

城市轨道交通全自动运行线路运营安全风险分级管控

张振华

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//工程师)

摘要 为响应我国对城市轨道交通运营安全风险分级管控的要求,适应城市轨道交通FAO(全自动运行)系统的快速发展,结合FAO系统的特点,根据安全风险辨识、安全风险评价、安全风险分级管控的实施步骤,建立FAO系统安全风险分级管控体系,提升FAO系统的风险辨识、评价及管控能力,同时为隐患排查治理工作打好基础,保障城市轨道交通运营安全。

关键词 城市轨道交通;全自动运行线路;运营安全风险;分级管控

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.005

Hierarchical Management and Control of Operation Safety Risks of Urban Rail Transit FAO Lines

ZHANG Zhenhua

Abstract In order to respond to China's requirements for hierarchical management and control of urban rail transit operation safety risks, and to adapt to the rapid development of urban rail transit FAO (fully automatic operation) system, considering the characteristics of FAO system, according to the implementation steps of safety risk identification, evaluation, and hierarchical management and control, the FAO system safety risk hierarchical management and control system is established, and the risk identification, evaluation, and management and control capabilities of the FAO system are improved. At the same time, a good foundation for the investigation and treatment of hidden dangers will be laid, ensuring the operation safety of urban rail transit.

Key words urban rail transit; FAO line; operation safety risk; hierarchical management and control

Author's address Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

我国城市轨道交通FAO(全自动运行)线路的安全风险管控工作现阶段依然处于探索阶段,为规范城市轨道交通运营安全风险分级管控和隐患排

查治理工作,全面提升安全生产整体预控能力,交通运输部印发交运规[2019]7号《城市轨道交通运营安全风险分级管控和隐患排查治理管理办法》^[1],以提升安全管理水平,防范事故发生,保障人民群众生命财产安全。城市轨道交通运营安全风险分级管控工作和隐患排查治理工作紧密衔接、相互依托,本文仅探讨城市轨道交通运营安全风险分级管控工作的相关内容。

1 FAO系统运营安全风险分级管控概述

1.1 FAO系统的特点

FAO系统是基于现代计算机、通信、控制及系统集成等技术实现列车全过程自动化运行的新一代城市轨道交通系统,主要特点如下:

1) 列车FAO:列车司机执行的工作完全由自动化、高度集中控制的列车运行系统完成。列车具有常规运行、降级运行及灾害工况等多种运行模式。

2) 车站FAO:车站设备可按时刻表自动进行集中控制与远程测试,实现车站机电设备一体化控制,达到车站的自动/远程开站与关站。

3) 新设备、新技术:车辆、信号、通信、综合监控、站台门等核心专业的大量技术需升级,如增加客运调度和车辆调度工作站、SPKS(人员防护开关)、休眠唤醒模块、障碍物检测模块等。

4) 岗位职责变化:随着自动化设备的应用、系统的升级,部分作业完成对象发生变化,如中央调度员职责扩充,可直接控制列车运行并与车上乘客直接交流;列车上的值守人员负责乘客服务及应急处置等。

5) 业务流程改变:岗位融合、职责调整后,业务流程随之变化,如进入全自动区需激活SPKS,列车故障时人员登乘等。

1.2 运营安全风险分级管控的概念

运营安全风险分级管控是对城市轨道交通运营过程中存在的安全生产风险点进行辨识、评估,

确定风险等级,采取相应管控措施,实施动态管理的活动(见图1)。

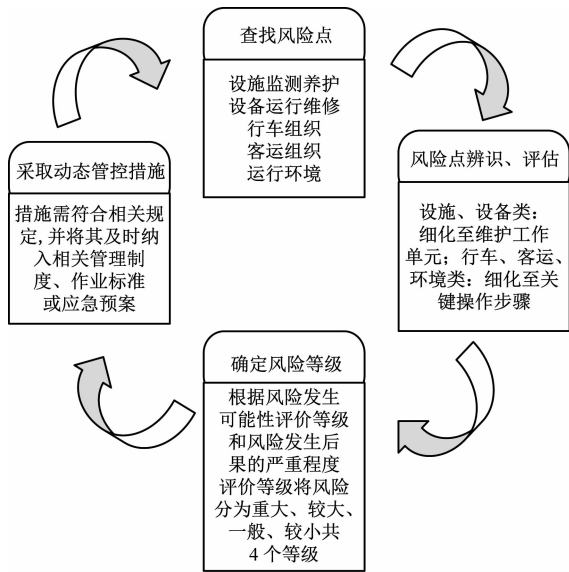


图1 运营安全风险分级管控的主要内容
Fig. 1 Main contents of hierarchical management and control of operation safety risks

1.3 FAO 系统运营安全风险分级管控内容

FAO 系统安全风险管控工作应在 CBTC(基于通信的列车控制)系统安全风险管控工作的基础上,分析 FAO 系统的变化,梳理其主要风险点并进行分级管控。FAO 系统的分析内容如下:

- 1) CBTC 系统运营管理经验:FAO 系统与 CBTC 系统技术相似性较高,管理模式差异较小,因此,CBTC 系统风险管控工作的思路和方法等是进行 FAO 系统安全风险管控工作的基础。
- 2) 技术分析:主要包括设备及系统功能变化分析。FAO 系统在 CBTC 系统技术上进行了迭代升级,同时造成某些功能的增加或消失,也意味着风险点发生了变化。
- 3) 管理分析:主要包括业务流程分析和岗位融合。FAO 系统的技术升级带来业务流程的优化和岗位职责的融合,因此,对调度员、多职能队员等重点岗位职责及业务流程的分析非常重要。

2 FAO 系统运营安全风险辨识

安全风险辨识是对系统可能存在风险进行发现、确认和描述的过程。安全风险辨识是风险管控工作的基础,辨识的系统性、完整性、合理性等直接

影响安全风险管控工作的成效。

2.1 FAO 系统运营安全风险辨识的依据

- 1) 相关法律、法规、部门规章、技术规范等指导性文件。如交运规[2019]7 号中明确了安全风险的分类、辨识的依据、辨识的时机等要求。
- 2) 运营筹备文件^[2]。运营筹备过程中形成的部分文件是安全风险辨识的重要依据,如:安全限制条件清单明确了设施设备类存在的限制条件等;场景说明书明确了不同场景下的操作流程、设备功能要求等;系统设计文件、设备操作手册明确了系统或设备的组成及操作注意事项等。
- 3) 运营管理类技术文本。检修规程、作业规范、应急预案等各类技术文本作为日常工作的规范要求,明确了不同情况下的操作要求,包含安全风险辨识等相关内容。
- 4) 其他线路运营经验。既有 FAO 线路辨识的风险点、运营中的突发险性事件及其事故所反映的风险点等,亦是重要的参考内容。

2.2 FAO 系统主要安全风险点分析

基于 FAO 系统在新设备、新技术上的应用,结合岗位的融合,作业流程的优化等,FAO 线路较传统线路会增加相应风险点,同时部分风险点的安全风险等级会发生变化。其主要风险点分析见表 1。

实际操作中,应根据 FAO 线路设施设备配置及运行环境、安全管理水平、相关经验等,对风险点以及可能产生的安全风险作进一步补充及细化。

3 FAO 系统运营安全风险评价

安全风险评价是对辨识出的风险,按评价标准,对风险发生的可能性及后果的严重程度进行估计,确定风险等级以及是否可接受或可容许。

3.1 安全风险评价方法

安全风险评价方法包括定性、定量及半定性半定量等各类方法。交运规[2019]7 号推荐采用的风险辨识方法内容相对简单、便于理解,但存在分级依据不清晰、标准不易统一、轨道交通行业适配性较差等缺陷。

考虑到 FAO 系统自动化水平较高,在设施设备状态监测、数据采集、大数据分析等方面更加有利,因此建议采用更加系统、科学的标准评价风险,这对后续风险数据库建设、数据管理及数据挖掘,以及实现风险预测、安全预警、动态管控等至关重要。同时还应考虑城市轨道交通特性,增加相关服务指

表 1 FAO 系统主要风险点分析

Tab.1 Analysis of main risk points of FAO system

业务板块	设施、设备或功能变化	安全风险等级变化	主要风险点
设施监测 养护	新增全自动区、相关设施设备与功能，如列车登乘通道、列车登乘平台、全自动区隔离装置等	FAO 系统对于行车过程中线路状态的监测及突发事件的反应滞后，因此桥梁、隧道、轨道、路基等相应的安全风险等级提升	车辆段、停车场 FAO 区列车登乘过程中，列车可能动车造成人员跌落；线路上异物侵限可能导致列车撞击，造成中断行车事故等
设备运行 维修	车辆、信号、通信、综合监控、站台门等核心专业的设备及功能迭代升级，如车门对位隔离、障碍物探测、SPKS、车载 CCTV（闭路电视）、车载 IPH（紧急对讲电话）、列车远程控制、列车休眠唤醒、车门和站台门间隙探测等	FAO 系统对核心专业的依赖性增加，因此核心专业设备故障的相应风险等级提升	车门对位隔离故障可能导致夹人动车；列车障碍物探测功能失效可能造成列车撞击脱轨；车载 CCTV 或 IPH 等设备故障可能导致车厢状态失去监控，影响应急处置；列车唤醒失败可能影响正常运营等
行车组织	行车专业相关设备、功能变化，包括增设客运调度工作站、车辆调度工作站、车辆远程控制功能、远程广播、远程监控等	FAO 系统需调度人员通过远程监控列车状态进行安全防护、远程广播、远程紧制等操作，相应安全风险等级提升	列车远程控制功能故障可能造成列车失控导致列车撞击；列车 IPH 故障未及时应答可能造成车上乘客恐慌等
客运组织	客运专业相关设备、功能变化，包括自动开关站、车门和站台门对位隔离、卷帘门红外探测装置等	FAO 系统对于自动开关站时的监护、车门或站台门夹人夹物的处置等要求较高，相应安全风险等级提升	自动开关站和关站时未进行设备监控导致乘客受伤；车门、站台门夹人处置不当导致乘客伤亡等
运行环境	运行环境相关设备、功能变化，包括新增列车驾驶室隔断装置等	FAO 系统对于保护区侵限后的应急处置相对滞后，重大自然灾害发生时现场救援较弱，相应安全风险等级提升	列车人工驾驶时驾驶室隔断装置不能有效防止乘客干扰；地铁保护区异物侵限可能导致列车撞击造成行车中断等

标,提升评价方法的行业适用性,从而优化安全风险评价体系。

3.2 FAO 系统运营安全风险评价设计

基于科学性、合理性和可操作性,结合南宁轨道交通 5 号线、苏州轨道交通 5 号线等 FAO 线路在安全风险管控工作中的成功经验,建议采用风险矩阵法进行 FAO 系统的安全风险评价。

安全风险发生的可能性主要以该风险在一定周期内发生的次数进行衡量,可按表 2 中的相关指标进行设计。安全风险发生后的后果严重程度主要以该风险发生后所造成的人员伤亡情况、财产损失及服务影响等指标进行衡量,可按表 3 中相关指标进行设计。

在确定安全风险等级的过程中,企业应依据相关法律法规、当地政策、行业经验,以及企业内部对风险的接受度等要求,结合表 2—表 3 中的判断标准,梳理适用于本企业在不同 FAO 系统安全风险事故发生时的可能性与严重程度,从而形成风险矩阵。安全风险矩阵的示意图见图 2。

4 FAO 系统运营安全风险分级管控

安全风险控制是在风险辨识和风险评价的基础上做出的风险对策措施,目的是消灭或减少风险

表 2 FAO 系统运营安全风险发生可能性的判断标准

Tab.2 Judgment criteria for the likelihood of operation safety risk of FAO system

评价等级	等级描述	发生次数/(次/年)
1	每周发生数次或更多	≥100.0
2	每月发生数次	10.0 ~ <100.0
3	每年发生数次	1.0 ~ <10.0
4	10 年内发生数次	0.1 ~ <1.0
5	运营以来发生过 1 次	$1 \times 10^{-2} \sim <1 \times 10^{-1}$
6	不大可能出现	$1 \times 10^{-3} \sim <1 \times 10^{-2}$
7	非常不可能出现	$1 \times 10^{-4} \sim <1 \times 10^{-3}$
8	发生可能性极少	$1 \times 10^{-5} \sim <1 \times 10^{-4}$
9	不可能发生	$1 \times 10^{-6} \sim <1 \times 10^{-5}$
10	难以置信的	$<1 \times 10^{-6}$

事件发生的各种可能性,或降低风险事件发生时造成的损失,使其满足安全需求。

4.1 安全风险分级管控的要求

对于不可承受的安全风险,必须立即采取措施;对于可承受的安全危险,不必采取措施,但需要监测来确保控制措施的有效性得以维持。在选择管控措施时,应采用成本-效益分析和成本-效果分析方法。安全风险管控时,可采用图 3 所示的优先顺序进行措施的选择。

表 3 FAO 系统运营安全风险发生后果的严重程度判断标准

Tab.3 Judgment criteria for the severity of the consequences of FAO system operation safety risks

评价等级	等级描述	人员伤亡	直接经济损失/万元	中断服务时长/h
A	微不足道的事故	无伤亡	0	<0.5
B	极轻微事故	可能有轻微受伤	<100	0.5 ~ <2.0
C	轻微事故	重伤 1~2 人,轻伤<3 人	100 ~ <500	2.0 ~ <6.0
D	一般事故	死亡 1~2 人,重伤 3~9 人,轻伤 3~49 人	500 ~ <1 000	6.0 ~ <12.0
E	较大事故	死亡 3~9 人,重伤 10~49 人,轻伤≥50 人	1 000 ~ <5 000	12.0 ~ <24.0
F	重大事故	死亡 10~29 人,重伤 50~99 人	5 000 ~ <10 000	24.0 ~ <48.0
G	特别重大事故	死亡≥30 人,重伤≥100 人	≥10 000	≥48.0

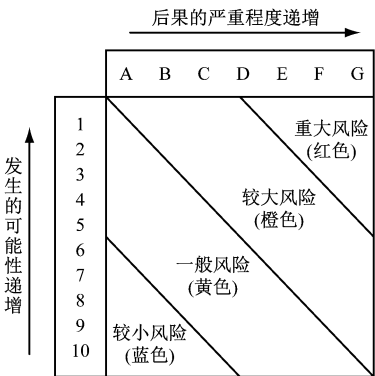


图 2 FAO 系统运营安全风险矩阵示意图

Fig.2 Diagram of FAO system operation safety risk matrix

4.2 FAO 系统运营安全风险分级管控措施的制定

FAO 系统安全风险管控措施的制定应在前期风险评价并确定风险等级的基础上进行。管控措

施应充分考虑可行性、可靠性、先进性、安全性、经济合理、技术保证等,主要包括工程技术措施、管理措施、培训教育措施、个体防护措施、应急处置措施^[3]等。FAO 系统主要安全风险管控措施见表 4。

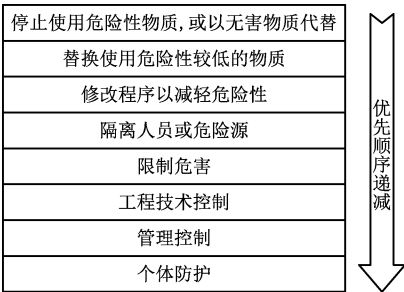


图 3 FAO 系统运营安全风险管控措施选择

Fig.3 Selection of FAO system operation safety risk management and control measures

表 4 FAO 系统的主要安全风险管控措施

Tab.4 Main safety risk management and control measures of FAO system

名称	内容	管控措施
工程技术措施	消除、替代、封闭、隔离、移开或改变方向等	增设报警监测装置或对既有装置功能进行升级,如增设区间水位报警装置、卷帘门红外夹人探测装置、关键部位 CCTV 监控装置等,将被动式探测设备升级为主动式探测设备等
管理措施	制定并实施作业程序、安全许可、安全操作规程、监测监控、警报和警示信号、安全互助、风险转移等	制定 FAO 系统相关的规章制度、操作手册等,如 FAO 系统行车组织规则、FAO 系统调度手册、多职能岗位操作手册等
培训教育措施	安全生产相关法律法规、安全知识、员工三级培训、继续教育、职业道德教育、心理辅导、典型案例警示教育等	加强 FAO 系统相关专业知识教育培训,如车辆、信号、通信、综合监控、站台门等核心专业的知识技能培训,FAO 线路事故案例研究等
个体防护措施	按规定佩戴防护用具等	与传统线路相似,如佩戴防护服、耳塞、听力防护罩、防护眼镜、防护手套、绝缘鞋、呼吸器等
应急措施	制定应急管理体系,加强 FAO 系统应急处置能力等	制定 FAO 系统应急预案体系,尤其是变化的作业流程等;加强岗位演练,尤其是调度、多职能队伍等 FAO 系统变化较大的岗位,以提升应急处置能力等

经过对 FAO 系统的风险辨识、风险评价、风险管控等一系列操作,形成 FAO 系统风险数据库。风险数据库主要包括风险编号、业务板块、风险点、风

险描述、风险等级、管控措施、责任部门及责任岗位、责任人等。企业在实际操作过程中应注意数据的编码及分类汇总,便于后续在风险数据库管理信

息化系统^[4]建立过程中可以实现数据的友好转换,提升管理效率,加强管理水平。

5 结语

FAO 系统运营安全风险分级管控是一项持续性工作,涉及运营生产的各个专业,整个过程需要全员参与。可通过不断调整、优化及完善,使之更接近风险管控目标,满足国家不断发展的安全要求。

随着技术的进步,FAO 系统安全风险管控工作应朝着数字化、信息化、智慧化方向迈进。在风险点辨识阶段,可增加自动识别、自动检测等技术作为辅助;在安全风险评价阶段,可利用大数据分析、数据仿真模拟等方法细化评价指标;在安全风险管控阶段,可采用智能监控、行为监测、智慧教育、预防预警等手段提升管控水平,有效保障城市轨道交通安全运营。

参考文献

[1] 交通运输部. 交通运输部关于印发《城市轨道交通运营安全风险分级管控和隐患排查治理管理办法》的通知:交运规[2019] 7号[EB/OL]. (2019-08-02)[2022-05-20]. https://www.mot.gov.cn/zhengcejiedu/fxfjgkhyhpczl/xiangguanzhengce/201908/t20190802_3233392.html.

(上接第 22 页)

ZHOU Lin, ZHAO Jie, FENG Guangfei. Equipment fault prediction and health management technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015.

[7] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148.

GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Study and applications of analytic hierarchy process[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148.

[8] 陈盖凯, 张红斌, 赵高峰, 等. 基于熵权的航空装备维修费用军事效益评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(5): 17.

CHEN Gaikai, ZHANG Hongbin, ZHAO Gaofeng, et al. Evaluate method research of aviation equipment's maintain expenses military efficiency to according to entropy weight[J]. Fire Control & Command Control, 2018, 43(5): 17.

[9] 陈伟, 夏建华. 综合主、客观权重信息的最优组合赋权方法

Ministry of Transport of the People's Republic of China. Notice of Ministry of Transport on issuing Administrative Measures on Operation Safety Risk Hierarchical Management and Control and Hidden Danger Detection and Treatment in Urban Rail Transit: JYC [2019] No. 7[EB/OL]. (2019-08-02)[2022-05-20]. https://www.mot.gov.cn/zhengcejiedu/fxfjgkhyhpczl/xiangguanzhengce/201908/t20190802_3233392.html.

[2] 陈文彬. 跨坐单轨制式线路 GOA4 运营安全风险防控研究[J]. 隧道与轨道交通, 2021(增刊1): 101.

CHEN Wenbin. Research on safety risk prevention and control of straddle monorail line operating in GOA4 mode[J]. Tunnel and Rail Transit, 2021(S1): 101.

[3] 马能艺. 城市轨道交通全自动运行线路在无人值守模式下的应急处置[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 82.

MA Nengyi. Emergency response of urban rail transit unattended fully automatic operation (FAO) train[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 82.

[4] 吴强, 刘志钢, 钟晓, 等. 上海地铁运营安全双重预防机制建设的思考[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(增刊1): 54.

WU Qiang, LIU Zhigang, ZHONG Xiao, et al. Thoughts on the construction of dual preventive mechanism for Shanghai Metro operation safety[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(S1): 54.

(收稿日期:2022-09-15)

[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(1): 17.

CHEN Wei, XIA Jianhua. An optimal weights combination method considering both subjective and objective weight information[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(1): 17.

[10] 李硕, 徐国平, 蔡兴雨, 等. 雷达装备健康状态评价方法研究[J]. 火控雷达技术, 2017, 46(1): 12.

LI Shuo, XU Guoping, CAI Xingyu, et al. Evaluation method research on radar health status[J]. Fire Control Radar Technology, 2017, 46(1): 12.

[11] 徐廷学, 李志强, 顾钧元, 等. 基于多状态贝叶斯网络的导弹质量状态评估[J]. 兵工学报, 2018, 39(2): 391.

XU Tingxue, LI Zhiqiang, GU Junyuan, et al. Missile condition assessment based on multi-state Bayesian network[J]. Acta Armamentarii, 2018, 39(2): 391.

(收稿日期:2022-09-28)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com