

全自动无人驾驶系统在地铁既有线改造中的机遇和挑战

吴 嘉 史海欧

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州//第一作者, 高级工程师)

摘 要 基于 GoA 4(无人值守下的列车自动运行等级)的全自动无人驾驶系统,在全球各大城市的轨道交通线网中发展迅速,在旧线改造中也得到了广泛应用。通过借鉴巴黎地铁 1 号线的全自动化改造案例,探讨了全自动无人驾驶系统在既有有线改造中所遇到的困难和挑战。分析了国内城市在旧线改造时利用全自动无人驾驶系统进行升级的必要性和适应性。提出了建立基于远期发展和整体网络的发展战略。实施全自动无人驾驶系统,运营部门自身的技术和管理能力等也应提高。

关键词 城市轨道交通;全自动无人驾驶系统;既有有线改造

中图分类号 U231.6;U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.08.002

Opportunities and Challenges of Fully Automatic Operation in the Reconstruction of Existing Metro Lines

WU Jia, SHI Hai'ou

Abstract The fully automatic operation (FAO) system based on GoA4 develops rapidly in the rail transit networks of major cities around the world, the technology of which has been applied widely in the reconstruction of existed lines. In this paper, referring to the successful experiences of the fully automatic transformation of Paris metro Line 1, the difficulties and challenges encountered by FAO system during the reconstruction of existing lines are discussed in depth. On this basis, the necessity and adaptability of the FAO system upgrading during the old line reconstruction in China are analyzed, suggestions related to the development strategy of FAO system based on the long-term and the overall network development are proposed, the technical and management capabilities of the operation departments should be improved at the same time.

Key words urban rail transit; fully automatic operation system; reconstruction of existed line

Author's address Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

自 1983 年全球首条全自动驾驶线路投入运营至今,全球已有 40 多个城市的轨道线网拥有全自动驾驶线路,总长近 1 000 km,全自动驾驶系统已得到广泛应用。

根据 IEC 62290-1—2014《铁路应用——城市轨道交通管理与控制系统第 I 部分 系统原则和基本原理》^[1],轨道交通的自动化程度可以被分为 GoA 0(无 ATP 防护,目视下的人工驾驶)—GoA 4 共 5 个等级。其中,GoA 4 等级实现了列车自动唤醒、启动、休眠、出入库、清洗、起停、行车、开关门等功能,完全实现了对人工的替代^[2],是真正意义上的全自动驾驶系统。

随着中国城市轨道交通的发展,尤其是“北上广”等一线城市的线网发展已历时多年,很多线路已经或即将面临改造和系统更新的课题。为此,实现城市轨道交通最先进、最高效的系统——GoA 4 等级的全自动驾驶系统,是旧线改造中非常值得考虑的一个选项。

1 全自动无人驾驶系统在地铁既有线路改造中的案例分析

1.1 巴黎地铁 1 号线改造

1.1.1 项目背景

巴黎地铁 1 号线于 1900 年投入运营,是一条重要的城市轴线,连接了多个商务区和文化旅游景点,日客运量超过 70 万人次,是巴黎客流量最大的线路;但与此同时,大客流和设备老化造成了越来越频繁的晚点,系统运能也难以进一步提升,配属车辆使用寿命也即将到期,更新改造迫在眉睫,亟需一个行之有效的解决方案。

需要指出的是,于 1997 年投入运营的以全自动驾驶标准建设的巴黎 14 号线获得了巨大成功,其运营准点率显著改善,运营灵活性增强,由乘客引起

的运营延误明显减少,故障率下降,运营维护工作量也大都减少,获得了乘客和运营商的广泛赞誉。这为巴黎地铁1号线进行全自动化改造坚定了信心,并积累了珍贵的技术能力和工程经验。

1.1.1.2 改造项目实施过程

巴黎地铁1号线自动化升级改造项目的可行性研究始于2003年。项目的重点内容包括:分析现有运营条件,确定系统功能,分段实施与切换(新老系统过渡),OCC(运营控制中心)改造,CBTC(基于通信的列车控制)选择,屏蔽门安装,新车辆系统的采购,新增视频音频信息设备等^[3]。

该项目从2005年11月正式启动,按照“分阶段进行,逐步切换”的原则实施,主要系统均分步骤逐一实施,最终实现完整系统的上线。改造中最为关键的阶段是新老系统的过渡。这是在新的信号系统、屏蔽门、OCC等设备安装调整完成之后,全新的无人驾驶列车逐渐上线,原有系统与新系统共存同时运营,并逐步用无人驾驶车辆取代有人驾驶车辆的过程。这一阶段允许在必要时切回老系统,为过渡期保留了磨合和测试的时间窗口。该阶段历时超过了1年,最终顺利实现预定目标。

另外,针对最终需要实现的目标,巴黎公交总公司更新了线路的运营和维修规程,并对运营和维修人员进行了为期6个月的培训,为最终改造工程达到预期效果提供了人力保障。

整个项目的自动化改造是在不中断线路运营的情况下完成的,除了少数关键节点要求线路运营提前收车,所有施工和测试均在客运服务时段以外进行,改造期间整个线路运营未受任何影响和干扰。

1.1.1.3 改造成本及参与方

项目实施中,由巴黎公交总公司牵头,召集了多家国际知名的轨道交通车辆及通信信号领域的供货商一起参与,构建了强大的技术研发团队和项目管理团队。项目预算及供应商如图1所示。

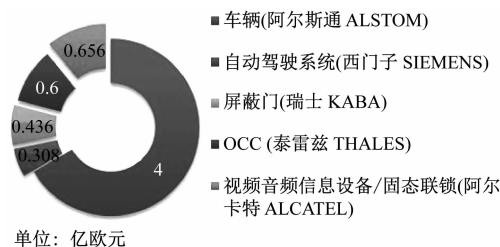


图1 巴黎地铁1号线自动化改造项目预算构成及供应商

整个改造项目中的成本约为6亿欧元,其中车

辆采购成本占据了整个预算的2/3,此外安装屏蔽门和搬迁OCC场地也花费了一定的预算。

1.1.1.4 改造效果

巴黎地铁1号线改造之后实现了如下技术性能上的提升:

1) 车辆实现了全自动无人驾驶(GoA4),由列车运行自动化系统自动控制,列车在全线任何地点都能自动停车或启动。

2) 黏着系数大幅下降,保证了高架区段在恶劣气候条件下列车也能安全运行。

3) 增加了视频监控系统和半高站台门,由控制中心实现集中监控,并与信号系统互联。

4) 车地间无线通信以及列车运行控制设备ATO/ATC(列车自动运行/列车自动控制)实现了通用性和可互换性,以符合相关欧洲规范的要求。

巴黎地铁1号线实现全自动驾驶的优点是多方面的,效果也立竿见影,具体体现在:

1) 降低了最小行车间隔,理论的最小行车间隔从105s缩短到85s,提升了20%。

2) 车辆配属数由59列下降至56列。

3) 因为取消了驾驶室,并优化了内部客室布置,单车定员提升了6%。

4) 平均旅行速度从24.4 km/h提升到30.0 km/h。

5) 运行的牵引能耗下降了约10%~15%(对列车时速的优化控制可以在降低能耗的同时达到最佳性能,全自动驾驶车速更均衡,因此对车辆设备的损耗也更少,通过使用车辆的再生制动电力,可以系统性地帮助其他车辆启动)。

6) 线路准点率显著提高。巴黎地铁1号线改造后与同为全自动驾驶的14号线处于相同的水平,2014年的准点率达到了99.2%^[4],远远超越了其他传统线路,如图2所示。

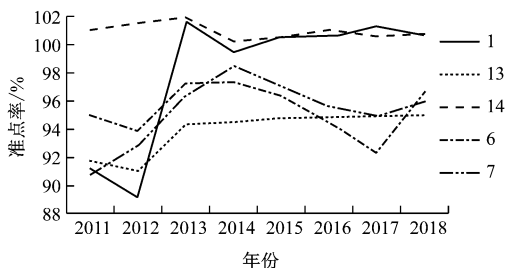


图2 巴黎地铁准点率变化图

综合上述可量化的指标,巴黎地铁1号线的改

造工程全面提升了运能和服务质量,优化了车辆配置,提高了乘客的安全性和舒适度,提升了交通服务的反应速度和对客流的适应性。

1.1.5 后续计划

巴黎地铁 1 号线成为了全球首条在线路改造期间维持正常运营的线路。通过这一项目,巴黎地铁在旧线改造的成本控制和工期控制方面积累了丰富的经验,为今后其它既有线路的升级改造积累了技术能力,也增强了信心。

鉴于此,2013 年,巴黎大区交通管理局授权开始对地铁 4 号线的全自动化改造进行技术研究,工程预算为 2.56 亿欧元^[5]。项目于 2014 年开工,预计将于 2022 年完工。这仅仅是巴黎庞大改造计划的开端。根据长远规划,预计将在 2050 年前完成对总计 6 条线路的全自动驾驶升级改造。

1.2 其他城市的全自动化改造案例

地铁旧线全自动化改造的案例主要集中在欧洲城市,较为典型的还有德国纽伦堡的 U2 和 U3 线。2009—2010 年,纽伦堡地铁 U2 线上实现了新建 U3 线的全自动驾驶列车与有人驾驶列车的混跑,此后,U2 线也实现了全自动驾驶的改造^[6]。这是继巴黎地铁 1 号线后全球第 2 条在不中断线路运营服务的情况下进行全自动化改造的线路。

但对传统线路的全自动驾驶改造也有不成功的案例,柏林地铁 5 号线以及伦敦地铁银禧线延伸段的全自动驾驶改造项目都中途放弃了。柏林的失败原因有多个:项目执行方两家公司之间的合作关系解体造成了项目停滞;相关规划高估了区域的人口增速,从而造成了整个柏林地区的交通供给过大;东、西德合并后由于社会成本过高使政府财政紧张,在这一背景下,地铁线路的全自动化改造被认为是一个“复杂、昂贵且不确定性高”的投资。

2 既有线路全自动化改造的挑战

2.1 施工过程中的挑战

在不中断线路运营的情况下完成自动化改造施工,并确保乘客与工作人员的安全,是此类项目最大的挑战。所有施工和测试都在运营时段以外进行,提供给安装和测试的时间窗口非常有限,导致整个工期延续时间非常长。

从有人到无人驾驶的过渡阶段,是原有系统与新系统共存并同时运营,进而逐步替代的过程,也是整个改造项目中最为关键的一个阶段:既是切换

升级的阶段,也是测试验证和磨合的阶段,更是人员培训的阶段。这一阶段也是风险暴露最为集中的时期,因此对这一阶段运营和测试的精细化管理是整个切换过程的关键。

从信号系统和屏蔽门安装完毕、首批新车上线开始,到新车测试完成、旧车退出正线运营,巴黎地铁 1 号线过渡阶段持续了近 1 年半的时间。其应对措施包括:

1) 对分段调试进行专项安全分析,提前识别并分析过渡阶段和切换过程中的相关风险。

2) 在阿尔斯通位于瓦朗谢讷的车辆测试中心完成新列车的联调工作。

3) 使用专业模拟工具在车辆厂内实现自动化系统的集成和验证工作。

4) 设置“运营/调试”的切换系统,利用夜间测试新系统的配置。

2.2 运营过程中的挑战

从组织的角度,由于全自动驾驶系统采用了全新的理念,导致对人员和岗位构成提出了新的要求,需要将原来的列车司机重新分配到其他工作岗位。同时还需要提高现有员工的技能或招聘新的员工以保证全自动驾驶线路的运营与维修。

对人员素养和运营管理的高要求体现在:

1) 在控制中心,相关的监控人员必须具备较高的专业知识和处理问题的能力,因为原本驾驶员负责的监控职责被控制中心的人员所取代。

2) 在线上和随车需要设置多职能的在线工作队伍,他们不但需要在降级或故障模式下及时介入人工驾驶,还需要监控和检视其他线上的相关设备,培训这样一支高素质的队伍,以保证系统的高效运转。

3) 在降级模式下,需要对故障或事故进行人工干预时,要求运营人员训练有素,及时介入,并应提前编制运营者的处置规程,并在执行过程中对运营管理提出更高的应急处置能力要求。

巴黎地铁自从 14 号线开通和 1 号线完成改造以来,运营组织发生了以下两个明显的变化:一是引入了在线多职能巡查队,替代了原有的司机这一岗位,这需要对人员进行充分培训,培养复合型人才以适应无人驾驶线路的要求;二是维修队伍和运营队伍之间的工作关系更为紧密,界限更为模糊,运营和维修效率明显提高,成本明显下降。

2.3 对管理者和决策者的挑战

全自动化改造不仅仅是一次设备的升级,而是系统集成方式的一次飞跃,更是对传统地铁运维组织架构的一次革命,因此对运营管理者提出了更高的要求。

首先在改造之初,需要运营管理者 and 决策者对系统改造后的目标进行清晰的界定,对相对应的组织架构及各岗位所需的人员素质有清晰的认识,并制订完善的运维组织方案和人员培训计划。

其次,在改造过程中,需要对供货商进行有效的整合管理,由于此类改造不仅是简单的设备层面的升级,而是系统层面的集成,需要运营商在技术与财政等领域进行复杂的设计和流程管理。这需要运营单位在工程施工、项目管理与系统风险控制方面具备足够的专业经验和知识,保证整个项目的可控性。

3 旧线全自动化改造的适应性和必要性

基于 GoA 4 的全自动驾驶系统利用了先进的通信技术、自动控制技术等,实现了完全自动化的、高度集成的列车运行。较之传统线路,其具有缩短最小行车间隔、提升运能上限、提升准点率、降低整体系统能耗、降低人员依赖度、提高运营组织的灵活性和对突发客流的适应性及反应能力等诸多优势。

国内城市在中低运量的轨道线路上开始逐步推广全自动驾驶技术,如北京机场线、广州珠江新城 APM 线、上海浦江线等。在大运量城市轨道交通领域,上海地铁 10 号线也实现了 GoA 3 等级(有人值守列车自动运行 DTO)。另外有多座城市在新建线路中考虑按照 GoA 4 等级进行设计建设,如上海轨道交通 14 号线、南京地铁 7 号线等。但对于既有线路,考虑基于 GoA 4 等级进行升级改造,国内尚无先例。

3.1 全自动驾驶系统的发展前景

全自动驾驶系统从最初应用在机场的旅客运输系统和低运量线路,近年来已经完全在大运量城市轨道交通线网中普及,迪拜、新加坡、哥本哈根等城市在新建轨道线路时均采用全自动化模式设计。可以说无人驾驶已是一项成熟的技术,无论是设计、施工、车辆、设备、系统集成等多个方面都已积累了丰富的经验。

IEC 62290—2014《铁路应用——城市轨道交通

管理与控制系统》和 IEC 62267—2009《铁路应用——城市轨道交通自动化安全需求》等标准的颁布,也从一个侧面说明了全自动驾驶从理论到实践已经趋于成熟,并得到广泛的认可^[7]。

国内的装备制造业近年来也发展迅速,自主化系统集成、安全运行技术、信号系统、车辆装备都取得了重要的进展,智能化、集成化、自动化的趋势显著,这也为国内轨道交通装备升级奠定了基础。

3.2 国内一线城市面临升级改造的时间窗口

北京、上海、广州等一线城市初期的几条线路均于 20 世纪 90 年代开通,运营时间已超过 20 年,其设备和车辆将陆续进入更新改造的时间窗口。因此,现阶段应着手研究其全自动化升级改造方案,基于系统层面进行谋划;并利用车辆更新的契机,对行车控制和信号系统进行同步升级,将 GoA 2 (半自动列车运行 STO,司机监督下的 ATO 驾驶)或 GoA 3 等级的线路改造成 GoA4 的全自动驾驶线路。这可以有效地降低改造难度,减少接口,优化改造成本。

根据欧洲的经验,GoA 4 等级的改造成本比传统线路(GoA 2)的改造成本高出大约 20%,但由于全自动驾驶系统能减少运营时正线列车数量,从而使得两者之间的最终成本相当。从总体投资的角度来说,将 GoA2 系统升级成 GoA4 的全自动化系统的增量成本是呈边际递减的。

3.3 拓展运能上限的有效方式

一线城市的部分骨干线路在客流持续增长的情况下,运能已达到或接近极限,在折返能力、信号系统、站台长度等因素的限制下,增能空间几无可能的线路,以及误点率高、服务供给缺乏灵活性的线路,全自动驾驶改造的必要性是最高的。经过改造后的线路,不仅可以完全释放线路的运输能力,还能有效提高运营组织的灵活性,提升应对突发客流临时调整供给的响应能力,也能为未来延时运营乃至通宵运营构建良好的基础。

4 对国内旧线全自动化改造的建议

4.1 基于网络研究全自动化发展战略的重要性

首先从大战略上明确全自动驾驶的重要意义,认识智能化、集成化和自动化的发展趋势。在国内城市轨道交通线网进入成熟发展期之后,理应将工作重心向提升服务质量、注重乘客体验转移。而全自动化改造便是其中重要的方式之一,应该得到运

营部门的重视。

从成本的角度看,如果仅仅是“以线论线”的话,全自动化的改造将会非常昂贵,但如果能基于一个线网的远期发展,提出总体的自动化发展战略,则能够有效降低边际成本。如巴黎地铁 14 号线的建设和 1 号线的改造是其庞大计划中的前两步,随着这两个项目相继获得成功,后续线路的自动化改造就变得顺理成章,所积累的技术能力和经验将使前期的巨大投入变得“物有所值”,后续项目的成本将会明显下降。因此,基于一个长远的眼光和全局的观念,未雨绸缪地思考这个问题,是对决策者的考验。

4.2 在新建全自动驾驶线路的基础上循序渐进

建议在进行旧线改造之前,首先建设一条真正意义上的、基于 GoA 4 的大运量全自动驾驶线路,观察这一系统在中国的适应性。新技术只有通过应用才能获取经验、积累数据、强化认识、培养人才。

巴黎地铁 1 号线的全自动化改造也是在新建 14 号线获得成功的基础上展开的,前后持续了近 10 年的时间,因此,明确总体发展方向后的谨慎、循序渐进、小步快走,依然是适合国内全自动化发展的有效途径。

4.3 全面提升技术管理水平和人员素质

地铁驾驶全自动化改造不仅仅是设备层面的采购和升级,而是系统层面的整合和管理层面的重组,仅依靠供货商是不够的。从巴黎的成功经验可以看到,巴黎公交总公司集中挑战了多个难点,如制订着眼于远期的庞大计划,在一个敏感的环境中实现技术创新,对复杂项目工程的掌控以及对工期和成本的把控等,都需要运营部门具备较强的技术能力和整合能力。从这个意义上说,自动化改造既是一次设备升级,也应该是一次技术和管理能力升级的过程。

全自动化改造对运营人员的素质也提出了更高的要求。人们往往会觉得取消了人工的岗位职责是对运营人员职责的豁免。实际上并非如此,全自动化改造是将司机等岗位从重复作业中释放出来,去增强在线巡视、乘客服务、应急处置等可以提

升运营质量和效率的岗位,是一种运营人员构架的再造和重组。这就对复合型人才的需求大大增强,需要在人才招聘、岗位职能定义、人员培训等方面努力修炼内功,提升能力。

5 结语

无人本身从来不是自动化改造所追求的,提升运营效率和服务质量才是终极目标。在国内城市尤其是一线城市逐步迈入发展成熟期的今天,着眼于远期发展,提前思考并部署基于 GoA 4 的全自动驾驶的旧线改造计划,是具有前瞻性的举措。建议国内轨道行业的管理和运营部门认真研究国外发展全自动驾驶的经验,密切跟踪技术发展的走势,未雨绸缪、循序渐进、修炼内功,将国内轨道装备水平和管理水平提升到一个新的高度。

参考文献

- [1] IEC. IEC 62290-1 Railway Applications - Urban Guided Transport Management and Command/control Systems Part 1 System Principles and Fundamental Concepts [S]. Geneva: IEC, 2007.
- [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,2014,50(12):39.
- [3] FRANCOIS G. L'heure des métros automatiques a-t-elle sonné [EB/OL]. (2012-01-05) [2018-04-12]. <http://parisinnovation-revue.com/article/lheure-des-metros-automatiques-a-t-elle-sonne>.
- [4] RATP. La qualité de service en chiffres: Bulletin de la ponctualité [DB/OL]. <https://www.iledefrance-mobilites.fr/le-reseau/la-qualite-de-service-en-chiffres-bulletin-d-information-trimestriel-bulletin-de-la-ponctualite/>.
- [5] Navigo. Montparnasse de nouveau accessible pour la ligne 4 [EB/OL]. (2016-04-06) [2018-04-12]. <http://www.navigo.fr/montparnasse-de-nouveau-accessible-ligne-4/>.
- [6] Railway Gazette International. Nürnberg U2 Goes Driverless [EB/OL]. (2009-09-28) [2018-04-12]. <https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/nuernberg-u2-goes-driverless/browse/3.html>.
- [7] 张艳兵,王道敏,肖衍.城市轨道交通全自动驾驶的发展与思考[J].铁道运输与经济,2015,37(9):70.

(收稿日期:2018-12-20)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704