

# 从运营角度谈城市轨道交通全自动运行系统设计 and 建设中的关键问题

李 冰 蔡鹏飞 谈逸文 朱 杰

(苏州市轨道交通集团有限公司运营二分公司, 215001, 苏州//第一作者, 工程师)

**摘 要** 全自动运行线路在运营上存在安全压力大、应急处置效率低、指标考核难及培训难度大等问题。以苏州轨道交通5号线为例,分析了设计和建设阶段需要重点关注的关键问题;运营单位应该深度参与线路设计建设,在项目设计初期提出各类运行场景,作为全自动运行系统功能设计的需求;对全自动运行系统的初步设计、详细设计、设备的生产和制造、国产化及调试等工作通过第三方安全评估,严格把关;在设计联络阶段,全自动运行系统的功能设计需兼顾安全与效率,RAMS指标需满足全自动运行的运营要求;在调试阶段,联调联试应全面充分,运营单位应全面深入地参与调试。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行系统;运营管理;设计和建设

**中图分类号** U231.1;U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.04.019

## Discussion on Key Issues in the Design and Construction of Urban Rail Transit FAO System from Operation Perspective

LI Bing, CAI Pengfei, TAN Yiwen, ZHU Jie

**Abstract** The problems of high safety pressure, low emergency disposal efficiency, difficult performance indicator evaluation and training exist in the operation of FAO (fully automatic operation) lines. Taking Suzhou Rail Transit Line 5 as an example, key issues requiring attention at design and construction stage are analyzed. Operation unit should be deeply involved in line design and construction, proposing various operation scenarios at primary stage of project design, as a demand of FAO system functionality design. Third party safety evaluation is carried out on aspects including primary design, detail design, equipment production and manufacture, localization and debugging of FAO system to implement the high standard. At the design contact stage, design of FAO system functionality must accommodate both safety and efficiency, and RAMS indicator must satisfy operation requirements of FAO. At debugging stage, joint debugging and testing must be comprehensive and operation units must participate deeply from

all perspective.

**Key words** urban rail transit; FAO (fully automatic operation) system; operation management; design and construction

**Author's address** Operation No.2 Branch of Suzhou Rail Transit Co., Ltd., 215001, Suzhou, China

城市轨道交通全自动运行系统具备自动化程度高、安全防护完善、冗余配置充分及中央远程功能丰富等优点,有较强的适应性和灵活性,已成为现代城市轨道交通发展的趋势。全自动运行系统在提供高效准点运营的同时,由于缺少列车司机的现场把控,对其系统功能设计和性能提出了更高的要求,也对线路的设计规划和运营管理提出了更加严苛的要求。

很多运营单位并未参与前期的设计建设,只能根据最终接管线路的实际情况来确定相应管控方法。而规划设计部门也未实现对设计可用性标准化考量,故而很多设计仍参照传统的设计理念执行,没有充分考虑运营管理的实际需求。因而,全自动运行线路设计能否有效提高其系统可用性,以及在出现严重的安全事件时能否高效应对,都将是未知数<sup>[1]</sup>。因此,在建设阶段,运营单位应该深度参与线路建设,根据运营场景需求,对相关安全设计及功能设计把关,并积极参与全自动运行系统测试,加强对全自动运行系统性能和RAMS(可靠性、可用性、可维修性和安全性)指标的验证与管理<sup>[2]</sup>。

## 1 全自动运行线路运营面临的问题

我国城市轨道交通全自动运行线路的建设刚刚起步,相关经验较少,其线路设计与运营管理仍处于摸索阶段。本文总结了新建全自动运行线路运营面临的一系列问题。

### 1.1 运行安全压力大的问题

自动化程度高,是全自动运行线路最大的优势,也是最影响运营安全的因素之一。随着城市轨道交通网络化运行的发展,运行安全问题日益突出<sup>[2]</sup>,尤其是全自动运行线路投入运营后,换乘车站的客流组织、设备设施故障后的运输组织,以及突发事件情况下的应急管理,都会给线路运营带来更大压力<sup>[3]</sup>。

### 1.2 应急处置效率低的问题

在非全自动运行线路上,司机不仅负责驾驶工作,还是现场应急处置的关键角色。当列车因故障停在区间时,司机须根据故障处理指南及时处置,以保证线路的畅通。在列车火灾、疏散、救援等运营异常场景下,司机还要兼作安全员,在第一时间进行现场确认,并进行乘客安全疏导。

在全自动运行线路上,当列车各子系统或核心设备发生故障时,由于没有司机第一时间处置,故会延长故障排除时间,扩大影响范围。

列车在全自动运行线路运行过程中,甚至会因为一些小故障的应急处置效率低而扩大故障影响范围,导致运营事故的发生。

### 1.3 指标考核难的问题

全自动运行线路的安全运行离不开设备的稳定。鉴于此,与非全自动运行系统相比,全自动运行系统的 RAMS 指标要求更高。

但从运营角度来看,全自动运行系统的 RAMS 指标并非等同于运营指标,设备故障率指标也非等同于运营早晚点指标。而合同文件通常仅会基于设备 RAMS 指标提出约束考核,却未从运营指标角度提出约束考核,从而导致在运营阶段难以根据运营指标来对相关设备厂家进行考核。

### 1.4 运营培训难度大

全自动运行系统具有全新的设计理念,其设备功能设计及人员架构都与传统模式不同。全自动运行系统要求相关工作人员具有更高的专业素养,基本要“一岗多能”。这需要运营单位对全自动运行系统上的工作人员投入更多更全面的培训。

## 2 设计和建设中的关键问题

新建全自动运行线路运营面临的问题,大多需在设计和建设阶段予以全盘考虑。经归纳总结,在全自动运行线路设计和建设阶段,运营方需重点关注的关键问题包括统筹设计运营场景、独立第三方

安全评估、功能设计需兼顾安全与效率、RAMS 指标需满足运营要求、联调联试应充分全面等。

### 2.1 统筹设计运营场景

全自动运行系统由信号、车辆、综合监控、通信等子系统组成。每个子系统的设计一定程度上都需考虑正常、非正常和紧急情况下的功能需求。

全自动运行系统的运转需各子系统紧密协作,才能发挥全自动运行的优势。在传统运行模式下,各子系统大多各自为营,无论是功能设计还是运营管理,都没有考虑各子系统之间的联动需求。因此,在建设前期,统筹设计适用于全自动运行线路运营的场景文件至关重要。

苏州轨道交通 5 号线(以下简称“5 号线”)自 2017 年开始筹备建设。在正式招标前,由运营分公司牵头完成了该线路运营场景文件的编制,并在招标时将其作为招标文件的附件,为后期全自动运行功能设计提供依据。该线路的场景目录见表 1。

由表 1 可见,整个运营场景包括列车特定功能、全自动正常运行、故障运行、应急处置、运营调整及维修施工等部分,可覆盖线路上所有的运营相关场景,能充分体现运营方对全自动运行系统的功能需求。

### 2.2 独立第三方安全评估

为了给全自动运行系统工程提供足够的安全保障,应聘请独立第三方安全认证机构,对工程项目核心系统的初步设计、详细设计,设备的生产和制造、国产化,以及全自动运行系统调试等工作进行安全评估,并适时提交安全评估报告。

5 号线项目已聘请里卡多认证(北京)有限公司为独立第三方安全认证单位。信号系统集成商作为全系统运行评估工作管理的牵头方,配合独立第三方安全认证单位,完成该线核心机电系统(含信号、车辆、综合监控、站台门、通信等专业)工程的安全评估。各子系统的安全完整性等级(SIL)如表 2、表 3、表 4 所示。

由上述表格可以看出,车辆专业的紧急制动子系统,以及信号专业的 ATP(列车自动保护)子系统、CBI(计算机联锁)子系统及计轴子系统均需达 SIL 4 级,而 TCMS(列车控制和管理系统)、ATO(列车自动运行)及 ATS(列车自动监控)等子系统也需达 SIL 2 级。

### 2.3 功能设计需兼顾安全与效率

全自动运行系统虽自动化程度高,但在故障或

表 1 5 号线的全自动运行场景目录

Tab.1 Content of FAO operation scenarios of Line 5

场景类别	场景名称	场景类别	场景名称
列车特定功能及编组	1)远程紧急制动;2)紧急手柄;3)蠕动模式;4)雨雪模式;5)驾驶模式转换;6)自动解编	故障情况 列车运行	1)车门故障;2)车门与站台门间异物检测;3)站台门故障;4)车载ATO设备故障;5)车载ATP设备故障;6)防淹门请求关闭;7)防淹门状态丢失;8)列车状态远程监测及故障远程处理;9)紧急制动及缓解;10)运行中车辆或信号车载设备故障处理;11)车辆制动系统故障控制;12)区间故障停车;13)ATS设备故障;14)轨旁ATP设备故障;15)车地通信设备故障;16)道岔故障;17)列车位置丢失;18)列车反向运行
运营前准备	1)运营前检查;2)送电;3)列车唤醒;4)自动开站		维护及施工管理
列车、调车运行	1)列车出库;2)列车进入正线服务;3)列车进站;4)车站发车;5)列车在区间运行;6)折返换端;7)列车退出正线服务;8)自动调车;9)休眠;10)轨道车运行;11)自动洗车;12)周界防护报警		
运营结束	1)自动关站	乘客服务	1)乘客异常;2)列车远程广播;3)乘客紧急呼叫;4)乘客票务自助服务
紧急情况处理	1)区间疏散;2)轨道障碍物脱轨检测;3)救援;4)列车火灾;5)车站火灾	列车运行 调整组织	1)清客;2)扣车;3)跳停;4)小交路运行;5)更换列车;6)远程应急驾驶;7)灾备模式

表 2 车辆子系统的安全完整性定义

Tab.2 Definition of safety integrity for vehicle subsystems

子系统	SIL	主要安全功能
车门	2 级	防止意外开门
制动	常用;2 级	与切除牵引相关联的常规制动
	紧急;4 级	危急时制动列车
牵引	1 级或 2 级	切除牵引,制动输出时不能牵引
烟火报警	1 级或 2 级	烟火报警
TCMS	2 级	多个安全设备的安全信息的中转以及故障检测与报警
旅客紧急通信	1 级或 2 级	紧急时,乘客向调度中心报警
车载 CCTV	1 级或 2 级	自动切换车载紧急报警点,供调度中心远程紧急处置
旅客广播	1 级或 2 级	调度中心向车载旅客广播紧急处置消息
辅助供电	1 级或 2 级	确保可靠地向车载紧急处置设备供电,如烟火报警、紧急通信等
脱轨检测	1 级或 2 级	检测到脱轨时,切除牵引,适当时输出制动

注:CCTV 为视频监控。

紧急情况下,其先期处置会因没有司机而变得较为被动。因此,其功能设计要充分考虑异常场景处置的需求,须全力保障全自动运行安全。对此,5 号线的全自动运行系统设计中增设了运营异常处理模式,如表 5 所示。

一旦全自动运行系统判定运行场景为异常场景,则自动进入异常处理模式,触发相关系统间的联动,进而激活信号系统安全防护功能,从而有效

保障行车安全。

表 3 信号子系统的安全完整性定义

Tab.3 Definition of safety integrity for signaling subsystems

子系统	SIL	主要安全功能
ATP	4 级	超速防护
CBI	4 级	进路防护
计轴	4 级	占用检查
ATO	2 级	自动驾驶、车门控制
ATS	2 级	道岔控制、临时限速

表 4 其他子系统的安全完整性定义

Tab.4 Definition of safety integrity for other subsystems

系统	子系统	SIL	主要安全功能
PSD	门控单元	2 级	屏蔽门开关(与车门联动控制)
	信号接口单元		
综合 监控		2 级	人员危险区域供电切断 烟雾探测与报警 隧道通风控制 逃生门、逃生指示器控制
通信	车站 CCTV	1 或 2 级	自动切换车站紧急报警点,供调度中心远程紧急处置
	车站紧急广播	1 或 2 级	紧急广播
	车站 PIS	1 或 2 级	紧急信息发布(同上)

注:PSD 为站台门;PIS 为乘客信息系统。

此外,全自动运行系统的功能设计还要充分考虑应急处置效率。例如,对于列车丢失定位、道岔故障、车地通信故障、ATP 故障、计轴故障等信号系统常见故障,全自动运行系统功能应能满足应急处置运营手段的需求,以尽量保障运营效率。

表 5 5 号线全自动运行系统的运营异常处理模式

Tab.5 Operation abnormality handling mode of Suzhou Rail Transit Line 5 FAO system

异常处理模式	异常场景
车站异常处理	站台火灾;站厅火灾
区间异常处理	区间火灾;水位报警;人防门报警;雨雪模式;轨行区非法闯入;列车阻塞
列车异常处理	列车火灾;障碍物脱轨检测触发

2.4 RAMS 指标需满足运营要求

为使城市轨道交通更高效、更安全、更可靠,需对全自动运行线路的运营指标和设备指标提出更高要求。与有人值守模式相比,全自动运行系统 UTO(无人值守全自动运行)模式下的故障响应时间会有所增加,很可能使故障造成的列车晚点情况更严重。

鉴于上述情况,并参考 CoMET(国际地铁联盟)组织成员运营指标情况,结合苏州轨道交通线网的运营指标特点,建议 5 号线的运营指标为:列车正点率 $\geq 99.96\%$ ,列车兑现率 $\geq 99.98\%$ ,5 min 晚点指标 $\geq 170$  万车 km/次,清客事件数 $\leq 3$  次/年,救援事件数 $\leq 1$  次/年。这些指标可根据运营开通后的实际情况进行调整。

为了提高运营对 RAMS 指标的管控能力,促使 RAMS 满足全自动运行的运营要求,本文建议:

1) 在合同文件中增加相关运营指标相关的约束条款。以 5 号线信号专业为例,其合同要求:由轨旁信号设备造成的降低运行等级的故障 $\leq 3$  次/年;对于车载信号设备故障,能执行远程指令运行至下一站台、但不能通过远程指令恢复到全自动运行等级的故障率 $\leq 0.5$  次/(百万列 km),无法执行远程指令继续运行的故障率 $\leq 0.2$  次/(百万列 km)。

2) 在线路具备条件的情况下配合使用智能运维系统,实时计算统计信号系统整体及各子系统的 MTBF(平均故障间隔时间)及 MTTR(平均修复时间)等指标,尽量由预防修转变为状态修。

3) 设备应尽可能具有自检和自诊断功能,以及远程检测和诊断功能。

2.5 联调联试应充分全面

联调联试是全自动运行线路开通前进行的系统测试,为了顺利开通,全自动运行系统的联调联试必须要充分全面。

为此,5 号线专门搭建了 1 条场外测试线,旨在测试全自动运行系统中的核心功能实现情况,测试各系统间的接口关系及联动功能实现情况。

联调联试分为厂家组织的多系统测试和运营单位牵头组织的综合测试。由于全自动运行线路联调联试的周期相对较长,故工期安排时须预留充足的联调联试时间。运营单位也需更全面深入地参与调试。

3 结语

综上所述,全自动运行线路的建设在思想上要有适度的超前意识,在功能设计上要有统筹的运营场景功能需求作为输入;在安全方面要有严格的第三方安全把控,对工程项目核心系统的初步设计、详细设计、设备的生产和制造、国产化、系统调试等工作进行安全评估;在指标上要有更严格的要求,保证设备性能的同时提高运营对 RAMS 指标的管控能力;联调联试应全面充分,运营单位应更全面更深入地参与综合调试。在设计和建设阶段,运营方须重点关注上述关键问题,并实施相关措施,以利于全自动运行线路的开通和运营。

参考文献

[1] 毕湘利. 从运营角度分析城市轨道交通建设阶段需重视的问题[J]. 城市轨道交通研究,2012(7):3.  
BI Xiangli. Appreciable problems in construction stage of urban rail transit from operation angle[J]. Urban Mass Transit, 2012(7):3.  
[2] 周捷. 从运营实践探讨城市轨道交通设计的安全要求[J]. 高速铁路技术,2012(3):83.  
ZHOU Jie. On safety requirements of design for urban rail transit based on operating practice[J]. High Speed Railway Technology, 2012(3):83.  
[3] 葛世平. 从运营角度谈城市轨道交通的总体设计[J]. 城市轨道交通研究,2003(2):14.  
GE Shiping. General design of UMT from the angle of operation[J]. Urban Mass Transit, 2003(2):14.  
[4] 毕湘利. 从可持续发展角度谈城市轨道交通的规划和设计[J]. 城市轨道交通研究,2008(12):1.  
BI Xiangli. Suggestions for the planning and design of urban mass transit from the perspective of sustainable development[J]. Urban Mass Transit, 2008(12):1.

(收稿日期:2020-08-11)