

文章编号:1673-9469(2012)02-0057-04

薄煤层开采对上覆构筑物基础变形影响的数值模拟研究

王再清¹, 靳晓光², 陈智强³, 邢献军⁴

(1. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042; 2. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400030; 3. 重庆市地质矿产勘查开发局 107 地质队, 重庆 401120; 4. 涉县宏大建筑设计有限公司, 河北 涉县 056400)

摘要:煤层开采过程中,在煤层顶、底板岩层一定的条件下,煤层的倾角和埋深对地表变形有很大的影响。通过三维有限元数值模拟,研究平缓或缓倾斜煤层、倾斜煤层、急倾斜煤层开采对上覆构筑物基础变形的影响,依据特定构筑物对倾斜变形、水平变形和基础沉降最大值的容许要求,提出安全煤柱(移动角 γ 、 β)的保护范围,为构筑物安全运行和煤矿合理开采提供依据。

关键词:薄煤层; 煤层倾角; 构筑物; 基础变形

中图分类号:TD8

文献标识码:A

Numerical simulation of building foundation deformation effect with underlying thin coal bed exploiting

WANG Zai-qing¹, JIN Xiao-guang², CHEN Zhi-qiang³, XING Xian-jun⁴

(1. Chongqing Research Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. The 107th geological team, Chongqing geology and Mineral Resources Exploration and Development Bureau, Chongqing 401120, China; 4. Bongda Architectural Design Company Limited, Hebei Shexian 056400, China)

Abstract: During the process of mining, the surface deformation was mostly influenced by coal seam dip angle and depth when the coal seam roof and floor strata were under certain conditions. Through three-dimensional finite element numerical simulation, this paper studied the influence of the mining of the flat or gently inclined seam, inclined coal seam and steeply inclined coal seam on the foundation deformation of the overlying structures. The scope of protection of the safe coal pillar (mobile angle γ , β) was put forward according to the maximum allowable requirements of the inclination deformation, horizontal deformation and settlement of foundation that the special structure requires, and it provide reference for the safe operation of construction and reasonable mining of coal mine.

Key words: thin coal seam; dip angle of coal seam; structures; foundation deformation

开采地下矿产资源和保护地面或地下结构物是既矛盾又统一的两个方面。在结构物下方留设保护煤柱是保护结构物免受地下开采影响的一种比较可靠的方法。某拟建风电场工程场地地处七耀山脉之中,场地地层主要为二叠系灰岩和薄煤层。

本文的主要目的是研究煤层开采对风电场风机运行的影响,以提出比较经济、合理的安全煤柱

留设范围。依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(2000)、《风电机组地基基础设计规定》(试行)(FD 003-2007)中的相关规定,模拟研究给出以下前提条件:①建筑物按II级保护对象进行考虑,其围护带宽度为15 m。②建筑物荷载按100 kN/m²。③倾斜变形最大值按 ± 3 mm/m(3‰)、水平变形最大值按 ± 2 mm/m(2‰)、曲率最大值按 $\pm 0.2 \times 10^{-3}/m$ 考虑。④风机塔位基础沉降最大值取200 mm。

收稿日期:2012-02-20

作者简介:王再清(1960-),男,江苏徐州人,高级工程师,从事煤田地质研究与矿产开发。

表1 数值分析采用的物理、力学参数

Tab. 1 Numerical analysis with the physical and mechanical parameters

岩性	弹性模量/GPa	泊松比	重度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	内聚力/MPa	内摩擦角/ $^{\circ}$	各向异性系数
灰岩 P2m	20.0	0.22	27	3.0	45	根据埋深情况 确定,取 0.5 - 1.0
灰岩 P3w	15.0	0.25	25	2.5	42	
灰岩 P3c、T1d	8.0	0.30	24	1.5	38	
煤层 K1	2.0	0.35	13.5	0.5	35	

1 平缓或缓倾斜煤层

结合场地缓倾斜煤层的产状特征,以倾角 5° 的缓倾斜煤层为例,按移动角 $\gamma = \beta = 50^{\circ} - 80^{\circ}$ (图1)进行开采时,研究薄煤层开采对上覆待建构筑物的影响,以便得出缓倾斜煤层不同埋深情况(煤层埋深按构筑物中部下方煤层埋深计)下合理的开采范围和互不影响的开采深度建议值。

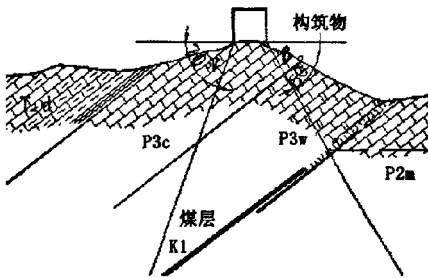


图1 构筑物、煤层及地层示意图

Fig. 1 Diagram of structure, coal seam and formation

沿煤层倾向(X方向)、煤层走向(Y方向)和煤层埋深(Z方向)建立三维有限元模型,以埋深200 m为例,建立的数值分析模型($X \times Y \times Z = 800 \times 50 \times 450 \text{ m}$)。煤层倾向方向X向位移约束,煤层走向方向Y向位移约束,竖直方向Z向位移约束,采用M-C准则。采用的物理力学参数如表1所列。

下山、上山方向基础下沉最大位移(水平位移很小)随移动角的变化曲线如图2所示,其位移皆在容许范围之内。

煤层埋深为50 m时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 开采完成后构筑物基础下沉最大位移分别为6.4 mm和5.7 mm,倾斜变形0.04‰。 γ, β 增大时下沉位移快速增大。

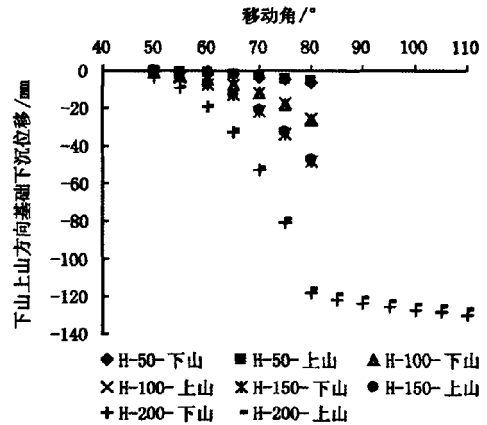


图2 基础下沉最大位移随移动角

Fig. 2 Maximum displacement follow displacement angle of foundation sinking

煤层埋深为100 m时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 开采完成后构筑物基础下沉最大位移分别为26 mm和25 mm,倾斜变形0.05‰。 γ, β 增大时下沉位移快速增大。

煤层埋深为150 m时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 开采完成后构筑物基础下沉最大位移分别为48.5 mm和47 mm,倾斜变形0.08‰。 γ, β 增大时下沉位移快速增大。

煤层埋深为200 m时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 开采完成后构筑物基础下沉最大位移分别为118.5 mm和116 mm,倾斜变形0.125‰。在对 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 确定的范围按常规设计留设煤柱开采完成后,构筑物基础下沉最大位移分别为130 mm和127 mm,倾斜变形0.08‰。

在移动角 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 之前,位移随移动角的变化快速增大,在对 $\gamma = \beta = 80^{\circ}$ 确定的范围按留设矿柱开采时,位移按线性缓慢增大。因此,平缓煤层埋深为200 m时,煤层按常规设计留设矿柱开采对风机运行基本无影响。

2 倾斜煤层

结合场地倾斜煤层的产状特征,以倾角 25° 的倾斜煤层为例,按移动角 $\gamma = \beta = 50^\circ - 80^\circ$ 情况进行开采时,研究煤层开采对地表风机塔位的影响,以便得出倾斜煤层不同埋深情况下合理的开采范围和互不影响的开采深度建议值。

以埋深 150 m 为例建立的数值分析模型($X \times Y \times Z = 530 \times 50 \times 450$ m)。沿煤层倾向(X方向)、煤层走向方向(Y方向)和煤层埋深(Z方向)建立三维模型,煤层倾向方向 X 向位移约束,煤层走向方向 Y 向位移约束,竖直方向 Z 向位移约束,采用 M-C 准则。

下山、上山方向基础下沉最大位移(水平位移较小)随移动角的变化曲线如图 3 所示,其位移皆在容许范围之内。

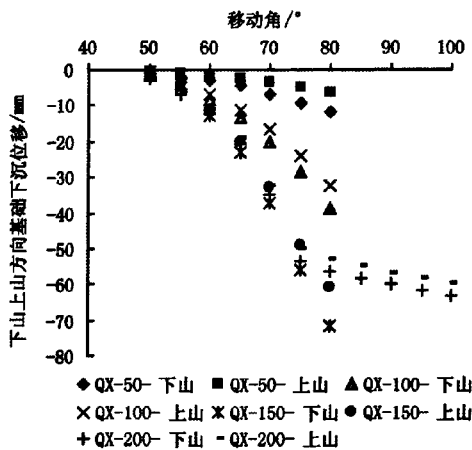


图3 基础下沉最大位移随移动角
Fig.3 Inclined coal seams maximum displacement follow displacement angle of foundation sinking

煤层埋深为 50 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 12 mm 和 6.5 mm,倾斜变形 0.27‰;最大水平位移分别为 6.5 mm 和 4.5 mm,水平变形 0.10‰。下沉位移和水平位移随移动角的增大较快速增大,变化特征较为一致,不均匀沉降较小。

煤层埋深为 100 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 39 mm 和 32.6 mm,倾斜变形 0.32‰;最大水平位移分别为

15.9 mm 和 12.0 mm,水平变形 0.20‰。下沉和水平位移随移动角的增大较快速增大。

煤层埋深为 150 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 71.8 mm 和 61.1 mm,倾斜变形 0.54‰;最大水平位移分别为 36.1 mm 和 32.7 mm,水平变形 0.17‰。

煤层埋深为 200 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 56 mm 和 53 mm,倾斜变形 0.15‰;最大水平位移分别为 10.6 mm 和 10.9 mm,水平变形 0.015‰。在对 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 确定的范围按常规设计留设煤柱开采完成后,构筑物基础下沉最大位移分别为 63 mm 和 60 mm,倾斜变形 0.15‰;最大水平位移分别为 10.4 mm 和 11.2 mm,水平变形 0.04‰。

在移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 之前,位移随移动角的变化快速增大,在对 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 确定的范围按留设矿柱开采时,位移按线性缓慢增大。因此,煤层埋深 200 m、倾角为 25° 的倾斜煤层按常规设计开采时对构筑物正常运行基本无影响。

3 急倾斜煤层

结合场地急倾斜煤层的产状特征,以倾角 55° 的急倾斜煤层为例,按移动角 55° - 80° 进行开采时,研究煤层开采对地表风机塔位的影响,以便得出急倾斜煤层不同埋深情况下合理的开采范围和互不影响的开采深度建议值。

以埋深 150 m 为例建立的数值分析模型($X \times Y \times Z = 530 \times 50 \times 450$ m)。沿煤层倾向(X方向)、煤层走向方向(Y方向)和煤层埋深(Z方向)建立三维模型,煤层倾向方向 X 向位移约束,煤层走向方向 Y 向位移约束,竖直方向 Z 向位移约束,采用 M-C 准则。

下山、上山方向基础下沉最大位移和水平位移随移动角的变化曲线如图 4 和图 5 所示,其位移皆在容许范围之内。

煤层埋深为 50 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 8.39 mm 和 3.39 mm,倾斜变形 0.25‰;最大水平位移分别为 6.5 mm 和 4.95 mm,水平变形 0.08‰。下沉位移和水平位移随移动角的增大较快速增大,变化特征较为一致,不均匀沉降较小。当移动角 $\gamma = \beta > 80^\circ$ 时,位移发生突变,且大于基础沉降允许值。

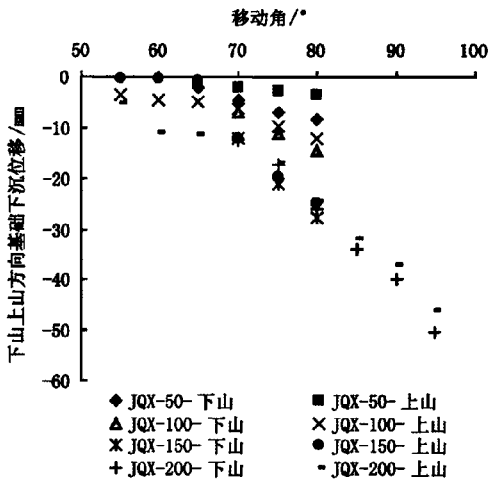


图4 基础下沉最大位移随移动角

Fig.4 Steep inclined coal seams maximum displacement follow displacement angle of foundation sinking

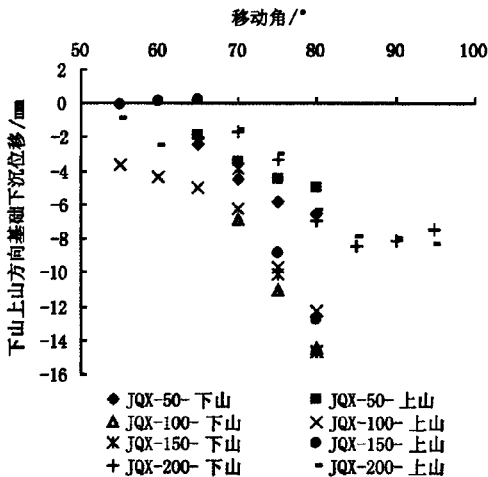


图5 地表水平最大位移随移动角

Fig.5 The maximum displacement follow displacement angle of surface

煤层埋深为 100 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 14.5 mm 和 12.3 mm,倾斜变形 0.11‰;最大水平位移分别为 8.41 mm 和 7.45 mm,水平变形 0.05‰。下沉位移和水平位移随移动角的增大较快速增大,变化特征较为一致,不均匀沉降较小。当移动角大于 80° 时,位移发生突变,且大于基础沉降允许值。

煤层埋深为 150 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 27.9 mm 和 25 mm,倾斜变形 0.15‰;最大水平位移分别为

14.6 mm 和 12.7 mm,水平变形 0.10‰。下沉位移和水平位移随移动角的增大较快速增大,变化特征较为一致,不均匀沉降较小。当移动角大于 80° 时,位移发生突变,且大于基础沉降允许值。

煤层埋深为 200 m 时,按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 开采时构筑物基础下沉最大位移分别为 26 mm 和 25 mm,倾斜变形 0.05‰;最大水平位移分别为 6.95 mm 和 6.30 mm,水平变形 0.033‰。

在对 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 确定的范围按常规设计留设煤柱开采完成后,构筑物基础下沉最大位移分别为 51 mm 和 46 mm,倾斜变形 0.25‰;最大水平位移分别为 7.5 mm 和 8.3 mm,水平变形 0.04‰。

在移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 之前,位移随移动角的变化增大较快,在对 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 确定的范围按留设矿柱开采时,位移仍按线性较快增长,但在容许变形范围之内。因此,煤层埋深 200 m、倾角为 55° 的倾斜煤层按常规设计开采时对风机运行影响很小。

4 结论

1) 根据水平或缓倾斜煤层的计算分析,可推断煤层的走向移动角 δ 可提高到 80° 左右。

2) 平缓(或缓倾斜,倾角 5°)及倾斜(倾角 25°)煤层在埋深 150 m 范围内,建议按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 留设安全煤柱;在煤层埋深大于 150 m 时,按常规设计(如按设计预留矿柱、开采回填等)开采对风机运行基本无影响。

3) 急倾斜(倾角 55°)煤层在埋深 200 m 范围内,建议按移动角 $\gamma = \beta = 80^\circ$ 留设安全煤柱;在煤层埋深大于 200 m 时,按常规设计(如按设计预留矿柱、开采回填等)开采对风机运行影响很小。

参考文献:

[1] 靳晓光, 王建华, 康勇, 等. 高速公路压煤区安全煤柱留设及其对路基稳定性的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 6(1): 93-97.

[2] 李晓红, 靳晓光, 王宏图, 等. 采动下卧煤层对深埋隧道结构稳定性的影响[J]. 岩土力学, 2005, 26(9): 1448-1455.

[3] 杨伟峰, 刘东升, 郭典伟. 坚硬顶板薄煤层条带开采技术在杨庄煤矿中的应用[J]. 中国煤田地质, 2002, 14(3): 50-51.

[4] 孙广义, 张永彬, 于涛. 长沟峪煤矿大倾角煤层开采煤体应力数值模拟[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(3): 177-179.

(责任编辑 刘存英)