行,信号系统除需要包含全自动运行相关设备外,还需与车辆接口协同实现全自动运行功能。信号与车辆继电器接口的新增互传信息主要包括:运行方向(ATO 前向、ATO 后向)、驾驶模式(FAM(全自动驾驶模式)、CAM(蠕动驾驶模式))、跳跃指令等。信号对车辆的配置要求具备司机室车门的安全防护,如司机室门状态串入全部车门关闭且锁紧信号中。

2 子系统功能变更及增加

相对于 GoA2 的 CBTC 系统,对以下子系统进行功能变更,增加相应功能,并进行现场验证。

2.1 ATS 系统功能变更

全自动驾驶模式下,在既有 ATS 基本功能的基础上,主要增加了对车辆相关的状态监视与控制,以及对相关应急状态的监视告警及处置功能。

1) 休眠:ATS 根据计划自动或人工向休眠区的列车车载设备下发休眠控制命令,并监测休眠状态的功能。列车具备休眠条件后,自动或提示人工向列车发送休眠命令,并对列车的休眠状态进行管理,休眠不成功时报警提示。

2) 唤醒:根据计划自动或人工向休眠区的列车车载设备下发唤醒控制命令,并监测唤醒状态的功能。ATS需较发车计划时间提前一定时间下发唤醒指令,并对列车的唤醒状态进行管理,唤醒状态信息在中心工作站上显示。

3) 其他命令:ATS根据时刻表自动向列车下发换端指令,并提供调度员人工下发换端指令的功能。ATS具备远程发送开关门指令的功能,进行远程开关门作业。ATS能够对车载信号设备发送的CAM请求进行确认。ATS具备对指定线路区域和指定列车允许FAM运行授权的功能。

2.2 ATP系统功能变更

全自动驾驶模式下,在既有ATP基本功能的基础上,主要增加了对车辆段内自动化区域的防护,以及全自动折返、全自动模式的转换等。

1) 休眠:车载ATP判断是否在允许休眠区域内。

2) 唤醒:唤醒后车载ATP可以通过读取精确定位单元实现动车定位。ZC与车载ATP共同实现唤醒后动态测试的安全防护。

3) 车辆段人员防护:在车辆段及正线的全自动控制区域的各防护分区入口都设置有人员防护开关。当人员防护开关激活后,车载ATP与ZC共同实现对人员防护开关所属区域的防护。

4) 模式转换:车载ATP实现全自动驾驶要求的FAM模式。

5) 站台自动启动:车载ATP实现站台停车后自动启动的安全判断。

6) 自动折返:车载ATP实现全自动驾驶要求的全自动站前折返与全自动站后折返。

2.3 ATO系统功能变更

全自动驾驶模式下,在既有ATO基本功能的基础上,主要增加了对位调整、唤醒、休眠等功能。

1) 自动调整:列车以FAM或CAM进站停车,如自动停在停车窗内,则ATO向ATS报告停稳、停准信息。当列车以FAM或CAM进站欠标或过标未超过5m时,ATO向ATS报告未停准信息,向控制中心ATS报警,并在FAM下以向前或向后跳跃方式自动调整对标。当列车以FAM或CAM进站欠标超过5m时,ATO向ATS报警,FAM下ATO继续运行对位停车。当列车以FAM或CAM进站停车过标超过5m时,列车向控制中心ATS行车调度台汇报过标超过5m报警。当列车以FAM或

CAM执行跳跃对标时,可以向前或向后跳跃调整,跳跃方向仅可以变换一次。为了防止多次跳跃仍然无法跳跃成功,ATO对跳跃次数进行限制——当同一方向的跳跃次数超过3次仍然未能跳跃成功,ATO将不再跳跃并向ATS报警,由人工上车打开钥匙退出FAM或CAM,并手动开到停车窗内。

2) 唤醒休眠:列车以FAM唤醒后进行静态测试。

3) 自动出库入库:列车以FAM根据ATP限速实现低速控车及短库线停车。

4) 站台自动启动:列车以FAM根据停车计划自动启动。

5) 站台自动开关门:列车以FAM实现自动开关门。

6) 远程关门:列车以FAM响应ATS的远程关门命令。

2.4 联锁系统功能变更

全自动驾驶模式下,在既有联锁系统基本功能的基础上,正线联锁系统主要增加了再关门采集功能,车辆段联锁系统增加了车库门防护、人员防护开关采集等功能。

2.5 DCS功能变更

DCS中车地无线网络采用基于TD-LTE(时分-长期演进)的无线通信技术方案。

LTE车地无线通信系统采用冗余设计架构,因此考虑采用A和B红蓝双网覆盖方案。LTE车地无线通信系统主要由核心网、基站和车载无线单元等组成,其中基站由BBU(基带处理单元)和RRU(射频拉远单元)组成。

2.6 TAU(列车无线接入单元)和WIU(唤醒休眠单元)系统功能

全自动驾驶模式下,新增TAU和WIU设备,主要是配合车辆、车载ATP、车载ATO实现车辆与信号设备的唤醒上电、休眠断电及唤醒休眠方式的判断。唤醒方式包括远程自动唤醒、远程人工唤醒、本地人工唤醒。休眠方式包括远程自动休眠、远程人工休眠、本地人工休眠。

2.7 站台门与车门间隙探测设备功能

通过利用传感器技术实现对车门与站台门间隙障碍物的探测,实现无人值守场景下间隙安全防护。

2.8 多网融合设备功能

多网融合车地无线通信系统采用将LTE网络

和 WLAN 作为主用, TETRA 网络作为备用的多网融合车地无线通信方式, 以最大程度地保障无线网络设备发生异常时的列车与地面列控设备之间的数据通信, 提高车地无线通信的稳定性。

车地无线通信设备接收车载信号设备发送的数据, 再根据各无线网络的通信质量选择最优的无线网络进行数据传输, 通过最稳定的无线网络完成车载信号设备与 DCS 通信接口服务器之间的数据交互。

由于 LTE 网络和 WLAN 属于宽带无线网络, 具备传输带宽高、传输速率快的特点, 适用于城市轨道交通信号系统, 因此多网融合车地无线通信设备选择 LTE 网络和 WLAN 作为主用网络, 承载正常运行情况下的车地无线通信业务。另外选择 TETRA 集群调度网络作为备用网络, 完成异常情况下列车与地面控制设备之间的短消息传输。最终通过融合使用多种无线网络的方式, 为车地列车控制设备提供稳定的数据传输通道。

3 验证测试情况

通过改造一列列车和部分轨旁设备, 在车辆段、正线对站台发车安全防护、列车接口、站台应急作业、全自动驾驶、ATC 设备自动休眠唤醒和列车高精度双向定位等关键技术进行了验证, 全自动功能测试项目均符合预期, 实现了增强型 GoA3 的全自动运行功能和 GoA4 关键技术功能。

此外, 网络融合测试结果表明, 采用每 100 ms 发送 1 个 500 字节的模拟 CBTC 业务数据包的方式, LTE 网络和 WLAN 平均丢包率小于 1%, 最大连续丢包数为 2 个, 最长通信中断时长为 500 ms, 传输时延不超过 500 ms, 可满足信号系统的需求。TETRA 网络能支持发送的数据量较小, 丢包率和传输时延均较高, 传输延迟为 1 192 ms。

缝隙探测测试采用 80 mm × 50 mm 的测试障碍物在屏蔽门门体右上角、右下角、左上角、左下角、中部分别放置进行障碍物检查, 测试通过且可用度达 99.993%。

4 结语

全自动运行系统对提高城市轨道交通运行效

率、运营组织的灵活性及可靠性、安全性、可用性、可维护性水平上的意义重大, 对提高城市轨道交通装备技术水平和运营管理水平、节能降耗、降低全生命周期成本、节省人力资源及运营费用等方面具有明显的优势。通过探索车载信号系统及与车辆接口、轨旁信号系统、中心信号系统的 GoA3、GoA4 改造方案, 并在广州地铁 7 号线大洲车辆段、正线进行实车测试, 验证了通过对 GoA2 线路车辆、车辆段、正线车站、中心的改造实现全自动运行系统 GoA3 和 GoA4 相关功能, 为 7 号线一期改造、西延段、二期的工程实施积累了管理、技术、施工等方面的经验, 为后续全自动运行系统工程建设提供了有力的技术保障和技术储备, 同时对国内已开通的 GoA2 线路的改造有一定借鉴作用。

参考文献

- [1] 张艳兵, 王道敏, 肖衍. 城市轨道交通全自动驾驶的发展与思考[J]. 铁道运输与经济, 2015(9):70.
ZHANG Yanbin, WANG Daomin, XIAO Yan. Development and thoughts on full-automatic operation of urban rail transit[J]. Railway Transport And Economy, 2015(9):70.
- [2] 闫宏伟, 燕飞. 城市轨道交通全自动运行系统及安全需求[J]. 都市快轨交通, 2017(3):50.
YAN Hongwei, YAN Fei. Fully automatic operation system and its safety requirement of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017(3):50.
- [3] 戴克平, 吉树新. TD-LTE 在城轨全自动运行系统中的应用研究[J]. 铁路技术创新, 2015(4):9.
DAI Keping, JI Shuxin. Application research of TD-LTE in urban rail automatic operation system[J]. Railway Technical Innovation, 2015(4):9.
- [4] 刘晨阳. 城市轨道交通全自动运行系统信号功能设计及实际应用[J]. 科技创新与应用. 2018(19):92.
LIU Chenyang. Signal function design and practical application of fully automatic operation system of urban rail transit[J]. Technology Innovation and Application. 2018(19):92.
- [5] 宁滨, 郇春海, 李开成, 等. 中国城市轨道交通全自动运行系统技术及应用[J]. 北京交通大学学报, 2019(1):1.
NING Bin, GAO Chunhai, LI Kaicheng, et al. Technology and application of fully automatic operation system for urban rail transit in China[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019(1):1.

(收稿日期:2022-03-15)