

列车自主运行系统下自动化场段的关键功能

孙鹤仁

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海)

摘要 [目的] TACS(列车自主运行系统)下, 自动化场段的关键功能对列车运行效率的影响较大。有必要围绕场段内主要作业, 根据 TACS 的特性, 对 TACS 下自动化场段关键功能进行研究。[方法] 分析了 TACS 的特性, 并从场段内调车功能、列车唤醒与休眠功能、列车出库功能及列车回库功能等方面, 结合既有 CBTC(基于通信的列车控制)系统自动化场段存在的问题, 详细阐述了 TACS 下自动化场段的关键功能。[结果及结论] TACS 不需要配置联锁子系统与轨旁次级检测设备。在 TACS 自动化场段, 列车收到调车任务后, 主动申请线路资源, 自主完成作业任务; 取消了休眠区的设置, 唤醒时无需读取信标校验位置。TACS 自动化场段具备稳定的唤醒功能、灵活的休眠点, 能实现高效的出库作业, 对库线要求较低, 且调车流程简便。

关键词 城市轨道交通; 列车自主运行系统; 自动化场段
中图分类号 U279.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.11.009

Key Functions of Automated Depot under TACS System

SUN Heren

(Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China)

Abstract [Objective] Under TACS (train autonomous control system), the key functions of automated depot significantly impact train operational efficiency. It is essential to study these critical functions in automated depot by focusing on the main depot operations in the context of TACS characteristics.

[Method] The characteristics of TACS are analyzed, in light of existing issues in current automated depot with CBTC (communication-based train control) system, the key functions of TACS automated depot are expounded from depot shunting, train wake-up and sleep, train departure, and train storage perspectives. [Result & Conclusion] TACS eliminates the need for setting up interlocking subsystems and trackside secondary detection equipment. In TACS automated depot, once a train receives a shunting task, it proactively requests line resources and independently completes the operation. The sleep zone is no longer required, and the train does not need to read beacons to verify its position upon wake-up. TACS automated depot

features stable wake-up functions, flexible sleep spots, efficient train departure operation, reduced depot track requirements, and simplified shunting process.

Key words urban rail transit; TACS; automated depot

随着城市轨道交通线路自动化等级(GOA)进入到 GOA4 时代, TACS(列车自主运行系统)作为城市轨道交通信号系统新制式, 得到越来越广泛的应用。与之匹配的车辆段及停车场(以下简称“场段”)也升级为基于 TACS 系统的自动化场段。而场段关键功能对列车运行效率的影响较大, 为使 TACS 下自动化场段更好地服务列车运行, 本文围绕场段内主要作业, 基于 TACS 的特性, 以 CBTC(基于通信的列车控制)系统下的自动化场段为比较对象, 对 TACS 下的自动化场段关键功能进行研究。

1 TACS 的特性

TACS 不需要配置联锁子系统, 轨道也不再需要划分物理区段, 轨道电路及计轴设备随之被取消。传统 CBTC 系统中对各功能区段进行划分及计轴点设置等原则, 也不再适用于 TACS。

TACS 以列车为中心, 其列车运行灵活高效, 具体体现在自主资源管理和主动间隔防护方面:

1) 自主资源管理。TACS 下列车根据运行任务、当前位置及计划运行曲线确定列车运行所需的资源(包括设定范围内的轨道、道岔及防护区域资源), 并向轨旁 ATP(列车自动防护)设备及相邻列车主动发起资源申请, 并由轨旁 ATP 设备及相邻列车确认是否应获得资源。列车获得资源占用授权后, 可安全使用已分配的资源。被占用授权的资源在被释放前, 不能再分配给其他列车。资源占用授权采用即用即申请、用完即释放的方式。

2) 主动间隔防护。TACS 车载信号子系统基于当前列车自身位置及运行任务, 主动与相邻列车进行信息交互, 并通过交互信息自主更新移动授

权,调整自身速度曲线,以保证安全行车间隔^[1]。

如图 1 所示,TACS 下的道岔区域被进一步细分为道岔可动区域与道岔侧冲区域。TACS 通过优化道岔控制来提升道岔通过能力与折返能力。

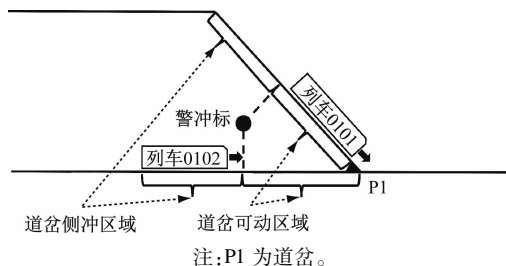


图 1 TACS 下道岔区域细化

Fig. 1 Turnout area refinement under TACS

道岔侧冲区域指对应道岔警冲标范围内的区域。前车出清道岔侧冲区域后,后车即可进入道岔侧冲区域。

道岔可动区域指对应道岔可以转动的部分。当前车出清道岔可动区域后,道岔即可转动至后车所需的位置^[2]。

2 TACS 下自动化场段的关键功能

2.1 场段内调车功能

在早期基于联锁子系统与轨旁次级检测设备的传统人工场段,只存在调车进路,司机看信号机行车。受场段内调车作业特殊性(同一区段可以停放多列车)的限制,联锁子系统在办理调车进路时,并不以进路最后一个区段的占用情况作为该进路是否能够建立的必要条件。因此,在场段内的列车只能低速行驶,司机须加强瞭望以保证安全,故而场段整体作业效率较低。为了与正线区分,早期场段内的调车信号机配置为蓝白灯——白灯为允许信号,蓝灯为禁止信号。

随着正线自动化等级的提升,为了满足与之匹配的出库效率,列车车载信号(移动闭塞)被引入。在传统 CBTC 自动化场段中,轨旁次级检测设备的配置与正线完全相同,列车信号机(绿红白灯)取代大部分调车信号机。由此出现了列车进路与调车进路。正常电客列车调车作业时优先由联锁子系统办理列车进路,列车以 FAM(全自动驾驶模式)完成相关作业;工程车等不具备车载信号系统的车辆调车作业时,由联锁子系统办理调车进路,并配合计轴器等轨旁次级检测设备在 ATS(列车自动监控)面板显示车辆位置及区段占用情况,由司机根

据调车信号(蓝白灯)完成相关作业。

TACS 不再配置联锁子系统与轨旁次级检测设备。列车收到调车任务后,主动申请线路资源,正常情况下自主完成调车作业任务。

TACS 与 CBTC 系统的调车任务系统链路如图 2 及图 3 所示。

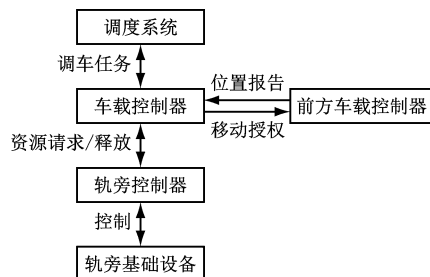


图 2 TACS 的调车任务系统链路

Fig. 2 System-link of TACS shunting mission

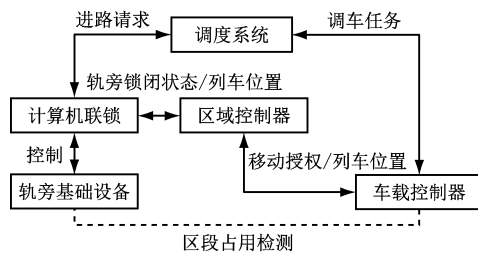


图 3 CBTC 系统的调车任务系统链路

Fig. 3 System-link of CBTC shunting mission

比较图 2 及图 3 可见,相较于传统 CBTC 系统,TACS 以列车为中心,缩短了信号系统传输链路与执行机构控制链路,提升了调车效率。

在 TACS 制式下,对于工程车等所有未设置车载信号系统的车辆(以下简称“降级车辆”):降级车辆都配备了基于信标的列车次级定位系统;ATS 子系统可获得和显示降级车辆的位置信息,并告知其他列车保持安全距离;轨旁 WTC(轨旁列车管理器)根据调车任务为降级车辆申请线路资源,并由司机根据轨旁信号机指示,完成调车作业。

此外,传统 CBTC 系统下场段采用列车进路+调车进路的双重进路概念。TACS 下场段通过资源分配的方式,使不同车辆、不同模式下的行车逻辑均与正线保持一致。可见,TACS 场段只需布置一种列车信号机,既优化了场段信号机布置,又简化了调车作业操作流程。

2.2 列车唤醒与休眠功能

现阶段在传统 CBTC 系统下的自动化场段中,当列车车载设备接收到来自 ATS 子系统的远程唤

醒指令或由人工现地唤醒后,唤醒单元启动激活列车,随后开始列车自检。列车自检是对列车投入运营前各设备状态和完好性的检查与确认,检查内容包括紧急制动系统、牵引制动系统、车载信号设备、列车车门、车载乘客广播及通信系统等^[3]。此外,列车车载信号系统还会通过读取信标的方式对列车唤醒后的位置与记忆定位进行校验。若列车唤醒后没有读取到信标,则列车会丢失定位,无法以 FAM 运行,一般通过 RM(限制人工)模式行驶,直至读到下一枚信标,方可再次获得定位,进而升级为 FAM。

CBTC 系统下,当列车根据回库计划回库后,必须在指定休眠区进行休眠,在收到 ATS 子系统发送的“休眠”命令后,车载 ATC(列车自动控制)设备会对列车进行记忆定位,随后车载设备进入休眠(非切除),唤醒单元仍保持通电状态。CBTC 系统下自动化场段的列车休眠区示意图如图 4 所示。当列车在休眠区停准时,列车 A 端的的天线读取到停准信标时,随即完成最后制动,进入休眠;出库时,列车 B 端唤醒后,进行列车自检。

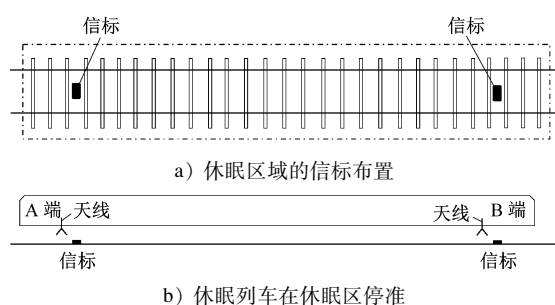


图 4 CBTC 系统下自动化场段的列车休眠区示意图

Fig. 4 Diagram of the automated depot train sleep zone under CBTC system

在列车自检的动态测试环节中,列车会发生一定位移。由于休眠时列车 B 端天线距离位置校验信标仅有约 1 m 的距离,列车自检后 B 端天线位置可能会越过校验信标,从而无法读取信标,导致记忆定位校验不成功。此时的列车无法直接以 FAM 正常出库,会影响出库作业效率。为应对此情况和唤醒失败的情况,CBTC 系统下自动化场段一般采取提前唤醒列车和使用备车的方式。该方式会导致场段天窗时间缩短,还会增加不必要的调车作业。

TACS 进行了技术优化,取消了休眠区的设置。只要列车在停车点停准后,即可进入休眠状态。TACS 的车载信号系统能够支持记录记忆定位的板

卡在列车休眠状态时保持工作,持续记录列车实时位置,唤醒后无需通过再次读取信标的方式进行位置校验。这一优化不仅避免了列车因自检发生位移后无法在休眠区读取信标导致丢失定位的情况,提升了列车唤醒后进入 FAM 的稳定性,而且解除了列车必须在休眠区才能休眠的限制,增加了运营灵活性。

2.3 列车出库功能

CBTC 系统下,由联锁子系统负责列车出库时的进路管理,由 ZC(区域控制器)向各列车发送移动授权,从而实现移动闭塞。由于联锁子系统检查区段的占用及空闲状态时依靠计轴等轨旁次级检测设备,故若所需要办理进路中的某个区段被占用,则无法办理该条进路。在道岔区域,道岔被视为一个整体。CBTC 系统下的联锁道岔如图 5 所示。图 5 中:当列车 0102 正在通过道岔 P1 时,道岔定位;列车 0101 必须在信号机前等待至列车 0102 彻底出清道岔区域(即反向防护信号机计轴点 K),联锁子系统才能为列车 0101 办理进路,P1 才能向反位转动;等到 P1 反位且锁闭后,进路开放,列车 0101 才能动车。在出库作业中,列车自停车列检线行驶至出场线途中会经过多副道岔,可能出现多列车交汇的场景。随着线网规模的扩大,面对短时间高密度的出库需求,传统 CBTC 基于联锁子系统的进路办理方式会影响出库作业的效率。

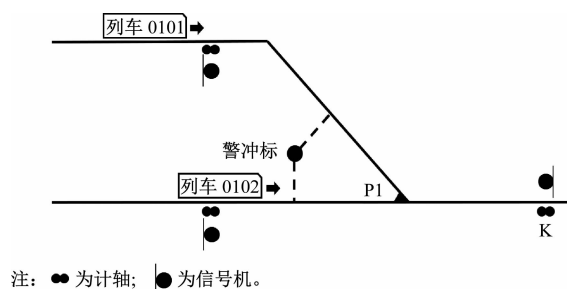


图 5 CBTC 系统下的联锁道岔

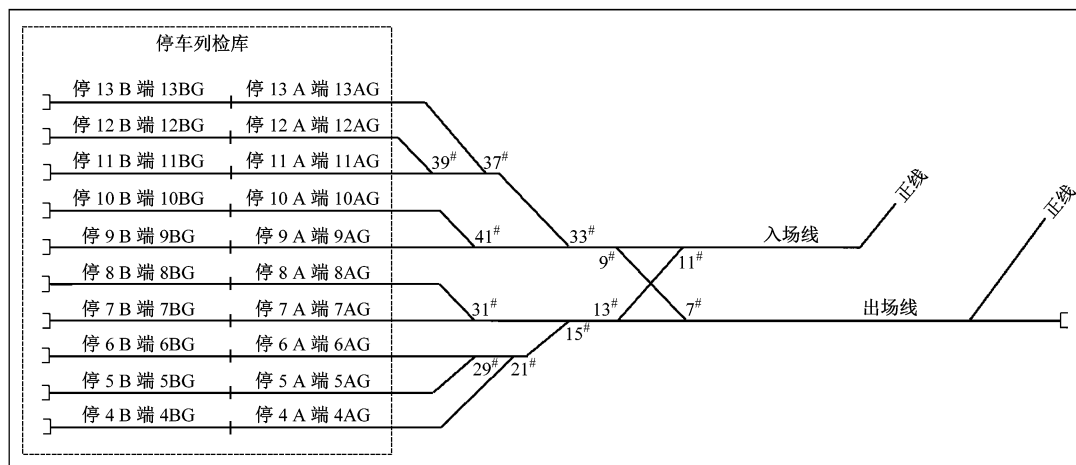
Fig. 5 Inter-locking turnout under CBTC system

面对自动化场段在高峰时段的短时间、高密度出库需求,TACS 下自动化场段内列车行驶方式与正线列车行驶方式一致,不再受制于联锁子系统,且取消了由轨旁次级检测设备组成的固定区段,可实现列车自主资源管理和间隔防护,使线路资源利用率提升,提高了出库能力。

上海轨道交通 3、4 号线正在进行基于 TACS 的信号系统改造。本研究以石龙路停车场为例,利用

仿真平台以出清共用区段道岔对应的计轴点来计算相应组合下的出库时间,来分析 CBTC 系统与 TACS 下的出库能力。上海轨道交通 3 号线石龙路停车场的停车线简图如图 6 所示。CBTC 系统下石龙路停车场出库能力见表 1。由表 1 可知,在停车

列检库,相同股道 A、B 端的出库时间最短为 70 s。而在 TACS 下,受益于道岔资源细化,场段内任意停车库组合的出库时间均相同,且出库时间已缩短至 66 s,提升了场段整体出库效率。



注:停 4、停 5 等为休眠区编号。A 端、B 端为停在休眠区列车的端部名;4AG、4BG 等为股道编号;7#、9#、11#等为道岔编号。

图 6 上海轨道交通 3 号线石龙路停车场示意图

Fig. 6 Diagram of Shanghai Rail Transit Line 3 Shilonglu Parking Lot

表 1 CBTC 系统下石龙路停车场出库能力

Tab. 1 Departure capacity of Shilonglu Parking Lot under CBTC system

道岔	前车出库股道	后车出库股道	出库时间/s
39#	11AG	12AG	75.0
41#	9AG	10AG	73.7
31#	7AG	8AG	73.7
37#	12AG、11AG	13AG	82.0
29#	6AG	5AG	80.7
21#	6AG、5AG	4AG	82.2
33#	9AG、10AG	11AG、12AG、13AG	98.3
15#	7AG、8AG	4AG、5AG、6AG	97.0
7#	4AG、5AG、6AG、7AG、8AG	9AG、10AG、11AG、12AG、13AG	114.3
11#	4AG、5AG、6AG、7AG、8AG	9AG、10AG、11AG、12AG、13AG	114.0
同股道 A、B 端出库对应道岔	4AG、5AG、6AG、7AG、8AG、9AG、10AG、11AG、12AG、13AG	4BG、5BG、6BG、7BG、8BG、9BG、10BG、11BG、12BG、13BG	70.0

2.4 列车回库功能

基于和出库作业相同的原理,TACS 下自动化场段的列车回库能力也得到提升,然而相较于传统 CBTC 系统,TACS 降低了对停车库线的要求。当列车以 FAM 回库停车时,根据 IEEE 1474 系列标准对安全制动模型的定义,列车需要的安全防护距离约为 15 m。在实际施工中,该安全距离还会在此基

础上增加部分裕量。

以场段双列位停车库线为例,该库线长度设计如图 7 所示。按现阶段传统 CBTC 下自动化场段库线长度要求,列车 1 与列车 2 之间的停放距离 D_2 应不小于 20.0 m,列车前端与车挡距离 D_1 应不小于 15.0 m。而 TACS 列车车载信号系统采用全新架构,其场段库线只需要满足 $D_1 \geq 12.0$ m、 $D_2 \geq 15.0$

$m^{[4]}$,即可满足列车自动入库精准而安全的停车要求。

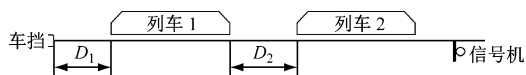


图 7 双列位停车库线长度示意图

Fig. 7 Length design of double-row parking garage line

3 结语

本文基于 TACS 的特性,对城市轨道交通自动化场段所需关键功能进行研究,重点针对场段内调车、列车休眠唤醒、列车出入库作业进行了分析对比。根据分析可以看出,目前 TACS 下的自动化场段具备稳定的唤醒功能、灵活的休眠点,能实现高效的出库作业,对库线要求较低且调车流程简便。对于传统 CBTC 系统下的自动化场段而言,可参考现阶段 TACS 优点进行升级,例如,优化信号系统逻辑实现道岔资源细化,从而提升场段作业效率,亦或通过更新硬件设备增强系统安全冗余及稳定性,降低土建要求等。

参考文献

[1] 汪小勇. 城市轨道交通基于车车通信的列车自主运行系统探

讨[J]. 中国铁路, 2020(9): 77.

WANG Xiaoyong. Discussion on train autonomous circumambulate system based on vehicle-to-vehicle communication in urban rail transit[J]. China Railway, 2020(9): 77.

[2] 郭玉珊, 成正波, 陈绍文. 基于车车通信系统的折返能力研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 77.

GUO Yushan, CHENG Zhengbo, CHEN Shaowen. Study on turn-back capacity based on TACS[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 77.

[3] 汪小勇. 城市轨道交通自动化车辆段和停车场的关键功能分析[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(2): 53.

WANG Xiaoyong. Analysis of key functions of automatic depot and parking lot of urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(2): 53.

[4] 陈绍文. 列车自主运行系统下城市轨道交通线路配线需求研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 72.

CHEN Shaowen. Research on line design requirements of urban rail transit under TACS system[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 72.

· 收稿日期:2024-03-18 修回日期:2024-05-16 出版日期:2024-11-10

Received:2024-03-18 Revised:2024-05-16 Published:2024-11-10

· 通信作者:孙鹤仁,助理工程师,sunhr0428@126.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

(上接第 36 页)

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 全自动运行系统规范 第一部分:需求;T/CAMET 04017.1—2019[S]. 北京:中国铁道出版社,2019.

China Association of Metros. Urban rail transit—Fully automatic operation system specification Part 1: requirements; T/CAMET 04017.1—2019[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019.

[2] 王玉冰,高天,林鸿. 二次短距离对标停车方法、列车控制系统及自动驾驶系统;CN202110228554.7[P]. 2022-05-31.

WANG Yubing, GAO Tian, LIN Hong. Rebenchmarking method for parking in short distance, train control system and automatic driving system; CN202110228554.7[P]. 2022-05-31.

[3] 李臣,赵庆刚,李小亮. 系列化标准地铁车辆制动系统与全自动无人驾驶相关的功能需求分析[J]. 智慧轨道交通, 2022, 59(6): 1.

LI Chen, ZHAO Qinggang, LI Xiaoliang. Analysis on functional requirements of the braking system of serialized standard metro vehicles related to fully automatic unmanned driving[J]. Smart Rail Transit, 2022, 59(6): 1.

· 收稿日期:2024-05-08 修回日期:2024-06-27 出版日期:2024-11-10

Received:2024-05-08 Revised:2024-06-27 Published:2024-11-10

· 通信作者:华志辰,工程师,huazhichen@casco.com.cn

· ©《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

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821