

## 接触网腕臂冲击除冰路径规划与实验验证

林凤涛<sup>1</sup>, 李婉钰<sup>1</sup>, 谭荣凯<sup>1</sup>, 杨世德<sup>1</sup>, 黄国胜<sup>2</sup>, 伏松平<sup>2</sup>, 方骏<sup>1</sup>, 许辉<sup>3</sup>

(1. 华东交通大学机电与车辆工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 中国铁建电气化局集团有限公司, 北京 100043; 3. 吉安职业技术学院, 江西 吉安 343000)

**摘要:** 针对接触网腕臂装置覆冰清除困难、复杂管状构件除冰路径难以确定的问题, 提出一种基于聚四氟乙烯 (PTFE) 圆柱棒体冲击的机械除冰方法。以德式铝合金腕臂装置为对象, 建立包含平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑和定位管的覆冰有限元模型, 分析冲击作用下冰层局部压缩损伤、裂纹扩展及冰—基体界面脱粘过程。根据各构件单次冲击脱冰范围, 采用 50% 重叠率确定轴向冲击间距, 规划上下交替冲击路径, 并开展全直径轴向分段试验和整体路径除冰试验。结果表明, 数值模拟与试验所得除冰面积相对误差为 2.63%~14.54%, 均小于 15%; 按规划路径进行整体除冰时, 腕臂装置平均除冰率为 79.3%。研究表明, PTFE 圆柱棒体冲击可有效破碎并剥离腕臂装置表面覆冰, 所提路径规划方法可为接触网腕臂自动化除冰装备执行端设计和作业路径生成提供参考。

**关键词:** 接触网腕臂; 机械冲击除冰; 覆冰腕臂有限元模型; 除冰路径规划

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

## Impact De-Icing Path Planning and Experimental Validation for Catenary Cantilever Assemblies

Lin Fengtao<sup>1</sup>, Li Wanyu<sup>1</sup>, Tan Rongkai<sup>1</sup>, Yang Shide<sup>1</sup>, Huang Guosheng<sup>2</sup>, Fu Songping<sup>2</sup>, Fang Jun<sup>1</sup>, Xu Hui<sup>3</sup>

(1. School of Mechatronics and Vehicle Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi 330013; 2. China Railway Construction Electrification Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100043; 3. Ji'an Vocational and Technical College, Ji'an, Jiangxi, 343000)

**Abstract:** Ice accretion on catenary cantilever assemblies makes ice removal difficult and complicates the determination of effective de-icing paths for complex tubular components. To address this issue, a mechanical de-icing method based on the impact of a cylindrical polytetrafluoroethylene (PTFE) rod is proposed. A finite element model of an iced German-type aluminum alloy cantilever assembly was established, including the horizontal arm, inclined arm, cantilever support, and positioning tube. The model was used to analyze local compressive damage, crack propagation, and ice-substrate interfacial debonding under impact loading. Based on the single-impact de-icing range of each component, an axial impact spacing strategy with a 50% overlap ratio was adopted, and an alternating upper-lower impact path was planned. Full-diameter axially segmented tests and overall path-based de-icing tests were then conducted to validate the proposed method. The results showed that the relative error in de-icing area between the simulation and experiments ranged from 2.63% to 14.54%, which was less than 15%. Under the planned path, the average de-icing rate of the cantilever assembly reached approximately 79.3%. The results indicate that the cylindrical PTFE rod impact method can effectively fracture and detach ice accretion from catenary cantilever assemblies, and that the proposed path planning method provides a reference for end-effector design and operation path generation in automated catenary cantilever de-icing equipment.

**Key words:** catenary cantilever assembly; mechanical impact de-icing; finite element model of iced cantilever assembly; de-icing path planning

随着高速铁路运行密度增加, 接触网服役状态直接影响列车受流稳定性和线路运行可靠性<sup>[1]</sup>。在冻雨、雨雪冰冻等低温环境下, 腕臂及定位装置易发生覆冰, 覆冰会增加结构附加载荷, 并可能诱发接触网舞动, 引起腕臂、定位管及连接部件振动、疲劳损伤甚至局部失效, 威胁列车运行安全<sup>[4]</sup>。

**研究背景与意义:** 与接触线、承力索等线状构件相比, 腕臂装置由平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑、定位

管及连接件组成，空间结构复杂，局部遮挡和可达性限制明显。不同管状构件覆冰状态存在差异，路径规划不合理时易产生残冰、重复冲击或局部过载。因此，建立单次冲击脱冰范围与连续除冰路径之间的关系，对腕臂自动化除冰具有重要意义。

研究进展与分析：现有接触网及输电线路除冰技术主要包括电热除冰、化学除冰、防冰涂层和机械物理除冰等<sup>[5]</sup>。其中，电热除冰能耗和改造成本较高<sup>[6]</sup>，化学除冰及防冰涂层受环境和表面状态影响较大<sup>[7]</sup>。机械冲击、振动、超声波、电磁脉冲、微波和激光等物理除冰方式作用直接、工程适应性较好<sup>[10]</sup>。但现有研究多集中于输电导线、接触线、承力索和塔线体系等柔性线状结构<sup>[15]</sup>，针对刚性多构件管状腕臂装置的路径规划研究仍较不足。

研究创新与特色：针对腕臂装置覆冰清除困难和路径难以确定的问题，以德式铝合金腕臂装置为对象，提出基于聚四氟乙烯（polytetrafluoroethylene, PTFE）圆柱棒体冲击的机械除冰方法。考虑圆柱棒体与覆冰圆管接触时可形成轴向局部接触区，有利于能量输入和裂纹扩展<sup>[21]</sup>，建立覆冰腕臂有限元模型，提取单次冲击脱冰范围，采用 50%重叠率确定冲击间距，规划上下交替冲击路径，并通过试验验证方法可行性。

## 1 覆冰腕臂机械冲击有限元模型构建

以德式铝合金腕臂为研究对象，利用 SOLIDWORKS 建立接触网腕臂结构及其关键部件三维几何模型如图 1 所示。模型设置环境温度为 $-15^{\circ}\text{C}$ ，并在平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑和定位管外表面建立 10mm 均匀覆冰层，作为仿真与试验对比的代表性工况。

实际线路中覆冰厚度、偏心程度及截面形态受气象条件影响，具有明显随机性。若针对不同覆冰形态分别建模，将显著增加网格划分与接触计算复杂度。鉴于本文以方法验证为主，选取 10mm 均匀覆冰作为代表性工况，用于控制变量并实现不同构件冲击脱冰特性的可比性。该假设仅用于仿真分析，工程应用中可根据实际覆冰情况对路径参数进行修正。

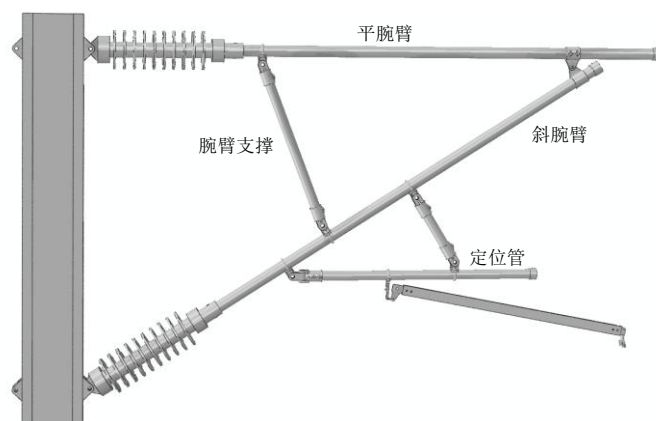


图 1 德式铝合金腕臂装置三维模型

Fig.1 Three-dimensional model of the German-type aluminum alloy cantilever assembly

### 1.1 材料参数与冲击形式

腕臂主体采用 6082 铝合金材料，弹性模量为 70 000 MPa，泊松比为 0.30，密度为 2 750  $\text{kg}/\text{m}^3$ ；冲击执行端采用 PTFE 材料，弹性模量为 500 MPa，泊松比为 0.46，密度为 2 200  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。螺栓、垫圈等连接件按不锈钢赋值，绝缘子及套管类部件分别按陶瓷和铝合金铸件赋值。

覆冰部分采用与纯净水冰力学性能相近的冰材料。 $-15^{\circ}\text{C}$ 条件下，冰层密度取 896  $\text{kg}/\text{m}^3$ ，杨氏模量取

50.325 MPa, 泊松比取 0.30, 等效屈服强度取 2.863 MPa, 并设置压缩失效与主应变失效参数。

### 1.2 冲击执行端与接触形式

考虑腕臂各构件多为圆管状或近似圆管状结构, 选用 PTFE 圆柱棒体作为机械冲击除冰执行端。其与覆冰圆管接触时可形成沿轴向延展的局部接触区, 有利于冲击能量稳定输入并诱导冰层轴向裂纹扩展<sup>[21]</sup>。相较尖角或楔形冲击头, 圆柱棒体无明显应力集中, 可降低铝合金基体损伤风险; 相较球形冲击头, 其接触宽度更大、脱冰区域更稳定, 有利于路径间距确定。此外, 圆柱棒体结构简单、动平衡性能较好, 适用于稳定重复冲击。

### 1.3 网格划分与连接建模

模型中覆冰层及规则管状构件采用 C3D8R 六面体单元, 复杂结构采用 C3D4 四面体单元。对冲击接触区域进行局部加密, 其余区域适当放宽网格尺寸, 以兼顾精度与计算效率。

各构件连接关系依据实际装配形式设置: 螺栓连接采用 MPC 多点约束等效, 接触锁紧区域采用 Tie 约束处理。

### 1.4 分析方法与边界条件

采用显式动力学方法模拟 PTFE 圆柱棒体冲击覆冰腕臂过程。场变量包括应力、应变、位移、速度和损伤状态, 用于表征冰层损伤、裂纹扩展和脱落范围; 历史变量用于记录棒体质心或参考点的位移、速度与加速度响应。

仿真中, 棒体加速度通过 ABAQUS 历史变量提取; 试验中, 将高频加速度传感器安装于 PTFE 圆柱棒体非接触端或冲击执行机构连接座处, 并通过动态数据采集系统记录加速度时程。边界条件按实际装配关系设置: 支柱底部施加固定约束, 构件连接区域采用绑定、接触或多点耦合约束处理。考虑接触非线性、结构柔度及传感器安装刚度等因素会影响由加速度反演冲击力的精度, 本文仅将加速度响应作为辅助表征, 主要以脱冰长度、除冰面积和除冰率评价除冰效果。

## 2 冲击脱冰仿真结果与路径规划

### 2.1 数值模拟结果

仿真结果表明, 各构件的冲击脱冰机理具有一致性。在 PTFE 圆柱棒体冲击作用下, 冰层首先在接触区域产生局部压碎和损伤累积, 随后裂纹在冰层内部及冰—基体界面扩展, 最终形成脱落区域。整个过程可分为局部变形、裂纹萌生与扩展以及整体剥离三个阶段。

单次冲击形成的脱冰区域沿构件轴向呈近似椭圆分布。以平腕臂为例, 单次冲击轴向脱冰长度为 64.39 mm, 对应脱冰面积为 4 152 mm<sup>2</sup>。

### 2.2 脱冰路径规划

为实现脱冰区域连续覆盖, 采用沿构件轴向推进、上下交替冲击的路径规划方法。根据单次冲击数值模拟结果, 轴向相邻冲击点间距  $S$  可表示为

$$S = L(1 - \eta) \quad (1)$$

式中,  $S$  为冲击间距, mm;  $L$  为单次冲击脱冰长度, mm;  $\eta$  为相邻冲击脱冰区域的重叠率, 为无量

纲参数。考虑到单次冲击脱冰区域沿构件轴向近似呈椭圆分布,边缘区域脱冰不完全。相邻冲击点间距过大时易形成残冰,间距过小时则会增加重复冲击次数并降低效率。为兼顾脱冰连续性和作业效率,取轴向重叠率  $\eta = 50\%$  作为初始路径规划参数。该取值属于保守覆盖参数,工程应用中可根据覆冰厚度、冰层附着强度、冲击能量和执行端尺寸进行修正。

对于有效覆冰长度为  $L_l$  的构件,单排理论冲击次数  $N_s$  可按式(2)估算

$$N_s = \left\lceil \frac{L_l}{S} \right\rceil \quad (2)$$

式中:  $N_s$  为单排理论冲击次数,为无量纲整数;  $L_l$  为构件有效覆冰长度, mm;  $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整函数。

实际路径规划中,还需结合构件端部覆盖及连接区域可达性进行修正。

整体脱冰顺序根据构件空间位置、结构连接关系、冲击可达性和落冰影响综合确定。平腕臂与斜腕臂位置较高、覆冰面积较大,且为主要受力构件,优先除冰有利于降低附加载荷并改善整体受力状态;同时二者遮挡较少,便于连续冲击作业。腕臂支撑和定位管连接区域较复杂、空间可达性较差,且易受上方落冰影响,适宜在主构件除冰完成后进行补充处理。因此,整体路径遵循“由上至下、由主到辅”的原则,确定脱冰顺序为:平腕臂→斜腕臂→腕臂支撑→定位管。

### 2.3 路径参数与结果分析

在 10 mm 均匀覆冰条件下,各构件单次冲击轴向脱冰长度为 60~70 mm,对应冲击间距为 30~35 mm。结合构件覆冰长度与路径布置,平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑和定位管冲击次数分别为 68、72、24 和 38 次。

结果表明,采用 50%重叠率时,相邻冲击点可形成连续脱冰区域,有效降低轴向残冰风险。该方法将单次脱冰范围与构件长度相结合,可为自动化除冰装备的冲击点布置与路径生成提供依据。

## 3 试验验证与结果分析

### 3.1 试验设计

为验证有限元模型对脱冰范围的预测能力及路径规划方法的可行性,开展机械冲击除冰试验。考虑腕臂装置整体尺寸较大且试验场地受限,采用全直径轴向分段试件方案,即保持试件管径、壁厚和材料属性与原型构件一致,仅按约 1:3 比例截取轴向长度,用于验证典型管状构件的局部冲击脱冰特性。平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑和定位管试样长度分别为 667、767、277 和 400 mm。

试件经清洁和预处理后,置于  $-15 \pm 0.3^\circ\text{C}$  恒温环境中覆冰。覆冰过程中采用多向喷雾系统周期性喷淋,当轴向平均覆冰厚度达  $10.0 \pm 0.5\text{mm}$  时停止覆冰。冲击试验采用旋转冲击装置,执行端为  $\Phi 50\text{mm} \times 250\text{mm}$  的 PTFE 圆柱棒体,试验转速为 200 r/min。试验中记录冲击后的脱冰形貌、轴向脱冰长度和脱冰面积。

### 3.2 数值模拟与试验结果对比及模型验证

两次冲击后,各构件均表现为接触区域局部破碎、裂纹扩展和片状或块状脱落。为评价模型预测能力,统计各构件相邻两次冲击后的轴向脱冰长度和除冰面积,并与试验结果对比,结果见表 1。

表 1 数值模拟与试验除冰结果对比

Tab.1 Comparison of de-icing results between numerical simulation and experiment

构件	模拟脱冰 长度/mm	试验脱冰 长度/mm	长度误差/%	模拟除冰 面积/mm <sup>2</sup>	试验除冰 面积/mm <sup>2</sup>	面积误差/%
平腕臂	91.14	106.3	14.26	7 919.24	8 267.05	4.21
斜腕臂	96.78	118.04	18.01	7 156.76	8 374.18	14.54
腕臂支撑	105.36	126.05	16.41	5 336.91	5 663.65	5.77
定位管	95.17	111.14	14.37	7 416.64	7 617.26	2.63

由表 1 可知,各构件轴向脱冰长度误差为 14.26%~18.01%,除冰面积误差为 2.63%~14.54%。轴向脱冰长度主要反映长度方向扩展范围,易受边缘破碎、裂纹延伸和脱落边界不规则性影响;除冰面积同时包含轴向和周向脱冰信息,更能表征实际脱冰范围。因此,以除冰面积作为模型预测能力的主要验证指标,轴向脱冰长度作为辅助评价指标。结果表明,各构件除冰面积仿真与试验相对误差均小于 15%,说明模型能够较好预测冲击作用下的覆冰脱落范围,可用于路径规划参数提取。

基于规划路径开展整体除冰试验,腕臂装置平均除冰率为 79.3%,验证了所提路径规划方法的可行性。

## 4 结论

1) 建立了 PTFE 圆柱棒体冲击覆冰腕臂装置有限元模型。结果表明,在 10 mm 均匀覆冰和既定冲击参数条件下,模型能够描述冰层局部压缩损伤、裂纹扩展及冰—基体界面脱粘过程;圆柱棒体冲击可形成沿轴向延展的局部作用区域,为单次冲击脱冰范围提取和路径规划提供依据。

2) 基于单次冲击脱冰长度和 50%轴向重叠率,规划了平腕臂、斜腕臂、腕臂支撑和定位管的上下交替冲击路径。该方法能够在本文工况下实现相邻脱冰区域连续覆盖,降低轴向残冰风险;整体作业顺序遵循“由上至下、由主到辅”原则,可为自动化除冰装备冲击点布置提供参考。

3) 试验结果表明,各构件除冰面积仿真值与试验值相对误差为 2.63%~14.54%,均小于 15%整体路径除冰试验中,在本文试验条件下腕臂装置平均除冰率为 79.3%,说明基于单次冲击脱冰范围和重叠覆盖原则进行路径规划具有可行性。实际应用中,冲击间距和重叠率仍需根据覆冰厚度、形态、附着强度及冲击能量进一步修正。

## 参考文献:

- [1] 徐玉萍,梅哲源,胡永葳. 高铁开通对城市绿色创新“量质齐升”影响研究[J]. 华东交通大学学报,2025,42(03):87-95.DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.20250402.003.  
XU Y P, MEI Z Y, HU Y W. Research on the impact of high-speed railway opening on the “dual enhancement of quantity and quality” in urban green innovation[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2025, 42(3): 87-95. DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.20250402.003.
- [2] 范士娟,何姗,徐玉萍,等. 高速铁路对江西省虹吸效应的影响分析[J]. 华东交通大学学报,2021,38(01):67-72.DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2021.01.011.  
FAN S J, HE S, XU Y P, et al. Analysis of the influence of high speed railway on the siphon effect in Jiangxi Province[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(1): 67-72. DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2021.01.011.
- [3] 熊嘉阳,沈志云. 中国高速铁路的崛起和今后的发展[J]. 交通运输工程学报,2021,21(05):6-29.DOI:10.19818/j.cnki.1671-1637.2021.05.002.  
XIONG J Y, SHEN Z Y. Rise and future development of Chinese high-speed railway[J]. Journal of Traffic and Transportation

Engineering, 2021, 21(5): 6-29. DOI: 10.19818/j.cnki.1671-1637.2021.05.002.

- [4] 张宝奇, 刘光辉, 吉鹏霄, 等. 高速铁路接触网覆冰舞动灾害应对措施研究[J]. 电气化铁道, 2025, 36(S1): 84-87+101. DOI: 10.19587/j.cnki.1007-936x.2025z1.016.
- ZHANG B Q, LIU G H, JI P X, et al. Countermeasures for icing galloping disasters of high-speed railway catenary systems[J]. Electric Railway, 2025, 36(S1): 84-87, 101. DOI: 10.19587/j.cnki.1007-936x.2025z1.016.
- [5] 吴广宁, 王敏, 郭裕钧, 等. 高速铁路接触网融冰机理及关键技术: 系统性综述[J]. 铁道学报, 2025, 47(03): 40-53.
- WU G N, WANG M, GUO Y J, et al. De-icing mechanism and key technologies of high-speed railway catenary systems: a systematic review[J]. Journal of the China Railway Society, 2025, 47(3): 40-53.
- [6] 范夕庆, 田冲, 蓝王丰, 等. 电气化铁路接触网融冰技术研究[J]. 科技与创新, 2023, (21): 72-74+77. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2023.21.020.
- FAN X Q, TIAN C, LAN W F, et al. Research on de-icing technology for electrified railway catenary systems[J]. Science and Technology & Innovation, 2023(21): 72-74, 77. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2023.21.020.
- [7] Xie H, Xu W, Fang C, et al. Efficient and economical approach for flexible photothermal icephobic copper mesh with robust superhydrophobicity and active deicing property[J]. Soft Matter, 2021, 17(7): 1901-1911.
- [8] Guo H, Liu M, Xie C, et al. A sunlight-responsive and robust anti-icing/deicing coating based on the amphiphilic materials[J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 402: 126161.
- [9] Li Y, Ma W, Kwon Y S, et al. Solar deicing nanocoatings adaptive to overhead power lines[J]. Advanced Functional Materials, 2022, 32(25): 2113297.
- [10] Zhou X, Zhu Y, Sun S, et al. Performance analysis of electro-impulse de-icing device for overhead ground wire[J]. Advances in Electrical and Computer Engineering, 2022, 22(4): 3-10.
- [11] Fan W, Zhang S, Zhu W, et al. An efficient dynamic formulation for the vibration analysis of a multi-span power transmission line excited by a moving deicing robot[J]. Applied Mathematical Modelling, 2022, 103: 619-635.
- [12] Li Y, Shen H, Guo W. Effect of ultrasonic vibration on the surface adhesive characteristic of iced Aluminum alloy plate[J]. Applied Sciences, 2022, 12(5): 2357.
- [13] Gaheen O A, Marzouk S A W, Elsayed A M, et al. Experimental comparison of ultrasonic guide wave and thermal energy in de-icing method[J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2024, 54: 102876.
- [14] 徐展, 钟选明, 廖成. 电气化铁路隧道激光除冰研究[J]. 现代电子技术, 2023, 46(14): 28-32. DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2023.14.006.
- XU Z, ZHONG X M, LIAO C. Research on laser de-icing for electrified railway tunnels[J]. Modern Electronics Technique, 2023, 46(14): 28-32. DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2023.14.006.
- [15] 王金锁, 刘美瑶, 岳华刚, 等. 不同覆冰形式的导线脱冰动力响应研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(20): 193-199. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2021.20.024.
- WANG J S, LIU M Y, YUE H G, et al. A study of dynamic response characteristic of ice-shedding on conductors for overhead lines under different ice-coating types[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(20): 193-199. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2021.20.024.
- [16] 王璋奇, 齐立忠, 杨文刚, 等. 集中质量法模拟覆冰在架空线脱冰张力实验中的适用性研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(12): 1982-1988. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2014.12.019.
- WANG Z Q, QI L Z, YANG W G, et al. Applicability of lumped mass method for simulating ice coating in dynamic tension tests of overhead line ice-shedding[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(12): 1982-1988. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2014.12.019.
- [17] Kollár L E, Olqma O, Farzaneh M. Natural wet-snow shedding from overhead cables[J]. Cold Regions Science and Technology, 2010, 60(1): 40-50.
- [18] 刘春城, 毛绪坤, 刘法栋, 等. 大跨越输电塔-线体系覆冰断线模型试验研究[J]. 振动与冲击

击,2012,31(24):41-47.DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2012.24.033.

LIU C C, MAO X K, LIU F D, et al. Model test study on line disconnection of icing long spanned transmission tower-line system[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(24): 41-47. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2012.24.033.

[19] Meng X, Wang L, Hou L, et al. Dynamic characteristic of ice-shedding on UHV overhead transmission lines[J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 66(1): 44-52.

[20] 吴磊,徐梦楠,张华鹏,等. 电气化铁路接触网冲击振动除冰仿真分析[J].铁道学报,2025,47(01):47-53.

WU L, XU M N, ZHANG H P, et al. Simulation analysis of impact vibration de-icing for electrified railway catenary systems[J]. Journal of the China Railway Society, 2025, 47(1): 47-53.

[21] 汪春辉,朱广元,王超,等. 垂向载荷作用下的冰层破裂及其影响因素分析[J]. 振动与冲击,2022,41(02):11-19.DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2022.02.002.

WANG C H, ZHU G Y, WANG C, et al. Analysis of ice breaking under vertical loads and its influencing factors[J]. Journal of Vibration and Shock, 2022, 41(2): 11-19. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2022.02.002.



**第一作者:** 林凤涛(1977—),男,博士,教授,博士生导师,江西省“双千计划”科技创新领军人才,江西省主要学科学术和技术带头人、从事列车安全技术等科研和教学工作。



**通信作者:** 谭荣凯(1990—),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为轨道车辆关键部件服役性能。