

文章编号: 1674—8247(2024)06—0034—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.006

高速磁浮灾害防护系统研究

孟占国 李云峰 滕辉 杨昌锋 郑景文

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司高速磁浮运载技术全国重点实验室, 青岛 266000)

摘要:高速磁浮列车运行速度快,对运行环境及沿线灾害更加敏感。本文针对高速磁浮运营的严苛环境要求,在现有轨道交通灾害防护系统基础上,综合运用大数据、物联网、图像识别等技术,搭建适合高速磁浮运营场景的灾害监测与防护系统,初步实现对自然灾害与磁浮系统内外界的监测和预警。

关键词:高速磁浮;灾害监测;运维

中图分类号:U458 **文献标志码:**A

Research on High-speed Maglev Disaster Prevention System

MENG Zhanguo LI Yunfeng TENG Hui YANG Changfeng ZHENG Jingwen

(State Key Laboratory of High-speed Maglev Transportation Technology,

CRRCC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

34

Abstract: High-speed maglev trains operate at rapid speeds and are more sensitive to operational environments and disasters along the route. In response to the stringent environmental requirements for high-speed maglev operations, this paper established a disaster monitoring and protection system tailored for high-speed maglev operational scenarios, based on existing rail transit disaster prevention systems. By comprehensively utilizing technologies such as big data, the Internet of Things (IoT), and image recognition, the system preliminary achieves monitoring and early warning for natural disasters as well as internal and external threats to the maglev system.

Key words: high-speed maglev; disaster monitoring; operation and maintenance

1 发展现状

1.1 国外发展现状

目前,国外暂无高速磁浮交通的灾害防护系统及其相关研究。在传统轨道交通领域,国外发达国家已有相关成果,以日本、法国为例:日本新干线采用自动控制、自动监测、自动报警及卫星通信等先进技术,通过沿线设置气象站、地震仪等构成综合灾害监测系统,并与运营管理系统联通。当沿线发生自然灾害时,该系统将阻止列车运行,起到安全保障作用。法国主要

对地中海高速铁路与海底隧道沿线设置灾害监测系统。其中,地中海高速铁路设置气象站、异物侵限等设备,主要对气象、落物等进行监视;海底隧道主要考虑火灾、地震等灾害,在隧道布置火灾报警设备,并与列车通信,当发生异常及时阻止列车运行^[1]。

1.2 国内发展现状

国内尚无针对高速磁浮交通实际应用的灾害防护系统及其相关研究,但在轨道交通领域,已有京津城际铁路、福厦高速铁路、武广高速铁路等多条线路实际应用。以京津城际铁路为例:京津城际铁路灾害防护系

收稿日期:2023-06-12

作者简介:孟占国(1989-),男,工程师。

基金项目:山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2020CXGC010202)

引文格式:孟占国,李云峰,滕辉,等.高速磁浮灾害防护系统研究[J].高速铁路技术,2024,15(6):34-39.

MENG Zhanguo, LI Yunfeng, TENG Hui, et al. Research on High-speed Maglev Disaster Prevention System[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):34-39.

统主要由气象监测系统和异物侵限系统构成。气象监测系统主要用于风速监测,当风速超过警戒值时会向指挥调度中心发送报警信息,必要时列车会限速运行;异物侵限系统用于监测落石等异物,当发生落石现象后,系统向指挥调度中心发送报警信息。

1.3 发展趋势

高速铁路发展伊始,世界各国就把旅客安全作为首要目标。因此,日本、法国等发达国家率先结合自身国情及沿线环境,设置不同的灾害监测系统,以保障列车安全运营提供保障。

随着常导磁浮、超导磁浮和真空管道等技术的不断发展和逐步应用,列车运行速度进一步提升,对运行环境提出更高要求,磁浮领域的环境与灾害监控预警技术将成为未来研究方向。

2 高速磁浮灾害防护系统

2.1 系统组成

高速磁浮灾害防护系统主要对高速磁浮运用环境、基础设施以及客运环境进行监测,并对灾害进行预警,具体监测项目如表1所示。

灾害防护系统主要由中心系统、网络、监测系统构成。中心系统主要由服务器、KVM、地震监控主机、

NVR、交换机等设备组成,主要处理现场监测设备采集的数据,并在监控大屏展示。灾害系统总体框架如图1所示。

表1 监测项目表

类别	监测对象	设置场地
列车运行 环境监测	风、雨、气温	线路附近通过立杆进行设置
	雪及轨面结冰	线路附近通过立杆进行设置
	地质灾害	存在泥石流等隐患区域
	地震	地震频繁发生区域
	异物侵限	线路附近设置
	周界入侵	线路附近立杆及周边围栏处设置
基础设施 监测	沉降监测	线路附近
	道岔及轨道梁监测	线路道岔、库外轨道梁断面处
客运环境 监测	火灾	隧道、车站、站台等客运场所
	客流	车站、站台等客运场所

网络系统分为现场采集设备传输网和骨干网,现场传感器等数据采集设备通过 RS485 协议汇聚于现场数据采集器,并通过交换机接入骨干网实现数据回传。

监测系统主要分为气象监测、周界入侵监测、异物入侵监测、轨道监测、地质灾害监测、沉降监测、地震监测、火灾监测等^[2-3]。

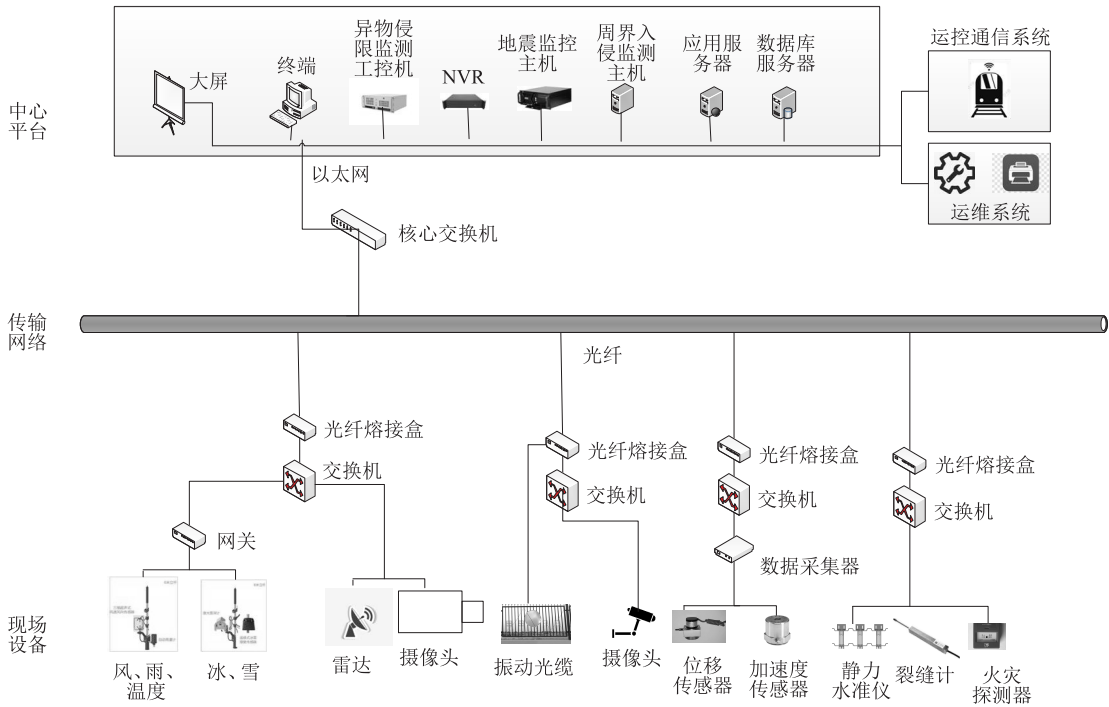


图1 总体架构图

2.2 系统设计

2.2.1 中心系统

(1)系统功能高速磁浮灾害防护系统软件采用成熟的3层B/S架构,支持TCP、MODBUS等多种标准、

通用的软件接口方式,实现内外部系统接口。平台支持多种数据存储模式,平台运行在以应用服务器、数据库服务器、交换机等基础环境上。

平台服务对象为行车调度人员、公务维护人员、客

运人员等,支持气象、地震、地质灾害等运行环境和基础设施实时数据显示及异常报警功能。

(2) 实施方案

中心系统由服务器、NVR、交换机、防火墙、监测终端、显示大屏等设备组成。服务器采用 Windows server 或 Linux 操作系统,应用服务器部署数据接受程序、数据处理程序、Web 应用等;数据库服务器用来存储数据;NVR 用来解析并存储转发视频监控数据;监测终端用来控制灾害监测系统并与显示大屏联通,在大屏展示灾害监测系统页面,提示报警信息等。

2.2.2 气象监测系统

(1) 系统功能

气象监测系统用于采集风速、降雨量、积雪厚度、气温等数据,并将采集到的数据实时传回中心系统处理后展示。

(2) 实施方案

在沿线设置气象杆并安装风速风向传感器、自动雨量计、冰雪厚度传感器、雪深计等传感器,同时配置数据采集器。采集的数据通过光纤回传中心系统平台,并在显示大屏展示。

2.2.3 周界入侵系统

(1) 系统功能

周界入侵系统主要对轨道周界进行实时监测,防止外来人员进入轨道发生安全事故。结合高速磁浮应用特点以及现有成熟技术,可使用基于分布式光纤振动传感器和智能视频分析相结合的方法。

(2) 实施方案

根据路基段实际工程条件铺设振动光纤,并分析潜在入侵预警事件,在现场采集一定数量的事件样本进行模型训练,进而实现对入侵预警事件的有效识别。随着样本数量的增加,系统不断进行优化迭代,提高识别的准确率。同时,在中心系统设置监测主机,用于处理报警信息、图像识别等。

2.2.4 异物侵限系统

(1) 系统功能

异物侵限系统主要对高速磁浮沿线重点区域进行监测。采用激光雷达扫描、视频联动、智能图像识别等技术手段,能够在各种天气下对可能威胁到行车安全的异物(包含但不限于落石、外来人员)进行快速准确判别,并对目标进行定位^[4]。

(2) 实施方案

采用激光雷达和视频摄像机联动控制,对异物进行实施监测、目标定位与追踪,并推送报警信息。同时,在中心系统布置工作站内置深度学习算法,实现对侵限的异物准确识别。

2.2.5 道岔及轨道梁监测系统

(1) 系统功能

道岔及轨道梁监测系统主要对高速磁浮道岔、轨道梁等部位进行振动监测、特性分析并对异常现象进行报警。

(2) 实施方案

测试采集方案:通过在高速磁浮道岔、轨道梁、桥墩等部位布置加速度传感器、位移传感器测量梁体加速度和位移数据,采用数据采集器采集数据并通过光缆回传中心系统。

分析技术方案:通过对采集数据开展统计分析、时频分析,输出道岔轨道梁结构振动、变形及静动态形位指标和曲线。

展示界面方案:对车辆通过轨道时梁变形或状态进行展示,基于分析统计数据实现各检测断面振动响应指标显示,历史数据查询等功能。

2.2.6 地质灾害监测系统

(1) 系统功能

地质灾害监测系统对高速磁浮重点隐患区段的泥石流、落石等自然灾害进行监测,监测数据回传中心系统,当发生上述自然灾害后发出报警信息提示工作人员。

(2) 实施方案

采用裂缝计、振动监测仪等多种传感器融合监测手段,实现对坡体裂缝宽度、泥石流、落石冲击加速度的监测。

2.2.7 地震监测系统

(1) 系统功能

地震监测系统用于实施监测速度 200 km/h 以上高速磁浮沿线地震情况,当有破坏性地震发生时,系统可以提前向高速行驶的列车发出预警信息,提示工作人员。

(2) 实施方案

现场布置地震计,向数据采集器发送地震波,数据采集器将数据进行模数转换,并将数据发送至中心系统的监控主机。地震监控主机对数据进行分析处理并生成地震级别报警信息。同时,监控主机与列车运控系统通信,实现列车的紧急处置。

2.2.8 沉降监测系统

(1) 系统功能

沉降监测系统主要对基础设施(路基、桥梁、隧道)沉降变形进行监测,可实现毫米级变形自动测量,并在后台发布预警、报警信息。

(2) 实施方案

采用高精度微压式静力水准仪,可实现毫米级变

形测量。将水准仪布置于稳定水平基点,基准水箱利用液管与其他3台静力水准仪串联。当某台静力水准仪相对于基准水箱发生升降时,将引起该传感器内部所受压力变化,根据解算芯片精确计算出该测点变化量,数据实时回传中心系统。

2.2.9 火灾监测系统

(1) 系统功能

火灾监测系统用于实现对设置在铁路长大隧道、站台内的通风、消防、照明等防灾救援设备的统一监控和集中管理,并确保一旦列车在隧道内发生火灾等紧急情况时,能够及时按照既定设备联动控制策略辅助现场救援工作。

(2) 实施方案

系统由中心级和现场级组成。现场级系统包含监控摄像头、烟火报警器、消防器械等设备。系统之间通过以太网进行信息交互,完成监测数据的上传及控制命令的下发。

系统可实现对隧道、车站、站台等现场防灾救援设备的集成接入和远程监控,监控设备包括隧道现场的防灾通风系统、照明系统(含疏散照明设备)等防灾救援设施。系统可配合铁路应急通信系统,协助灾害发生后的应急调度指挥,形成完善的防灾救援疏散体系。

2.2.10 客流监测系统

(1) 系统功能

客流监测系统用于对车站、站台、车内等客流密集区进行监测,并将异常情况推送给客运及安保人员,确保现场秩序稳定^[5-6]。

(2) 实施方案

系统现场设备包含摄像头等监控设备,同时在中心系统设置监控主机,用于处理报警信息、图像识别等。

3 接口设计

3.1 中心系统与子系统

3.1.1 中心系统与气象监测系统

基本原则:双方采用TCP协议,中心平台作为服务端、气象监测子系统作为客户端;数值数据类型为float;时间数据,采用年月一日一时一分一秒一毫秒多字节方式存储;数据传输风速、风向、温度、雨量、结冰厚度、降雪1次/s。

功能要求:气象监测子系统需要向中心平台发送实时风速、风向、实时雨量、结冰厚度、积雪厚度、实时温度信息,以及时间、数据来源设备编号信息。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、时间、传感器类型、数据包、CRC校验码、帧尾等。数据包为现场气象

传感器采集数据,具体数据协议根据现场采集传感器制定。

3.1.2 中心系统与周界入侵系统

基本原则:双方采用TCP协议,中心平台作为服务端、气象监测子系统作为客户端;光纤测量数据采用1次/s的传输频率。

功能要求:周界入侵系统向中心系统发送入侵报警信息,包含入侵位置、入侵时间、入侵图片。

数据协议:数据包包含帧头、帧长、时间、数据包、crc校验码、帧尾等。数据包为现场光纤传感器采集数据,包含报警位置、报警描述、报警图片数据流字节长度、监入侵时的图片等。

3.1.3 中心系统与异物侵限系统

基本原则:异物侵限报警信息双方采用TCP协议,中心系统作为服务端,异物侵限系统作为客户端。

功能要求:异物侵限系统需要向中心平台发送异物侵限报警信息,包含报警时间、报警图片、报警描述(类型、尺寸、距离)、报警设备等。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、报警设备编号、时间、数据包、crc校验码、帧尾等。数据包为现场激光扫描雷达、智能图像识别监控采集,包含异物数量、异物尺寸、异物类型、异物距离、图片数据等。

3.1.4 中心系统与道岔及轨道梁监测系统

基本原则:双方采用TCP协议,中心平台作为服务端,道岔及轨道梁监测子系统作为客户端;道岔及轨道梁以1次/s的频率发送实时监测数据。

功能要求:道岔及轨道梁监测子系统需要向中心系统发送实时监测点的振动加速度、实时监测点振动位移信息、处理后的监测点振动加速度及振动位移的最大值、加速度均方根值等数值、振动加速度频谱信息、异常振动报警信息。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、包数据、本包数据量、通道数、通道名长度、通道名称、时间戳等,数据由现场位移传感器采集,具体协议根据传感器制定。

3.1.5 中心系统与地质灾害监测系统

基本原则:双方采用TCP协议,中心平台作为服务端,地质灾害系统作为客户端;裂缝数据采用频率为1Hz,5~10s传输该段时间的所有数据包;落石冲击每s传输处理过的最大值和平均值。

功能要求:地质灾害监测系统需要向中心平台发送坡体裂缝实时数据、坡体裂缝报警信息(包含报警时间、报警内容、报警设备)、坡体泥石流落石冲击实时数据、泥石流落石冲击报警信息(包含报警时间、报警内容、报警设备)。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、串口通道、发送

设备、时间、命令编号、设备数量等。数据由现场裂缝计、振动监测仪、静力水准仪采集,具体协议根据现场采集设备制定。

3.1.6 中心系统与地震监测系统

基本原则:双方采用 TCP 协议,中心平台作为服务端、地震监测系统作为客户端。

功能要求:地震监测子系统需要向中心系统发送 P 波、S 波等波形数据;P 波预警、S 波报警、报警结束信息;中心系统向地震监测子系统发送远程模拟演示指令^[7]。

数据协议:数据应包含包类型(P 波预警、阈值报警、误报解除、报警结束、实时波形)、帧长、数据包、CRC 校验码、帧尾。数据包分为报警包(事件 ID、报警时间、报警类型、报警等级、报警次数、加速度峰值、速度峰值、位移峰值、S 波到达剩余时间、震源纬度、震源经度、震级、方位角等),实时数据包(数据时间、帧长、数据包、帧尾等)。

3.1.7 中心系统与沉降监测系统

基本原则:双方采用 TCP 协议,中心平台作为服务端、沉降监测系统作为客户端;沉降采样频率为 1 Hz,5 ~ 10 s 传输该时间段的所有数据包。

功能要求:沉降监测系统需要向中心系统发送沉降度实时数据及沉降报警信息,包含报警时间、报警内容、报警设备。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、串口通道、发送设备、时间、命令编号、设备数量等。数据由现场裂缝计、振动监测仪、静力水准仪采集,具体协议根据现场采集设备制定。

3.1.8 中心系统与火灾监测系统

基本原则:双方采用 TCP 协议,中心平台作为服务端、火灾监测系统作为客户端。

功能要求:火灾监测系统向中心系统实时发送各监控区域的火灾报警器状态信息,以及火灾报警信息,包含报警时间、报警内容、报警设备^[8]。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、时间、设备类型、数据包、CRC 校验码、帧尾等,具体协议根据现场火灾监测设备制定。

3.1.9 中心系统与客流监测系统

基本原则:双方采用 TCP 协议,中心平台作为服务端、客流监测系统作为客户端。

功能要求:客流监测系统向中心系统发送实时监测视频、报警信息、报警捕捉画面^[9]。

数据协议:数据应包含帧头、帧长、时间、设备编号、数据包、CRC 校验码、帧尾等。

3.2 灾害防护系统与运控通信系统

3.2.1 接口概述

通过灾害防护系统与运控系统之间的接口,灾害防护系统将监测到的预警、报警信息传输给运控系统,运控系统向列车位置信息传输给灾害防护系统^[10]。

3.2.2 接口逻辑

(1) 传输速率及传输周期

传输速率 ≥ 10 Mbps。传输周期:灾害防护系统向运控系统传输报警数据采用触发式,有预警立即传输,触发后数据发送周期 0.5 s,直至报警撤销;心跳信息传输为周期性的,周期 2 s;运控系统向灾害防护系统传输的列车位置信息为周期性的,周期为 0.5 s。

(2) 主从关系

灾害防护系统为 Sever 端,运控系统为 Client 端。

灾害防护系统传输信息为报警编号、类型、时间、等级、地点、内容等;其中类型分为气象、轨道、异物侵限、周界入侵、地质灾害、沉降、火灾等;运控系统向灾害防护系统发送列车信编号、列车位置公里标等。

灾害预警及报警对运控通信系统行车影响需结合实际情况与运控专业人员进一步设计研讨。

3.3 灾害防护系统与运维系统

通过灾害防护系统与运维系统之间的接口,灾害防护系统将监测到的预警、报警信息以及系统设备故障信息传输给运维系统,运维系统根据报警信息或故障信息生成问题处理工单,指派给相关人员处理。

接口逻辑:灾害防护系统为 Sever 端,运维系统为 Client 端。灾害防护系统传输报警编号、类型、时间、等级、地点、内容等信息,其中包括气象、轨道、异物侵限、周界入侵、地质灾害、沉降、火灾等;传输故障信息为现场传感器、服务器等设备故障信息。运维系统根据报警信息自动生成工单,推送给工作人员。

4 结束语

本文介绍了国内外现有的轨道交通灾害监测与防护系统发展现状,分析了后续发展趋势。从高速磁浮运营和安全防护角度出发,综合车辆运控系统、运维系统等其他系统,初步提出灾害监测与防护系统功能设计、接口设计和实现方案。

参考文献:

- [1] 沈通,马志文,杜晓洁,等.世界高速磁悬浮铁路发展现状与趋势分析[J].中国铁路,2020(11):94-99.
SHEN Tong, MA Zhiwen, DU Xiaojie, et al. Development Status and Trend Analysis of High Speed Maglev Railways Worldwide[J]. China Railway, 2020(11): 94-99.
- [2] 刘孜学,杨捷,虞凯,等.城市轨道交通行车环境安全监测系统技术方案研究[J].通信与信息技术,2017(2):69-72,62.

- LIU Zixue, YANG Jie, YU Kai, et al. Study on Technical Scheme of Urban Rail Transit Driving Environment Safety Monitoring System [J]. Communication & Information Technology, 2017(2): 69–72, 62.
- [3] 李睿, 罗帆. 铁路交通灾害预警系统初探[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(6): 39–43.
- LI Rui, LUO Fan. Railway Transport Disaster Warning System[J]. China Railway Science, 2002, 23(6): 39–43.
- [4] 张智媛. 关于铁路交通灾害预警系统的探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016, 6(8): 6480–6481.
- ZHANG Zhiyuan. Research on Railway Traffic Disaster Early Warning System [J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2016, 6(8): 6480–6481.
- [5] 向航鹰. 高速动车段规模的计算方法研究[J]. 中国铁路, 2005, (6): 45–46.
- XIANG Hangying. Study on Calculation Method of High-speed EMU Section Size[J]. Chinese Railways, 2005(6): 45–46.
- [6] 张炳民. 高速磁悬浮铁路车站布置图型研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(S2): 36–40.
- ZHANG Bingmin. Study on Layout Pattern of High-speed Maglev Railway Station [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(S2): 36–40.
- [7] CJJ/T 310–2021 高速磁浮交通设计标准[S].
- CJJ/T 310–2021 Standard for Design of High-speed Maglev Transit [S].
- [8] 姬昌荣, 张建超, 万鹏. 铁路隧道及隧道群火灾防治研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 20–25, 31.
- Ji Changrong, ZHANG Jianchao, WAN Peng. Research on Fire Prevention and Control of Railway Tunnels and Tunnel Groups [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 20–25, 31.
- [9] 李恒鑫. 高速磁浮车站客运列车作业方案优化研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(4): 89–94.
- LI Hengxin. A Study on Optimization of Passenger Train Operation Scheme in High-speed Maglev Station [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4): 89–94.
- [10] 王梓丞, 易立富, 谭冠华, 等. 时速600 km高速磁浮运行控制系统关键技术研究[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(11): 1–3, 11.
- WANG Zicheng, YI Lifu, TAN Guanhua, et al. Research on Key Technologies of Train Operation Control System for 600 km/h High-speed Maglev [J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(11): 1–3, 11.

(上接第26页)

- [12] 李拼, 谢宏明, 何川, 等. 基于有效接触应力的大张开量盾构隧道密封垫防水性能分析[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(12): 1993–1999.
- LI Pin, XIE Hongming, HE Chuan, et al. Waterproof Performance Analysis of Water Sealing Gasket of Large Open Shield Tunnel Based on Effective Contact Stress [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(12): 1993–1999.
- [13] 张子新, 谷冠思, 黄昕, 等. 盾构隧道管片接头嵌入式密封垫防水性能探究[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(9): 1402–1411.
- ZHANG Zixin, GU Guansi, HUANG Xin, et al. Experimental Study on Waterproof Performance of Embedded Sealing Gasket of Segment Joint for a Shield Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(9): 1402–1411.
- [14] 陈云尧, 张军伟, 马士伟, 等. 盾构隧道管片接缝密封垫设计参数研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(4): 59–66.
- CHEN Yunyao, ZHANG Junwei, MA Shiwei, et al. Study on Design Parameters of Sealing Gasket for Segment Joints of Shield Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2020, 57(4): 59–66.
- [15] 张稳军, 丁超, 张高乐, 等. 盾构隧道管片接缝复合密封垫选型设计研究[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(2): 246–255.
- ZHANG Wenjun, DING Chao, ZHANG Gaole, et al. Type Selection and Design of Composite Sealing Gasket for Segment Joints of Shield Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2020, 40(2): 246–255.
- [16] 张良, 李忠华, 马新强. 橡胶 Mooney-Rivlin 超弹性本构模型的参数特性研究[J]. 噪声与振动控制, 2018, 38(S2): 427–430.
- ZHANG Liang, LI Zhonghua, MA Xinqiang. Study on Parameter Characteristics of Mooney-Rivlin Hyperelastic Constitutive Model of Rubber [J]. Noise and Vibration Control, 2018, 38(S2): 427–430.
- [17] 张琦, 时剑文, 索双富, 等. 基于 Mooney-Rivlin 模型和 Yeoh 模型的橡胶材料有限元分析[J]. 合成橡胶工业, 2020, 43(6): 468–471.
- ZHANG Qi, SHI Jianwen, SUO Shuangfu, et al. Finite Element Analysis of Rubber Materials Based on Mooney-Rivlin Models and Yeoh Models [J]. China Synthetic Rubber Industry, 2020, 43(6): 468–471.