

地铁全自动运行系统故障软化技术

陈丽君

(上海富欣智能交通控制有限公司, 201203, 上海//高级工程师)

摘要 采用 GoA4 级的地铁全自动运行系统取消了列车司机的设置,造成在异常或降级情况下列车迫停区间时救援人员上车救援困难且耗时较多,因而会严重影响地铁运营。根据具体的故障情况,提出了相应的故障软化技术,在列车全自动运行系统发生故障时,会保留部分自动运行功能,尽可能避免列车迫停于区间,以实现异常和降级情况下服务乘客、降低救援难度、对运营影响最小的目标。

关键词 地铁;全自动运行系统;故障软化技术

中图分类号 U231.6;U298

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.049

Fault Softening Technology for Metro Fully Automatic Operation System

CHEN Lijun

Abstract Since the metro FAO system that adopted GoA4 cancelled the setting of train driver, in some abnormal scenarios or degrade cases, the train is forced to stop in a certain section, that makes it difficult for the rescue members to work, resulting in time wasting and even serious impact on train operation safety. In this paper, according to the specific fault, a corresponding fault softening technology is proposed. In case of the FAO system failure, part of the system functions will be retained and the train stopping between stations will be avoided, and the goals of minimum impact on the operation by reducing the rescue difficulties and serving the passengers in abnormal scenarios or degrade cases will be achieved.

Key words metro; FAO system; fault softening technology

Author's address Shanghai Fuxin Intelligent Transportation Solutions Co., Ltd., 201203, Shanghai, China

地铁全自动运行(FAO)系统具有安全性高、可靠性高、灵活性高、能提高服务质量、能优化人力配置及降低运营成本等诸多优势。截至 2020 年年末,国内已运营、在建及规划中的城市轨道交通线路中采用 FAO 系统的有北京、上海、深圳、广州、成都、郑州、太原等 26 座城市,共计 76 条线路,总长达 2 414.24 km。国内的在建城市轨道交通线路中,采

用自动化等级最高的设计等级 GoA4(自动控制等级 4)级的有北京、上海、深圳、广州、武汉等 13 座城市,共计 32 条线路,总长达 988.81 km,占所有在建线路规模的 59.51%。由此可见,目前各城市地铁选择采用 GoA4 级的占绝大多数。从 GoA4 来看,中国内地已运营的 FAO 线路中,设计等级为 GoA4 的有北京、上海、广州、成都、太原等 5 座城市,共计 12 条线路^[1]。由此可见,FAO 线路尤其是采用 GoA4 的线路将会成为城市轨道交通系统的主流,代表着城市轨道交通运行系统自动化水平的发展趋势。

根据 IEC(国际电工委员会)62290 和国际公共交通协会(UITP)的规定,目前信号系统的列车运行分为 GoA0、GoA1、GoA2、GoA3、GoA4 共 5 个自动化等级,GoA3 和 GoA4 即为 FAO。GoA4 为无人值守的列车运行(UTO),列车的起动、停车、车门操作及紧急情况的处理全部实现自动化,无需人员随车。在 1 个 GoA4 的 FAO 系统中,因无工作人员在列车上,所以故障可能会严重影响运营。因而,提高系统的可靠性,以及在降级和异常情况下弱化故障,降低而不是完全丧失系统的自动化功能,以便于救援工作的开展,是一个值得研究的问题。

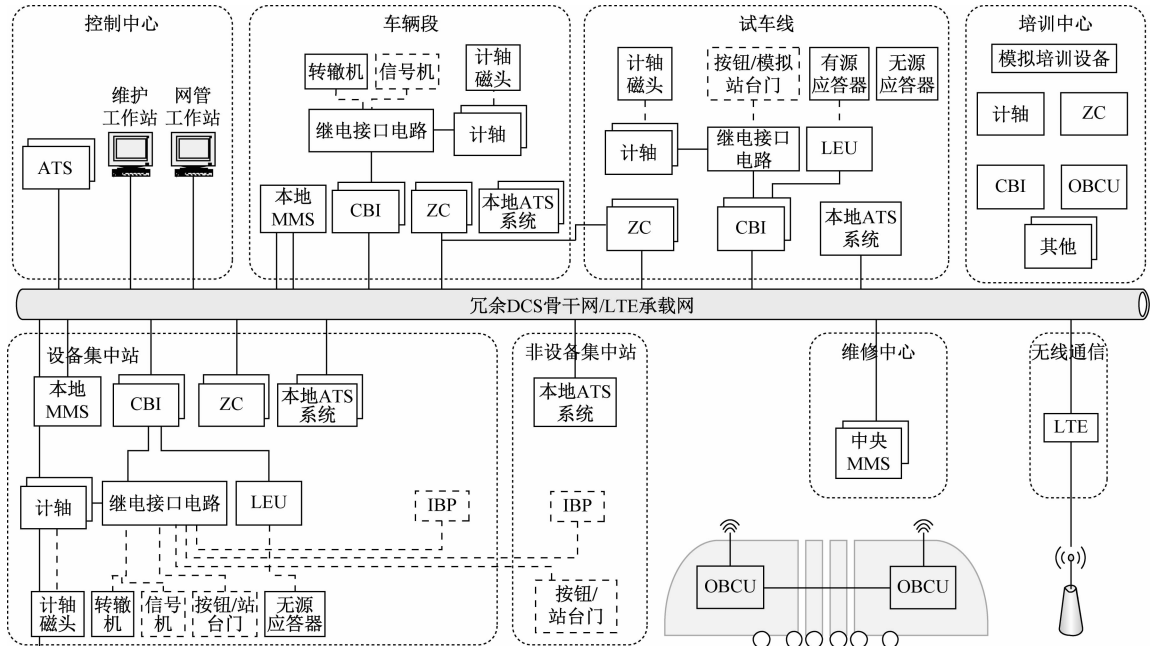
1 FAO 系统故障处理机制

由于 GoA4 的 FAO 线路不设置司机,因此 FAO 系统必须能替代司机完成其在有人驾驶模式中的职责,甚至要比司机做得更好,才有可能实现无人值守的全自动运行。FAO 系统在正常情况下具备全自动的全部功能,在异常或降级情况下会丧失部分全自动功能。为了提高 FAO 系统的可用性,通常采用两种防范措施:①提高系统的可靠性;②在极小概率的异常和降级场景下,根据具体的故障情况保留部分全自动的功能。

为了提高系统的可靠性,对于 FAO 系统的核心子系统,如车辆、信号、站台门等采用成熟的、具有

高可靠性的元器件。但一般来讲,无论硬件所采用的元器件如何可靠,1 个系统的随机硬件故障是不可避免的,所以还需要采用冗余设计的方法。如信号系统的关键子系统的核心设备(车载控制器、区域控制器、计算机联锁等)采用二乘二取二或三取二的冗余架构;ATS(列车自动监控)采用热备的冗

余架构;对于 FAO 线路,还可设置有备用的控制中心。此外,连接这些关键子系统的数据通信网络通常采用完全独立的 A、B 网构成冗余。信号系统的架构设计需要充分体现冗余设计的理念,通常的信号系统架构图如图 1 所示。



注:MMS 为维护管理系统;CBI 为计算机联锁;ZC 为区域控制器;LEU 为轨旁电子单元;OBCU 为车载控制器;IBP 为综合后备盘;LTE 为长期演进。

图 1 信号系统架构图
Fig. 1 Diagram of system architecture

图 1 中的车载设备,不仅核心设备 OBCU 包含的 ATP(列车自动防护)、ATO(列车自动运行)和休眠唤醒单元应采用冗余配置;而且其外部设备,如

应答器查询单元和天线、测速设备、车载无线天线、安全网关和车载中级设备及车载人机界面(DMI)等也应做到冗余设置,具体如图 2 所示。

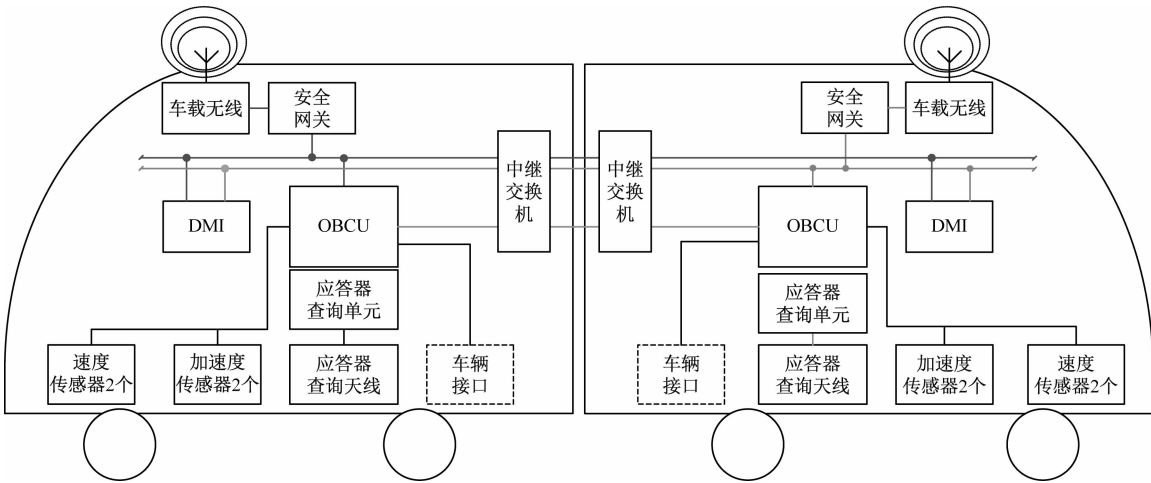


图 2 车载设备架构图
Fig. 2 Diagram of on-board equipment architecture

FAO 系统在异常或降级情况下,为了尽量减少区间救援以及避免对系统运营造成重大影响,故需要弱化故障,适当降低而不是完全丧失系统的自动化功能,可采用故障软化处理技术,例如远程重启、远程旁路、降级运营模式等来提供有限制的自动化功能^[1]。FAO 系统的场景和功能设计也应重点考虑如何保证乘客安全和实现乘客服务的目的,以尽量避免区间疏散。针对意外情况下的应急处理,FAO 系统应做到:

1) 轻微故障,如车门或站台门故障不影响系统运营。

2) 中等故障下尽量避免迫停区间。对于无人值守列车,无论是地下线路还是高架线路在区间都要花费较长的时间才能上车救援,因此对运营影响较大。这就要求在区间运行的列车发生故障或异常情况下,在调度人员干预或不干预时能运行到站台,而不要迫停在区间;同时,在前方区间有故障或异常情况时,要保证列车不进入区间。

从运营的全局来看,要着重于故障后如何做到更安全。这除了与行车密切相关的信号专业以外,其他如车辆、站台门等专业也需要有同样的故障处理机制。

2 FAO 系统故障软化技术

当设备或系统的局部发生故障时,设备或系统的某些功能会减弱,但整体上仍能使设备或系统持续执行一定降级功能的技术叫做故障软化技术。FAO 系统由于取消了司机,对整个系统(包括信号、车辆、站台门等)的可靠性提出了更高的要求,在极小概率不可避免的异常或降级情况下,要尽可能降低故障对运营的影响,尽量避免发生区间救援的情况。这就要求系统在降级和异常情况下弱化或软化故障,降低而不是完全丧失系统的自动化功能,如采用轻微故障不影响系统运营、中等故障不迫停区间等故障软化处理技术。FAO 系统典型的故障软化技术有:

1) CAM(蠕动模式)下的精准对位。当车辆与信号车载设备发生通信故障时,由控制中心人工确认后,信号系统启动 CAM 模式;列车以蠕动模式运行时,车辆根据来自信号系统的牵引制动无极控制极位命令,实现 CAM 模式下的列车进站精准对位及停车后打开车门,以便工作人员上车处理故障;系统支持多次连续 CAM 命令,以应对调度在某种

情况下不安排工作人员救援,而直接将故障列车存放在存车线,或站后折返列车折入过程中发生此类故障,而蠕动到折返线停车不再前进,此时站后折返列车应连续蠕动到发车站台,以便工作人员上车处理故障。

2) 车载设备故障后重启策略。列车处在正常运营中,列车中的一系车载设备故障是由故障系车载设备自动重启或 OCC(运营控制中心)通过远程人工重启命令进行车载设备重启而造成;此外,工作人员可以登车,在任意一端进行重启故障系的操作,以恢复车载的冗余热备。

3) 门对位隔离。当站台门或车门中的某扇门发生故障,列车或站台门都会将具体故障的信息发送给对方,采取故障门的隔离措施,并通过车载 PIS(乘客信息系统)和广播告知车上乘客,在站台侧对位隔离门的指示灯和 PIS 显示屏上显示门隔离信息,以引导上、下车的乘客避开被隔离的车门、站台门。停站对准开门时,被隔离的门和对应的门不再打开^[2]。

4) 任意点折返应对故障场景。当某区间发生故障或下一站台存在危险的情况,列车不能按原计划继续前行时,系统支持在任意地点以 FAM(全自动驾驶模式)折返,进行反向运行。该功能为反向行车提供了与正向运行一致的安全和效率保障,为运营提供了更大的灵活性和更为便捷的故障调整手段,从而确保线路快速安全恢复运营,可整体提升事故处理效率和运营恢复能力。

5) 停站再对位控制策略。在 FAM 模式下,若列车进站停车时过标或欠标不大于 5 m,系统可自动控制列车进行停站再对位。在停站再对位过程中,采用了对标目标点的距离一次调整的控制策略,而不是采用按照固定距离进行跳跃调整,以减少停站再对位的调整次数。

6) 远程限制人工驾驶模式(RRM)。RRM 为列车以 FAM/CAM 运行,列车丢失定位或位置有效但移动授权无效时,由控制中心远程授权列车缓解紧急制动,以一定限速值继续向前运行一定距离的一种驾驶模式。当轨旁某个应答器故障时不影响列车的正常运行;当连续 2 个应答器同时故障时,经过该故障区域的所有列车的车载设备产生报警、实施紧急制动。车地通信正常情况下,系统将该区段转换为降级运营模式,列车转换为 RRM;当列车越过故障区域、重获定位后,可在不停车的情况下将

列车转换至 FAM 下运行。控制中心在确定列车前方区段空闲、道岔位置正确且锁闭信号已开放后,可授权列车缓解紧急制动以 RRM 向前以一定限速值移动;列车根据授权可在限速条件下继续运行,重新获得移动授权,从而降低对运营的影响。

7) 自动扣车。为了避免 FAO 下列车在区间迫停,在供电轨失电、区间轨道封锁、区间或下一站台存在危险情况、相邻 CBI 间和 ZC 间通信中断、从 CBTC (基于通信的列车控制)区域进入后备区域等情况下,应在相应的站台自动进行扣车;在从 CBTC 区域进入后备区域的情况下,要提示工作人员及时登车处理,顺利以降级模式进行跨区交接通过故障区域。

8) 制动重故障。对于制动重故障,信号系统与车辆有两种不同的接口,即制动重故障的硬线接口以及 TCMS(列车控制管理系统)网络接口,且网络接口可以明确给出转向架不可用的个数。为了避免 FAO 下列车在发生此类故障时在区间迫停,系统可根据制动故障的情况进行不同的处理,如 1 个转向架空气制动不可用时,列车可采用 FAM 运行至下一站,然后转有人驾驶至终点站退出运营;2 个转向架空气制动不可用时,紧急制动停车,退出 FAM/AM(自动驾驶模式),按 CM(列车自动防护下的人工模式)驾驶列车,至终点站退出运营,ATS 提示调度按照一站一区间运营;3 个转向架空气制动不可用时,紧急制动不缓解,退出 FAM/AM,限速运营至下一站清客退出运营。

9) 远程旁路和远程复位车辆轻微故障。对于 FAO 系统,车辆的轻微故障可以通过调度员在 OCC 的 ATS 上发送远程复位和旁路命令(如车辆辅助逆变器复位命令、车辆蓄电池充电机复位命令、车辆

牵引逆变器复位命令、所有制动缓解监控旁路命令和停放制动缓解监控旁路命令等)进行恢复,以减少对运营的影响。

3 结语

目前国内已开通运营的 FAO 项目还不多,运营时间也不长,已出现和已识别的故障和降级场景还不够,相关的经验积累还不够充分。太原轨道交通 2 号线信号系统采用富欣自主研发的 JeRail® CBTC 全自动运行系统,支持 GoA4 全自动运行,在项目实施的过程中采用了一系列故障软化技术,使这些技术在实践中得以验证。本文分析了提高 FAO 系统可靠性的方法,并介绍了适用于异常和降级场景下的故障软化技术,对于故障软化技术不应该止步于此,要利用新技术来开拓思路,不断完善现有技术、提出新的技术方法,以实现异常和降级情况下服务乘客、降低救援难度、对运营影响最小的目标。

参考文献

- [1] 洪海珠. 基于关键运营场景的城市轨道交通全自动运行系统全生命周期闭环管理[J]. 城市轨道交通研究, 2020(增刊 2):4.
HONG Haizhu. Closed-loop management method of FAO system full life cycle based on key operation scenarios[J]. Urban Mass Transit, 2020(S2):4.
- [2] 肖衍, 苏立勇. 全自动驾驶信号系统功能需求分析[J]. 铁道通信信号, 2014(12):39.
XIAO Yan, SU Liyong. Functional requirement analysis of fully automatic driving signal system[J]. Railway Signalling & Communication, 2014(12):39.

(收稿日期:2021-05-31)

法国庆祝高铁运行 40 周年 新型高铁 TGV M 模型亮相

9 月 17 日,法国隆重庆祝 TGV 高速列车运行 40 周年,新一代高铁列车 TGV M 的火车头模型当天亮相巴黎一座火车站。法国总统埃马纽埃尔·马克龙出席庆祝仪式。他站在等比例火车头模型前说,法国将继续大力发展高速列车和高铁网络,让更多小城市居民也能享受高铁带来的便利。据法新社报道,TGV M 预计 2024 年投入运行。这一车型最高时速为 320 km,预计最多可载客 740 人,现有车型为 600 人,而耗电量比现有车型降低 20%。马克龙说,政府将追加投入 65 亿欧元资金,用于建设高铁网络,新线路将覆盖尼斯、图卢兹等城市。

1981 年 9 月,流线型的 TGV 列车开始在巴黎到里昂的部分线路上投入运营。法国成为继日本之后,全球第二个运营高铁线路的国家。法国高铁的多项标准一度成为欧洲高铁技术的基础。TGV 列车由法国阿尔斯通公司制造,几十年来出口至西班牙、意大利、韩国和美国等。

(摘自 2021 年 9 月 17 日新华社新媒体,记者郭倩报道)