

城市轨道交通电客车车门与站台门联动 时序设计及调试方案

王 黎 高 鑫 赵 娜

(成都地铁运营有限公司, 610081, 成都)

摘 要 [目的]实现城市轨道交通电客车车门与站台门同步联动,可进一步提升地铁的运行效率,故有必要研究其联动时序设计及调试方案。[方法]结合行业内现状的调研结果及开关门场景下乘客的惯性行为分析,提出了电客车车门与站台门联动控制的设计思路。基于开关门指令的传输特性和系统延时的深入研究,设计了信号模式下车门与站台门的联动控制时序。[结果及结论]通过联调试验验证了车门与站台门联动时序和调试方案的可行性,实现车门与站台门宏观同步联动,并在成都地铁5条线路中得到了推广应用。

关键词 城市轨道交通;电客车;车门;站台门;联动

中图分类号 U482.1;U270.38+6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.056

Timing Design and Commissioning Scheme for Linkage between Urban Rail Transit Electric Passenger Car Doors and Platform Doors

WANG Li, GAO Xin, ZHAO Na

(Chengdu Metro Operation Co., Ltd., 610081, Chengdu, China)

Abstract [Objective] Realizing the synchronous linkage between electric passenger car doors and platform doors (hereinafter referred to as "car-platform doors") in urban rail transit can further improve the metro operation efficiency, so it is necessary to study its linkage timing design and commissioning scheme. [Method] Combined with the survey results of the current situation in the industry and the analysis of passengers inertial behavior in the door opening and closing scenarios, the design idea of car-platform doors linkage control is proposed. Based on the in-depth study of the transmission characteristics of the door opening and closing instructions and the system delay, the control timing of car-platform doors linkage in the signal mode is designed. [Result & Conclusion] The feasibility of the linkage timing and commissioning scheme for the car-platform doors linkage is verified through the joint commissioning test, so as to realize the macro-synchronous car-platform doors linkage, which has been promoted and applied in five lines of Chengdu Metro.

Key words urban rail transit; electric passenger car; car door; platform door; linkage

城市轨道交通的安全运营离不开设备的可靠运行,同时,城市轨道交通系统的复杂性决定了其相关系统接口功能的多样性。车门、信号系统、站台门作为城市轨道交通运营的重要设备设施。在城市轨道交通“大系统”框架下,车门、信号、站台门等系统的相互协同,有效配合直接决定整体运营的安全性和平稳性^[1-2]。其中车门和站台门联动控制功能直接影响旅客乘降的安全、效率及服务质量,所以,科学设计联动控制时序、有效组织调试联动功能,实现安全、高效作业具有重要作用和意义。本文设计了电客车车门和站台门联动时序和调试方案,开展了现场验证和推广应用,为后续线路车门和站台门联动功能设计和调试提供参考。

1 车门和站台门联动功能及原理

1.1 联动功能介绍

车门和站台门联动功能的控制模式分为信号模式和车辆模式两种。信号控制模式有3个场景,分别是自动开关门(以下简称“AA”)、自动开门手动关门(以下简称“AM”)、手动开门手动关门(以下简称“MM”);其中,“自动”表示信号系统判断车辆状态满足条件后主动发出车门和站台门开关门控制指令;“手动”表示信号系统接收车门开关门按钮信号并传输给车门门控器,同时联动控制站台门。车辆控制模式为车门手动模式(以下简称“DBY”),人工操纵车门和站台门控制按钮,车门开关门按钮信号通过硬线传输至车门门控器,站台门开关门按钮(位于站台端头控制盒(PSL)信号通过硬线传输至站台门门控器。

按照非全自动运行线路考虑,常见的运营场景为ATO(列车自动运行)模式运行,车门控制模式为

AM 模式。列车进站并停稳后,信号系统自动发出指令,使全列车车门和站台门同步打开^[3]。待乘客上、下车完毕后,司机操纵车门关门按钮,此时信号系统将关门信号传输至车门及站台门的门控器,联动控制两者关闭^[4]。AM 模式开关门逻辑示意图如图 1 所示。

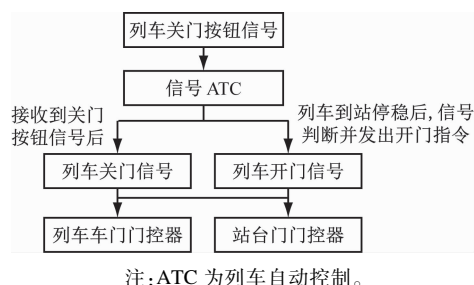


图 1 AM 模式开关门逻辑示意图

Fig. 1 Schematic diagram of AM mode switching gate logic

1.2 控制电路

1.2.1 电客车站门控制电路

为确保在信号模式(AA/AM/MM)下,电客车站门开关门操作完全受信号系统控制,车门控制电路必须配备类似“车门 DBY(车门旁路)模式”的开关或继电器触点机制。这一设置旨在确保当处于这些信号模式时,车门开关的硬线指令回路被自动断开,从而使车门门控器仅接收并响应来自信号系统发送的开关门指令信息。若不如此设计,由于硬线指令的传输速度通常快于信号系统指令,车门将优先执行硬线指令,导致信号系统的控制指令无法有效实施,进而影响列车运行的自动化与安全性^[5-6]。



图 2 车门开关门指令传输示意图

Fig. 2 Schematic diagram of train door opening and closing command transmission

1.2.2 信号-站台门接口指令传输电路

信号系统与站台门的接口电路,涉及信号系统的车载设备和地面设备,其中车载设备包括 CC(车载控制器),地面设备包括 ZC(区域控制器)和 LC(线路控制器)^[7-8]。经信号系统发出的站台门开关门指令通过 CC-ZC-LC 回路输入到站台门门控器。不同系统设备承包商,其 CC-ZC-LC 传输回路设备数量有所差异,因此指令传输耗时不同。

1.3 车门及站台门门控器工作机制

1.3.1 电客车站门控器

蜂鸣器响铃和车门动作由门控器进行控制,通过修改软件,蜂鸣器及车门动作可根据需求独立设置延时。以我国某主流品牌车门系统为例,门控器接收到开关门指令后,其延时可设置范围有:① 蜂鸣器可延时 $0 \sim \infty$ ms 响铃,响铃间隔可设置范围为 500 ms、1 000 ms、2 000 ms,开、关门可分别设置;② 车门可延时 $0 \sim \infty$ ms 开始动作;③ 响铃声音约为 90 dB,不可调整。

1.3.2 站台门门控器

站台门门控器控制站台门蜂鸣器响铃和站台门动作,蜂鸣器及站台门动作均可根据需求独立设置延时,蜂鸣器响铃间隔均可根据需求修改,响铃声音不超过 70 dB。

2 联动设计研究思路

结合前期运营经验和国内相关城市轨道交通调研情况,当前城市轨道交通中车门与站台门联动控制存在如下问题:

1) 车门和站台门蜂鸣器响铃时间不同步,导致乘客接收的听觉信息混乱,干扰乘客判断上、下车时机。

2) 车门和站台门联动控制效果较差,影响站台开、关门作业效率,同时存在夹人、夹物隐患,影响乘客上下车安全。

为解决上述问题,应充分考虑乘客的乘车体验,力求通过设计实现车门、站台门动作宏观同步,并尽可能兼顾电客车站到站后车门、站台门开关效率。故制定以下三点设计原则:

1) 开门时,车门先于站台门动作,且车门蜂鸣器先于站台门蜂鸣器响铃,以便提醒车内乘客做好下车准备,维持“先下后上”的乘降顺序,提高作业效率。

2) 关门时,站台门先于车门动作,且车门和站台门蜂鸣器同步响铃或关铃,以便提醒乘客,避免发生抢上、抢下造成的安全事故。

3) 车门与站台门联动作业中,车门和站台门蜂鸣器应确保响铃时间间隔一致,避免对乘客上、下车时机判断造成干扰。

3 联动设计方案

基于上述研究思路,对新线信号模式下的车门

和站台门开关门联动时序提出如下设计方案。

3.1 信号模式下的手动或自动开门

车门匹配站台门执行开门动作兼顾乘客先下后上的乘车原则,车门先于站台门动作,时差尽量控制在 200 ms 以内。

1) 站台门:为了不影响运营效率,收到指令后,蜂鸣器响铃与站台门动作同步,均不做延时处理。

2) 车门:收到指令后,蜂鸣器响铃且 X 时间后车门开始动作(X 的取值需根据具体客运管理和标准讨论确定)。

用 Z_1 表示信号发出指令至站台门门控制器收到指令时间差。为了不影响运营效率, X 应小于 Z_1 ,根据既有线运营经验, Z_1 的取值范围为 1 200 ~ 1 500 ms,因此建议 $X < 1\ 200$ ms。

3) 车门和站台门响铃间隔:建议 X 设置为 1 000 ms,即车门与站台门响铃时间间隔为“延时 + $X + 200$ ms”,1 000 ms 内响铃 1 次(响铃 500 ms,间隔 500 ms)。基于上述建议形成的开门时序如图 3 所示。

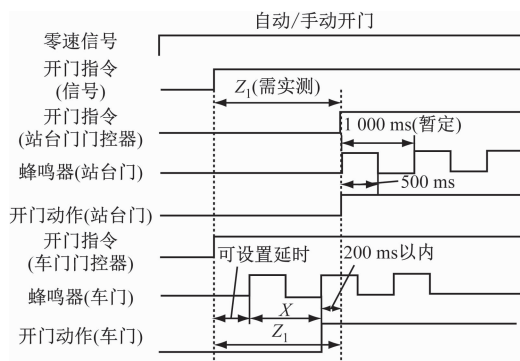


图3 开门时序图

Fig. 3 Door opening timing diagram

3.2 信号模式下的手动/自动关门

车门匹配站台门同步关到位需兼顾降低乘客抢上被夹伤的风险,站台门须先于车门动作。用 Z_1 表示信号发出指令至站台门门控制器收到指令时间差(Z_1 的取值需现场实测确定), Z_2 表示站台门动作与车门动作时间差(时差 Z_2 根据实际测量确定)。站台门动作 Z_2 后,车门开始动作;站台门门控制器收到指令后延时 Y 后站台门开始动作(Y 的取值需根据具体客运管理和标准讨论确定)。

1) 站台门:收到指令 Y 后站台门开始动作, Y 期间暂定蜂鸣器响铃 2 次。

2) 车门:收到指令后,车门蜂鸣器响铃设置延

时,确保与站台门蜂鸣器同时响铃,车门后于站台门 Z_2 动作。

为保障运营效率,自动关门模式下信号系统提前 Y 发出关门指令,手动关门模式下信号系统提示司机提前 Y 按压关门按钮。

车门/站台门联动建议方案如下:

1) Z_2 设置为 500 ms,即站台门关门动作 500 ms 后车门关门动作。

2) Y 设置为 1 000 ms,车门/站台门蜂鸣器同步动作,1 000 ms 内响铃 2 次(响铃 250 ms,间隔 250 ms)。

基于上述建议形成的关门时序图如图 4 所示。

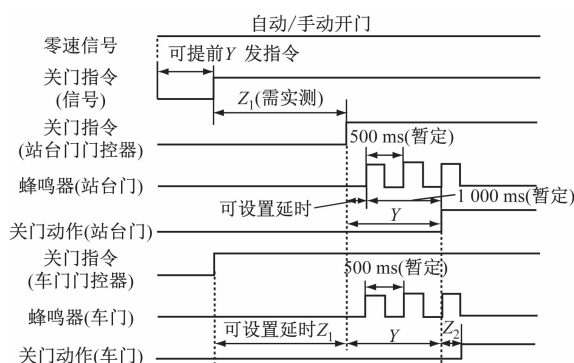


图4 关门时序图

Fig. 4 Door closing timing diagram

4 车门和站台门联动调试试验

为确保上述联动设计方案在不同线路不同设备情况下的可行性和正确性,研究制定了联动调试试验方案,选取成都地铁 6、8 号线(普通线路)、9 号线(全自动线路)、17、18 号线(市域线路)5 条线路做联动调试试验。上述 5 条线路分别来自于 3 个不同的信号供货商。

4.1 试验方案

试验场地:运营线路车站站台。

试验条件:站台门完成单系统调试,电客车车门完成单系统调试。

试验步骤:① 调试人员取消车门、站台门门控制器对蜂鸣器响铃(门灯闪烁与蜂鸣器同步)、开关门动作的延时时间;② MM 模式下,1 名调试人员集控开关门,另 2 名调试人员分别从车厢内和站台对车门、站台门联动过程进行录像;③ 采用视频分析软件逐帧查看录像,记录站台门门灯点亮时刻(站台门蜂鸣器响铃与门灯点亮同步,录像中以门灯点

亮记录时刻更为准确)、车门门灯点亮时刻(车门蜂鸣器响铃与门灯点亮同步)、站台门开门动作时刻、车门开门动作时刻、站台门门灯熄灭时刻(站台门蜂鸣器响铃与门灯熄灭同步)、车门门灯熄灭时刻(车门蜂鸣器响铃与门灯熄灭同步)、站台门关门到位时刻、车门关门到位时刻;④ 对上述 8 项时刻进行对比分析,设置车门开门、车门关门、门灯点亮和熄灭(蜂鸣器响铃与门灯闪烁同步)延时时间,确保与站台门宏观同步动作;⑤ 修改车门和站台门门灯闪烁(蜂鸣器响铃)频次。开门时,门灯闪烁 3 次(蜂鸣器响铃 3 次)后门灯维持常亮,蜂鸣器停止响铃。关门时,门灯闪烁 3 次后维持常灭,蜂鸣器停止响铃;⑥ 完成单个站台联动调试后,同步更新全线站台门和车门软件,并记录调试结果。

4.2 试验结果

以成都地铁 17 号线现场联调试验为例,联调试验中采用视频记录站台门及车门开门时刻,对比分析了采用联动时序设计前后的车门较站台门提前动作时间差。部分车门较站台门提前动作时间差试验数据如表 1 所示。

表 1 部分车门较站台门提前动作时间差试验数据

Tab.1 Test data on time difference of partial train doors earlier operating than platform doors

序号	站点	时间差/s	
		采用前	采用后
1	白佛桥上行	1.80	0.20
2	白佛桥下行	1.80	0.20
3	凤溪河上行	2.16	0.56
4	凤溪河下行	2.12	0.52
5	黄石上行	2.00	0.40
6	机头桥下行	1.88	0.28
7	金星上行	1.68	0.08
8	金星下行	1.68	0.08
9	明光上行	2.16	0.56
10	市五医院上行	2.12	0.52
11	温泉下行	1.92	0.32

表 1 中试验数据可表明,联动时序设计方案在普通线路、市域线路及全自动线路均能满足车门与站台门宏观同步联动要求,可高效完成联动作业,提高乘客乘降效率,并能有效保障乘降安全。

目前,该设计方案已在成都地铁各条新建地铁线路全面推广应用,其应用以来均未发生相关安全事件。通过试验及应用验证,表明该方案设计及实现不依赖于特定的信号厂家,具有较好可复制性及

通用性。

5 车门和站台门障碍物探测联动

上述设计为正常场景下的车门、站台的联动控制,基本上可以实现车门与站台门的同步控制。当出现单个或多个车门和站台门障碍物探测,会导致对应的车门和站台门关门过程中出现同步关门失败的情况,在此场景下可采取如下措施,以实现由于阻挡导致关门失败的车门和站台门的再次关门。

针对车门出现障碍物探测,3 次防夹后车门打开,无法关闭车门。当司机确认障碍物已排除,可按压司机台对应侧的关门按钮进行关门。针对全自动线路,站务确认车门障碍物已排除后,可操作 PSL 上的联动关门按钮,关门对应的车门。

针对站台门出现障碍物探测,导致防夹 3 次无法关闭场景。站务人员可进行本地处置,如果不可能关闭一个或多个 PSD(站台屏蔽门)由站台操作人员通过现场确认或车控室操作员利用 PSA(操作报警盘)信息找出故障门。如果故障确定,站务工作人员通过就地控制盒 LCB(漏电开关)将故障滑动门单元隔离并进行维护处理;若故障超出站务人员处理范围(如 DCU(门控单元)故障),手动关闭滑动门并标志通知乘客绕行。OCC(综合运营协调中心)操作员请求紧急维护行动,尽快让故障滑动门恢复到正常服务状态。

6 结语

城市轨道交通中车门和站台门联动工作机制直接影响着运营安全与乘客出行体验。本文设计了城市轨道交通电客车车门和站台门开、关门联动时序及联动调试方案。该方案在具有代表性的 3 种成都地铁线路——普通线路、市域线路及全自动线路中,均成功进行了联动调试试验。试验不仅验证了联动设计与调试方案的科学性、正确性及其在运行中的安全性,而且已顺利应用于成都地铁多条新建线路中,展现出显著的应用成效与推广价值。

此方案的实施,不仅为城市轨道交通的新线路设计提供了宝贵的参考,也为既有线路的优化升级指明了方向。通过持续优化这一联动机制,能够进一步推动构建更加安全、便捷、高效的城市轨道交通体系,为乘客带来更加优质的出行服务。

参考文献

- [1] 李景虎. 基于城市轨道交通无人驾驶技术的站台门系统与信

- 号系统接口设计与测试[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 101.
- LI Jinghu. Design and testing of platform screen door system and signaling system interface based on urban rail transit FAO technology[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 101.
- [2] 金碧筠, 周巧莲. 列车车门及站台屏蔽门的开/关门时序研究[J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16(8): 86.
- JIN Biyun, ZHOU Qiaolian. On opening/closing synchronization of train and platform doors[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(8): 86.
- [3] 龙时丹, 陈志强, 宋玉亮, 等. 高速铁路 ATO 系统门联动控制技术[J]. 装备制造技术, 2020(10): 92.
- LONG Shidan, CHEN Zhiqiang, SONG Yuliang, et al. Door linkage control technology of high speed railway ATO system[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2020(10): 92.
- [4] 毛茜. 广州地铁 1 号线信号系统改造中站台门联动控制的技术研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(9): 88.
- MAO Qian. Research on linkage control technology of platform screen door under reconstruction in signalling system of Guangzhou metro's line NO. 1[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(9): 88.
- [5] 孟凡超, 孙磊, 王宜纯, 等. 重庆地铁 10 号线信号与屏蔽门接口设计方案[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(5): 91.
- MENG Fanchao, SUN Lei, WANG Yichun, et al. Design scheme of interface between signal system and platform system in Chongqing metro's line 10[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(5): 91.
- [6] 丁忠锋, 刘波. 城市轨道交通列车车门与站台屏蔽门对位隔离技术[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(10): 159.
- DING Zhongfeng, LIU Bo. On the contraposition isolation technology of train door and PSD for urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(10): 159.
- [7] 马妍. 城市轨道交通无人驾驶系统中信号与车辆接口分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(增刊 1): 10.
- MA Yan. Analysis of the interface between UTO signal system and urban rail transit vehicle[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(S1): 10.
- [8] 范永华. 信号系统后备模式下车门与屏蔽门联动问题探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(5): 131.
- FAN Yonghua. On the linkage of train and platform doors in fallback mode of metro signal system[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(5): 131.
- 收稿日期:2024-04-06 修回日期:2024-05-27 出版日期:2024-10-10
Received:2024-04-06 Revised:2024-05-27 Published:2024-10-10
• 第一作者:王黎,高级工程师,88137980@qq.com
通信作者:赵娜,工程师,zhaonahen@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
-
- (上接第 307 页)
- [4] 石卫师, 谢桥, 商晖. 城轨交通保护进路与折返进路触发机制冲突改进方案研究[J]. 铁道通信信号, 2023, 59(8): 60.
- SHI Weishi, XIE Qiao, SHANG Hui. Research on the improvement plan of triggering mechanism conflict between overlap route and turn-back route for urban transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2023, 59(8): 60.
- [5] 何坚. 珠三角城际轨道交通 ATO 系统车门与站台门联动优化设计研究[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(6): 186.
- HE Jian. Research on linkage optimization design of train door and platform door of ATO system in Pearl River Delta intercity rail transit[J]. Railway Standard Design, 2023, 67(6): 186.
- [6] 刘洋. 市域铁路地下车站到发线有效长度研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 58.
- LIU Yang. Effective length of arrival and departure lines of urban railway underground stations[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 58.
- [7] 韩永强. 国铁信号制式下市域铁路到发线有效长探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(7): 19.
- HAN Yongqiang. Discussion on effective length of receiving-departure track of regional railway under national railway signaling standard system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(7): 19.
- [8] 沈志凌. 基于控制技术缩短客车站股道有效长的研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(8): 72.
- SHEN Zhiling. Research on the shortening effective length of track for passenger dedicated line stations based on control technology[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(8): 72.
- [9] 雷小玲, 杨奉伟, 吴永进. 城际铁路 CTC 中自动折返功能设计与实现[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(2): 67.
- LEI Xiaoling, YANG Fengwei, WU Yongjin. Design and realization of automatic turn-around function in CTC for intercity railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(2): 67.
- [10] 李珍萍, 臧永立, 易海旺, 等. 城际/市域铁路 CTCS2 + ATO 系统自动折返技术研究[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(5): 170.
- LI Zhenping, ZANG Yongli, YI Haiwang, et al. Research on automatic turn-back technology of CTCS2 + ATO system in intercity/suburban railway[J]. Railway Standard Design, 2024, 68(5): 170.
- 收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-06-20 出版日期:2024-10-10
Received:2024-04-24 Revised:2024-06-20 Published:2024-10-10
• 通信作者:张敏慧,正高级工程师,002780@crfsdi.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