

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.03.009

动态地表变形对输电铁塔内力和变形的影响

袁广林¹ 陈建稳¹ 杨庚宇² 刘 涛³ 郭广礼⁴

(1. 中国矿业大学建筑工程学院 ,江苏 徐州 221008 ; 2. 华北科技学院土木工程系 ,北京 101601 ;
3. 潍坊市建筑设计研究院有限责任公司 ,山东 潍坊 261200 ;
4. 江苏省资源环境信息工程重点实验室(中国矿业大学) ,江苏 徐州 221008)

摘要 :以某塌陷区上典型输电铁塔为背景 ,采用数值分析方法 ,分析了动态地表变形(水平变形和竖向变形)对输电铁塔结构附加内力和变形的影响规律 .结果表明 ,输电铁塔在从盆地边部到中部的过程中 ,首先经历正曲率与拉伸作用 ,经过拐点后 ,又经历负曲率与压缩作用 ,输电铁塔底部杆件的轴力变化较上部杆件变化幅度大 ,随着高度增加 ,其轴力变化值越来越小 ;下部杆件主要受地表水平变形(拉伸、压缩)的影响 ,而上部杆件受竖向变形(倾斜)影响较大 ,输电铁塔支座的最大垂直位移差值出现在盆地中部与边部之间的 1/2 处 ,支座最大水平位移差值出现在盆地中部与边部之间的 1/4 与 3/4 处 .

关键词 :动态地表变形 ;输电铁塔 ;内力 ;变形

中图分类号 :TM753 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)03-0284-06

近年来 ,随着煤矿塌陷区输电线路的大量建设 ,人们对煤矿塌陷区的输电铁塔进行了初步研究 ,并取得了一些成果^[1-8] .由于煤矿开采过程中地表的变形是一个复杂的动态变形过程 ,输电铁塔在地表移动过程中所处的不同位置 ,对输电铁塔的内力和变形影响很大 .因此 ,研究动态地表变形对输电铁塔内力和变形的影响规律 ,对塌陷区输电铁塔的建设和安全性评估具有重要的意义 .

本文以某煤矿塌陷区上典型输电铁塔为背景 ,采用数值分析方法 ,分析了动态地表变形(水平变形和竖向变形)对输电铁塔结构内力和变形的影响规律 ,可为处于塌陷区任意位置的输电铁塔结构的设计和安全性评估提供理论依据 .

1 采动区地表动态移动变形理论及研究方法

1.1 动态地表变形规律曲线

长期以来 ,人们对地下开采时地表移动过程进行了系统观测和研究 ,获得了地表移动变形规律 ,并给出了其预计方法^[9-12] .其中常用的是苏联的三角函数预计方法^[9] .根据某矿区所建的输电线路的地质灾害危险评估报告 ,确定了有关参数 ,获得了整个沉陷过程的下沉和水平移动曲线 ,见图 1 .

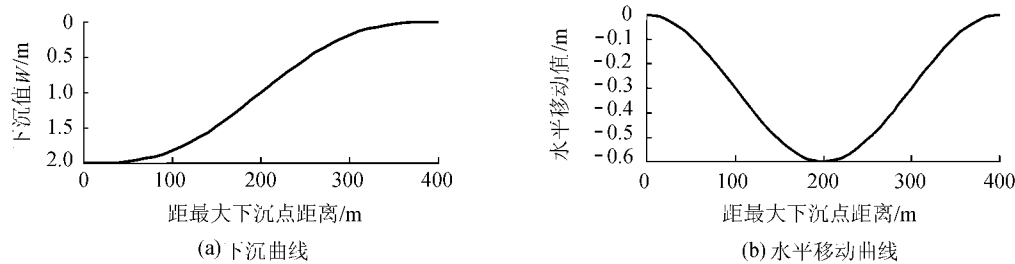


图 1 地表变形曲线

Fig. 1 Curves of ground surface deformation

收稿日期 :2009-05-15
基金项目 :国家自然科学基金(50004008)
作者简介 :袁广林(1965 —)男 ,河南洛阳人 ,教授 ,博士 ,主要从事煤矿塌陷区建筑物保护研究 . E-mail :ygl65@cumt.edu.cn

图 1 所示的下沉和水平移动曲线具有以下特点 (a)最大下沉点和边界点的水平变形为零 (b)下沉曲线的拐点大致位于最大下沉点和盆地边界点之间的中央位置处,即距最大下沉点 200 m 处,此处曲率为零,水平移动最大,倾斜最大,下沉值近似为最大下沉值的一半 (c)距最大下沉点 0 ~ 200 m 区段,建筑物受地表非均匀沉降和压缩的作用(压缩区),距最大下沉点 200 ~ 400 m 区段,建筑物受地表非均匀沉降和拉伸的作用(拉伸区)。

1.2 计算假定

输电铁塔处于地表,下部进行煤层开采时,输电铁塔将首先处于下沉盆地边缘,然后慢慢移动至下沉盆地中部。如果假设下沉盆地已形成,取下沉盆地作为静止参照物,输电铁塔从下沉区边缘向最大下沉点移动(图 2),此过程与开采过程中输电铁塔的内力及变形是一致的。采取此种方法对动态开采中的输电铁塔进行研究,其基本思想是首先得到输电铁塔基础在位移中的坐标值,然后根据坐标值计算出基础的水平和竖向位移,再施加到基础上去。输电塔设计中的工况比较多,本文采用正常运行工况进行输电铁塔分析。

计算基于以下假设 (a)输电铁塔基础不发生破坏或者较大的变形,即地表变形直接通过输电铁塔基础作用于输电铁塔支座上 (b)在沉陷变形过程中,节点不会先于杆件发生破坏 (c)采煤方向与 x 轴或者 y 轴平行,不考虑成角度的情况,即输电铁塔的两侧基础位移分别相同。

图 3 为 ANSYS 分析时塔身上的位移测量点,应力(轴力)测量点见图 4,为完整标示测量点的空间位置,图 3、图 4 采用方框做辅助图,方框表示相应测量点所在高度处塔架的平面投影。

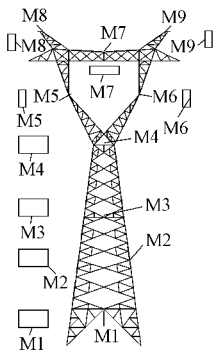


图 3 位移测量点

Fig. 3 Measuring points for displacement

1.3 开采工况

图 5 给出了开采方向与输电铁塔位置关系,开采分别沿垂直于线路方向与沿线路方向进行,图中的数字表示 ANSYS 模型中的支座节点编号。开采过程中,靠近开采方向 2 个基础首先受地表变形的影响,然后是远

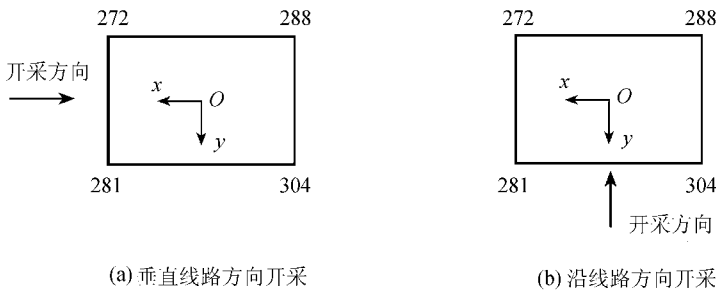


图 5 开采方位示意图
Fig. 5 Directions for mining

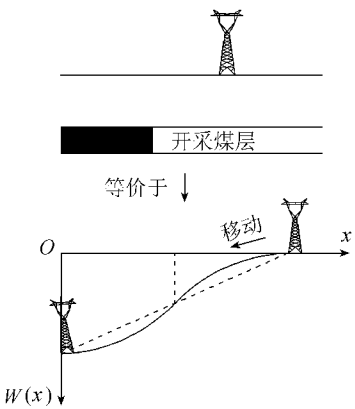


图 2 输电铁塔移动示意图
Fig. 2 Movement of transmission tower

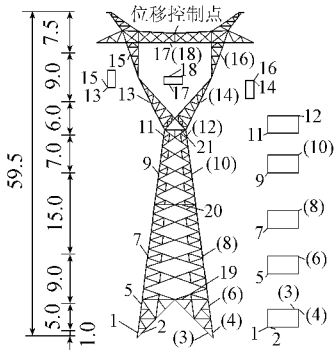


图 4 应力(轴力)测量点(单位: m)

Fig. 4 Measuring points for stress(axial force)(units : m)

离开采方向 2 个基础受影响,以模拟采动过程中对于建筑物的影响.其横坐标均代表靠近开采方向支座距最大下沉点的距离,参见图 2.

2 数值计算方法

以某线路中的 KT16 直线跨越塔为计算实例建立模型,呼高 54 m,总高度为 59.5 m,宽侧根开 13.660 m,窄侧根开 9.379 m.KT16 直线跨越塔由各种等边角钢组成,塔腿部主材截面为 Q345 等边角钢,型号为 $\angle 200 \times 14$.将输电铁塔杆件的中心轴线交点连接处作为模型节点,两节点间的角钢简化为模型单元.

采用 ANSYS 程序进行数值分析,运用自底向上的建模方式,采用梁桁混合单元模型模拟输电铁塔结构,有限元分析模型及单元相关参数选择见文献[8].

3 计算结果分析

3.1 动态地表水平变形对输电铁塔的影响规律

3.1.1 垂直线路方向开采(沿长向开采)时地表水平变形对杆件轴力的影响

选取位移及轴力变化显著的测量点及相应杆件作为控制点和控制杆件.图 6 为沿垂直于线路方向开采时地表水平变形引起的控制杆件轴力变化,图 6(a)为支座的水平位移值,其编号意义见图 5,可以看出其加载顺序有先后,同一时刻支座位移有差值.两侧基础之间的距离首先增大,相当于基础受拉伸作用,极值点后由拉伸转变为压缩,再经过压缩极值点,直到达到盆地中间成为稳定状态.

从图 6(b)可发现各控制点的位移几乎与地表的水平位移值相同,因为仅考虑地表水平变形的影响,同时正常运行工况下没有风荷载等水平荷载的存在,所以没有发生较大的顶部位移.

图 6(c)~(e)为动态变形中部分主要杆件的轴力随位置的变化,其中,正号表示受拉,负号受压,测量点编号见图 4.可以看出,杆件 1 号与 5 号、4 号与 6 号变化差别不大,因为分别是处于同一节内(最下部)的主材.2 号与 3 号杆件和其他杆件受力符号不同,因为两者是主斜材,在动态开采水平变形下,其轴力变化也比较大,变化幅度基本与同一高度处的主材类似,曲线形状也基本相同.底部杆件的轴力变化较上部杆件变化幅度大,随着高度增加,其轴力变化值越来越小,到一定高度后几乎不再变化.最大值或最小值一般出现在距最大下沉点 300 m 和 100 m 处,该处为地表变形曲线斜率最大的 2 个点,即地表水平变形差值最大的点.

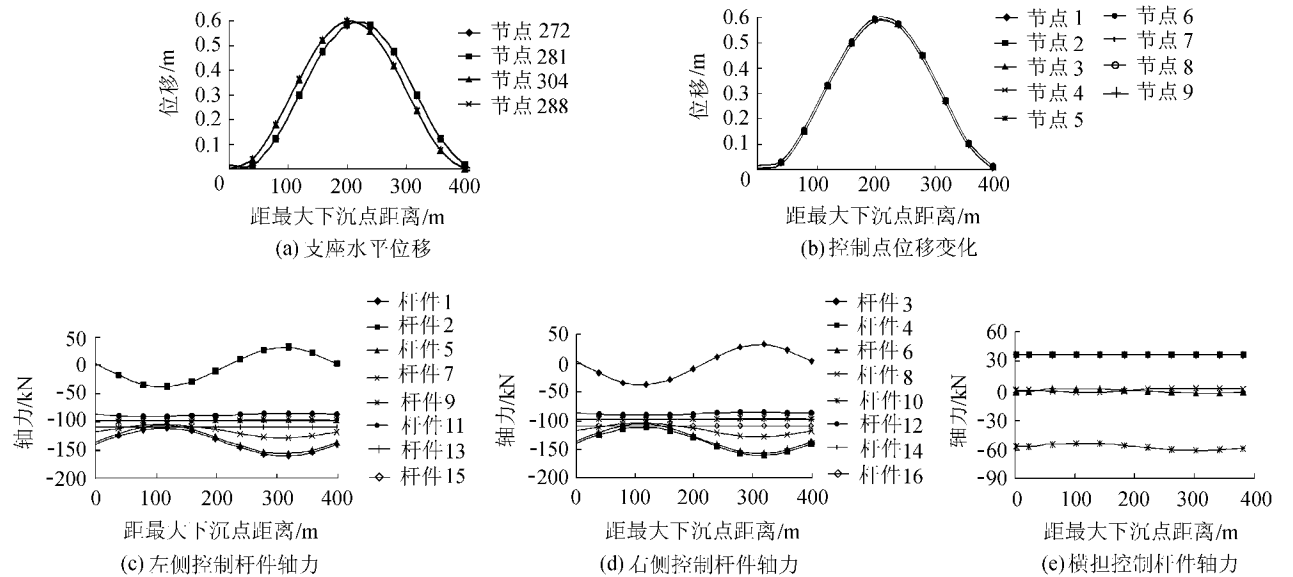


图 6 垂直线路开采时地表水平变形对输电铁塔的影响

Fig. 6 Influence of dynamic ground horizontal deformation under vertical mining on transmission tower

3.1.2 平行线路方向开采时地表水平变形对杆件轴力的影响

图 7 为沿平行于线路方向开采时地表水平变形引起的控制杆件轴力变化,可看出沿线路方向开采时,水平变形对杆件轴力影响曲线与垂直线路开采时基本相同,杆件轴力均在距最大下沉点 300 m 和 100 m 处出现

最大值或最小值,横隔控制杆件 21 及控制杆件 2、3 在 2 种开采方向下受水平变形的影响不同,主要是不同的开采方向对于不同的杆件影响不同。

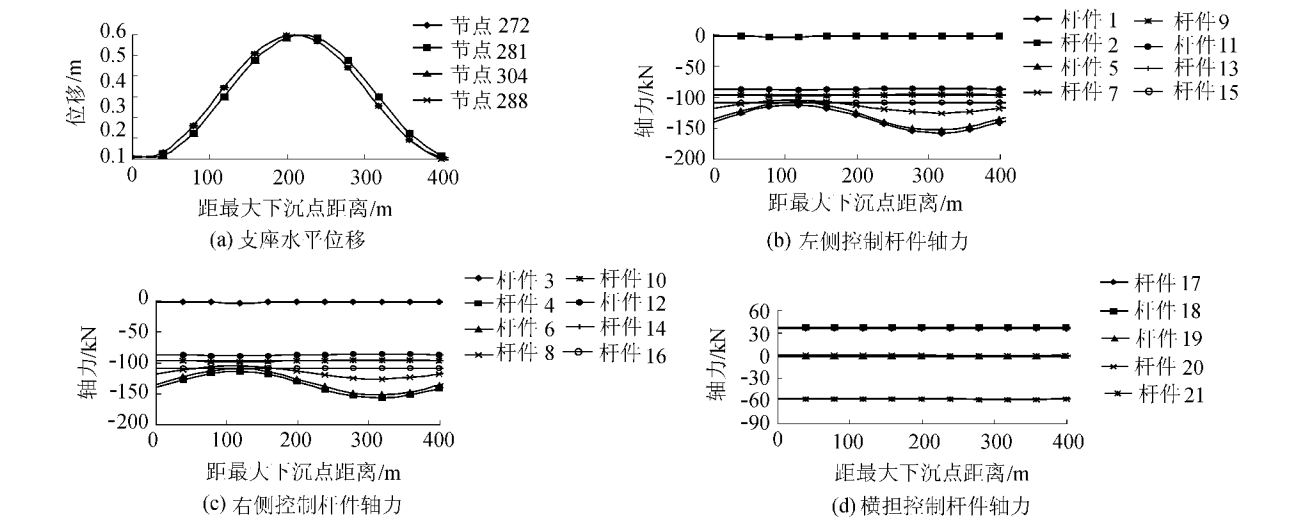


图 7 平行线路开采时地表水平变形对输电铁塔的影响

Fig. 7 Influence of dynamic ground horizontal deformation under parallel mining on transmission tower

3.2 动态地表竖向变形对输电铁塔的影响规律

3.2.1 垂直线路方向开采(沿长向开采)时地表竖向变形对杆件轴力的影响

图 8 为垂直于线路方向开采时支座的竖向变形对杆件轴力影响的计算结果,图 8(a)为沿垂直于线路方向开采时支座的竖向位移值,在动态地表竖向变形影响下,输电铁塔两侧支座两两共同变形,相当于受倾斜变形的影响,两侧支座的竖向距离差值首先增大,在拐点处达到最大,然后慢慢减少,到达盆地中间时变为零,即支座处于同一高度,但此时电线离地面的安全距离减小。

图 8(c)~(e)为沿垂直于线路方向开采竖向变形引起的控制杆件轴力变化,可见动态地表竖向变形与水平变形下的轴力变化不同,1 号与 2 号杆件为处于同一高度的主材和斜材,但 1 号主材的变化幅度比较大,而 2 号斜材几乎没有太大变化。随高度增加,除横隔 17~21 杆件外,各杆件轴力均有变化,其变化曲线相类似,极值点均出现在距最大下沉点 200 m 处。杆件内力变化曲线变化幅度不大,说明倾斜对于输电铁塔有影响,但影响有限。

从下沉曲线(图 8(a))可看出距最大下沉点 200 m 处为地面倾斜最大的点,图 8(b)可以看出在该处的顶部位移值最大,要注意该点的位移控制。

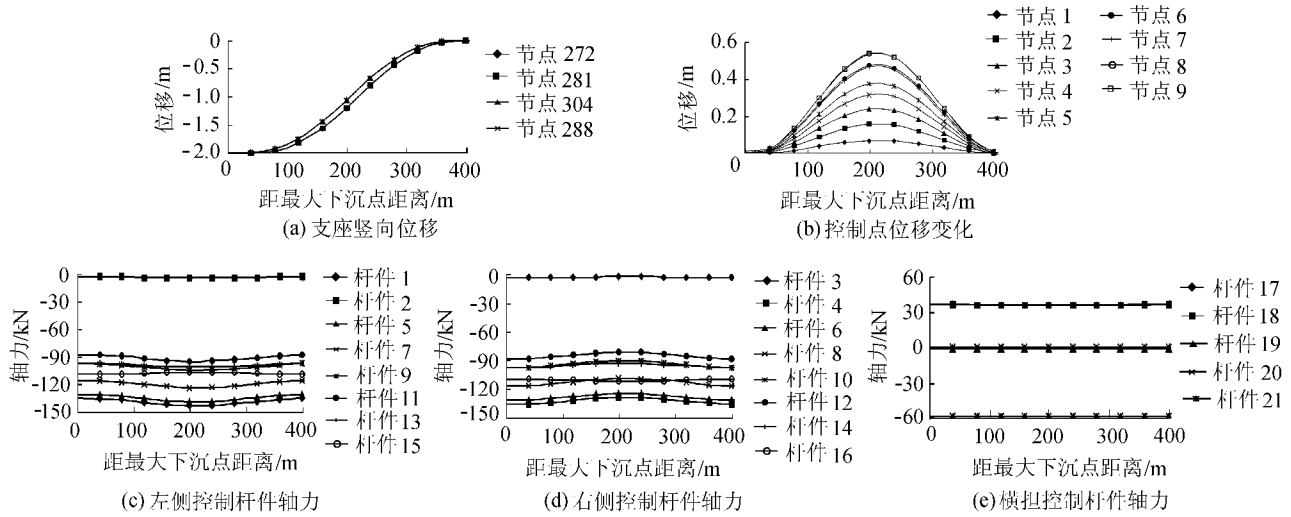


图 8 垂直线路开采时地表竖向变形对输电铁塔的影响

Fig. 8 Influence of dynamic ground vertical deformation under vertical mining on transmission tower

3.2.2 平行线路方向开采时地表竖向变形对杆件轴力的影响

图9为平行线路开采时地表竖向变形对输电铁塔影响的计算结果.平行线路开采时竖向变形影响与垂直线路开采时基本相似,不再讨论.

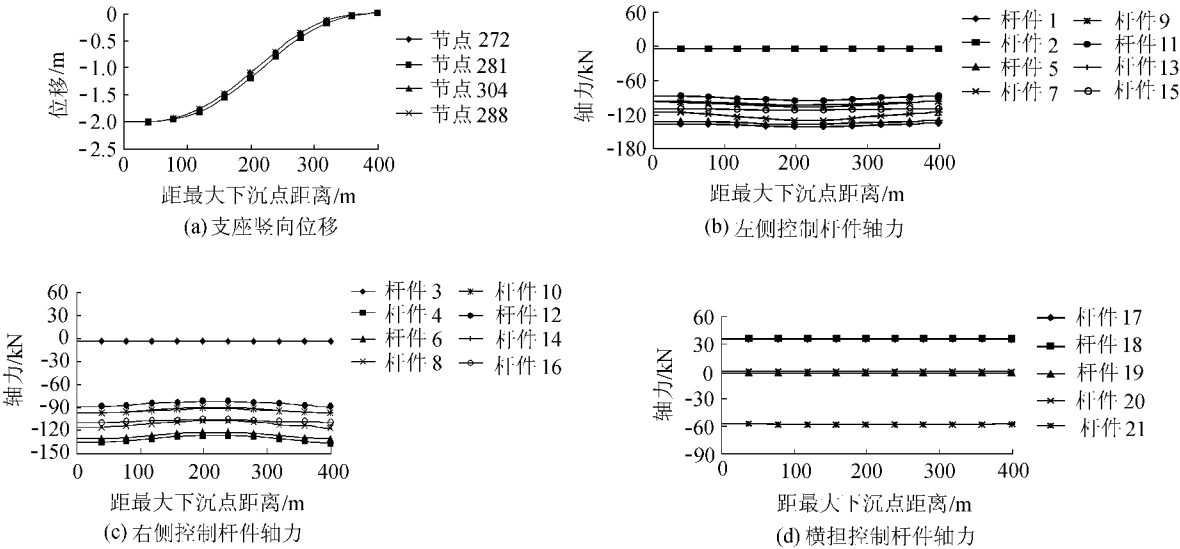


图9 平行线路开采时地表竖向变形对输电铁塔的影响

Fig. 9 Influence of dynamic ground vertical deformation under parallel mining on transmission tower

4 结 论

- a. 输电铁塔在从盆地边部到中部过程中,首先经历正曲率与拉伸作用,经过拐点后,又经历负曲率与压缩作用.
- b. 输电铁塔底部杆件的轴力变化较上部杆件变化幅度大,随着高度增加,其轴力变化值越来越小;倾斜对于输电铁塔有影响,但是杆件内力曲线变化幅度不大.
- c. 杆件内力变化曲线为地表水平与地表竖向变形下曲线的叠加,下部杆件主要受地表水平变形影响,而上部杆件主要受地表竖向变形影响,即不同部位的杆件受变形的影响是不同的,下部杆件主要受地表水平变形(拉伸、压缩)的影响,而上部杆件受竖向变形(倾斜)影响较大.
- d. 输电铁塔支座的最大垂直位移差值出现在盆地中部与边部之间的1/2处,支座最大水平位移差值出现盆地中部与边部之间的1/4与3/4处.

参考文献:

[1] 周国铨,崔继宪,刘广容,等.建筑物下采煤[M].北京:煤炭工业出版社,1983:121-124.

[2] 赵洪才.高压输电铁塔下采煤可行性预测及实践[J].山东煤炭科技,1989(4):53-60.(ZHAO Hong-cai. The projections of feasibility and practice of mining under high voltage transmission tower[J]. Shandong Coal Science and Technology, 1989(4): 53-60. (in Chinese))

[3] 史振华.采空区输电线路直线自立塔基础沉降及处理方案[J].山西电力技术,1997,17(3):18-20.(SHI Zhen-hua. Subsidence transmission line tower in a straight line basis for self-reliance and settlement programs to deal with[J]. Shanxi Electric Power, 1997, 17(3): 18-20. (in Chinese))

[4] 张联军,王宇伟.高压输电铁塔下采煤技术研究[J].河北煤炭,2004(4):12-13.(ZHANG Lian-jun, WANG Yu-wei. Study on mining under high voltage transmission tower[J]. Hebei Coal, 2004(4): 12-13. (in Chinese))

[5] 孙俊华.煤矿采空区线路设计技术[J].山西电力,2004(3):13-14.(SUN Jun-hua. Experience and measure for design the transmission line in empty coal mine[J]. Shanxi Electric Power, 2004(3): 13-14. (in Chinese))

[6] 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 Jian-qiang, YANG Kun, WANG Yu-dong, 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. (in Chinese))

[7] 李逢春, 郭广礼, 邓喀中. 开采沉陷对架空输电线路影响预测方法及其应用[J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(2):18-20.(LI Feng-chun, GUO Guang-li, DENG Ka-zhong. Prediction method for influence of mining subsidence on overhead power transmission line and its application[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2002, 29(2):18-20.(in Chinese))

[8] 刘涛. 采动区自立式输电铁塔破坏机理及抗变形能力研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.

[9] 何国清, 杨伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991, 42-47.

[10] 徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999, 71-74.

[11] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.

[12] 王金庄, 邢安仕, 吴立新. 矿山开采沉陷及其损害防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995, 95-101.

Influence of dynamic ground deformation on internal force and structural deformation of transmission towers

YUAN Guang-lin¹, CHEN Jian-wen¹, YANG Geng-yu², LIU Tao³, GUO Guang-li⁴

- (1. School of Architecture and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China ;
2. Department of Civil Engineering, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China ;
3. Weifang Institute of Architectural Design Co., Ltd., Weifang 261200, China ;
4. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract : A typical transmission tower in a subsidence area was numerically analyzed. The influence of dynamic ground deformation(horizontal and vertical deformation) on the additional internal forces and structural deformation of the transmission tower was studied. The results indicate that , during its movement from the edge to the center of the basin , the transmission tower experiences two processes divided by a inflection point. One is positive curvature and extension deformation. The other is negative curvature and compression deformation. The axial forces of bars at the bottom of the transmission tower have larger variation than those of the upper bars of the tower. With the increase of altitude , the variation of the axial forces of the bars decreases. The lower bars are mainly influenced by horizontal deformations (tension and compression deformations) of the ground surface , and the upper ones are dominated by vertical deformations (declining deformation). The maximum vertical displacement difference of the supports of the transmission tower appears at the midpoint between the center and the edge of the basin , and the maximum horizontal displacement difference of the supports appears at points one fourth and three fourths the distance between the center and the edge of the basin .

Key words : dynamic ground deformation ; transmission tower ; internal force ; deformation