

基于虚拟分区的城市轨道交通全自动运行控制系统动态测试安全防护方法

刘磊 胡荣华 薛强

(卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 目的:采用现有的列车动态测试方法时,双列位停车库的两个停车位中间须设置动态测试缓冲区段,费用高且占用很多资源。对此,提出基于虚拟分区的城市轨道交通全自动运行控制系统动态测试的安全防护方法。方法:在现有的安全防护流程和方法的基础上,结合限速曲线防护措施,通过虚拟分区的方式,在休眠唤醒区域划分唤醒测试防护区和动态测试管理区,进而对动态测试的授权及过程进行安全防护。从动态测试管理区之间有无交集的情况出发,着重针对动态测试管理区包含其他防护对象的特殊情况,阐述了列车动态测试授权的安全防护过程。分析了动态测试过程中的安全防护内容及过程。定义唤醒测试防护区用于防止进行动态测试的列车跳出预设的测试位置,由车载控制器控制列车不超出动态测试范围。配置动态测试管理区用于防止冲突进路和其他列车的移动授权进入测试列车的防护范围,区域控制器控制其他列车的移动授权到达动态测试管理区边界之外。结果及结论:采用虚拟分区进行安全防护的设计方法,在双列位停车库的两个停车位之间无需设置缓冲区段,可缩短测试列车与相邻区段停靠列车之间的距离,提高运营效率,同时节约了土建和信号设备成本。

关键词 城市轨道交通;全自动运行;动态测试;安全防护
中图分类号 U279.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.08.040

Safety Protection Method for Dynamic Testing of Urban Rail Transit FAO Control System Based on Virtual Partitioning

LIU Lei, HU Ronghua, XUE Qiang

Abstract Objective: When using existing train dynamic testing method, it is necessary to allocate a dynamic testing buffer zone between every two parking lots in a double-track parking garage, which incurs high costs and consumes significant resources. To address this issue, a safety protection method for dynamic testing of urban rail transit FAO (fully automatic operation) control system based on virtual partitioning is proposed. Method: Building upon existing safety protection procedures and methods, combined with speed limit curve protec-

tion measures, this method employs virtual partitioning to divide the sleep-wake area into WTP (wake-up testing protection zone) and DTM (dynamic testing management zone), thus ensuring the safety protection of dynamic testing authorization and process. Based on the scenarios of intersecting or non-intersecting DTM, special cases involving the inclusion of other protection objects in DTM are specifically addressed to explain the safety protection process for train dynamic testing authorization. The safety protection content and process during dynamic testing are analyzed. The WTP is defined to prevent the test train from deviating from the designated testing position, with the onboard controller ensuring that the train remains within the dynamic testing range. DTM is configured to prevent conflicting routes and other trains from entering the protection range of the test train, with the zone controller authorizing the movement of other trains up to DTM boundary. Result & Conclusion: The design approach using virtual partitioning for safety protection eliminates the need for a buffer zone between every two parking lots in a double-track parking garage. This shortens the distance between the test train and the adjacent section of parked trains, improving operational efficiency while saving costs associated with civil engineering and signaling equipment.

Key words urban rail transit; FAO; dynamic testing; safety protection

Author's address CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China

在我国城市轨道交通全自动运行控制系统中,动态测试功能为列车唤醒流程中的一项可配置功能,需要完备的安全防护和严格的操作限制。动态测试是在列车投入运营前、被唤醒并完成静态测试后,由信号系统控制列车向前后方向各运行一段距离,测试牵引功能和制动功能是否正常。

动态测试时,列车在停车区域内移动,其安全由区域控制器、车载控制器和联锁设备管理。在授

权列车动态测试前,对冲突条件进行检查,在没有冲突资源占用的情况下锁闭动态测试列车所需道岔;在动态测试过程中,对冲突资源的征用进行防护,并对列车的跳跃速度和距离进行控制和管理。

在目前现有的动态测试应用中,双列位停车库的两个停车位中间设置了约 20 m 长的动态测试缓冲区间,以保证动态测试列车与相邻停车位列车之间的间隔。但该设置未考虑区段占用延时,存在一定的风险。此外,增设动态测试缓冲区间还会增加土建和信号设备的资金投入,增加建设成本和维护的成本。

对此,本文提出取消动态测试缓冲区间,通过按唤醒测试防护区和动态测试管理区进行虚拟分区,进而对列车动态测试的授权和过程进行安全防护。

1 动态测试授权中的安全防护

在列车唤醒过程中,当列车某一端完成静态测试并通过后,由车载控制器向轨旁区域控制器申请动态测试。区域控制器在授权某停车位列车进行动态测试时,需检查并确认列车完全位于唤醒测试防护区内。唤醒测试防护区为列车唤醒后动态测试的移动范围,其由停车点向两侧扩展。

在动态测试过程中,一旦列车位置超出唤醒测试防护区范围,须采取紧急制动。对此,在唤醒测试防护区的基础上按紧急制动距离向两侧扩展,形成动态测试管理区。

1.1 动态测试管理区之间有无交集

同一停车库相邻停车位动态测试管理区可能存在交集。动态测试管理区无交集的双列位停车库管理区布置示意图如图 1 所示。

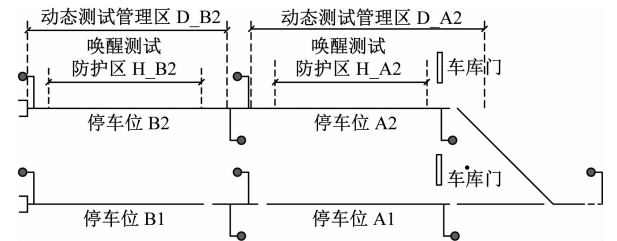


图 1 动态测试管理区无交集的双列位停车库管理区布置示意图

Fig. 1 Layout diagram of double-track parking garage management zone non-intersecting with DTM

图 1 中,相邻两个停车位之间未设置动态测试

缓冲区间,相邻两个停车位的动态测试管理区 D_A2 和 D_B2 没有交集。

在对停车位 A2 上的列车进行动态测试授权前,区域控制器须检查停车位 B2 上是否停有列车。当停车位 B2 上没有列车或有可识别列车时,允许授权停车位 A2 上的列车进行动态测试。

动态测试管理区有交集的双列位停车库管理区布置示意图如图 2 所示。图 2 中相邻两个停车位之间不设置动态测试缓冲区间,待授权列车的动态测试管理区 D_A2 与相邻停车位上的动态测试管理区 D_B2 的范围有交集时,只有停车位 B2 上的可识别列车处于停稳状态,才允许授权停车位 A2 上的列车进行动态测试,并开启安全防护模式。

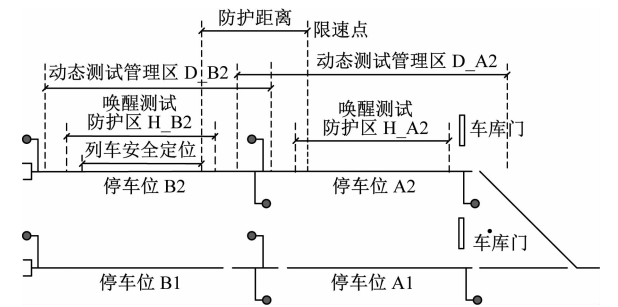


图 2 动态测试管理区有交集的双列位停车库管理区布置示意图

Fig. 2 Layout diagram of double-track parking garage management zone intersecting with DTM

图 2 中绘制了停车位 B2 上列车的安全定位,以及防护该列车的限速点和防护距离。在停车位 A2 上的列车进行动态测试时,区域控制器管理停车位 A2 上的列车不会进入停车位 B2 上列车的安全定位范围。

1.2 动态测试管理区包含其他防护对象

包含道岔警冲标时的动态测试管理区布置如图 3 所示。如果道岔后两个停车位的列车动态测试管理区 D_A2 和 D_A1 均包含警冲标,则区域控制器将不授权停车位 A1 和 A2 上的列车同时进行动态测试。区域控制器只有在接收到联锁设备对某停车位列车动态测试的授权后,方可授权该停车位上的列车进行动态测试。

存在道岔的动态测试管理区布置如图 4 所示。当动态测试管理区 D_A1 内存在道岔 P 时,联锁设备在授权停车位 A1 上的列车进行动态测试前,须锁闭相应的道岔 P。

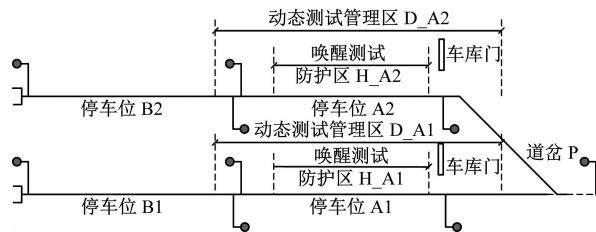


图3 包含警冲标的动态测试管理区布置示意图

Fig. 3 Layout diagram of DTM with fouling point

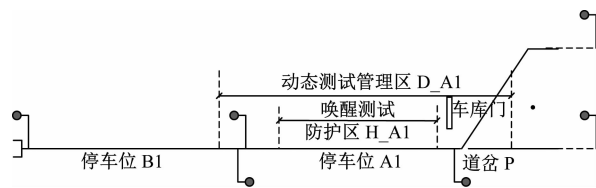


图4 存在道岔的动态测试管理区布置示意图

Fig. 4 Layout diagram of DTM with turnout

联锁设备在授权列车动态测试时,还须检查确认没有办理进入测试列车所在停车位的进路。若列车所在的停车位区段范围包含道岔的警冲标坐标,则检查没有办理通过该道岔的进路,防止动态测试过程与其他进路发生侧向冲突。区域控制器在授权某停车位列车进行动态测试时,还需确认 SPKS(人员防护开关)未被激活、车库门处于打开且锁闭状态。

2 动态测试过程中的安全防护

当列车获得区域控制器的动态测试授权后,由车载控制器发出向前跳跃和向后跳跃的指令,列车开始动态测试。

在动态测试过程中,若动态测试授权条件不再满足,则车载控制器控制列车紧急制动,并宣布动态测试失败。

在动态测试过程中,联锁设备禁止办理其他列车进入动态测试停车位进路;如果动态测试的停车位区段是道岔的侧向冲突防护区段,则禁止办理通过侧向道岔的进路。车载控制器检查到测试列车运行速度超出动态测试限速时,输出紧急制动。当进行动态测试的列车移动到防护相邻停车位列车的限速点时,车载控制器遵循防护曲线对列车运行速度进行控制。

根据防护距离和限速,车载控制器计算列车限

速防护曲线,如图5所示。图5中:动态测试管理区 D_B1 与动态测试管理区 D_A1 有交集;区域控制器在授权停车位 A1 上的列车进行动态测试后,若停车位 B1 上有可识别列车且处于停稳状态,则当停车位 A1 上列车跳跃至停车位 B1 上列车的防护曲线限速点时,车载控制器按照防护曲线限速对列车运行速度进行防护。

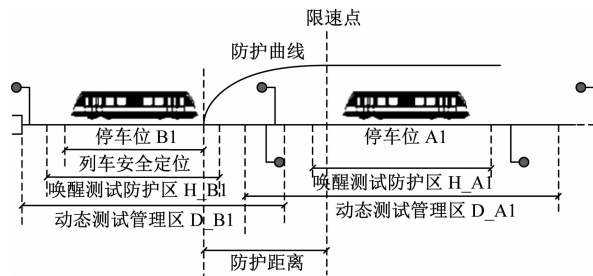


图5 列车限速防护曲线

Fig. 5 Train speed limit protection curve

动态测试过程中,区域控制器对测试列车进行防护,防止其他列车进入测试列车所在的动态测试管理区。

车辆收到车载控制器的跳跃命令后向车载控制器反馈“车辆跳跃响应”;车载控制器根据车辆跳跃响应和跳跃距离,判断跳跃是否成功。当向前跳跃和向后跳跃都成功后,车载控制器判断列车该端动态测试成功,将驾驶室激活切换至另一端,由另一端车载设备发起执行静态测试和动态测试。

动态测试过程中,区域控制器根据列车及前后列车的位置和状态、停车位的动态测试管理区的位置范围,实时判断是否授权列车进行动态测试,无需制定复杂的运营规程进行管理。

3 结语

本文提出的动态测试安全防护方法在传统的实体区段基础上,取消了动态测试缓冲区段,基于唤醒测试防护区和动态测试管理区进行虚拟分区,由区域控制器精确计算列车动态测试过程中的安全移动和防护范围,并通过分区对列车位置进行控制;配置唤醒测试防护区对动态测试过程的列车移动范围进行防护,定义动态测试管理区用以避免产生冲突进路和冲突的移动授权。

(下转第 217 页)

要包括4项应用功能:

1) 故障实时定位:基于列车运维管理数字孪生模型,可通过信号来源判断发生故障的车厢位置,并在虚拟空间进行实时展示。

2) 列车牵引能力树:通过对列车实时状态数据的再组织,以树状逻辑图的形式展示当前影响牵引能力的所有因素,通过对树状牵引能力逻辑的分类判别,帮助司机在应急处置场景下快速定位问题点。

3) 旁路提示和状态监控:旁路提示与牵引能力树形成联动,基于相关信号逻辑,在需要进行旁路操作时自动高亮显示,智能提示司机进行相关操作,并进行结果监控,对旁路开关的实时状态进行展示。

4) 应急处置建议:基于列车的实时状态、故障信号以及相关信号逻辑,自动判断出当前列车处于何种故障现象,实现智能识别故障并自动匹配推送应急处置手册。

4 结语

本文提出了一种城市轨道交通的数字孪生技术架构,探讨了该架构中数字孪生体的组成和仿真方法。该数字孪生技术体系分别在上海轨道交通车站运维管理和列车运维管理的业务场景进行了示范应用,取得了较好的应用效果,挖掘了数字孪生技术对于提升城市轨道交通智能化水平的价值,为数字孪生技术在城市轨道交通领域的落地应用提供一定参考。

参考文献

- [1] 蔡大伟,余承英. 面向新型智慧城市的智慧交通架构探讨[C]

//中国城市科学研究会数字城市专业委员会. 智慧城市与轨道交通 2022. 北京:中国城市出版社,2022:261.

CAI Dawei, YU Chengying. Exploration of smart transportation architecture for new smart city[C] //Chinese Society for Urban Studies Digital City Professional Committee. Smart City and Rail Transit 2022. Beijing: China City Press, 2022: 261.

- [2] 姚世峰,张涛,谢湘,等. 2021 年度城市轨道交通企业数字化转型发展调研报告[J]. 城市轨道交通,2022(2):12.

YAO Shifeng, ZHANG Tao, XIE Xiang, et al. Investigation report on digital transformation and development of urban rail transit enterprises in 2021[J]. China Metros, 2022(2): 12.

- [3] 陶飞,马昕,胡天亮,等. 数字孪生标准体系[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(10):2405.

TAO Fei, MA Xin, HU Tianliang, et al. Research on digital twin standard system[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(10):2405.

- [4] GEBRAEEL N, PAN J. Prognostic degradation models for computing and updating residual life distributions in a time-varying environment [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2008, 57(4): 539.

- [5] BEHZAD M, ARGHAND H A, ROHANI BASTAMI A. Remaining useful life prediction of ball-bearings based on high-frequency vibration features[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2018, 232(18): 3224.

- [6] DEUTSCH J, HE D. Using deep learning-based approach to predict remaining useful life of rotating components[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Systems, 2018, 48(1): 11.

- [7] 黄志平,黄新宇,李亮,等. 基于数据驱动的铣削刀具寿命预测研究[J]. 制造技术与机床,2020(1):153.

HUANG Zhiping, HUANG Xinyu, LI Liang, et al. Research on life prediction of milling tools based on data-driven[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2020(1): 153.

(收稿日期:2023-02-23)

(上接第212页)

采用该安全防护方法,无需设置动态测试缓冲区段,不仅能缩短动态测试列车与其他相邻列车的安全间隔,缩短停车位列车出库运行距离,进而提高运营效率,还能减少划分实体区段的信号设备,并减少停车库的占地面积,进而降低项目的土建成本和信号设备成本。

这种设计思路也可应用于其他安全防护功能的设计方案中。

参考文献

- [1] 郑清祥,汪小勇,熊金红. 无人驾驶系统中点动测试功能分析[J]. 黑龙江交通科技,2019,42(12):219.

ZHENG Qingxiang, WANG Xiaoyong, XIONG Jinhong. Function analysis of jog test in fully automatic operation control system[J]. Heilongjiang Jiaotong Keji, 2019, 42(12): 219.

(收稿日期:2021-03-10)