

城市轨道交通全自动运行线路行车组织风险与应对方法

卢全毅 吴晓玲

(南宁轨道交通集团有限责任公司, 530029, 南宁//第一作者, 工程师)

摘 要 为提高对城市轨道交通FAO(全自动运行)线路行车组织风险的认识,分析了FAO线路由设备实施差异性而带来的行车组织流程和关键行车岗位人员职能的变化。选取行车组织业务板块中的列车运行作业单元,从人员、设施设备、环境和管理因素对风险进行了简要分析,并通过国内某条FAO线路实际运营数据统计得出该线路最为频发的风险是夹人夹物事件,从人员、设备和环境管理等角度提出了安全管理建议。

关键词 城市轨道交通;全自动运行线路;行车组织风险

中图分类号 U292

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.034

Risks for Train Operation Organization of Urban Rail Transit FAO Lines and Countermeasures

LU Quanyi, WU Xiaoling

Abstract To elevate the awareness towards risks for train operation organization of urban rail transit FAO (fully automatic operation) lines, the changes of FAO line in train operation organization process and the key operational post duty caused by equipment and implementation differences are analyzed. By selecting the train operation unit of the operation organization business section, a brief risk analysis is conducted from personnel, facilities and equipment, environment and management factors, and through the statistical analysis of actual operation data of a FAO line in China, it is concluded that the most frequent incidents are the caught-up of passengers and articles. Safety management suggestions are put forward from the perspective of personnel, equipment, environment and management.

Key words urban rail transit; FAO line; train organization risk

Author's address Nanning Rail Transit Group Co., Ltd., 530029, Nanning, China

道交通线路运营组织的灵活性和服务质量等。FAO系统中行车指挥和综合监控等功能高度集成至控制中心,相较传统有人驾驶线路,城市轨道交通FAO线路关键行车岗位职能发生了较大改变,运营组织管理亦新增了更多风险。本文结合国内某轨道交通FAO线路的实际运营数据,选取行车组织业务板块中的1个作业单元,研究其可能发生的典型风险事件,按照人员、设施设备、环境和管理因素进行主要致险因素分析,提出风险控制措施建议,对保障FAO线路运营安全具有一定意义。

1 FAO线路主要行车组织变化

相较有人驾驶线路,FAO线路关键行车设施设备功能有较大变化的是信号、通信和车辆系统。设备功能的变化进而带来行车组织的变化,包括作业组织流程、应急处置方法及岗位职能的转变等。新增关键行车设备功能及主要行车组织变化见表1。

从表1中看出,FAO线路中传统司机职能大部分由FAO系统或中央调度员代替,中央调度员职能变化最大,新增了远程故障处置、乘客服务及车辆状态监控职能。某些城市轨道交通运营单位将行车调度和停车场调度进行岗位复合后,针对中央调度员还增加了停车场、车辆段的管理职能。发生突发事件时,中央调度员需处理的信息更多,面临的决策压力更大。若对设备和现场出现认知失误,将对列车运行及运营安全造成更为直接的影响。

2 FAO线路行车组织风险分析

2.1 FAO线路行车组织致险因素分析

依据城市轨道交通实际生产情况,选取行车组织业务板块中的1个作业单元,研究该作业单元可能发生的典型风险事件,从人员、设施设备、环境和管理因素进行主要致险因素分析,见表2。

FAO(全自动运行)系统的运用提高了城市轨

表 1 FAO 线路新增关键行车设备功能和主要行车组织变化

Tab. 1 Newly added operation equipment key functionalities and train operation organization main changes of FAO lines

设备类别	新增关键行车设备功能	主要行车组织变化
信号系统	列车休眠、唤醒、跳跃、全自动洗车等	传统的司机检车、驾驶和收车作业由 FAO 系统功能自动完成,中央调度员对该作业条件进行确认及控制系统执行指令下发
	蠕动模式、远程 RM(限制人工模式)、远程重启 VOBC(车载控制器)、远程开/关门等	中央调度员新增对列车远程控制职能,部分故障可由中央调度员确认条件满足后先进行远程处置,如处置不成功或无法处置再组织司机处置
	对位隔离、站台再开/关门、站台发车	车站站台岗位人员可进行车门、站台门操作,控制列车发车,站台岗位人员新增了对车门控制及列车发车职能
	SPKS(人员防护开关)防护	SPKS 用于线路防护,组织人员进入 FAO 区域需激活 SPKS
	火灾触发信号系统联动功能	信号系统接收到 FAS(火灾报警系统)发送的火灾信息后,联动 CCTV(闭路电视)至中央监控设备,并向中央调度员请求执行扣车跳停等操作,中央调度员需快速确认现场信息并进行决策处置
通信系统	停车场配置 FAO 信号设备	停车场内配置 FAO 信号设备的线路能实现列车 FAO,需对停车场 FAO 区域制定严格的进出管理流程,降低人车冲突风险
	列车 FAS、乘客紧急手柄触发其与 IPH(应急对讲电话)联动功能,IPH 与中央调度通话功能及 IPH 触发调用 CCTV 车载图像功能	列车发生火灾或乘客紧急手柄被激活后,自动联动 IPH 和 CCTV 至中央监控设备,中央调度员可通过 IPH 和 CCTV 了解现场情况进行下一步处置;中央调度员可通过 IPH 直接与乘客通话,新增了远程客服职能
车辆系统	中央调度对列车的远程控制(设置停放制动、升降弓等)及远程旁路功能	中央调度员新增对列车远程控制职能,部分故障可由中央调度员确认执行条件满足后先进行远程处置,如处置不成功或无法处置再组织司机处置
	障碍物及脱轨检测与信号系统的联动防护功能	列车检测到障碍物或脱轨后会实施紧急制动,同时联动信号防护,中央调度员需确认事件处置完毕并具备安全条件后恢复信号防护

表 2 FAO 线路行车组织典型致险因素分析

Tab. 2 Analysis of typical risk factors of FAO line train operation organization

风险辨识范围	作业单元	典型风险事件	致险因素			
			人员	设施设备	环境	管理
行车组织	列车运行	人车冲突、撞击异物、脱轨/挤岔、夹人夹物动车等	工作人员作业习惯、精神状态、技能水平等;乘客乘车行为等	信号、车辆、供电等设施设备功能缺陷或故障等	大风、暴雨等恶劣天气条件,技术环境,城市轨道交通内部运营环境及社会风气等	规章及培训制度,安全管理及员工思想动态管理制度等

根据运营经验,人员因素通常是造成风险事件的直接原因。FAO 线路将更多设备监控、操作及乘客服务功能集成至控制中心,其设备功能特性相对有人驾驶线路变化较多,因此要求中央调度员具备更高专业技能水平。例如,列车在唤醒过程中会进行动态测试,若调度员未能掌握该设备特性,在列车唤醒过程中组织人员上下车,将可能引起人车冲突导致人身伤害;若调度员在执行远程开关门、远程旁路等功能前未掌握现场情况,未确认清楚操作条件,则可能造成行车风险事件的发生。

设施设备因素是影响城市轨道交通运营安全的客观因素,包括投入运营前未能发现的功能缺陷,因自然或人为原因导致的故障等。按运营故障

统计,发生故障比例较高的是站台门、车辆、信号设备故障。FAO 系统将信号与站台门、电力监控、综合监控等多系统进行集成或互联,任一重要系统设备故障将可能导致无法采用 FAO 模式组织行车,因此对整个行车系统的稳定性、安全性和冗余性要求更高。

环境因素包括社会、技术、运营和自然环境等^[2]。例如,对于无司机辅助瞭望的 FAO 线路,目前采用的是接触式障碍物检测报警系统,无法实现远距离早期预警与安全防护,因此 FAO 线路对运行环境条件的管理要求更为严苛。

规章制度不完善、人员培训不到位及风险排查不彻底等管理因素是导致部分风险事件发生的根本原因。例如,由于 FAO 系统与有人驾驶线路系统

设备在功能、结构等方面存在差异,且 FAO 系统投入运营时间较短,对设备的认知和使用时间亦较短,运营经验不足,若运营单位未能制定详细的运营规则并科学开展培训,则易存在人员认知失误导致误操作的风险。

2.2 FAO 线路列车延误事件统计分析

结合城市轨道交通实际运营数据,选取国内某

FAO 线路行车间隔相同和客流量相仿的 1 条有人驾驶线路和 1 条 FAO 线路某年连续 6 个月内实际发生的 2 min 及以上延误事件数量(列车在执行时刻表过程中,在任意车站的延误时间大于或等于 2 min 时统计为 1 件延误事件)进行统计,对比识别出 FAO 线路最为频发的故障或事件并做进一步分析,数据统计见表 3。

表 3 某 FAO 线路与某有人驾驶线路列车延误事件统计表

Tab. 3 Statistics of train delay incidents of a FAO line and a manned line								单位:件
名称	信号故障	车辆故障	供电故障	站台门故障	操作失误	夹人夹物	其他事件	合计
某 FAO 线路	2	2	0	7	2	36	1	50
某有人驾驶线路	4	4	2	4	2	1	1	18

从表 3 中可看出,FAO 线路与有人驾驶线路对比,设备故障与人员操作失误造成列车延误事件的数量相差不大,而 FAO 线路发生夹人夹物事件的数量较有人驾驶线路显著增多。通过对夹人夹物事件的主要特征进行统计,发现最为频发的运营场景是列车执行关门动作时乘客冲门上车或下车。但由于有人驾驶线路由司机把控关闭车门、站台门的时机,当司机瞭望到乘客冲门时会延缓关门时间或迅速重新开关门一次,故夹人夹物事件发生较少或影响较小。而 FAO 线路是由系统自动关闭车门、站台门,乘客冲门行为易触发车门、站台门设备启动防夹功能,进而需要司机接管列车或由站务人员在站台进行处置,其处置时间相比有人驾驶线路较长,易造成列车延误。当发生夹人夹物事件时,若设备未能做出有效检测或人员处置失误,将可能造成人身伤亡的事故。

2.3 夹人夹物动车事件致险因素分析

对夹人夹物动车事件从 4 个方面进行主要致险因素分析:

- 1) 人员因素包括乘客和城市轨道交通员工的不安全行为。乘客的不安全行为主要体现为列车在执行关门动作时乘客冲门上车或下车影响乘降效率等;员工的不安全行为体现在工作人员精神状态不佳,对规章制度理解不到位,应急处置未按流程执行或步骤有遗漏等。
- 2) 设施设备因素包括间隙探测器设备、车门和站台门防夹设备未能有效检测到障碍物而启动相应防护功能,设备因故障未及时修复使用等。
- 3) 环境因素包括乘客普遍对在车门关闭过程中抢上、抢下行为的危险性认识不足,客流量较大

的车站上下客时间不够,发车间隔时间长,间隙探测器、车门和站台门设备防夹功能设计不够完善,信息交互滞后等。

4) 管理因素包括设备技术文件和运营规则未充分明确 FAO 线路车辆和信号等系统的功能特性和风险点,突发事件应急处置流程指引不完善,组织沟通不畅,培训不到位,员工思想动态未掌握,未严格落实安全检查制度等。

3 FAO 线路行车组织风险的应对方法

3.1 人员管理措施

对乘客的管理措施主要有制定合理的乘客行为引导方案,如夹人夹物事件多发生在直梯、自动扶梯旁对应的车门和站台门,故需在站台重点区域加强对乘客的引导。员工的管理措施主要有制定合理的培训制度,如针对 FAO 线路设备特性的差异性和作业风险性应重点培训,还应完善作业规程,组织将事故或事件案例进行全面复盘,加强行车各关键岗位的联合演练,强化专业技能,使员工能够辨别作业风险并形成科学规范的作业习惯。掌握员工思想动态,在为员工解难题的同时,消除员工思想上的不安全因素,确保生产安全。

3.2 设备管理措施

设备管理需贯穿 FAO 系统的全生命周期,即从定义和需求阶段,到设计实现阶段和系统确认、验收和运维阶段,通过识别风险并对其进行管控,从而确保 FAO 系统高度安全可靠。运营单位在系统定义及需求阶段,应全程重点参与场景讨论,与建设单位、设备厂家等部门共同制定完善的运维规程。在运维阶段,应通过数据收集与分析实现对设

备潜在风险的预警,安排合理的检修周期,发现设备部分功能尚不完善时,应进行反馈与优化。

3.3 环境管理措施

全面增强乘客乘车的安全意识和客流管控;加强城市轨道交通文明乘车的宣传力度,对乘车风险提醒到位;有效利用客流监测系统,根据客流预警,快速启动应对措施。同时对列车运行图进行合理优化。由于 FAO 系统根据计划时间自动开关门、发车,无法识别乘客冲门行为,因此编制列车运行图时应全面考虑行车间隔、停站和换乘时间等参数设置。此外,针对 FAO 线路停车场的特殊性,需按照正线管理方法对停车场内 FAO 区域实施严格封闭管理,确保城市轨道交通运营安全。

4 结语

FAO 系统的运用提高了城市轨道交通的运营效率和乘客服务品质,同时也带来了新运营风险。例如,传统司机的部分职能由系统、调度和站务人员代替,而原本属于司机岗位的风险亦转移到了调度和站务岗位。本文分析了 FAO 线路设备设施及行车组织的差异性,并结合实际运营数据对列车运

(上接第 148 页)

参照南宁市工资收入水平,安检判图人员税前工资约 3 500 元/月,公司实际支出成本约 5 000 元/月(包含五险一金及相应福利),则 1 名员工工资支出成本为 6 万元/年。据统计,12 名员工可节约的工资支出成本为 72 万元/年,约需 3 年可收回成本。

传统判图员工作时长、判图强度大、易受干扰、视觉易疲劳,且判图准确度随工作时间和强度下降。基于智能分析的安检智能集中判图系统不仅可以减少企业生产成本,而且还能提高员工判图效率和准确率,从而保证城市轨道交通的正常运行。

3 结语

根据城市轨道交通线网的特点,选取何种安检智能集中判图方案,对整个轨道交通线网安检系统的建设规划起到引导性作用。本文提出的安检智能集中判图方案在提高工作效率的同时,还可减少判图员数量和减轻判图员工作强度。特别是随着智能识图技术的不断发展,未来所有判图任务均可实现自主判图,彻底实现安检的智慧化。

行作业风险进行了简要分析。运营单位需根据风险因素从人员、设备和管理等方面采取有效管控措施,在发挥 FAO 功能的同时,保障运营安全^[3]。

参考文献

[1] 罗仁士. 列车驾驶容错控制技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
LUO Renshi. Fault-tolerant control technology research of automatic train operation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

[2] 徐田坤. 城市轨道交通网络运营安全风险理论及方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
XU Tiankun. Study on risk assessment theory and methods on urban rail transit network operation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

[3] 刘懿文, 朱琳, 刘志钢, 等. 基于贝叶斯网络的城市轨道交通运营安全风险及防控研究[J]. 都市轨道交通, 2022, 35(2): 162.
LIU Yiwen, ZHU Lin, LIU Zhigang, et al. Risk analysis, prevention and control of urban rail transit operation system based on Bayesian network [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(2): 162.

(收稿日期:2022-10-27)

参考文献

[1] 赫楠, 张在龙, 马卫东, 等. 城市轨道交通智慧安检系统的构建[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 214.
HE Nan, ZHANG Zailong, MA Weidong, et al. Construction of smart safety inspection system in urban rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 214.

[2] 陈宝军, 汤曼安. 智慧安检在重庆单轨 3 号线上的应用[J]. 现代信息科技, 2021, 5(22): 109.
CHEN Baojun, TANG Min'an. Application of intelligent security inspection in Chongqing Monorail Line 3 [J]. Modern Information Technology, 2021, 5(22): 109.

[3] 常青青, 陈嘉敏, 李维姣. 城市轨道交通安检中基于 X 射线图像的危险品识别技术研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 205.
CHANG Qingqing, CHEN Jiamin, LI Weijiao. Dangerous goods detection technology based on X-ray images in urban rail transit security inspection [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 205.

[4] 张森, 于敏. 基于网络化集中判图的城市轨道交通新安检系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(7): 174.
ZHANG Sen, YU Min. Design of new security inspection system for urban rail transit based on network centralized map judgment [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 174.

(收稿日期:2022-09-19)