

# 地铁全自动运行系统运营场景的几点探讨

朱翔<sup>1</sup> 陈丽君<sup>2</sup>

(1. 上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海;

2. 上海富欣智能交通控制有限公司, 201203, 上海//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 目前,国内地铁线路建设越来越多地采用全自动运行(FAO)系统。讨论了确定FAO系统运营场景的必要性及其定义的几点考量,提出了FAO系统的运营场景定义需确保完整性,并需兼顾运营安全以及考虑运营的本质需求(包括功能需求、安全需求和性能需求)的观点。介绍了太原轨道交通2号线项目新型运营场景设计与构建的应用情况。

**关键词** 地铁;全自动运行系统;运营场景;运营安全

**中图分类号** U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.047

## Research of Operation Scenarios for Metro Fully Automatic Operation System

ZHU Xiang, CHEN Lijun

**Abstract** More and more metro railway construction in China adopt fully automatic operation (FAO) system. In this paper, the application necessity and definition of the operation scenario for FAO system are discussed. It is proposed that the definition of FAO system operation scenario should ensure the integrity, take into account of the operation safety and consider the essential requirements, such as the function requirements, safety requirements and performance requirements. Finally, the design and application of new operation scenarios in Taiyuan rail transit Line 2 project are introduced.

**Key words** metro; FAO system; operation scenario; operation safety

**First-author's address** Shanghai Shentong Rail Transit Research Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

目前,国内的地铁线路建设越来越多地采用全自动运行(FAO)系统。为此,本文对地铁的FAO系统运营场景作几点探讨。

## 1 城市轨道交通FAO系统的现状

FAO系统是基于先进的通信、计算机、控制和系统集成等技术来实现列车运行全过程的自动化,以提升运营服务水平、运营安全与效率为目的的新一代的城市轨道交通运行系统<sup>[1]</sup>。

一代的城市轨道交通运行系统<sup>[1]</sup>。

《城市轨道交通全自动运行系统技术指南(试行)》<sup>[2]</sup>,对轨道交通线路自动化运行程度定义了5个等级,从低至高依次为GoA0至GoA4(其中GoA代表自动控制等级):GoA0为目视下行车模式;GoA1为非自动列车运行,由司机控制列车的起动和停车、车门的操作以及紧急情况下的处理,在该模式下有列车自动防护(ATP)装置;GoA2为自动列车运行,列车的起动、停车与区间运营都是自动控制的,部分需要司机确认列车起动,车门开关可人工或自动实现,紧急情况下需要人工介入;GoA3为有人值守下的自动化运行,无需司机,但需要乘务员干预车门开、关,甚至处理紧急情况;GoA4为无人值守下的自动化运行,所有运营场景和紧急处理场景全部实现自动化,无需人工干预。

FAO系统包含自动化等级GoA3和GoA4,即FAO系统运行模式包括有人值守的自动化运行和无人值守的自动化运行。

FAO系统具有高安全性、高可靠性、高灵活性、提高服务质量、优化人力配置以及降低运营成本等诸多优势,我国城市轨道交通行业已经掀起一轮FAO系统的建设热潮。据统计,截止2020年12月底,中国内地已运营和正在建设地铁FAO系统的有北京、上海、深圳、广州、武汉、成都、郑州、太原等26座城市,共计49条线路,总长达1 774.77 km。从自动化运行程度最高等级的GoA4来看,中国内地已运营实现了GoA4线路功能的城市有北京、上海、广州、成都、太原等5座,部分城市在初期运营中采用了有人值守的模式。预计到2023年,我国将有19座城市开通FAO线路,共计将达到40条线路,运营里程将突破1 200 km,运营车站可达到861座。

据预测,未来全球75%的新建地铁线路以及40%的既有地铁线路改造将全部采用完全自动驾驶技术。据UITP(国际公共交通协会)数据统计,到

2030年,全球城市轨道交通FAO线路的长度较2018年底将增加3倍多,其中大部分增长源于中国。由此可见,未来10年将是我国城市轨道交通FAO系统迎来全面爆发的黄金发展阶段。

## 2 对地铁FAO系统场景的几点探讨

地铁FAO线路的建设工程是需要各核心机电子系统(包括车辆、信号、通信、综合监控、站台门等)协调配合、团队紧密协作才能实现的安全、高效的系统工程。

### 2.1 制定FAO系统运营场景的必要性

对于采用传统GoA2的线路,在建设过程中几乎没有提及运营场景,往往根据标准来进行建设;通常,标准都是由专业技术人员编写,和运营的直接需求不直接相关。因为采用GoA2的线路配置了中央调度员、车站值班员和司机等,当列车出现故障或应急事件时,相关人员会及时进行处理,设备的不足可由人(司机)来补足,从而确保运营正常。随着采用GoA4的全自动线路的发展,列车上不再配置随车人员,这就提出了通过运营场景来指导设计的新理念,其深层次的原因在于设计人员并不能充分理解运营人员的日常作业方式、故障造成的后果和运营人员的反应、运营人员对产生后果的接受度等。因此,由懂运营的相关人员直接参与编写的运营场景对于GoA4的全自动线路的建设是非常必要的。

### 2.2 FAO系统运营场景的定义

运营场景是指跟行车有关的所有作业的集合。运营场景必须体现完整性,所有与行车有关的作业都不能遗漏,应从运营场景推导出设备所要求的功能。若功能不能保证实现所有与行车相关的运营场景,则需要制定补充的运营作业流程,由FAO系统和工作人员共同保证与所有行车有关的作业都能在运营过程中得以顺利完成。

运营场景是运营需求的核心组成部分,是FAO线路的核心,是项目及工程实施的纲领。在项目前期就应开展运营场景的策划,并形成项目特定的运营场景。对于GoA4 FAO线路而言,由于不再单独配置司机,因而不仅需要考虑FAO系统的正常运营,还要考虑在故障处理、应急处置等方面FAO系统替代司机的职能。在FAO线路建设时,应更加重视与运行效率、运营质量直接相关的关键运营场景,尤其是故障处理、应急处置场景。运营场景的

定义除了从内容上需要包含所有与行车相关的作业,还需要从以下几个角度进行考量。

#### 2.2.1 运营场景的定义需要考虑运营安全

运营场景的定义需要考虑运营安全。例如:某列车发生故障,但仍然能够动车,当处于非高峰时刻,通常会对该列车进行清客,将列车疏散至存车线或回库维修;但在高峰或大客流时,维持运营才可能是最安全的措施,而不是在某个车站进行清客,因为清客涉及到乘客的高度积聚,容易发生次生事故。

另外,对于FAO的核心系统而言,无论在系统中所采用的部件如何可靠,其硬件的随机故障是不可避免的,当故障发生时,列车会停下来以确保安全。实际上从运营安全的角度来看,当FAO系统发生某类故障时可能会要求切除信号,甚至区间救援,此时由人工保证运营安全的风险是比较高的。换句话说,为适应FAO的GoA4要求,信号系统的可靠性一定要很高,可靠性也是实现运营安全的极其重要的一部分。诸如此类的故障对运营干扰很大,反过来对核心系统提出了更高的可靠性要求或新的功能要求。因此,从某种意义上讲,可靠性也是运营需求的一种表现形式。

从运营安全角度来看,FAO项目中PIS(乘客信息系统)的无线通信、车载IPH(车厢应急对讲电话)、车上CCTV(闭路电视)、车上PIS、车地无线传输等都还有提高的空间,其对运营安全都可以做贡献。

#### 2.2.2 运营场景的定义需要抓住运营的本质需求

运营场景编写的主体参与人员不仅应包含建设单位,还必须有懂运营的相关人员和设备供应商参与,以充分体现运营的需求、运营的实际情况,以及设备功能是否能够满足运营需要。运营场景识别清楚后,导出设备的功能和相应的运营作业流程。运营场景是对建设项目的补充,通过运营场景可导出各核心子系统所需要实现的功能。功能是为运营场景服务的,且运营场景着眼点在于是否具备某项功能,但不宜指定功能的具体实现方式;当功能不能满足运营场景的需求时,则需要定义相关的操作流程、制定作业指导书和行车管理办法,使其与系统功能相辅相成,最终满足运营场景的需求。

运营场景需要具有普适性、独立性、公正性、可持续改进等特点,从运营场景导出功能需求,并在项目中进行持续检验;若需要改进,再更新运营需

求,经过持续更新的运营需求才是最好的运营场景。现以下实例来进行分析。

1) 目前很多 FAO 项目都设置了车辆调的岗位,但从运营的角度来看,调度指挥具有唯一性的特点;从行车的角度看,不能有两种调度同时指挥行车。车辆信息的确需要传给行车调度来辅助组织行车,但可作为行车调度的补充信息,而不应设置单独的 1 个调度岗位。

2) 在列车唤醒过程中,车辆本身的牵引/制动的唤醒测试已经很全面,唯一不能做的是闸瓦状态的回采。目前,很多 FAO 项目都需要进行唤醒动态测试,但实际上即使经过“阶跃方式的动态测试”(俗称“点动”),也不能发现众多闸瓦中未回采的闸瓦,所以即使做了动态测试也无用。若用“发车测试”替代“阶跃方式的动态测试”,则可避免每日进行阶跃方式“带闸跑”对制动闸瓦和车轮轮缘造成的不可逆的物理擦伤。发车测试的优势在于可实时监督牵引力指令和施加效果的偏差,在规定的距离内读到唤醒检验应答器,且列车没有出现牵引受阻,方才成功。此过程同时完成了电制动精度的检验。

3) 远程紧急制动的应用场景尚应进一步进行细化,需要明确需要执行单车远程紧急制动,甚至全线列车紧急制动的情况(如地震灾害、发生恐怖袭击、配合公安行动等)。

4) 目前车站火灾报警为全站所有区域的火灾报警,其范围过大,因此可考虑定义行车有关区域的报警和行车无关区域的报警,且火灾报警有一定的误报率,若不经人工确认直接联动,则影响面过大。

除了运营场景所导出的功能需求以外,采用 GoA4 的 FAO 线路还需要充分考虑安全需求和性能需求。在安全需求的考虑上,需要打破专业之间的界限。例如,对于信号系统控制列车,当发生故障时根据故障-安全的原则,信号系统会对列车施加紧急制动(EB),但对于车辆是否能够正确地实施到气制动环节、保证给出相应的制动率并未进行闭环检测,即使车辆的 EB 是按照 SIL(安全完整性等级)4 要求实现的,但从信号到车辆的中间环节不一定能保证实现 SIL4 的要求。因此,各专业之间应更加紧密配合,从 FAO 系统的角度去保证安全。

### 2.2.3 运营场景的定义可以分地域考虑

运营场景的定义可以分地域进行,例如可分为

车辆基地、正线、控制中心和车站等地域。对于不同地点的同一个场景,由于地域的不同,所导出的功能和运营作业流程可能亦不同。例如对列车唤醒的发车测试,在正线休眠的列车已在早上出车时做过发车测试,则在正线唤醒投运时不必再做。

## 3 太原轨道交通 2 号线 FAO 系统场景的实践

太原轨道交通 2 号线(以下简为“2 号线”)采用了 GoA4 的 FAO 系统,其运营场景充分考虑了正常场景、故障场景、应急场景。正常场景是对运营过程中正常情况的场景描述,故障场景是对运营过程中发生故障情况下的场景描述,应急场景是对运营过程中应急事件发生时的场景描述。场景还根据车辆基地、正线、控制中心、车站 4 种不同地域进行了新型场景设计与构建,共计 155 个场景,做到真正站在运营的角度在前期场景设计阶段就知道如何进行 UTO(无人值守的列车全自动运行),体现了运营需求的完整性。运营场景从场景描述、基本处置程序、注意事项等入手,推导出功能需求、操作界面显示需求和接口需求,以指导设计单位、建设单位的设备招标、合同谈判、设计联络的设备功能分配或复核工作,实现对 FAO 系统的支持要求;FAO 运营场景对试运行专家评审提供了验收依据,在运营中也得到了实际的检验。2 号线 FAO 系统运营场景 6 个方面的基本内容如下:

1) 场景描述:描述该场景的使用时机。

2) 基本处置程序:描述该场景发生时的各种可能情况、工作人员的处置流程,以及系统的功能和反应。

3) 注意事项:描述该场景中工作人员或运营流程中需要特别关注的情况,以及需要注意防范的安全规则。

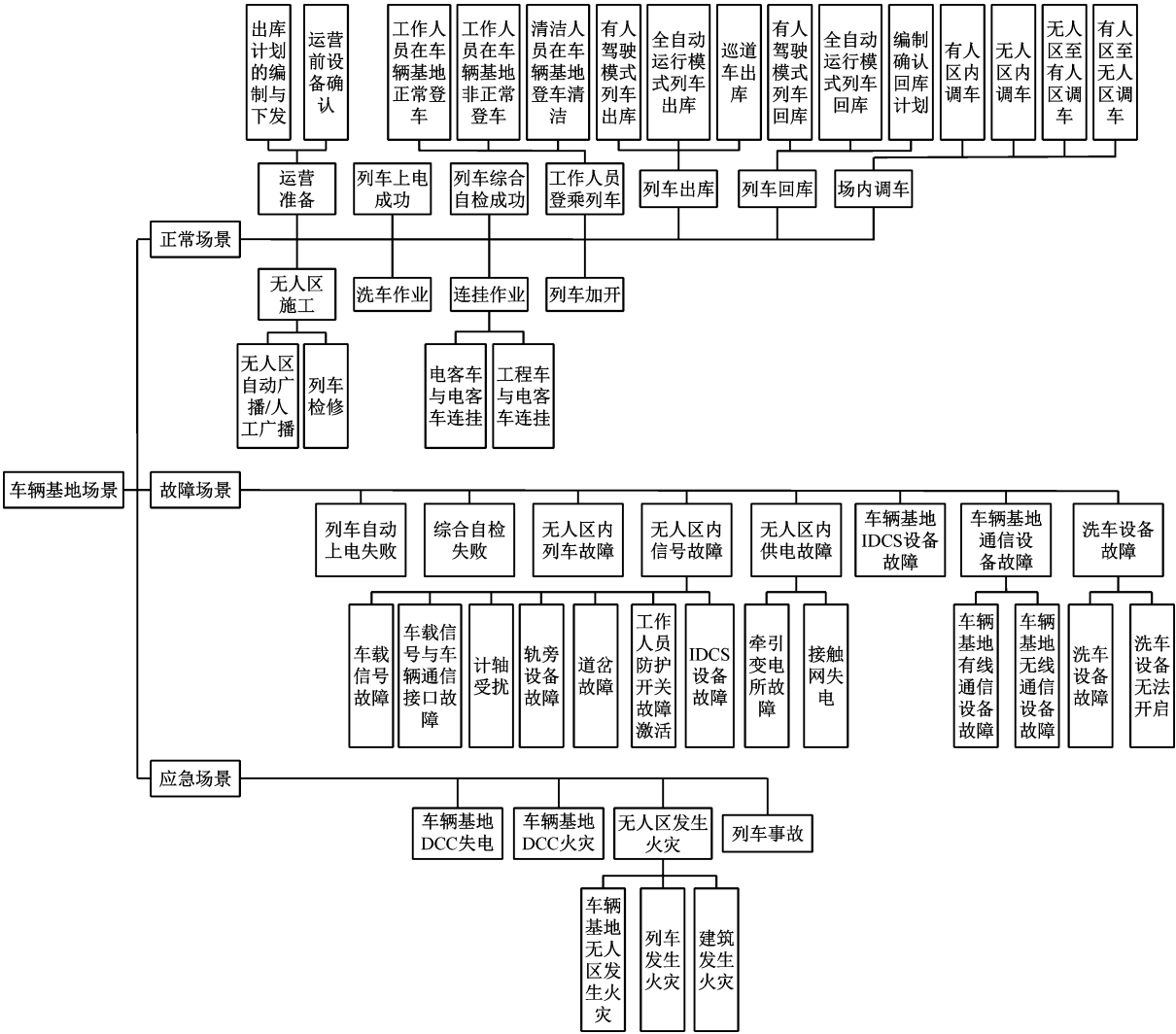
4) 功能需求:描述为实现该场景需要各核心子系统提供的功能。

5) 操作界面显示需求:描述该场景操作界面上为实现该场景所需要的命令以及所需要呈现给调度人员的状态。

6) 接口需求:描述为实现该场景需要各核心子系统之间的接口内容。

### 3.1 车辆基地场景

2 号线车辆基地场景分为正常场景、故障场景及应急场景等 3 个部分,具体场景如图 1 所示。



注:IDCS 为综合调度指挥系统;DCC 为车辆段控制中心。

图 1 2 号线车辆基地场景

Fig. 1 Depot operation scene of Line 2

3.2 车站场景

2 号线车站场景分为正常场景、故障场景及应急场景 3 个部分,具体的场景如图 2 所示。

3.3 正线场景

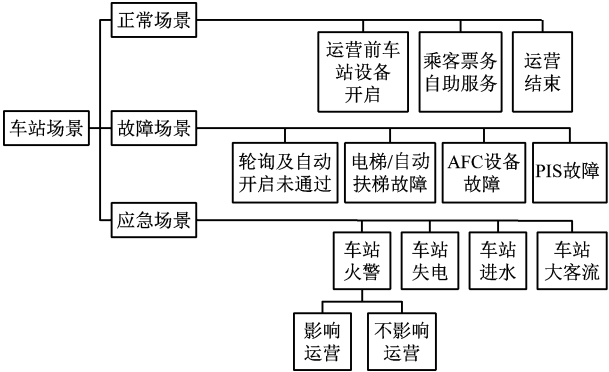
2 号线正线场景分为正常场景、故障场景及应急场景 3 个部分,具体的场景如图 3 所示。

3.4 控制中心场景

2 号线控制中心场景分为正常场景、故障场景及应急场景 3 个部分,具体的场景如图 4 所示。

4 结语

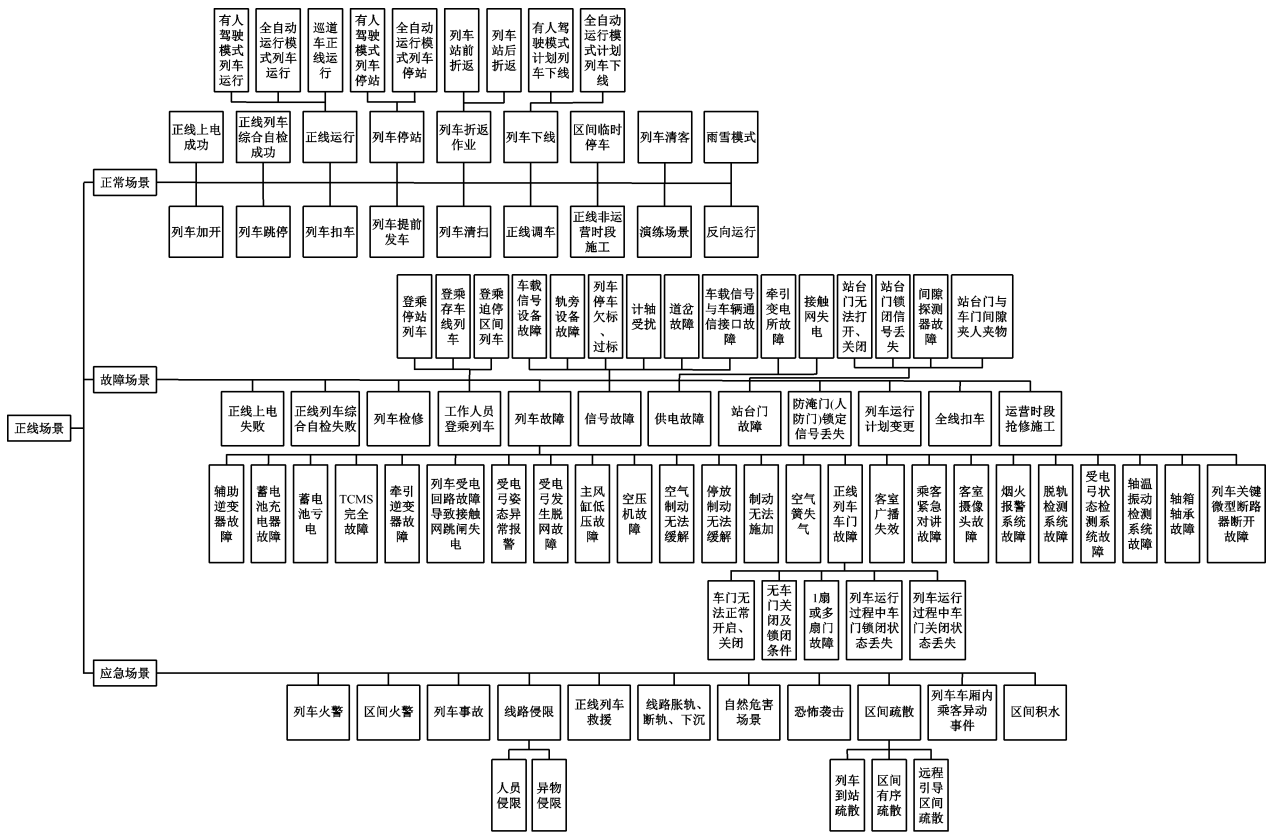
国内越来越多的地铁新建和改造线路都采用了 FAO 系统,定义 FAO 线路的运营场景是十分必



注:AFC 为自动售检票。

图 2 2 号线车站场景

Fig. 2 Station operation scene of Line 2



注:TCMS 为列车控制管理系统。

图3 2号线正线场景

Fig.3 Mainline operation scene of Line 2

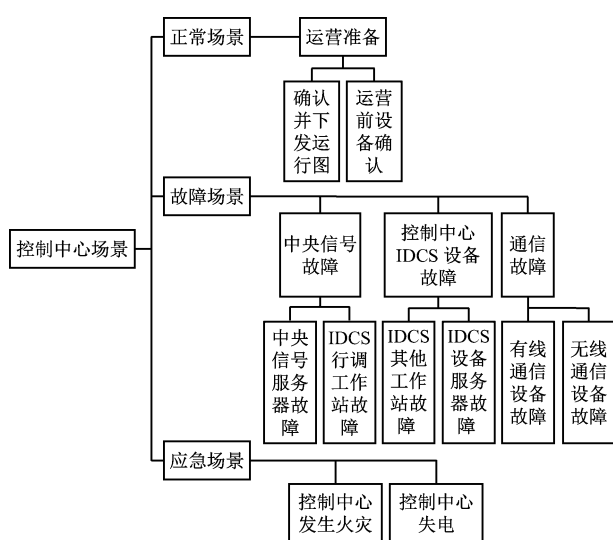


图4 2号线控制中心场景

Fig.4 Control center operation scene of Line 2

性。其可分为对车辆基地、正线、控制中心和车站等地域进行定义,同时,应兼顾运营安全、考虑运营的本质需求(包括功能需求、安全需求和性能需求)。在安全需求的考虑上,需要打破各专业之间的界限,才能真正实现 UTO 模式。

## 参考文献

- [1] 李江莉. 全自动运行城市轨道交通线路建设管理关键环节的若干思考[J]. 城市轨道交通研究, 2020(6): 5.  
LI Jiangli. Research on the key links in the construction and management of urban rail transit fully automatic operating lines[J]. Urban Mass Transit, 2020(6): 5.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行系统技术指南(试行)[Z]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.  
China Association of Metros. Technical guidelines for fully automatic operation system of urban rail transit in China[Z]. Beijing: China Association of Metros,2019.

(收稿日期:2021-05-31)

要的,与行车相关的运营场景的定义应体现其完整