

地铁车辆紧急解锁控制方案优化分析

张文文, 张 潜

(中车南京浦镇车辆有限公司, 江苏 南京 210031)

摘 要: 以车辆与信号系统接口设计为切入点, 分析讨论地铁车辆操作紧急解锁后列车运行控制策略以及车门状态设置, 通过优化改造车辆既有控制电路, 对中国城市轨道交通协会规范文件中的紧急解锁功能需求提出解决方案, 在保障列车行车安全的前提下, 有效提高了运营效率。

关键词: 地铁车辆; 紧急解锁; 接口设计; 优化

中图分类号: U231; U270.38⁺9

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.03.028

Optimization Analysis of Emergency Unlocking Control Scheme for Metro Vehicles

ZHANG Wenwen, ZHANG Qian

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210031, China)

Abstract: Based on the design of vehicle and signal system interface, the train operation control strategy and door state setting after the emergency unlocking of subway vehicle was analyzed and discussed. By optimizing the existing control circuit of the vehicle, a solution of emergency unlock function requirements in CAMET normative files was proposed, which could improve the operational efficiency under the premise of ensuring the safety of trains.

Keywords: metro vehicle; emergency unlocking; interface design; optimization

0 引言

地铁车辆均设有紧急解锁装置, 用于火灾或其他突发情况下人为开启车门疏散乘客, 对于乘客操作紧急解锁后列车运行控制策略以及车门状态设置, 各地铁运营公司及车辆主机厂各有权衡, 方案不一。对此中国城市轨道交通协会下发了规范性文件^[1], 对紧急解锁相关功能提出了统一原则性指导意见。该文件同时也适用于车辆与信号系统接口设计。本文主要从信号与车辆接口设计方面, 对车门控制电路提出几种优化设计方案。

1 需求分析

规范性文件^[1]中要求操作车门紧急解锁后, 车辆和信号系统相互配合实现车门如下控制功能: ①对于

在区间运行的列车, 操作车门紧急解锁, 不紧急制动停车, 列车运行到下一站停车开门; 对于从车站启动的列车, 操作车门紧急解锁, 运行距离小于半列车长度将触发列车紧急制动, 运行距离超过半列车长度后列车继续运行。②如果列车在区间内停车且无法开动, 乘客操作紧急解锁装置, 由驾驶员在一个延时时间内决定是否允许手动打开车门, 如驾驶员在延时时间内没有进行操作(没有按下专用按钮或操作开关), 乘客可手动打开车门; 若驾驶员在延时时间内进行操作(按下专用按钮或操作开关), 车门不可以手动打开。③只有在列车的控制电路失效, 导致紧急照明、紧急通风、广播功能都失去时, 才应尽快疏散乘客下车, 车门紧急解锁后可手动打开。

可以看出, 规范性文件^[1]中车门紧急解锁控制策略主要集中在“是否触发紧急制动”以及“是否允许手动开门”两个核心问题上。为更好地进行车辆信号

收稿日期: 2018-04-17; 修回日期: 2018-12-13

接口方案设计,实现上述逻辑功能,下面对用户需求进行分析。①实现分区域制动,即当操作紧急解锁后,列车可根据当前位置判断是否输出紧急制动。当列车在靠近站台区域紧急制动停车,乘客可在短时间内快速逃离隧道,进入站台安全疏散;而当列车位于区间时由于距离站台较远,此时唯有快速驶入下一站台才能避免造成更大伤亡。此原则规避了区间内乘客误操作导致的停车隐患,有效提高了列车运营效率,同时最大程度保障了线路行车安全。②如果列车因一些特殊原因(如列车故障失去牵引力,或发生脱轨、撞车等严重事故)导致区间内停车,在驾驶员仍具有行为能力情况下,驾驶员有权限制禁止乘客解锁开门,避免在非安全疏散区域乘客意外跌落轨行区。若极端情况下驾驶员失去行为能力,无法禁止乘客解锁车门,应保证乘客可手动开门,防止事故影响进一步扩大,导致乘客完全失去逃生通道。此原则可靠保障了乘客人身安全。③控制电路失效时手动机械开门优先。若列车发生严重事故(火灾、爆炸等)导致电气电路破坏,甚至紧急照明、紧急通风、广播功能都已失效,车门紧急解锁后可手动打开。此原则避免了极端条件下乘客无法逃生的风险。

2 车辆信号接口优化

2.1 紧急解锁分区域触发紧急制动

车门安全互锁回路是列车重要控制电路之一,除了用于建立列车牵引授权,还是信号系统用来判断触发紧急制动的依据。因为基于安全原则,列车运行过程中车门打开是非常危险的状态,列车必须施加紧急制动实现停车。

地铁车辆在车门安全互锁电路设计时通常将关到位限位开关(DCS)、锁到位限位开关(DLS)及紧急解锁限位开关(EUS)触点串联,如图1所示;若列车运行过程中有任一限位开关动作均将导致安全互锁回路失电,此时车载信号系统默认车门打开将立即触发紧急制动。基于此种设计电路,信号系统无法区分车门安全互锁信号丢失是因为操作了紧急解锁还是车门确实意外打开。若仅实现紧急解锁时的分区域制动,必须将“操作紧急解锁”与“门未关好”进行区分。

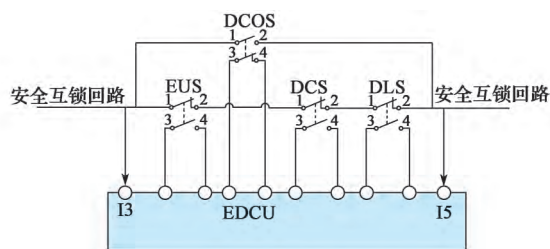


图1 车门安全互锁回路

针对非零速条件下操作紧急解锁后各限位开关的动作状态进行了试验测试(如表1所示),通过试验证明在非零速时操作紧急解锁,EUS和DLS均动作,

而DCS由于电机施加反转力并未触发,也就是说紧急解锁并不会影响车门保持关闭状态。因此车辆可将车门安全互锁回路分为“车门关好回路”以及“紧急解锁回路”(见图2)。其中“紧急解锁回路”将所有车门EUS和DLS触点串联并输出至紧急解锁继电器EUS_L/EUS_R,若所有车门未操作紧急解锁,则EUS_L/EUS_R触点得电闭合;“车门关好回路”将所有车门DCS触点串联并输出至门关好继电器DIR_L/DIR_R,若所有车门关闭,则DIR_L/DIR_R触点得电闭合。

表1 非零速条件车门紧急解锁试验

试验方法	试验次数	LED 状态	试验结论
快速操作	30 次	I0 指示灯亮	EUS 触发
紧急手柄		I1 指示灯亮	DLS 触发
至解锁位		I4 指示灯灭	DCS 释放
慢速操作	30 次	I0 指示灯亮	EUS 触发
紧急手柄		I1 指示灯亮	DLS 触发
至解锁位		I4 指示灯灭	DCS 释放

注:DCS对应I4,若DCS动作,I4指示灯亮;DLS对应I1,若DLS动作,I1指示灯亮;EUS对应I0,若EUS动作,I0指示灯亮。

信号系统接收车辆给出的“车门紧急解锁”及“所有车门关好”信号输入,并根据两路信号状态进行以下逻辑处理:

①当检测到“所有车门关好”状态由1变为0时,无论列车所处何位置均触发紧急制动。

②当检测到“车门紧急解锁”状态由1变为0后根据列车位置判断是否需要输出紧急制动:

a. 列车位于区间内则不输出紧急制动;

b. 列车驶出站台且运行距离大于半列车长度则不输出紧急制动;

c. 列车驶出站台且运行距离小于半列车长度则输出紧急制动。

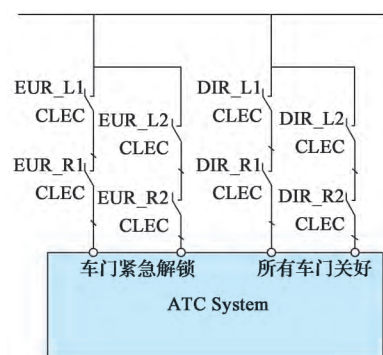


图2 信号系统车门接口

2.2 车门解锁驾驶员确认机制

在车辆现有车门控制逻辑中,通过紧急解锁开门的前提条件为零速及门释放信号同时有效。若任一条件不满足,门电机将实现持续5 min关门力的功能,从而阻止门被打开。当列车因紧急情况停靠在区间内,驾驶员可通过操作“车门允许按钮”或将司控器打到“洗车位”来获得门释放,如图3所示。

当零速及门释

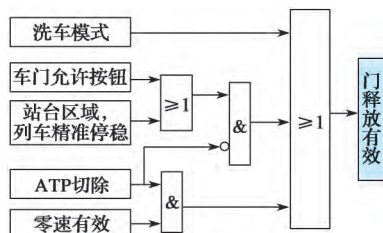


图3 门释放有效逻辑框图

放同时满足, 即可操作紧急解锁实现机械解锁开门。显而易见, 此逻辑与规范性文件^[1]中“驾驶员按下专用按钮乘客不能手动开门”的要求背道而驰, 而且考虑到最不利情况下驾驶员可能失去行为能力, 不能通过按钮或司控器人工获取门释放, 那么乘客将无法及时通过紧急解锁打开车门逃生, 存在较大安全隐患。

为满足用户需求, 需对原有车门控制逻辑进行优化改造。首先, 可考虑在信号车辆接口设计中增加“保持车门关闭 HDC”信号来替代原车门允许按钮, HDC 由信号系统在车速低于 1 km/h 并且相应侧具备疏散条件时输出至车辆; 其次, 在司机台上设置具有时效性的“禁止解锁车门按钮”。当紧急解锁操作后, 驾驶员通过该按钮进行确认操作, 从而确定是否向乘客开放解锁开门权限。具体逻辑为: ①如果驾驶员在一定时间 t (可通过软件设置) 内进行了确认, 那么乘客无法人工开门, 这时以驾驶员确认为优先; ②如果驾驶员在一定时间 t 内未进行确认, 说明驾驶员可能已经失去行为能力, 经时间 t 后, 该信号应自动变为允许, 以便乘客能人工打开车门逃生。

车辆门控器通过硬线或者 TCMS 数据流方式接收“保持车门关闭 HDC”信号以及“禁止解锁车门按钮”指令, 一旦门控器检测到操作紧急解锁, 开始施加电机堵转力阻止车门打开; 当 HDC 信号变为 0, 且驾驶员在时间 t 内未按压“禁止解锁车门按钮”, 则乘客手动打开车门, 如图 4 所示。若上述任一条件不满足, 则电机继续施加持续 5 min 的关门力确保车门不被打开。

2.3 车门应急解锁

当列车电气电路破坏, 控制电路失效时, 车门控制器失电, 电机无法对车门施加关门力, 此时乘客可

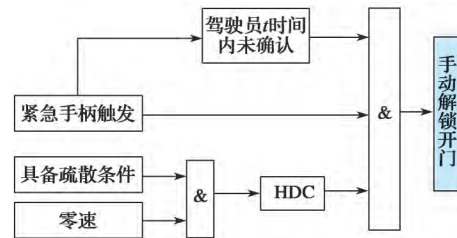


图4 区间解锁开门逻辑框图

以操作紧急解锁, 解除车门锁闭装置, 并以小于 150 N 的力打开车门, 车辆现有方案已能满足用户需求, 因此不作赘述。

3 结语

地铁车辆操作紧急解锁后列车运行控制策略关乎线路运营效率以及行车安全, 在地铁车辆设计工作中, 务必满足规范要求。本文结合实际环境和需求, 设计可靠的控制电路, 以保障车门系统可靠性以及紧急情况下的可用性。

参考文献:

- [1] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会. 城市轨道交通车辆与信号系统接口技术要求(范本): CZJS/T 0022—2015[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2015.
- [2] 闫学祥, 刘海东, 杨培盛. 城市轨道交通列车车门紧急解锁控制联动优化[J]. 城市轨道交通研究, 2017(12): 38-41.
- [3] 计敏良. 广州地铁6号线列车车门紧急解锁分析及优化设计[J]. 机电信息, 2015(3): 138-139.
- [4] 张世钟, 吕劲松. 车门紧急解锁后列车运行状态及车门状态的设置方案探讨[J]. 电力机车与城轨车辆, 2015, 38(4): 84-87.

作者简介: 张文艺(1987—), 女, 工程师, 现从事城市轨道交通车辆电气设计工作。

(上接第124页)

- [2] LEE D H, KIM K J. Interactive weighting of bias and variance in dual response surface optimization[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(5): 5900-5906.
- [3] 郎利辉, 杨希英, 孙志莹, 等. 基于响应面法的汽车覆盖件充液成形工艺参数多目标优化[J]. 汽车工程, 2015, 37(4): 480-484.
- [4] 王杰, 谢延敏, 乔良, 等. 基于响应面法的板料成形容差稳健设计[J]. 锻压技术, 2014, 39(9): 21-26.
- [5] HAN S W, JUNG H S. Weight reducing of aluminum extrusion profiles of a railway-car body based on topology and size optimization[J]. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A, 2011, 35(2): 213-221.
- [6] 唐琪, 陈鹏, 黄菁婧, 等. 基于SYSWELD的地铁底架枕梁焊接变形的数值模拟[J]. 电焊机, 2017, 47(6): 101-104.
- [7] 袁新杰. 动车组座椅底架结构分析及优化设计[J]. 机电工程技术, 2010, 39(7): 61-63.
- [8] 张小玲, 黄洪钟, 许焕卫, 等. 基于混合变量的可靠性稳健设计方法[J]. 电子科技大学学报, 2012, 41(6): 949-953.
- [9] 崔杰, 张维刚, 常伟波, 等. 基于双响应面模型的碰撞安全性稳健性优化设计[J]. 机械工程学报, 2011, 47(24): 97-103.
- [10] 李永华, 董少迪. 动车组轴箱弹簧多响应稳健优化设计方法[J].

中国铁道科学, 2016, 37(1): 100-107.

- [11] HUANG Tianlun, SONG Xuewei, LIU Xinyang. The multi-objective robust optimization of the loading path in the T-shape tube hydroforming based on dual response surface model[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 82(9/10/11/12): 1595-1605.
- [12] British Standard Institute. Fatigue design and assessment of steel structures: BS7608: 2014+A1: 2015[S]. London: BSI, 2015.
- [13] XU Huanwei, LI Wei, LI Mufeng, et al. Multidisciplinary robust design optimization based on time-varying sensitivity analysis[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2018, 32(3): 1195-1207.
- [14] 鲍诺, 王春洁. 基于响应面优化的结构有限元模型修正[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(7): 927-933.
- [15] 薛红军, 李云锋. 结构优化设计的组合优化策略[J]. 机械强度, 2013, 35(3): 278-282.

作者简介: 李永华(1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为轨道车辆现代化设计方法、车辆结构的疲劳可靠性分析、机械产品数字仿真与优化设计、质量与RAMS工程。