

# 地铁信号系统计轴设备受扰分析与解决方案

杨荣兵<sup>1</sup> 梁建彬<sup>1</sup> 谭冠华<sup>2</sup> 汪 峰<sup>2</sup>

(1. 成都地铁运营有限公司, 610081, 成都; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610036, 成都)

**摘 要** [目的]在成都地铁 18 号线的系统调试、动车调试及试运行过程中,不同场景下,计轴设备均出现了受扰异常占用的情况,严重影响地铁运营安全,因此有必要对各种异常受扰场景进行分析和测试试验,选择合适的改进方案解决计轴设备受扰异常占用问题。[方法]介绍了车辆段运用库计轴区段异常受扰占用情况,列车通过分相区时的计轴区段异常受扰占用情况,接触网停送电时的计轴区段异常受扰占用情况;分析各计轴设备受扰异常占用场景,并进行相关调查测试及其验证,最后提出不同受扰场景下的解决方案。[结果及结论]对于车辆段运用库计轴区段异常受扰占用场景,可采用在车辆段库前库内侧、库中 A 股道侧、库中 B 股道侧增加均流线,同时使用新型放大板的方案解决该问题。对于列车通过分相区时的计轴区段异常受扰占用场景,可采用隔离干扰方案和消除干扰或减弱干扰强度方案解决该问题。对于接触网停送电时的计轴区段异常受扰占用场景,可采用优化系统接地方案解决该问题,将弱电扁钢与牵引回流通路(钢轨)的连接断开,同时将弱电扁钢与车站地网相连,将计轴通道防雷模块参数进行适应性优化。

**关键词** 地铁; 信号系统; 计轴设备

**中图分类号** U284.47

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.020

## Analysis and Solution Schemes for Interference on Metro Signaling System Axle Counting Equipment

YANG Rongbing<sup>1</sup>, LIANG Jianbin<sup>1</sup>, TAN Guan-hua<sup>2</sup>, WANG Zheng<sup>2</sup>

(1. Chengdu Metro Operation Co., Ltd., 610081, Chengdu, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610036, Chengdu, China)

**Abstract** [Objective] During the system commissioning, train debugging and trial operation on Chengdu Metro Line 18, the axle counting equipment exhibits AIO (abnormal interference and occupation) due to various disturbances in different scenarios, significantly affecting metro operation safety. Therefore, it is necessary to analyze and conduct tests and experiments on various abnormal disturbance scenarios to select appropriate improvement schemes for resolving the issue of

AIO in axle counting equipment. [Method] The AIO situations in the axle counting sections of the vehicle depot, in the axle counting section when train passes through phase division zones, and in the axle counting section during catenary power-off are introduced. Various scenarios of AIO in the axle counting equipment are analyzed, and relevant investigations, tests, and verifications are performed. Finally, solution schemes for different disturbance scenarios are proposed. [Result & Conclusion] For the AIO scenario in the axle counting section of the vehicle depot, the scheme of adding equalizing lines on the inner side of the front garage, and on track A and track B sides in the depot, along with the use of a new amplification board, can solve the problem. For the scenario of AIO in the axle counting section when train passes through phase division zones, the schemes of isolating interference, eliminating or weakening interference intensity can be implemented for the problem. For the scenario of AIO in the axle counting section during catenary power-off, the scheme of optimizing system grounding can solve the problem, where the weak flat steel is disconnected from the traction return path (rail), and then connected to station grounding grid, along with adaptive optimization of the parameters for the axle counting channel lightning protection module.

**Key words** metro; signaling system; axle counting equipment

自成都地铁 18 号线场段开始接车以来,动车调试中存在以下三类因计轴设备受扰而导致的计轴区段异常占用情况:①当车辆段运用库内列车升降弓时,库内相邻计轴区段异常受扰占用;②当列车通过正线分相区时,分相区相关计轴区段异常受扰占用;③在施工检修期间,接触网停送电时,正线联锁分界点所在计轴区段异常受扰占用。

鉴于此,建设单位组织相关各方共同开展受扰情况排查工作,借鉴其他制式的城市轨道交通项目经验,对不同优化改进方案进行可行性研究。本文以成都地铁 18 号线为例,针对各种异常受扰场景进行分析和测试试验,并选择合适的改进方案解决计

轴设备受扰异常占用问题。本文研究可为其他城市轨道交通线路信号系统计轴区段受扰占用问题提供计轴区段抗干扰施工建设和运营维护的工程经验。

## 1 车辆段运用库计轴区段异常受扰占用

### 1.1 线路概况

成都地铁 18 号线采用 8 节编组 A 型列车,牵引供电系统采用 27.5 kV 交流供电方式,信号系统采用 TAZ II/S295 + JC 型计轴设备。该线路是城市域铁路、远郊快线与机场专线功能为一体的复合地铁线路。

### 1.2 受扰现象

车辆段运用库计轴受扰现象表现为:当运用库内进行单车和多车升降弓时,列车停放位置前方或后方最近一个计轴磁头受扰,导致列车所处区段或后方无车区段异常占用。现场采集到的车辆段计轴磁头受扰波形软件截图如图 1 所示。

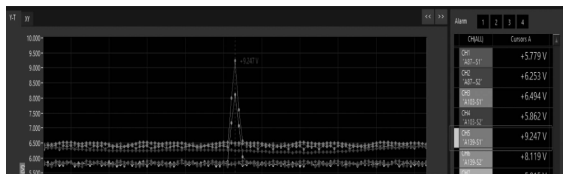


图 1 车辆段计轴磁头受扰波形软件截图

Fig. 1 Software screenshot of the disturbed waveform of depot axle counting magnetic head

### 1.3 受扰分析

通过现场核实,车辆段牵引供电方式示意图如图 2 所示。由牵引变电所输出牵引电流,经接触网、列车受电弓、列车、钢轨及大地和回流电缆后返回牵引变电所。根据受扰现象的出现时机和现场采集的计轴磁头受扰波形分析后可知,受扰原因为在列车进行升弓、合主断过程中,由钢轨上的牵引回流突变产生的电磁场超出了计轴系统对电磁场环境的阈值要求,进而对计轴磁头产生了干扰,影响了计轴磁头的正常工作。

### 1.4 调查测试及解决方案

根据受扰分析可知,车辆段运用库计轴区段异常占用是由突变电磁场引起的,而根据计轴设备的设计标准,并不是所有干扰都会导致异常计数,而是当干扰超过计轴设备工作频率的电磁场强度限值时,才会异常计数。由于受电弓升降是不可避免的操作,因此从降低干扰电磁场强度和隔离干扰的

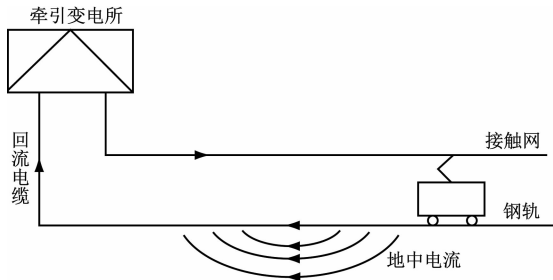


图 2 车辆段牵引供电方式示意图

Fig. 2 Diagram of traction power supply mode in depot

角度考虑,结合车辆段运用库具有多股道并行的条件,可采用均流线和新型放大板(用于过滤干扰电流)两种方案。

考虑运用库停放列车位置的不同,受干扰异常的计轴区段包含 A 股道、B 股道及库前区段,因此选取列车停放在 28A 股道和 28B 股道进行升降弓操作,对以下各种情况进行试验验证,并采集相应的计轴设备数据,试验验证结果如表 1 所示。

针对采取库前库内侧,库中 A、B 股道侧增加均流线,以及采用新型放大板增强防护能力临时措施的不同情况,以表 1 的试验结果为基础,对车辆段计轴设备使用情况进行为期 22 d 的长期观察。经分析可知:① 单独使用新型放大板(库前库内侧,库中 A、B 股道侧均不加均流线),仍存在计轴受扰占用的情况。② 仅在库前库内侧增加均流线时(库中 A、B 股道侧没有增加均流线),库前计轴磁头的关联区段未出现区段受扰占用的情况;库中 A、B 股道侧出现了 1 次区段受扰占用的情况。库中 A、B 股道侧增加均流线后,未再出现区段受扰占用的情况。③ 库内增加均流线,同时使用新型放大板后,库前库内侧,库中 A、B 股道侧均未出现区段受扰输出占用的现象。

库前库内侧,库中 A、B 股道侧多种场景系统试验结果表明:在计轴磁头前后增加均流线,可以极大地降低计轴区段异常占用的概率;计轴系统使用新型放大板后,可以有效解决车辆段的计轴受扰问题。由于验证试验次数有限,试验序号 3 ~ 8 中,由于存在受扰情况,虽然未出现异常占用,但不可排除上述均流线和新型放大板的安装方案不会出现异常占用情况的发生。

基于以上试验验证结果,为有效解决此类计轴受扰问题,需在车辆段库前库内侧、库中 A 股道侧、库中 B 股道侧增加均流线,同时使用新型放大板,以进一步提高计轴设备抗电磁干扰的性能。

表 1 试验验证结果记录表  
Tab.1 Record of test verification results

试验序号	有无均流线			有无新型放大板	列车位置	试验结果
	库前库内侧	库中 A 股道侧	库中 B 股道侧			
1	无	无	无	有	A 股道或 B 股道	降低了受扰概率,但仍出现异常占用
2	有	无	无	无	A 股道或 B 股道	存在受扰,并异常占用
3	有	无	无	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
4	无	有	无	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
5	无	无	有	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
6	有	有	无	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
7	无	有	有	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
8	有	无	有	有	A 股道或 B 股道	存在受扰,但未出现异常占用
9	有	有	有	有	A 股道或 B 股道	未出现受扰

2 列车通过分相区时的计轴区段异常受扰占用

2.1 受扰现象

对于 27.5 kV 交流牵引供电制式线路,为了实现接触网供电的 U、V、W 相序隔离,接触网需要设置分相区。根据 TB/T 3197—2008《车载控制自动过分相系统技术条件》要求,分相区中间段需设置无电区。同时,根据铁总科技[2014]172 号《铁路技术管理规程》要求,在交流供电区段接触网电分相前方分别设置断电标,列车通过分相区时需进行断主断、合主断操作。

正线列车过分相区计轴受扰现象表现为:当列车通过分相区时,附近相邻计轴区段出现异常受扰占用的情况,直接表现为瞬间出清后又转为占用状态。过分相区关联计轴点受扰波形软件截图如图 3 所示。

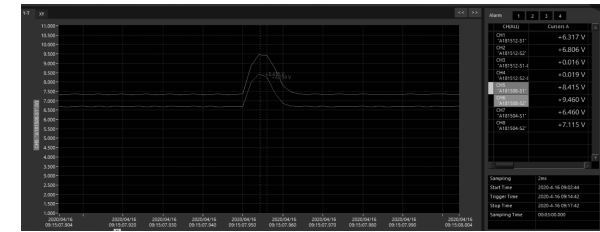


图 3 过分相区关联计轴点受扰波形软件截图  
Fig. 3 Software screenshot of the disturbed waveform of the relevant axle counting point in phase division zones

2.2 受扰分析

分相区受扰现象的实质与车辆段受扰情况一致,当列车通过分相区时需要断主断,利用列车惯

性滑行通过无电区域,然后进入下个供电分区,列车合主断,类似于车辆段停放列车降弓、升弓操作。在此过程中,列车经过了停电、受电的过程,牵引回流存在突变并由此导致附近计轴磁头出现异常受扰,相应计轴区段异常占用。

正线牵引供电方式示意图如图 4 所示,其回流方式除了钢轨和大地回流外,还通过吸上线和回流线回流。

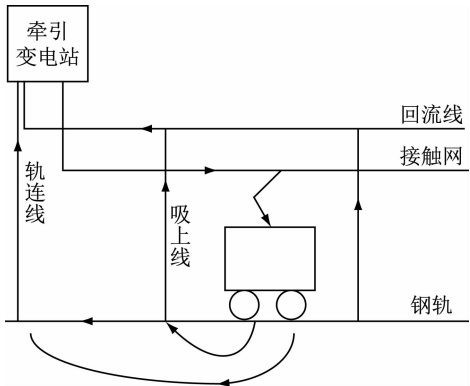


图 4 正线牵引供电方式示意图  
Fig. 4 Diagram of main line traction power supply mode

2.3 调查测试及解决方案

根据受扰分析可知,分相区计轴受扰现象同样是由牵引回流突变引起的,解决该问题的方案有两种:隔离干扰方案(方案 1)和消除干扰或减弱干扰强度方案(方案 2)。

针对方案 1,采用新型放大板方式,过滤干扰电流,通过 10 d 的观测,未再次发生计轴区段受扰占用情况,但观测计轴磁头波形时,仍可以看见受扰波形的存在。



针对方案 2,由于正线不具备车辆段多股道条件,无法通过多股道安装均流线的方式进行分流,但根据正线回流方式可知,其可通过回流线进行分流。经现场调查发现,分相区上下行区间各设置有一处吸上线,且上下行钢轨通过轨连线连通,两吸上线间隔约为 2.7 km,因此建议分相区两侧增加吸上线试验测试,结果表明,通过长达 2 个月的持续观测,未观测到受扰波形。

针对分相区计轴区段受扰占用现象,通过分析上述方案的测试结果可知:① 使用新型放大板可以有效解决列车过分相区计轴区段异常占用的情况,但不可完全隔离干扰脉冲;② 在分相区两侧增加吸上线可以有效解决计轴磁头受扰的情况,解决了列车通过分相区时,计轴区段因计轴磁头受扰而输出异常占用的情况。

基于以上试验验证结果,采取在分相区处计轴磁头两侧增加吸上线,并使用新型放大板的方案,可有效解决此类计轴受扰问题。同时,在后续线路信号系统设计中,应尽量避免在分相区布置计轴磁头,以减少或规避类似情况发生。当无法避免在分相区布置计轴磁头时,应合理考虑吸上线的设置间隔。

### 3 接触网停送电时的计轴区段异常受扰占用

#### 3.1 受扰现象

在接触网停送电过程中,正线联锁区边界相关计轴传输通道出现受扰现象,导致计轴区段输出异常占用。接触网停送电相关磁头受扰波形软件截图如图 5 所示。

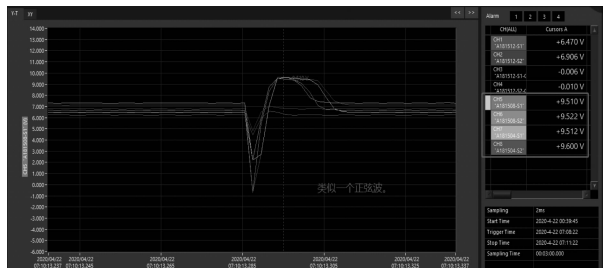


图 5 接触网停送电相关磁头受扰波形软件截图

Fig. 5 Software screenshot of magnetic head disturbed waveform related to catenary power-off and power supply

#### 3.2 受扰分析

根据上述现象及受扰波形分析可能存在的影响因素,初步判断为由于强弱电共地导致计轴传输

通道受扰。经过排查发现,干扰信号传输的路径主要有计轴电缆、强弱电接地扁钢、钢轨及回流线等,经讨论后在工程现场对可能的干扰路径进行调查分析,并开展可能干扰路径的测试排查。

#### 3.3 调查测试及验证

为解决强弱电共地干扰问题,需确定具体干扰来源,并确定干扰源是否可以断开共地而不影响接地电阻和等电位指标。

##### 3.3.1 轨旁接地情况

现场对区间轨旁接地情况进行了调查,现场实际情况为:① 弱电侧扁钢与钢轨约每 500 ~ 600 mm 连接一次;弱电扁钢全线贯通,与设计规定的“应每隔一定距离断开一次”的要求不符合。② 强电侧扁钢全线贯通,与钢轨约每 500 ~ 600 m 连接一次。③ 上下行钢轨相隔约 500 ~ 600 m 横向连接一次,且靠近强电侧钢轨与预留的强电接地桩连接。④ 信号计轴电缆约 1 km 进行一次接续,并在接续盒处远离室内一端进行单端接地,接到弱电侧的扁钢上。

分析现场接地情况可知,计轴设备在工作时会受到钢轨牵引回流影响,同时还会受到由于计轴电缆、弱电侧接地扁钢、钢轨和强电侧接地扁钢的共地影响。

##### 3.3.2 接地电阻及电位差测试

为了解强弱电各处的接地电阻和电位差情况,进行了接地电阻及电位差测试,如表 2 所示。由表 2 可知:弱电接地扁钢可与钢轨断开连接,不影响弱电系统接地电阻和等电位要求;计轴电缆屏蔽层不可与弱电接地扁钢断开连接,断开后接地电阻和电位差过大,不满足计轴电缆接地电阻和等电位要求。

##### 3.3.3 测试验证

针对接触网停送电时的计轴区段异常受扰占用现象,在现场计轴磁头、计轴电缆和室内设备房等安装设备处,进行了接触网停送电过程测试,观察区段的受扰占用情况。考虑到强弱电共地关系,针对轨旁弱电扁钢与钢轨连接、断开的不同情况进行了测试。考虑到加强计轴区段的抗干扰能力,针对室内设备房将计轴通道防雷模块接地线连接、断开的不同情况进行了测试。对计轴防雷模块参数进行优化,采用提高防护能力的新型防雷模块进行测试。

测试结果表明:① 轨旁弱电扁钢与钢轨连接断开后,测试过程没有出现受扰异常占用的情况,故该措施可以有效降低计轴设备的受扰程度。② 通

表 2 接地电阻及电位差测试

Tab.2 Grounding resistance and potential difference test

序号	测试点	位置或状态	测试结果
1	强电接地桩	强电接地端子与钢轨连接处	接地电阻 0.17 Ω
2	强电接地扁钢		接地电阻 0.17 Ω
3	钢轨	上下行联络通道	接地电阻 1.05 Ω
4	弱电接地扁钢	与钢轨连接时	接地电阻 0.36 Ω
5	弱电接地扁钢	与钢轨断开时	接地电阻 0.49 Ω
6	计轴电缆屏蔽层	计轴电缆接续盒处与弱电接地扁钢连接处	接地电阻 0.48 Ω
7	计轴电缆屏蔽层	计轴电缆接续盒处与弱电接地扁钢断开处	接地电阻 243.00 Ω
8	弱电扁钢与钢轨电位差	弱电扁钢与钢轨断开连接	电位差 0.9 V
9	计轴电缆屏蔽层与弱电接地扁钢电位差	计轴电缆屏蔽层与弱电扁钢断开连接	电位差 26.9 V

过将计轴通道防雷模块接地断开（拔掉防雷模块），可以有效降低计轴区段的受扰程度。弱电扁钢与钢轨连接线断开后，接地电阻仍满足小于 1 Ω 的要求；弱电扁钢与钢轨的电位差小于 1 V，满足等电位的要求。③ 对计轴防雷模块参数进行优化后的新型防雷模块方案，可有效解决此类计轴区段的受扰问题。

3.4 解决方案

基于以上试验验证结果，可采取以下措施解决：① 优化现场接地方案，将弱电扁钢与牵引回流通路（钢轨）的连接断开，同时将弱电扁钢与车站地网相连，以确保接地电阻满足设计要求；② 对于 27.5 kV 交流牵引供电制式线路，不建议拆除防雷模块，对于外部环境受扰通道存在的现状，仍将计轴通道防雷模块接地，并对计轴通道防雷模块参数进行适应性优化。

4 结语

本文通过对车辆段、正线分相区及联锁区边界等交流牵引区段信号系统计轴设备受扰现象进行分析，以及调查测试及验证，确定了以下三个解决方案：

- 1）采取在车辆段库前库内侧，库中 A、B 股道侧增加均流线，并使用新型放大板的方案。
- 2）采取在分相区两侧增加吸上线，降低吸上线之间的间隔，同时使用新型放大板的方案。
- 3）优化系统接地方案，将弱电扁钢与牵引回流通路（钢轨）的连接断开，同时将弱电扁钢与车站地网相连，并将计轴通道的防雷模块参数进行适应性

优化。

通过上述方案可以有效解决城市轨道交通信号系统的计轴设备受扰问题，对类似交流牵引城市轨道交通信号系统计轴受扰问题具有一定的指导和借鉴作用。目前，该方案已在成都地铁 13 号线、18 号线、19 号线及成都市域铁路 S3 线获得推广及应用。后续线路可以结合本线特点采取以下措施：合理进行计轴设备的布置，尽量避免特殊使用场景；采用抗干扰高的设备，尽量隔离干扰；强弱电系统分离，避免串扰问题。

参考文献

[1] 吕顺凯. 计轴装置在新型地面自动过分相系统中的应用[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(12): 10.  
LYU Shunkai. Application of axle counter in new type ground automatic neutral section passing system[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(12): 10.

[2] 侯学辉. 减小计轴主机宕机故障影响的优化方案[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(4): 146.  
HOU Xuehui. Optimization scheme for minimizing the impact of axle counting system downtime fault[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 146.

[3] 曲育德. 电磁感应式计轴设备的常见干扰源与抗干扰方法研究[J]. 数字通信世界, 2019(3): 92.  
QU Yude. Research on common interference sources and anti-interference methods of electromagnetic induction axle counting equipment[J]. Digital Communication World, 2019(3): 92.

[4] 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.  
WANG Zicheng, ZHANG Yadong, GUO Jin, et al. Impact analysis of traction return current on axle counter[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(2): 166.

(下转第 116 页)

表 1 故障定位耗时记录

Tab. 1 Records of fault locating time consumption

序号	故障名称	模式库中位置	故障定位算法平均耗时/ms
1	CTC(调度集中)车连续丢失两个应答器降级	第 1991 条	81.4
2	CTC 车通信超时降级	第 1533 条	193.6
3	ZC 与 CI 通信中断	第 1047 条	163.7
4	CTC 车头筛丢失降级	第 670 条	75.3
5	CTC 车闯红灯降级	第 362 条	139.4

## 4 结语

根据 CBTC 系统的系统架构、应用数据传输原理及系统参数,结合测试经验,设计了一套能够进行实时快速故障定位的方法。所提 CBTC 系统实时故障定位方法在针对具有时间约束的故障诊断定位方面具有普适性,尤其适用于大型分布式软件多点监测控制系统的故障检测及智能故障诊断。根据模式匹配规则设计了故障定位算法,运用了已完成有效匹配信息的继承方法,能够有效避免故障模式的回溯搜索过程。经 CBTC 数据监测系统验证,所提算法能够快速完成 CBTC 系统的故障定位功能。所提 CBTC 系统实时故障定位方法无论在测试阶段还是在现场运营阶段均能发挥重要作用,其不仅降低了系统测试和故障运维的技术难度,通过快速故障定位,大大减少了故障恢复时间。

## 参考文献

- [1] 魏晓超,徐琳,郑志华,等. 适用于智能环境的高效安全云辅助模式匹配协议[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(11): 2365.  
WEI Xiaochao, XU Lin, ZHENG Zhihua, et al. Efficient and secure cloud-assisted pattern matching protocol for intelligent envi-

ronment[J]. Journal of Computer Research and Development, 2019, 56(11): 2365.

- [2] 秦建,孙秀锋,吴春明. “垃圾短信”监控的中文多模式模糊匹配算法[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 168.  
QIN Jian, SUN Xiufeng, WU Chunming. A research of Chinese multi-pattern fuzzy matching algorithm for SMS Spam monitoring[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2013, 35(3): 168.
- [3] 冷晓杰,李兴明. 模糊理论在网络故障实时诊断中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(6): 170.  
LENG Xiaojie, LI Xingming. Application of fuzzy theory in real-time diagnosis of network fault[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(6): 170.
- [4] 姜华,韩安琪,王美佳,等. 基于改进编辑距离的字符串相似度求解算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(1): 222.  
JIANG Hua, HAN Anqi, WANG Meijia, et al. Solution algorithm of string similarity based on improved levenshtein distance[J]. Computer Engineering, 2014, 40(1): 222.
- [5] 赵晓,何立风,王鑫,等. 一种高效的模式串匹配算法[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2017, 35(1): 183.  
ZHAO Xiao, HE Lifeng, WANG Xin, et al. An efficient pattern matching algorithm for string searching[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2017, 35(1): 183.
- [6] 白广争,李亮,白广良. 基于通信的列车控制系统数据采集与解析软件的设计与实现[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(10): 119.  
BAI Guangzheng, LI Liang, BAI Guangliang. Design and implementation of data collection and analysis software based on CBTC system[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(10): 119.

· 收稿日期:2023-02-27 修回日期:2023-04-24 出版日期:2024-02-10  
Received:2023-02-27 Revised:2023-04-24 Published:2024-02-10

· 第一作者:白广争,助理研究员,562623634@qq.com  
通信作者:冯浩楠,副研究员,562623634@qq.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 111 页)

- [5] 贾明杰. 计轴设备在轨道交通信号领域的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015, 5(12): 1375.  
JIA Mingjie. Application of axle counting equipment in rail transit signal field[J]. Urban Construction Theory Research, 2015, 5(12): 1375.

Received:2021-07-22 Revised:2021-07-22 Published:2024-02-10

· 第一作者:杨荣兵,高级工程师,3574275944@qq.com  
通信作者:梁建彬,高级工程师,811019146@qq.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

· 收稿日期:2021-07-22 修回日期:2021-07-22 出版日期:2024-02-10