

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.04.018

全自动驾驶模式车辆基地 牵引供电系统方案

黄齐来

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100044)

摘要: 针对全自动驾驶模式, 研究车辆基地的牵引供电系统方案。根据车辆基地布局及全自动驾驶典型运营场景, 提出全自动驾驶模式下牵引供电系统开关应具备遥控、遥信和不停电倒闸等功能需求。通过对各种直流开关进行分析和比选, 提出一套完整的牵引供电系统改进方案。分区级采用直流负荷开关替代原手动隔离开关, 就地级采用以接触器为主要元件的防误操作检修开关替换原手动检修开关, 同时牵引供电系统增加与门禁和信号系统的联锁功能。介绍改进方案中所应用的直流负荷开关及防误操作检修隔离开关, 具有成熟产品和技术, 能够满足系统的要求。

关键词: 全自动驾驶; 车辆基地; 牵引供电系统; 负荷开关; 联锁功能

中图分类号: U224

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)04-0105-06

Vehicle Depot Traction Power Supply System Based on a Fully Automatic Operation Mode

HUANG Qilai

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100044)

Abstract: The traction power supply system of a vehicle depot is studied for a fully automatic operation mode. According to the vehicle depot layout and typical operation scene of the fully automatic operation, the switches in traction power supply system should have the functions of telecommunicating and uninterrupted power supply for switching operation. Through the analysis and comparison of different types of direct current (DC) switches, a complete set of improved traction power supply system is proposed. A DC load switch is used as the division level equipment instead of a manual disconnecting switch. An anti-malfunction disconnecting switch is used as the local level equipment with a contactor as the main component instead of a manual overhaul switch. The interlock functions between the traction power supply system and the access control, signal system are increased. The DC load switch and the anti-malfunction disconnecting switch used in the fully automatic operation power supply system have mature products and satisfy the system requirements.

Keywords: fully automatic operation; vehicle depot; traction power supply system; load switch; interlock function

全自动驾驶是由全自动化的、高度集中的控制系统替代列车司机工作的运行模式, 是自动化水平提升的产物, 也是目前城市轨道交通领域的研究热点。关于全自动驾驶的车辆、信号、集成控制系统以及运营

模式等方面, 国内已有较多研究^[1-2], 但与之配套的牵引供电系统方案尚未有深入的讨论。城市轨道交通供电系统正线通常为无人值守变电所, 已配置了较为先进的保护装置和自动化系统, 能够满足全自动驾驶模式的需求; 但是在车辆基地内为提升运营调度和检修的灵活性, 供电系统通常采用大量手动隔离开关, 不具备高度自动化和联锁能力。因此, 针对全自动驾驶运行模式下的功能需求, 对车辆基地的牵引供电系统

收稿日期: 2018-06-14 修回日期: 2018-06-29

作者简介: 黄齐来, 男, 硕士, 工程师, 从事城市轨道交通牵引网设计工作, huangqilai@bjucd.com

进行研究, 并提出一套完整的改进方案。

1 车辆基地布局及牵引供电系统需求

1.1 车辆基地布局

与常规车辆基地不同，全自动驾驶车辆基地划分为全自动驾驶运行区和人工驾驶运行区，以下简

称无人区和有人区。如图 1 所示, 无人区包括出入段线、洗车线、试车线及停车列检库等; 有人区包括工程车线及联合检修库等。区别于传统的人工驾驶模式, 在无人区列车的唤醒、启动、行驶、出入库和休眠等一系列操作全部自动化实现, 统一由信号系统进行调度^[3]。

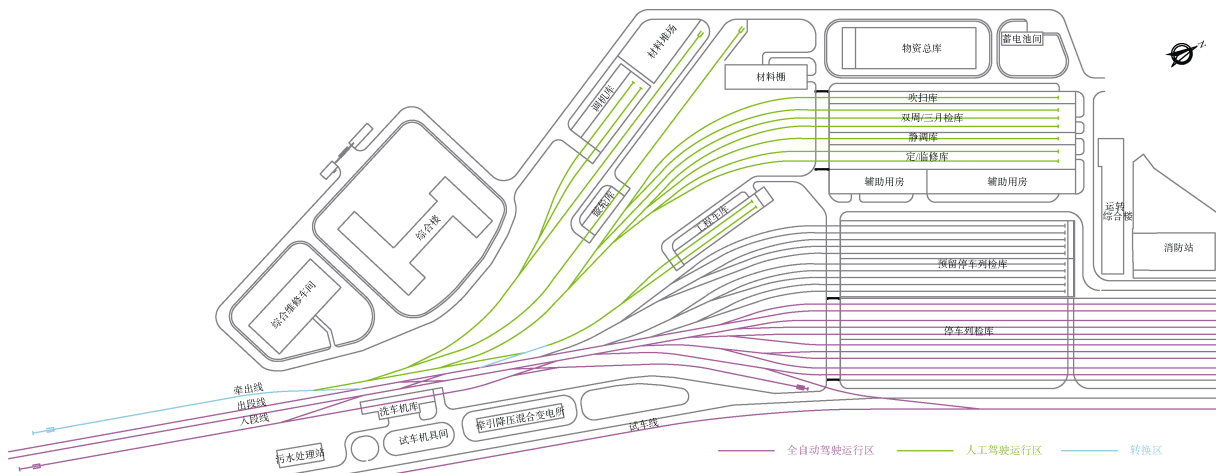


图1 全自动驾驶车辆基地中全自动驾驶区与人工驾驶区划分

Fig. 1 Division of fully automatic and manual driving area in a fully automatic operation vehicle depot

1.2 典型运营模式及需求分析

全自动驾驶模式完全没有司机参与，其核心是通过设备间逻辑联锁实现车辆、乘客及运营人员的安全运行。全自动驾驶通常设置以行车为指挥中心的综合自动化系统(TIAS)，将信号系统与综合监控系统集成，电力监控系统(PSADA)也应纳入 TIAS 进行统筹控制^[4]。以下通过全自动驾驶模式下车辆基地中几种典型的运营和检修场景，具体分析牵引供电系统所需的功能要求。

1) 送电。每天早上运营前, TIAS 根据运营时刻表提前启动上电广播, 防误系统确认人员全部撤离后闭锁防护区门禁。PSADA 根据预定义流程启动无人区的送电程序, 依次遥控分闸接地开关、合闸对应的直流馈线开关, 完成牵引网送电。

2) 断电。夜间运营结束后,列车返回停车列检库并自动停车和休眠,门禁系统按照预定义时间表关闭库端门。PSADA 遥控分闸库内外牵引网的直流馈线开关及检修隔离开关,完成无人区牵引网断电。

3) 夜间检修。在天窗时间,检修人员经行车调度与电力调度许可后获得无人区门禁,在保证对应直流馈线开关处于分闸状态后才可进入。作业前将检修隔离开关旋至就地位以保证人员安全,待检修作业结束,再将

检修隔离开关旋至远方位，离开后防护区门禁将闭锁。

4) 设备故障抢修。当车辆基地内道岔、信号机等设备需要检修维护时, 需通过 TIAS 封锁故障区, 断开对应分区的直流馈线开关, 并通过 SPKS 按钮闭锁此区间, 禁止列车驶入或直流馈线开关合闸。检修结束后通过 SPKS 按钮解除闭锁, TIAS 恢复正常运行模式。

结合上述典型运营场景，分析全自动驾驶模式下牵引供电系统所需功能要求。由 1)、2)可知，直流馈线开关需采用具备遥控功能的电动开关，PSADA 可远程控制分合闸。由 3)、4)可知，直流馈线开关的分合闸位置需通过 PSADA 上传，并将分合闸节点纳入与信号、门禁系统的闭锁逻辑中，保证检修安全。同时由 4)可知，牵引供电系统方案应尽量缩小事故影响范围，减少倒闸时间。总结如下：直流馈线开关具备遥控和遥信功能；增加与门禁、信号系统的闭锁逻辑功能；缩小事故影响范围，提高倒闸速度。

2 牵引供电系统方案分析与改进

2.1 车辆基地牵引供电系统组成

车辆基地牵引供电系统主要负责为室外场区及停车列检库内两部分的牵引网提供电源，直流电压等级

为 DC750V 或 DC1500V。室外场区及停车列检库内通常采用三级配电开关，分别为变电所级、分区级和检

修级。常规运行模式时车辆基地的典型牵引供电系统如图 2 所示。

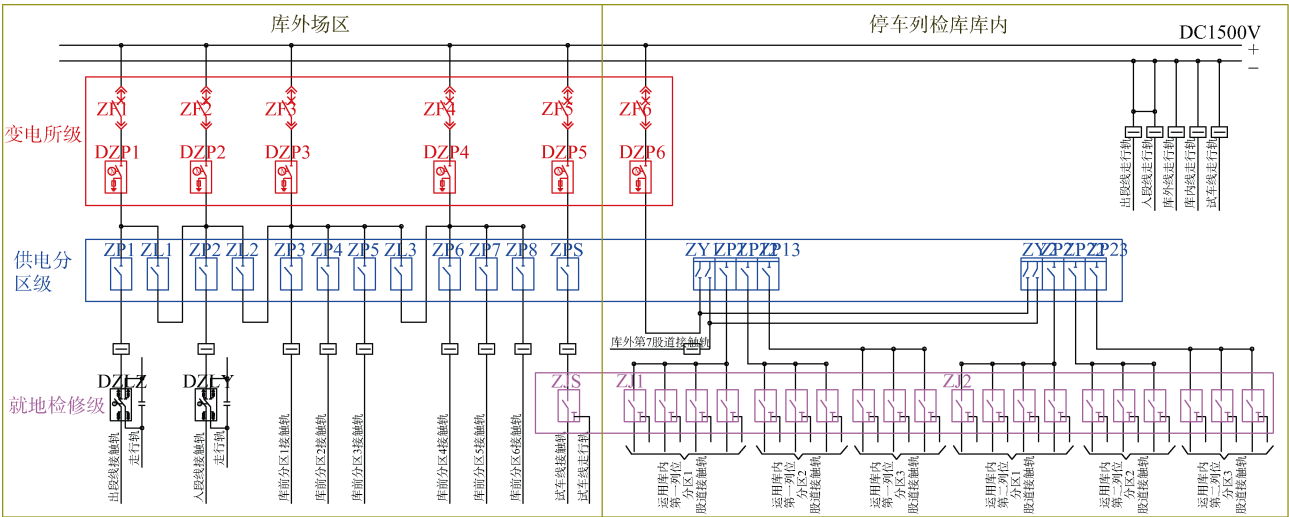


图 2 常规车辆基地典型牵引供电系统

Fig. 2 Drawing of typical traction power supply system for conventional vehicle depot

变电所级开关设置于车辆基地牵引降压混合变电所内，通常由断路器及电动上网隔离开关组成。其主要作用是从直流母线上引出馈线回路，实现调度及继电保护功能，其配置与正线牵引变电所基本一致。

分区级开关通常采用手动隔离开关，除出、入段线和试车线设置独立馈线回路外，通常以 4~6 股道为一组将库内、外场区划分成多个供电分区，并分别配置专用的分区级开关进行控制。当车辆基地中道岔或信号设备故障时，通过断开对应的分区级开关实现故障隔离，在不影响其他分区正常供电的情况下进行检修作业。

在运用库、洗车库、试车线检查坑等需要就地检修作业的场所，设置检修级的手动带接地刀闸隔离开关，保证运营人员安全。

2.2 全自动驾驶模式下的分析与改进

基于 1.2 节的需求分析，常规模式下的车辆基地牵引供电系统中分区级及检修级开关所采用的手动隔离开关不具备遥信、遥控功能，应选用合适的直流开关替代。目前具备成熟产品的可遥控、遥信的直流开关有电动隔离开关、接触器、负荷开关及断路器。4 种开关各有优缺点，下面分别从开关的载流能力、带负荷操作能力、倒闸时间、分合闸寿命以及设备造价等方面进行综合对比，见表 1。

表 1 各类型开关柜对比

Tab. 1 Comparison of various types of switchgear

项目	电动隔离开关	接触器	负荷开关	断路器
远方操控	具备	具备	具备	具备
带载操作	不具备	具备	具备	具备
载流能力/A	4 000	2 000	4 000	4 000
倒闸操作	繁琐	简单	简单	简单
机械寿命/次	2×10 ⁴	2×10 ⁵	1×10 ⁴	6×10 ⁴
设备造价	低	较低	较低	高

分区级开关用于快速隔离故障区域，提高调度的灵活性。在全自动驾驶模式下，若采用电动隔离开关，设备造价较低，但是不具备带负荷分合闸能力，操作时需首先断开对应上级断路器。以图 2 中系统为例，当库外分区 1 故障检修时，首先分闸上一级断路器 ZF1，再断开分区级开关 ZP3，最后合闸 ZF1 恢复其他分区的供电。此倒闸操作较繁琐，且会造成同一馈线回路中其他分区的短时停电。在常规模式下尚可通过现场调度避免影响列车运营，但在全自动驾驶模式中，无人区的供电回路状态将与行车逻辑联锁，即使短暂的停送电也会对车辆运行逻辑产生较大影响，因此不宜采用。

直流断路器与直流负荷开关均具备一定的灭弧能力，允许带负荷操作，能够实现不停电快速倒闸功能，可在供电系统故障情况下快速隔离故障范围，减少对运营的影响，简化了列车控制系统程序。同时具有足够的载流能力，满足全自动驾驶模式下对分区级开关

的要求。两者相比断路器机械寿命较高，但是由于分区级开关为常闭开关，除故障情况外通常不操作，故机械性能优势不大。而负荷开关造价相对较低，因此综合比选，负荷开关性价比较高，笔者认为最适宜作为全自动驾驶模式下分区级开关。

接触器虽也能带负荷操作，但其载流量及短时耐受较小，触头难以满足常闭开关的要求。与之相反的是，停车列检库内的检修开关对载流量要求较低，因此接触器恰恰适宜作为全自动驾驶模式下的就地级开关使用。常规车辆基地中检修级采用手动检修隔离开关，使用时为避免带负荷操作，运营人员通常采用与司机通话确认的方式来保证列车上负荷已全部切除。

而全自动驾驶模式下列车上无司机，列车入库自动休眠，运营人员无法确定列车上负载是否已完全切除。因此检修级开关在电动操作的基础上还应具备防误操作的功能。利用接触器具备带负荷操作的性能，能够在带载误操作情况下保证检修人员的安全，同时其机械寿命高，适用于频繁的检修操作。

综上所述，在全自动驾驶模式下，基于 1.2 节的功能需求，分区级开关宜采用直流负荷开关，在遥信、遥控的基础上提高倒闸速度，减小事故影响范围。就地级开关宜采用以接触器为主要原件的防误操作检修隔离开关，在无司机的情况下保证人员安全。改进后的牵引供电系统如图 3 所示^[5]。

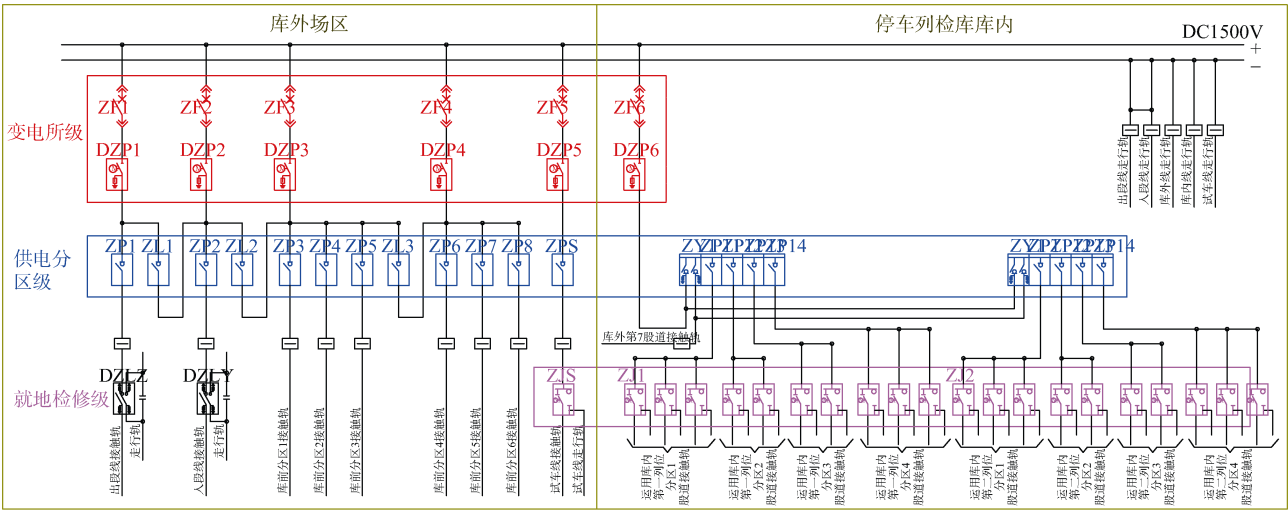


图 3 全自动驾驶模式车辆基地牵引供电系统

Fig. 3 Drawing of traction power supply system for fully automatic operation vehicle depot

2.3 新增供电系统与其他专业的联锁功能

2.3.1 与门禁专业的联锁

全自动驾驶车辆基地由于检修天窗时间短，为提高效率，停车列检库内按 2~3 股道划分多个防护区，仅允许由地下通道或天桥进入，并在入口前设有门禁。如图 4 所示，常规模式下库内、外通常按 4~6 股道划分供电分区，而全自动驾驶模式下库内供电分区按 2~3 股道划分，且对应的分区级开关需增加与门禁系统的联锁功能。具体而言，将分区级开关的分合闸节点串入门禁的开启逻辑回路中，仅当分区级开关处于分闸状态时，对应防护区的门禁才能被激活和打开。在运营人员进入防护区前，需先由行车调度将该分区信号闭锁、电力调度切断分区级开关^[6]。

当无人区门禁被非法打开时，为保证正常的行车运营，门禁报警仅自动联动 CCTV 监控画面切至控制

中心大屏并发出报警提示，但不做联动信号、供电系统的功能。控制中心接到报警后，由调度员根据现场实际情况进行人工处置。

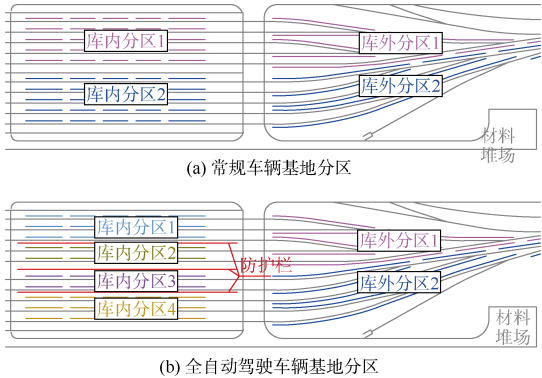


图 4 库内外供电分区对应关系

Fig.4 Corresponding relationship between the inside and outside power supply divisions

2.3.2 与信号专业的联锁

全自动驾驶在正线隧道口及车辆基地防护区入口设置人员防护按钮 SPKS, 以防止列车进入检修区, 分区级开关需增加与信号 SPKS 的联锁功能。当人员进入轨行区作业时按下入口的 SPKS 按钮将该区域封锁, 不允许车辆驶入, 且对应的供电系统分区级开关也被闭锁, 无法合闸送电。因此分区级开关合闸逻辑回路也串入 SPKS 开关节点信号^[7]。

上述的节点信号传输均通过 PSADA 在控制中心与 TIAS 系统进行互联互通。这也进一步验证了分区级、检修级开关采用具有遥信、遥控功能的必要性。

3 全自动驾驶方案中新设备的应用

3.1 直流负荷开关的应用

目前国内已有自主研发的直流负荷开关, 以某厂商产品为例, 其主要结构如图 5 所示。触头采用多指结构, 利于散热, 具有较强的载流能力。同时灭弧室采用串联结构, 装卸方便, 灭弧性能好。其带载分闸时间小于 200 ms, 基本做到“不停电”倒闸, 有利于运营管理调度以及分区间快速支援供电。此类型负荷开关除应用于车辆基地分区级开关外, 还可作为正线越区纵联开关使用, 故障情况下无需停电倒闸, 快速完成大双边支援供电。直流负荷开关目前已在北京、武汉多条线路的正线和车辆基地挂网运营, 经现场试验证明, 其性能指标完全满足各种牵引负荷条件下的分合闸要求^[8]。

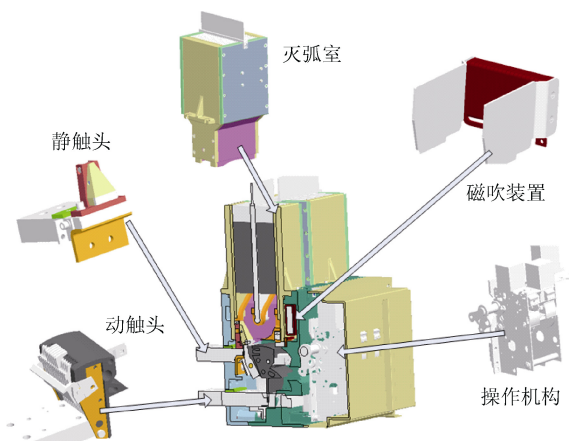


图 5 直流负荷开关结构

Fig. 5 Diagram of the DC load switch structure

3.2 防误操检修隔离开关的应用

以往多个城市地铁运营时发生过因手动隔离开关

带负荷误操作导致开关柜爆炸而伤及人员的事故。防误操作的检修隔离开关也因此成为研究热点。利用接触器机械寿命高, 具备一定的带负荷操作的能力, 将接触器与隔离开关串联或并联, 分闸时使接触器优先动作, 待负荷电流泄放后再令隔离开关动作, 构成明显断开点, 避免隔离开关拉弧而损坏设备或伤及人员。目前已有 3 种防误操作检修隔离开关主接线方案, 分别如图 6 所示。全自动驾驶模式下列车入库后自动休眠, 采用防误操作检修隔离开关可避免列车负荷未关闭或支撑电容放电引起的故障。

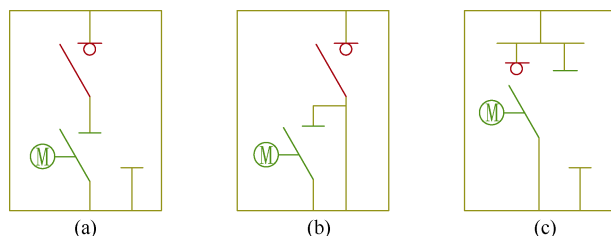


图 6 防误操作检修隔离开关主接线形式

Fig. 6 Main connection forms of the anti-malfunction disconnecting switch

4 结论

根据全自动驾驶的运营模式, 通过分析需求和对各类直流开关进行比选, 提出改进的车辆基地牵引供电系统方案, 结论如下:

1) 全自动驾驶模式下牵引供电系统开关应具备遥信和遥控功能, 同时应尽量不停电倒闸, 减小事故影响范围。

2) 分区级开关采用可带负荷操作、不停电倒闸的直流负荷开关, 具有载流能力强和性价比高等优势。

3) 就地级开关采用以接触器为主要元件的防误操作检修隔离开关, 保证在列车自动休眠的情况下检修人员的安全。

4) 全自动驾驶牵引供电系统增加与门禁和信号系统的联锁功能。

5) 直流负荷开关及防误操作检修隔离开关均已成熟产品及应用实例, 满足全自动驾驶系统要求。

参考文献

- [1] 翟国锐, 刘宏伟, 师秀霞. 下一代地铁车辆全自动无人驾驶信号系统关键技术[J]. 都市快轨交通, 2017, 30(3): 78-82.
ZHAI Guorui, LIU Hongwei, SHI Xiuxia. Key Technologies for unattended train operation signaling system

- for new generation metro vehicles[J]. Urban rapid rail transit, 2017, 30(3): 78-82.
- [2] 张海涛, 梁汝军. 地铁列车全自动无人驾驶系统方案[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(5): 33-37.
ZHANG Haitao, LIANG Rujun. Introduction to the unattended train operation system on metro train[J]. Urban mass transit, 2015, 18(5): 33-37.
- [3] 郭泽阔. 全自动驾驶车辆段总体布局方案设计[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(2): 42-47.
GUO Zekuo. Overall depot layout for fully automatic operation in urban rail transit [J]. Urban rapid rail transit, 2017, 30(2): 42-47.
- [4] 刘荣峰, 钱江, 崔科, 等. 全自动无人驾驶城轨综合自动化系统研究[J]. 铁道通信信号, 2016 (z2): 23-26.
- [5] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 武汉市轨道交通5号线工程招标设计文件[R]. 武汉, 2018.
- [6] 盛蓉蓉. 长沙磁浮车辆段检修作业安全联锁管理系统[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(11): 120-123.
SHENG Rongrong. On Overhaul operation safety interlock management system in Changsha maglev line depot[J]. Urban mass transit, 2017, 20(11): 120-123.
- [7] 梁九彪. 地铁无人驾驶工程的匹配设计[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(2): 4-7.
LIANG Jiubiao. On unmanned metro engineering requirements for matching design[J]. Urban mass transit, 2014, 17(2): 4-7.
- [8] 蒋涛, 李红. 一种地铁不停电倒闸用直流越区负荷开关[J]. 船电技术, 2016, 36(10): 71-74.
JIANG Tao, LI Hong. DC cross zone load switch for subway without power outage[J]. Marine electric & electronic technology, 2016, 36(10): 71-74.

(编辑: 王艳菊)

(上接第98页)

- LIU Ming, HUANG Maosong, LIU Yanhua. Long-term settlement of tunnels across a river induced by vehicle operation[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2009, 31(11): 1703-1709.
- [7] 张书丰, 高永, 孙泽信. 南京河西地区地铁盾构隧道不均匀沉降分析[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(2): 52-57.
ZHANG Shufeng, GAO Yong, SUN Zexin. Causes of the uneven settlement of shield metro tunnel in hexi district of Nanjing[J]. Urban rapid rail transit, 2017, 30(2): 52-57.
- [8] 唐智伟, 赵成刚. 注浆抬升地层的机制、解析解及数值模拟分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1512-1516.
TANG Zhiwei, ZHAO Chenggang. Mechanisms of ground heave by grouting and analytical solutions & numerical modeling[J]. Rock and soil mechanics, 2008, 29(6): 1512-1516.
- [9] 侯艳娟, 张顶立, 陈峰宾. 隧道施工下穿建筑物注浆抬升机制及预测研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2011, 30(2): 2407-2415.
- HOU Yanjuan, ZHANG Dingli, CHEN Fengbin. Study of mechanism and prediction of grouting uplift in tunnel construction undercrossing buildings[J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2011, 30(12): 2407-2415.
- [10] 夏汉庸, 刘畅, 陈鼎基. 盾构隧道注浆抬升浆液配制技术[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(9): 120-124.
XIA Hanyong, LIU Chang, CHEN Naiji. On the grout configuration for shield tunnel grouting uplift[J]. Urban mass transit, 2016, 19(9): 120-124.
- [11] 邓指军. 双液微扰动加固注浆试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(s1): 1344-1346.
DENG Zhijin. Experimental study of two-shot micro-disturbance reinforced grouting[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2011, 7(s1): 1344-1346.

(编辑: 郝京红)

北京市民未来有望刷脸乘坐地铁

7月24日,从北京市轨道交通指挥中心获悉,亿通行App年底前就可以实现扫码乘公交。除了市内公交,郊区公交也支持扫码乘车。

此外,地铁车站也将支持微信、支付宝购票、充值和补票,目前相关设备正在调试改造中。不过由于各站设备不相同,具体投入时间也不一样。地铁部门已开始测试面部识别技术,目前正在机场线内部小范围测试中。

摘编自 <https://3w.huanqiu.com/a/67c0c8/7OzkVdMyMnu?agt=8> 2019-07-24