

# 基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统

张 扬 张晋恺 刘桂宏 刘合叶

(交控科技股份有限公司, 100070, 北京)

**摘 要** [目的]为了解决基于传统车地通信技术的全自动运行线路所面临的高峰期运能不足、系统设备繁多、故障影响范围广等问题。[方法]提出了基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统设计方案,介绍了该系统的架构及各子系统的功能,分析了该系统的优势。[结果及结论]基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统采用基于相对速度的安全防护模型,实现了列车追踪运行间隔的进一步缩短;采用车车通信方式结合自主感知技术,实现了系统架构的进一步精简,减少了运营维护工作量;构建了具备智能感知的后备系统,可保障系统故障下的列车运行安全,并提升了故障情况下的运营恢复效率。该系统已在北京地铁 11 号线示范工程中完成现场单车及多车调试、测试,取得了试运行授权。

**关键词** 城市轨道交通;自主感知;车车通信;全自动运行系统

中图分类号 U284.48+2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.06.058

## Fully Automatic Operation System Based on Autonomic Perception and Vehicle-to-vehicle Communication Technology

ZHANG Yang, ZHANG Jinkai, LIU Guihong, LIU Heye

(Traffic Control Technology Corporation, 100070, Beijing, China)

**Abstract** [Objective] The fully automatic operation (FAO) line based on traditional vehicle-ground communication technology faces problems such as insufficient capacity at peak time, complex and numerous system equipment, and wide range of fault impact, all need to be solved. [Method] A design scheme of FAO system based on autonomic perception and vehicle-to-vehicle communication technology is proposed. The architecture of the system and the functions of each subsystem are introduced, advantages of the system are analyzed. [Result & Conclusion] The above-mentioned FAO system adopts the safety protection model based on relative speed, further shortening the train chasing interval. Vehicle-to-vehicle communication combined with automatic perception technology further simplifies the system architecture and reduces the workload

of operation and maintenance. The backup system with intelligent perception is constructed, it can ensure train operation safety under system failure and improve the operation resuming efficiency under failure. The system has completed on-site commissioning and testing with single and multiple trains in Beijing Metro Line 11 demonstration project, and obtained trial operation authorization.

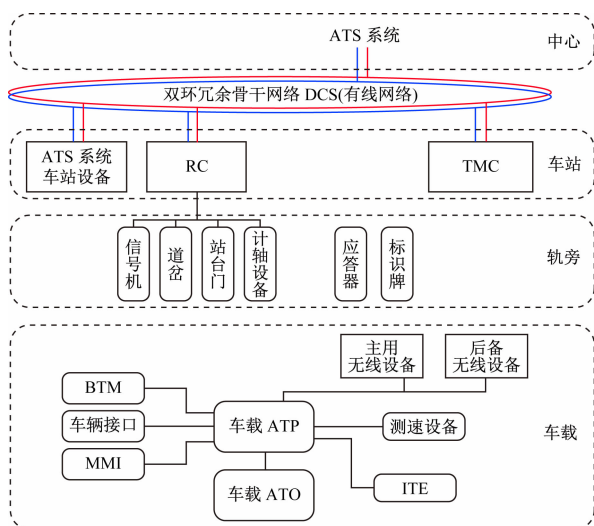
**Key words** urban rail transit; autonomous perception; vehicle-to-vehicle communication; FAO system

FAO(全自动运行)是城市轨道交通未来发展趋势<sup>[1]</sup>。基于车地通信的全自动运行系统(以下简称“全自动运行系统”)应用越来越广泛,但也面临 3 个主要问题:客流量日益增加,高峰期间列车运行间隔是否可以进一步缩短;全自动运行系统设备繁多,系统可靠性、可用性、可维修性和安全性指标是否可以进一步提高<sup>[2]</sup>;全自动运行系统故障影响大,是否可以提升故障情况下的恢复效率<sup>[3-5]</sup>。针对上述问题,结合人工智能技术发展,本文提出基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统(以下简称“全自主运行系统”)总体设计方案。该系统以提升安全、效率、健壮性,降低成本为导向,实现系统运行间隔进一步缩短、系统架构更精简,故障情况下仍可通过智能感知继续自主运行。

## 1 全自主运行系统总体方案

### 1.1 系统架构

全自主运行系统基于相对速度列车控制、人工智能视觉感知等关键技术,实现了系统架构更精简、运行间隔更小、无线通信故障情况下仍可通过自主感知维持运行。该系统主要包括 ATS(列车自动监控)子系统、地面 ATP(列车自动防护)子系统、车载 ATP 子系统、ATO(列车自动运行)子系统、DCS(数据通信系统)子系统及 ITE(智能鹰眼)子系统,其中地面 ATP 子系统包含 TMC(列车管理器)和 RC(资源控制器)<sup>[6]</sup>。其系统架构如图 1 所示。



注:BTM—应答器传输模块;MMI—人机界面。

图1 全自主运行系统架构图

Fig.1 Diagram of the fully automatic operation system architecture

图1中,控制中心ATS子系统负责列车整体运行控制及运行计划管理,基于运行计划为列车分配由资源组成的安全行车路径,向车载ATP发送对应的列车运行计划;地面TMC子系统负责全线列车实时管理,可实现故障恢复后的全线列车免筛、临时限速的管理及下发,更加适应于计轴精简情况下支持故障恢复后的列车快速升级;地面RC子系统负责基于冲突检查完成路径锁闭与解锁,接收列车资源征用及释放申请,控制线路设备;车载ATP子系统负责主动申请及释放线路资源、计算列车移动授权和运行限速,保障列车运行安全;ATO子系统负责根据ATP子系统的限速计算推荐自动完成各种运行动作,实现自动驾驶;DCS子系统由有线网络与车地无线网络设备组成,负责系统各部分设备间的网络连接;ITE子系统负责基于主动感知技术实现列车自主定位、前方轨行区净空检测、识别前方信号机状态,为车载ATP提供基于感知的移动授权。ITE子系统主要由主机及传感器设备组成,其架构如图2所示。

## 1.2 系统功能

与全自动运行系统相比,全自主运行系统对功能进行了重新分配。两系统的功能分配对比如图3所示。

1) ATS子系统。通过与RC子系统、车载ATP/ATO子系统等其他子系统配合,根据列车运行图对列车运行自动分配路径,并按运行图对列车

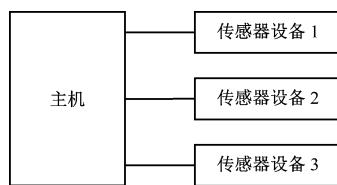
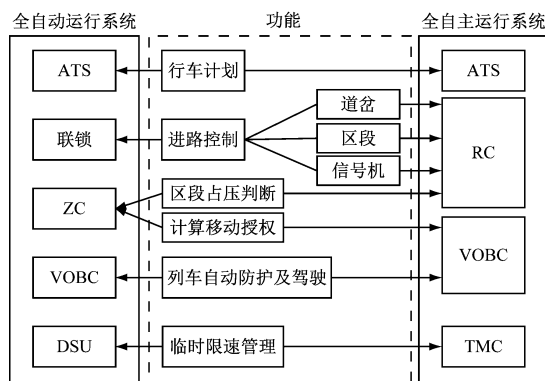


图2 ITE子系统架构图

Fig.2 Diagram of ITE (intelligent eagle eye) subsystem architecture



注:ZC—区域控制器;VOBC—车载控制器;DSU—数据存储单元。

图3 全自动运行系统与全自主运行系统的功能分配对比图  
Fig.3 Function allocation comparison diagram of FAO system and fully automatic operation system

运行进行自动调整,为运行调整提供数据,指挥行车,实施列车运行管理,完成列车运营指挥。

2) RC子系统。负责轨旁设备的管理,实时接收ATS子系统的路径分配,为列车提前锁定路径,同时处理列车资源征用和释放申请,避免多列车资源使用冲突。

3) TMC子系统。TMC设备是PB-TACS(基于感知的车车通信列车运行控制系统)中的地面设备,除具备临时限速管理、雨雪模式管理等功能之外,还具备:①列车实时管理。TMC可记录所有进入正线运行区域的列车信息,生成全线受控列车列表,对进出线路范围的列车进行全面记录和管理。②全线列车免筛。TMC通过正线范围内列车监测以及入口监测,建立全线免筛环境,即正线无隐藏列车。当列车与RC通信中断恢复,检查条件满足后向RC发送全线免筛许可标志,可实现列车通信故障后快速筛选升级。

4) 车载VOBC子系统。具有如下功能:①资源申请。根据ATS计划,确定需要申请的资源,并向RC发送资源征用申请指令,相应资源锁定后,可征用相应资源。②资源释放。列车经过锁定的线路资源一定距离后,向对应RC发送指令,释放该线

路资源。③前车识别。向 RC 获取通信车列表,识别运行方向上的前车,识别前车后,主动与前车建立通信,获取前车位置、速度等信息。④移动授权计算。基于车车通信、车地通信获取前车位置、速度、道岔等信息,计算移动授权,保证列车运行安全。

5) 车载 ITE 子系统。作为列车的高安全主动识别系统,满足 SIL4(安全完整性等级 4)要求,具备如下功能:①高可靠定位;②检测列车行车线路前方轨行区障碍物,准确计算距障碍物距离;③检测列车前方信号机状态;④基于净空检测的移动授权计算,用于 VOBC 子系统超速防护。

### 1.3 系统优势

与全自动运行系统相比,全自主运行系统具有以下优势:

1) 缩短了列车运行间隔。全自主运行系统由传统的车-地-车通信,转变为车车直接通信,能够传递更加丰富的信息,包括列车位置、速度、加速度等。基于车车通信获取的信息,列车自主计算移动授权。全自主运行系统由传统的“基于位置的安全防护模型”(俗称“撞硬墙”),转变为“基于相对速度安全防护模型”(俗称“撞软墙”),分别预测前后相邻两列列车从开始紧急制动到停车过程中的位置及速度,保证前后相邻两列列车不发生碰撞;计算安全防护曲线,并缩短追踪间隔。不同防护模型

安全防护曲线计算方式如图 4 所示。

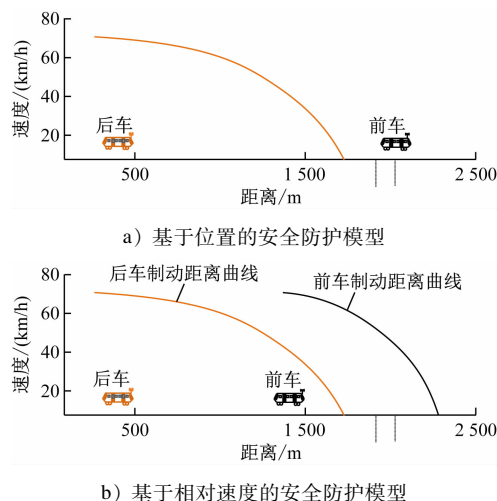
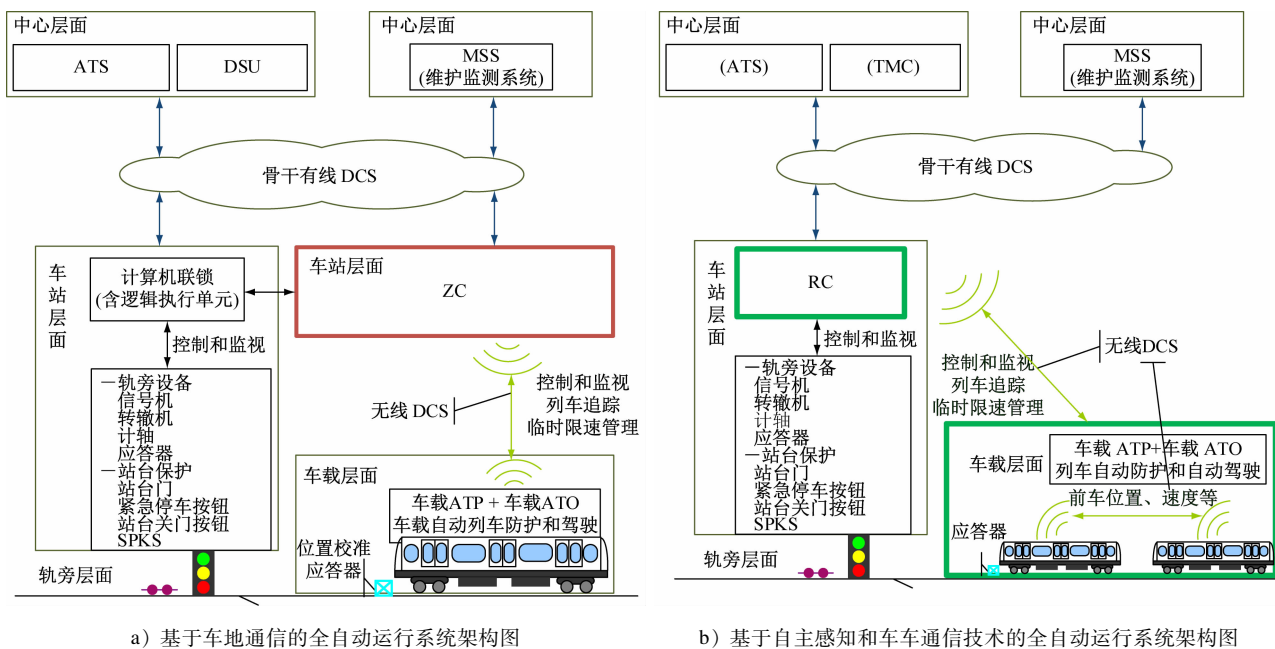


图 4 不同防护模型安全防护曲线计算方式示意图  
Fig. 4 Schematic diagram of calculation method of safety protection curve under different protection models

2) 精简了系统架构。在中心层面,取消了 DSU 设备,新增了 TMC 设备,用于全线列车管理;在车站层面,取消了 ZC、CI(计算机联锁)设备,保留 RC 设备,ZC、CI 功能分配至 RC 和车载 ATP 设备;在车载层面,增加了 ITE 设备;在轨旁层面,计轴及信号机可仅在岔区及双向作业区域进行布置。精简前后的系统架构如图 5 所示。



注:SPKS—人员防护开关。

图 5 全自动运行系统与全自主运行系统架构对比示意图

Fig. 5 Schematic diagram of architecture comparison between FAO system and fully automatic operation system

3) 提升了降级下故障恢复效率。后备感知系统具备复杂运行环境自主识别能力,可满足系统故障下的行车安全保障和提升运行效率的需求。后备感知系统通过多传感器融合感知及智能算法,感知识别周边环境,实现不依赖轨旁设备获取列车自身位置、速度等关键信息,有效识别前方轨行区列车、人员、障碍物等位置及信号机状态,完成列车到目标物体间距离的计算,判断碰撞风险并监控制动距离,实现 SIL4 级列车安全防护。列车在运行区间可“看多远、开多远”,以及“看灯”过岔运行和自动进站停车,保证故障情况下列车仍能够维持运行能力,保持自动运行。

## 2 工程应用效果

目前,基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统已取得最高安全等级 4 级认证,并在北京地铁 11 号线示范工程完成现场单车及多车调试、测试,取得了试运行授权。

在列车追踪运行中,该系统采用基于相对速度的安全防护控制技术,列车移动授权终点能够延伸至前车车身/车前,缩短了区间追踪间隔及正线车站接车间隔。

在定位设备断电、车地通信完全中断等故障情况下,该系统依靠自主感知,可识别道岔区防护信号机(系统仅需保留道岔区防护信号机)颜色,实现降级情况下单车运行,也可实现降级情况下多车追踪运行。基于自主感知和车车通信技术的全自动运行系统由于具备完整后备系统,可节省计轴等用于实现系统降级运行的轨旁设备。

## 3 结语

相较于传统的全自动运行系统,全自主运行系统的主要优势如下:

1) 采用基于相对速度的安全防护模型,实现了列车行车间隔的进一步缩短。

2) 采用自主感知系统与车车通信系统相结合的方式,对全自动系统架构进行了优化,精简了系统架构,减少了设备,减少了运营维护工作量,提升了系统 RAMS(可靠性、可用性、可维护性、安全性)指标。

3) 引入智能感知技术构建了完善的后备系统,

提升了故障情况下运营恢复效率。

同时,全自主运行系统也为下一代自主虚拟编组运行系统奠定了技术基础,从而可实现路网客流-车流匹配,为乘客提供无缝出行服务,提升城市公共交通通行效率,满足乘客出行方式的多样化需求。

## 参考文献

- [1] 唐涛, 郜春海, 李开成, 等. 基于通信的列车运行控制技术发展策略探讨[J]. 都市快轨交通, 2005, 18(6): 25.  
TANG Tao, GAO Chunhai, LI Kaicheng, et al. A discussion on the CBTC development strategy[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2005, 18(6): 25.
- [2] 杜建新. 城市轨道交通车车通信信号系统的控制思想[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(增刊2): 21.  
DU Jianxin. Control idea of communication signal system for urban rail transit vehicles[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(S2): 21.
- [3] 吴昊. 采用列车自主运行技术提升城市轨道交通网络化运营能力[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 40.  
WU Hao. Capacity improvement of urban rail transit networking operation by adopting TACS technology[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 40.
- [4] 温杜仲. 基于车车通信技术的新型城市轨道交通信号系统研究[J]. 中国新通信, 2016, 18(24): 122.  
WEN Duzhong. Research on new urban rail transit signal system based on vehicle-vehicle communication technology[J]. China New Telecommunications, 2016, 18(24): 122.
- [5] 徐启禄. 基于车车通信的 CBTC 系统关键技术研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(5): 110.  
XU Qilu. Key technology research on CBTC system based on vehicle-vehicle communication[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(5): 110.
- [6] 朱志伟, 李聪. 基于车车通信的地铁列车自主运行系统线路资源管理方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(10): 137.  
ZHU Zhiwei, LI Cong. Research on wayside infrastructure management scheme in metro train autonomous control system based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10): 137.

· 收稿日期:2023-05-12 修回日期:2023-08-20 出版日期:2024-06-10

Received:2023-05-12 Revised:2023-08-20 Published:2024-06-10

· 第一作者:张杨,高级工程师, yang.zhang@cq-tct.com

通信作者:刘桂宏,高级工程师, liugh1986@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license