

城市轨道交通信号系统次级列车检测方法优化方案^{*}

马伟杰¹ 邢艳阳²

(1. 上海地铁第一运营有限公司, 200080, 上海; 2. 卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 随着城市轨道交通信号系统闭塞方式的变化, 轨旁次级列车检测设备正呈逐步减少的态势, 但设备总体数量仍较多。在目前主流的 CBTC(基于通信的列车控制)系统中, ATP(列车自动保护)采用了主动列车定位系统, 次级列车检测设备主要用于降级模式列车的运行。分析了次级列车检测设备在 CBTC 系统中的主要作用, 提出了无次级列车检测设备但可实现其功能的信号系统方案。TACS(列车自主运行系统)不依赖于次级列车检测设备, 介绍了该系统实现列车筛选、降级列车行车组织和道岔资源管理的方案。TACS 可实现优化信号系统架构、降低信号系统运营和维护成本、压缩轨旁设备机房面积及减少信号系统设备用电量的作用。

关键词 城市轨道交通; TACS; 次级列车检测; 列车筛选

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.09.035

Optimization Solution of Secondary Train Detection Method in Urban Rail Transit Signaling System

MA Weijie, XING Yanyang

Abstract With the change of blocking method of urban rail transit signaling system, the secondary train detection equipment on wayside is gradually decreasing, but the total quantity of the equipment is still large. Currently, in the mainstream CBTC (communication-based train control) system, ATP (automatic train protection) adopts the positive train localization system, and the secondary train detection equipment is mainly used for the operation of trains in degrade mode. The main functions of the secondary train detection equipment in CBTC system are analyzed, and the signaling system solution to realize function without secondary train detection equipment is put forward. TACS (train autonomous control system) do not rely on the secondary train detection equipment. The solution to realize train sweeping, degrade train operation and switch area resource management is introduced. TACS system can optimize signaling system architecture, reduce the operation and maintenance cost, and

reduce the wayside equipment room area and signaling equipment power consumption.

Key words urban rail transit; TACS (train autonomous control system); secondary train detection; train sweeping

First-author's address Shanghai No.1 Metro Operation Co., Ltd., 200080, Shanghai, China

CBTC(基于通信的列车控制)系统通常包括主用 CBTC 系统和点式 ATP/ATO(列车自动保护/列车自动运行)系统。而随着 CBTC 系统的日渐成熟,越来越多的用户不再将点式 ATP/ATO 系统作为必选项。在既有城市轨道交通信号系统中,降级列车或未装备车载 ATP 设备的车辆需要采用轨道电路、计轴、RFID(射频识别)等设备来检测车辆位置,相较于车载 ATP 主动列车定位设备,这些轨旁设备被称为次级列车检测设备。次级列车检测设备在信号系统供货份额中占比较大。从早期的模拟轨道电路,到数字轨道电路,再到计轴设备,列车占用的检测设备正逐步减少,从几十米至三四百米配置一段轨道电路减少到一个区间配置一个计轴区段。这使信号系统的故障点得以大幅减少,系统稳定性得以提高。但在目前新建或改造项目中,仍需配置较多的次级列车检测设备,存在一定的优化空间。本文探讨了 CBTC 系统中次级列车检测设备的作用,介绍了无次级列车检测设备但可实现其功能的信号系统方案。

1 CBTC 系统的次级列车检测设备作用

CBTC 系统的次级列车检测设备主要用于 ATP 防护列车的筛选、各种车辆的占用检测、联锁进路控制等。

1.1 ATP 防护列车的筛选

当降级列车重新恢复定位后,信号系统无法判断列车前方或后方是否存在其它车辆,暂不能授权

^{*} 上海市自然科学基金项目(22ZR1422200)

列车进入 ATP 防护驾驶模式运行。为恢复自动驾驶模式运行,在信号系统中设计了一系列由特定长度次级列车检测区段组成的安全防护识别区。当列车进入该安全防护识别区,信号系统判断该车头部和尾部不存在其它车辆后,完成车头车尾筛选,此时列车具备升级至 ATP/ATO 驾驶模式的条件。图 1 为 ATP 防护列车自动筛选示意图。

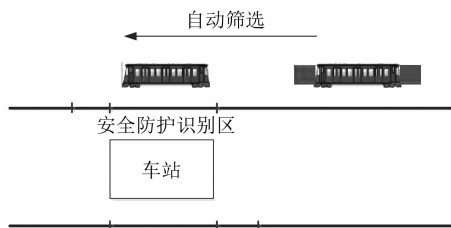


图 1 ATP 防护列车自动筛选示意图

Fig. 1 Diagram of auto sweeping for ATP protected train

图 1 中的站台区布置了次级检测设备,该区段长度小于一列列车和信号系统定义最小车长的长度之和。当列车在站台停靠时,信号系统自动完成对该车的筛选。

1.2 列车占用检测

在 CBTC 系统中,CBTC 系统正常工作时,采用 ATP 主动列车定位进行列车的移动授权计算和列车占用显示,并不依赖于次级列车检测设备。仅在降级运行模式下,通过次级检测设备划分固定闭塞分区,每个闭塞分区同时仅允许 1 列车进入,实现列车之间的间隔防护。图 2 为次级列车检测设备布置示意图。

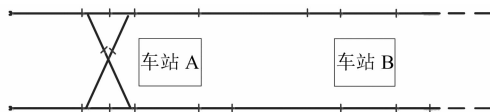


图 2 次级列车检测设备布置示意图

Fig. 2 Diagram of secondary train detection equipment layout

图 2 中,在站台、道岔区及列车正向出站方向都布置了次级列车检查设备,组成固定闭塞分区,仅当降级列车前方闭塞分区空闲后,信号系统才授权降级列车向下一站发车。为满足点式后备模式运营间隔要求,部分信号系统中增设了出站方向的次级检测设备。

1.3 联锁进路控制

当列车行驶到道岔区域且车载 CBTC 系统设备发生故障时,列车将失去主动列车定位,信号系统无法判断列车是否出清道岔,道岔仍保持锁闭状

态,这将导致列车无法折返。在配置次级检测设备时,联锁子系统将综合 ATP 主动列车定位和次级列车检测信息判断道岔区域的出清状态。由于主动列车定位和次级列车检测均为 SIL4 级安全信息,只要次级检测设备占用状态为空闲则可判断道岔出清,从而可以安全解锁进路,并为列车办理折返进路。

非装备车夜间上线维护作业期间,次级列车检测设备可以正常检测车辆的位置,可为其办理联锁进路,当车辆出清道岔后信号系统自动解锁进路。

2 无次级列车检测设备但可实现其功能的信号系统方案

由上述分析可知,在 CBTC 系统的降级模式下,次级列车检测设备发挥着重要作用。如欲优化次级列车检测设备配置,则必须找到能够提供上述功能的替代方案,达到既优化了次级列车检测设备配置,信号系统功能又不受影响。

2.1 不依赖于次级检测设备的列车筛选

对于无次级列车检测设备的信号系统,可在列车停车后,经司机和调度员双重确认,人工完成筛选操作。对于有人驾驶模式的信号系统,可以在司机台配置车载安全防护确认按钮,当调度员授权、司机确认列车前方无车时,司机按压车载安全防护确认按钮,完成车头车尾的筛选。图 3 为人工筛选列车示意图。

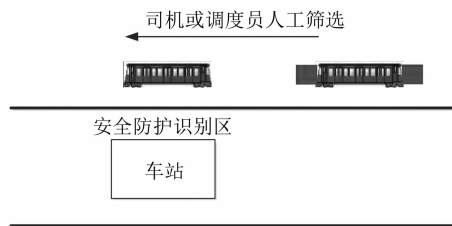


图 3 人工筛选列车示意图

Fig. 3 Diagram of manual sweeping of trains

对于无人驾驶模式的信号系统,可由多职能队伍接管列车,或列车通过远程限制人工驾驶模式运行至安全防护识别区后,通过车上或站台多职能队伍及调度员双重确认后执行人工筛选操作。人工筛选完成后,恢复列车全自动运行模式运行。

在基于车车通信的 TACS(列车自主运行系统)中,轨旁无需配置次级列车检测设备,线路资源由轨旁资源管理器统一管理。对于部分无法判断是否存在非通信车的区域,该系统可授权定位有效的

列车以 ATP 切除模式驶过该区域,自动完成区域筛选后,恢复该区域正常状态。

2.2 降级列车行车组织

对于无次级列车检测设备的信号系统,当列车车载设备故障或非装备车辆上线运行时,可根据降级列车运行路径为其运行设置一定范围的人工控制区域(见图 4)。该人工控制区域为逻辑区域,不依赖于轨旁次级列车检测设备。ATP 防护的列车不被授权进入人工控制区域,同时降级列车只能在激活的人工控制区域内移动,不得超出人工控制区域。当降级列车驶离人工控制区后,调度员可取消人工控制区域,恢复该区域对 ATP 防护列车的移动授权。通过在信号系统中设置人工控制区,可实现自动驾驶列车和人工驾驶列车之间的混合运行。

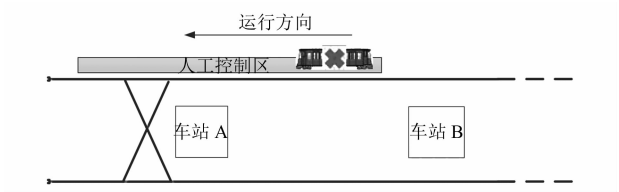


图 4 人工控制区设置示意图

Fig. 4 Diagram of manual control zone setting

在 TACS 中,未配置次级列车检测设备,而是配置了一套轨旁列车管理器。轨旁列车管理器负责降级列车或非装备车辆的安全防护、资源申请和释放。降级列车或非装备车辆根据其运行任务,逐段申请线路资源,TACS 授权降级列车或非装备车辆在获取的资源范围内运行;在降级列车或非装备

车辆释放资源前,后方 ATP 防护列车无法获得授权进入该车所获资源范围。轨旁列车管理器代替降级列车或非装备车辆与正常 ATP 防护列车之间进行车车通信,实现正常列车和降级列车的安全间隔防护和混合运行。

2.3 道岔区域资源管理

对于既有 CBTC,可根据折返间隔需求,适当保留道岔区域的次级检测设备,用于主动列车定位故障时道岔区域出清检测、维持基本联锁进路的办理和解锁,确保列车折返作业正常进行。

在 TACS 中,列车与列车之间通过直接通信获得对方的定位信息,无需轨旁次级列车检测设备参与列车定位计算。当某车载设备主动定位故障后,轨旁列车管理器将自动接管该降级列车,代理该车与其它正常列车、轨旁资源管理和中心 ATS(列车自动监控)之间接口,实现降级列车的安全防护、资源申请和释放。轨旁列车管理器从 TACS 中同步列车位置信息,根据该车的当前位置和运行任务,为其申请从当前位置至目的地的路径资源,锁定运行路径中的道岔。当列车到达目的地后,可通过重定位操作释放列车后方线路资源并解锁相关道岔。而后方列车可根据运行任务按需申请这些已被降级列车释放的资源,从而实现正常列车和降级列车的追踪运行。

TACS 结构如图 5 所示。由图 5 可见,在 TACS 的轨旁不再设置次级列车检测设备,而是在全线配置一套轨旁列车管理器。这样既可以减少轨

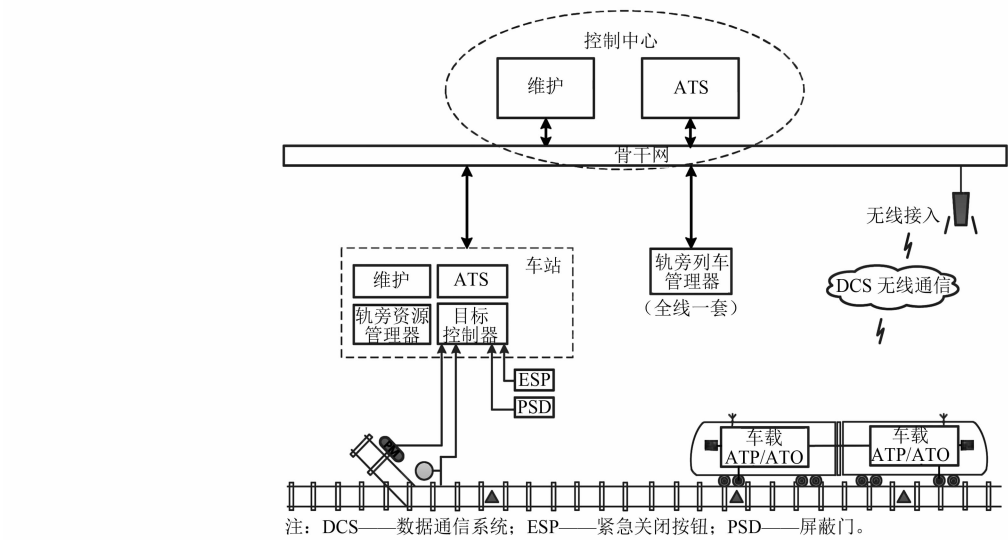


图 5 TACS 结构图

Fig. 5 Diagram of TACS structure

旁设备维护成本,还可以缩减信号设备机房机柜数量及减少用电量。TACS 尤其适合用于既有线路信号系统的升级改造项目。

于 2021 年底开通的深圳地铁 20 号线,为国内第一条投入商业运营的采用 TACS 的线路。该新路的 TACS 包含轨旁资源管理器、轨旁列车管理器、目标控制器、车载控制器、ATS、DCS(数据通信系统)和维护子系统等。该系统取消传统联锁进路概念,不依赖任何次级列车检测设备,为用户提供了一套安全高效的创新系统,也推动了城市轨道交通信号系统技术发展。

3 结语

简化信号系统架构、减少轨旁设备布置、压缩设备机房面积及设备耗电、减少项目建设成本、降低运维成本,是新型列车控制系统的发展需求。轨旁设备包括轨道沿线设备、车站机房设备及光电缆等,轨旁设备越多则故障点越多,运营维护成本越高。在保证降级列车行车的前提下,减少轨旁次级列车检测设备是可行的,符合运营和维护降成本需求。TACS 是无次级列车检测设备但可实现其功能的信号系统。

参考文献

- [1] 陈思维. 上海轨道交通 3、4 号线信号系统改造方案研究[J].

(上接第 176 页)

- LIU Yi, PAN Qing, ZHANG Mingliang, et al. Research progress of shrinkage crack control technology of laminated wall panel in subway station [J]. China Concrete and Cement Products, 2021(3):69.
- [5] LIU J, TIAN Q, WANG Y, et al. Evaluation method and mitigation strategies for shrinkage cracking of modern concrete [J]. Engineering, 2021(3):348.
- [6] 田倩,王育江,张守治,等. 基于温度场和膨胀历程双重调控的侧墙结构防裂技术[J]. 混凝土与水泥制品, 2014(5):20.
- TIAN Qian, WANG Yujiang, ZHANG Shouzhi, et al. Crack

城市轨道交通研究, 2021, (7):148.

CHEN Siwei. Research on signaling system transformation scheme of Shanghai Urban Rail Transit Line 3/4 [J]. Urban Mass Transit, 2021(7):148.

- [2] 陈浩,雷成健. 基于车-车通信的全自动运行信号系统研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(3):24.

CHEN Hao, LEI Chengjian. Research on full automatic operation signal system based on train-to-train communication [J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(3):24.

- [3] 姜庆阳. 城市轨道交通 CBTC 系统精简化研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020(10):53.

JIANG Qingyang. Research on refinement and simplification of urban rail transit CBTC system [J]. Modern Urban Rail Transit, 2020(10):53.

- [4] 邓红元. 城市轨道交通信号系统发展展望[J]. 现代城市轨道交通, 2020, (8):33.

DENG Hongyuan. Development prospect of urban rail transit signaling system [J]. Modern Urban Rail Transit, 2020(8):33.

- [5] 邢艳阳. 城轨 CBTC 系统升级为 TACS 系统的方案探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2021, (9):18.

XING Yanyang. Study on CBTC system upgrading to TACS system plan for urban rail transit [J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(9):18.

(收稿日期:2022-05-22)

control technology of concrete for sidewall structure based on dual-regulation technology of temperature field and expansion history [J]. China Concrete and Cement Products, 2014(5):20.

- [7] 张坚,张士山. 某轨道交通地下车站叠合墙结构的裂缝控制技术[J]. 江苏建筑, 2018(2):38.

ZHANG Jian, ZHANG Shishan. The research on the crack control technology of composite wall structure of an underground metro station [J]. Jiangsu Construction, 2018(2):38.

(收稿日期:2021-07-16)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

