doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2021.03.022

北京地铁 10 号线列车乘客信息系统规范化研究

刘 博，张 衡
（北京市地铁运营有限公司地铁运营技术研发中心，北京 102208）

摘 要： 研究北京地铁 10 号线列车乘客信息系统故障成因及设备标准化准入机制，对提升运营服务质量有重要作用，将其作为智慧地铁建设试点，具有研究价值。采用折线图，对 2016 年 10 号线列车乘客信息系统的故障率进行分析；采用可靠性分析法，对故障模式、影响及危害性进行分析。依据分析结果，指出系统中重点故障排查困难以及缺乏设备准入制度的问题，提出优化检修周期、标准化设备准入的解决举措，并根据改进前后的故障对比分析，进行应用效果研究。研究结果表明，对车载乘客信息系统进行规范化管理，可以有效减少故障发生，提高检修效率。

关键词： 北京地铁；乘客信息系统；故障；规范化
中图分类号： U279.3 **文献标志码：** A **文章编号：** 1672-6073(2021)03-0130-06

Standardization of Passenger Information System in Beijing Metro Line 10

LIU Bo[1], ZHANG Heng[2]
(Beijing Subway Operation Technology Centre, Beijing 102208)

Abstract: In the investigation of the causes of faults in the passenger information system of the Beijing Metro Line 10 train, the standardized access mechanism of equipment has been found to have an important role in improving the quality of operational services. This study serves as a pilot for smart subway construction; hence, it has research value. A line chart is utilized to analyze the failure rate of the passenger information system of Line 10 trains in 2016. The reliability analysis method was employed to analyze the failure mode, influence, and safety. The analysis results indicated the difficulty of troubleshooting major faults in the system and the lack of an equipment access system. Based on the analysis, solutions for optimizing the maintenance cycle and standardizing equipment access were proposed. A comparative analysis of the faults before and after improvements were introduced was implemented. The research results show that the standardized management of the passenger information system can effectively minimize the occurrence of faults and improve maintenance efficiency.

Keywords: Beijing Metro; passenger information system; fault; standardization

目前，适用于地铁的列车乘客信息系统(passenger information system，PIS)日趋多样化，更替速度加快，导致现行的一些设备落后于运营需求，另一些设备的性能参数、维修方式等各有不同，这给列车日常运营

收稿日期：2020-02-25 修回日期：2020-04-10
第一作者：刘博，男，硕士，工程师，从事轨道交通车辆工程应用研究，18210066320@163.com
基金项目：北京市地铁运营有限公司 2018 年科研项目(2018000503000001)
引用格式：刘博，张衡. 北京地铁 10 号线列车乘客信息系统规范化研究[J]. 都市快轨交通，2021，34(3)：130-135.
LIU Bo, ZHANG Heng. Standardization of passenger information system in Beijing metro line 10[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(3): 130-135.

维护、周期性故障诊断检修等造成了很大的困难。一般列车寿命周期为 30 年，PIS 大多采用了多年前的流行技术，在列车运行与维修中已经暴露出一系列问题[1]。以北京地铁 10 号线车辆为例，近年来列车乘客信息系统设备老化、备件停产、型号繁杂等问题日趋凸显，这给列车维修、配件管理等带来极为不利的影响[2]。

1 列车乘客信息系统架构

对于北京地铁而言，乘客信息系统(PIS)不能一概而论。根据所属的监管部门不同，把 PIS 划分为站台乘客信息系统和列车乘客信息系统。但是，这种从管辖范围上的分类也造成设备种类和性能上的差异[3]。笔者主要对影响运营安全最为重要且检修难度较大的列车乘客信息系统在规范性方面进行研究。

列车乘客信息系统主要由 3 部分组成：列车广播系统(包括乘客紧急对讲、司机对讲、车门动态地图显示(LED 或 LCD))、车端信息显示多媒体播放系统、视频监控系统[4]。

列车广播及多媒体系统(见图 1)由司机室和客室设备组成：司机室设备包括媒体服务器，客室设备包括解码分屏器、网关和客室 LCD 显示器。其中，客室两端 LED 显示器可根据具体需求来确定是否加装[5]。

网络采用环网冗余的连接方式，所有的控制信息及音视频信息均以数字形式通过以太网传输，系统中预留一对列车音频总线。

视频监控系统(见图 2)宜单独组网，司机室设置一台主机(即媒体服务器)，每个客室设置一台网关，设备间采用以太网传输，建议采用集成拾音器的数字摄像机。

特别指出的是，广播系统、多媒体系统、视频监控系统宜分别独立供电，设置独立电源开关。因电器柜尺寸原因，可将广播系统、多媒体系统、视频监控系统进行集成。客室车端显示器可根据要求确定是否设置。司机室宜采用 3 层网络交换机，客室宜采用 2 层网络交换机。

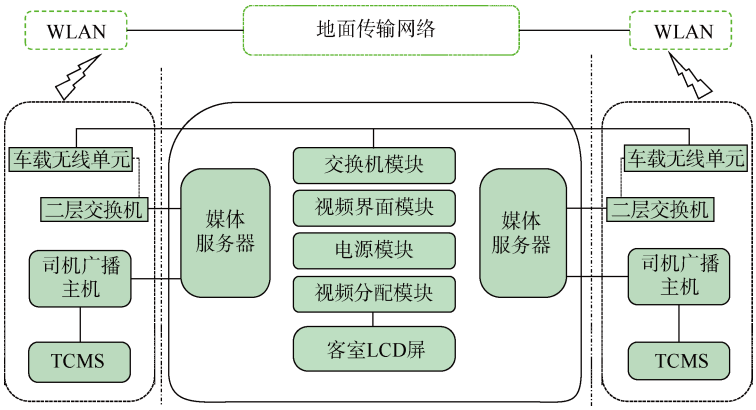

图 1 列车广播及多媒体播放系统结构

Figure 1 Structure of broadcasting and multimedia broadcasting system

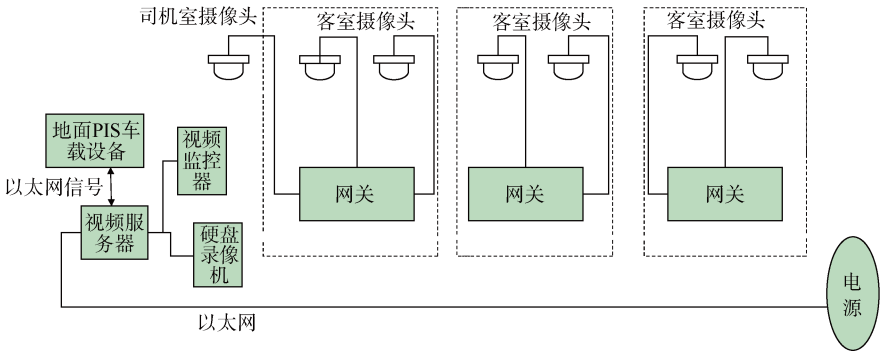

图 2 视频监控系统结构

Figure 2 Structure of video surveillance system

2 列车乘客信息系统可靠性

可靠性分析是建立在对故障统计研究的基础之上的，笔者采用故障模式风险分析法(FMECA)，对北京地铁 10 号线在 2016 年的列车乘客信息系统故障检修情况进行了研究。首先，对 10 号线运行列车的车载乘客信息系统进行故障情况调研，了解其设备种类、故障类型、故障频次以及故障趋势。在此基础上，对故障等级参照国家相关标准进行划分，然后进行故障模式分析，以便区分故障的轻重缓急，制定合理的应对措施[6]。最后，形成危害性风险评价矩阵，以便研究故障与检修规程之间的匹配程度，并为下一步进行设备及维修的标准化研究提供支撑。

2.1 故障统计分析

故障统计部分，选取了 2016 年北京地铁 10 号线一期列车的乘客信息系统作为研究对象，追踪调研了视频监控、列车广播、主控单元(MCU)、电子地图、客室电视等故障高发及关键设备的故障情况，对列车的乘客信息系统设备故障规律进行了统计与分析(见图 3)[7]。

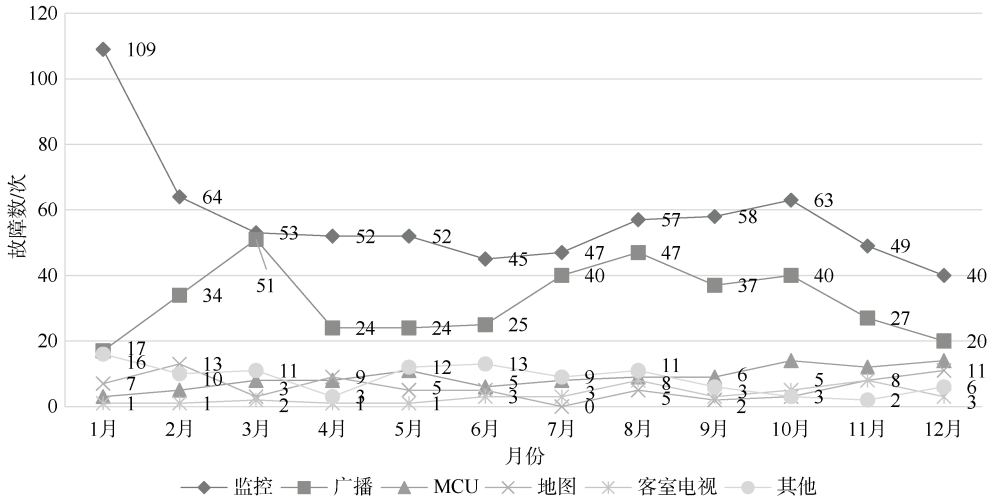

图 3　2016 年 10 号线列车乘客信息系统故障统计

Figure 3　Fault statistics of passenger information system of Line 10 trains in 2016

截至 2016 年 12 月，10 号线车辆列车广播系统共发生碎修故障 1 608 起，相比 2015 年的 1 381 起上升了 14.1%。2016 年 1—12 月中，监控系统故障 729 起，占总故障的 45.3%；自动广播故障 381 起，占总故障的 23.6%；动态地图故障 87 起，占总故障的 5.4%；MCU 故障 112 起，占总故障的 6.9%；客室 LCD 故障 289 起，占总故障的 17.9%；其他故障 10 起，占总故障的 0.6%。通过统计分析，2016 年监控和自动广播的故障占总故障的 68.9%。由于客室电视相关备品厂家停产等原因，使备品准备不足，客室电视故障无法及时修复，导致客室电视故障率大幅增加。由于对监控系统和动态地图的整改，使得 2016 年监控系统故障数与往年持平，录像丢失隐患基本消除，动态地图故障下降，乘客投诉有所减少。

2.2　故障模式分析

故障模式分析建立在故障统计分析的基础之上，选择故障高发的设备或部件进行研究。经过分析发现，主控单元(MUC)、音频控制模块、电源模块为关键性设备，涉及列车乘客信息系统能源供给与信号传输，应该予以特别关注。视频播放单元、乘客信息显示屏、动态电子地图、视频监控是整个系统中功能输出的关键设备，与乘客的乘车体验与应急安全有着密切联系，其中乘客信息显示屏在故障统计中占有很大比重，是故障高发设备，应予以关注[8]。在选取关键设备后，对故障模式、成因及特性进行了分析，具体如表 1 所示。

表 1　故障模式分析

Table 1　Failure mode analysis

部件	故障模式	故障成因	故障特性
主机控制单元(MCU)	无法检测列车开关信号	浪涌电压干扰；线缆连接接触不良	随机
音频控制模块	整列车广播声音失真	音频输入幅值波动过大，导致音频切换输出端输出波形有削峰现象	随机
电源模块	电源模块损坏	受到大电压、大电流的冲击；受到持续时间较长的浪涌干扰	随机
视频播放单元	通信接口失效	受到静电、尖峰脉冲群干扰	随机
乘客信息显示屏(LCD)	显示图像缺 R/G/B 三原色中的一种或多种	VGA 信号处理单元部分器件接触不良；VGA 线缆连接接触不良	随机
动态电子地图(MSD)	电子地图显示与广播不同步	受到静电、尖峰脉冲群干扰导致通信接口失效	随机
视频监视服务器(CSS)	无供电，不工作	散热不良导致电源模块损坏	随机
摄像头(CAM)	图像不清晰	摄像头清晰度不够；线路干扰	随机
视频车辆接口(CSC)	本单元所在车厢摄像头图像无法在监控终端显示	视频线缆连接断开；网络线缆断开；视频编码装置故障	随机

通过分析可以发现：从故障特性看，所有的故障均为随机故障，说明与系统设计与布局无关；从故障成因看，除视频监控、摄像头、视频设备接口外，其余故障均与电压电流变化引起的峰值、电涌或干扰有关，应定期检查设备绝缘情况。电源设备属于早期工艺，应该制定新的规范提升其性能，并对各设备加装电源开关，稳定电阻，在方便检修的同时，减少电路故障。

通过故障影响分析(见表 2)可以发现，除了视频播放单元产生故障时需要驾驶人员人工广播告知以外，其余故障均不影响运营，可待停运后进行维护检修。从保护措施来看，许多设备性能上已经表现出明显的落后与不足，如视频播放单元抗干扰能力差、摄像头清晰度不够等。这种问题只通过日常检修已经无法改善，应该制定或修订列车乘客信息系统规范，提高设备性能要求。

表 2　故障影响分析

Table 2　Failure impact analysis

部件	故障影响/后果			防护措施		
	子系统	系统	安全	保护/减轻措施	运行中及时措施	停车后的追究措施
主机控制单元(MCU)	不能正常工作	多媒体播放设备无法与广播同步显示出站、到站信息	不受影响	信号采集电路使用光耦等隔离器件；选用魏德米勒连接器	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
音频控制模块(MCU)	不能正常工作	自动广播、手动广播、应急广播及 OCC 广播失效	应急广播及 OCC 广播失效	列车音频总线使用双绞屏蔽线；音频输出端口使用变压器隔离	不影响运行	发现问题可等车辆回库后再维修更换
电源模块(MCU)	不能正常工作	广播声音效果不好	不受影响	为 12V 电压工作的功放电路选用 15V 输出电源；电源模块功率降额使用	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
视频播放单元(MCU)	不能正常工作	乘客信息显示与广播不能同步	不受影响	选用隔离式通信模块；在通信线路上增加抗干扰器件	人工广播对乘客进行提醒	等车辆回库后再维修更换
乘客信息显示屏(LCD)	不能正常工作	不受影响	不受影响	选用隔离式通信模块；在通信线路上增加抗干扰器件	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
动态电子地图(MSD)	不能正常工作	不受影响	不受影响	选用隔离式通信模块；在通信线路上增加抗干扰器件	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
视频监视服务器(CSS)	不能正常工作	无法与 TMS 进行数据交换	TMS 无法显示 PIS 系统设备故障信息	选用隔离式通信模块；在通信线路上增加抗干扰器件	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
摄像头 CAM	不能正常工作	不受影响	不受影响	选用高清晰度摄像头；视频传输线缆使用屏蔽同轴缆	不影响运行	等车辆回库后再维修更换
视频车辆接口单元 CSC	不能正常工作	不受影响	不受影响	视频信号线缆使用 BNC 压接式连接器；网络线缆使用哈丁 DB9 连接器	不影响运行	等车辆回库后再维修更换

2.3　风险评价矩阵

风险评价矩阵的建立，主要参照《轨道交通可靠性、可用性、可维修性及安全性规范示例》(GB/T21562)中关于轨道交通车辆维修的风险与安全性评价的要求[9]。建立列车乘客信息系统风险评价矩阵，并根据故障统计与日常检修经验，将数据录入并比对风险矩阵模型，形成的重要性分析结果如表 3 所示。

从整体结果看，列车乘客信息系统故障的危害性普遍不高(为 R4)，且相较于其他设备而言，故障发生率也不高(为 F)，但是对照日常检修规程可以看出，日常对上述设备的检修频率并不低，这说明检修与故障发生存在匹配度低的问题。因此，应该对列车乘客信息系统的设备检修频次进行调整，使其与故障发生率

表 3　乘客信息系统设备重要性分析

Table 3 Analysis of importance of passenger information system equipment

部件	重要性分析					
	现有			受影响种类		
	故障率/概率	后果	等级	安全	环境	运营
主机控制单元(MCU)	F	7	R4	N	N	N
音频控制模块(MCU)	F	7	R4	N	N	N
电源模块(MCU)	F	7	R4	N	N	N
视频播放单元(MCU)	F	7	R4	N	N	N
乘客信息显示屏(LCD)	F	7	R4	N	N	N
动态电子地图(MSD)	F	7	R4	N	N	N
视频监视服务器(CSS)	F	7	R4	N	N	N
摄像头(CAM)	F	7	R4	N	N	N
视频车辆接口(CSC)	F	7	R4	N	N	N

相匹配。同时，通过危害的重要性分析，使关键设备的故障情况更加明晰，有助于日常修程修制的修订。可将该方法规范化到设备日常统计中，追踪设备故障变化情况[10]。

3 列车乘客信息系统标准化

综合上述研究可以发现，目前列车乘客信息系统存在设备老化、备品备件缺失、型号规格不统一等问题，具体如下：

1) 车辆 PIS 设备老化，故障率升高。PIS 在运用中多采用故障修的方法进行维修，当列车进入较高级别修程(如架修)时才进行系统的整改、维修。列车架修时机随车型而不同，一般距列车上线运行 7～8 年或更长的时间。10 号线一期、二期和二期增购车辆分别于 2007、2012、2015 年开始投入运营使用，其中一期、二期车辆运营时间较长，设备性能下降明显，故障率较高。

2) 车辆 PIS 设备备件停产，故障无法修复。现有对策只能进行车辆设备升级改造，车辆维修成本大幅增加。如 10 号线一期、二期车辆电力网络桥接器(PLC)停产，导致车辆客室电视黑屏、花屏等故障无法修复，曾多次遭乘客投诉[11]。

3) 车辆 PIS 设备型号繁复，统型难度大。PIS 没有制造、验证方面的规范、标准，模块化程度低，造成产品型号繁复，配件不统一，相互不兼容，维修周期不统一。目前，10 号线车辆 PIS 使用了包括三所、华高、阿纳克斯、山海天地等厂家的产品，各厂家设备通信协议、设备接口、系统设计均不尽相同，给车辆 PIS 的维修带来很大困扰。

针对上述问题，可以通过标准化准入机制，降低列车乘客信息系统故障率，减轻检修难度，具体举措如下：

1) 在北京地铁 10 号线进行列车乘客信息系统标准化准入制度。首先，通过编制适用于 10 号线的设备技术规范与检测规范，在设备采购选型阶段控制各项参数指标；其次，建立检测平台，对准备采购或更新的设备进行统一的性能测试，通过检测平台，方可准入 10 号线列车进行应用。

2) 采用可靠性分析方法，对 10 号线列车乘客信息系统进行持续追踪分析，并根据分析结果修订检修规程，使之与故障发生规律相匹配，减少不必要的日常检修，设立重点专项检修制度。

3) 建立设备全生命周期的成本核算体系，明确设备损耗及采购的经费支出，减少不必要的开支，在保障运营安全的基础之上，保证经费支出的合理性。

4 应用效果与推广价值

根据标准化举措，对 10 号线万柳检修中心管辖范围内车载 PIS 进行跟踪改进研究，经过 2018 年对修程修制的优化以及设备准入制的实行，故障发生情况有所下降，具体如图 4 所示。

通过统计可以发现，2019 年共发生车载乘客信息系统故障 1 251 起，其中监控故障 541 起，占总故障率的 43.2%；广播故障 345 起，占总故障率的 27.6%；MCU 故障 99 起，占总故障率的 7.9%；动态地图故障 77 起，占总故障率的 6.2%；客室电视

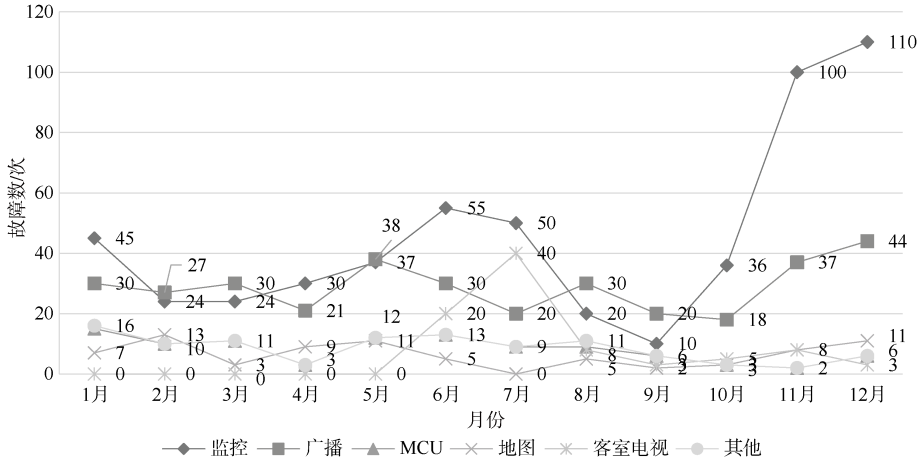

图 4 2019 年 10 号线列车乘客信息系统故障统计

Figure 4 Fault statistics of Line 10 train passenger information system of Line 10 in 2019

故障 87 起，占总故障率的 7%；其他各类故障 102 起，占总故障率的 8.2%。

监控和广播故障仍为检修中最多见的故障，但相比 2016 年，监控故障减少了 188 起，广播故障减少了 36 起，总故障减少了 357 起。通过回访调查发现，通过优化修程修制，增加了重点设备的故障排查频率，同时降低了少发故障设备的排查频率，有效起到了故障预防作用，并降低了工作人员的总工作时间。从经济性分析，故障的减少带来检修支出的减少，初步统计约 25 万元。通过设备准入制度的建立，采购了一批符合 10 号线当前检修标准的车载 PIS 设备，预计未来会进一步减少重点设备故障的发生，同时降低故障检修的难度。近一年的跟踪调研显示，10 号线车载 PIS 标准化策略具备进一步推广的价值。

5 结语

综上所述，研究结果为北京地铁现有车型车载 PIS 技术升级改造后的统型、后续车型车载 PIS 的采购提供了技术支持。目前，北京地铁 10 号线列车乘客信息系统的技术规范、检测规范的征求意见稿及配套的检修规程已经编制完毕，已于 2019 年在车辆大修中 10 号线万柳检修中心进行应用，并取得初步成效。

参考文献

[1] 陈依新. 可靠性、可用性、可维修性和安全性(RAMS)指标管理在上海轨道交通车辆维护保障中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(9): 156-159.
CHEN Yixin Application of RAMS index management in operation and maintenance of Shanghai Metro vehicles[J]. Urban mass transit, 2019, 22(9): 156-159.

[2] 董锡明. 轨道列车可靠性、可用性、维修性和安全性[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
DONG Ximin. Rail train reliability, availability, maintainability and safety[M]. Beijing: China Railway Press, 2009.

[3] 童喆敏. 地铁车辆乘客信息系统的应用分析[J]. 信息通信, 2017(1): 159-160.
TONG Zhemin. Application analysis of subway passenger information system[J]. Information and communication, 2017(1): 159-160.

[4] 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

[5] 莫志刚, 骆汉宾. 基于RAMS的地铁信号系统维修策略研究[J]. 铁路计算机应用, 2018, 27(6): 53-58.
MO Zhigang, LUO Hanbin. Maintenance strategy of metro signaling system based on RAMS[J]. Railway computer application, 2018, 27(6): 53-58.

[6] 田海超, 于孝安, 王通, 等. 地铁 PIS 车地无线技术方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2015, 24(1): 46-49.
TIAN Haichao, YU Xiaoan, WANG Tong, et al. Scheme of train-ground wireless communication for metro PIS[J]. Railway computer application, 2015, 24(1): 46-49.

[7] 康进赟. 车载 PIS 服务器的设计与实现[J]. 铁道通信信号, 2015, 51(10): 81-85.
KANG Jinyun. Design and implementation of vehicle-mounted PIS server[J]. Railway signalling communication, 2015, 51(10): 81-85.

[8] 王玉博, 潘路. 城市轨道交通隐患排查治理信息系统设计与实现[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(6): 45-54.
WANG Yubo, FAN Lu. Design and implementation of information management system for investigation and treatment of hidden troubles in urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2018, 31(6): 45-54.

[9] 轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例: GB/T 21562—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Specifications and examples of rail transit reliability, availability, maintainability, and safety: GB/T 21562—2008[S]. Beijing: China Planning Press, 2008.

[10] 刘博. 北京地铁10号线门控器专用检修平台的设计[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(1): 162-164.
LIU Bo. Design and research on special overhaul platform for the door controller of Beijing metro line 10[J]. Urban mass transit, 2020, 23(1): 162-164.

[11] 华路捷, 谢谦, 刘宠, 等. 城市轨道交通车辆实时监测与分析系统研究[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(1): 134-138.
HUA Lujie, XIE Qian, LIU Chong, et al. Research on real-time monitoring and analysis system of urban rail transit vehicles[J]. Urban rapid rail transit, 2020, 33(1): 134-138.

（编辑：王艳菊）