

文章编号: 1674—8247(2018)01—0043—05

接触网机械除冰技术研究

宫衍圣 王强 黄文勋 王继来

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710000)

摘要:文章结合接触网覆冰分类的特点,分析了接触网覆冰的粘结力、抗拉强度等性质,根据相关研究成果建立了覆冰多弹孔模型和覆冰失效准则,利用有限元方法,建立接触网除冰工况模型,并进行了仿真验证。在此基础上,以我国高速铁路典型接触网为例,分析了不同机械冲击荷载作用下,不同额定张力覆冰接触网导线的典型点应力、抬升量和除冰率,为接触网机械除冰提供了理论支持。

关键词:接触网;覆冰;机械除冰;冲击荷载

中图分类号:U455.4 **文献标志码:**A

Study on Mechanical Deicing Technology for Catenary

GONG Yansheng WANG Qiang HUANG Wenxun WANG Jilai

(China Railway First Survey & Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: This paper combined with the characteristics of classification of icing on catenary, adhesive property and tensile strength of icing on catenary are analyzed. According to the relevant research results, icing multiple bullet holes model and ice failure criteria are established, using the finite element method, model of deicing operation of catenary system is established, simulation verification is carried out. On this basis, taking typical contact network of high speed railway in China as an example, the stress, lifting capacity and corresponding ice removal rate of typical points in iced catenary wire with different catenary rated tension under different mechanical impact loadings are analyzed, on. provides theoretical support for mechanical deicing of catenary system.

Key words: catenary; icing; mechanical deicing; impact loading

接触网覆冰影响受电弓和接触网间的相互作用,易引起受电弓和接触网的取流不畅、电弧烧伤等问题,严重时会导致线路中断行车、接触网断线等事故,影响铁路牵引供电系统的安全运行。因此,接触网覆冰时须采取相应的除冰措施。目前,接触网除冰可分为大电流热力融冰、机械除冰、自然被动防冰等几种方式^[1-4],机械除冰国内主要采用安装刮冰受电弓、人工打冰等形式^[5]。本文研究的机械除冰是指采用机械冲击荷载作用于覆冰导线的除冰方式,本文重点对接触网机械除冰模型和除冰工况下的除冰进行分析。

1 接触网覆冰性质

1.1 接触网覆冰分类

接触网覆冰受微气象、微地形、温度、空气中过冷却水含量及风速等因素影响,按照对接触网的危害程度,可分为白霜、雾凇、混合凇和雨凇等4类^[3]。

1.1.1 白霜

白霜是空气中湿气与0℃以下的导线接触时,在导线表面凝华形成。白霜在导线上的粘结力十分微弱,易脱离所粘结导线的表面,对接触网运行几乎不构

收稿日期:2017-08-31

作者简介:宫衍圣(1965-),男,教授级高级工程师。

引文格式:宫衍圣,王强,黄文勋,等. 接触网机械除冰技术研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):43-47.

GONG Yansheng, WANG Qiang, HUANG Wenxun, et al. Study on Mechanical Deicing Technology for Catenary [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 43-47.

成危害。

1.1.2 雾凇

雾凇分为软雾凇和硬雾凇两种,导线上积覆雾凇时,常常是两者共存。雾凇密度小,软雾凇密度小于 0.1 g/cm^3 ,硬雾凇密度在 $0.1 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ 之间。雾凇在导线上粘结力小,对接触网运行危害相对较小。

1.1.3 混合凇

混合凇是由导线捕获空气中过冷却水滴并冻结而发展形成的一种覆冰形式,以硬冰块的形式出现,密度在 $0.6 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 之间,对接触网运行危害明显。

1.1.4 雨凇

雨凇一般是由过冷却雨滴或毛毛雨发展形成的,即冻雨覆冰。是连续增长的,雨凇的密度大于 0.9 g/cm^3 ,与导线粘结力强,对接触网运行危害较大^[6]。

1.2 接触网覆冰的主要性质

1.2.1 接触网覆冰特点

根据对接触网除冰的研究,在覆冰过程中接触网不易发生扭转。现场观测表明,与一般的输电线路覆冰相比,接触网覆冰网更易形成冰棱。典型覆冰模型如图1所示。

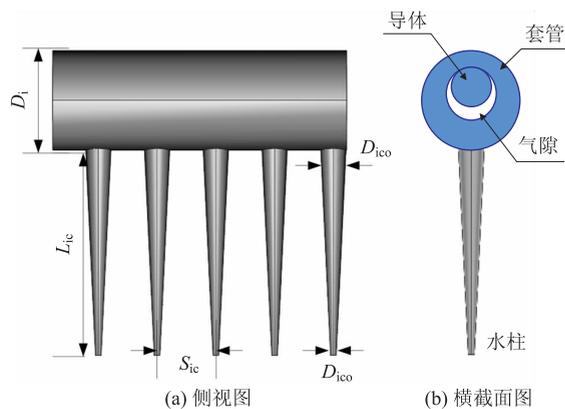


图1 典型覆冰导线模型

1.2.2 冰的粘结力

冰在铜、铝等物质上的粘结力分为剪切力和垂直粘结力。垂直粘结力表示将冰从垂直方向拔掉所需要的力,剪切力为将冰从物质表面横向移去所要求的力。根据国内外研究成果,冰在物质表面的垂直粘结力和剪切力如表1和表2所示。

表1 冰在物质表面的垂直粘结力

序号	材料	温度/℃	冰类	垂直粘结力/(N/cm ²)
1	铝	-4 ~ -6	混合冰	21
2	铝	-8 ~ -12	混合冰	35
3	铝	-10 ~ -12	混合冰	58
4	铝	-14 ~ -16	混合冰	113

表2 冰在物质表面的剪切力

序号	材料	温度/℃	冰类	剪切粘结力/(N/cm ²)
1	硬橡胶	-5	混合冰	11
2	硬橡胶	-6.3	雨凇	16
3	铜	-6.1	混合冰	20
4	铜	-8.9	混合冰	23
5	玻璃	-8.8	混合冰	15

1.2.3 冰的抗拉强度

纯冰的极限抗拉强度一般为 $0.7 \sim 3.1 \text{ MPa}$ 。由于接触网导线的覆冰是一个相对发展的过程,覆冰随时间缓慢叠加形成,往往为由固体冰、孔隙和液体组成的多晶体材料,其抗拉强度一般为 $0.3 \sim 0.7 \text{ MPa}$ ^[7]。

2 接触网机械除冰模型

2.1 接触网覆冰模型

2.1.1 覆冰多孔弹性模型

接触网导线覆冰是由固体冰、孔隙和液体组成的多晶体材料,其力学行为与温度和孔隙率等有关,具有韧脆转变特性。且高应变率时覆冰近似为弹性材料,表现为脆性失效,忽略覆冰的塑性变形,即可建立覆冰的多孔弹性模型^[8]。

2.1.2 覆冰失效准则

由于雨凇和硬雾凇与导线间的粘附力很强,且覆冰厚度较小时其剪切变形可忽略,因此,覆冰失效可采用最大拉应力理论。有关研究通过理论推导和实验验证,给出了不同孔隙率多孔材料的拉伸强度表达式^[8]:

$$\sigma_c = \sigma_{c0} \left[\left(\frac{0.38 - \varphi}{0.38} \right)^{1.85} (1 - \varphi^{\frac{2}{3}}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: σ_c ——无孔隙材料的拉伸强度。

2.2 接触网机械除冰模型

2.2.1 接触网机械除冰模型建立

利用有限元方法,通过定义接触网各部件在空间上的几何位置及拓扑关系,采用直接建模法,建立除冰工况下的有限元模型。接触网机械除冰时的运动微分方程为:

$$[M_c]\{u\} + [C_c]\{u\} + [K_c]\{u\} = \{f(t)\} \quad (2)$$

式中: $[M_c]$ ——接触网质量矩阵;

$[C_c]$ ——接触网阻尼矩阵;

$[K_c]$ ——接触网刚度矩阵;

$\{u\}$ ——节点位移向量;

$\{f(t)\}$ ——节点载荷向量。

2.2.2 接触网机械除冰模型验证

为验证接触网机械除冰有限元模型的正确性,利

用具有国际先进水平的 CATMOS 软件,以导线采用 CTMH150 + JTMH120 组合、额定张力采用 25 kN + 20 kN 组合为例,对接触网未覆冰工况进行了仿真验证。接触线在某一典型时刻的振动曲线对比如图 2 所示。

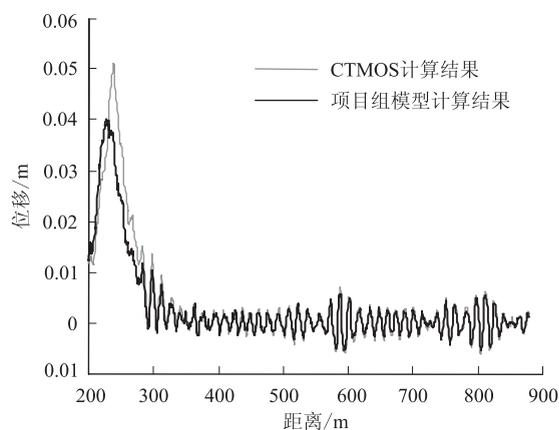


图2 仿真结果对比图

由对比分析可见,接触网机械除冰有限元模型计

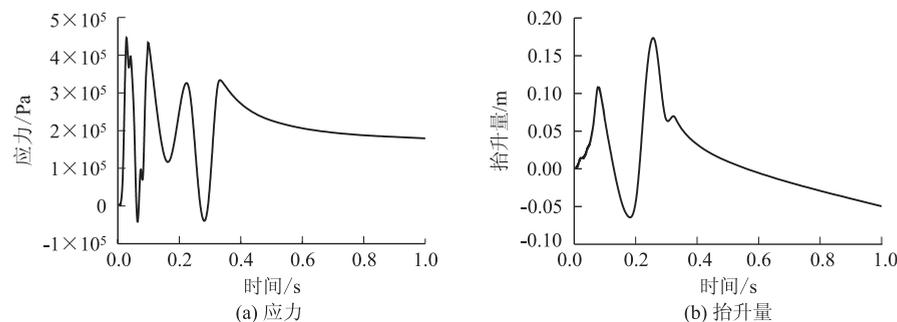


图3 冲击荷载 300 N 时典型点应力及抬升量

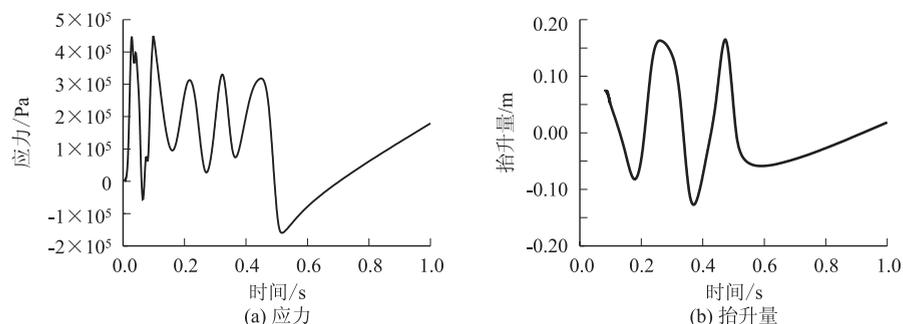


图4 冲击荷载 200 N 时典型点应力及抬升量

根据仿真结果可知,接触网覆冰导线在冲击荷载 300 N、200 N、100 N 的作用下,抬升量均未超出允许的抬升范围,满足安全运行要求,且随着冲击荷载的降低,抬升量相应降低。

3.1.3 除冰效果分析

(1) 覆冰类型为混合冰的除冰率

算结果与 CATMOS 计算结果基本相同,其模型能够指导后续研究。

3 接触网机械除冰分析

机械冲击载荷除冰与接触网导线材质、张力、覆冰性质等直接相关。利用经过仿真验证的接触网机械除冰有限元模型,以目前我国高速铁路中速度 350 km/h 和 250 km/h 的典型接触网为例,对接触网机械除冰进行分析。

3.1 速度 350 km/h 典型接触网除冰分析

3.1.1 接触网主要标准

接触网导线采用 CTMH150 + JTMH120,额定张力采用 30 kN + 21 kN;受电弓包络线抬升量为 150 mm,定位点最大抬升值取 1.5 倍抬升量;结构高度为 1 600 mm,跨距长度为 50 m。

3.1.2 不同冲击荷载下应力及抬升量分析

不同冲击荷载作用下,典型点应力及抬升量仿真结果如图 3 ~ 图 5 所示。

接触网覆冰类型为混合冰时,不同冲击荷载作用下,接触网除冰率仿真结果如表 3 所示。

表3 不同冲击荷载幅值下的除冰率

冲击荷载幅值/N	除冰率/%
300	41.9
200	30.6
100	11.6

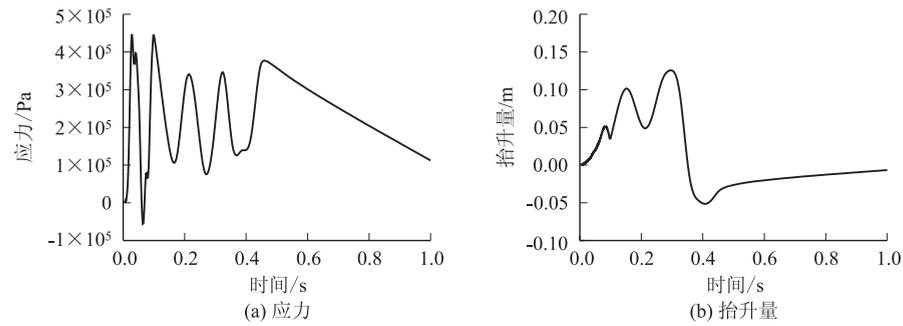


图5 冲击荷载 100 N 时典型点应力及抬升量

(2) 覆冰类型为雨淞的除冰率

接触网覆冰类型为雨淞时,不同冲击荷载作用下,接触网除冰率仿真结果如表4所示。

表4 不同冲击荷载幅值下的除冰率

冲击荷载幅值/N	除冰率/%
300	28.4
200	21.0
100	12.9

(3) 除冰效果分析

根据仿真结果可知,接触网覆冰导线在冲击荷载一定的情况下,除冰率与覆冰性质有关,覆冰密度越

大,除冰率越低,且除冰率随着冲击荷载幅值的减小而下降。

3.2 速度 250 km/h 典型接触网除冰分析

3.2.1 接触网主要标准

接触网导线采用 CTMH150 + JTMH120,额定张力采用 25 kN + 20 kN;受电弓包络线抬升量为 150 mm,定位点最大抬升值取 1.5 倍抬升量;结构高度为 1 600 mm,跨距长度为 55 m。

3.2.2 不同冲击荷载下应力及抬升量分析

不同冲击荷载作用下,典型点应力及抬升量仿真结果如图6~图8所示。

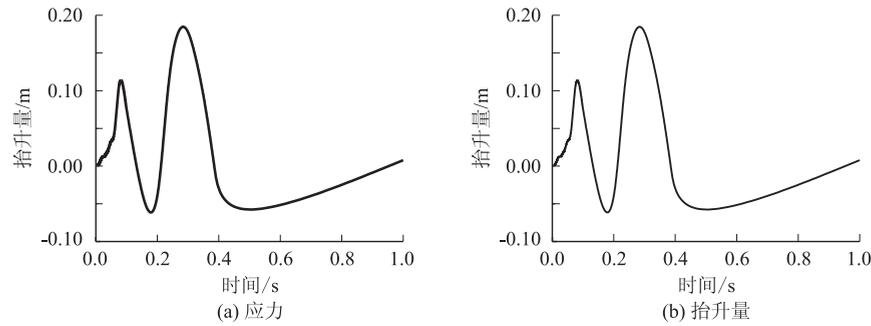


图6 冲击荷载 300 N 时典型点应力及抬升量

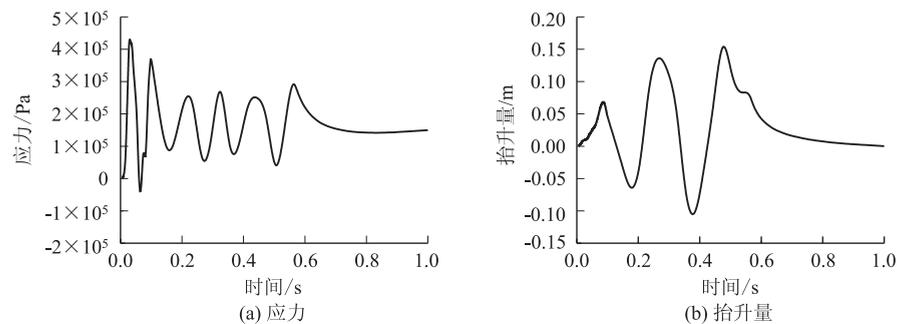


图7 冲击荷载 200 N 时典型点应力及抬升量

根据仿真结果可知,接触网覆冰导线在冲击荷载 300 N、200 N、100 N 的作用下,抬升量均未超出允许的抬升范围,满足安全运行要求,且随着冲击荷载的降

低,抬升量相应降低。

3.2.3 除冰效果分析

(1) 覆冰类型为混合淞除冰效果分析

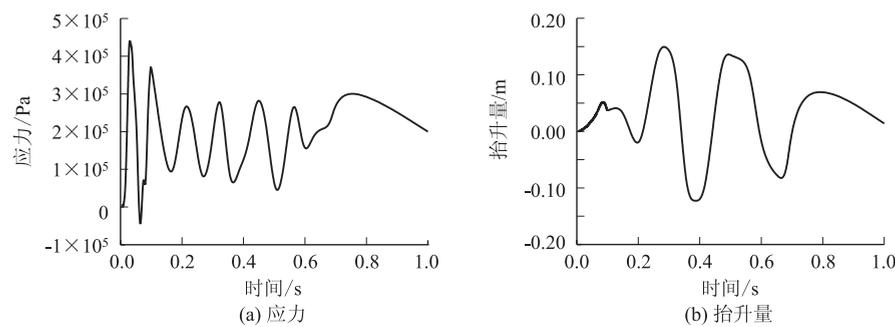


图8 冲击荷载100 N时典型点应力及抬升量

接触网覆冰类型为混合淞时,不同冲击荷载作用下,接触网除冰率仿真结果如表5所示。

表5 不同冲击荷载幅值下的除冰率

载荷幅值/N	除冰率/%
300	22.5
200	15
100	9.6

(2) 覆冰类型为雨淞除冰效果分析

接触网覆冰类型为雨淞时,不同冲击荷载作用下,接触网除冰率仿真结果如表6所示。

表6 不同冲击荷载幅值下的除冰率

载荷幅值/N	除冰率/%
300	35.4
200	25.8
100	16.0

(3) 除冰效果分析

根据仿真结果可知,接触网覆冰导线在冲击荷载一定的情况下,除冰率与覆冰性质有关,覆冰密度越大,除冰率越低,且除冰率随着冲击荷载幅值的减小而下降。

3.3 小结

由仿真结果可见,对速度350 km/h和速度250 km/h的典型接触网,在接触网线材规格、所施加机械除冰冲击荷载相同的情况下,随着接触网导线额定张力的降低,典型点的应力及抬升量变大,除冰率相应提高。

4 结论及建议

通过建立接触网机械除冰有限元模型,分析了不同接触网导线、额定张力组合在冲击机械冲击荷载作用下的除冰率,为接触网机械除冰提供了理论支持。建议进一步针对机械振动除冰工况下接触网及振动力的传播机理和机械振动除冰对接触网安全的影响等方面开展研究,确定满足接触网安全运行的机械除冰冲

击荷载,完善接触网机械除冰理论,进一步加大机械除冰装置的推广应用。

参考文献:

- [1] 宫衍圣,黄文勋,王继来,等.高速铁路防(融)冰技术研究[C]//.第十四届国际大气结构物覆冰会议论文集.重庆:重庆大学出版社,2011.
GONG Yansheng, HUANG Wenxun, WANG Jilai, et al. Research on Catenary Anti-Icing (Ice-Melting) Technology in High-speed Railway [C]//. The 14th international Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Chongqing: Chongqing University Press, 2011.
- [2] 中铁第一勘察设计院集团有限公司.哈大客运专线接触网防(融)冰技术研究报告[R].西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2008.
China Railway First Survey & Institute Group Co., Ltd. Research Report of anti-icing (ice-melting) technology of Harbin-Dalian passenger dedicated line catenary [R]. Xi'an: China Railway First Survey & Institute Group Co., Ltd., 2008.
- [3] 蒋兴良,易辉.输电线路覆冰及防护[M].北京:中国电力出版社,2002.
JIANG Xingliang, YI Hui. Icing and protection of transmission line [M]. Beijing: China Power Press, 2002.
- [4] 范松海.输电线路短路电流融冰过程与模型研究[D].重庆:重庆大学,2010.
FAN Songhai. Study on short-circuit current melting process and model of transmission line [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [5] 邵全东.接触网除冰方法的探讨[J].上海铁道科技,2012,34(2):54-56.
SHAO Quandong. Discussion on deicing method of catenary [J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2012, 34(2): 54-56.
- [6] 甄磊.浅析接触网覆冰现象的危害以及应对措施[J].电气化铁道,2011,22(3):30-32.
ZHEN Lei. Analysis of the hazards and countermeasures of OCS icing [J]. Electric Railway, 2011, 22(3): 30-32.
- [7] 高晓杰.机械振动对接触网覆冰的影响研究[D].成都:西南交通大学,2016.
GAO Xiaojie. Influence of mechanical vibration on icing of catenary [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [8] 陈科全.覆冰输电线路脱冰动力响应及机械式除冰方法研究[D].重庆:重庆大学,2012.
CHEN Kequan. Study on deicing power response and mechanical deicing method of iced transmission line [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)