

城市轨道交通全自动运行列车车辆段 出库信号系统设计

黄柒光¹ 王冬海²

(1. 卡斯柯信号(上海)有限公司,200072,上海;2. 卡斯柯信号(北京)有限公司,100160,北京//第一作者,高级工程师)

摘要 阐述了城市轨道交通车辆段信号系统常规设计方案,并对自动化车辆段信号系统设计进一步说明。分析了自动化车辆段全自动运行列车出库流程,并介绍上海地铁10号线出库优化方案。采用优化方案可进一步提高自动化出库效率,缩短列车出库间隔。分析了常见故障下全自动运行列车出库场景和处理方案,并结合实例说明。

关键词 城市轨道交通;信号系统;全自动运行;无人驾驶自动化车辆段

中图分类号 U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.028

Design of Urban Rail Transit Depot Outbound Signal System for Fully Automatic Operation Train

HUANG Qiguang, WANG Donghai

Abstract The conventional design schemes of urban rail transit depot signal system are elaborated, and the signal design of automatic depot is further explained. Through analyzing the departure process of fully automatic operation (FAO) train from the automatic depot, the optimization scheme of depot outbound on Shanghai metro Line 10 is introduced. The scheme can further improve the automatic operation efficiency and shorten the interval of train departure. At the same time, the FAO train departure scene and solution under common faults are analyzed and explained with actual examples.

Key words urban rail transit; signal system; FAO; driverless automatic depot

First-author's address CASCO Signal (Shanghai) Co., Ltd., 200072, Shanghai, China

根据 IEC 62290《城市指导运输管理和命令/控制系统》中的定义,GOA(全自动运行等级)主要有2个级别,分别为GOA3与GOA4。其中,GOA3为有人值守全自动运行,GOA4为无人值守全自动运行。上海地铁17号线采用了GOA3等级的DTO

(有人值守无人驾驶列车运行)全自动运行,上海地铁10号线采用了GOA4等级的UTO(无人值守列车运行)全自动运行。全自动运行不仅仅为了减少驾驶员,同时可进一步提高城市轨道交通系统设备功能和性能,提升安全性、可靠性和可用性。全自动运行需要实现的运营场景包括唤醒、上电、自检、出库、进入正线服务、进站停车、站台发车、折返换端、清客、停止正线服务、回库、休眠、洗车等场景。全自动运行车辆段/停车场(以下简称“场段”)与常规场段有较大区别,主要是场段内停车、休眠、唤醒、列检、洗车需要与正线一样,实现无人参与。本文主要讨论列车在车辆段全自动出库场景相关的信号设计问题。

1 全自动运行场段列车出库信号系统设计

1.1 场段信号设计分析

从国内外地铁现状及发展来看,根据场段的监督与控制设计区分,主要有以下3种方式:

1) ATS(列车自动监控)对场段只监视不控制,完全人工控制,控制中心可监视场段作业,但不控制场段进路,列车在场段内采用限制人工(RM)驾驶模式,由场段人员人工办理进路。控制模式一般是紧急站控模式,目前大部分已建或在建地铁均采用该方式。

2) ATS对场段监视与控制,控制中心能监视场段作业,同时通过ATS可控制场段进路,进路可通过ATS自动办理,列车在场段内采用限制人工驾驶模式,控制模式有站控和紧急站控。

3) ATS与ATC(列车自动控制)对场段监视与控制,场段内区分完全自动化无人区和非自动化区,控制中心可监视与控制场段作业,进路可通过ATS自动办理,列车运行采用ATO(列车自动运

行)模式或 ATP(列车自动防护)模式。控制模式有紧急站控、站控和中控。

上述 3 种场段方式自动化程度逐步提高。第一种方式是地铁信号系统常规方案;第三种方式是全自动运行必须方案,具备 ATS 自动进路、ATP 自动防护和 ATO 自动驾驶及自动休眠、唤醒等实现全自动运行列车出库。

1.2 场段自动化程度分析

随着列车全自动逐渐发展,使得全自动场段成为必然趋势,迫切需提高场段自动化水平和安全防护能力。根据场段自动化程度,一般可分为 ATS 场段、ATO 场段、DTO 场段、UTO 场段,自动化程度越来越高。下面分别阐述几种自动化场段特点,如图 1 所示。

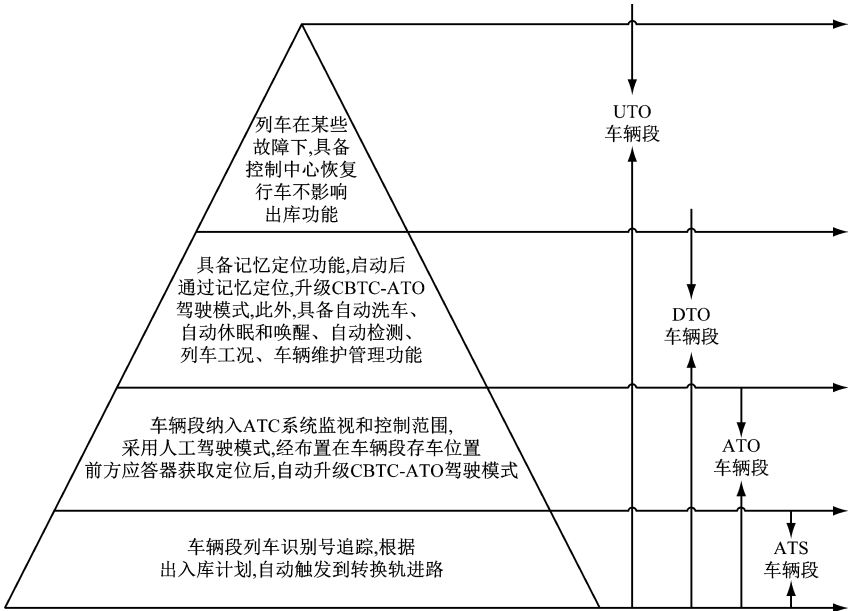


图 1 场段自动化程度

ATS 场段:ATS 子系统自动完成列车在场段内列车识别号追踪,根据当天派班出入库计划,自动获取头码目的地,进而自动触发列车存车线到转换轨的列车进路。

ATO 场段:具备 ATS 功能,此外,场段纳入 ATC 系统监视和控制范围,列车上电启动自检后,采用人工驾驶模式,经过布置在场段存车轨前方应答器获取定位后,自动升级 CBTC-ATO 驾驶。

DTO 场段:具备 ATO 功能,列车启动后无需人工驾驶自动升级,因此,列车在场段需具备定位记忆功能,起动后通过记忆的定位,升级 CBTC-ATO 驾驶模式,此外,需要具备自动洗车、自动休眠和唤醒、自动检测、列车工况、车辆维护管理功能。

UTO 场段:具备 DTO 功能,列车在某些故障下具备控制中心远程恢复行车,不影响出库功能。

1.3 场段列车全自动出库过程分析

场段列车全自动出库过程如图 2 所示。

1) 通过在场段布署应答器、轨旁车地无线通讯设备,场段具备 ATO 驾驶模式,或 DTO 驾驶模式,

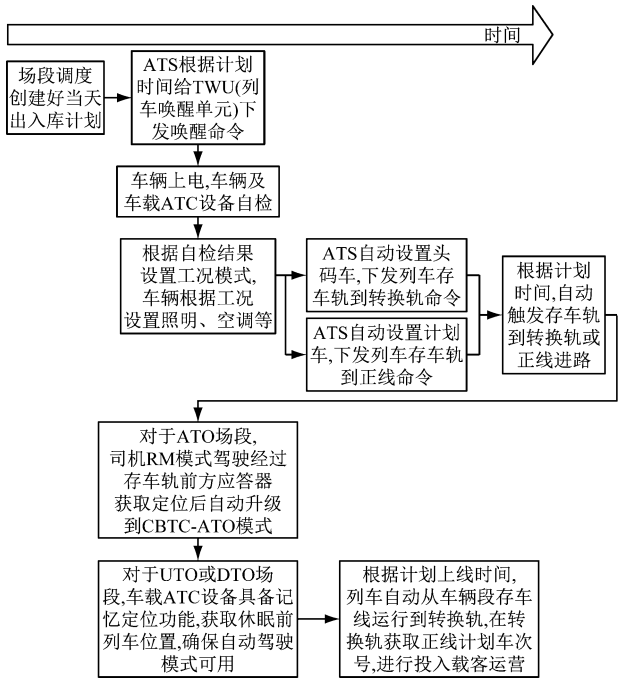


图 2 车辆段/停车场全自动出库流程

或 UTO 驾驶模式的 CBTC(基于通信的列车自动控

制)运营模式。

2) 场段派班人员创建好出入库计划,每个出入库计划在创建时都被指定一个正线计划作为基准,该出入库计划中的计划列车出入库记录和作为基准的正线计划中的上线运行任务相对应。当天出入库计划的基准为当天正线计划,如果当天正线计划和预定义的在线出入库计划基于不同的基本正线计划,系统将给出告警。出入库计划由多条派班记录构成,通过输入车组号匹配正线计划的车次号,从而自动计算上线目的地、上线轨、上线时间、下线目的地、下线轨、下线时间等。

3) 系统根据列车计划上线时间,由ATS系统提前一定时间给车辆(处于唤醒窗口中,如场段存车轨等)TWU(唤醒单元)发送唤醒命令,TWU给车辆发送上电命令,车辆自检,并在自检过程中进行接触网上弓;同时车载ATC设备(CC)进行自检,自检包含驾驶室激活、开关门测试、EB(紧急制动)、缓解EB等测试,将自检结果发送调度确认,调度根据自检结果确定是否要出车;自检成功,工况模式设置为上线运营,自检不成功,工况模式设置为未知。同时车辆也将根据工况模式进行相关操作,如上线运营,则车辆相关空调、照明、PIS(旅客向导系统)将启动为载客服务模式。

4) 系统根据列车计划上线时间,ATS系统向场段车载ATC设备下发列车运行命令,目前主要有两种实现方式:①ATS自动头码车(图外目的地车)。ATS给车载ATC设备下发运行命令一般是列车存车线到转换轨,该方式存在弊端就是列车到达转换轨存在速度下降过程,因为列车需要完全在转换轨,ATS才会更新正线车次号,从而进行触发相应正线进路,因此,无法做到列车进入转换轨前自动触发转换轨进入正线的进路,导致列车在进入转换轨必定存在速度下降过程,目前上海地铁10号线场段采用的是该方式。②ATS自动计划车。ATS给车载ATC设备下发运行命令一般是列车存车轨到正线,ATS通过将场段(存车线到转换轨)与正线计划进行连接起来,采用该方式,转换轨到正线进路可提前自动触发,无需列车到达转换轨获取正线计划后再触发,不会导致列车在转换轨速度有下降情景,目前上海地铁17号线场段采用的是该方式。该方式可缩短列车出库间隔时间,提升列车出车能力,如上海地铁10号线采用该方式进行出库,将进一步提升列车出车能力,提高运营效率。

5) 系统根据列车计划上线时间,ATS系统向场段联锁设备自动下发列车进路命令,并根据列车头码车或计划车属性,自动触发存车轨到转换轨或正线进路。

6) 对于ATO场段,此时,将由司机RM模式驾驶,经过布署在存车轨前方应答器获取定位后自动升级到ATO驾驶模式。对于UTO或DTO场段,车载ATC设备具备记忆定位功能,获取休眠前列车位置,从而进行获取定位,确保自动驾驶模式可用。为了避免列车休眠后,人为更换车载ATC设备板卡或更改定位记忆文件,车载ATC设备启动后将进行自检匹配,或通过存车轨前方定位确认应答器确认是否正确,如不正确,列车将无法自动发车,如已启动发车也将紧急制动。

7) 列车自动驾驶模式可用后,根据计划上线时间,列车自动从场段存车轨运行到转换轨,并在转换轨获取正线计划车次号/服务号,从而进入正线投入载客运营。

2 列车故障下全自动运行场段出库信号系统设计

对于全自动运行场段,故障下是否能正常出车将直接影响出库效率,从而影响正线按计划运营和乘客满意度。下面针对列车在几种常见故障情况下的信号系统处理流程进行分析。

故障一:车辆、车载ATP/ATO设备故障。通过自检流程,发现车辆、车载ATC设备故障;车辆自检:通过测试牵引、制动、开关车门等判断是否正常。车载ATC设备自检:通过测试紧急制动EB,紧急制动缓解,信号控制开关车门,驾驶室激活等判断是否正常。自检完成后将自检结果发送给调度、厂调、维护人员等,如自检不成功,将会重新下发一次唤醒命令进行再次自检,如仍然不能通过自检,一般将备用车替换当前故障列车进行出库。此时派班人员将出入库计划中该列车车组号修改为备用车组号,然后该备用车将获取出入库计划中相应的头码或计划,自动触发相应进路,进行继续出库。

故障二:ATP/ATO轨旁设备故障。当轨旁某区域通信冗余设备全故障,此时车载设备将产生紧急制动并报警;可通过司机将驾驶模式转RM,根据地面信号行车,运行至前方通信设备正常区域,并接收到应答器定位信息后,可在不停车情况下,升级到自动驾驶模式。当轨旁ZC(区域控制器)冗余

设备全故障,此时车载设备将产生紧急制动并报警;可通过司机将驾驶模式转 RM,根据地面信号行车,待 ZC 设备正常,并接收到应答器定位信息后,可在不停车情况下,升级到自动驾驶模式。

故障三:ATS 设备故障。当控制中心 ATS 服务器冗余设备全故障,此时可自动或人工切换至备用控制中心(对于全自动运行系统一般都要求配置备用控制中心);当场段 ATS 车站服务器冗余设备全故障,此时将转紧急站控进行联锁设备控制,场段调度进行手工办理进路;当场段 ATS 车站服务器与控制中心 ATS 服务器通信通道故障时,场段 ATS 车站设备可在短时间内按时刻表自动控制列车运行(车载 ATP/ATO 设备已接收 ATS 发车命令)。

故障四:联锁设备故障。当车辆段/停车场联锁冗余设备全故障,此时需要采用全人工确保安全,确认轨旁道岔已锁住,待联锁设备恢复正常后根据信号行车。联锁冗余设备满足 SIL4 各项要求,冗余设备同时出现的故障概率很小。

故障五:列车启动定位丢失故障。列车定位丢失将无法具备自动驾驶,需要司机进行转 RM 后,通过前方应答器获取定位后自动升级为 CBTC 的 ATO、DTO 或 UTO 驾驶模式。由于信号车载 ATP/ATO 设备具备记忆定位功能,因此该故障出现得很少,除非列车在车辆段休眠区段,休眠前车载信号设备故障无法将定位信息进行记忆。另外,也可通过远程 RM 起动列车经过前方应答器完成定位后自动升级,该方式将会在上海地铁 15、18 号线进行实施。

故障六:列车自检成功后设备故障。列车自检成功,相应进路已触发,后发现列车设备故障(车辆、信号或通信设备故障)无法发车,此时需要场调或调度进行人解进路,采用备用车替换当前故障车,并对备用车进行设置计划或头码后,触发相应进路进行自动出库。

3 全自动运行列车车辆段出库案例

下面对上海地铁 10 号线吴中路停车场列车全自动出库流程进行实例说明。

1) 场调进行创建列车当天出库派班计划。

2) 通过显示正线上线计划,可显示出对应场段的正线上线计划,确认列车出库正确。

3) ATS 根据计划出库时间,提前 20 min 给 TWU 下发唤醒列车命令,此时车辆、信号设备等进行自检。

4) 自检结果将发送至控制中心调度及场调。自检成功,工况模式将设置为上线运营;如自检不成功,工况模式将设置为未知,车辆通过不同工况模式进行启动相关空调和照明。自检不成功,一般情况中心调度或场调会进行重新下发一次唤醒命令,进行再次自检;如再不成功,一般会将此列车列为故障车,不允许出库,采用备用车进行替换。

5) 自检成功后,调度将授权列车 ITAMA(允许列车全自动运行)。

6) 根据计划时间,ATS 提前 15 min 进行下发头码车到车载 ATC 设备 CC(车载控制器),CC 获取 ATS 的发车计划时间和下一个运行目的地。

7) 根据计划时间,ATS 提前 5 min 进行触发相应列车进路。

8) 列车自检成功,获取到记忆定位后自动升级为 UTO,根据计划时间自动发车到转换轨。

9) 到达转换轨后,列车自动获取正线计划,触发前方相应进路进入正线运营。

4 结语

本文阐述了地铁场段信号设计模式,分析了目前几种自动化车辆段特点,以及 DTO、UTO 模式下场段列车自动出库过程,并对几种故障情况下,列车在车辆段如何进行出库进行了研究。此外,也结合了上海地铁 10 号线和上海地铁 17 号线车辆段信号设计情况进行了简单说明。

地铁 CBTC 信号系统通过采用列车全自动运行出库,进一步提升系统自动化程度,并且提高了系统安全性、可靠性和节能运行。有数据显示,上海地铁 10 号线通过采用全自动运行(含正线全自动运行、车辆段/停车场全自动出入库等),平均准点率和兑现率均达到 99.9%,平均出入库时间减少 50%,运维成本大大降低,运营效率得到显著提高。

参考文献

- [1] 彭湃. 基于自动驾驶技术的地铁车辆段出入库方案研究[J]. 铁道标准设计,2018(6):147.
- [2] 郭泽阔. 全自动驾驶车辆段总体布局方案设计[J]. 都市快轨交通,2017(2):42.
- [3] 李晶. 城轨全自动驾驶信号系统方案设计及运营场景分析[J]. 铁道通信信号,2016(2):48.
- [4] 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(12):39.

(收稿日期:2018-12-05)