

地铁全自动运行线路信号系统 RAMS 指标分析

刘 涛

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘 要 由于全自动运行地铁无司机驾驶,随之而来的是一系列安全和运营保障问题;同时,既有线系统的 RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)指标,也无法全面指导全自动运行 RAMS 体系的建设。从既有线故障情况、驾驶模式、运营场景三方面,对全自动运行对信号系统 RAMS 指标的影响进行讨论。

关键词 地铁;全自动运行;可靠性、可用性、可维护性和安全性;信号系统

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.011

RAMS Index Analysis of the Signal System of Metro Fully Automatic Operation Line

LIU Tao

Abstract The driverless fully automatic operation is followed by a series of safety and operational security issues, meanwhile, the existing line system RAMS (reliability, availability, maintainability, and safety) index can not comprehensively guide the construction of RAMS system for fully automatic operation system. From aspects of existing line failure, driving mode and operation scene, the impact of fully automatic operation on the signal system RAMS index is discussed.

Key words metro; fully automatic operation; RAMS; signal system

Author's address China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

目前国内在建的全自动运行线路有上海轨道交通 14、15、18 号线,成都地铁 9 号线,武汉地铁 5 号线,南京地铁 7 号线,北京地铁 17 号线等。但国内基本没有可供完全借鉴和参考的成功案例,特别是在全自动运行的运营方式较传统地铁的运营方式有巨大不同的情况下,国内业界对于信号系统支持全自动化运行方式所需具备的 RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)指标并未有明确的定义。同时,为满足 RAMS 指标而需考虑的系统冗余配置方案也未有定论。在这种情况下,全自动运行

信号系统的 RAMS 指标需进一步研究完善。

1 RAMS 指标

1.1 RAMS 指标简介

根据 GB/T 21562—2008《轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例》,轨道交通 RAMS 各要素之间的相互关系如图 1 所示。

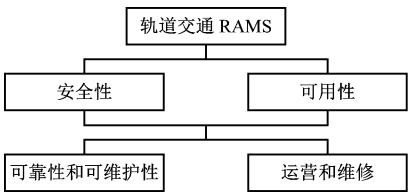


图 1 RAMS 相互关系

城市轨道交通 RAMS 指标是实现长期运营、维修活动和系统稳定的主要衡量指标;可靠性指标是衡量设备或系统能够稳定工作的指标;平均无故障间隔时间(MTBF)越长,对系统稳定性越有利;维护性指标是要求设备能够尽快地得到修复并投入使用的指标(如果在一定的时间内,MTBF 越长,则留给维护的时间就越少,MTBF 也是可靠性对可维护性的要求^[1]);可用性与安全性有矛盾的一面,安全性指标要求越高,高可用性指标要求就难以同时满足,因此可用性与安全性指标需兼顾、平衡。

1.2 既有线 RAMS 指标一般要求

根据《城市轨道交通 CBTC 信号系统行业技术规范》以及 EN 50126、EN 50128、EN 50129 中的相关要求,信号系统应能达到的 RAMS 指标,如表 1 和表 2 所示。

表 1 安全性指标要求

信号子系统	安全性要求
列车自动防护(ATP)系统	SIL4
计算机联锁(CI)系统	SIL4
计轴设备	SIL4
列车自动运行 ATO 系统	SIL2

表 2 RAM(可靠性、可用性、可维护性)指标要求

序号	信号各子系统	平均故障间隔时间 目标/h	平均修复时间 目标/min
1	ATS(列车自动监控)设备	$\geq 3.5 \times 10^3$	≤ 45
2	计算机外围设备	$\geq 5 \times 10^4$	≤ 45
3	电源系统设备	$\geq 1 \times 10^5$	≤ 45
4	ATP 地面设备	$\geq 1 \times 10^5$	≤ 45
5	ATP 车载设备	$\geq 1 \times 10^5$	≤ 30
6	联锁系统设备	$\geq 1 \times 10^5$	≤ 240
7	有线网络设备	$\geq 1 \times 10^5$	≤ 45
8	无线网络设备	$\geq 2 \times 10^4$	≤ 30
9	计轴设备	$\geq 1.75 \times 10^5$	≤ 240

2 既有线路运营故障统计分析

对既有线路的故障统计分析,找出既有线路的薄弱环节,是对全自动运行信号系统指标分析的前提条件和基础,既有线主要系统故障分类如图 2 所示。

针对运营中信号系统实际的故障情况,本课题调研了南京地铁的 1 号线、2 号线、3 号线、4 号线、S1 号线、S3 号线、S7 号线、S8 号线、S9 号线全年的信号系统故障情况,并对调研结果进行分析。分析结果如图 3 和图 4 所示。

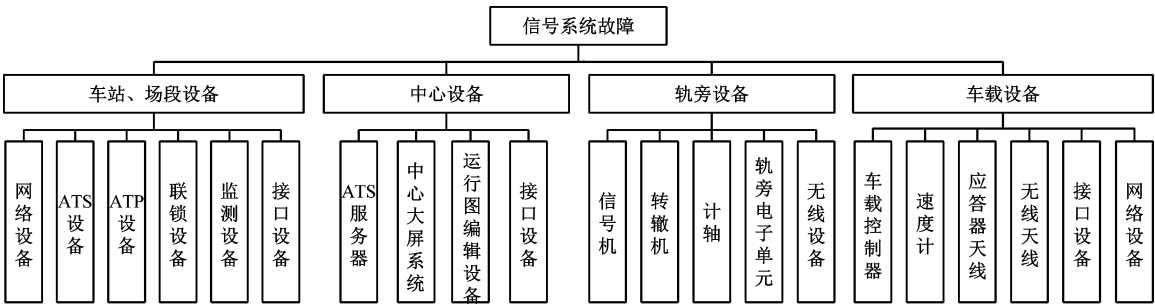


图 2 信号系统故障分类

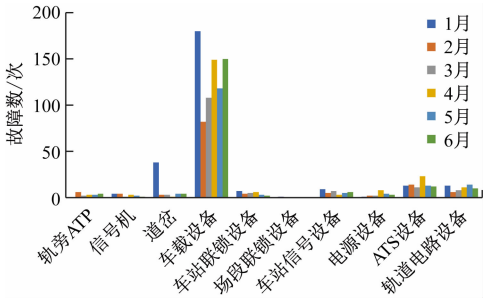


图 3 1—6 月信号系统故障统计

从图 3 和图 4 可见,车载设备故障、ATS 设备故障和轨道电路设备故障较多,目前是危害信号系统 RAMS 指标稳定性的主要子系统和设备^[3]。由于轨道电路设备在城市轨道交通中多数已被计轴替代,本文将不再进行深入讨论。

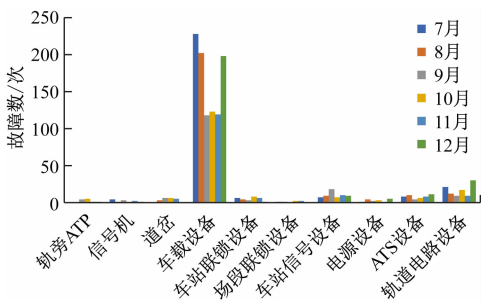


图 4 7—12 月信号系统故障统计

3 全自动运行与 ATO 驾驶模式差别分析

全自动运行驾驶模式相对于 ATO 自动驾驶、ATP 人工驾驶、限制人工驾驶模式,在正常运营情况下,可实现全程无司机参与;在故障情况下,对于列车定位丢失、信号与车辆接口故障、意外事故的处理,可通过控制中心远程启动异常驾驶模式或下发远程指令处理故障,极少数故障需要人工登乘处理,如表 3 所示。

表 3 正常运营情况下列车驾驶模式区别

驾驶模式	驾驶列车	到站停车	车站发车	故障、意外处理
ATP	司机	司机	司机	司机
STO	自动	自动	司机	司机
DTO	自动	自动	自动	司机/车载参与
UTO	自动	自动	自动	自动

注:STO——半自动运行;DTO——列车有人值守运行;UTO——列车无人值守运行

异常运营情况下的驾驶模式为全自动运行线路特有的驾驶模式,主要应用在列车定位丢失(车地无线通信完好)以及车载信号设备与车辆网络接口通信故障等场景,以保证列车行驶至正线车站站台,提高系统整体可用性。两种模式的驾驶无需司

机参与,列车开门、关门、故障处理需要工作人员参与^[2],如表4所示。

表4 全自动运行线路异常运营情况下驾驶模式区别				
驾驶模式	驾驶列车	到站停车	车站发车	故障、意外处理
远程人工	中心	中心/自动	自动	多职能队员
蠕动驾驶	自动	自动		多职能队员

全自动运行线路可选择的驾驶模式和该驾驶模式的运行地点,在不同的运行地点和不同的运营场景有特定的驾驶模式要求。例如,全自动运行模式可处于正常运行状态下,运行在正线的全部区域,在转换轨处不存在模式的改变。限制人工驾驶模式可处于正常运行状态下运行在非自动化区域和转换轨处,如运行在出入场段线、正线和折返线,则将定义此驾驶模式为当前运营情况下的降级模式。

由上述对比分析可看出,全自动运行线路中心信号系统功能承担一部分驾驶功能和应急处理功能,其安全性、可用性和可靠性较传统系统有一定的提升。

4 全自动运行场景对信号系统要求分析

全自动运营场景是城市轨道交通全自动运行的顶层设计,根据1天的情况和突发事件划分为不同的运营场景,按照发生时间的顺序描述运营流程。同时,全自动运行运营场景也是分析系统需求和安全需求的有效工具。

城市轨道交通系统建设和运营阶段的首要任务是保证运行的安全可靠。全自动运行系统没有司机驾驶列车,因此避免了由人工驾驶列车带来的一系列失误,减少了由人带来的不稳定因素。但与此同时,原来由司机承担的责任,在全自动运行条件下,被设备系统、调度中心的运营人员、现场多职能队员取代。由于运营架构和运营机制的改变,同样会带来一些风险。全自动运行场景的分析恰恰能对此带来的风险进行识别,对比既有系统,进而提出应对措施^[4],如图5~7所示。

由上述场景分析树可以看出(图5、图6、图7),信号系统是全自动运行核心系统中的重要系统,贯穿于整个正常模式运营流程。同时,在故障模式运营中,信号系统部分故障将直接影响全线的运营。在全自动运行场景中心,信号系统新增功能如图8所示。

对比分析信号系统在全自动运行场景中的作用和信号系统功能需求,全自动运行场景对信号系

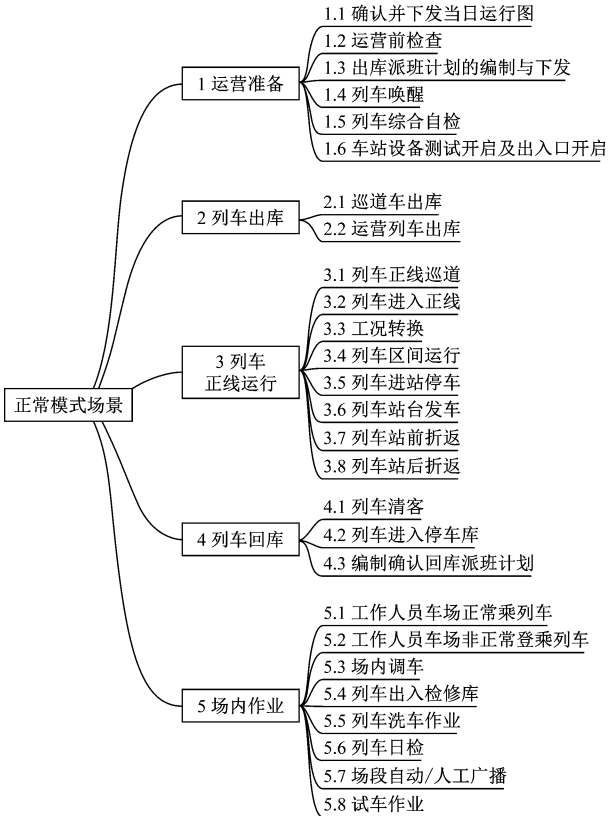


图5 正常模式场景1

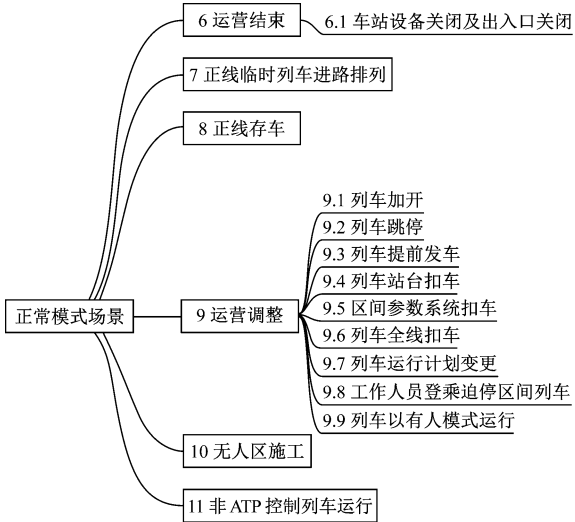


图6 正常模式场景2

统要求主要有以下几点:信号车载控制系统和中心控制系统功能替代司机驾驶;信号系统可实现列车的自动休眠唤醒;信号系统车载单设备故障不影响全自动运行;控制中心单设备故障不影响全自动运行;单控制中心瘫痪不影响全自动运行;部分故障情况信号系统可牺牲运行效率,确保运营和安全;信号系统可保证全自动运行线路施工人员作业安全。

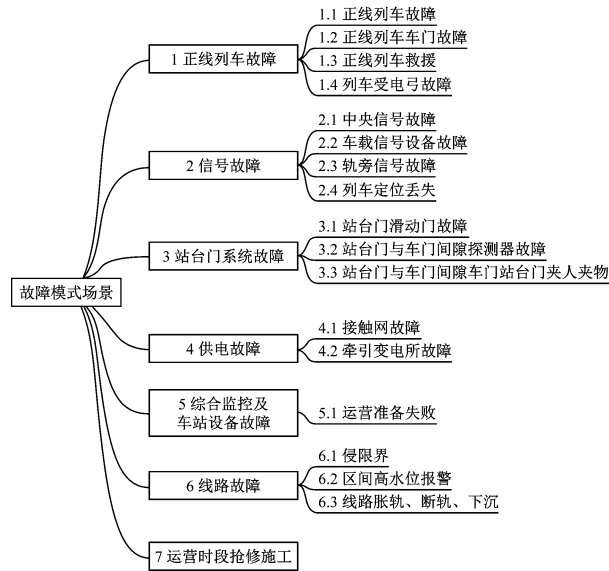


图 7 故障模式场景

5 全自动运行信号系统 RAMS 指标变化分析

综上所述,结合既有线系统故障、全自动运行运营场景和驾驶模式的变化,对信号系统各项指标变化趋势进行分析和统计。信号系统车载设备和

ATS 子系统中心设备的 RAMS 指标,在全自动运行线路中需进一步提升,其故障输出将直接影响运营,由于无人驾驶,恢复运营将付出较大代价。对比既有线路信号系统指标要求,需进一步提升的指标如表 5 所示。

表 5 指标对比总结

RAMS	系统 RAMS 指标项	总结
可靠性	ATS 子系统集成计算机系统的平均故障间隔时间	需提高
	ATP 车载计算机系统平均故障间隔时间	需提高
	电源设备的平均故障间隔时间	需提高
	其他指标	可保持不变
安全性	ATS 子系统	需提高
	信号系统与其他系统接口	需提高
	其他指标	可保持不变
可用性	整体可用性指标	需提高
可维护性	车载设备的平均故障修复时间	需减少
	车载设备的平均故障修复时间	需减少
	车地通信设备的平均故障修复时间	需减少
	其他指标	可保持不变

提高自动化等级的功能需求		提高安全性、可靠性的功能需求	
场段自动化运行	列车场内自动化运行	站台门的控制	站台门对位隔离
	自动洗车		站台门车门防夹控制
	自动开闭车库门		
列车的唤醒与休眠		障碍物及脱轨探测	
列车车门自动开闭控制		车载ATO及关键接口的冗余	
列车根据时刻表 自动启停	自动发车	逃生门控制	
	精确停车、跳停	低粘着运行	
	自动对位调整倒退防护	远程故障恢复	
	列车自动折返自动换端		自诊断及中心远程监控
自动清客		轨行区人员安全防护	

图 8 新增功能需求

6 结语

全自动无人驾驶系统集成人工智能、通信技术、网络技术等领域的最新技术,将进一步提升城市轨道交通机电系统的自动化程度。由于无人驾驶对运营场景带来了很大变化,同时也赋予信号系统新的使命。本文从全自动运行驾驶模式、全自动运行场景、既有线故障统计三方面进行分析,总结全自动运行对信号系统 RAMS 指标的影响,为后续完善全自动运行信号系统 RAMS 指标有一定的推动和帮助作用。

参考文献

[1] 姜建萍,徐永能,朱晨呈. RAMS 规范在城市轨道交通信号系统中的应用[J]. 科技与创新,2018(12):79.

[2] 刘鹏翱. 城市轨道交通全自动驾驶运营安全分析与列车运行模拟仿真[D]. 北京:北京交通大学,2017.

[3] 梁琦,陈兴华,铁科院. 基于 RAMS 的城市轨道交通车辆设计安全研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2017(4):397.

[4] 莫志刚. 基于 RAMS 的地铁信号系统运营维护管理研究[D]. 武汉:华中科技大学,2018.

(收稿日期:2019-12-25)