

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S1.035

覆冰输电线路塔线体系的脱冰振动

陈国栋, 阮少林

(中国能源建设集团 云南省电力设计院有限公司, 昆明 650051)

摘要: 云南省某 500 kV 交流输电线路位于滇东北, 在高海拔、重覆冰等恶劣条件下, 存在严重的覆冰输电线脱冰振动问题。本文以该输电线路为例建立了考虑输电塔线体系偶联作用的有限元模型, 并利用修改密度法进行了脱冰振动分析。分析表明, 由于塔体吸收了振动能量, 塔线体系的最大脱冰张力和位移均比线体系小, 塔体还将一部分能量传递给了没有脱冰的导线和地线, 引起其相应的震动。根据振型特点确定的半跨脱冰会增大导线的振动位移, 而对张力影响不大。

关键词: 有限元; 数值模拟; 非线性; 覆冰导线; 脱冰; 输电线

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S1-0189-04

Ice shedding vibration of transmission line system of ice cover transmission line

Chen Guodong, Ruan Shaolin

(China Energy Engineering Group Yunnan Electric Power Design Institute Co LTD, Kunming 650051, P. R. China)

Abstract: There are severe ice shedding vibration problems in the 500 kV AC transmission line located in Northeast Yunnan, which is in the high altitude, heavy ice conditions. In this paper, a finite element model considering the coupling effect of transmission tower line system is established, and the vibration analysis of the system is carried out by using the modified density method. The results show that the maximum tension and displacement of vibration of the tower line system is smaller than that of the line. The tower will transfer a part of the energy to the conductor and ground wire without the ice shedding. According to the characteristics of vibration mode, the semi-span ice shedding may effectively increase the vibration displacement of the conductor to some extent, but has little effect on the tension of the conductor.

Key words: finite element; numerical simulation; nonlinear; iced conductor; ice shedding; transmission line

输电导线覆冰脱落是一种突加冲击荷载, 引起输电导线的大幅竖向振动, 也称“冰跳”。在电气方面容易导致闪络、烧伤、烧断, 在力学方面, 导致导线断股、绝缘子串断裂, 甚至是输电塔倒塔, 造成严重的经济损失^[1-2]。覆冰输电线路脱冰过程涉及了气象学、结构力学和空气动力学等学科^[3], 在脱冰振动过程中呈现出明显的几何非线性特性。候镭^[4]建立了 3 自由度覆冰输电线模型, 采用中心差分法进行了时程分析, 分析了脱冰量, 档距组合, 均匀与非均

匀脱冰对输电导线脱冰跳跃的影响。肖锡武^[5-7]采用伽辽金方法, 推导了覆冰输电线的非线性偏微分振动方程, 并研究了覆冰输电线非线性振动和幅频曲线的关系。Fekr 基于 Adina 软件, 修改输电导线覆冰前后的密度来模拟覆冰输电线的脱冰过程, 通过非线性迭代, 也考虑覆冰对导线刚度的影响^[8]。后来, Kalman^[9]也基于 Adina 软件, 建立了覆冰输电线的非线性有限元模型, 采用梁单元法模拟冰荷载以及覆冰输电线在脱冰荷载作用下的响应。

收稿日期: 2015-11-10

作者简介: 陈国栋(1981-), 男, 工程师, 主要从事输电线路结构设计与研究, (E-mail)237121308@qq.com。

Laszlo^[10]在 Adina 软件中也用变密度法模拟了单档输电线的脱冰振动,考虑间隔棒的作用。Jamaleddine^[11]用集中力模拟输电导线的覆冰,通过移除集中力模拟脱冰振动,基于几何非线性迭代,也能实现修改密度法同样的效果。Morgan 通过在一个 132 kV 的五档输电线路采用悬挂集中质量块的方法模拟覆冰,在档中释放质量块模拟脱冰,测得了脱冰后导线的跳跃高度^[12]。夏正春同样采用了悬挂集中质量块的方法模拟覆冰,释放集中质量块模拟脱冰的方法,对一个单档架空输电导线进行实验,测得了架空线的张力变化情况^[13]。王璋奇模拟了单档架空线的脱冰振动情况,通过改变输电导线的覆冰厚度、脱冰位置、脱冰量、悬跨比等条件,研究了不同工况下架空输电导线在集中质量块脱冰方法下的张力变化情况^[14-15]。上述分析中很少考虑输电塔对覆冰输电线路脱冰的影响,本文以云南省某 500 kV 交流输电线路为例进行考虑输电塔线体系耦联作用的脱冰分析。该工程位于滇东北,在高海拔、重覆冰等恶劣条件下,存在严重的覆冰输电线路脱冰振动问题。

1 输电塔-线体系模型

覆冰输电线脱冰分析首先必须建立正确的输电塔-线体系力学分析模型。由于输电线路长度长、塔型多样,从中选择了具有代表的耐张塔 JB5531A-36 和直线塔 ZB5532A-45 两个塔型作为分析的基础。这两种塔包含了两种主要的钢材,分别是 Q235 和 Q345 钢,主要采用等边角钢或者双角钢焊接为 T 型钢相连。

表 1 角钢特性参数

型号	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	泊松比	屈服强度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)
Q235	7 850	206 000	0.3	345
Q345	7 850	206 000	0.3	235

根据以往的工程经验和实践论证,本此分析中输电塔所有杆件均采用高精度的 BEAM188 梁单元。该单元是一个二节点的三维线性梁单元,基于 Timoshenko 梁理论,在每个节点上有 6 个自由度,分别是 X、Y、Z 方向的平动及绕其的转动。该单元包含应力刚度,能很好的应用于线性分析、大偏转、大应力的非线性分析。输电线及绝缘子采用 ANSYS 的 Link180 单元,该单元可以实现预应力以

及实现仅受拉和仅受压的设置,其塔线体系有限元模型建立如下:

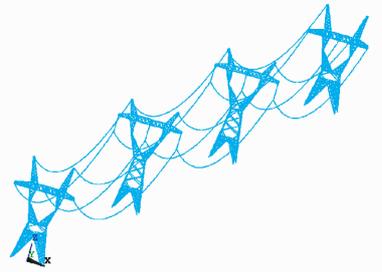


图 1 覆冰输电塔线体系的有限元模型

2 输电塔-线体系脱冰分析

为了对比不同工况脱冰对输电线路的影响,现根据实际情况设计表 1 的工况进行对比。这里为了方便参数比较,取工况 2~5 中第 2 跨的第 2 层导线与工况 1 中的第 2 跨导线进行对比,导线均采用 JLHA1/G1A-575/40-45/7,耐张绝缘子均采用 N531,悬垂绝缘子均采用 ZSX533,耐张输电塔均采用 JB5531A-36,直线输电塔均采用 ZB5532A-45。图 2 中跨中张力均是将不同工况的第 2 跨第 2 层导线的张力进行对比。

表 1 计算工况表

工况	描述
工况 1	耐一直一直一耐,每跨 550 m、30 mm 覆冰,第 2 跨导线脱冰
工况 2	耐一直一直一耐,每跨 550 m、30 mm 覆冰,第 2 跨导线脱冰
工况 3	耐一直一直一耐,每跨 550 m、30 mm 覆冰,第 1 跨导线脱冰
工况 4	耐一直一直一耐,每跨 550 m、30 mm 覆冰,第 1、2 跨导线脱冰
工况 5	耐一直一直一耐工况,每跨 550 m、30 mm 覆冰,所有导线脱冰
工况 6	耐一直一直一耐工况,每跨 550 m、30 mm 覆冰,导线第 3 跨全脱冰
工况 7	耐一直一直一耐工况,每跨 550 m、30 mm 覆冰,第 1 跨半跨脱冰

通过图 2 中工况 2、工况 3、工况 4、工况 5 的对比,可以看出,工况 2、工况 4、工况 5 导线和地线产生的张力都是由于导线脱冰引起的,而工况 3 中导线所产生的张力是因为塔的震动引起的。这是因为导线的脱冰引起塔线体系的震动,塔体将一部分能量吸收,并且传递给了没有脱冰的导线和地线,故引起其相应的震动。

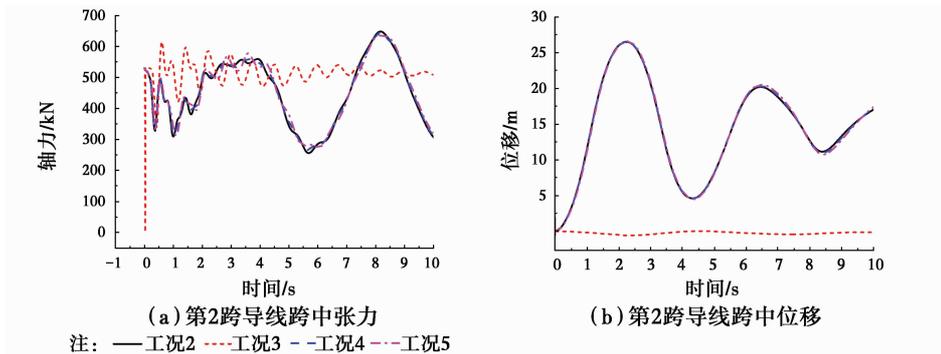


图2 工况2、3、4、5的对比

通过图3中工况1和工况2、工况5的对比,可以看出,工况2、5的张力和位移的最大值均比工况1小,是由于塔体对冲击振动能量的吸收所致。但

是经过计算,塔线体系和线体系的震动频率和振幅都吻合的相当好。

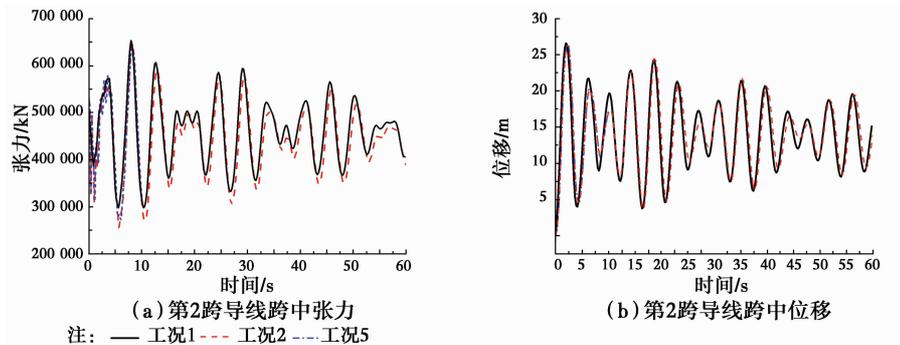


图3 工况1和工况2、5的对比

3 输电塔-线体系脱冰参数化分析

由于覆冰输电线在垂度不同的情况下,竖向振型可能出现对称或反对称振型。为了了解按照振型

脱冰造成的位移和力的增大现象,现在计算边跨半跨脱冰对线体系和塔线体系的响应,并与边跨和中间跨全跨脱冰进行对比,比较的主要工况有工况1、工况6、工况7。

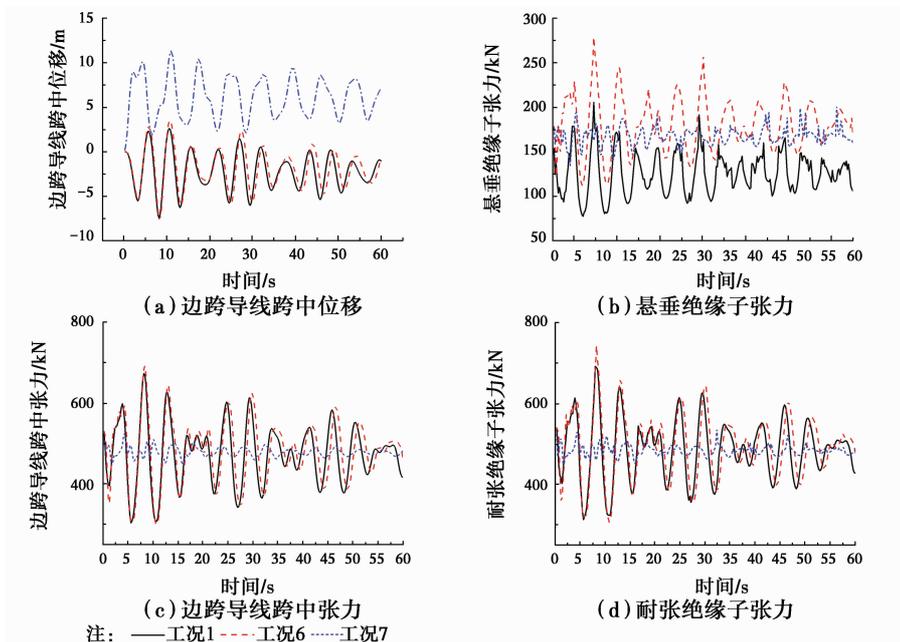


图4 工况1、工况6和工况7的对比

由图 4 中对工况 1、工况 6、工况 7 的对比可以看出,工况 6 的位移和张力都要大于工况 7 的,也是由于振型叠加造成的位移和力的增大。工况 7 的位移要远大于工况 1 和工况 6 的,但是工况 7 的张力要远小于工况 1 和工况 6,这说明半跨脱冰对位移的影响特别大,而对张力没有产生很大的影响。

4 结 论

本文以位于滇东北的云南省某 500 kV 交流输电线路为例,建立了考虑输电塔线体系偶联作用的有限元模型,并利用修改密度法进行了脱冰振动分析。分析表明,由于塔体吸收了振动能量,塔线体系的最大脱冰张力和位移均比线体系小,塔体还将将一部分能量传递给了没有脱冰的导线和地线,引起其相应的震动。输电塔线体系和线体系的脱冰振动频率吻合的相当好。根据振型特点确定的半跨脱冰会有效增大导线的振动位移,而对张力没有产生很大的影响。

参考文献:

- [1] Farzaneh, M. Atmospheric icing of power networks [M]. 黄新波,张冠军,李俊峰译. 北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 刘和云. 架空架空线覆冰和脱冰机理的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2001.
- [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,2001.
- [4] 侯镭,王黎明,朱普轩,等. 特高压线路覆冰脱落跳跃的动力计算[J]. 中国电机工程学报,2008,28: 1-6.
- [5] 肖锡武,杨军,Druez J,等. 悬垂缆线的非线性振动[J]. 振动:测试与诊断,2003,23(2): 110-113.
- [6] Xiao X W, Druez J. Planar nonlinear forced vibrations of a suspended cable[J]. Transaction of CSME, 1996, 20(2): 123-139
- [7] Xiao X W, Druez J. Nonlinear oscillations and stability analysis of suspended cable [C] // International Conference on the Integration of Dynamics, Monitoring and Control, Manchester, 1999.
- [8] Fekr M R, McClure G. Numerical modeling of the dynamic response of ice-shedding on electrical transmission lines [J]. Atmosphere Research, 1998, 46: 1-11.
- [9] Kalman T, Farzaneh M, McClure G. Numerical analysis of the dynamic defects of shock-load-induced ice shedding on overhead ground wires [J]. Computers and Structures 2007, 85(7/8):375-384.
- [10] Laszlo E, Farzaneh M. Vibration of bundled conductors following ice shedding [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(2):1097-1104
- [11] Jamaledine A, McClure G. Simulation of ice-shedding on electrical transmission lines using ADINA [J]. Computer and Structures, 2003, 47: 523-536
- [12] Morgan V T, Swift D. Jump height of overhead-line conductors after the sudden release of ice loads [C] // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1964, 111(10):1736-1746.
- [13] 夏正春. 特高压输电线的覆冰舞动及脱冰跳跃研究 [D]. 武汉:华中科技大学,2008.
- [14] 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动张力实验中的适用性研究[J]. 中国电机工程学报,2014,(12): 1982-1988.
- [15] Yang W G, Su S B, Wang Z Q. Experiment study on dynamic effects of ice shedding on overhead transmission line [J]. Advanced Materials Research, 2013(710):306-310

(编辑 吕建斌)