

110 kV 输电线路铁塔塔基沉降应力仿真分析与试验

黄新波¹, 陈子良¹, 赵 隆^{1,2}, 朱永灿², 徐冠华¹, 司伟杰¹

(1. 西安工程大学 电子信息学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 针对输电线路铁塔塔基沉降问题, 利用 ANSYS 建立 110 kV 三塔两档-塔线体系有限元分析模型, 研究各种沉降组合工况下铁塔关键杆件所承受的最大等效应力随沉降度的变化规律, 并基于输电线路铁塔塔基沉降实验平台, 采用光纤光栅解调仪测量关键杆件所受应力对仿真结果进行测试验证。结果表明: 随着沉降值增大, 关键杆件承受的最大等效应力近似呈线性增加; 各种沉降组合工况下, 发生单个或 3 个塔基沉降时的关键杆件所受应力最先超过应力屈服临界值; 在外荷载相同时, 塔基横向沉降位移限值为 50 mm, 纵向沉降、单个或 3 个沉降位移限值分别为 15 mm、10 mm。

关键词: 输电线路; 塔基沉降; ANSYS; 最大等效应力; 沉降实验; 应变监测

中图分类号: TM 72; TM 75

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.04.023

0 引言

在我国超高压和特高压输电线路建设过程中, 输电线路铁塔不可避免地要经过开采区、软土质地区、山坡地、河床地带等特殊地域^[1], 这样极易造成铁塔基础倾斜沉降、开裂、铁塔变形甚至倒塔等严重事故, 给电网的安全经济可靠运行带来了巨大的经济损失。

一方面, 输电线路铁塔沉降使相邻 2 条导线之间产生张力差, 造成铁塔两端纵向不平衡张力发生急剧变化, 严重威胁着铁塔的安全; 另一方面, 铁塔沉降使绝缘子串高压侧导线发生偏移过程, 使导线倾斜摆动、铁塔间距减小, 严重时引发相间闪络、跳闸等事故。近年来, 国内外专家和学者对铁塔沉降做了部分研究。文献[2]仅利用梁单元和板单元建立铁塔模型, 采用非线性单元模拟并分析预测铁塔结构失效问题; 文献[3]利用相对真实铁塔尺寸缩小为一半的次结构模型, 研究了铁塔在风载荷作用下的失效形式; 文献[4-6]针对采煤区输电线路运行存在的地基塌陷问题, 提出了适用于基础均匀沉降的高度可调铁塔设计和地基处理等思路 and 理念; 文献[7]采用悬点不等高状态方程方法对由铁塔沉降和倾斜引起的导线不平衡张力和绝缘子串倾斜角进行计算; 文献[8-9]研究了在不同工况下铁塔杆件的轴向力

和振动趋势, 发现利用软件计算出的不均匀沉降量的极值小于现有规范要求, 用现有的规程计算应力状态是危险的。以上研究主要集中在因塔基沉降引起的各类铁塔事故的理论仿真分析、预测和计算, 以及铁塔模型结构设计改进等问题, 现有的针对铁塔的沉降问题大多通过传统人工巡检方式来发现、扶正和加固。监测技术手段主要是基于倾角传感器的铁塔倾斜监测和基于卫星技术的铁塔形变监测^[10-12], 但其只能间接反映铁塔整体变形较大时的受力及负荷平衡状态的参数, 而对铁塔变形较小或者局部杆件屈服破坏等“隐形故障”往往不能及时发现, 当发现铁塔发生故障时, 输电线路已处于危险状态, 威胁着线路的安全运行。

本文通过对塔基沉降的模拟仿真得出了各种沉降组合下铁塔关键杆件所受最大等效应力随沉降度的变化规律, 并通过采用光纤光栅解调仪测量关键杆件应变的方法^[13-14]搭建测试平台对其进行了测试验证, 最后根据各种沉降组合工况下关键杆件的受力情况, 得到各种工况下沉降位移限值, 为铁塔变形扶正、纠偏和杆件应力监测提供参考和依据, 并对已经完成的研究成果做了进一步的补充。

1 计算模型

1.1 有限元模型建立

利用 ANSYS 软件建立 ZM-110 kV 三塔两档-塔线体系有限元分析模型, 见图 1。模型主要由 1、3 号耐张塔和 2 号猫头塔, 输电导地线, 绝缘子串三部分组成, 其中, 1、2 号铁塔和 2、3 号铁塔之间的档距分别为 95 m 和 100 m, 高度差分别为 2.9 m 和 4.2 m; 各杆件材料均为角钢; 1、3 号耐张塔主材为 Q345 钢, 其他辅助材均为 Q235 钢; 2 号猫头塔主材和其他辅助材均为 Q235 钢。考虑实际环境条件, 在输电铁塔

收稿日期: 2016-01-18; 修回日期: 2017-02-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177115); 陕西省重点科技创新团队计划项目(2014KCT-16); 西安工程大学控制科学与工程重点学科建设经费资助项目(107090811); 西安工程大学研究生创新基金资助项目(CX201619)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51177115), the Key Technology Innovation Team Project of Shaanxi Province(2014KCT-16), the Key Disciplines Science and Engineering Project of Xi'an Polytechnic University(107090811) and the Graduate Innovation Fund of Xi'an Polytechnic University(CX201619)

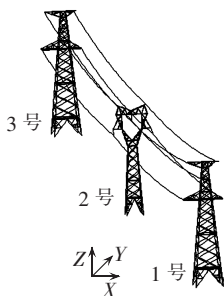


图 1 三塔两档-塔线体系有限元分析模型

Fig.1 Finite element analytical model of tower-line system with three towers and two spans

导线不覆冰、风载为 10 m/s 工况下,对铁塔进行沉降受力分析^[15-18],铁塔模型的建立采用 Beam188 单元,针对导地线仅受拉不能受压的特性,采用 3D 杆单元 Link10 进行模拟,该单元仅受轴向拉力或仅受轴向压力,以此来模拟缆索或间隙,具有几何非线性。绝缘子串采用 Link8 单元模拟,该单元具备塑性、膨胀、应力刚化、大变形等特性。导地线与绝缘子串之间采用铰接连接,每个绝缘子串按一个单元划分,导地线按 1 m 一个单元划分。

1.2 塔基沉降模拟及分析方法

本文仅考虑塔腿与塔基连接处紧固螺丝不发生松动、脱落下的沉降情况,其沉降通过对铁塔塔腿与塔基连接节点施加位移来模拟,并采用非线性静力学进行仿真分析。

1.3 塔基沉降组合工况

图 2 所示为 2 号猫头塔塔基结构,它主要由塔腿主材和斜材或辅材、塔身底部横材等构成。在三维空间中,铁塔各个杆件单元都具有 6 个自由度(3 个平动,3 个转动),通过约束 1、3 号铁塔 4 个塔腿与塔基连接节点的 24 个自由度,2 号铁塔分不同塔基沉降组合工况进行加载分析,具体见图 3 和表 1。

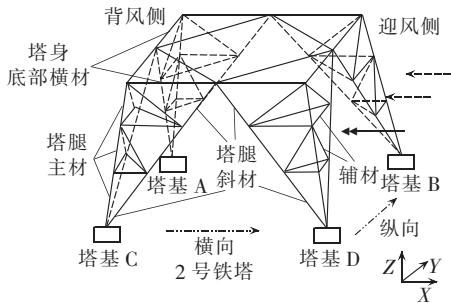


图 2 铁塔塔基结构

Fig.2 Tower foundation structure

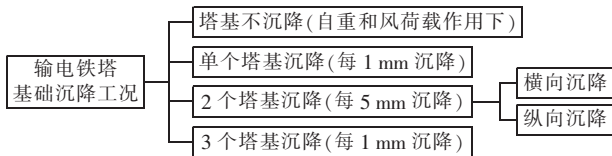


图 3 塔基沉降组合工况

Fig.3 Different tower foundation settlement conditions

表 1 塔基沉降组合

Table 1 Different tower foundation settlement conditions

工况	约束	沉降值
a	ABCD 固定	无
b ₁	ABC 固定,D 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
b ₂	ABD 固定,C 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
b ₃	ACD 固定,B 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
b ₄	BCD 固定,A 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
c ₁	AC 固定,BD 释放 U _Z ,ROTY	每 5 mm 沉降
c ₂	BD 固定,AC 释放 U _Z ,ROTY	每 5 mm 沉降
c ₃	AB 固定,CD 释放 U _Z ,ROTX	每 5 mm 沉降
c ₄	CD 固定,AB 释放 U _Z ,ROTX	每 5 mm 沉降
d ₁	A 固定,BCD 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
d ₂	B 固定,ACD 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
d ₃	C 固定,ABD 释放 U _Z	每 1 mm 沉降
d ₄	D 固定,ABC 释放 U _Z	每 1 mm 沉降

注:U_Z为 Z 向平动自由度;ROTX 为 X 向转动自由度;ROTY 为 Y 向转动自由度。

1.4 风荷载的模拟

考虑风荷载对输电铁塔、绝缘子串的作用,并且将静态风荷载、动态风荷载均视为静态风荷载进行考虑^[19],作用在铁塔高耸结构单位面积上风荷载及作用在绝缘子串上风荷载的计算式分别为:

$$W_s = \beta_s \mu_{sc} \mu_z \mu_r W_0 \tag{1}$$

$$W_c = \mu_z A_1 w_0 \tag{2}$$

其中,W_s为作用在高耸结构单位面积上的风荷载(N/m²);W_c为作用在绝缘子串上的风荷载;β_s为铁塔风荷载调整系数;μ_{sc}为风荷载体型系数(其中型钢为 1.3,其他由型钢组成的塔架为 1.3(1+η),η 为塔架背风面荷载降低系数);μ_z为风压高度变化系数;μ_r为重现期调整系数,一般高耸结构取为 1.0,重要的结构取为 1.1;W₀为基本风压(kN/m²);A₁为风压面积计算值(m²);w₀为风荷载标准值(kN/m²)。

导地线上单位水平风荷载是指水平风向与导地线轴线方向成角度 θ 时,在导地线上产生的与轴线方向成正交的单位长度上的风压,则垂直于导地线轴线的无冰时的单位水平风荷载 L_n 的计算式为:

$$L_n = W_0 D \alpha \beta_s \mu_{sc} \mu_z \mu_\theta \times 10^{-3} \tag{3}$$

其中,D 为导地线直径(mm);α 为风压不均匀系数;β_s为 110 kV 线路导地线风荷载调整系数;μ_{sc}为导地线体型系数(线径小于 17 mm 或覆冰时取 1.2;线径大于或等于 17 mm 时取 1.1);μ_θ=sin²θ 为风向与导地线轴线间的夹角引起的风压随风向的变化系数,本文取 θ=90°。各个系数按照《110~750 kV 架空输电线路设计技术规程》^[20]和《架空输电线路杆塔结构设计技术规定》^[21]相关规定进行选取。

2 铁塔塔基沉降仿真分析

对于多档输电线路而言,其塔基沉降程度和数量引起的动力响应不相同,考虑到铁塔设计时杆件承载力都留有一定裕度,本文假定杆件承载力超过临界值

的 120% 时,杆件发生破坏^[22]。因此本文重点对塔基沉降程度和各类沉降组合工况进行了研究,得出了各类塔基沉降组合工况下所受最大等效应力的关键杆件单元及其随沉降度变化的规律。

2.1 塔基不沉降

塔基不沉降约束条件下,固定铁塔塔基 A、B、C、D 4 个节点的所有自由度,仅受自重荷载及风荷载的作用。其中,塔线体系所受 Y 向弯曲应力如图 4 所示,图中 STEP 表示载荷步长,SUB 表示子步,TIME 表示时间,SDIR2(NOAVG)表示弯曲应力,DMX 表示最大位移,SMN 表示弯曲应力最小值,SMX 表示弯曲应力最大值。

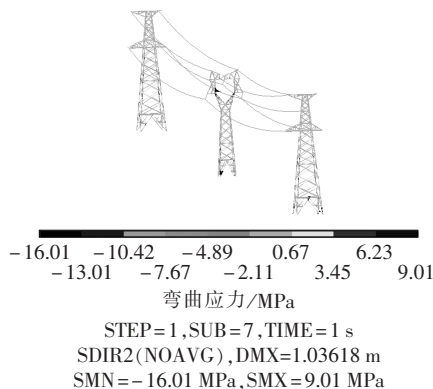


图 4 Y 向弯曲应力

Fig.4 Y-directional bending stress

仿真结果表明:在自重荷载及风荷载的作用下,当铁塔塔基不沉降时,铁塔杆件所受最大轴向应力为 24.87 MPa,Y 向最大弯曲应力为 16.01 MPa,最大等效应力为 77.34 MPa。

2.2 单个塔基沉降

单个塔基沉降约束条件下,固定不沉降塔基的所有自由度和沉降塔基的转动自由度,对相应沉降塔腿与塔基连接节点施加 Z 向的位移,位移按 1 mm 进行加载,具体见图 5。通过仿真得出铁塔关键杆件承受的最大等效应力随沉降值的变化曲线如图 6 所示。

仿真结果表明:当单个塔基发生沉降时,铁塔关键杆件所受最大等效应力与沉降值呈线性关系;当沉降值不超过 10 mm 时,铁塔关键杆件所受最大等效应力已超过了临界值 284 MPa;由于 b₂ 和 b₃ 工况下塔基沉降处于迎风侧,故塔基沉降时关键杆件所

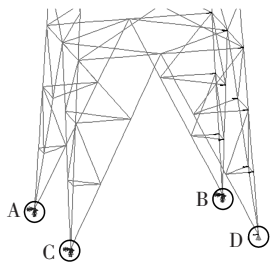


图 5 单个塔基沉降约束

Fig.5 Constraints of mono-foundation settlement

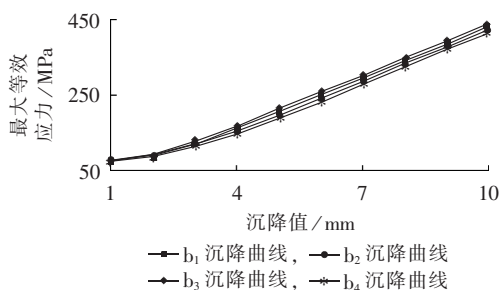


图 6 最大等效应力随沉降值的变化曲线

Fig.6 Curve of maximum equivalent stress vs. settlement

受最大等效应力比 b₁ 和 b₄ 工况下塔基沉降时高出约 1~5 MPa;在 b₁、b₂、b₃、b₄ 沉降工况下,得到其关键杆件位置分别为塔身底部横材与塔腿主材相链接的 1836 号、1828 号、1844 号、1852 号单元,具体见图 7。

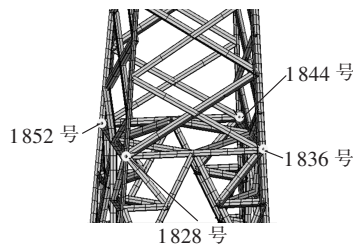


图 7 单个塔基沉降关键杆件单元

Fig.7 Key member bars of mono-foundation settlement

2.3 2 个塔基沉降

2 个塔基沉降分横向和纵向沉降,其具体约束条件为:固定不沉降塔基的所有自由度,释放沉降塔基的转动自由度,对沉降塔腿与塔基连接节点施加 Z 向的位移,位移按 5 mm 进行加载,仿真得出塔基横向和纵向沉降情况下关键杆件承受的最大等效应力随沉降值的变化曲线,见图 8。

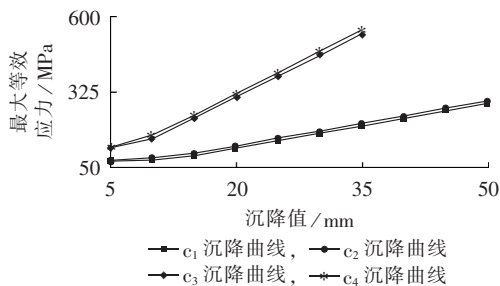


图 8 最大等效应力随沉降值的变化曲线

Fig.8 Curve of maximum equivalent stress vs. settlement

仿真结果表明:当 2 个塔基发生沉降时,铁塔关键杆件所受最大等效应力与沉降值近似呈线性关系;当沉降值超过 10 mm 时,随着沉降值的增加,纵向沉降关键杆件所受最大等效应力的增加速率约为横向沉降的 2 倍。对于横向沉降而言,当沉降值不超过 10 mm 时,关键杆件所受最大等效应力基本不变;

而当沉降值接近 50 mm 时,关键杆件承受的最大等效应力接近临界值。对于纵向沉降而言,当沉降值接近 15 mm 时,关键杆件承受最大等效应力已经超过临界值。由此可见,铁塔发生纵向沉降比发生横向沉降更容易使关键杆件发生屈服而损坏。在 c_1 和 c_2 沉降工况下,得到所受最大等效应力关键杆件分别为与塔基 A 和塔基 D 相连接塔腿斜材的 1809 号和 1793 号单元;在 c_3 和 c_4 沉降工况下,所受最大等效应力关键杆件分别为与塔基 B 和塔基 C 相连接塔腿斜材的 1801 号和 1817 号单元,具体见图 9。

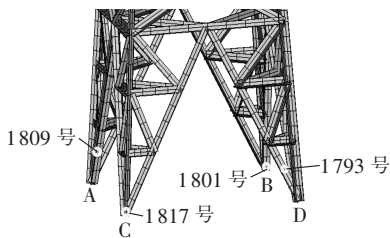


图 9 2 个塔基沉降关键杆件单元

Fig.9 Key member bars of dual-foundation settlement

2.4 3 个塔基沉降

3 个塔基沉降约束条件下,固定不沉降塔基的所有自由度和沉降塔基的转动自由度,对相应的沉降塔腿与塔基连接节点施加 Z 向的位移,位移按 1 mm 进行加载,仿真得出关键杆件承受的最大等效应力随沉降值的变化曲线如图 10 所示。

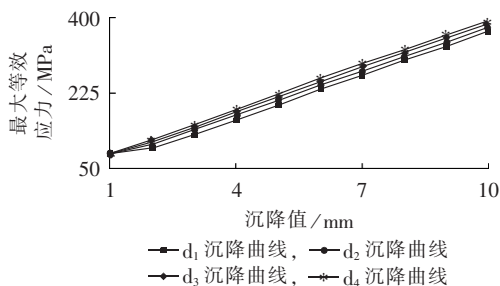


图 10 最大等效应力随沉降值的变化曲线

Fig.10 Curve of maximum equivalent stress vs. settlement

仿真结果表明:当 3 个塔基发生沉降时,其关键杆件超过屈服临界值时的沉降值不超过 10 mm。图 11 为 d_3 沉降工况下,沉降值接近 15 mm 时,与辅材相连接塔腿上主材 1841 号关键杆件单元因所受最大等效应力远超出其屈服临界值而发生变形。在 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 沉降工况下,得到所受最大等效应力关键杆件分别为辅材与塔腿主材相连接的 1833 号、1825 号、1841 号、1849 号单元,具体见图 12。

3 铁塔塔基沉降现场试验

搭建铁塔塔基沉降现场试验平台,平台主要由光纤应变(-500~500 MPa)、温度传感器(-20~120℃)、

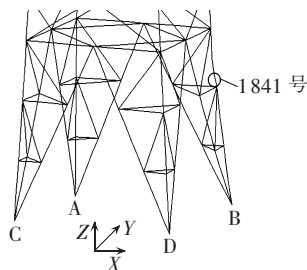


图 11 d_3 塔基沉降工况

Fig.11 Condition of d_3 -foundation settlement

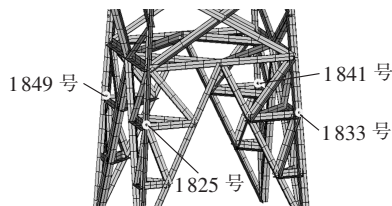


图 12 3 个塔基沉降关键杆件单元

Fig.12 Key member bars of tri-foundation settlement

光纤光栅解调仪、五要素气象传感器、超薄型液压千斤顶和 3M 黑色胶泥组成。塔基沉降模拟通过放置在各个塔基与塔腿底板之间凹槽内的超薄型液压千斤顶顶起底板来实现位移的施加,光纤应变传感器焊接在铁塔关键杆件单元上,测试前需对其进行初始标定调零,最后通过光纤光栅解调仪解调并显示出由塔基沉降引起的应力值,具体塔基沉降测试示意图见图 13。 c_1 沉降工况下,光纤应变传感器焊接在与塔基 A 相连接的塔腿主材 1756 号和斜材 1809 号杆件单元上,其中 3M 黑色胶泥用来进一步保护和固定应变片两端与光纤联接处,光纤温度传感器主要是对应变进行补偿,五要素气象传感器监测现场环境参数(温度、湿度、气压以及风速、风向),记录并整理不同塔基沉降组合工况下的数据,具体如图 14 所示。现场测试环境参数:温度为 7℃,相对湿度为 47%,气压为 974 hPa,平均风速为 1 m/s,风速对铁塔造成的影响可以忽略不计。

测试结果表明各类塔基沉降组合工况下,光纤应变传感器测试值与仿真值的最大绝对误差分别为:单个塔基沉降时为 30 MPa,2 个塔基横向沉降时

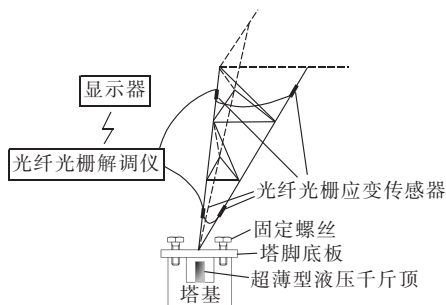


图 13 铁塔沉降测试示意图

Fig.13 Schematic diagram of tower settlement measuring

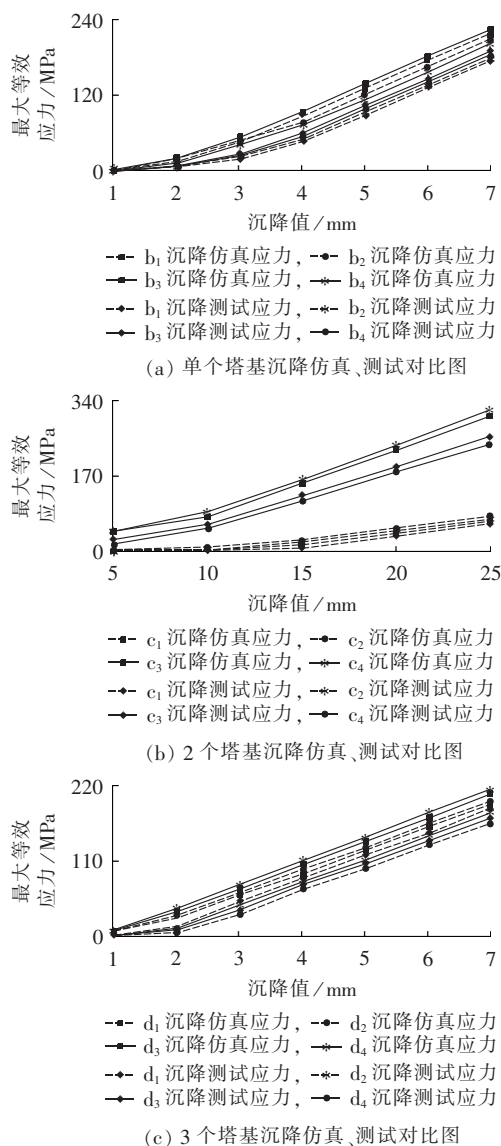


图 14 仿真和测试结果

Fig.14 Simulative and experimental results

为 8 MPa,2 个塔基纵向沉降时为 35 MPa,3 个塔基沉降时为 30 MPa;当发生单个或 3 个塔基沉降时,除承受最大等效应力的关键杆件相同外,由沉降引起的关键杆件承受的最大等效应力的增加速率也基本相同,均明显高于 2 个塔基沉降工况,并且沉降值不超过 10 mm 时关键杆件所受最大等效应力均已超过了屈服临界值,这就很容易造成关键杆件的破坏和变形,长期运行在该工况下可能引起铁塔的局部结构出现失稳,严重时可能会引起倒塔;当 2 个塔基发生沉降且沉降值超过 10 mm 时,随着沉降值的增加,纵向沉降关键杆件所受最大等效应力的增加速率约为横向沉降的 2 倍。

4 结论

本文通过对 ZM-110 kV 三塔两档-塔线体系平台有限元模型在不同塔基沉降组合下进行仿真和测

试验验证,得出以下结论。

a. 当铁塔塔基沉降时,其易故障点主要集中在塔腿及塔腿与塔身连接处的主材或斜材上;随着沉降值增加,其关键杆件承受的最大等效应力近似呈线性增加。

b. 各种沉降组合工况下,发生单个或 3 个塔基沉降时,铁塔因关键杆件所受最大等效应力最先超过屈服临界值而处于危险状态。

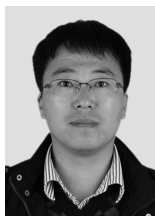
c. 本文采用的铁塔沉降试验方法可以为输电线路铁塔应力的在线监测提供参考。

参考文献:

- [1] 黄新波. 输电线路在线监测与故障诊断[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2014:361-362.
- [2] ALBERMANI F,KITIPORNCHAI S. Failure ANSYS of transmission towers[J]. Engineering Failure Analysis,2009,10(16):1922-1930.
- [3] MOON B W,PARK J H,LEE S K,et al. Performance evaluation of a transmission tower by substructure test[J]. Journal of Constructional Steel Research,2009,65(1):1-11.
- [4] 李淮海,王璋奇,李恒遥,等. 适应基础沉降的高度可调铁塔结构设计及试验研究[J]. 电网技术,2007,31(19):83-86.
LI Huaihai,WANG Zhangqi,LI Hengyao,et al. Structural design and experimental investigation of transmission tower with adjustable height in adaptation to uniform foundation settlement[J]. Power System Technology,2007,31(19):83-86.
- [5] 张建强,杨昆,王予东,等. 煤矿采空区地段高压输电线路铁塔地基处理的研究[J]. 电网技术,2006,30(2):30-34.
ZHANG Jianqiang,YANG Kun,WANG Yudong,et al. Research on foundation treatment of high voltage transmission towers erected above goaf of coal mine[J]. Power System Technology,2006,30(2):30-34.
- [6] 熊卫红,刘先珊,李正良,等. 500 kV 输电线路基础沉降铁塔的可靠度分析[J]. 电力建设,2015,36(2):41-47.
XIONG Weihong,LIU Xianshan,LI Zhengliang,et al. Reliability analysis of the 500 kV HV transmission steel tower considering the foundation settlement[J]. Electric Power Construction,2015,36(2):41-47.
- [7] WANG Z Q,JIANG W Q. The influence of tower foundation settlement on the sag and stress of overhead lines[C]//International Conference on Energy and Environment Technology. Guangxi,China:IEEE,2009:340-343.
- [8] YANG F,YANG J,HAN J,et al. Study on the limited values of foundation deformation for a typical UHV transmission tower[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2010,25(4):2752-2758.
- [9] 李清华,杨靖波. 特高压输电杆塔动力特性分析快速建模研究[J]. 电力建设,2006,27(5):5-7.
LI Qinghua,YANG Jingbo. Study on rapid modeling of dynamic characteristic analysis for EHV transmission towers[J]. Electric Power Construction,2006,27(5):5-7.
- [10] 周柯宏,张焯,舒佳,等. 输电线路杆塔倾斜度在线监测系统[J]. 广东电力,2013,26(7):57-60.
ZHOU Kehong,ZHANG Ye,SHU Jia,et al. Online monitoring system for inclination of power transmission line tower[J]. Guangdong Electric Power,2013,26(7):57-60.
- [11] 范寒柏,谢汉华. 铁塔倾斜实时监测系统设计与应用[J]. 电力

- 系统通信,2011,32(7):57-60.
- FAN Hanbai,XIE Hanhua. Design and application of real-time monitoring system for tower inclination[J]. Power System Communication,2011,32(7):57-60.
- [12] 刘艳,胡毅,王力农,等. 高分辨率SAR卫星监测特高压输电铁塔形变[J]. 高电压技术,2009,35(9):2076-2079.
- LIU Yan,HU Yi,WANG Linong,et al. Surveillance for 1000 kV transmission tower deformation using high-resolution SAR satellite[J]. High Voltage Engineering,2009,35(9):2076-2079.
- [13] 黄新波,廖明进,徐冠华,等. 采用光纤光栅传感器的输电线路铁塔应力监测方法[J]. 电力自动化设备,2016,36(4):68-72.
- HUANG Xinbo,LIAO Mingjin,XU Guanhua,et al. Stress monitoring method applying FBG sensor for transmission line towers[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(4):68-72.
- [14] 吉祥科,张轩,万书亭,等. 基于光纤光栅传感器的输变电铁塔微观应力应变研究[J]. 云南电力技术,2016,44(2):36-38.
- GU Xiangke,ZHANG Xuan,WAN Shuting,et al. Research on transmission tower of microscopic stress and strain based on FBG sensor[J]. Yunnan Electric Power,2016,44(2):36-38.
- [15] CAO M L, QIU X J. Stress and stability analysis of a cooling tower by ANSYS[J]. Advanced Materials Research,2014,919-921:222-225.
- [16] WANG J,LIU Z X,WU Z Q,et al. Research on on-line monitoring of transmission tower stress[J]. Applied Mechanics & Materials,2014,668-669:948-952.
- [17] 黄新波,徐冠华,肖渊,等. 输电线路档距组合对覆冰导线脱冰跳跃的影响[J]. 高电压技术,2015,41(7):2356-2361.
- HUANG Xinbo,XU Guanhua,XIAO Yuan,et al. Impact of transmission line span combination on ice-shedding of iced conductor[J]. High Voltage Engineering,2015,41(7):2356-2361.
- [18] 徐冠华,黄新波,肖渊,等. 覆冰输电线路铁塔非线性屈曲分析[J]. 广东电力,2015,28(8):93-96.
- XU Guanhua,HUANG Xinbo,XIAO Yuan,et al. Analysis on nonlinear buckling of icing power transmission line tower[J]. Guangdong Electric Power,2015,28(8):93-96.
- [19] WEI C,MA B,SU T. Research on the wind-induced vibration coefficient of transmission tower-line system[J]. Physics Procedia,2012,24:149-154.
- [20] 中华人民共和国建设部. 110~750 kV 架空输电线路设计规范:GB 50545—2010[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [21] 中华人民共和国国家能源局. 110~750 kV 架空输电线路杆塔结构设计技术规定:DL/T 5154—2012[S]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [22] 杨风利,杨靖波,韩军科,等. 煤矿采空区基础变形特高压输电塔的承载力计算[J]. 中国电机工程学报,2009,29(1):100-106.
- YANG Fengli,YANG Jingbo,HAN Junke,et al. Bearing capacity computation of UHV transmission tower with foundation deformation above coal mine[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(1):100-106.

作者简介:



黄新波

黄新波(1975—),男,山东海阳人,教授,博士,从事智能电网输变电设备在线监测理论与关键技术、无线网络传感器等方面的研究(E-mail:huangxb1975@163.com);

陈子良(1990—),男,湖南浏阳人,硕士研究生,从事智能电网输变电设备在线监测理论与关键技术方面的研究(E-mail:527087787@qq.com);

赵 隆(1987—),男,新疆石河子人,博士研究生,研究方向为输电线路在线监测与故障诊断(E-mail:122810588@qq.com);

朱永灿(1986—),男,河南濮阳人,博士研究生,研究方向为输电线路在线监测与故障诊断(E-mail:286844943@qq.com);

司伟杰(1993—),男,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为输电线路在线监测与故障诊断(E-mail:1072774534@qq.com)。

Stress simulation and experiment for tower foundation settlement of 110 kV transmission line

HUANG Xinbo¹,CHEN Ziliang¹,ZHAO Long^{1,2},ZHU Yongcan²,XU Guanhua¹,SI Weijie¹

(1. College of Electronics and Information,Xi'an Polytechnic University,Xi'an 710048,China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering,Xidian University,Xi'an 710071,China)

Abstract: A finite element analytical model of 110 kV tower-line system with three towers and two spans is established in ANSYS for analyzing the variation law of the maximum equivalent stress undertaken by the key member bars of tower for different tower foundation settlement conditions. Based on the tower foundation settlement experiment platform for transmission line,the fiber grating demodulator is applied to measure the stress for verifying the simulative results. Results show that,the maximum equivalent stress undertaken by key member bars increases approximately linearly along with the increase of tower foundation settlement;among different tower foundation settlement conditions,the stress undertaken by key member bar exceeds the yield stress foremost in mono-foundation or tri-foundation settlement;under same external load,the displacement limit of lateral settlement is 50 mm and that of longitudinal settlement is 15mm for mono-foundation settlement or 10 mm for tri-foundation settlement.

Key words: transmission line; tower foundation settlement; ANSYS; maximum equivalent stress; settlement experiment; strain monitoring