

文章编号: 1674—8247(2024)05—0078—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.05.013

## 高速铁路桥梁导风屏障挡风效果分析与验证

吕 娜<sup>1</sup> 郑晓龙<sup>2</sup> 金怡新<sup>1</sup> 张 鹤<sup>1</sup> 谢海清<sup>2</sup>

(1. 成都亚佳工程新技术开发有限公司, 成都 610000; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**以某时速 350 km 高速铁路桥梁为例,在数值模拟和风洞试验的基础上,通过在桥跨 1/4 位置、跨中位置布置风速传感器,开展导风屏障—桥梁系统下的风速、风向现场测试,验证导风屏障的挡风效果。结果表明:(1)监测期内,1/4 跨位置最大瞬时来流风速为 10.5 m/s,跨中位置最大瞬时来流风速 14 m/s;(2)安装导风屏障后,迎风侧轨道中心线 2.5 m 高度处风速折减率为 40%~60%,3.5 m 高度风速折减率为 30%~40%,且 1/4 跨和跨中在同一高度处风速折减率一致;(3)同一高度处,实桥测试的风速折减率小于风洞试验的风速折减率,主要原因为:现场风速、风向紊流度高,采集数据跳跃大,风洞试验中风速、风向固定;现场测试没有列车,风洞试验有列车;(4)导风屏障的安装对降低轨道处风速,提高桥梁的安全行车效果明显。

**关键词:**铁路桥梁;风屏障;挡风性能;实桥测试;减风率

中图分类号:U24

文献标志码:A

## Analysis and Validation of Wind Shielding Effectiveness of Wind Deflectors on High-speed Railway Bridges

LV Na<sup>1</sup> ZHENG Xiaolong<sup>2</sup> JIN Yixin<sup>1</sup> ZHANG He<sup>1</sup> XIE Haiqing<sup>2</sup>

(1. Chengdu Yajia Engineering New Technology Development Co., Ltd., Chengdu 610000, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With a 350 km/h high-speed railway bridge as the case for study, this study conducted wind speed and direction field tests on the bridge system incorporating wind deflectors at the quarter-span and midspan positions, based on numerical simulations and wind tunnel experiments. By deploying wind speed sensors at these locations, the effectiveness of the wind deflectors was empirically verified. Findings indicate that: (1) During the monitoring period, the maximum instantaneous upstream wind speed at the quarter-span position was 10.5 m/s, while at the midspan, it reached 14 m/s. (2) Following the installation of the wind deflector, wind speeds were reduced by 40% to 60% at a height of 2.5 m above the centerline of the windward track and by 30% to 40% at a height of 3.5 m. Notably, the wind speed reduction rates at corresponding heights were consistent between the quarter-span and midspan locations. (3) The wind speed reduction rates observed in actual bridge testing were lower than those obtained from wind tunnel experiments at the same height, primarily due to higher turbulence and larger fluctuations in wind speed and direction in the field, compared to the fixed wind conditions in the wind tunnel. Additionally, no train was present during field testing, whereas a train was included in the wind tunnel experiments. (4) The installation of wind deflectors effectively reduces wind speeds near the tracks, significantly enhancing the safe operational conditions of the bridge.

**Key words:** railway bridge; wind barrier; wind shielding performance; field testing; wind speed reduction rate

收稿日期:2023-04-13

作者简介:吕娜(1982-),女,工程师。

引文格式:吕娜,郑晓龙,金怡新,等.高速铁路桥梁导风屏障挡风效果分析与验证[J].高速铁路技术,2024,15(5):78-82.

LV Na, ZHENG Xiaolong, JIN Yixin, et al. Analysis and Validation of Wind Shielding Effectiveness of Wind Deflectors on High-speed Railway Bridges[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(5):78-82.

1 风屏障实桥测试研究的意义

目前,国内外对高速铁路桥梁挡风墙、风屏障防风系统进行评估的方法主要有:理论分析、数值模拟<sup>[1-2]</sup>、风洞试验<sup>[3]</sup>,这些方法为挡风墙、风屏障的初步设计、实际应用提供了指导借鉴。然而,以上方法主要存在两个局限:(1)数值模拟和风洞试验中为均匀流场,无法准确模拟桥址复杂的风环境;(2)模型简化、参数设置等对计算结果均有一定影响;上述局限导致防风效果评估结果远不能达到科学合理的设计要求<sup>[4]</sup>。

对挡风墙和风屏障进行现场观测和分析评估具有真实、直接、可靠的特点,但投资大,周期长,实施过程中有一定的局限性。目前仅兰新高高速铁路<sup>[5-7]</sup>第二双线 DK1518、DK1527 设置了挡风墙试验段,收集了完整的挡风墙观测数据,得到了挡风墙防风效果,为该线路挡风墙的设计提供了重要决策依据。

基于“挡风”+“导风”的新型风屏障大多应用于山区峡谷桥梁中。本文在某高速铁路桥梁导风屏障安装完成后,开展了实桥测试,验证导风屏障的挡风效果,实现了导风屏障多手段评估的闭合。研究成果可为数值模拟及风洞试验提供参考。

2 工程概况

某高速铁路大桥为双线中承式钢管混凝土劲性骨架拱桥,主跨 282 m,矢高 70.5 m,桥梁总长 370.2 m,设计速度 350 km/h,行驶车型为 CRH380 型动车组列车。桥址处地形陡峭,峡谷风效应突出,建设阶段风监测资料显示,该桥桥面位置处最大风速可达到30 m/s。

该桥采用图 1 所示的导风屏障,采用数值模拟、风洞试验,研究大风环境下导风屏障对列车三分力系数、对桥梁内外风速变化的影响<sup>[8]</sup>。试验工况为:桥梁上不安装导风屏障,桥梁两侧分别安装 2.5 m、3 m 高导风屏障,导风叶片安装间距 0.5 m,导风屏障整体透风率约 30%。风洞试验车桥节段模型中车辆、桥梁、导风屏障比例为 1: 15。

3 试验内容

3.1 实桥测试方案

通过在桥面布置风速仪监测导风屏障后流场,评估导风屏障防风效果,并与前期研究成果进行比对。

实桥测试方案为:

(1)桥跨方向:主跨跨中以及 1/4 跨位置处安装风速监测设备,1/4 跨位置靠近山体,该监测点能够反映周围环境的影响。

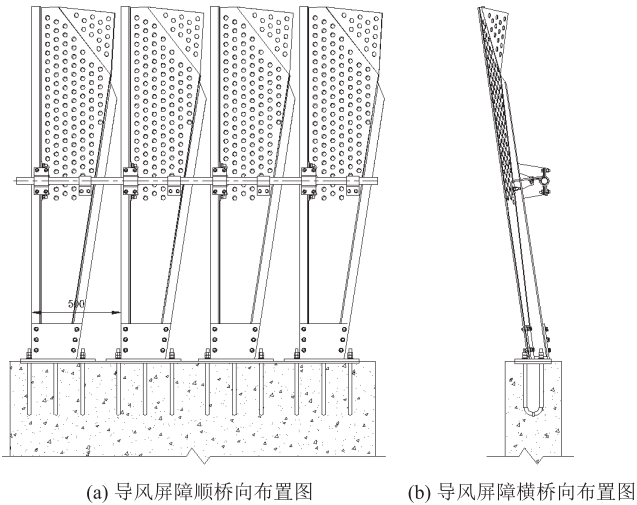


图 1 大桥导风屏障布置图

(2)横桥向及高度方向:行车高度范围(0~4 m)内的风速大小对保障列车安全性具有参考价值;同时,数值仿真也表明:当桥面设置 3 m 高的导风屏障时,轨面上方 2~3 m 的挡风性能最优。为此,选定桥面线路中心线轨道上方 2.5 m 以及 3.5 m 处为风速监测点。

(3)为了获得峡谷来流风速的大小,分别在跨中和 1/4 跨桥面高度横桥向水平伸出支撑杆,支撑杆一端固定于桥面,另一端连接风速仪,支撑杆伸出桥面的距离不小于 5 m。风速监测点的空间布置位置如表 1、图 2 和图 3 所示。

表 1 风速监测点空间布置位置表

顺桥向监测点	监测点位置 1:跨中,监测 U、V、W 三方向风速 监测点位置 2:1/4 跨,监测平均风速
横桥向及高度监测点	高度:轨面以上 2.5 m,以及 3.5 m 位置 横向:线路中心线
合计	6 个风速监测点



图 2 桥面风速监测点示意图(顺桥向)

3.2 试验仪器

试验仪器为 WindMaster 三维超声波风速风向仪和 LJ-WDS6 二维风速风向仪,均可测量 0~60 m/s 范围内的风速风向数据,风向精度为±1°。根据试验需

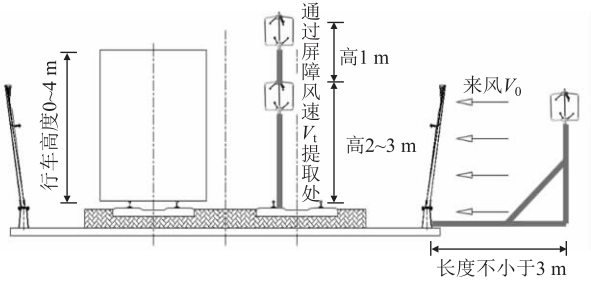


图3 桥面风速监测点示意图(横桥向及高度方向)

求,配备多通道采集、存储等设备。

4 数据处理方法

4.1 数据“野点”处理

在风速现场监测期间,由于电源不稳定脉冲或风速仪感应元件的不稳定工作,会造成一些风速异常监测值,需要对风速数据进行质量控制。通过对实测异常风速的特征统计分析,异常值可分为普通异常值和极端异常值,采用文献[9-10]中的方法进行判别和订正。

4.2 大风样本的选取

工程抗风计算更关注大风状况时的特性。根据我国天气预报业务中的有关规定,只有在风速较大时,对工程结构物才会产生响应,而现场采集的数据量庞大复杂。因此,在对风速进行分析时选取实测结果中大风样本,这样有利于数据简化处理、节约成本。

另外,我国建筑结构设计规范、气象规定中,一般采用10 min的平均风速。但由于10 min时距平均风速对风的脉动性反应很不敏感,忽略了较多的瞬时极值;而瞬时风速脉动性非常大,不利于指挥行车。为了综合考虑平均风和脉动风的影响,大风天气列车安全运行办法中主要以2 min平均风速为依据,因此本试验以2 min平均风速进行挡风性能评估。

5 试验结果及分析

5.1 风速风向监测记录

对大桥1/4跨和跨中的桥面来风风速、轨道中心线位置距离桥面高2.5 m、3.5 m处的风速,以及风向进行监测记录,共监测76 d。

较为典型的跨中2.5 m及3.5 m高度处日风速时程数据、风向角时程数据如图4~图6所示。

由图4~图6可知,该日12:00到次日00:00风速较大,最大风速8 m/s,此时间段主要风向为0°~120°(即迎风侧横桥向±30°、30°~90°)。从来风风速、轨道中心线位置距离桥面高2.5 m、3.5 m处的风速看,轨道中线处风速远远小于来风风速。

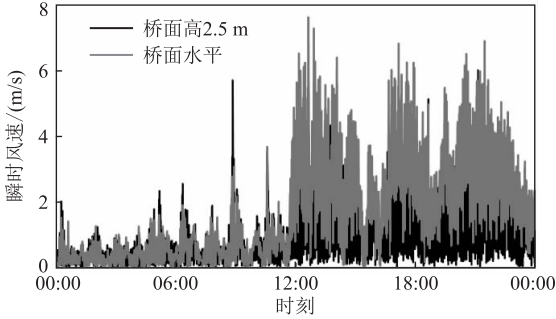


图4 跨中2.5 m高度处日风速时程数据图

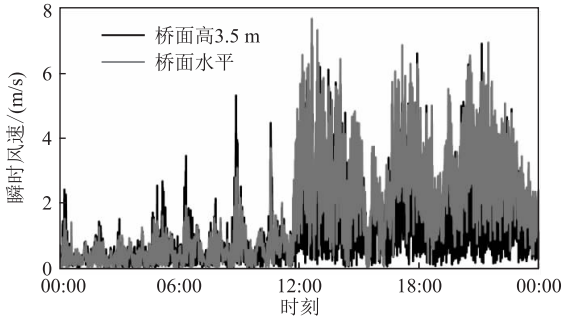


图5 跨中3.5 m高度处日风速时程数据图

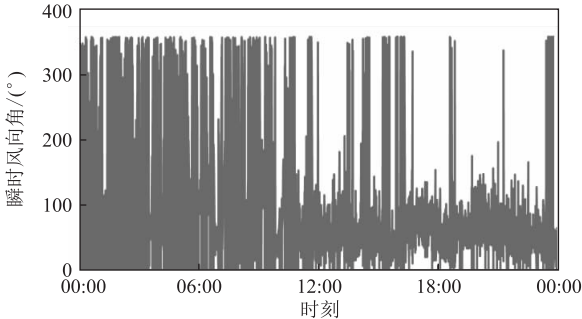


图6 跨中日风向角时程数据图

5.2 日极大瞬时风速统计

监测周期内1/4跨、跨中位置日极大风速的统计结果如图7所示,由图7可知,监测期内日极大瞬时风速在5~8 m/s范围;1/4跨位置最大瞬时风速为10.5 m/s,跨中位置最大瞬时风速14 m/s;1/4跨处风速稍小于跨中风速。

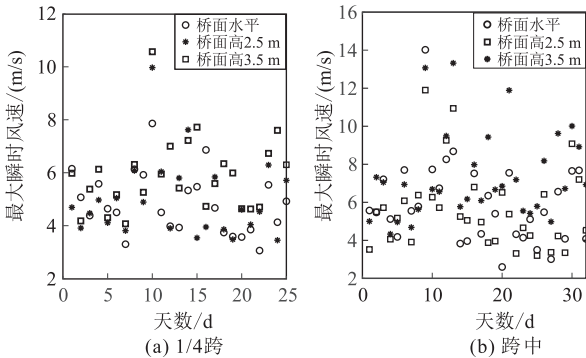


图7 最大瞬时风速统计结果图

5.3 基于实测风速的挡风性能评估

为定量表示导风屏障对减弱桥面轨道上方风速的作用,发挥导风屏障挡风、导流的功能,引入风速折减率  $R$  表示导风屏障的抗风性能:

$$R = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100\% \tag{1}$$

式中:  $V_t$ ——桥面轨道上方监测点的风速(m/s);  
 $V_0$ ——来流风速(m/s)。

为了消除较小风速值对结果的影响,选取来流瞬时风速大于5 m/s 的风速样本作为样本集,以风速样本最大值所对应的时刻为中心,依次按照平均时距2 min 为时长,获得平均风速。根据风速折减率的计算公式获得导风屏障的风速折减率,再将该风速折减率进行高斯拟合。

1/4 跨和跨中的风速折减率高斯分布拟合曲线如图8、图9 所示。

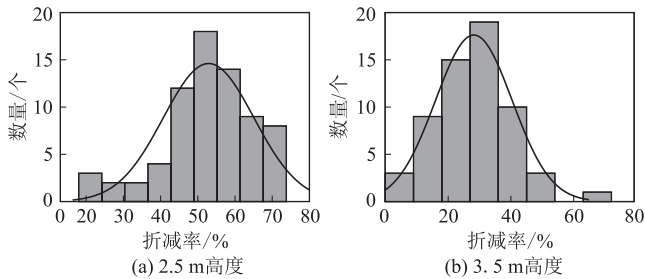


图8 1/4 跨风速折减率高斯分布拟合图

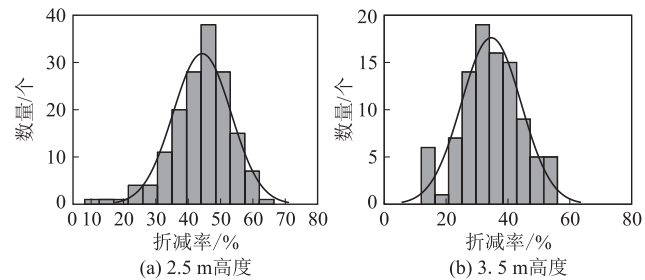


图9 跨中风速折减率高斯分布拟合图

由图8、图9 可知,大桥安装导风屏障后,迎风侧轨道中心线2.5 m 高度处风速折减率为40% ~60%,3.5 m 高度风速折减率为30% ~40%;1/4 跨和跨中在相同高度处导风屏障的风速折减率一致。

依据实桥测试结果可推断,若桥面来风风速为30 m/s,安装导风屏障后,迎风侧轨道中心线2.5 m 高度处最大风速为18 m/s,3.5 m 高度处最大风速为21 m/s。导风屏障的安装对降低轨道处风速,提高桥梁的安全行车的效果明显。

6 实桥测试与风洞试验结果的对比

风洞试验得出的导风屏障高度对风速折减率的影响曲线如图10 所示,将现场测试结果与风洞试验结果进行比对发现:

(1) 现场测试和风洞试验的风速折减率变化规律基本一致;导风屏障2.5 m 高度处(即列车形心中心处)风速折减率较大,导风屏障3.5 m 高度处风速折减率低于2.5 m 处风速折减率。

(2) 现场测试的风速折减率小于风洞试验的风速折减率;现场测试导风屏障2.5 m 高度处风速折减率为40% ~ 60%,3.5 m 高度风速折减率为30% ~ 40%;风洞试验导风屏障2.5 m 高度处风速折减率为60% ~ 80%,3.5 m 高度风速折减率为50% ~ 70%。

(3) 对两种方法结果出现差异的原因进行分析,主要有:①现场风速、风向紊流度高,采集数据跳跃大,风洞试验中风速、风向固定;②现场测试没有列车,风洞试验有列车。

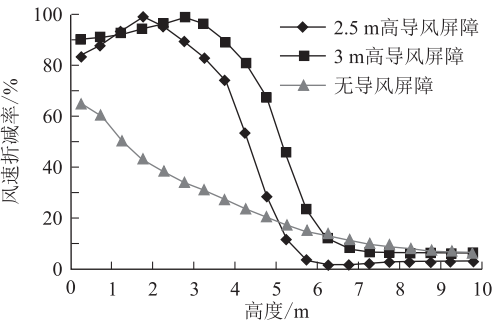


图10 导风屏障高度对风速折减率的影响图

7 结论

通过桥垮1/4 位置、跨中位置布置风速传感器,开展导风屏障-桥梁系统下的风速、风向现场测试,得到主要结论如下:

(1) 监测期内日极大瞬时来流风速在5 ~ 8 m/s 范围;1/4 跨位置最大瞬时来流风速为10.5 m/s,跨中位置最大瞬时来流风速14 m/s;1/4 跨处风速稍小于跨中风速;1/4 跨、跨中风向基本一致,全桥风向不固定。

(2) 大桥安装导风屏障后,迎风侧轨道中心线2.5 m 高度处风速折减率为40% ~60%,3.5 m 高度风速折减率为30% ~40%;1/4 跨和跨中在相同高度处导风屏障的风速折减率一致,导风屏障的安装对提高桥梁的安全行车有积极作用。

(3) 在同样高度处,实桥测试的风速折减率小于风洞试验的风速折减率。

(4)导风屏障在1/4跨位置以及跨中均能够显著地减小来流风速的大小,可满足强风时列车运行风速的限值,高速列车可安全通过桥梁。

(5)在数值模拟和风洞试验的基础上,通过实桥测试的形式评估、检验导风屏障产品的挡风性能,实现该技术产品多手段评估的闭合。研究成果可为此类数值模拟及风洞试验结果的验证提供参考。

## 参考文献:

- [1] 郭薇薇,夏禾,张田. 桥梁风屏障的气动效应及其对高速列车运行安全的影响分析[J]. 工程力学, 2015, 32(8): 112-119, 128.  
GUO Weiwei, XIA He, ZHANG Tian. Analysis on Aerodynamic Effects of Bridge Wind Barrier and Its Influence on Running Safety of a High-speed Train[J]. Engineering Mechanics, 2015, 32(8): 112-119, 128.
- [2] 沈广旭,金阿芳,闻腾腾. 高速铁路防风栅的挡风效果数值模拟研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2019, 37(4): 569-572.  
SHEN Guangxu, JIN Afang, WEN Tengting. Numerical Simulation of Windscreen Effect of High Speed Railway Indiscreet[J]. Journal of Jiamusi University (Natural Science Edition), 2019, 37(4): 569-572.
- [3] 张田. 强风场中高速铁路桥梁列车运行安全分析及防风措施研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.  
ZHANG Tian. Study on Running Safety of Trains and Windproof Measures for High-speed Railway Bridges in Strong Wind Field[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [4] 许自强,何德华,于卫东. 大风工况动车组运行速度限值研究[J]. 铁道机车车辆, 2016, 36(1): 39-43.  
XU Ziqiang, HE Dehua, YU Weidong. Research on Limit Operational Speed of CRH Train under High-speed Wind Condition[J]. Railway Locomotive & Car, 2016, 36(1): 39-43.
- [5] 黄双林. 兰新高铁防风标准研究[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(6): 14-17, 73.  
HUANG Shuanglin. Research on the Wind Break Standard of Lanzhou-Urumqi High-speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(6): 14-17, 73.
- [6] 潘新民,马秀清,徐洁. 兰新高铁挡风墙防风效果分析评估[J]. 干旱气象, 2019, 37(3): 496-499.  
PAN Xinmin, MA Xiuqing, XU Jie. Analysis and Evaluation about Anti-wind Efficiency of Windbreak Experimental Section in Lan-Xin High Railway[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(3): 496-499.
- [7] 闫宏凯,潘新民,叶文军. 南疆线风区铁路风特性与行车控制关键风速测点研究[J]. 机电传动, 2019(3): 64-68.  
YAN Hongkai, PAN Xinmin, YE Wenjun. Study of Wind Characteristics and Key Monitoring Points for Traffic Control in Nanjiang Railway[J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(3): 64-68.
- [8] 吕娜,刘伟,谢海清,等. 叶片式导风屏障挡风性能优化研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(1): 78-82, 88.  
LV Na, LIU Wei, XIE Haiqing, et al. Study on Optimization of Wind-proof Performance of Vane-type Wind Deflector[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 78-82, 88.
- [9] 代晓巍,李振兴,赵丽莉. 飞行器外测数据连续型野值的抽取剔除方法[J]. 电子设计工程, 2015, 23(12): 68-70.  
DAI Xiaowei, LI Zhenxing, ZHAO Lili. Study on Continuous Outliers Eliminating Based on Picking up Method for Trajectory Measurement Data of Aircraft[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(12): 68-70.
- [10] 陈红岩,胡非,曾庆存. 处理时间序列提高计算湍流通量的精度[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 304-311.  
CHEN Hongyan, HU Fei, ZENG Qingcun. Dealing with Imperfect Data to Improve Estimation Precision of Turbulence Flux[J]. Climatic and Environmental Research, 2000, 5(3): 304-311.

(上接第71页)

- [10] 曹峰. 计算机联锁系统安全评估分析与研究[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(4): 1-3.  
CAO Feng. Analysis and Research on Safety Assessment of Computer Interlocking System[J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(4): 1-3.
- [11] 张玲,张建伟,桑永宣,等. 基于随机森林与人工免疫的入侵检测算法[J]. 计算机工程, 2020, 46(8): 146-152.  
ZHANG Ling, ZHANG Jianwei, SANG Yongxuan, et al. Intrusion Detection Algorithm Based on Random Forest and Artificial Immunity[J]. Computer Engineering, 2020, 46(8): 146-152.
- [12] KDD Cup 1999 Data. Irvine, CA(USA), Information and Computer Science University of California, Irvine[EB/OL]. <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>, 2005-6-8.
- [13] 张全龙. 基于深度学习模型的网络入侵检测研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2021.  
ZHANG Quanlong. Research on Network Intrusion Detection Based on Deep Learning Model[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2021.
- [14] WANG Wei, HE Yongzhong, LIU Jiqiang, et al. Constructing Important Features from Massive Network Traffic for Lightweight Intrusion Detection[J]. IET Information Security, 2015, 9(6): 374-379.