

Study on the Influence of Mining-Induced Surface Horizontal Deformation on Tower Barrel of Large Wind Motor

Jun Feng^{1,2}, Jie Song¹, Shenghui Hou¹

¹Shanxi Province Coal Geology 115 Prospecting Institute, Datong Shanxi

²School of Environment and Survey and Mapping, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu
Email: 784161928@qq.com

Received: Mar. 14th, 2019; accepted: Apr. 3rd, 2019; published: Apr. 10th, 2019

Abstract

Based on the wind turbine tower silo above the operation of the coal mining face as a prototype, the ANSYS numerical simulation software was applied to analyze and study an axial stress and deformation features relationship of the wind turbine tower silo under a condition of different surface horizontal deformation. The axial tensile stress and compressive stress, comprehensive displacement of the tower silo under different surface horizontal deformation were obtained. The results showed that under the influence of the mining, with the surface horizontal tensile deformation increased, the max axial tensile stress and compressive stress of the wind turbine tower silo was in linear increasing tendency. With the surface horizontal compression deformation increased, the max axial tensile stress and compressive stress of the wind turbine tower silo was in linear increasing tendency. When the surface horizontal deformation caused by the underground coal mining was over the safety critical horizontal deformation, a max axial stress of the wind turbine tower silo would be over the allowed stress and the wind turbine tower silo would be destroyed. The tower was more resistant to compression deformation than the tensile deformation.

Keywords

Mining, Surface Horizontal Strain, Wind Turbine Tower, ANSYS

开采引起的地表水平变形对大型风电机塔筒的影响研究

冯 军^{1,2}, 宋 杰¹, 侯生辉¹

¹山西省煤炭地质115勘查院, 山西 大同

²中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州
Email: 784161928@qq.com

收稿日期: 2019年3月14日; 录用日期: 2019年4月3日; 发布日期: 2019年4月10日

摘要

以采动工作面上的大型风机塔筒为原型, 采用ANSYS数值模拟软件分析研究了塔筒受不同地表水平变形影响下塔筒的轴向应力和变形特征关系, 得到了不同地表水平变形值下塔筒的轴向拉(压)应力和综合位移。研究表明: 在开采影响下, 随着地表水平拉伸变形值的增加, 塔筒的轴向最大拉应力和最大压应力呈线性增加关系; 随着地表水平压缩变形值的增加, 塔筒的轴向最大拉应力和最大压应力也呈线性增加趋势。当开采引起的地表水平变形超过安全临界水平变形值时, 塔筒最大轴向应力大于其许用应力, 塔筒将会被破坏。塔筒承受抗压缩变形的能力大于抗拉伸变形的能力。

关键词

采动, 地表水平变形, 风电机塔筒, ANSYS

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会的发展, 我国大量的煤炭资源被采出, 与此同时地表也会随之产生一定的变形, 这样就会对地面建(构)筑物造成一定的损害。随着人口的增加, 居民用电量逐年增加, 在我国一些地区建立了大型风力发电场, 但是在这些风电场下可能积压着一些煤炭, 在煤炭资源稀缺的今天, 我们需要对这些积压煤炭进行开采, 这样就会造成地面上的风电机被破坏[1]-[7]。然而塔筒作为风电机的主要组成部分, 支撑着风电机的风电部分在高空运行。

采动引起的地表水平变形是对地表建(构)筑物造成损害的主要因素之一。在地表水平变形影响下, 大型风力发电机塔筒将可能发生变形甚至是损害。而塔筒又是一种比较特殊的结构, 无法利用一般建筑物下采煤破坏评价指标来分析[8]-[14]。因此, 本文以某矿开采工作面上的风力发电机塔筒为原型, 采用ANSYS软件[15][16][17][18]对塔筒进行数值模拟研究其在不同地表水平变形情况下塔筒的内力、变形与地表水平变形之间的关系, 这是非常有必要和意义的。

2. ANSYS 数值模拟[15][16][17][18]

2.1. 模拟条件

位于开采影响范围内的风机塔筒的破坏一般是由于塔筒附近地表不均匀下沉或不均匀水平移动作用的结果。塔筒附近地表不均匀水平移动造成塔筒基础部分两侧水平移动值不同, 使塔筒内部受到附加的拉(压)应力作用, 当塔筒的内力超过材料的允许应力时, 塔筒将会被破坏。

采用 ANSYS 软件模拟低合金高强度钢板板壳薄壁圆筒结构的塔筒, 模拟的条件是只考虑风机上部

自身重量和地表水平变形(拉伸或压缩)对塔筒结构内力和变形的影响,研究风机塔筒内力和变形与地表水平变形之间的关系,并分析塔筒所能承受的临界变形值。

2.2. 模型的建立

模型以某煤矿开采工作面上地表的风力发电机塔筒为原型,具体模型结构按照大型风力机塔筒的要求进行建模[15][16][17][18]。

采用 ANSYS 建模软件,建模坐标系如图 1 所示,原心为塔筒每个截面圆的圆心。依据 ANSYS 建模软件中塔筒的建模步骤进行建模模拟真实塔筒形态[15][16][17][18]。本次研究只考虑单一因素对风机塔筒的影响,即采动引起的地表水平变形。

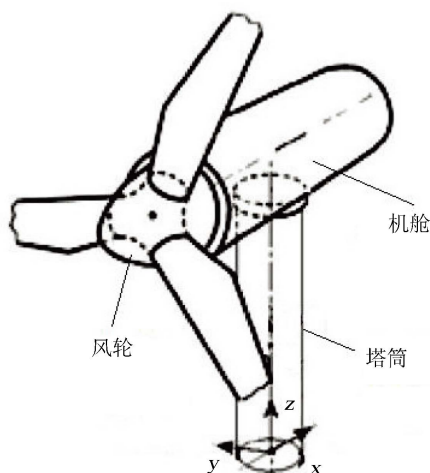


Figure 1. Schematic diagram of wind turbine
图 1. 风机示意图

2.3. 模拟方案

以采动影响下的地表风机塔筒为原型,分别模拟 10 组不同的地表水平变形值(拉伸和压缩)对塔筒的影响,研究分析不同的地表水平变形对塔筒内部应力和变形的影响规律。

1) 地表水平压缩变形对塔筒的影响实质上可以等同于塔筒两侧基础的不均匀水平移动值,即塔筒一侧基础相对不动,另一侧基础产生水平压缩移动,具体的方案为:等效质点所在一侧发生向内压缩变形,另一侧相对不动[19][20][21]。

2) 地表水平拉伸变形对塔筒的影响实质上是塔筒两侧基础的水平移动不一致,使塔筒下部受拉伸变形从而使塔筒内部产生一定的附加应力,具体的方案为:等效质点所在一侧发生向外拉伸变形,另一侧相对不动[19][20][21]。

3. 数值模拟结果与分析

3.1. 地表拉伸变形对塔筒的影响

根据不同的地表水平拉伸变形,对塔筒数值模拟分析,得到了塔筒轴向最大拉(压)应力和最大位移,如表 1 所示。给出拉伸变形值为 4 mm/m 的塔筒变形图、塔筒轴向应力分布图、塔筒综合位移分布图如图 2~4,图中的“MN”代表相应分析的最小值,“MX”代表最大值。根据模拟结果,分析塔筒在地表水平拉伸变形影响下,塔筒的轴向最大拉应力、最大压应力和最大位移的变化规律。

Table 1. Simulation calculation results of different surface tensile deformation
表 1. 不同地表拉伸变形的模拟计算结果

地表水平拉伸变形 ϵ_s /(mm/m)	塔筒轴向最大拉应力/MPa	塔筒轴向最大压应力/MPa	塔筒最大位移/mm
1	106	11.6	12.721
2	174	33.8	12.42
3	242	60.4	14.836
4	309	86.9	18.483
6	445	140	27.722
8	581	193	37.045
10	716	246	46.199
12	852	299	55.438
13	920	326	60.057
14	987	352	64.676



Figure 2. Tower deformation under the influence of surface tensile deformation

图 2. 地表拉伸变形影响下塔筒变形

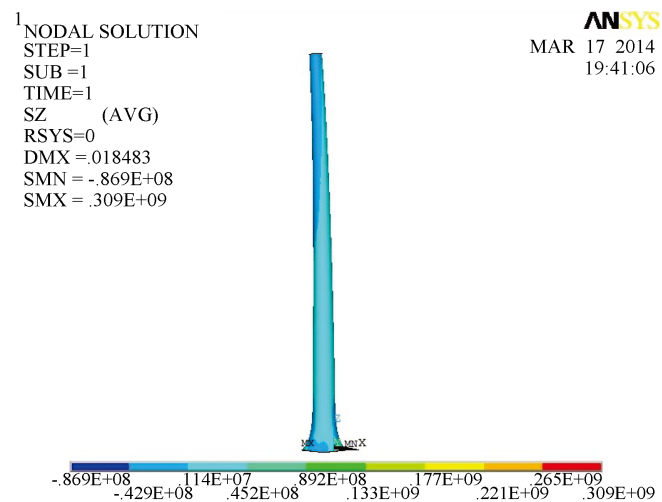


Figure 3. Axial stress distribution of tower under the influence of surface tensile deformation

图 3. 地表拉伸变形影响下塔筒轴向应力分布

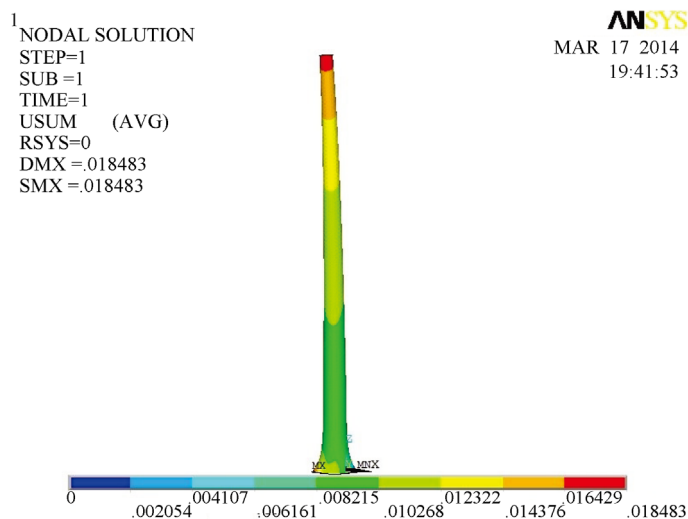


Figure 4. Comprehensive displacement distribution of tower under the influence of surface tensile deformation

图 4. 地表拉伸变形影响下塔筒综合位移分布

1) 塔筒轴向最大拉应力和塔筒轴向最大压应力。根据不同地表拉伸变形值作用的塔筒轴向最大应力分布情况可知：随着地表拉伸变形值的增大，塔筒的水平变形越来越大。随着地表水平拉伸变形值的增加，塔筒的轴向最大拉应力和轴向最大压应力均呈线性增加。塔筒轴向最大拉应力与地表拉伸变形的关系如图 5 和式(1)；塔筒轴向最大压应力与地表拉伸变形的关系如图 6 和式(2)。以塔筒材料 Q345E 的屈服极限 325 MPa 为标准，塔筒的安全系数为 1.1，则允许的应力为 $325/1.1 = 295.5$ MPa，由表 1 可得：塔筒在地表水平拉伸变形值达到 3 mm/m 时，塔筒的轴向拉应力达到 242 MPa；当地表水平拉伸变形达到 4 mm/m 时，塔筒的轴向拉应力达到 309 MPa，超过了塔筒的极限应力。因此，塔筒的安全临界地表水平拉伸变形值在 3~4 mm/m 之间，根据它们之间的关系得塔筒的安全临界地表水平拉伸变形值为 3.9 mm/m。

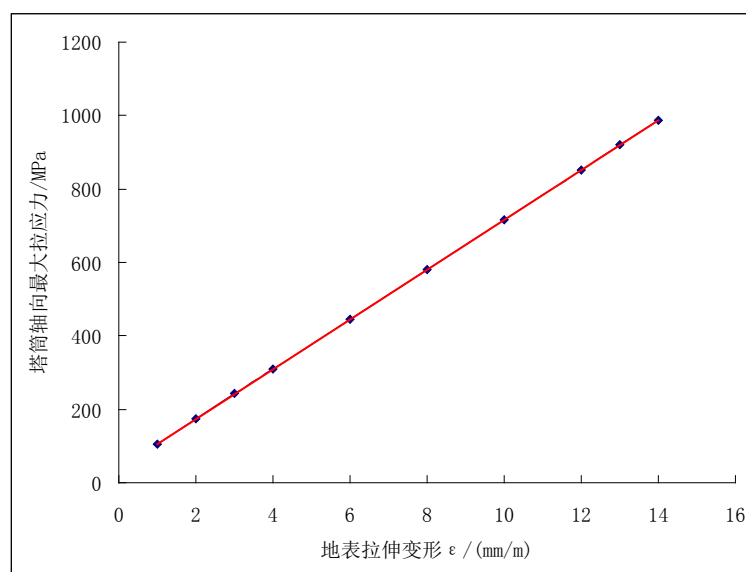


Figure 5. Relationship between axial maximum tensile stress and surface tensile deformation of tower

图 5. 塔筒轴向最大拉应力与地表拉伸变形关系

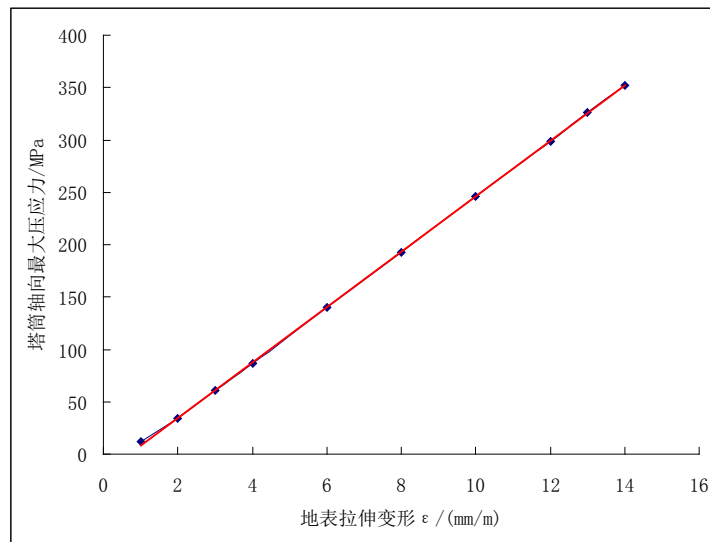


Figure 6. Relationship between axial maximum compressive stress and surface tensile deformation of tower

图 6. 塔筒轴向最大压应力与地表拉伸变形关系

$$\sigma_{\text{拉max}} = 67.794\epsilon_+ + 38.303, R^2 = 1 \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{压max}} = 26.397\epsilon_+ - 17.831, R^2 = 0.9999 \quad (2)$$

式中: σ ——塔筒轴向最大应力, MPa;

ϵ_+ ——水平拉伸变形, mm/m。

2) 塔筒的最大位移。受不同地表水平拉伸变形影响的塔筒最大位移如表 1 所示。随着地表拉伸变形值地不断增大, 塔筒的最大位移也随之增大并呈线性增大。

3.2. 地表压缩变形对塔筒的影响

地表压缩变形各方案结果如表 2, 塔筒变形图、塔筒轴向应力分布图、塔筒综合位移分布图如图 7~9。根据模拟结果, 分析塔筒在地表水平压缩变形影响下, 塔筒的轴向最大拉应力、最大压应力和最大位移的变化规律。

Table 2. Simulation calculation results of different surface compression deformation

表 2. 不同地表压缩变形的模拟计算结果

地表水平拉伸变形 ϵ_+ /(mm/m)	塔筒轴向最大拉应力/MPa	塔筒轴向最大压应力/MPa	塔筒最大位移/mm
1	68.3	29.7	17.306
2	98.4	99.7	19.724
3	124	165	21.912
4	151	233	24.221
6	207	369	28.847
8	262	504	36.95
10	318	640	46.188
12	373	776	55.427
13	399	840	60.269
14	428	911	64.666

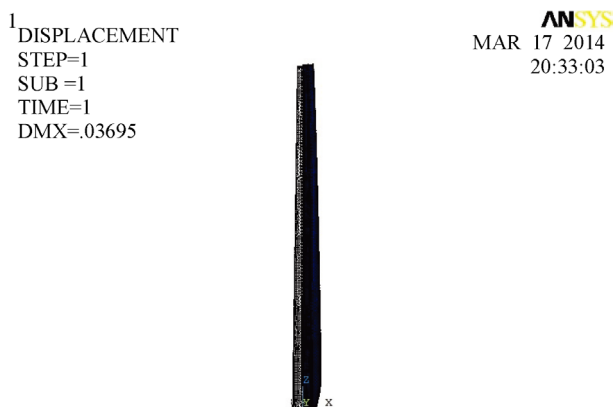


Figure 7. Tower deformation under the influence of surface compression deformation

图 7. 地表压缩变形影响下塔筒变形

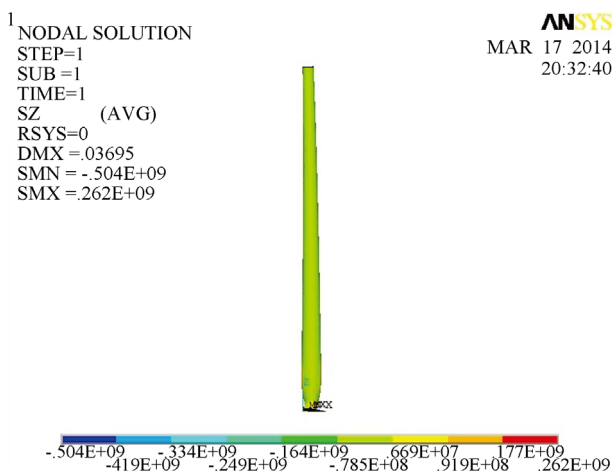


Figure 8. Axial stress distribution of tower under the influence of surface compression deformation

图 8. 地表压缩变形影响下塔筒轴向应力分布

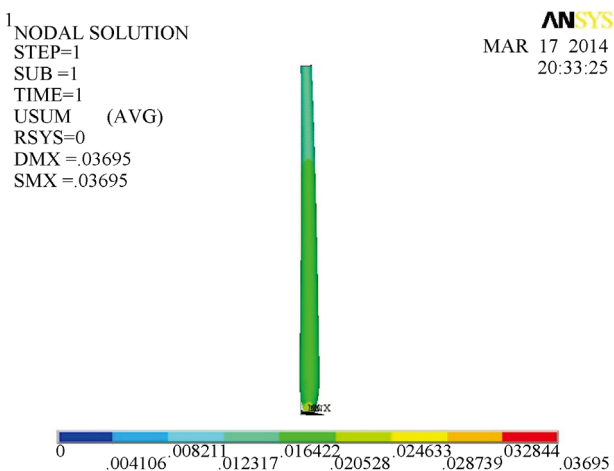


Figure 9. Comprehensive displacement distribution of tower under the influence of surface compression deformation

图 9. 地表压缩变形影响下塔筒综合位移分布

1) 塔筒轴向最大拉应力和塔筒轴向最大压应力。随着地表水平压缩变形值的增加,塔筒压缩变形越明显,于此同时塔筒轴向最大拉(压)力也随着增大。塔筒轴向最大拉应力与地表压缩变形的关系如图 10 和式(3);塔筒轴向最大压应力与地表压缩变形的关系如图 11 和式(4)。塔筒的轴向最大拉应力和轴向最大压应力均随地表压缩变形值呈线性增加趋势。当地表压缩变形值约为 9.5 mm/m 时,塔筒轴向最大应力达到许用应力;地表拉伸变形值为 3.9 mm/m 时,塔筒轴向最大应力达到许用应力,由此可得:塔筒的抗压缩变形能力大于抗拉伸变形能力。

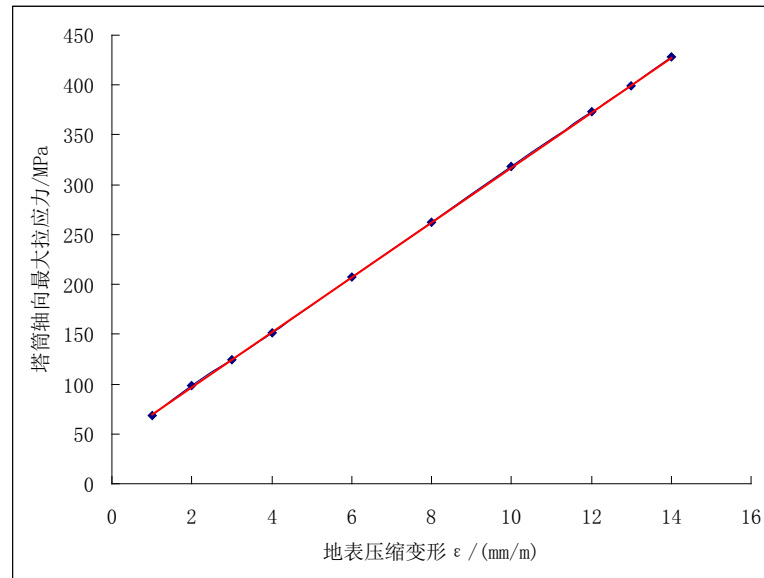


Figure 10. Relationship between axial maximum tensile stress and surface compression deformation of tower

图 10. 塔筒轴向最大拉应力与地表压缩变形关系

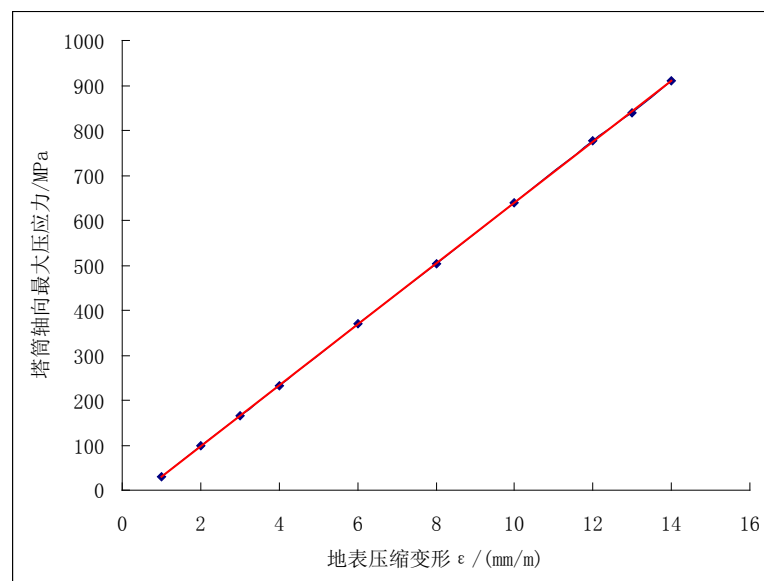


Figure 11. Relationship between axial maximum compressive stress and surface compression deformation of tower

图 11. 塔筒轴向最大压应力与地表压缩变形关系

$$\sigma_{\text{拉max}} = 27.582\varepsilon_{-} + 41.524, R^2 = 1 \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{压max}} = 67.667\varepsilon_{-} - 37.226, R^2 = 1 \quad (4)$$

式中： σ ——塔筒轴向最大应力，MPa；

ε_{-} ——水平压缩变形，mm/m。

2) 塔筒的最大位移。地表拉伸变形和地表压缩变形对塔筒的最大位移影响基本一致。随着地表压缩变形值地不断增大，塔筒的最大位移也随之增大并呈线性增大。

4. 结论

1) 随着地表水平拉伸变形值的增加，塔筒轴向拉应力和塔筒轴向压应力的最大值均呈线性增加趋势；随着地表水平压缩变形值的增加，塔筒轴向拉应力和塔筒轴向压应力的最大值也均呈线性增加。

2) 当塔筒在地表水平拉伸变形影响下，塔筒的轴向最大拉应力增加速度大于轴向最大压应力增加速度；当塔筒受地表压缩变形时，塔筒的轴向最大压应力增加速度大于轴向最大拉应力增加速度。

3) 在地表水平变形值相同的情况下，塔筒受地表压缩变形影响的轴向最大拉应力小于塔筒受地表拉伸变形影响的轴向最大拉应力，说明塔筒的抗压缩变形能力大于抗拉伸变形能力。

参考文献

- [1] 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: 1-370.
- [2] 邓喀中. 开采沉陷中的岩体结构效应[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [3] 王悦汉, 邓喀中, 张冬至, 等. 重复采动条件下覆岩下沉特性的研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(5): 470-475.
- [4] 李凤明. 重复采动条件下地表移动参数变化机理及移动盆地特点[J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(2): 43-46.
- [5] 胡炳南. 长壁重复开采岩层移动规律研究[J]. 煤炭科学技术, 1999, 27(11): 43-45.
- [6] 康永华, 黄福昌, 席京德. 综采重复开采的覆岩破坏规律[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(1): 22-24.
- [7] 高明中, 余忠林. 厚冲积层急倾斜煤层群开采重复采动下的开采沉陷[J]. 煤炭学报, 2007, 32(4): 347-352.
- [8] 康建荣, 王金庄. 采动覆岩力学模型及断裂破坏条件分析[J]. 煤炭学报, 2002, 27(1): 16-20.
- [9] 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.
- [10] 冯涛, 袁坚, 刘海金, 等. 建筑物下采煤技术的研究现状与发展趋势[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(8): 119-123.
- [11] 郑彬. 采动影响下高压输电线路铁塔的安全性研究[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2009.
- [12] 谭志祥. 采动区建筑物地基、基础和结构协同作用理论与应用研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2004.
- [13] 陈建稳, 袁广林, 刘涛, 等. 数值模型对输电铁塔内力和变形的影响分析[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2009, 28(1): 40-45.
- [14] 牛建刚, 陈旭, 闫梁. 风力发电机塔筒结构在坡地上的风压数值模拟[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(6).
- [15] 刘涛, 杨凤鸣. 精通 ANSYS[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [16] 张胜民. 基于有限元软件 ANSYS 7.0 的结构分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [17] 祝效华, 余志祥, 等. ANSYS 高级工程有限元分析范例精选[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [18] 张波, 盛和太. ANSYS 有限元数值分析原理与工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [19] 郭文兵, 郑彬. 地表水平变形对高压线铁塔的影响研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2010, 29(6): 725-730.
- [20] 郭文兵, 袁凌辉, 郑彬. 地表倾斜变形对高压线铁塔的影响研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(3): 285-290.
- [21] 冯军, 谭志祥, 邓喀中. 采动地表倾斜变形对风力发电塔筒的影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 3: 130-133.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org