

文章编号:1673-9469(2008)03-0042-04

台风“麦莎”作用下输电塔风荷载反演

钟莉¹,何涛²,谢强¹,李杰¹

(1. 同济大学 建筑工程系,上海 200092; 2. 上海宝钢工程技术有限公司,上海 201900)

摘要:由于输电塔结构外部作用实时测量难度大、数据精度低,可以根据现场测量结构动力特性,以实测动力响应来反演结构的动态荷载。本文利用某输电塔在台风“麦莎”作用下塔线耦联体系的现场风振实测结果,采用基于缩聚串联多自由度模型的荷载反演方法,反演得到输电塔在台风作用下的风荷载分布和地线、导线的动张力时程。

关键词:动张力;风荷载;反演;输电塔;台风麦莎

中图分类号: TU311.2

文献标识码: A

Research on wind load inversion of electrical transmission tower with typhoon Matsa

ZHONG Li¹, HE Tao², XIE Qiang¹, LI Jie¹

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Baosteel Engineering & Technology Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: The electrical transmission tower is the main part of large complex lifeline system. Because of the difficulty to make the real time measurement and low precision of the data, the dynamic load inversion by the measured dynamic response becomes an effective way to measure the load indirectly. According to the measured dynamic response of tower-line coupling system in an electrical transmission tower with typhoon Matsa, the inversion of wind load distribution and dynamic tension history of ground wire and conductors are given basing on the inversion method of condensation series multi-freedom model.

Key words: dynamic tension; wind load; inversion; electrical transmission tower; typhoon Matsa

电力系统是大型复杂生命线工程系统的主要组成部分^[1]。电力系统的故障,除了运行设备故障、人为操作失误外,很大一部分源于自然灾害。每年由于自然灾害所造成的电网事故在世界各地时有发生^[2,3]。大量风灾、地震灾害表明,输电线路的破坏会导致供电系统的瘫痪,这不仅严重影响了人们的生产、生活,而且还会产生火灾等次生灾害,给社会和人们的生命财产造成严重的后果。

输电塔-导线体系是一种复杂的空间耦联体系,这种耦联效应使得输电塔的风振响应的分析十分困难、复杂。其中,核心是对于结构动力荷载的估计。由于问题的复杂性,在强风风场中的输电塔结构动力作用很难进行实时测量。然而,结构风振响应通常可以测量。因此,根据现场测量

结构动力特性,由实测动力响应来反演结构的动态荷载,逐渐成为一种间接测量荷载的有效途径^[4]。

本文以台风“麦莎”作用下某500kV输电塔线耦联体系的风振响应现场监测数据为基础,采用基于缩聚串联多自由度模型的荷载反演方法,对输电塔在台风作用下的风荷载分布和地线、导线的动张力时程进行了反演。

1 反演方法^[5]

荷载反演的目的是利用实测的结构响应重构结构上作用的等效荷载时程。结构在外荷载作用下的动力平衡方程可表示为

收稿日期:2008-05-05

作者简介:钟莉(1982-),女,满族,辽宁大连人,硕士研究生,从事结构抗风抗震性能的研究。

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = P(t) \quad (1)$$

式中 M 、 C 、 K - 结构的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; P - 结构上作用的荷载; \ddot{u} 、 \dot{u} 、 u - 结构的加速度、速度和位移响应。

本文采用的反演方法是基于缩聚串联多自由度模型的荷载反演方法,并采用二维串联多自由度模型作为荷载反演缩聚模型。

首先,根据结构设计资料,按照标准有限元建模方法进行结构的有限元建模,获得输电塔三维模型的刚度矩阵 $[\tilde{K}]$ 、质量矩阵 $[\tilde{M}]$ 和阻尼矩阵 $[\tilde{C}]$,并用 Newark 积分法进行动力分析,得到各个节点处的位移 \tilde{U} 、速度 \tilde{V} 、加速度 \tilde{A} 响应。然后,将输电塔三维模型中与缩聚串联多自由度模型质点相对应节点的响应进行平均,以此作为缩聚串联多自由度模型质点的响应。以位移响应为例,缩聚串联多自由度模型第 j 个质点的位移时程 u_j 为

$$u_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \tilde{u}_{ij}}{n_j} \quad (2)$$

式中 n_j - 三维模型中第 j 节点层所包括的节点数; \tilde{u}_{ij} - 三维模型第 j 节点层中第 i 个节点的位移向量。

将所有质点响应集成得到缩聚串联多自由度模型的位移 U ,速度 V ,加速度 A 响应。最后利用缩聚串联多自由度模型的动力方程进行荷载反演。

$$F = [M]A + [C]V + [K]U \quad (3)$$

式中 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ - 缩聚串联多自由度模型的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; F - 反演得到的等效外荷载。

从整个的计算流程可以看出,通过缩聚串联多自由度模型的荷载反演,可以计算出作用于输电塔结构各节点层上的总荷载。实际上,输电塔结构除受风荷载外,还受到输电线的动张力作用。因此,在反演各层等效风荷载时程的同时,反演出输电线动张力时程是非常重要的。

如图1所示,考虑输电塔结构只在顶部悬挂导线,其顶部导线动张力可表示为

$$F_L = F_N - F_{w,N} \quad (4)$$

式中 F_L - 导线动张力向量; F_N - 顶部总荷载向量,可由上述反演方法获得; $F_{w,N}$ - 顶部脉动风荷载向量,须从 F_N 中分离出来。

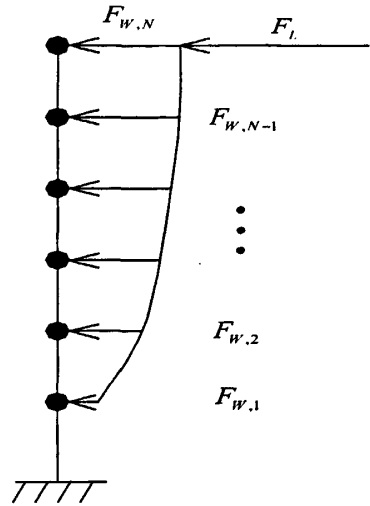


图1 导线动张力反演示意图

Fig.1 Sketch of dynamic tension wire inversion

根据风荷载的特点,若假定结构相邻层脉动风速完全相关,则相邻层的风力作用也具有相关性。将作用在结构上的风荷载分组,每组风荷载的时程在各时刻只相差 α , α 的值不随时间变化,可由节点层 i 和 j 处的迎风面积 A_z 、体型系数 $\mu_z(z)$ 和风压高度变化系数 $\mu_z(z)$ 唯一确定。

$$\alpha = \frac{A_{z,i}\mu_z(z_j)\mu_z(z_i)}{A_{z,i}\mu_z(z_i)\mu_z(z_i)} \quad (5)$$

假定输电塔结构顶部两个节点层脉动风速完全相关,则二者的脉动风荷载可以有以下关系:

$$\alpha_{N,N-1} = \frac{A_{z,N}\mu_z(z_N)\mu_z(z_N)}{A_{z,N-1}\mu_z(z_{N-1})\mu_z(z_{N-1})} = \frac{F_{w,N}}{F_{w,N-1}} \quad (6)$$

则顶部脉动风荷载可以表示为

$$F_{w,N} = \alpha_{N,N-1} F_{w,N-1} \mu_z(z) \quad (7)$$

代入式(4),可得到导线动张力为

$$F_L = F_N - \alpha_{N,N-1} F_{w,N-1} \quad (8)$$

对于输电线悬挂在结构其他位置的情况,可按照上述方法推广实现。

有研究表明,风荷载作用下的输电塔结构,有导线悬挂时,其顶部位移可达到无导线悬挂时的6倍,应力可达到1.5~2倍,因此,ANSYS 仿真分析时,顶部除施加风荷载时程外,还需施加一个较大的导线动张力时程。

2 麦莎台风荷载反演

2005年8月5日,台风“麦莎”在上海、浙江附

近沿海登陆,成为多年以来对上海影响最大的台风。登陆时台风中心风力接近 12 级。研究小组对常州的某输电塔结构进行了现场实测。其中主要测试了输电塔垂直于线路方向的振动。图 2 为现场实测时所得的一组测试数据。

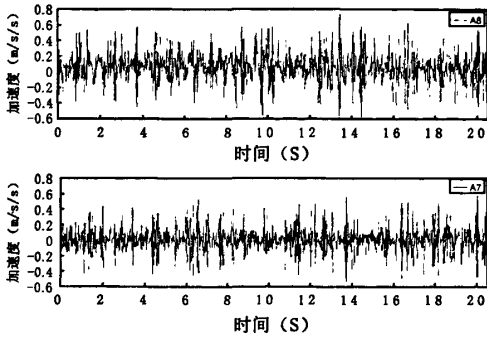


图2 实测加速度响应时程

Fig.2 Response time of measured acceleration

对实测加速度时程进行低阻高通滤波去噪,截断频率为 0.2Hz。得到滤波后的加速度时程如图 3 所示。

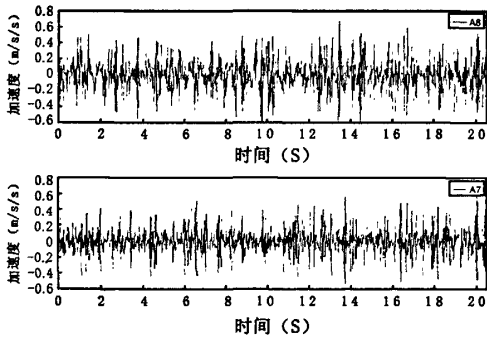


图3 滤波去噪后加速度响应时程

Fig.3 Response time of filtering denoising after acceleration

对实测加速度响应时程进行一次数值积分,得到速度响应时程,如图 4 所示。

对实测加速度响应时程进行二次数值积分,得到位移响应时程,如图 5 所示。

利用前述的基于缩聚串联多自由度模型的荷载反演方法,可反演出风荷载时程,如图 6 所示。

根据风荷载的特点,假定结构相邻层脉动风速完全相关,可由输电塔反演的风荷载来求得输电塔导线和地线的动张力时程(图 7、8)。

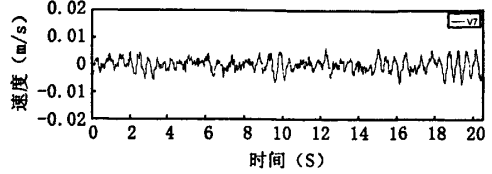
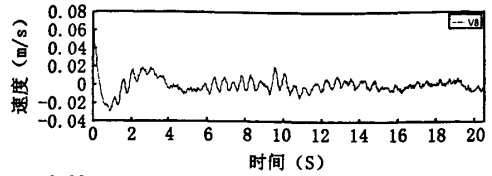


图4 速度响应时程

Fig.4 Response time of speed

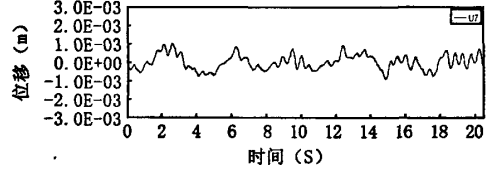
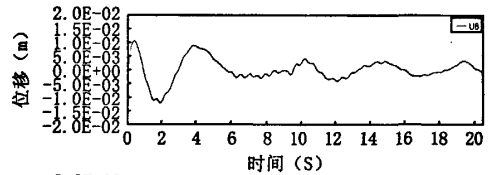


图5 位移响应时程

Fig.5 Response time of displacement

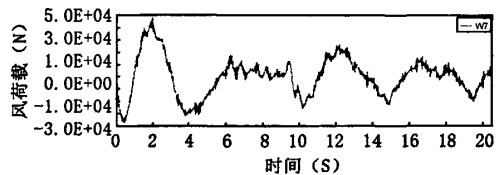
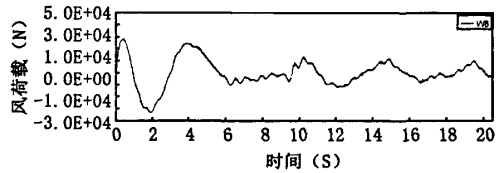


图6 反演得到的风荷载时程

Fig.6 Wind load time through inversion

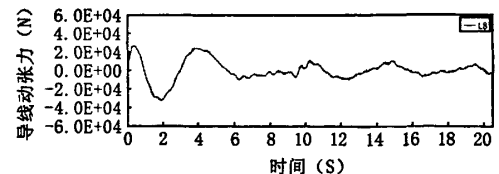


图7 地线动张力时程

Fig.7 Time of dynamic tension of ground wire

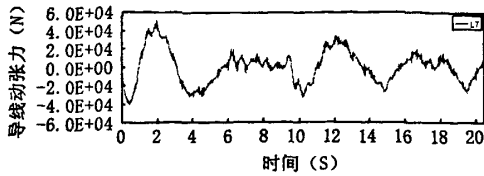


图8 导线动张力时程

Fig.8 Time of dynamic tension of lead wire

3 结束语

以台风“麦莎”作用下某输电塔结构为工程背景,反演给出了输电塔在台风作用下的风荷载分布和导线的动张力时程,证实了基于缩聚串联多自由度模型的荷载反演方法的工程实用性,为进一步研究输电塔的风荷载提供了一个有力的工具。

(上接 25 页) m 值的大小对峰值后的脆性有影响, m 值越大,脆性越强, m 值越小,延性越强; F_0 值的大小对峰值应力有影响, F_0 值越大,峰值应力越大,岩石强度越高。

参考文献:

- [1] 曹文贵,方祖烈,唐学军. 岩石损伤软化统计本构模型之研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 628 - 633.
- [2] 曹文贵,张升. 基于 Mohr - Coulomb 准则的岩石损伤统计分析方法研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2005, 32(1): 44 - 47.
- [3] 李杭州,廖红建,盛谦. 基于统一强度理论的软岩损

(上接第 41 页)

参考文献:

- [1] GARBA J A, FANSON J L. Adaptive structures for precision controlled large space systems[J]. Journal of Intel Mater Syst Strut, 1992, 3(2): 348 - 366.
- [2] HAFTKA R T, ADELMAN H M. Selection of actuator locations for static shape control of large space structures by heuristic integer programming [J]. Computers & Structures, 1985, 20: 575 - 582.
- [3] KIM Y, JUNKINS J L. Measure of controllability for actuator placement [J]. Journal of Guidance Control, and Dynamics, 1991, 14(5): 895 - 902.

参考文献:

- [1] 李杰. 生命线工程抗震 - 基础理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 谢强,李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126 - 131.
- [3] 谢强,张勇,李杰. 华东 500kV 以上 5237 线输电线路风致倒塔事故的调查分析[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 59 - 63.
- [4] 敖翔. 空间框架结构时域参数识别与荷载反演研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.
- [5] 何涛,谢强,赵昕,等. 高压输电塔结构风荷载反演与导线动张力反演研究[R]. 同济大学生命线工程研究所, 上海: 同济大学, 2005.

(责任编辑 刘存英)

伤统计本构模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7): 1331 - 1336.

- [4] 俞茂宏. 双剪理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 廖华林. 基于 Mohr - Coulomb 准则的岩石损伤统计本构模型[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(6): 85 - 87.
- [6] 刘成学, 杨林德, 曹文贵. 岩石统计损伤软化本构模型及其参数反演[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(3): 453 - 457.
- [7] 杨明辉, 赵明华, 曹文贵. 岩石损伤软化统计本构模型参数的确定方法[J]. 水利学报, 2005, 36(3): 345 - 349.
- [8] 耶格 J C, 库克 N G W, 中国科学院工程力学研究所译. 岩石力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

(责任编辑 刘存英)

- [4] JUNKINS J L, KIM Y. Introduction to dynamics and control of flexible structures [M]. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1993.
- [5] 徐小胜, 于登云, 曲广吉. 模态价值分析在航天器模型降阶中的应用研究[J]. 中国空间科学技术, 2003, 12(6): 1 - 6.
- [6] 郑骥. ANSYS 在压电智能板振动主动控制中的应用[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(2): 14 - 16.
- [7] 曹丽雅, 高瑞贞, 袁伟泽, 等. 基于能力最小准则确定压电片位置及仿真[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(1): 21 - 24.

(责任编辑 闫纯有)

台风“麦莎”作用下输电塔风荷载反演

作者: [钟莉](#), [何涛](#), [谢强](#), [李杰](#), [ZHONG Li](#), [HE Tao](#), [XIE Qiang](#), [LI Jie](#)
 作者单位: [钟莉, 谢强, 李杰, ZHONG Li, XIE Qiang, LI Jie \(同济大学, 建筑工程系, 上海, 200092\)](#), [何涛, HE Tao \(上海宝钢工程技术有限公司, 上海, 201900\)](#)
 刊名: [河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 
 英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
 年, 卷(期): 2008, 25 (3)
 被引用次数: 2次

参考文献(5条)

1. [李杰](#) [生命线工程抗震-基础理论与应用](#) 2005
2. [谢强](#); [李杰](#) [电力系统自然灾害的现状与对策\[期刊论文\]-自然灾害学报](#) 2006 (04)
3. [谢强](#); [张勇](#); [李杰](#) [华东500kV以上5237线爬线风致倒塔事故的调查分析\[期刊论文\]-电网技术](#) 2006 (10)
4. [敖翔](#) [空间框架结构时域参数识别与荷载反演研究\[学位论文\]](#) 2004
5. [何涛](#); [谢强](#); [赵昕](#) [高压输电塔结构风荷载反演与导线动张力反演研究](#) 2005

本文读者也读过(10条)

1. [王丹](#) [200km/h转向架构架主要吊、支座的动态载荷识别\[学位论文\]](#)2002
2. [何涛](#). [敖翔](#). [谢强](#). [李杰](#). [HE Tao](#). [AO Xiang](#). [XIE Qiang](#). [LI Jie](#) [输电塔风荷载反演实例研究\[期刊论文\]-福州大学学报 \(自然科学版\)](#) 2005, 33 (z1)
3. [任超](#). [高强](#). [冯志华](#). [许扬](#). [魏旭](#). [刘贞瑶](#). [Ren Chao](#). [Gao Qiang](#). [Feng Zhihua](#). [Xu Yang](#). [Wei Xu](#). [Liu Zhenyao](#) [大跨越输电塔的模态分析\[期刊论文\]-苏州大学学报 \(工科版\)](#) 2009, 29 (1)
4. [林宝龙](#). [贾晓云](#). [马祥旺](#). [Lin Baolong](#). [Jia Xiaoyun](#). [Ma Xiangwang](#) [小波变换在输电塔结构损伤位置识别中的应用\[期刊论文\]-石家庄铁道学院学报](#)2006, 19 (3)
5. [王世村](#). [杨晓强](#). [Wang Shicun](#). [Yang Xiaoliang](#) [高耸结构风振疲劳的随机裂纹扩展分析\[期刊论文\]-钢结构](#) 2007, 22 (8)
6. [瞿伟廉](#). [秦文科](#). [梁政平](#). [QU Weilian](#). [QIN Wenke](#). [LIANG Zhengping](#) [基于输电塔风致响应的节点螺栓脱落损伤自动诊断的小波识别方法\[期刊论文\]-地震工程与工程振动](#)2008, 28 (4)
7. [郝效强](#). [李杰](#). [高向玲](#) [钢筋混凝土框架结构内力涨落分析\[会议论文\]-2010](#)
8. [李杰](#). [任晓丹](#). [杨卫忠](#) [高性能混凝土双轴受压试验研究\[会议论文\]-2005](#)
9. [陈隽](#). [李杰](#) [高层建筑风荷载反演研究\[期刊论文\]-力学季刊](#)2001, 22 (1)
10. [李杰](#). [郑毅敏](#). [魏尊祥](#). [沈伟宇](#). [LI Jie](#). [ZHEN Yiming](#). [WEI Zunxiang](#). [SHEN Weiyu](#) [南通市体育会展中心环梁基础方案设计\[期刊论文\]-结构工程师](#)2005, 21 (2)

引证文献(2条)

1. [郑敏](#). [梁枢果](#). [熊铁华](#) [基于塔线体系风洞试验的输电塔风致响应计算\[期刊论文\]-武汉理工大学学报](#) 2013 (11)
2. [祝贺](#) [强风作用输电塔结构动态载荷识别技术\[期刊论文\]-浙江电力](#) 2010 (1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200803012.aspx