

文章编号:1005-0523(2021)06-0067-06



CBTC 系统计轴故障占用判定逻辑及应用分析

李超¹,贾学祥²,李亮²,姜庆阳²

(1.中国铁道科学研究院研究生部,北京 100081;2.中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所,北京 100081)

摘要:CBTC 系统对于计轴设备故障的处理方式直接影响到列车运营效率,而现有的计轴设备故障处理方案存在效率低、应用场景受限等缺点。介绍了地铁线路的计轴故障占用(ARB)状态,提出一种 CBTC 系统中计轴区段故障占用判定逻辑,结合列车各种运营场景,分析了 ARB 占用状态对后续列车运行的影响。半实物仿真测试结果表明:采用提出的计轴故障占用判定逻辑对计轴故障场景进行处理,列车在故障区间运行时间缩短大约 30%,提高了列车运行效率,为城市轨道交通列车在 ARB 占用状态线路上运行方式的制定提供了科学依据。

关键词:铁路运输;基于通信的列车控制系统(CBTC);计轴故障占用(ARB);区域控制器;列车运行

中图分类号:U284

文献标志码:A

本文引用格式:李超,贾学祥,李亮,等. CBTC 系统计轴故障占用判定逻辑及应用分析[J]. 华东交通大学学报,2021,38(6):67-72.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.20211210.004

Judgments and Application Analysis of ARB in CBTC System

Li Chao¹, Jia Xuexiang², Li Liang², Jiang Qingyang²

(1. Postgraduate Department, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China; 2. Communication and Signaling Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: The handling method applied to axle counter fault directly affects the train operation efficiency in the CBTC system, whereas the existing handling scheme for axle counter fault has disadvantages as low-efficiency, limited application scenarios. This paper introduces the Always Report Blocking (ARB) status in subway lines and proposes the logic of judging axle counter section as ARB status in the CBTC system. Combined with train operation scenarios, the impact of ARB status on subsequent trains' operations is analyzed. The HITL simulation results show that the trains' running time in the fault section is reduced by about 30% with the proposed scheme, which significantly improves the train operation efficiency and provides a scientific basis for the formulation of urban rail transit trains operation mode on ARB status lines.

Key words: railway transportation; communication-based train control system (CBTC); the status of Always Report Blocking (ARB); zone controller; train operation

Citation format: LI C, JIA X X, LI L, et al. Judgments and application analysis of ARB in CBTC system[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(6): 67-72.

收稿日期:2021-08-18

基金项目:中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2020YJ045);北京市科技计划项目(Z181100003918006)

市域轨道交通因其快速、舒适、准点率高等优点,成为解决城市交通拥堵和居民出行问题的重要举措^[1]。计轴设备是城市轨道交通中基于通信的列车运行控制(CBTC)系统的一个重要组成部分,作为车地通信中断时CBTC后备模式下的列车定位手段,计轴能够提供区段的占用/空闲信息。作为区段占用状态检测装置,计轴设备安装在计轴区段的两端,对行驶过区段两端计轴点的列车轮轴依次进行计数。通过比对两次计数是否一致,确定列车是否进入计轴设备对应的计轴区段并对列车的完整性做出判断^[2-6]。计轴技术1913年起源于欧洲,作为轨道电路应用之后,对轨道区段占用情况检测的另一种有效手段,已广泛应用于多数国家^[7-8]。经过近一个世纪的发展,由机械式设备,逐渐发展为电磁式、电子式计轴设备。对于驶过计轴点列车轮轴的计数模式,也由机械式计数演变为微机处理计数。日本近年来对计轴设备研发投入力度加大,计轴设备除区段占用检测功能外,还能实现列车测速、列车长度计算等功能^[9]。法国主要采用阿尔卡特公司的AzLM计轴系统,该计轴系统的研发基于最新的传感器技术、计算机技术,是目前较为先进的计轴系统^[10-11]。我国在学习国外先进计轴设备技术基础上,自主化研究的JZ1-H型微机计轴设备,也已经得到了广泛应用。尽管计轴设备的技术创新在不断推进,但计轴设备容错率不足、受环境干扰的问题依然存在^[12-15]。因此在计轴技术创新的同时,对于线路中计轴设备出现故障的情况也需要做出合理的处置,弥补计轴设备自身缺陷对于线路运营造成的不利影响。

目前国内应对计轴设备故障的处理方案主要有以下两种:第一种方案是将发生计轴故障的区段设置为固定闭塞属性区段,车站值班员通过计轴复位按钮对计轴进行复位操作,列车降级为RM(限制人工驾驶)列车运行至下一站台区段重新升级为CTC(连续式列车控制)等级列车^[16]。在工程运用上,这种方案在国内地铁线路中应用较为普遍。另一种方案采用了驾驶RM列车运行通过计轴故障区段,在确认区段内无障碍后恢复区段内限速的方法。这两种方案能有效解决计轴设备故障带来的影响,但均存在不足。第一种方案需要车站调度员人工介入操作,影响运营效率;第二种方案仅适用于应对单个计轴区段设备发生故障的情景,

对于多个计轴区段设备出现故障这类复杂情景没有做出论述。

针对上述问题,本文提出一种新的ARB状态判定逻辑,弥补了上述方案的不足,有效降低计轴故障产生的不利影响,运用半实物仿真测试平台对提出的ARB判定逻辑进行仿真测试,验证了提出的ARB判定逻辑方案对于列车在故障区间的运行效率有较大提升,对提高城市轨道交通线路的运营效率具有实际意义。

1 ARB 占用状态介绍

依据VOBC(车载控制器)向ZC(区域控制器)汇报的驾驶等级信息以及CI(联锁)向ZC传递的计轴区段信息^[17-18],在ATS现地工作站显示界面中,计轴区段占用状态可分为空闲、CTC列车占用、非CTC列车占用、以及ARB占用四种状态。

由于地铁线路运营中存在接触网强电干扰、金属异物干扰计轴磁头、计轴设备板卡受环境污染致使接触不良等原因,计轴设备不可避免发生故障。从而导致计轴区段占用信息异常,产生影响,如列车进路无法排列、始端信号机不能正常开放等^[19-20]。当某一计轴区段的计轴设备发生故障时,按照故障导向安全原则,该计轴区段的继电器将处于落下的状态,表示此时计轴区段处于非空闲状态。如果列车控制系统无法及时识别该异常占用信息并判定为ARB占用状态,会导致现地工作站显示界面中的计轴区段处于非CTC车占用状态,致使后方的列车无法运行通过该计轴区段,将严重影响线路的正常运营。此时需要ZC经过逻辑计算对计轴区段的占用状态进行判断,若判定为ARB状态,则允许后续满足条件的列车运行通过该区段。

2 ARB 状态判定逻辑

当某计轴区段显示非CTC列车占用状态时,ZC子系统通过联锁获取计轴区段的占用状态信息,并通过车地无线通信系统收到车载VOBC发送的列车标识、列车运行方向以及速度等信息获取列车的实时位置。ZC将计轴占用状态信息与列车位置信息进行比对,判定该计轴区段占用状态是否为ARB占用状态。

判定ARB状态的逻辑关系如图1所示。

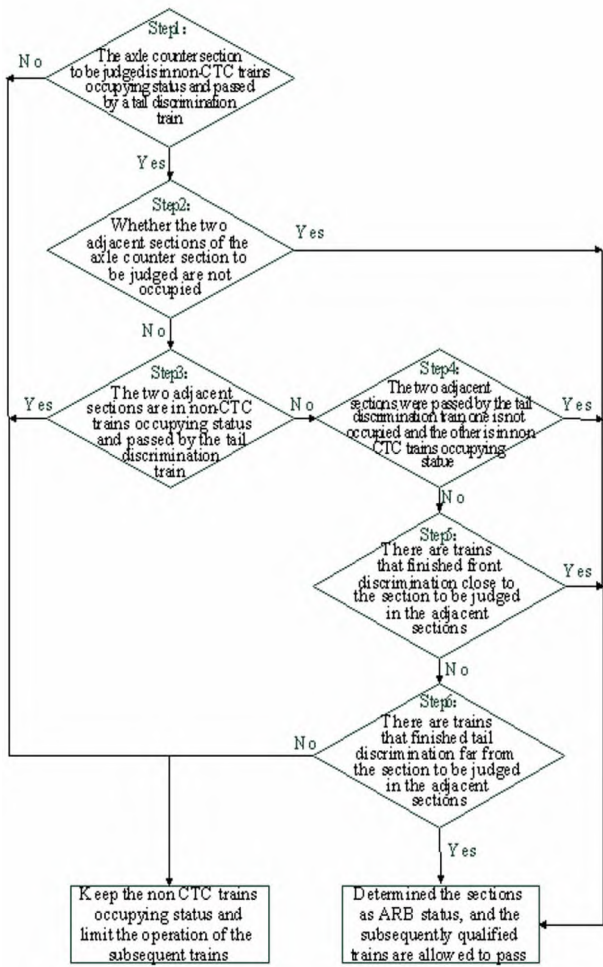


图 1 计轴区段 ARB 的判定逻辑

Fig.1 Logic of ARB judgment in axle counter section

步骤 1 ZC 通过联锁获取待判计轴区段的占用状态,若待判计轴区段处于非 CTC 列车占用状态,且尾端筛选的列车已清扫该计轴区段,确认该区段内无障碍物,则执行步骤 2 进行下一步判断,否则维持该计轴区段的非 CTC 列车占用状态,禁止后方列车通过该计轴区段。

步骤 2 ZC 通过联锁获取待判计轴区段相邻两个计轴区段的占用状态,若相邻两个区段均为空闲状态,则可直接将待判计轴区段判定为计轴故障占用状态,即 ARB 状态。若不满足该条件,则执行步骤 3 进行判断。

步骤 3 若联锁向 ZC 汇报的相邻两个计轴区段的占用状态也是非 CTC 列车占用状态,且已被完成尾端筛选的列车清扫,则 3 个计轴区段将维持原来的非 CTC 列车占用状态,限制后方列车运行。否则执行步骤 4 继续进行判断。

步骤 4 若相邻两个计轴区段之一为非 CTC 列车占用状态且被完成尾端筛选的列车清扫,另一计轴区段为空闲状态,则汇报非 CTC 列车占用状态的两个计轴区段都将被 ZC 判定为 ARB 状态。若不满足条件则执行步骤 5。

步骤 5 若相邻计轴区段内存在运行车辆,则需要结合列车的运行方向以及列车头端、尾端筛选状态进行判定。若相邻区段内列车运行方向为远离待判定计轴区段,且该列车已完成尾端筛选,则可判定该计轴区段状态为 ARB 占用状态;若相邻区段内列车运行方向为靠近待判定计轴区段,且该列车已完成头端筛选,则可判定该计轴区段状态为 ARB 占用状态。

当一列没有完成头端筛选的列车在相邻计轴区段以接近故障计轴区段的方向运行时,由于上述车辆头端筛选未完成,ZC 不能计算出列车的包络信息,列车的准确位置无法获取。此时两个计轴区段均为占用状态,ZC 将无法维持发生故障计轴区段的 ARB 状态,将会切换为非 CTC 列车占用状态。没有完成尾端筛选的列车在相邻计轴区段以远离故障计轴区段的方向运行时,ZC 同样不能检测列车的准确位置,故也无法维持发生故障计轴区段的 ARB 状态,限制后方列车的运行。

3 计轴区段 ARB 占用状态对后续列车运行的影响分析

ZC 经上述逻辑分析将待判计轴区段判定为 ARB 占用状态之后,根据实际场景允许满足条件的列车自动运行通过该计轴区段所在的进路。以下运营场景包含了计轴区段 ARB 占用状态对于列车运行影响的各种情况。

图 2 所示为进路内方第 1 个计轴区段 ARB 占用状态对于列车运行的影响。在进路被尾端筛清的列车清扫完毕之后,重新排列该进路。内方第 1 个计轴区段因计轴设备故障被 ZC 判定为 ARB 状态,联锁对点式进路的检查条件中,当点式进路内第 1 个计轴区段处于非空闲状态时,始端信号机不能开放固定闭塞信号,ITC(点式列车控制)列车从有源应答器获取红灯禁止报文,不能以 AM(自动模式)或 CM(列车自动防护下的人工驾驶模式)通过该进路;而对于连续式进路,第 1 个计轴区段的 ARB 占用状态则满足联锁的检查条件,当信号机外方有

CTC 列车接近时,允许始端信号机开放移动闭塞信号,CTC 列车的连续移动授权得以延伸,能以 AM 或 CM 模式不减速运行通过该进路。在进路内方第 1 个计轴区段处于 ARB 状态时,进路内其他任一计轴区段同时处于 ARB 占用状态对列车运行的影响同上述运营场景所述。

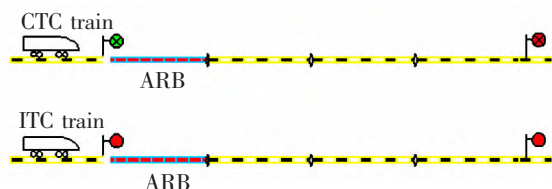


图 2 进路内方第 1 个计轴区段 ARB 对运行的影响

Fig.2 Influence of ARB in the first axle counter section on operation

图 3 所示为进路内方除第 1 个计轴区段外的任意两个计轴区段被判定为 ARB 状态对于列车运行的影响。进路内方第 2、第 3 个计轴区段被 ZC 判定为 ARB 状态后,ZC 将计轴区段 ARB 占用状态信息传输给联锁,进路内非第 1 计轴区段的两个区段 ARB 状态满足联锁对点式进路开放及连续式进路的检查条件,故始端信号机能开放固定闭塞信号及移动闭塞信号,CTC 列车及 ITC 列车的移动授权延伸,允许列车以 AM 模式或 CM 模式运行通过该进路。进路内方第 2、第 4 个及第 3、第 4 个计轴区段被判定 ARB 占用状态对于列车运行的影响与上述相同。

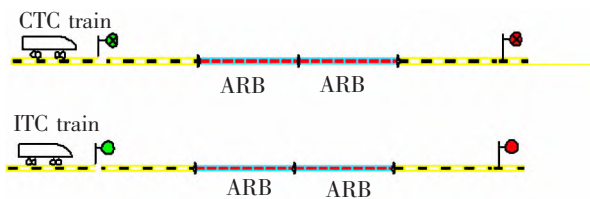


图 3 进路内方第 2、第 3 轴区段 ARB 对运行的影响

Fig.3 Influence of ARB in the second and third axle counter section on operation

图 4 所示为进路内方除第 1 个计轴区段的连续 3 个计轴区段被判定为 ARB 状态对于列车运行的影响。进路内方第 2、第 3、第 4 个计轴区段被 ZC 判定为 ARB 占用状态后,由于连续 3 个计轴区段的计轴设备均出现了故障,列车通过该进路的不确定性和危险性增加,很有可能会危及行车安全,导致安全事故发生。基于故障导向安全原则,ZC 将无法维持该三

个计轴区段的 ARB 状态,将区段占用状态切换为非 CTC 列车占用状态,不满足联锁对进路开放的检查条件,禁止始端信号机开放移动闭塞信号和固定闭塞信号,CTC 及 ITC 列车的移动授权终点被限制在始端信号机前方无法延伸,无法以 AM 或 CM 模式运行通过该进路。

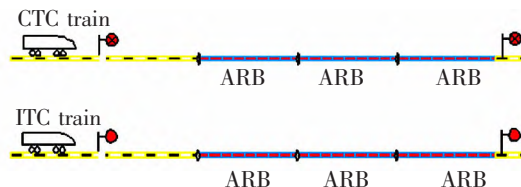


图 4 进路内方连续 3 个区段 ARB 对运行的影响

Fig.4 Influence of ARB in continuous three axle counter sections on operation

4 半实物仿真测试验证

利用中国铁道科学研究所的 CBTC 系统半实物仿真测试平台对计轴故障占用功能进行仿真测试。在 CBTC 系统半实物仿真测试平台中,驾驶台、轨旁和区域控制器采用仿真设备,联锁、车载控制器及 ATS(列车自动监督系统)均采用真实设备,设备之间根据子系统间的通信协议进行通信。仿真测试工况选取重庆地铁 9 号线自兴科大道站至头塘站 8 个站台,7 个运行区间,区间线路数据见表 1。

表 1 区间距离数据

Tab.1 Distance data of metro sections

Number	Name of interval	Length/m
1	Xingkedadao-Baoshenghu	1 168
2	Baoshenghu-Qinggangping	2 011
3	Qinggangping-Shangwanlu	1 687
4	Shangwanlu-Shipanhe	1 802
5	Shipanhe-Hejialiang	1 596
6	Hejialiang-Baoshuigang	1 633
7	Baoshuigang-Toutang	1 363

以青岗坪 ZC 控区为例进行仿真验证,仿真测试场景见图 5。首先在轨旁仿真上加载一辆列车,完成尾端筛选之后运行通过进路 S2404-S2312,在轨旁仿真中将 2310G 设置为计轴故障后,CI 将线路中区段占用状态信息向 ZC 传输,ZC 结合线路中列车的位置报告信息通过计轴故障占用判断逻辑将

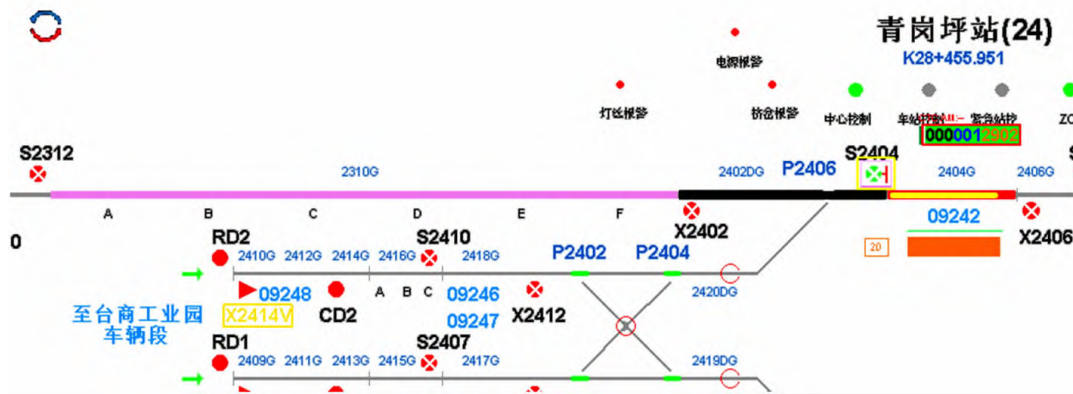


图 5 仿真测试场景

Fig.5 Simulation test scenario

2310G 判定为 ARB 状态，计轴区段的 ARB 状态在图中显示为粉光带占用。随后在轨旁仿真上加载一辆列车升级为 CTC 等级后向进路 S2404-S2312 运行，在列车接近该进路的始端信号机 S2404 过程中，S2404 开放移动闭塞信号，CTC 列车的移动授权延伸，可运行通过该进路。

仿真分析可知，区间长度，故障计轴长度，逻辑判断处理时间以及列车限速等 4 个因素对列车在发生计轴故障的区间中运行时间影响较大，区间长度、故障计轴长度越长和逻辑判断处理时间越慢，列车在发生计轴故障的区间中运行时间越长，而列车限速越高，列车通过运行区间越快。仿真测试结果见图 6。测试结果表明，采用本文提出的 CBTC 系统计轴故障占用判定逻辑，较之于目前国内普遍采用的应对计轴设备故障处理方案，列车在计轴设备故障的区间中运行时间缩短大约 30%，线路运营效率有较大提升。

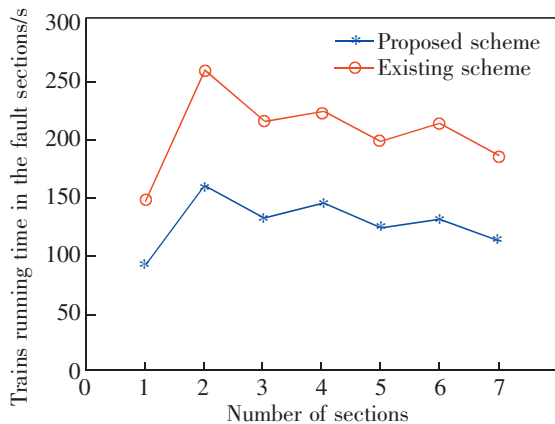


图 6 不同方案运行时间对比

Fig.6 Running time in different schemes

5 结论

计轴设备故障普遍存在于城市轨道交通运营系统中，计轴故障很可能会引起列车晚点，降低线路的运营效率。本文总结了国内对于计轴故障的处理方案，提出了一种新的 ARB 状态判定逻辑，并通过半实物仿真测试平台进行验证测试，得到结论如下：

1) 相比于国内目前普遍采用的计轴故障处理方案，采用本文提出的计轴故障占用判定逻辑，能够缩短列车在计轴故障区间的运行时间，提高列车区间运行效率大约 30%。

2) 对于计轴故障区段的相邻区段有占用的场景，原有的方案中没有相应的处理策略。本文在提出的计轴故障占用判定逻辑中加入上述场景作为判断检查条件，能更加全面地对不同情况下发生的计轴设备故障做出合理的逻辑分析和处置。

参考文献:

[1] 郑翔,王辉,徐行方,等. 快慢车模式下市域轨道交通开行方案综合评价研究[J]. 华东交通大学学报, 2020, 37(6): 56-65.
 ZHENG X, WANG H, XU X F, et al. Comprehensive evaluation of the municipality rail transit operation plan under the express and local train mode[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(6): 56-65.
 [2] 雷云鹏,姜萍萍,范东明. 城轨计轴设备健康状态评估系统[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(11): 90-93.
 LEI Y P, JIANG P P, FAN D M. Health status evaluation system of urban rail axle counter[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(11): 90-93.
 [3] 张平. 计轴在城市轨道交通信号系统中的应用研究[J]. 大科技, 2016(17): 123-124.

- ZHANG P. Application of axle counter in urban rail transit signal system[J]. Super Science, 2016(17):123-124.
- [4] 朱琳,吴强,刘志钢,等.城市轨道交通运营列车故障影响仿真分析系统[J].都市快轨交通,2017,30(2):113-119.
ZHU L,WU Q,LIU Z G,et al. Simulation and analysis system for the impact of metro train faults on operations[J]. Urban Rapid Rail Transit,2017,30(2):113-119.
- [5] ZHANG Y,ZHAO B,TIAN M. Transmittal signal frequency of centre-fed ballastless track circuit[J]. Journal of Southwest Jiaotong University,2012,47(1):7-11.
- [6] NEDELICHEV N. Jointless track circuit length[J]. IEEE Proceedings-Electric Power Applications,1999,146(1):69-74.
- [7] 刘俊杰. TAZ-II 计轴在地铁运营中存在的问题及对策[J]. 技术与市场,2012,19(9):45-46.
LIU J J. Problems and countermeasures of TAZ-II axle counter in metro operation[J]. Technology and Market,2012,19(9):45-46.
- [8] 邓嘉成. 基于故障数据的轨道交通信号设备危害度、可靠性分析及故障预测研究[D]. 广州:华南理工大学,2020.
DENG J C. The research of equipment damage degree, reliability analysis and fault prediction of rail transit signal equipment based on fault data[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2020.
- [9] IWATA K,WATANABE I. Risk Evaluation Method for Improvement of Railway Signalling System[J]. Quarterly Report of RTRI,2010,24(3):35-40.
- [10] 吕后波. 城市轨道交通计轴系统在列车折返区域的冗余控制方案[J]. 城市轨道交通研究,2018,21(S1):79-82.
LV H B. Redundancy control scheme of urban rail transit axle counting system in turn-back area[J]. Urban Mass Transit,2018,21(S1):79-82.
- [11] 王金魁. 计轴系统工作原理及常见故障处理[J]. 电子世界,2014(2):70.
WANG J K. Principle of axle counter system and troubleshooting[J]. Electronics World,2014(2):70.
- [12] 张昌平. 简析 CBTC 系统中联锁与区域控制器的关系[J]. 铁路通信信号工程技术,2012,9(3):49-51.
ZHANG C P. Analysis of the relationship between interlocking and zone controller in CBTC system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,2012,9(3):49-51.
- [13] 葛兰新. 计轴器故障影响 CBTC 列车运行问题解决方案[J]. 铁道通信信号,2013,49(1):28-30.
GE L X. Solutions to the problem of axle counter fault affecting CBTC train operation[J]. Railway Signalling & Communication,2013,49(1):28-30.
- [14] 时良仁. 站内轨道电路分路不良计轴检查设备设计与实现[D]. 上海:上海交通大学,2011.
SHI L R. Design and implementation of axle counter inspection equipment for track circuit bad shunting in railway station[D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University,2011.
- [15] 王梓丞,张亚东,郭进,等. 牵引回流对计轴设备的影响分析[J]. 铁道标准设计,2018,62(2):166-172.
WANG Z C,ZHANG Y D,GUO J,et al. Impact analysis of traction return current on axle counter[J]. Railway Standard Design,2018,62(2):166-172.
- [16] 付强,王丹. 天津地铁 2、3 号线计轴故障处理及实例分析[J]. 城市轨道交通研究,2016,19(5):129-132.
FU Q,WANG D. Procedure with axle counter failure and a case study of Tianjin metro line 2 and line 3[J]. Urban Mass Transit,2016,19(5):129-132.
- [17] 徐焯. 计轴故障对 CBTC 系统的影响及改进建议[J]. 铁道通信信号,2015,51(7):94-95.
XU Y. Influence of axle counter fault on CBTC system and improvement suggestions[J]. Railway Signalling & Communication,2015,51(7):94-95.
- [18] 张森. 基于 TCSP 的区域控制器分层建模与验证[D]. 北京:北京交通大学,2015.
ZHANG M. Hierarchical modeling and verification of zone controller based on TCSP[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2015.
- [19] 于雪松. 天津地铁 1 号线信号系统改造工程技术方案[J]. 数字通信世界,2018(4):20.
YU X S. Technical scheme of signal system transformation project of Tianjin metro line 1[J]. Digital communication World,2018(4):20.
- [20] 刘俊杰,石卫师. 南宁市轨道交通 1 号线分段开通信号系统核心要点[J]. 现代城市轨道交通,2019(6):69-73.
LIU J J,SHI W S. Key points of section by section opening of signaling system on Nanning urban rail transit line 1[J]. Modern Urban Transit,2019(6):69-73.



第一作者:李超(1995—),男,中国铁道科学研究院集团有限公司研究生部,硕士研究生,研究方向为交通信息工程及控制。2017年本科毕业于郑州大学。E-mail:804559028@qq.com。



通信作者:贾学祥(1962—),男,中国铁道科学研究院集团有限公司主任研究员,硕士生导师,詹天佑青年奖获得者,研究方向为城市轨道交通列车运行控制技术。1983年毕业于北方交通大学(现北京交通大学)电信系信号专业。E-mail:ji-axuexiang@sina.com。

(责任编辑:龚凯 刘棉玲)