

机车段内作业智能化系统研究与实现

刘华伟¹, 刘勇², 江帆², 李铁兵², 朱龙², 李凯²

(1. 国家能源集团包神铁路集团公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 机车段内作业是货运铁路运营的重要场景, 段内作业的效率 and 安全性直接影响铁路运营企业的效率和效益。文章设计了机车段内作业智能化系统, 对自动唤醒与休眠、自动整备、作业参数远程自动化设置、自动调车等自动化作业功能在货运铁路领域的应用进行技术探索与研究, 应用效果表明系统的以上功能提升了机车段内作业的效率, 加强了段内作业的规范性与安全性, 降低了作业人员的劳动强度。

关键词: 段内作业; 智能化作业; 作业效率; 作业安全性; 自动驾驶

中图分类号: U269.2; U284.48

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2021)06-0100-06

Research and Design of Intelligent System for Operation in Locomotive Depot

LIU Huawei¹, LIU Yong², JIANG Fan², LI Tiebing², ZHU Long², LI Kai²

(1. Baoshen Railway Group Company, CHN ENERGY, Baotou, Inner Mongolia 014010, China;
2. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The operation in the locomotive depot is an important part for freight railway operations. The efficiency and safety of the operation in the locomotive depot directly affect the efficiency and effectiveness of railway operating enterprises. In this paper, an intelligent system for locomotive operations was designed to explore and research the application of automatic operation functions such as automatic wake-up and sleep, automatic maintenance, remote automatic setting of operating parameters, automatic shunting in the field of freight railway. The application effect shows that the above functions of the system improve the efficiency of operations in the locomotive depot, strengthen the normalization and safety of operations in the depot, and reduce the labor intensity of the operators.

Keywords: operation in the locomotive depot; intelligent operation; operation efficiency; operation safety; automatic drive

0 引言

随着科技的发展, 智能化技术引领了行业发展的潮流, 使轨道交通行业产生了新的变革^[1-4]: 北京燕房线率先实现无人驾驶技术在城市轨道交通中的应用, 中国国家铁路集团有限公司在广东惠莞线实现

CTCS2+ATO 干线城际铁路自动驾驶, 并且正在京张高铁开展 CTCS3+ATO 高速铁路自动驾驶试验。

目前, 机车段内作业存在作业机车较多, 作业人员劳动强度大、作业效率不高、作业人员误操作导致设备损耗, 甚至发生作业安全事故等问题, 因此段内作业的效率 and 安全性提升是亟待解决的问题。为了提

收稿日期: 2020-05-10; 修回日期: 2021-10-04

通信作者: 刘华伟 (1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事铁路机车及自轮运转车辆等行车设备技术管理工作;

E-mail: 15909240066@163.com

高段内作业的效率 and 安全性、降低作业人员的劳动强度, 本文设计了段内作业智能化系统。

1 段内作业智能化系统研究与实现

1.1 系统构成及原理

1.1.1 系统构成

段内作业智能化系统包括地面系统和车载系统, 该系统的总体架构图如图 1 所示。车载系统包括自动驾驶装置 (ATO)、人机交互单元 (HMI)、自动唤醒单元 (AOM)、障碍物检测装置 (ADAS)、车载摄像头、车载雷达以及车载既有设备 (LKJ-15 装置、制动系统 (BCU)、网络控制系统 (CCU) 和机车电源系统), 地面系统部分包括地面调度系统 (ATS)。

1.1.2 系统原理

1) 通信和数据交互

地面的 ATS 实时接收从车载设备传输过来的机车状态数据, 包括机车位置、休眠及唤醒状态、速度、牵引 / 电制动力、制动机输出量等, 调度人员根据调度总体安排和机车状态数据给目的机车发送作业指令和相应的数据。车载系统中的 LKJ-15 及 AOM 集成了远程通信功能, 可以接收和处理地面设备的指令及数据, 并将处理完成后的指令和数据通过以太网传输给 ATO。另外, 由于段内作业场景较为复杂, 若需根据实际需求完成相关作业, 作业人员可通过 HMI 进行相关作业指令的输入。

2) 控制和决策

机车段内作业主要包括机车唤醒、机车整备、段

内调车、机车休眠等内容, AOM 负责控制机车的唤醒和休眠作业, 其他作业的流程控制由 ATO 完成。ATO 结合来自地面或者 HMI 的作业指令、来自 LKJ-15 的线路数据和机车信号、来自 ADAS 的障碍物信息以及 CCU 和 BCU 的机车状态数据, 基于合理的控制技术最终做出决策, 给各个车载设备发送运行指令, 从而实现智能化段内作业。

1.2 系统功能实现

1.2.1 自动唤醒与休眠

自动唤醒的目的是将处于休眠状态的车载电气设备上电, 引导机车自动进行设备自检、建立车载设备与地面中心之间的通信, 并注册该机车为受控机车。

自动唤醒工作原理: ATS 实时查询段内所有休眠机车的状态, 结合休眠机车状态, 选择所需要唤醒的机车, 并将人工确认的唤醒作业指令通过无线通信接口传送给指定机车的 AOM。AOM 收到唤醒作业指令后控制机车电源系统上电, 并将机车上电状态反馈给 ATS, 机车唤醒成功。自动唤醒工作原理示意图如图 2 所示。

休眠是指机车在完成作业后, 后续没有检修计划, 乘务员为使机车断电休眠而进行的一系列操作, 包括施加停放制动、高压断电、受电弓降下, 最后断开机车蓄电池。

自动休眠工作原理: 在无作业任务时, 调度人员操作 ATS 向 AOM 发送休眠作业申请, AOM 记录申请并将休眠作业申请发送至 ATO; 当机车整体状态满足休眠要求后, ATO 发送相关指令给 CCU, 完成停放制

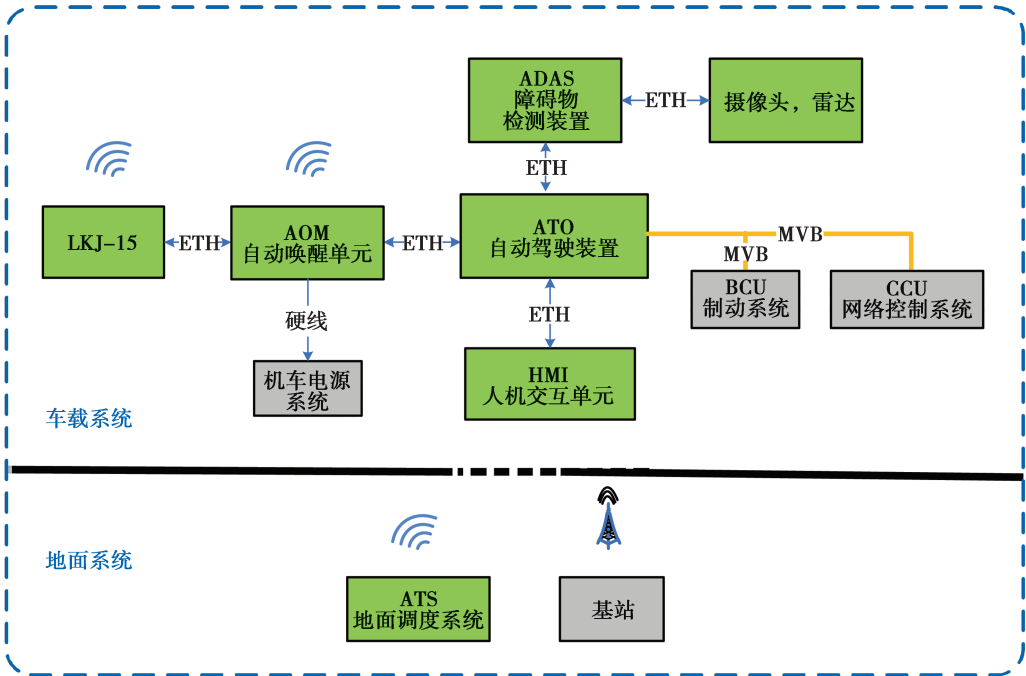


图 1 段内作业智能化系统架构图

Fig. 1 Intelligent system architecture of depot operation

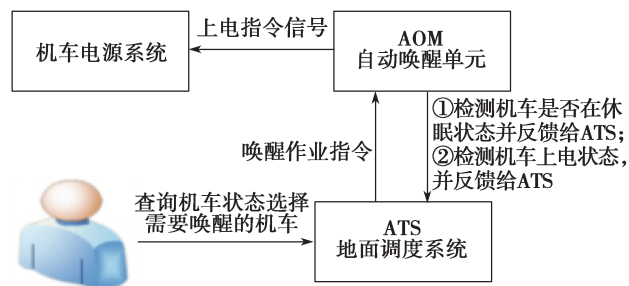


图 2 自动唤醒工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of automatic wake-up

动施加和高压断电，实现受电弓降下后 ATO 将休眠允许的的信号发送至 AOM，AOM 做出休眠决策，控制机车电源系统将机车蓄电池断开并给 ATS 反馈休眠成功信号。自动休眠工作原理示意图如图 3 所示。

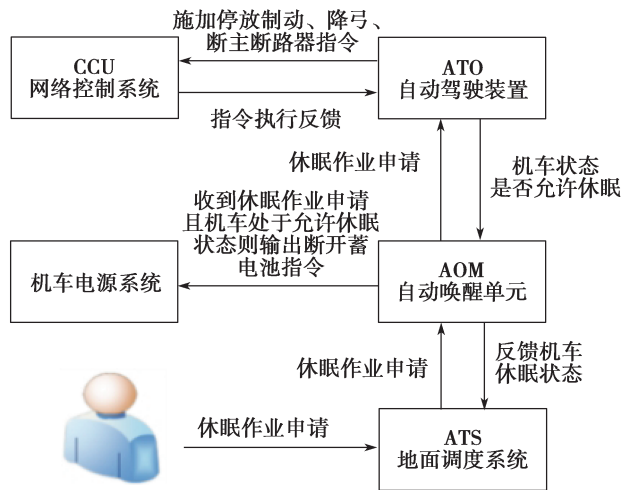


图 3 自动休眠工作原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of automatic sleep

1.2.2 自动整备

整备试验的目的是检查机车的开关、闸位、牵引 / 电制动性能、空气制动性能是否完好。自动整备试验项点如表 1 所示。

表 1 自动整备试验项点
Table1 Automatic servicing test point

序号	试验项点名称	试验项点内容
1	受电弓前弓模式命令试验	受电弓前弓模式的升弓和降弓命令试验
2	受电弓自动弓模式命令试验	受电弓自动弓模式升弓命令、机车合主断路器命令试验
3	制动命令试验	开机缓解试验、紧急制动试验、紧急后单缓试验、紧急后单缓消除试验、紧急制动解锁试验、紧急后充风试验、大闸制动试验
4	牵引制动试验	电制动后向试验、牵引后向试验、电制动前向试验、牵引前向试验、牵引撤除试验
5	断主断路器降弓试验	机车断主断路器、受电弓自动弓模式降弓试验

自动整备功能的执行步骤如下：

- ① ATO 实时从 CCU 和 BCU 获取机车状态。
- ② ATO 判断是否满足整备作业条件。判断机车是否处于制动状态且速度为 0，CCU 和 BCU 是否正常工作，满足以上 2 个条件则提示作业人员机车允许进入自动整备。
- ③ 作业人员确认机车允许进入自动整备后通过 HMI 输入整备作业指令，ATO 进入自动整备作业模式。
- ④ ATO 将即将执行的所有试验内容依此编号，编号完成后开始执行试验。
- ⑤ ATO 根据执行后 CCU 和 BCU 反馈的机车状态判定当前试验内容是否通过。如果通过，将当前试验内容标记为“完成”状态，然后进行下一试验内容；如果不通过，上报故障并等待作业人员处理当前故障，作业人员接管后 ATO 退出自动整备作业模式。
- ⑥ 当所有的试验内容都被标记为“完成”状态，整备作业完成，ATO 退出自动整备作业模式。

自动整备工作流程如图 4 所示。

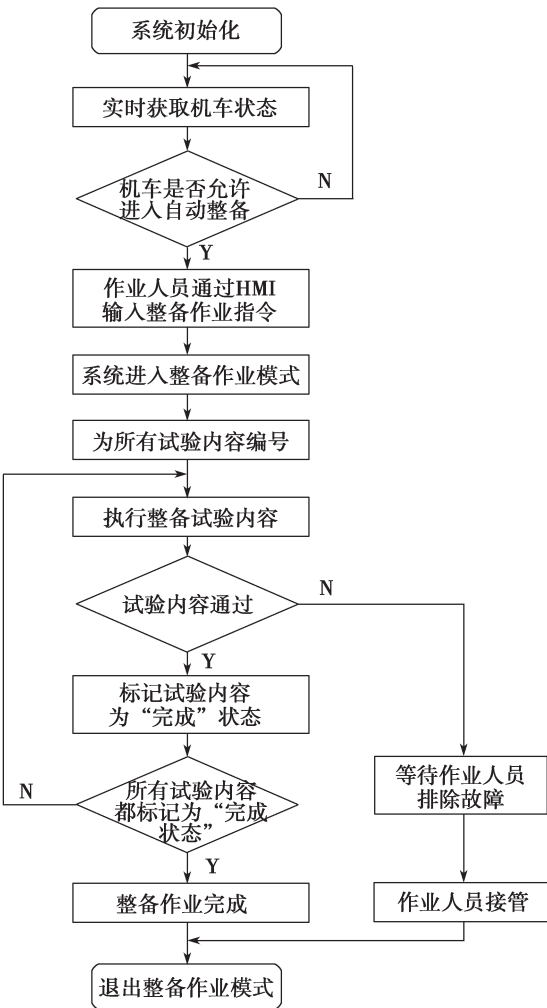


图 4 自动整备工作流程图

Fig. 4 Automatic servicing flow chart

自动整备作业具有如下特点：

- ① 基本不需要人工干预，试验流程自动化运行。

②流程固定、规范,能有效避免人工作业存在的漏做、误做、重做试验顶点的问题。

1.2.3 作业参数远程自动化设置

人工进行机车作业参数设置时操作较为繁琐且容易出现误操作,而参数设置的准确性对机车和智能系统的运行至关重要^[8-9],因此需要实现对机车作业参数远程自动化设置,以减轻作业人员的劳动强度和避免作业人员在参数设置中出现的误操作。该功能的实现步骤如下:

1) 制作数据库

制作机车段内作业参数的数据库,将作业期间司机需要手动输入的信息全部录入数据库,以方便地面调度人员对机车参数进行远程设置。参数主要包括:作业命令、机车型号、机车号、授权车机车号、附挂车机车号、附挂机车数量、司机号、车次号码、总重、辆数、计长、载重等。

2) 开发参数编制软件

由有关科技人员开发地面作业参数编制软件,以制作的作业参数数据库为数据源,使地面调度人员可以方便地在该软件中对作业参数提前进行设置和校对,既能保证行车数据的准确性,又能提高整体的工作效率。

3) 实现本车作业参数检索算法

作业参数编制完成后,ATS会同时将多台机车的作业参数发送给车载设备,因此需要设计合适的检索算法,将本台机车的行车参数数据包从众多数据包中检索出来。

ATS发出的每个作业参数数据包都携带1个目的机车号,假设众多数据包携带的目的机车号集合为 $N_L=\{N_{L1}, N_{L2}, N_{L3}, \dots\}$,本车机车号为 N_{LD} ,若 N_{LD} 与 N_L 交集不为空,则表示检索成功,即可从众多数据包中将本车作业参数数据包提取出来。

1.2.4 段内自动调车

机车段内调车作业场景较多且操作较复杂,通过人工操作进行调车作业时,作业人员劳动强度大,容易出现作业内容漏做和作业人员走神误操作等问题,这些问题可能最终会导致人工调车作业过程中发生冲撞作业人员、越出站界、闯蓝灯、挤道岔等安全事故。据统计,目前调车作业事故占铁路系统总事故的60%~70%,因此加强调车作业的安全性对稳定铁路安全生产具有重要意义。为解决调车过程中出现的诸多问题,本文系统研究并实现了自动调车功能:地面调度人员根据段内作业需求向目标机车发送调车作业命令及相关参数,系统接收到指令和参数后控制机车实现段内自动发车、自动调车。

1) 自动发车

ATO实时从LKJ-15获取机车信号,从ADAS获取障碍物信息,当段内调车信号允许发车且机车前方

没有障碍物时,ATO向CCU和BCU发送相关指令,实现机车自动起车。

2) 自动调车

通过测绘技术获取段内所有信号机的经纬度坐标并将其在LKJ-15中进行预存,同时将加砂点、洗车点、一度停车点等区段相对于信号机的距离信息在LKJ-15进行预存。机车自动调车时,LKJ-15通过卫星定位技术实时获取机车经纬度坐标信息,再根据预存的信号机经纬度信息进行计算,可得到机车与前方信号机的距离,然后再根据预存的相对距离信息得到机车前方加砂点、洗车点、一度停车点等区段的位置信息。LKJ-15实时将获取的机车位置信息和机车前方线路信息(信号机、加砂点等)发送给ATO,ATO根据以上信息再结合调车信号信息、限速曲线信息进行牵引制动控制。当机车经过加砂点、洗车点、地沟等区段时,系统会将其运行速度控制在3 km/h以下,乘务员可根据具体需求选择是否停车;当机车经过一度停车点、列尾交接点、土挡点等区段时系统会控制机车上闸停车,由司机进行再发车确认;段内其他区段,控制机车速度在8 km/h以下。

在整个段内调车作业过程中,ATO根据LKJ-15提供的防护曲线,控制机车的牵引制动系统使机车在安全限速内运行;若检测到前方线路上有障碍物,ATO控制机车减速停车,然后由司机进行再发车确认;若遇到折返转线场景,调度人员在ATS上提前设置折返点,ATO从LKJ-15获取来自ATS的折返点位置信息,结合防护曲线,进行折返调车作业,在此过程中,ATO根据ADAS提供的前方机车、车辆等障碍物信息以及LKJ15提供的调车信号进行运行安全防护,如果机车距离障碍物或者关闭信号机较近,ATO将立即控制机车停在安全距离内,在以上安全防护策略保障的前提下ATO会实时判断机车是否越过折返点,如果已越过折返点则控制机车立即上闸停车;折返点停车后,ATS给ATO发送换端指令,ATO控制当前操作节执行断开主断路器降弓施加停放操作,同时ATS为机车设定新的操作节,ATO控制新的操作节执行缓解停放、升弓、合主断路器操作,待前方信号开放且机车前方没有障碍物时,ATO控制机车自动启动运行,继续调车作业。自动调车工作原理示意图如图5所示。

自动调车过程中,ATS从联锁获取进路状态并将该信息提供给ATO,同时ATO从ADAS获取障碍物信息,当ATO检测到机车前方有障碍物或者前方进路处于禁止状态,控制机车立即上闸停车,从而避免作业过程出现冲撞作业人员、挤压道岔等安全事故;ATO从LKJ-15获取站界信息、机车信号信息,遇到站界和蓝灯时及时上闸停车,从而避免作业过程出现越出站界和闯蓝灯等安全事故。

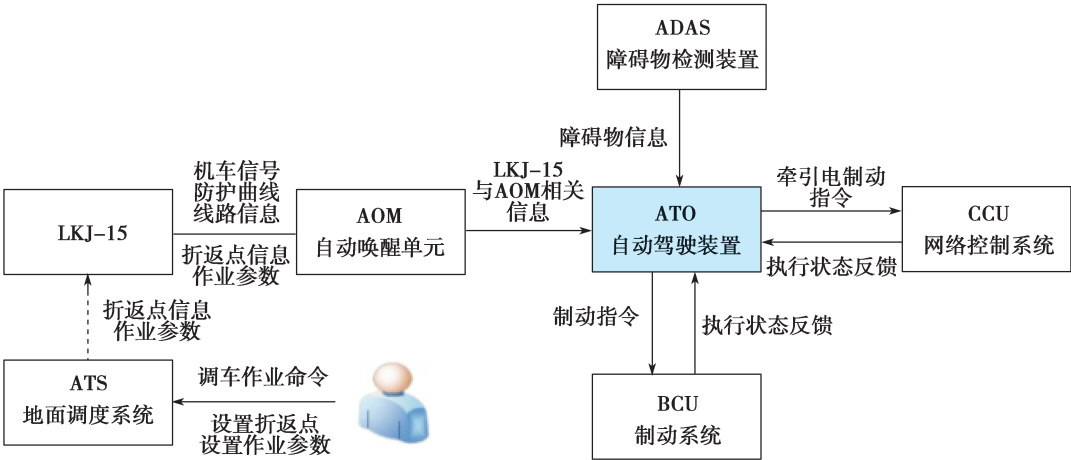


图 5 自动调车工作原理示意图
Fig. 5 Schematic diagram of automatic shunting

2 应用效果

包神铁路集团公司机务分公司组织了段内作业智能化系统试验与运用考核，试验地点为朱盖塔机务段和神木北机务段。段内机车众多，道岔道路复杂，给系统试验带来了巨大挑战，尽管如此，考核试验仍取得了良好的效果。

2.1 作业效率

单个作业场景的作业用时反映作业效率，部分作业场景的作业时长主要由具体调度任务决定而不由作业效率决定，如需考察作业效率，必须选取作业效率起决定作用的作业场景进行用时统计，因此选取了整备作业进行人工平均用时和自动整备平均用时统计。

统计结果显示，人工整备平均时长为 305 s，自动整备平均时长为 252 s，自动整备明显提高了整备作业的效率。

2.2 作业规范与安全

系统的自动整备功能实现了系统用机器控制代替人工操作，加强了作业流程的规范性，消除了作业人员作业水平与习惯的差异，避免了整备试验时的漏操作和误操作。

系统的自动调车功能实现了 ATO 通过与 ATS、LKJ-15、ADAS 等设备的协作，可及时识别机车前方障碍物、站界位置、机车信号、道岔状态等信息，避免了作业过程中发生冲撞作业人员、越出站界、闯蓝灯、挤道岔等安全事故，从而加强了段内调车作业的安全性。自动调车功能在神朔铁路公司投入使用以来还未出现过行车安全事故。

2.3 作业人员劳动强度

一些操作比较繁琐的作业场景，如整备作业、作业参数设置、调车作业等会使得作业人员身心疲惫，

而段内作业智能化系统功能覆盖的场景占段内作业场景的 95% 以上，能代替作业人员 95% 以上的操作，将作业人员从繁杂的操作中解放出来，其主要职责由操作作业转变为值守监控，从而大大减轻了作业人员的劳动负担，降低了作业人员的劳动强度。

3 结语

本文设计的机车段内作业智能化系统，在货运铁路领域首次实现了自动唤醒与休眠、自动整备、作业参数远程自动化设置、自动调车等自动化作业功能，具有开拓性意义。应用效果表明，系统各项功能提升了机车段内作业的效率，加强了段内作业的规范性与安全性，降低了作业人员的劳动强度。未来对更多铁路运营场景还将进行深入研究与演进，提高货运铁路自动化作业程度，推进实现更高等级、覆盖更多场景的机车智能化操纵技术^[10]。

参考文献:

[1] 范荣巍. 燕房线全自动无人驾驶车辆制动系统[J]. 铁道机车车辆, 2016, 36(5): 107-109.
FAN Rongwei. Braking system of fully automatic driverless metro car in Yanshan-Fangshan line[J]. Railway Locomotive & Car, 2016, 36(5): 107-109.

[2] 程剑锋, 冯凯, 李科. 高速铁路 CTCS3+ATO 列控系统技术研究[J]. 中国铁路, 2019(1): 74-77.
CHENG Jianfeng, FENG Kai, LI Ke. CTCS3+ATO high speed railway train control technology[J]. Chinese Railways, 2019(1): 74-77.

[3] 李凯, 李铁兵, 肖家博, 等. 面向机车自动驾驶系统的预存数据处理技术研究[J]. 机车电传动, 2021(2): 108-113.
LI Kai, LI Tiebing, XIAO Jiabo, et al. Research on pre-stored data processing technology for locomotive ATO system[J]. Electric Drive for Locomotives, 2021(2): 108-

- 113.
- [4] GENG C, WANG X P, HE K, et al. Optimal energy-efficient control of high speed train with speed limit constraints[C]// IEEE. The 27th Chinese Control and Decision Conference(2015 CCDC). Qingdao: IEEE, 2015: 3076-3081.
- [5] 肖家博, 尚敬. 货运机车自动驾驶系统研究与设计 [J]. 控制与信息技术, 2018(6): 38-43.
XIAO Jiabo, SHANG Jing. Research and design of freight locomotives automatic train operation system[J]. Control and Information Technology, 2018(6): 38-43.
- [6] 周文伟, 朱龙, 赵云伟, 等. 机车自动驾驶系统人机交互设计与应用 [J]. 机车电传动, 2020(1): 53-57.
ZHOU Wenwei, ZHU Long, ZHAO Yunwei, et al. Human-machine interaction design and application of locomotive automatic train operation system[J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(1): 53-57.
- [7] 郭继雷. 机务段段内调车作业安全风险分析与预防 [J]. 郑铁科技, 2014(4): 32-33.
GUO Jilei. Safety risk analysis and prevention of shunting operation in locomotive depot[J]. Zhengzhou Railway Science & Technology, 2014(4): 32-33.
- [8] 赵青莉. 全自动无人驾驶系统 ATS 联动功能设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(10): 80-84.
ZHAO Qingli. Design of ATS coupled function of fully-automated driverless system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 80-84.
- [9] 梁艳玲, 孙军国, 郝青生. 一种基于轨道交通综合自动化系统的远程车辆管理系统: CN201410642632.8[P]. 2014-11-07.
LIANG Yanling, SUN Junguo, HAO Qingsheng. A remote vehicle management system based on rail transit integrated automation system: CN201410642632.8[P]. 2014-11-07.
- [10] 杨安玉. 全自动驾驶等级及工程建设分析 [C]// 中国土木工程学会. 2017 城市轨道交通关键技术论坛暨第 26 届地铁学术交流会议论文集. 郑州: 中国土木工程学会, 2017: 260-264.
YANG Anyu. Analysis of automatic driving level and engineering construction[C]//China Civil Engineering Society. 2017 Urban Rail Transit Key Technology Forum and the 26th Metro Academic Exchange. Zhengzhou: China Civil Engineering Society, 2017: 260-264.