

# 列车控制智能技术在轨道交通运营改造工程中的应用探索

## Application and Exploration of Train Control Intelligent Technology in Rail Transit Operation Reconstruction Project

张爽<sup>1</sup> 隋鹏<sup>2</sup>

Shuang Zhang<sup>1</sup> Peng Sui<sup>2</sup>

1.北京地铁运营技术咨询股份有限公司,中国·北京 100082

2.北京市地铁运营有限公司通信信号分公司,中国·北京 100082

1. Beijing Subway Operation Technology Consulting Co., Ltd., Beijing, 100082, China

2. Beijing Subway Operation Co., Ltd. Communication Signal Branch, Beijing, 100082, China

**【摘要】**介绍了列车控制智能技术的发展趋势,分析了基于车-车通信智能列控技术特点,结合轨道交通运营线路改造工程实施的难点,阐述了应用车-车通信技术的优势,并对此项智能列车控制技术的应用前景及其影响作用进行了展望。

**【Abstract】**This paper introduces the development trend of train control intelligent technology, and analyzes the characteristics of intelligent train control technology based on vehicle-vehicle communication. Combining with the difficulties in the implementation of rail transit operation line reconstruction project, the paper expounds the advantages of applying vehicle-vehicle communication technology, and prospects the application prospect and influence of this intelligent train control technology.

**【关键词】**列车控制;人工智能技术;车-车通信

**【Keywords】**train control; artificial intelligence technology; vehicle-to-vehicle communication

**【DOI】**<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1411>

## 1 列车控制智能技术的发展趋势

随着现代信息类技术的迅速发展。人工智能逐步渗透到轨道交通领域,其通过与列车控制技术的融合、计算机技术软硬件的协同发展,成为引领行业发展趋势的核心技术。对轨道交通信号、通信产品和服务产生了重要影响。智能通信和信号技术,以及现代信息化系统之间的关系和作用变得密不可分。车站、区间和列车控制的一体化,轨道交通通信信号技术的相互融合,以及行车调度指挥自动化等技术,突破了功能单一、控制分散、列车控制相对独立的传统技术理念,推动了列控技术向数字化、智能化、网络化和一体化的方向发展。

当今轨道交通运营效率不断提高,随着行车间隔的缩小,列车速度的提高,列车的运行安全除了以进路保证外,还必须以专用的列车安全控制设备,监督、强迫列车司机执行。这些列车安全控制设备从初级的列车自动停车装置、自动告警装置、列车速度自动监督系统发展到列车智能自动控制系统。

### 1.1 列控系统组成

列车控制系统(ATC)是以技术手段对列车运行方向、运行间隔和运行速度进行控制,保证列车能够安全运行、提高运行效率的系统,简称列控系统。列车自动控制(ATC)系统分为列车自动防护(ATP)、列车自动驾驶系统(ATO)、列车自动监督系统(ATS)和计算机联锁系统(CI)。

列车控制系统的作用是有目的、有效地组织列车运营,并保障行车安全。列车控制技术发展至今,经历过几次革命性的变革,从最初的视线控制、人工臂板控制、信号灯控制,发展到轨道电路、ETCS/CTCS(欧洲列车控制系统/中国列车控制系统)制式下的固定闭塞,再到基于无线通信的列车控制(CBTC)系统以及无人驾驶CBTC系统的广泛应用<sup>[1]</sup>。

### 1.2 列控系统技术等级

列控系统技术智能应用尤其体现在列车驾驶自动控制系统中。依据国际公共交通协会(UITP)发布的标准规范,将轨道交通列车驾驶控制技术分为以下4种不同的等级:第一等

级(GoA1级)是非自动驾驶(NTO)模式,即由司机在自动列车保护系统下的人工负责控制列车启动、运行、停止、开关车门等操作事项,以及对突发情况进行处理;第二等级(GoA2级)是半自动驾驶(STO)模式,即由司机负责控制列车从站台发车以及处理突发情况等操作事项,而列车的启动、运行和停止则是自动完成的;第三等级(GoA3级)是有人值守的全自动驾驶(DTO)模式,列车需配备一名随车人员进行全程监督,系统或司机负责关门和从站台发车;第四等级(GoA4级)是无人值守的全自动驾驶(UTO)模式,即列车的唤醒、启动、停止、开关车门以及应对突发情况全部实现自动化,无需配备随车工作人员。

不难看出,列车驾驶控制技术经历了从非自动驾驶(NTO)、半自动驾驶(STO)到自动驾驶(ATO)的发展过程,按照标准规范的定义,轨道交通列车自动驾驶(ATO)模式包括有两个等级,即第三等级 DTO 和第四等级 UTO。

目前,中国大多数轨道交通列车的驾驶控制技术是属于第二等级 STO 模式,它们广泛应用基于通信列车控制(CBTC)的信号系统;近年来,诸如上海地铁 10 号线、北京地铁燕房线等全自动无人驾驶模式也在国内初露锋芒,它是一种基于 CBTC 信号系统的 FAO 模式。纵观国外轨道交通技术发展历程,列车全自动驾驶技术经 40 多年的发展和使用验证,包括 DTO 和 UTO 在内的自动驾驶技术已经相当成熟,成为世界城市轨道交通今后发展的主要方向。

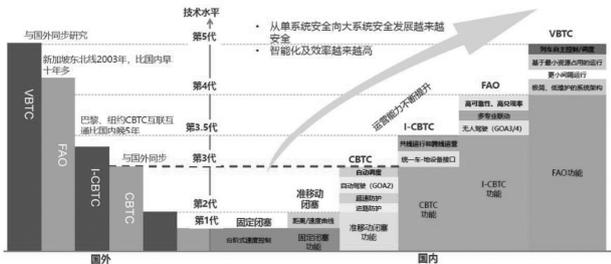


图 1

### 1.3 车-车通信智能列控系统

如今的列车自动驾驶主要是依靠地面控制室来实现列车自动化运行的功能,即由控制室工作人员借助计算机、轨旁装置等包括联锁、移动授权控制器在内的信号系统,对列车运行进行全方位控制,也就是说,列车能够行进多远仍然受地面控制;而对于列车自动驾驶而言,它除了具备自动驾驶功能之外,还额外给列车配备了诸如传感器、控制器、高速定位仪、高清晰相机等设备,它们就像给列车装上了“大脑”和“眼睛”一样,也就是说,列车有了获取运行环境以及独立思考决断的能力,列车在整个运行过程中,始终扮演一个主导者的角色,无需工作人员参与其中,真正做到了自动化和无人化。

“自动化、无人化”的列车智能控制系统,将逐步由“车-

地-车”的通信和控制架构,转为更高级的智能化车-车通信控制系统,即列车自动驾驶控制系统。它完全实现了两列运行的车辆间时时进行信息交互问题,无需地面控制中心及轨旁设备发送指挥、控制、监督等各种指令,就能完成控制列车全部的运行过程。车-车通信智能列控技术这将是今后轨道交通领域的主流技术发展趋势。

## 2 轨道交通运营线路改造技术特点

### 2.1 运营线路技术改造难点

随着轨道交通的建设发展,北京、上海等一些城市的轨道交通已形成网络化运营,日益增长的客流给既有线路的运营组织带来了巨大压力,提高运力对列控系统提出了新的需求。另一方面,随着列控系统投入使用年限的增加,发生故障隐患的几率也随着设备老化逐渐增大。基于以上需求,部分地铁线路开始进行系统改造,以达到消除隐患,提高运营能力的目的。在系统改造的全过程中,列控智能技术的应用为降低改造工程对既有运营的影响风险起到了关键作用。

既是运营线改造,往往由于线路在轨道交通路网中所起的运输作用的特殊性,以及广大市民交通出行需求等诸多方面的因素,决定了其不能通过停运方式进行改造。那么,在边运营边改造的前提下,就要求日间既有列控系统要正常运行,夜间切换到新的列控系统进行调试运行。即同一线路上及同一列车上将同时安装新旧两套系统,并且新安装的列控设备不得对既有系统有任何影响。如何处理解决新旧设备既能同期运转又能互不干扰的问题——这对列控智能技术提出了挑战。

### 2.2 运营改造列控技术分析

列车控制系统改造的全过程将在保证既有系统不停运、不降低既有运营能力的前提下实施。在改造过渡期间,倒接方案的设计需要保证新、旧轨旁设备及车载设备独立运行,实现新、旧列控系统的“无缝切换”。

以往的列控技术离不开 ETCS/CTCS 或 CBTC 标准制式下的架构方式。即地面设备收集处理来自线路、列车的全部数据,根据运营要求和安全限制统一管理线路上的资源,通过信标、环线或无线的方式将移动授权发送给列车上的装备,并提供如信号机显示、授权距离等的相关指示信息给操作者。

基于车-车通信的列控系统,其本质是以列车为中心的新型 CBTC 系统。与传统的 CBTC 系统相比,ATS 直接与车载控制器进行通信,将进路信息发送给车载,车载根据进路信息,直接控制道岔的转动和进路的开放,以及移动授权的计算等轨旁相关的安全功能。车-车通信系统减少了系统的接口数量,从而降低了系统的复杂性。

通过精简轨旁设备,基于车-车通信的列控系统大大减少

了与地面系统设备之间的交互信息,简化了系统数据交互的复杂程度,避免了与既有地面设备、车载设备系统之间的干扰风险,能够与既有系统并行运转;使其应用在轨道交通运营改造工程中成为可能,能够保证新、旧轨旁设备及车载设备独立运行,攻克了技术难题。

### 2.3 车-车通信智能列控技术在运营改造中的优势

在车-车通信方式中,后续列车根据自己的状态,向前行列车请求前车的位置信息。后续列车根据收到的前车位置信息自行计算移动授权和相关的制动曲线。车-车通信智能列控系统省略了联锁子系统和区域控制器子系统,其余各子系统之间的数据流交互和接口简单清晰,避免了繁琐的流程,也解决了系统接口不兼容的问题。

车-车通信智能列控系统其结构中去掉了联锁子系统和区域控制器子系统,不但提高了整个系统的运行性能,而且使列车在运行过程中更加安全。同时节省了大量的空间,为既有运营线路改造工程创造了有利条件。

车-车通信智能列控系统降低了各个子系统之间的耦合度,因此前后列车之间仅仅通过交互列车位置信息的简单动作便可实现列车移动授权的技术等功能,而无需由轨旁系统计算后再通过网络发送给车载控制器,这样就大量减少了数据通信量,降低了车载控制器的反应时间,并且能快速更新后续列车的速度曲线。防止了各个子系统的干扰,而且系统不用过多的连接,结构简单改造投入成本相对低廉。

## 3 车-车通信列车智能控制技术的影响作用

车-车通信列控技术对车辆和信号车载设备进行了深度融合,大大提升行车承载主体-列车的智能化水平。信号车载

设备和车辆之间通过列车上统一的以太网平台将互相提供更为丰富的状态、控制信息,这不但减少了硬件接口,而且通过开放的信息交互,信号系统和牵引、制动系统更为紧密结合,使列车控制过程更为精确,从而提高了运营组织的灵活性。目前,已有多条轨道交通线路应用此项技术,如在青岛市6号线一期建设项目中实施了基于车-车通信技术的“列车自主运行系统(TACS)示范项目。在北京地铁5号线信号系统国产化项目中也应用了基于车-车通信的列车控制技术。

基于车-车通信的列车追踪,后车可通过直接与前车通信,获取前车更多信息,生成平稳的追踪速度曲线,提高乘坐舒适度。另外,系统“自动驾驶”的工作模式可以有效地提高列车的运行速度,对同一条线路可以比“自动驾驶”模式提高发车频次,缩短列车运行间隔时间,改善上下班、节假日高峰时段拥挤及等候状况。除此之外,“自动驾驶”工作模式还摆脱了“自动驾驶”模式高度依赖地面设施的局面,可将投资庞大的地面设施减少到最低程度,有利于旧线改造或节省新线建设、运行和维护成本等等。

基于车-车通信的列控系统是在传统CBTC系统的基础上,逐步依赖自身的感知手段而实现的自动运行系统。该系统将大大减少地面的设备设施,从而大幅度提高效率、降低成本,是下一代列控系统的发展方向。经测算,车-车通信的列控系统能降低35%的全生命周期成本,支持正线追踪间隔80秒、终端折返间隔96秒。与现有CBTC系统相比,车-车通信系统具有设备精简,成本降低,工程易实施、智能化程度更高等特点,将是未来改造轨道交通信号系统的最佳方案。

### 参考文献

[1]朱莉,郭立,胡燕南.电力自动化控制系统中的智能技术[J].电子技术与软件工程.2017(20):116.