

CBTC 系统中全自动运行列车的双向移动授权管理方法

夏庭锴¹ 万勇兵²

(1. 卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海; 2. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 200070, 上海)

摘 要 [目的] CBTC(基于通信的列车控制)系统的全自动运行线路,在技术层面上仍然缺少统一的设计标准和运营作业规范。为在不影响运营效率的条件下,实现列车过停站台退行时对后方轨道区域的防护,需要研究 CBTC 系统中全自动运行列车双向移动授权的通用管理方法。[方法] 基于双向安全防护的典型场景,分析了列车需执行双向作业时轨旁区域控制器和联锁需要防护的关键因素和线路范围。研究了移动授权中的多方协作机制,提出了 CBTC 列车双向运行移动授权的通用管理方法。[结果及结论] 所提管理方法不改变传统 CBTC 系统的整体架构,仍以区域控制器和联锁子系统共同作为区域控制中心,通过区域控制器、联锁子系统及车载控制器的协作,实现了列车双向运行移动授权管理。

关键词 城市轨道交通; 全自动运行; 移动授权; 反向跳跃; 车库门远程关门授权

中图分类号 U284.44

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.11.018

Bidirectional Movement Authorization Management for FAO Trains in CBTC System

XIA Tingkai¹, WAN Yongbing²

(1. CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China; 2. Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China)

Abstract [Objective] FAO (fully automatic operation) lines of CBTC (communication-based train control) system still lacks unified design standards and operational protocols at the technical level. To ensure protection of the rear track area when a train reverses at a station without compromising operational efficiency, it is necessary to develop a general management method for FAO train bidirectional movement authorization in CBTC system. [Method] Based on typical scenarios requiring bidirectional safety protection, the critical factors and track areas that need trackside controller and interlocking system protection are analyzed when a train needs to perform bidirectional operations. The multi-party collaborative mechanism involved in movement authorization is investigated, and a general management method for CBTC train bidirectional move-

ment authorization is proposed. [Result & Conclusion] The proposed management method does not alter the overall architecture of the traditional CBTC system. It continues to use the trackside controller and interlocking subsystem as the regional control center. Through the collaboration of trackside controller, interlocking subsystem, and onboard controller, the method effectively enables train bidirectional movement authorization management.

Key words urban rail transit; fully automatic operation; moving authorization; reverse leaping; garage door remote closing authorization

目前,列车全自动化运行主要有两个发展方向:一是设计新的列车运行控制系统整体架构,比如基于资源细化管理与车-车通信技术的 TACS(列车自主运行系统)^[1-2];二是改进并完善 CBTC(基于通信的列车控制)系统的功能,实现列车全自动运行。由于 CBTC 系统已广泛运用,且生命周期较长,若既有线路在尚未到达生命周期末尾时一次性改造为新制式的 TACS,则耗费巨大而功能提升却有限。可见,对 CBTC 系统的全自动运行功能改进仍然具有较大的研究价值。

对于采用 CBTC 系统的全自动运行线路,在技术层面上仍然缺少统一的设计标准和运营作业规范。本文将针对 CBTC 系统中全自动运行线路需要多方向安全防护的典型场景,结合 T/CAMET 04010.1—2018《城市轨道交通 基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系统规范 第1部分:系统总体要求》,提出列车双向移动授权管理方法。

1 双向安全防护的典型场景

全自动运行列车在运营中需要进行双向安全防护的典型场景如下:

1) 全自动运行列车过停站台时的退行场景。如果列车过停距离在运营容忍范围内,列车应退行

回到正确停靠位置。全自动运行列车无司机值守,须由车载控制器控制完成退行作业。列车退行前,轨旁信号子系统须确保在列车后方特定范围内轨道区段无冲突作业,所有相关道岔均处于锁闭状态。全自动运行列车过停站台时退行场景的防护范围如图 1 所示。

2) 休眠列车唤醒后执行动态测试的场景。按照 T/CAMET 04011.2—2018《城市轨道交通 基于通信的列车互通 (CBTC) 互联互通接口规范 第 2 部分:CBTC 系统车地连续通信协议》的要求,休眠的全自动运行列车在远程唤醒后需进行静态测试和动态测试。其中动态测试需要列车缓解制动,并依

次向前、后方向施加牵引,其运动过程与列车在站台的反向跳跃类似。动态测试前,须由轨旁信号系统确认特定范围内轨道区域无冲突作业,所有相关道岔均处于确定的锁闭状态。休眠列车唤醒后动态测试场景的防护范围如图 2 所示。

3) 远程控制车库门作业场景。按照互联互通 CBTC 系统规范要求,对于远程控制车库门作业的项目,为保证操作人员发送的远程控制车库门指令被安全地执行,避免车库门与线路上的列车互相影响,轨旁信号系统须确保授权车库门执行关门指令前,车库门下方特定区域内无其他列车可能侵入。远程车库门作业场景的防护范围如图 3 所示。

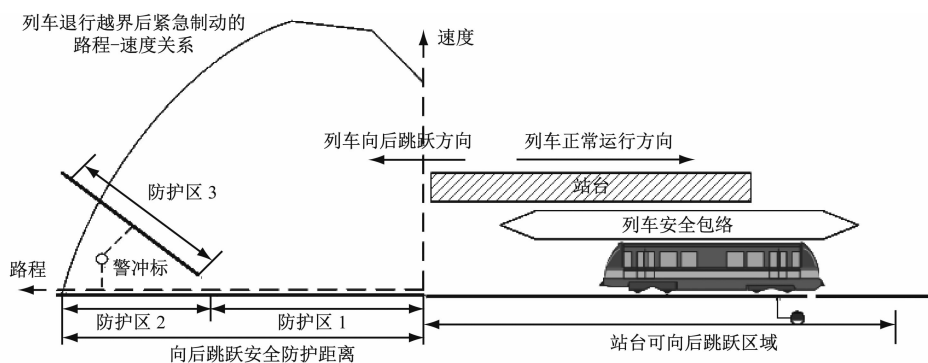


图 1 全自动运行列车过停站台时退行场景的防护范围

Fig. 1 Protection range in reverse operation scenario during FAO train passing station

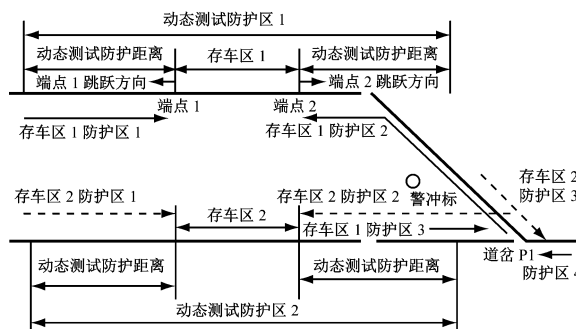
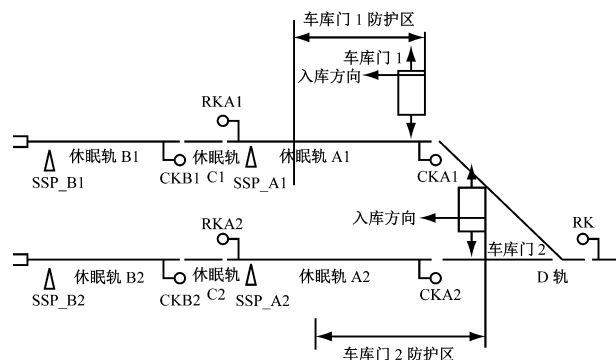


图 2 休眠列车唤醒后动态测试场景的防护范围

Fig. 2 Protection range in dynamic testing scenario after sleeping train wake-up operation

在上述场景中,轨旁信号系统预先防护的范围应不小于车载 ATO(列车自动运行)子系统失控时,列车从最大速度紧急制动直至停下时的最大距离。

在传统的 CBTC 系统中,联锁子系统不对列车后方的轨道区域进行防护。因此,当列车需要退行时,可以由司机目视检查以确保列车后方安全,也可由轨旁区域控制器计算列车安全包络时,预留固定防护距离。



注:SSP 为服务停车点;CK 为出库信号机;RK 为入库信号机。

图 3 远程控制车库门作业场景的防护范围

Fig. 3 Protection range for remote control garage door operation scenario

采用司机目视检查方法时,司机很难确认列车后数十米距离内的安全,实际操作比较困难。

由轨旁区域控制器预留固定防护距离时,轨旁区域控制器为后车计算的移动授权点采用前车安全定位包络的最小后端按固定防护距离后移来确定。此时,预留固定防护距离会降低列车的追踪间隔。而在实际作业中,列车需要反向运行或双向运

行的情形极少,降低列车的追踪间隔会降低列车运行效率。

可见,有必要研究列车双向移动授权管理方法。

2 基于多方协作的双向移动授权

在列车需要退行时,可由区域控制器或资源管理单元,向列车后方计算移动授权。TACS 的线路资源由轨旁的资源控制器统一管理^[3],较容易实现上述功能。但在传统 CBTC 系统中,联锁子系统负责管理进路对象,实际控制轨道区段的使用权。联锁子系统在进路锁闭后,将轨道区段的锁闭方向信息发送至区域控制器;区域控制器根据联锁子系统发送的进路锁闭方向为列车计算移动授权。为提高效率,列车出清进路中的区段后,相应的区段会解锁。此时,由于列车后方区段在列车离开后即解锁,故区域控制器无法沿列车运行的相反方向计算有效移动授权。可见,为实现列车双向运行授权,需要基于传统 CBTC 系统架构,探讨多个子系统及设备的协作。

2.1 多方协作机制

在传统 CBTC 系统中,区域控制器能获取列车的精确位置和列车的移动授权点(即列车被授权到达的最远点),并能通过与车载控制器的信息交互获知列车是否可在移动授权点前停车,但区域控制器没有对道岔的控制权;联锁子系统通过进路来管理道岔,却无法获知列车的精确运行信息,也无法直接为列车计算移动授权。所以,如果要实现区域控制器能主动向列车后方计算移动授权,则需要为区域控制器与联锁子系统设计一个协商机制,使联锁子系统可以根据区域控制器的请求临时锁闭指定轨道区段或道岔,区域控制器即可根据联锁子系统反馈的锁闭信息为列车计算与列车运行方向相反的移动授权。

区域控制器对车库门远程关门命令的防护措施也与列车反向移动授权计算时的防护措施类似,实质也是确认特定轨道区段(即车库门在轨道上的投影区)的锁闭状态和列车占用或移动授权侵入状态。

根据上述设计思路,为完成特定轨道区段的冲突检查和安全锁闭,设计区域控制器、车载控制器及联锁子系统的协作机制(以下简称“区域联防技术”)如下:

1) 区域控制器需根据列车性能指标确定列车

完成当前作业所需征用的轨道范围,如图 1 所示的“向后跳跃安全防护距离”内的轨道区段和道岔。该范围由车载 ATP(列车自动防护)响应时间、车辆最大牵引加速度、列车运动范围内的最大坡度、车辆制动系统响应时间、车辆保证的最不利情形下的紧急制动力和列车向后跳跃的最大授权运行速度决定。区域控制器系统设计时,该范围可离线计算并配置在区域控制器数据中。

2) 区域控制器请求锁闭的轨道区段范围内的其他列车侵入由区域控制器负责防护,与已办理进路的冲突检查由联锁子系统负责;区域控制器对当前列车后方或相邻列车的防护需考虑侧冲风险。如图 2 所示,“存车区 1 防护区 2”与“存车区 2 防护区 3”存在重叠,且防护方向相反,此时需由区域控制器确保存车区 1 和存车区 2 中的列车无法同时授权执行静态测试作业。

3) 区域控制器请求锁闭的轨道区段中存在道岔时,可通过配置数据确定期望的道岔位置,道岔位置的锁闭状态由联锁子系统负责检查,道岔不在期望位置时,联锁子系统应通知区域控制器请求的轨道区段未成功锁闭。

4) 区域控制器接收到车载控制器的跳跃请求、静态测试请求、动态测试请求或车库门关闭请求后,先预检查待锁闭区域内的列车运行信息,并将待锁闭区域调为限制状态,限制列车移动授权进入;然后,向车载控制器发送移动授权确认,并同时向联锁子系统发送轨道区段锁闭请求;在车载控制器确认列车可在待锁闭区域外侧停下,且联锁子系统确认待锁闭区域已锁闭后,区域控制器可授权列车或车库门执行相应的作业。

5) 区域控制器在发出授权命令后(授权列车反向跳跃、执行静态或动态测试、授权车库门关门),须等待远端设备完成作业。若在等待的过程中流程意外中止(比如发生区域控制器与车载或联锁子系统的通信中断、列车失位等情况),则区域控制器应先取消所有授权,同时维持待锁闭区域的限制状态足够长时间,以确认所有作业均安全停止(列车结束作业并静止且可被联锁子系统检测到,确认车库门关门授权失效并停止作业)。

2.2 双向移动授权的作业状态

区域联防技术的核心机制如图 4 所示。

可按照区域联防技术,设计区域控制器对特定区域的防护作业流程。该作业流程包含 5 个作业

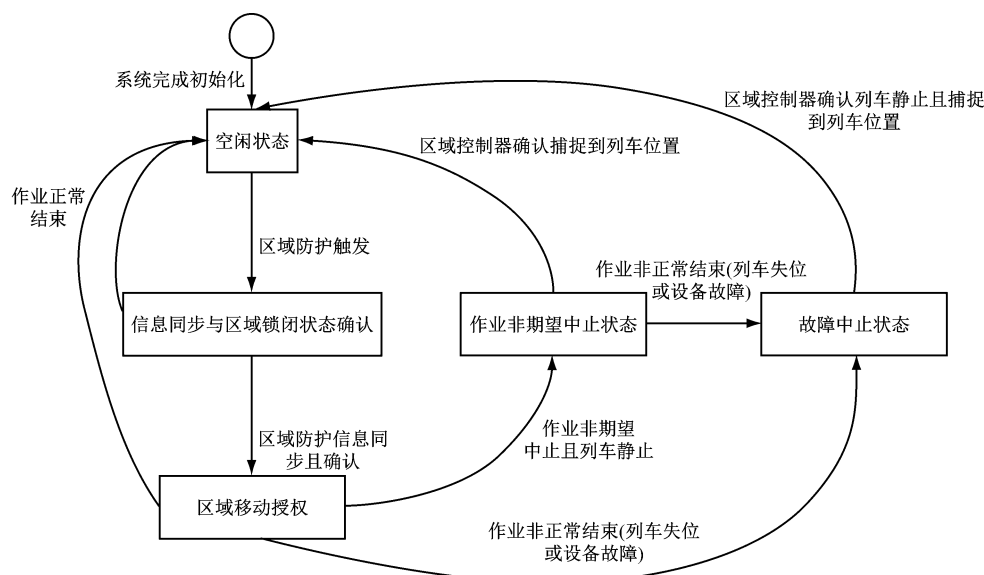


Fig. 4 Diagram of regional joint-protection technology corresponding operation procedures

状态:

1) 空闲状态:当前列车没有向后运行作业。

2) 信息同步与区域锁闭确认状态:列车向区域控制器发起了向后作业请求,区域控制器开始确认后列车是否侵入待跳跃区域,请求并等待联锁子系统锁闭待跳跃区。

3) 作业非期望终止状态:列车在反向跳跃或静态测试过程中跳出了正常作业区(如图 1 中的“站台可向后跳跃区域”和图 2 中的“存车区 1”和“存车区 2”),但车载控制器与区域控制器的通信并未中断。此时,车载控制器会立刻中止作业,区域控制器也会立刻取消对列车作业的授权。由于区域控制器仍然可以正常获取列车状态,在确认列车静止和列车实际位置后,即可中止作业流程。

4) 故障中止状态:在区域控制器与车载控制器或联锁子系统通信中断的场景下,由于区域控制器无法实时获取车载的运动状态及联锁锁闭资源的状态,区域控制器需立刻取消所有授权并维持已锁闭资源的锁闭状态。锁闭状态的维持通过定时器实现,故定时器的时长须能保证列车或车库门的作业授权失效且列车或车库门确定完成作业。

5) 区域移动授权状态:在确定列车反向运动的路径时,通常还需要综合考虑安全性和可用性。锁闭区段设计的可用性考虑如图 5 所示。在图 5 a) 的场景中,列车向后跳跃安全防护距离侵限了列车后方的道岔 1 区。在这种站场条件下,合法的列车反向跳跃路径要求道岔 1 必须在定位。如果联锁子系

统已办理了道岔 1 反位进路,则区域控制器不应授权列车执行反向跳跃。在图 5 b) 的场景中,列车向后跳跃安全防护距离未侵限列车后方的道岔 1 岔区,但覆盖了道岔 1 所在的轨道区段。此时,如果联锁子系统办理了道岔 1 的反位进路,则可同时授权列车进行反向跳跃。因为,此时即使车载自动驾驶模块失控导致列车跳出站台区域,车载 ATP 也能保证列车不会运行超出向后跳跃安全防护距离,即列车不会进入道岔 1 的警冲标内方,没有安全风险。但列车可能会占用岔区轨道区段,造成联锁子系统办理的道岔 1 反位进路的始端信号机关闭,进而导致列车紧急制动,影响可用性。因此,区域控制器在地铁中应用时可根据实际线路条件选择禁用道岔 1 反位的站台列车反向跳跃授权。

3 结语

本文通过设计区域控制器、联锁子系统和车载控制器多方协同的双向移动授权管理方法,在不改变传统 CBTC 信号系统以区域控制器和联锁子系统共同作为区域控制中心架构的前提下,解决了由于线路资源由区域控制器和联锁子系统共同管理而无法为列车计算双向移动授权的问题。该方法抽象程度较高,具有较好的通用性,可进一步推广到连挂作业区防护、列车任意地点折返、自动疏散区域防护等具体应用中,为拓展传统 CBTC 信号系统功能边界、延长其使用寿命提供了可供参考的设计框架。

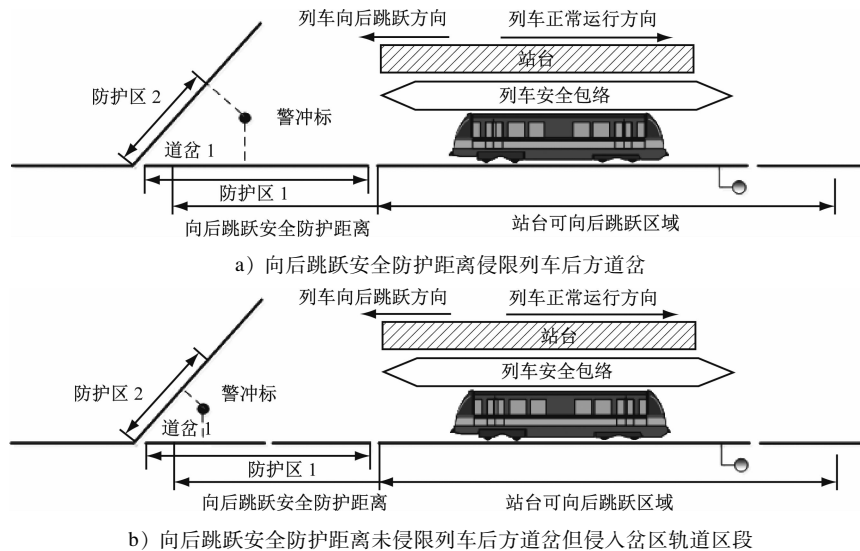


图5 锁闭区段设计的可用性考虑

Fig. 5 Availability considerations in the locked section design

本文提出的双向移动授权管理方法已成功应用于郑州市域铁路(郑州机场—许昌)、北京地铁3号线等多条具备无人驾驶功能的城市轨道交通线路CBTC信号系统中,应用效果良好,可为类似项目提供参考。

参考文献

- [1] 夏庭楷, 崔科. 城市轨道交通下一代CBTC系统发展展望[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 43.
XIA Tingkai, CUI Ke. Prospect for the development of CBTC system in the next generation[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 43.
- [2] 高翔, 刘会明. 新一代CBTC系统关键技术发展研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(7): 80.

- GAO Xiang, LIU Huiming. Research on new generation CBTC system key technology development[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(7): 80.
- [3] 汪小勇. 城市轨道交通基于车车通信的列车自主运行系统探讨[J]. 中国铁路, 2020(9): 77.
WANG Xiaoyong. Discussion on train autonomous circumambulate system based on vehicle-to-vehicle communication in urban rail transit[J]. China Railway, 2020(9): 77.

· 收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-05-20 出版日期:2024-11-10
Received:2024-04-24 Revised:2024-05-20 Published:2024-11-10
· 通信作者:夏庭楷,高级工程师,xiatingkai@casco.com.cn
· ©《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

(上接第77页)

- ZHANG Chunming. Safety management practice and countermeasures for Shanghai rail transit super-scale network operation[J]. Logistics Engineering and Management, 2023, 45(8): 162.
- [2] 张劭阳, 左怀远, 王丹. 基于互操作概念下的城市轨道交通综合监控系统与多专业系统间的联动实现[J]. 科技与创新, 2018(18): 1.
ZHANG Shaoyang, ZUO Huaiyuan, WANG Dan. Realization of linkage between integrated supervisory control system and multi-professional systems based on the concept of interoperability[J]. Science and Technology & Innovation, 2018(18): 1.
- [3] 王向阳, 朵建华, 刘懂懂, 等. 城市轨道交通多专业数字化运维体系[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(11): 212.
WANG Xiangyang, DUO Jianhua, LIU Dongdong, et al. Multi-disciplinary digital operation and maintenance system for urban rail

- transit[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(11): 212.
- [4] 郑傲醒. 城市轨道交通信号专业智能运维的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2021(15): 175.
ZHENG Jingxing. Application of intelligent operation and maintenance of urban rail transit signaling discipline[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(15): 175.
- 收稿日期:2024-03-18 修回日期:2024-04-24 出版日期:2024-11-10
Received:2024-03-18 Revised:2024-04-24 Published:2024-11-10
· 通信作者:吴敏,高级工程师,121493996@qq.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