

城市轨道交通全自动运行技术研究论述

傅宝宇

重庆市轨道交通（集团）有限公司 重庆 401120

【摘要】：随着城市轨道交通快速发展、城市化进程的加快，对城市轨道交通设备系统在保证行车安全、提高运输效率、节能环保方面提出了新的需求。采用技术先进、性能稳定、效率优先的全自动运行系统已成为我国轨道交通建设的迫切需求。本文基于重庆市目前正在研究的城市轨道交通全自动运行技术，对全自动运行系统的创新应用、必要性、技术优势、投资等作出分析论述。

【关键词】：城市轨道交通；全自动运行系统

1 概述

全自动运行系统是城市轨道交通列车运行控制系统的发展趋势，全球新建线路中将有 75%采用全自动运行系统，改造线路中也有 40%采用全自动运行系统，国内主要城市已将全自动运行系统建设纳入规划。轨道交通全自动运行系统是基于现代计算机、通信、控制和系统集成等技术实现列车运行全过程自动化的新一代城市轨道交通系统，是指将列车驾驶员执行的工作完全交由自动化的、高度集中控制的列车运行系统完成。全自动运行系统通常具备列车自动唤醒、启动和休眠、自动出入车辆段、自动清洗、自动行驶、自动启停车、自动开关车门等功能，并具有常规运行、降级运行和灾害工况等多重运行模式。是在无司乘人员操作车辆的基础上，衍生出自动化程度高、安全性高、可靠性高、运营灵活性高的系统。

2 全自动运行系统创新研究论述

2.1 全自动运行技术

采用基于无线通信的移动闭塞 ATC 系统(CBTC)，按 GOA4 级设计的全自动运行技术，实现信号与车辆、综合监控、通信、站台门等多系统深度互联，使新型城市轨道交通列车可完成自动休眠、唤醒、自动行车、自动进站停车、自动开关门、自动发车、自动折返等作业，提高轨道线路现代化自动水平，加强系统可靠、安全性，节省人工成本。



图 1 车辆全自动运行驾驶室

有关城市轨道交通全自动运行技术的国际标准主要有 IEC 62267 和 IEC 62290 系列。IEC 62267 提出了自动化等级即

GoA 的概念，根据运营人员和系统所承担的列车运行基本功能的责任划分确定列车运行的自动化等级，可以分为以 GoA0 到 GoA4 的 5 级，其中 GoA3、GoA4 可以称为全自动运行。

运营人员和系统所承担的列车自动化运行等级基本功能划分如表 1 所示。

表 1 轨道交通自动化等级

	基本功能	GOA0 /TOS	GOA1 /NTO	GOA2 /STO	GOA3 /DTO	GOA4 /UTO
列车安全运行	安全进路	人工	系统	系统	系统	系统
	列车间隔控制	人工	系统	系统	系统	系统
	速度监控	人工	人工	系统	系统	系统
列车驾驶	加速和减速	人工	人工	系统	系统	系统
	障碍物监测	人工	人工	人工	系统	系统
	避免与轨道上的人员碰撞	人工	人工	人工	系统	系统
乘客监控	车门及站台门控制	人工	人工	人工	人工	系统
	乘客跌落车厢或跌落轨道上	人工	人工	人工	人工	系统
	列车安全启动条件	人工	人工	人工	人工	系统
列车监控	列车进入、退出运营	人工	人工	人工	人工	系统
	监测列车状态	人工	人工	人工	人工	系统
危险检测与处理	列车诊断；烟火、脱轨检测； 紧急情况处理（疏散监督）	人工	人工	人工	人工	系统检测 +人工处置

针对城市轨道交通车辆段需较多运营维护人员的现状，采用全自动驾驶提高自动化水平，可有效减少车辆段工作人员数量，从而减少日常运营维护人工成本，并通过全自动化操作减少人为误操作，提升维护效率，体现新型城轨日常维护高效、节约的优点。

城市轨道交通全自动运行系统利用现代通信、自动控制、计算机技术，全面提升轨道交通的可靠性、安全性、可用性、可维护性，提高运行效率及整体自动化水平，实现城市轨道交通的最佳化运行，代表未来轨道交通技术的发展方向。

2.2 车地无线通信技术

采用由信号 LTE 网络综合承载的无线通信，减少区间轨旁漏缆和基站敷设，降低造价。

车地无线采用采用 EUHT 技术，时延更低，提升通信可靠性。

2.3 站台门

优化站台门防夹及间隙检测功能并串入安全回路,满足列车自动运行安全可靠要求。

增加对位隔离及隔离提示功能,并根据实际运营模式设置就地控制盘的方案,减少站台乘务人员的配置,降低运营成本。

增加就地控制盘,根据实际运营维护方案来设置控制盘的位置,可保证初期有随车人员的运营处理方案,站台值班室设置就地控制盘可以满足后期 GOA4 自动驾驶的运营模式。

2.4 综合监控

建立统一的数据库、应用软件及人机界面平台,高度融合数据,减少命令至执行的中间环节,高效实现对轨道交通信号、供电、机电、车辆、站台门、乘客服务等设备的全面监控,实现系统间快速联动和非正常情况下的应急处置,为用户后期扩展联动功能和决策支持提供技术支撑。

2.5 车辆

以轻规模、轻投资、轻运维,安全、智慧、高效、绿色、经济为研究目标,结合工程相关特点,车辆除结合创新研究的永磁电机、高频变流器及碳纤维材料等技术运用外还包括:

2.5.1 智能运维技术

利用各类先进传感器实时监测装备运行的各类状态参数及特征信号,借助各种智能推理算法和模型来评估装备的健康状态,在其故障发生前对故障进行预测,并结合各种可利用的资源信息提供一系列的维修保障决策,以实现装备的状态维修。

2.5.2 智能车厢技术

通过拥挤度显示系统,增强客室与乘客的信息交互功能。通过智能空调、智能照明、智能广播技术的采用,实现车厢内的温度、亮度、声音等都可以根据环境变化来自动调整。

3 全自动运行系统应用的必要性分析

(1) 轨道交通全自动运行系统在国际上已经广泛应用,是轨道交通未来发展趋势,而我国尚处在起步阶段,与国际仍有差距。目前我国北京、上海、香港等城市已有应用并取得了良好的口碑与社会效益。

(2) 重庆市目前已开通运营及在建线路均采用基于通信技术的移动闭塞列车控制系统(GOA2),暂未有线路采用全自动运行系统(GOA4)。为进一步提高系统安全性、可靠性、提高运能、降低人力成本、节约能耗,全自动运行系统

的应用推广至关重要,也将成为重庆市轨道交通未来的发展趋势。

(3) 根据国务院印发的《交通强国建设纲要》中关于“推动交通发展由追求速度规模向更加注重质量效益转变,由依靠传统要素驱动向更加注重创新驱动转变,构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系。推进装备技术升级。加速淘汰落后技术和高耗低效交通装备”总体要求。以及陈敏尔书记在 2019 中国国际智能产业博览会上关于“更加注重研发创新,优化创新生态环境,集聚更多高端创新资源,加强核心关键技术联合攻关,推动形成科技创新和产业应用互促共进良好局面。更好提供智慧交通等公共服务,满足人民高质量高品质生活需要!”重要讲话精神,急需在加强轨道交通领域技术创新包括全自动运行系统的应用方面取得突破。

4 全自动运行系统的优势分析

4.1 节约人力成本,减轻人工负担

全自动运行系统采用控制中心至列车(含乘客)的一级管理模式,不设司机岗位,同时减少了车站管理人员及维护人员的数量,优化了人力资源配置。全自动运行系统应用成熟后可以减少定员至 40 人/km 左右,减少的人员可为新建线路储备。全自动运行系统相对于常规系统人工成本每年可减少 240 万/km,预计每条线每年可减少人力成本 0.8 亿。以上海轨道交通 10 号线为例,每公里配额人数已实现 40 人/km 内。

4.2 提高运行效率,降低故障率

通过系统高效自动化运行,全自动运行系统可提高旅行速度 10%左右,提高运能 20%以上。新线设计行车间隔为 120 秒,采用全自动运行系统后最高可缩短至 100 秒,有利于应对线网未来客流的增长。全自动运行系统的应用,影响行车故障率较常规系统将大幅降低,以北京燕房线为例,GOA2 等级运行影响行车故障率为 2.03 次/万列公里,在实现 GOA3 等级运营后,影响行车故障率下降为 0.09 次/万列公里,故障率下降 95%以上。信号系统故障率较原有常规系统可下降 61%左右。

4.3 节能减排

目前重庆轨道交通网络每车公里能耗为 3.3 千瓦时/车公里,网络每人公里牵引能耗为 0.041 千瓦时/人公里,网络动力照明能耗平均值为 4350 千瓦时/站日。应用全自动运行系统后,可以实施多列车的自动、实时、协同控制,避免集中负载,实现列车、车站机电设备节能优化运行。同时支持灵活的增减车辆,调整高峰或平峰时期投入运营的列车数量,实现节能减排。全自动运行系统较原有常规系统可减少 10%~15%的能源消耗,从而节约资源、减少排放并降低成本。

以重庆市已运营线路（2018年）能耗为例，费用约4.19亿元，全自动运行系统的应用较原有常规系统按照能耗减少15%计算，可节省6285万元。

其它优势包括提升运营组织灵活性、提升系统安全性、提高系统可靠性等。

5 全自动运行系统投资分析

调研国内已开展研究的其他项目，全自动运行系统建设模式较常规建设模式总投资增加约2-3%。

以重庆市轨道交通7号线一期为例，该线路长度约27km，设站17座，总投资约170亿元。按照全自动运行配置一次性建设，总投资按增加3%计算，采用全自动运行系统建设较原有常规建设模式总投资增加约5亿元，每公里投资约增加约1850万元。

7号线一期在常规运行模式下，人员配置不宜少于60人/km，全自动运行系统应用成熟后可以减少定员至40人/km左右。若按照每人10万元/年的人力成本计算，全自动运行系统的应用，可节省每年7号线一期5400万元人力成本，对经济效益提升具有十分显著的效果。

6 国内部分城市全自动运行系统应用分析

（1）上海轨道交通10号线是国内首条按GOA4等级建设的线路，2010年11月开通，2014年8月开始按准无人驾驶模式运行，仅在高峰时段安排司机值守。自开通准无人驾驶模式后，10号线日均客流约70万人次，最高日客流量89万人次，正点率99.97%。在保证上线列车数不变的前提下，行车间隔由10分/5分（平峰/高峰）缩短至8分/4分。平均周转时间缩短了10分钟（原140分，现130分）。

（2）北京燕房线于2017年12月30日开通主线工程（阎村东站至燕山站），为中国首条自主研发的全自动运行地铁线路。燕房线（主线）工程全线长14.4公里，均为高架

线路，全线设8座高架车站，1座全自动停车场及1条试车线，1座控制中心，1座备用控制中心。燕房线采用GOA4级别的全自动运行系统，信号系统、综合监控系统深度集成。列车的全自动化运行，有效降低了运行误差，运行更加平稳顺畅，乘客获得了更舒适的乘车体验。

（3）成都市目前正在对既有车辆段进行全自动系统改造。在建的9号线按照全自动运行系统（GOA4）实施，第四轮建设规划的13、27号线和30号线均采用全自动运行系统，其它规划线路拟全部采用全自动运行系统。其它城市如武汉、深圳、苏州等均即将开通全自动运行线路。

7 结语

通过全自动运行系统技术的研究及应用，能够实现信号与车辆、综合监控、通信、站台门等多系统深度互联，实现列车全自动运行，包括休眠、唤醒、自动进出段、自动进站停车、自动开关门、自动发车、自动折返、自动洗车和自动调车等作业，可有效减少人为误操、加快故障处理速度、提高系统安全可靠，有效提升运行组织的灵活性、与自动化水平，降低运营人员劳动强度，减少工作人员数量，从而达到运营安全可靠、运营成本降低、乘客服务质量提升、运营效率提高等效果。

在新时代《交通强国建设纲要》的指导下，以提升城轨系统与城市发展的适应性、系统的乘客服务水平及运营管理水平，打造“安全城轨”、“智慧城轨”、“高效城轨”、“绿色城轨”、“经济城轨”为发展目标，总结重庆城市轨道交通系统多年运营的宝贵经验，融合数据、信息等城市轨道交通新技术发展，实施城市轨道交通系统技术创新研究，为重庆城轨线路建设及既有线路的升级改造，提供技术支撑，实现高品质发展，打造“重庆城市轨道交通”城市名片。全自动运行系统的应用，将有助于提高城市轨道交通整体建设、运营服务水平，同时也是城市轨道交通未来发展的趋势。

参考文献:

- [1] 申晓佳.重庆市主城区交通发展年度报告[R].重庆市交通规划研究院.2018.
- [2] 建设部.城市轨道交通工程项目建设标准[S].北京出版社,2011.
- [3] 佚名.地铁设计规范[S].中国建筑工业出版社,2014.(GB50157-2013).