

城市轨道交通全自动运行系统疏散解决方案

陈祥¹ 李晓刚² 常鸣¹ 吕新军¹

(1. 卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海; 2. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 100101, 北京)

摘要 [目的] 为确保 FAO(全自动运行)系统在紧急情况下能够有效保障乘客安全疏散,并在疏散完成后迅速恢复运营,特提出研究基于中心远程监督指挥的全自动运行系统疏散解决方案。[方法] 以影响乘客疏散安全的线路条件(如疏散平台、道床等)和车辆条件(提供侧门和端门两种疏散方式)为基础,针对乘客疏散过程中可能遇到的安全风险(如乘客坠落、列车碰撞、动作道岔夹伤、三轨触电等),从站台疏散和区间疏散两个不同应用场景出发,详细设计了疏散激活、疏散恢复,以及联挂列车疏散时的 FAO 多系统联动机制和防护方法。[结果及结论] 提出了 FAO 系统实现疏散功能所须满足的具体线路条件和车辆条件。在疏散过程中,中心调度人员可通过 CCTV(闭路电视)、PA(广播系统)、紧急对讲等装置远程监督并指挥乘客疏散。同时,通过 ATS(列车自动监控系统),中心调度人员能够实现对 CC(车载控制器)、ZC(区域控制器)、CI(计算机联锁)等多系统的联动控制,以确保乘客在站台或区间内通过不同编组列车的侧门或端门进行疏散时的安全防护和疏散恢复。这一解决方案显著提升了疏散的安全水平和效率。

关键词 城市轨道交通;全自动运行系统;疏散;联动

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.053

Evacuation Solution for Fully Automatic Operation System of Urban Rail Transit

CHEN Xiang¹, LI Xiaogang², CHANG Ming¹, LYU Xinjun¹

(1. CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China; 2. Beijing MTR Construction Administration Co., Ltd., 100101, Beijing, China)

Abstract [Objective] In order to ensure that FAO (fully automatic operation system) can effectively guarantee the safe evacuation of passengers in case of emergency and quickly resume operations after evacuation completion, it is proposed to study the evacuation solution for FAO system based on central remote supervision and command. [Method] Based on the line conditions (such as evacuation platform, trackbed, etc.) and vehicle conditions (providing side door and end door two evacuation modes) that affect the safety of passenger evacuation, and targeting the safety risks that may be encountered

during the passenger evacuation process (such as passengers falling, train collision, transition switch injury, third rail electric shock, etc.), the evacuation activation, evacuation recovery, as well as the FAO multi-system linkage mechanism and protection method for coupling train evacuation are designed in detail from two different application scenarios of platform evacuation and interval evacuation. [Result & Conclusion] Line and vehicle conditions required for the realization of FAO system evacuation function are proposed. During the evacuation process, the central dispatcher can remotely monitor and direct the evacuation of passengers through CCTV (video surveillance system), PA (broadcast system), emergency intercom and other devices. At the same time, through the ATS (automatic train supervision) system, the central dispatcher can realize the linkage control of multiple systems, such as CC (car controller), ZC (zone controller), and CI (computer interlocking), in order to ensure the safety protection and evacuation recovery of passengers when evacuating through the side/end doors of trains with different marshalling on platforms or intervals. This solution significantly improves the safety level and efficiency of evacuation.

Key words urban rail transit; FAO system; evacuation; linkage

随着轨道交通信号系统控制技术的快速发展,我国越来越多的城市轨道交通新线建设和旧线改造项目已将 FAO(全自动运行)系统视为信号系统的首选方案。通过 FAO 系统的应用,城市轨道交通运营全过程实现了自动化控制,有效减少了运营人员数量,显著提高了运营的安全性、效率和质量,进而提升了客户满意度。然而,在面对列车故障、车厢内火灾等紧急情况时,须迅速组织车内乘客进行安全疏散。传统上,这些情况通常由车上的司机介入处理。但对于 FAO 系统,尤其是 GOA4(无人干预列车运行)级系统而言,如何在控制中心的远程指挥控制下,自动、安全、快速地完成乘客疏散,防止重大事故发生,同时又能有效过滤因乘客误操作而产生的虚假疏散报警,尽可能减少对线路正常运

营的影响,成为了 FAO 系统必须重点考虑的问题。

本文将结合城市轨道交通乘客疏散对线路和车辆的具体条件要求,深入研究 FAO 系统下的乘客疏散解决方案,以期为后续的 FAO 线路建设或改造提供有价值的参考。

1 疏散线路条件

按照疏散实施时列车停靠地点的不同,可将疏散分为站台疏散和区间疏散两类。

当列车停车位置与站台区域发生重叠时,将采用站台疏散方式以确保乘客安全撤离。为此,需在站台上(沿下行方向),至少设置与最长旅客列车长度等距的疏散平台。在极端情况下,这些平台能确保乘客直接通过它们返回站台,从而避免坠落轨道的风险,此时无须 CC(车载控制器)与 FAO 轨旁设备进行联动防护。根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》的要求,城市轨道交通的疏散平台宽度在一般情况下应达到 700 mm,而在困难条件下,这一宽度不应小于 550 mm,同时,疏散平台上方需保持至少 2 000 mm 的净空高度,以确保疏散空间的充足。

当列车停车位置与站台区域无直接交集,即列车停靠在非站台区域时,将采取区间疏散方式以安全疏散乘客。在此情况下,由于乘客可能需进入轨道区域,因此必须确保 CC 与 FAO 轨旁系统实现紧密联动,以提供必要的防护措施,确保疏散过程的安全进行。根据 GB/T 33668—2017《地铁安全疏散规范》,城市轨道交通区间疏散可采用疏散平台和道床两种方式。若采用道床作为疏散方式,则需遵循 GB 50157—2013 中的规定,即道床步行面应保持平整、连续、无障碍物,并确保每个区间隧道轨道区域都设置有通往站台的疏散楼梯。此外,GB 50490—2009《城市轨道交通技术规范》还要求区间隧道内应设置可控制方向的疏散指示标志,以引导乘客安全疏散。

2 疏散车辆条件

按照乘客疏散时所使用的列车车门不同,疏散可分为列车侧门疏散和端门疏散两类。GB 51298—2018《地铁设计防火标准》明确要求,行驶于地下区间的列车头、尾节应设置疏散门,且各节车厢之间需保持贯通。GB/T 33668—2017 则进一步规定,在采用道床疏散时,列车端部的车辆应设置专用前端门作为乘客紧急疏散门;而采用疏散平

台疏散时,列车侧门应开启作为乘客紧急疏散门。

车辆通过继电接口向 FAO 系统实时提供对应车门疏散方式手柄的激活状态^[1],同时,也从 FAO 系统接收对应车门的保持锁闭命令。当 FAO 系统判断当前条件不满足疏散要求时,将向车辆发送车门保持锁闭的命令,车辆随即确保对应的疏散车门保持锁闭状态,防止乘客通过外力方式打开这些车门,从而规避潜在的疏散风险。

此外,车辆提供的疏散手柄分为“自复位”和“非自复位”两种类型。对于“自复位”式手柄,其激活状态在按压后会自动复位,因此 FAO 车载子系统 CC 需要对采集到的疏散手柄激活状态进行自保处理,以确保信息的准确性和连续性。全自动运行列车通常倾向于采用“自复位”式手柄,因其能够自动恢复初始状态,减少人工干预的需求。而“非自复位”式手柄在按压后则须人工进行复位操作。

3 FAO 系统疏散方案

3.1 乘客疏散风险

乘客疏散过程中存在下述人身安全风险,FAO 系统需要对相关风险进行防护以保证疏散人员安全:① 非疏散平台侧门打开,疏散人员坠落轨道风险;② 疏散区域内其他列车冲撞疏散人员风险;③ 疏散区域内疏散人员被动作道岔夹伤风险;④ 疏散区域内疏散人员三轨触电风险(如配置三轨供电)。

3.2 站台全自动疏散

3.2.1 列车站台停车窗内自动疏散

列车在站台停车时,可正常打开车门和站台门。如果乘客按下列车侧门紧急疏散手柄,CC 检测到侧门疏散手柄被激活后,其会向车辆输出停车制动命令切断车辆牵引,并随后自动扣车。同时,CC 向车辆、联锁系统以及站台门控制器发送开门侧的开门命令,保持车门和站台门处于打开状态,便于乘客通过车门或站台门进行站台疏散。列车在站台停车时进行的自动疏散通常不配置端门疏散方式。

3.2.2 列车站台停车窗外自动疏散

列车已开始从站台发车,但列车尾部尚未完全驶出站台,且剩余在站台内的列车长度大于列车在当前速度下紧急制动能安全停车所需的距离时,如果乘客按下疏散手柄,CC 将立即输出紧急制动命令和疏散车门保持锁闭命令;列车紧急制动停车后,其车身仍有部分位于站台区域内。

疏散手柄按下后,中心调度员立即通过 CCTV(闭路电视)查看车厢内部情况,并通过紧急对讲系统与车厢内乘客通话。调度员在确认需要进行乘客疏散后,会告知乘客再次按压疏散手柄。FAO 系统对于侧门紧急疏散手柄和端门疏散手柄将分别采用不同方式进行处理。

1) 侧门紧急疏散。CC 再次检测到侧门紧急疏散手柄激活后,立即取消疏散平台侧门保持锁闭命令,乘客可使用外力打开侧门并沿疏散平台疏散至站台,此时乘客因列车车厢阻隔无坠落轨道风险,无须 CC 与 FAO 轨旁系统联动进行防护。

2) 端门紧急疏散。CC 再次检测到端门紧急疏散手柄激活后,启动疏散防护延时等待;在此时间内,CC 将输出端门保持锁闭命令,以保证安全风险存在时,乘客无法通过外力打开列车端门离开车厢。

CC 同时向 ZC(区域控制器)发送疏散请求,ZC 收到疏散请求后,将设置疏散列车对应疏散区域为激活状态,使疏散区域外的其他 CBTC 列车无法进入疏散区域;疏散区域内的其他 CBTC 列车触发紧急制动停车,避免其他 CBTC 列车冲撞疏散人群的风险。如果疏散区域内还有其他非 CBTC 列车,则由中心调度员通知非 CBTC 列车司机停车。疏散区域通常为两站一区间,对类似于单洞双线(见图 1),或者单洞单线但与临线之间有联络通道(见图 2)的场景,疏散乘客可能疏散至相邻线路区域,因此相关受影响相邻线路区域也需纳入到疏散区域进行防护。

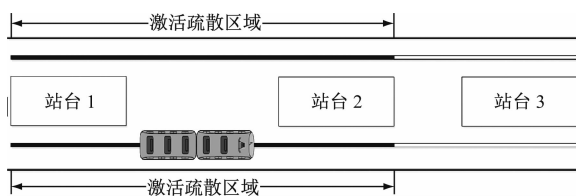


图 1 单洞双线线路

Fig. 1 Two lines in one tunnel

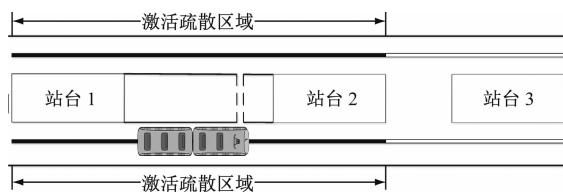


图 2 单洞单线存在联络通道线路

Fig. 2 Passageway in a single-hole tunnel with single line

ZC 向疏散区域对应的 CI(计算机联锁)设备发送疏散请求。一旦 CI 接收到该请求,它会立即封锁

其管辖范围内所有进入或驶离疏散区域的进路信号机和间隔防护信号机,同时封锁疏散区域内的道岔,以防止在疏散过程中因道岔动作而夹伤人员。若线路采用三轨供电系统,对于配置了紧急停电按钮或紧急停电控制继电器的项目^[2],CI 可直接发出紧急停电命令,对疏散区域的三轨进行断电处理。对于未配置此类设备的项目,则需由电力调度员人工操作,对疏散区域的三轨进行断电,以避免疏散人员触电的风险。

疏散防护的延时设置考虑了多个因素,包括列车在疏散区域内紧急停车所需的安全时间、道岔封锁的安全时间,以及三轨(如有)断电的安全时间。这些时间中的最大值被设定为疏散防护的延时。若疏散防护的延时等待时间尚未结束,但中心调度员已确认疏散区域的安全疏散条件均已满足,调度员可通过 ATS(列车自动监控)系统进行二次确认,以旁路疏散防护的延时等待。一旦等待结束或等待被旁路,CC 将取消端门的保持锁闭命令,随后中心调度员可远程指挥乘客打开端门,通过端门进入道床区域进行疏散。端门疏散系统的交互过程如图 3 所示。

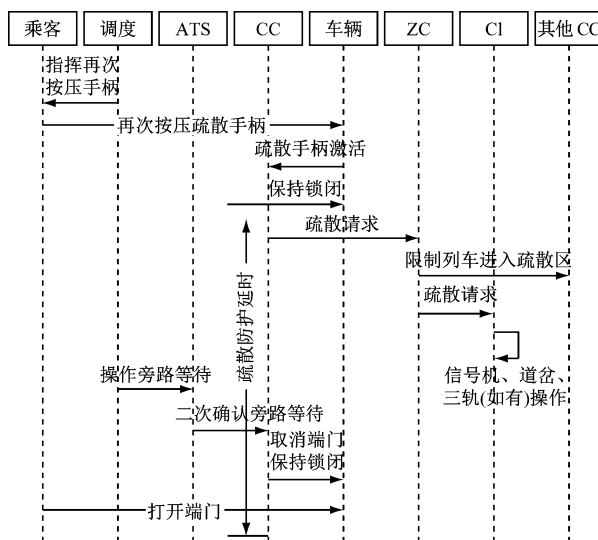


图 3 端门疏散系统交互图

Fig. 3 Interaction diagram of the train-end door evacuation system

3.3 区间全自动疏散

根据建标 104—2008《城市轨道交通工程项目建设标准》的要求,当列车在区间运行时,若因车厢火灾等突发事件,乘客按下疏散手柄进行紧急疏散,此时列车不得在区间内停车,而应继续驾驶至

最近的车站站台,以便乘客在站台上进行安全疏散。

然而,若列车因车辆牵引系统故障或其他不可抗拒原因在区间内被迫停车,且须立即进行就地疏散时,调度中心的调度员须远程确认情况,并指挥乘客再次按压疏散手柄。一旦 CC 检测到疏散手柄被激活,FAO 系统将自动触发区间内的全自动疏散流程。对于区间端门疏散与站台停车窗外端门疏散,两者采用相同的处理机制,具体的系统交互流程参见图 3。

另外,当进行区间侧门疏散时,由于疏散平台的连续设置受限以及平台宽度的限制,乘客可能会通过疏散平台进入轨道区域。因此,区间侧门疏散需采用与区间端门疏散相同的防护机制,以确保乘客安全。具体的交互流程见图 3。

3.4 疏散恢复

乘客疏散完成后,需进行疏散恢复操作以使 FAO 系统恢复正常运行状态。疏散恢复操作主要包括疏散列车恢复和疏散防护区恢复两部分。

3.4.1 疏散列车恢复

运营维护人员需登车执行关闭疏散车门(侧门/端门)的操作,并严格确认所有疏散车门已处于关闭且锁闭状态。若列车采用的是“自复位”式疏散手柄,维护人员在完成确认后,须立即通知控制中心调度员。随后,调度员将通过 ATS 系统,采用二次确认的方式,远程复位 CC 内部自保的疏散手柄激活状态。若列车采用的是“非自复位”式疏散手柄,则维护人员须先在本地对疏散手柄进行人工复位操作,待确认复位成功后,再通知调度员执行远程复位 CC 内部自保的疏散手柄激活状态。完成上述所有步骤并确保疏散列车恢复正常后,CC 将不再向轨旁的 ZC 发送疏散请求,标志着疏散流程的正式结束。

3.4.2 疏散防护区恢复

当运营维护人员完成疏散列车的恢复操作,并确认疏散区域内无人员和物品遗留后,将通知中心调度员进行疏散防护区的恢复操作。调度员根据疏散防护区激活的提示信息,通过 ATS 系统采用二次确认方式,对管理并激活了疏散防护区的 ZC 逐一进行恢复操作。ZC 在收到疏散防护区恢复请求后,会将相应疏散防护区设置为非激活状态,并向疏散区域对应的 CI 发送疏散恢复请求。CI 根据该请求,取消所有进入疏散区域的进路信号机或间隔防护信号机的封锁状态,同时解除疏散区域内所有

道岔的封锁,以允许办理进入或驶离疏散区域的进路。

对于采用三轨供电的线路项目,在疏散防护区恢复的同时,将同步进行三轨供电的自动或人工恢复操作,以确保供电系统的正常运行。

3.5 联挂列车全自动疏散方案

对于联挂列车疏散^[3],车辆须要将参与编组的列车单元疏散手柄激活电路和车门保持锁闭电路连接贯通,确保当任意列车单元疏散手柄按下时,联挂列车主控列车单元 CC 可以检测到疏散手柄激活状态;并可以通过车门保持锁闭命令,控制整个列车编组对应车门处于锁闭状态,车辆只响应主控列车单元 CC 的车门保持锁闭命令。如果联挂列车允许通过列车端门进行疏散,联挂列车主控列车单元 CC 须对联挂端的端门输出车门保持锁闭命令,确保联挂端的端门不会被误打开。

4 结语

随着 FAO 系统日益广泛地应用,如何实现列车全自动运行,将司机或维护人员从列车操作中撤出,已成为 FAO 系统未来发展的关键方向之一。在 FAO 系统的突发事件中,乘客疏散作为典型场景,因其涉及多个专业领域和多系统间的紧密协调联动,显得尤为重要。本文介绍的 FAO 系统疏散解决方案,能够在中心调度的远程监控与指挥下,通过多系统的高效联动,实现车内乘客的快速、安全撤离。该方案不仅能够有效保障乘客安全,还力求最大限度地减少对线路正常运营的影响,展现出良好的应用前景。

目前,这一创新的疏散方案已被选定应用于宁波地铁 7 号线和北京地铁 3 号线的项目中。随着这些项目的推进,FAO 系统的疏散能力将得到显著增强,为城市轨道交通的安全和高效运营提供有力支持。

参考文献

- [1] 徐建勇.城市轨道交通中乘客紧急制动手柄施加紧急制动时机研究探讨[J].铁道通信信号,2019,55(12):83.
XU Jianyong. Research and discussion on the timing of applying emergency braking to passenger emergency braking handle in urban rail transit [J]. Railway Communication Signal, 2019, 55(12): 83.
- [2] 江安.紧急停电按钮在轨道交通接触轨供电中的应用[J].都市快轨交通,2010,23(2):99.

(下转第 302 页)

差),且已超期服役,须要制定控制措施和改进计划。考虑设备返修数据收集可能不完整,且信号系统已接近中修周期,为确保运营安全,针对板卡 8,建议备品备件不低于在线设备数量的 10%,同时建议在半年内完成超期服役板卡的更换工作。其余板卡,建议备品备件数量不低于在线设备数量的 2%,并定期清灰,以减缓三防漆的老化,进而延长板卡的使用寿命。

4 结语

本次研究,在服役超过 10 年的运行线路上,对安全苛求的硬件设备开展了深度体检,对制定针对性强、精准有效的维护措施进行了探索和实践,回应了用户对信号系统延寿及分阶段改造的需求。目前,该综合评估方法已在上海、深圳等多条城市轨道交通线路上进行试点,但存在数据收集手段尚不够智能化,且时间跨度大导致收集数据不全面的问题。后续需要打通数据渠道,建立大数据模型,利用 PHM(故障预测与健康)技术等手段实现数字化、智能化的健康度评估,并提供可视化的健康度评估报告,为城市轨道交通信号系统的延寿需求制定方案提供有力参考。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2023 年度统计和分析报告解读[J]. 城市轨道交通, 2024(4): 15.
China Association of Metros. Interpretation of the annual statistical and analysis reports on urban rail transit in 2023[J]. China Metros, 2024(4): 15.
- [2] 佚名. “十四五”规划:加快市域(郊)铁路建设,有序推进城市轨道交通发展[J]. 城市轨道交通, 2021(3): 6.
Anon. 14th Five-Year Plan: accelerate the construction of city (suburban) railways and orderly promote the development of urban rail transit [J]. China Metros, 2021(3): 6.
- [3] 赵丽琴, 刘昶, 邓丞君. 样本不均衡条件下设备健康度评估

方法[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(9): 272.

ZHAO Liqin, LIU Chang, DENG Chengjun. Method for evaluating equipment health under unbalanced conditions[J]. Computer Measurement & Control, 2020, 28(9): 272.

- [4] 肖晓, 付哲, 赵静毅, 等. 基于故障分析表的信号系统健康度评估方法及装置: 202211067152. 4[P]. 2022-12-06.

XIAO Xiao, FU Zhe, ZHAO Jingyi, et al. Signaling system health evaluation method and device based on fault analysis table: 202211067152. 4[P]. 2022-12-06.

- [5] 祁豆豆. 基于剩余寿命预测的 AFC 终端设备健康度评估方案探讨[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(4): 136.

QI Doudou. Discussion on health evaluation scheme of AFC terminal equipment based on residual life prediction[J]. Technology Innovation and Application, 2022, 12(4): 136.

- [6] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路列车调度指挥系统(TDCS)调度集中系统(CTC)维护管理办法: TG/XH 211—2014[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2014.

China Railway Group Co., Ltd. Maintenance and management measures for railway train dispatch command system (TDCS) centralized traffic control system (CTC): TG/XH 211—2014[S]. Beijing: China Railway Group Co., Ltd., 2014.

- [7] 中国国家铁路集团有限公司. 车站联锁设备维护管理办法: TG/XH 213—2019[S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2019.

China Railway Group Co., Ltd. Maintenance and management measures for station interlocking equipment: TG/XH 213—2019[S]. Beijing: China Railway Group Co., Ltd., 2019.

- [8] 祖天培, 王泽, 康锐, 等. 基于同类产品的板卡级电子产品可靠性评估方法及系统: 202310478126[P]. 2023-07-28.

ZU Tianpei, WANG Ze, KANG Rui, et al. Reliability evaluation method and system of board-level electronic products based on similar products: 202310478126[P]. 2023-07-28.

· 收稿日期: 2024-06-03 修回日期: 2024-06-21 出版日期: 2024-10-10

Received: 2024-06-03 Revised: 2024-06-21 Published: 2024-10-10

· 通信作者: 季庆华, 高级工程师, jiqinghua@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 297 页)

JIANG An. Application of EPB for conduct rail power supply of rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2010, 23(2): 99.

- [3] 段博韬. 基于灵活编组模式的城市轨道交通列车通过能力分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 118.

DUAN Botao. Analysis of train passing capacity of urban rail transit based on flexible marshalling mode[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): 118.

· 收稿日期: 2024-04-23 修回日期: 2024-05-29 出版日期: 2024-10-10

Received: 2024-04-23 Revised: 2024-05-29 Published: 2024-10-10

· 通信作者: 陈祥, 高级工程师, chenxiang@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