

上海轨道交通既有线路存车线新增列车记忆定位 功能信号系统改造方案研究

赵红斌

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海)

摘要 [目的] 上海轨道交通采用 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统的既有线,采用正线夜间存车模式时,列车次日上电启车后,司机根据轨旁信号显示以人工限制向前模式驾驶列车,在列车定位建立过程中会产生行车安全风险。为支撑上海轨道交通全网正线夜间存车模式实施推进,需对既有信号系统进行改造以使存车线具备记忆定位功能。[方法] 分析了信号系统记忆定位功能设计原理、既有信号系统设施设备现状,以及记忆定位功能设计需求;提出了对存车线轨旁定位设备和车载信标读取设备进行改造,并对相应的轨旁车载软件进行适配性升级的改造方案。[结果及结论] 该信号系统改造方案实施后,上海轨道交通 6、7、8、9、11 号线存车线具备了列车记忆定位功能。目前的正线夜间存车模式能够实现过夜列车次日启车直接获取定位,并能以信号受控模式快速投入运营。

关键词 上海轨道交通;正线夜间存车模式;信号系统;记忆定位功能

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.20241561

Signaling System Transformation Scheme for Adding Memorized Train Location Function to Stabling Track of Shanghai Rail Transit Existing Lines

ZHAO Hongbin

(Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China)

Abstract [Objective] When Shanghai Rail Transit existing lines using CBTC (communication-based train control) signaling system adopts the mainline night time storage mode, after powering up on the following day, the driver starts the train in restricted manual driving forward (RMF) mode based on wayside signal indication, and potential operational safety risks may arise during train positioning establishment process. [Method] The design principle of signaling system memorized location function, the current status of existing signaling system facilities and equipment, and design demands for memorized location function are analyzed; an improvement of stabling

track wayside positioning equipment and on-board beacon reading device is proposed, and a renovation plan of adaptability upgrade is carried out for corresponding wayside on-board software. [Result & Conclusion] After implementing the signaling system renovation plan, the stabling tracks of Shanghai Rail Transit Line 6, Line 7, Line 8, Line 9, and Line 11 are equipped with memorized train location function. Currently, the applied mainline night time storage mode can achieve positioning directly for overnight trains in the following morning after trains powering up, and can quickly start operation in signal controlled mode.

Key words Shanghai Rail Transit; mainline night time storage mode; signaling system; memorized location function

为减少运营结束后和运营开始前列车自终端站往返车辆基地的空驶里程,同时缩短列车晚收车和早发车过程的行车作业用时,将夜间宝贵的时间资源用于检修施工作业,进一步实现节能降耗、降本增效的高质量发展目标,上海轨道交通正在全网逐步推开正线夜间存车模式:列车完成每日运营任务后不再返回车辆基地,而是运行至邻近的存车线(含折返线等辅助线),以断电收车方式停放过夜;次日,根据运营计划直接投入运营。

上海轨道交通 6、7、8、9、11 号线采用的是泰雷兹 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统,均在 2010 年前开通运营。由于早期设计未考虑正线夜间存车需求,因此,次日列车重新上电启车后因 VOBC(车载控制器)被重启,会导致列车没有定位信息,列车周围将生成非通信列车包络,列车无法以 ATO(列车自动运行)/ATPM(信号防护下的人工驾驶)等受控模式投入运行;此时,司机需按轨旁信号显示以 RMF(限制人工驾驶向前)模式运行至无岔区域,当列车连续读取两个信标获得定位,并且清扫完列车前部的非通信列车包络后方可建立受控模式。由于存车线的停车点距离道岔防护信

号机和岔区距离非常近,而列车起动越过道岔防护信号机和驶入岔区时无法建立受控模式仅能以RMF模式运行,因此,在建立定位过程中存在列车冒进信号,甚至挤坏道岔等较大安全风险^[1-3]。

为实现正线夜间存放列车在次日上电启车后能以受控模式快速投入运营,需对信号系统部分硬件设备进行改造,需对软件功能进行优化,使既有线的存车线具备记忆定位功能,以扩大信号系统保护的覆盖场景,避免出现冒进、挤岔等安全风险,满足行车安全管控需求。本研究对既有线路信号系统通过局部更新改造实现提质增效有一定的参考借鉴意义。

1 记忆定位功能原理

为避免信号系统建立的列车定位与实际列车位置不一致而造成安全风险,基于故障-安全原则,当VOBC重启后,在没有特殊设计的情况下,列车重启前,原有的定位信息已被删除,列车处于失位状态。为实现VOBC重启后直接具备可靠的定位信息的目标,需对轨旁定位设备设置、TIU(信标查询处理单元)以及信号系统轨旁车载软件进行适应性设计改造,达到信号系统可以校验重启前的记忆定位信息与重启后列车实际的定位信息一致性,以确认列车重启前后列车没有发生非预期移动的条件,进而直接将记忆的定位信息作为VOBC重启后的列车初始位置,避免重启后定位丢失情况下需以RMF模式重新建立定位和清扫非通信列车包络的寻码过程^[4-5]。

泰雷兹CBTC信号系统的记忆定位功能原理:

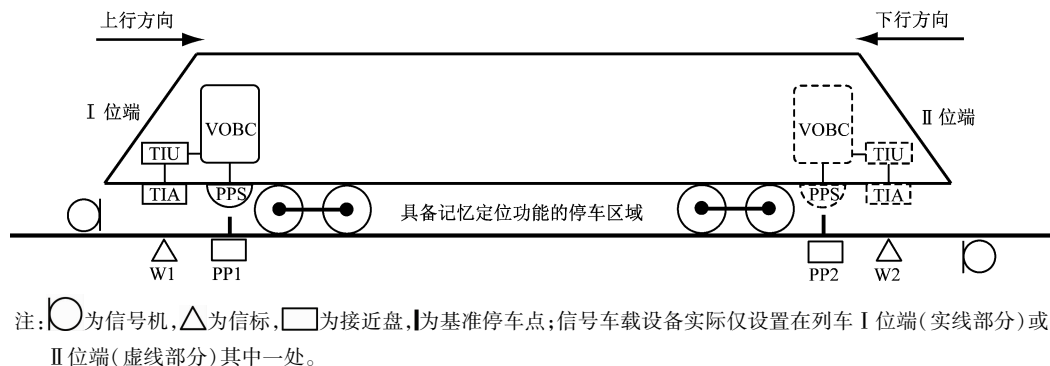


图1 车载信号设备及具有记忆定位功能的停车区域轨旁信号设备布置

Fig.1 Layout of onboard signal equipment with location memory function and trackside signal equipment with function of memorized location in parking areas

2 现状分析

以采用6A编组列车线路为例,既有存车线信

VOBC完成重启后,列车在静止状态下通过读取TIA(信标查询天线)正下方设置的记忆定位信标实现定位。车载信号设备及具有记忆定位功能的停车区域轨旁信号设备布置如图1所示。因泰雷兹CBTC信号系统的VOBC,以及TIU、TIA、PPS(接近传感器)等设备集中设置于列车一端,而不同列车设有VOBC端的朝向并不一致,所以在需具备记忆定位功能的停车区域会设置两个成对布置特殊定义的记忆定位信标(即图1中的W1和W2)。当列车进入该区域停放时,实施精确停车控制,并通过PPS接收设置在基准停车点位置的PP(接近盘,即图1中的信标PP1和PP2)信号辅助VOBC控制列车在接近停车点时停准;列车停准后,其一端的TIA会恰好位于记忆定位信标上方,与列车运行时通过检测信标进行定位的原理一致;TIU会控制TIA发射射频信号激活信标,TIA接收激活的信标有效信号后由TIU发送至VOBC,但不同的是VOBC接收到记忆定位信标的编码信息后会形成内部记忆,即使掉电或重启也不会丢失该信息。当VOBC完成重启后,与上述信标检测方式不同的是,VOBC会控制TIU通过TIA以特定时间间隔发射射频信号,并以循环3次的特殊方式读取位于其正下方记忆定位信标,以避免静止状态下误读邻线的信标信息导致错误定位。若VOBC可以循环校验的方式有效读取到经过的信标信息,且其编码信息与重启前记忆的编码信息完全一致,则说明记忆定位信息校验成功,可以将其作为列车的初始位置以恢复列车定位^[6-7]。

标轨旁信号设备布置如图2所示。由于早期未将存车线设计为具备记忆定位功能的停车区域,因此未设置位于TIA正下方的记忆定位信标,仅设置了6

个定位信标用于存车线定位停车。其中距离基准停车点最近的 4 个定位信标(即图 2 中的 A1、A2、A5 和 A6)距离停车点约为 12.5 m,稍远的 2 个定位信标(即图 2 中的 A3 和 A4)距离停车点约为 22.5 m。另外需要说明的是,目前既有线仅在站台区域均设置 PP,以满足距预先定义的停车点误差

± 0.5 m 内高精度停车需求,精确对齐站台门。但由于存车线不设置实体站台和站台门,对停车精度要求较低,因而未在存车线设置用于辅助列车停准的 PP,因此仅能依靠定位信标实现精确停车,其精度仅能达到 ± 5 m 以内^[8-9]。

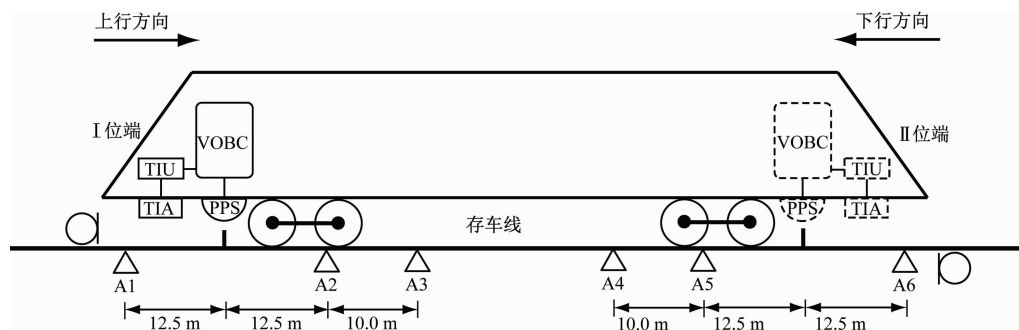


图 2 既有存车线轨旁信号设备布置

Fig. 2 Layout of trackside signal equipment for storage track

此外,既有列车安装的 TIU 子架通过持续发射射频信号方式来激活定位信标,无法由 VOBC 控制 TIU 发射射频信号的时机来实现循环校验功能,既有轨旁和车载中也未设计相应匹配记忆定位的功能模块。

此外,既有列车安装的 TIU 通过持续发射射频信号方式来激活定位信标,无法由 VOBC 控制 TIU 发射射频信号的时机来实现循环校验功能,既有轨旁和车载中也未设计相应匹配记忆定位的功能模块。

3 记忆定位功能设计需求

根据记忆定位功能设计,在拟具备记忆定位功能的停车区域,需设置一对记忆定位信标用于 VOBC 重启后定位校验。为确保列车在停放时 TIA 能位于记忆定位信标正上方,该区域的停车定位精度误差需至少达到与站台区域一致的 ± 0.5 m,为此需匹配设置相应的 PP 和定位信标。采用 6A 编组列车线路站台区域典型 PP 及信标布置如图 3 所示。在基准停车点位置设置一对 PP(即图 3 中的 PP1 和 PP2),PP1 供 VOBC 设置在 I 位端的 PPS 读取,PP2 供 VOBC 设置在 II 位端的 PPS 读取;在基准停车点两侧还需分别设置 2 个共 4 组定位信标,用于执行精确停车时校准定位误差,其中信标 1 和信标 2(即图 3 中的 T1 和 T2)用于校准上行进站方向 VOBC 设置在 I 位端的列车,信标 3 和信标 4(即

图 3 中的 T3 和 T4)用于校准下行进站方向 VOBC 设置在 I 位端的列车,信标 5 和信标 6(即图 3 中的 T5 和 T6)用于校准上行进站方向 VOBC 设置在 II 位端的列车,信标 7 和信标 8(即图 3 中的 T7 和 T8)用于校准下行进站方向 VOBC 设置在 II 位端的列车;距离基准停车点最近的 4 个定位信标 T2、T3、T6 和 T7 距离停车点约为 12.5 m,稍远的 4 个定位信标 T1、T4、T5 和 T8 距离停车点约为 22.5 m^[10-12]。

除轨旁设备外,既有部分线路列车安装的 TIU 需支持由 VOBC 控制其射频信号输出并满足循环校验功能需求,轨旁和车载软件需配置相应的记忆定位功能模块。

4 既有线改造方案

为实现既有存车线具备记忆定位功能,需结合既有信号系统现状对轨旁车载信号设备进行改造,并对软件功能进行优化,以满足记忆定位功能设计需求。车载及轨旁信号设备改造情况示意图如图 4 所示。

1) 增设记忆定位信标。既有存车线未设置记忆定位信标,因此,在列车精准停车点,在列车 TIA 的正下方需设置 1 个记忆定位信标。考虑到 VOBC 可能安装在列车两端的任一端,因此记忆定位信标需成对设置,如图 4 中 W1 和 W2 所示。

2) 增设接近盘和定位信标。由于列车在既有

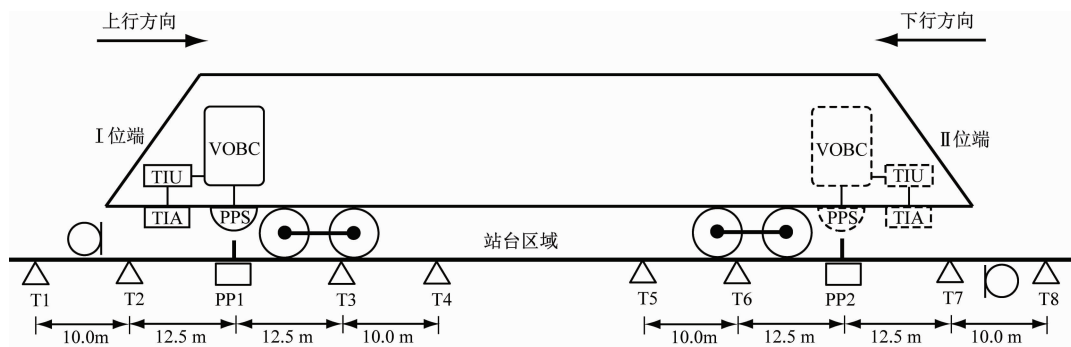
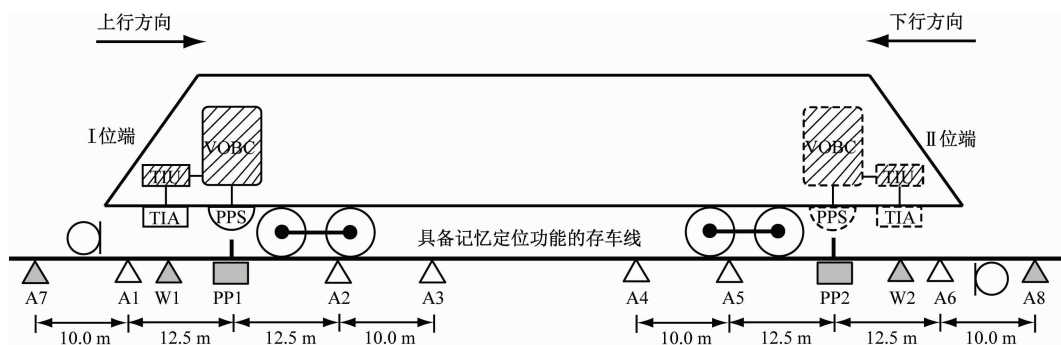


图3 站台区域轨旁信号设备布置

Fig. 3 Layout of trackside signal equipment in platform area



注:灰色底色设备为需新增信号设备;斜线底色设备为需改造或升级信号设备。

图4 存车线增加记忆定位功能的车载及轨旁信号设备改造示意图

Fig. 4 Diagram of the modification of on-board and trackside signal equipment with location memory function with memorized location function added to the storage track

存车线的停车精度仅能达到在 ± 5 m 以内,无法满足具备记忆定位功能区域停车精度需达到 ± 0.5 m 以内的要求,参照与该停车精度要求一致的站台区域布置情况并结合现状,需在存车线停车点增设一对 PP (即图 4 中 PP1 和 PP2),并配套增设用于执行精确停车时校准定位误差的定位信标。对比既有存车线和站台区域定位信标布置情况可知,两侧距离基准停车点 12.5 m 的 4 个定位信标 (即图 4 中的 A1、A2、A5 和 A6) 和内侧距基准停车点 22.5 m 的 2 个定位信标 (即图 4 中的 A3 和 A4) 现状已设置,可以继续复用,仅需增设外侧距基准停车点 22.5 m 的 2 个定位信标 (即图 4 中 A7 和 A8)。

3) 换装新型 TIU。既有部分线路列车安装的 TIU 发射射频信号的方式为持续发射,无法通过 VOBC 控制其频信号输出,故需对部分列车 TIU 进行更新,分批次换装为支持 VOBC 控制其射频信号输出的新型 TIU,满足 VOBC 重启后循环校验记忆定位信标的功能。

4) 轨旁车载软件配套升级。既有线路信号系

统轨旁车载软件功能配置中未包含记忆定位模块,数据配置也未将既有存车线定义为具备记忆定位功能的区域,故在硬件设施设备改造完成之后,需对轨旁车载软件配置进行升级,使其匹配既有存车线增设记忆定位功能投用。

5 结语

经过硬件改造和软件升级,采用 CBTC 信号系统的既有线路正线存车线具备了记忆定位功能,停放在存车线的过夜列车次日启车后能够以受控模式快速投入运营,提升了正线过夜列车次日出车过程的自动化程度,降低了潜在的行车安全风险,较好满足了特殊场景下的运营需求。

采用 CBTC 信号系统的既有线路存车线新增记忆定位功能改造主要遵循:运营需求分析、既有系统改造设计、定位信标和接近盘等轨旁安装及车载 TIU 换装改造、新增设备调试验证、记忆定位功能动车验证、信号系统正式升级记忆定位功能投用等步骤及流程。在改造过程中需要注意的是:由于

各线路车辆制式、线路状况、设备选型可能存在差异,不同位置存车线信号、供电、工务、机电等专业设备布置情况和安装条件也各不相同,在既有线改造工程实施时,需综合考虑各方面因素来确定信标、接近盘等轨旁设备数量和安装位置;当遇到设备间存在冲突或干扰等不利条件时,可在基准位置前后一定范围内对拟安装设备进行平移避让;同时评估调整后对列车定位过程的影响,必要时通过软件设计或数据配置进行弥补;现场实施时做深做细调试验证方案和新增功能投用方案,确保改造工程顺利投入运营。

参考文献

- [1] 柴娟. 基于隔日回库运营模式的城市轨道交通信号系统功能优化[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(11): 9.
CHAI Juan. Optimization of urban rail transit signaling system functions based on alternate day depot return operation mode[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(11): 9.
- [2] 张惺. 城市轨道交通信号系统大修改造工程设计重点分析[J]. 铁道通信信号, 2022, 25(11): 9.
ZHANG Xing. Key points in engineering design of overhaul or renovation project of signal system in urban rail transit [J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 25(11): 9.
- [3] 戴翌清. 城市轨道交通信号系统更新改造需求分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 16.
DAI Yiqing. Demand analysis of urban rail transit signal system renovation [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 16.
- [4] 李云, 邱鹏, 管伟军. 南京地铁宁溧线信号控制 4/6 节编组列车混合运行技术方案[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(5): 78.
LI Yun, QIU Peng, GUAN Weijun. Technical scheme of Signal control for mixed operation of 4/6-car trains in Ning Li Line of Nanjing Metro[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(5): 78.
- [5] 储海平, 刘德伟, 梁宇. 不同编组列车混跑技术方案探讨[J]. 铁道通信信号, 2022, 74(2): 9.
CHU Haiping, LIU Dewei, LIANG Yu. Research on technical solution to mix operation of trains in different formation [J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 74(2): 9.
- [6] 叶雨沁. 基于记忆定位的休眠唤醒区域列车定位建立方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(增刊 1): 120.
YE Yuqin. A scheme for establishing train positioning in sleep wake-up area based on memory positioning [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(S1): 120.
- [7] 范晓栋. 全自动驾驶系统列车正线休眠唤醒区域全覆盖的研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 167.
FAN Xiaodong. Research on train main line dormancy and a wakening area full coverage in fully automatic driving system [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 167.
- [8] 高伟民. 城市轨道交通 ATO 精确停车相关问题研究[J]. 沿海企业与科技, 2015(4): 24.
GAO Weimin. Research on related problems of ATO precise parking in urban rail transit [J]. Coastal Enterprises and Science & Technology, 2015(4): 24.
- [9] 张永会. 城市轨道交通站台区域精确停车窗设置方案研究[J]. 铁道通信信号, 2024, 60(6): 60.
ZHANG Yonghui. Research on accurate stopping window setting in platform of urban rail transit [J]. Railway Signalling & Communication, 2024, 60(6): 60.
- [10] 王练锋. 上海城市轨道交通基于出库能力提升的车场列车自动控制改造分析研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 104.
WANG Lianfeng. Analysis and research on depot ATC transformation based on improvement of outbound capacity of Shanghai urban rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 104.
- [11] 孙瑶, 李新, 沈丙耐. 苏州轨道交通 3 号线与 11 号线贯通运营信号系统改造方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(10): 324.
SUN Yao, LI Xin, SHEN Bingnai. Signalling system renovation plan for Suzhou Rail Transit Line 11 and Line 3 through train operation [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(10): 324.
- [12] 李洁, 辛鑫. 城市轨道交通信号系统分段式改造方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(10): 82.
LI Jie, XIN Xin. Phased retrofitting scheme for signaling system for urban rail transit [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 82.

· 收稿日期:2024-12-31 修回日期:2025-03-09 出版日期:2025-06-10
Received:2024-12-31 Revised:2025-03-09 Published:2025-06-10
· 通信作者:赵红斌,工程师,zpw-2000@163.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license