

# 基于 ABAQUS 的煤层开采 覆岩移动规律数值模拟

王迁<sup>1</sup>, 娄平<sup>2\*</sup>

(1.山西潞安集团 司马煤业有限公司,山西 长治 047105;2.中南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410075)

**摘要:**以司马矿 1112 工作面为例,通过 ABAQUS 有限元软件分析了煤层采动后其上覆岩层的下沉位移和应力变化规律,获得了煤层上覆岩层下沉移动特征,推进距离和覆岩最大下沉位移之间的关系,以及工作面不同采厚上覆岩层应力的变化特征.为保障煤层开采的安全作业提供了依据.

**关键词:**司马矿;数值模拟;覆岩移动;覆岩应力

**中图分类号:**TD325      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2018)01-0006-05

## Numerical Simulation for the Movement Law of Overlying Rock on Coal Seam by ABAQUS

Wang Qian<sup>1</sup>, Lou Ping<sup>2</sup>

(1. Sima Coal Industry Co. Ltd., Shanxi Lu'an Group, Changzhi 047105, China;  
2. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Taking the 1112 working face in the Sima Mine as an example and using ABAQUS finite element software, this paper analyzes the variation laws of subsidence displacement and stress of overlying rock caused by the mining of coal seam, and obtains the movement characteristics of overlying rock of the working face. It also obtains the relations between the advancing distance and the maximum subsidence displacement of overlying rock, and the stress variation characteristics of overlying rock of the working face in different mining thickness. The conclusion has provided references for ensuring the safe operation of coal seam mining.

**Keywords:** Sima Mine; numerical simulation; overlying rock movement; overlying rock stress

煤炭资源是我国经济发展的主体能源之一,我国中西部煤田普遍具有储量大、煤层厚、构造简单的特点,部分煤田还具有埋藏浅(200 m 以内)、基岩薄、上覆厚松散层的特点<sup>[1]</sup>.当煤层开采后,岩层内的原始应力被破坏,应力会重新分布并达到一种新的平衡状态.在此过程中,煤层的上覆岩层将会产生移动、变形与破坏,当开采对原岩应力的扰动达到一定程度后,采空区上覆岩土体的移动和变形将会影响到地表,使之产生沉降、塌陷等情况,情况严重会损毁建筑工程设施、导致人员伤亡造成难以估量的经济财产损失<sup>[2-4]</sup>.司马矿区 3 号煤层 1112 工作面具有埋藏浅、基岩极薄等突出的特点,而浅埋煤层工作面使得上覆岩层活动具有其自身特殊性和复杂性,当采用全部垮落法管理顶板时,顶板基岩易沿全厚切落,开采沉陷损害呈现为台阶式切落破坏,上覆岩层仅有冒落带和裂隙带.

因此,深入分析和研究采场覆岩破坏高度及空间形态变化以及相应条件下的开采技术、极薄基岩采场

收稿日期:2017-10-31

基金项目:山西潞安集团司马煤业有限公司科技资助项目

\*通信作者,E-mail: pingloucsu@126.com

覆岩移动破坏规律,具有十分重大的意义,可为今后的煤矿开采提供实践经验和理论基础.本文拟采用数值模拟对不同推进距离及采厚情况下的覆岩移动破坏规律进行探讨.

## 1 工程概况

山西潞安集团司马矿位于山西省东南部,沁水煤田东部,司马矿区地层自东往西,由老到新,主要有上元古界震旦系,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二迭系,中生界三迭系、新生界第三系、第四系.除西部外缘零星出露上石盒子组地层外,其余全部为第四系所覆盖.文中进行模拟的司马矿 1112 工作位于首采区,其工作面走向长约 910 m,倾斜长 138 m,工作面煤层厚度 6.85 m,倾角  $4^\circ$ ,在其工作面内及附近不存在断层及陷落柱,由于其邻近 3 号煤层风氧化带,随着煤层露头带附近局部地区煤层底板的起伏不平,其极薄基岩带的总趋势是南厚北薄,最薄处(12.7 m)在 1901 钻孔附近,这些钻孔的松散覆盖层厚度都在 120 m 以上,构成了极薄基岩厚覆盖层的特殊地质条件.基于现阶段对大埋深、薄基岩条件下工作面覆岩移动规律的认识还处于未知阶段,在实际生产过程中,经常片落大块煤体,并冒顶、顶板来压等矿压显现明显.

## 2 数值模型

数值模拟方法在研究煤层开挖其覆岩移动破坏规律方面有着其他方法无法代替的优越性<sup>[5-9]</sup>.有限单元法(FEM)其基本求解思想是把计算区域划分为有限个互不重叠的单元,借助变分原理或加权余量法,将微分方程离散求解.该方法早期就被计算机数值模拟所采用,经过长期的发展,现在已发展成为比较成熟的数值方法,被广泛应用.

### 2.1 ABAQUS

ABAQUS 是大型通用有限元计算分析软件之一,具有强大的计算功能和广泛的模拟性能.对于岩土工程问题,ABAQUS 拥有非常丰富的岩土材料的本构模型,在非线性分析过程中,它能够自动选择合适的荷载增量和收敛准则,并能不断地调整参数值,以确保获得计算结果准确性高的解答.

众所周知,大量的岩土工程设计计算都采用了 Mohr-Coulomb 破坏和强度准则,本论文的数值模拟采用这一准则.

### 2.2 模型建立及参数选取

#### 2.2.1 物理模型的建立

此次研究的对象是司马矿 1112 工作面的垂直剖面,研究范围覆盖整个工作面,走向长度 910 m,岩(土)层总厚度为 236.3 m,其中煤层下部底板岩层 21.25 m,煤层 6.85 m,煤层上部顶板岩层 12.7 m,煤层上部第四系土层 195.5 m.各岩土层厚度依据司马矿探查取样孔钻孔柱状和工程地质岩组的划分方案进行制定.因为煤层属于近水平煤层,模拟时按水平煤层进行模拟.

本研究所建立的模型及网格划分如图 1 所示.该有限元计算模型为二维平面应变单元,长 910 m,高 236.3 m,底部以砂质泥岩为界,上部以第四系粉质粘土为界.模型两边以链杆固定,底部以铰支座固定.坐标原点位于最下层基岩的中点, $x$  轴水平向右, $y$  轴竖直向上,煤层开挖走向沿  $x$  方向自右向左.

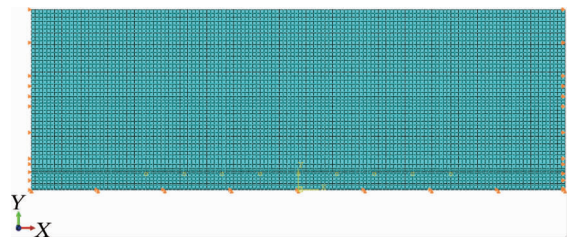


图 1 模型及网格划分

网格划分对数值模拟的精确性有着不可忽视的影响.

网格划分得越粗、单元尺寸越大,计算时间能大大缩短,但是计算结果的准确性就会降低;反之,网格划分越密,计算结果准确性随之提高,但是占用的计算内存及耗费的计算时间将会大大增加.本研究在综合考虑了计算的精度及计算机的性能后,决定选取有限元网格大小为  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ .

#### 2.2.2 模型参数选取

由钻孔资料可知,与模型相关的围岩物理力学参数如表 1 所示.

表1 模型计算参数

层号	名称	弹性模量/MPa	泊松比	粘聚力/MPa	内摩擦角/(°)	层厚/m
1	粉质粘土	17.90	0.28	0.087	19.8	34.60
2	粘土	20.68	0.31	0.073	32.0	54.90
3	粉质粘土	20.72	0.29	0.077	44.1	57.20
4	粘土	27.55	0.32	0.098	19.3	48.80
5	粉砂岩	5 000.00	0.30	1.500	30.0	7.85
6	泥岩	2 000.00	0.30	0.750	30.0	4.85
7	煤层	3 100.00	0.30	0.800	32.0	6.85
8	泥岩	2 000.00	0.30	0.750	30.0	0.19
9	粉砂岩	5 000.00	0.30	1.500	30.0	4.28
10	细粒粉砂岩	3 750.00	0.20	1.000	30.0	8.85
11	泥岩	10 000.00	0.30	3.000	30.0	3.95
12	砂质泥岩	8 000.00	0.30	2.000	30.0	3.98

层号代表了在数值分析模型中由上向下不同岩层的实际划分情况

### 3 数值模拟结果

#### 3.1 工作面不同推进距离上覆岩层移动规律

为研究工作面不同推进距离其上覆岩层的移动规律,数值模拟了工作面采厚 6.85 m,推进距离分别为 50,100,200,300,400 m 时其上覆岩层的位移移动情况.工作面不同推进距离及其地表最大下沉位移如图 2 所示,其最大下沉位移值为分别为 1.426, 3.606, 5.024, 5.928, 6.472 m.随着推进距离的不断增大,最大下沉位移值亦不断增大,但增长变缓.这是由于工作面沿走向距离不断增大,煤层开采逐步达到充分采动所致.

另外,由图 2 还可知,煤层上覆岩层下沉移动呈现漏斗形.煤层上覆岩层破坏分析大致可以分为 3 个阶段:

阶段 1:覆岩下部岩层破断阶段.随着采场工作面推进,上覆岩层逐渐暴露,岩梁暴露达到一定的跨度后,在重力作用下发生弯曲变形,当弯曲达到一定极限时,发生开裂,出现离层,并形成“假塑形梁”,开裂继续发展导致塌落,随着工作面进一步推进,老顶岩梁开始弯曲,离层逐渐向老顶岩梁扩展,出现垮落,此阶段主要变形是顶板的离层破坏,然后是断裂和垮落<sup>[6]</sup>.

阶段 2:上部岩层破坏阶段.本工作面上部为泥层,强度较高,为整个覆岩层的关键承载层,根据关键层理论,其对上覆岩层的稳定性起控制作用,所以泥层塌落程度相对于其上松厚层位移较小.

阶段 3:破坏稳定阶段.随着工作面不断推进,采空区上层覆岩破坏趋于稳定,部分岩层沉降于采空区,沉降变缓.这与数值模拟结果一致.

#### 3.2 工作面不同采厚上覆岩层的应力变化特征

为研究工作面不同采厚其上覆岩层的应力变化特征,论文数值模拟了工作面采厚分别为 2.20, 4.40, 6.85 m,工作面推进距离均为 150 m 时其上覆岩层应力情况,上覆岩层应力矢量图如图 3 所示.由图 3 可知,上覆岩层应力分区性明显,应力释放区位于采空区上方的一定区域内,而应力集中区则位于采空区外侧的一定区域;如果将采空区前后侧应力矢量方向一致的应力矢量线连接起来,则形成应力拱,应力拱为马鞍形;拱外侧为压应力集中,拱内侧,特别是采空区上方和第四系底部粘土层上方分布有拉应力.应力拱

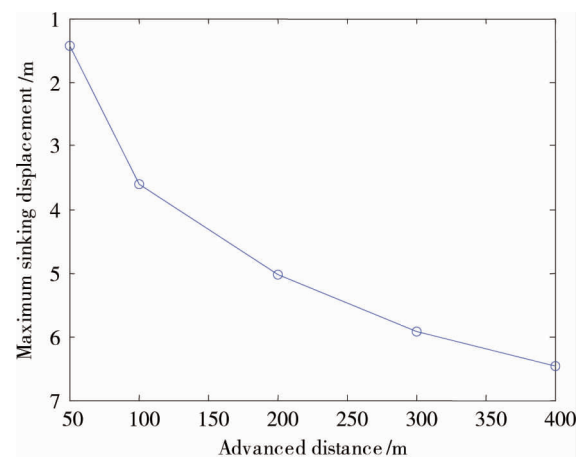


图2 工作面不同推进距离及其地表最大下沉位移

起于采空区后部煤体,止于控顶区或煤壁前方,采空区中部上覆岩层所受应力很小,至上而下应力逐渐增大,即从拱顶到拱脚,轴向力递增,在拱脚出现应力集中现象,这与砌体梁的力学特性是一致的,随着工作面的推进,应力拱的跨度、拱高不断加大<sup>[7,8]</sup>.

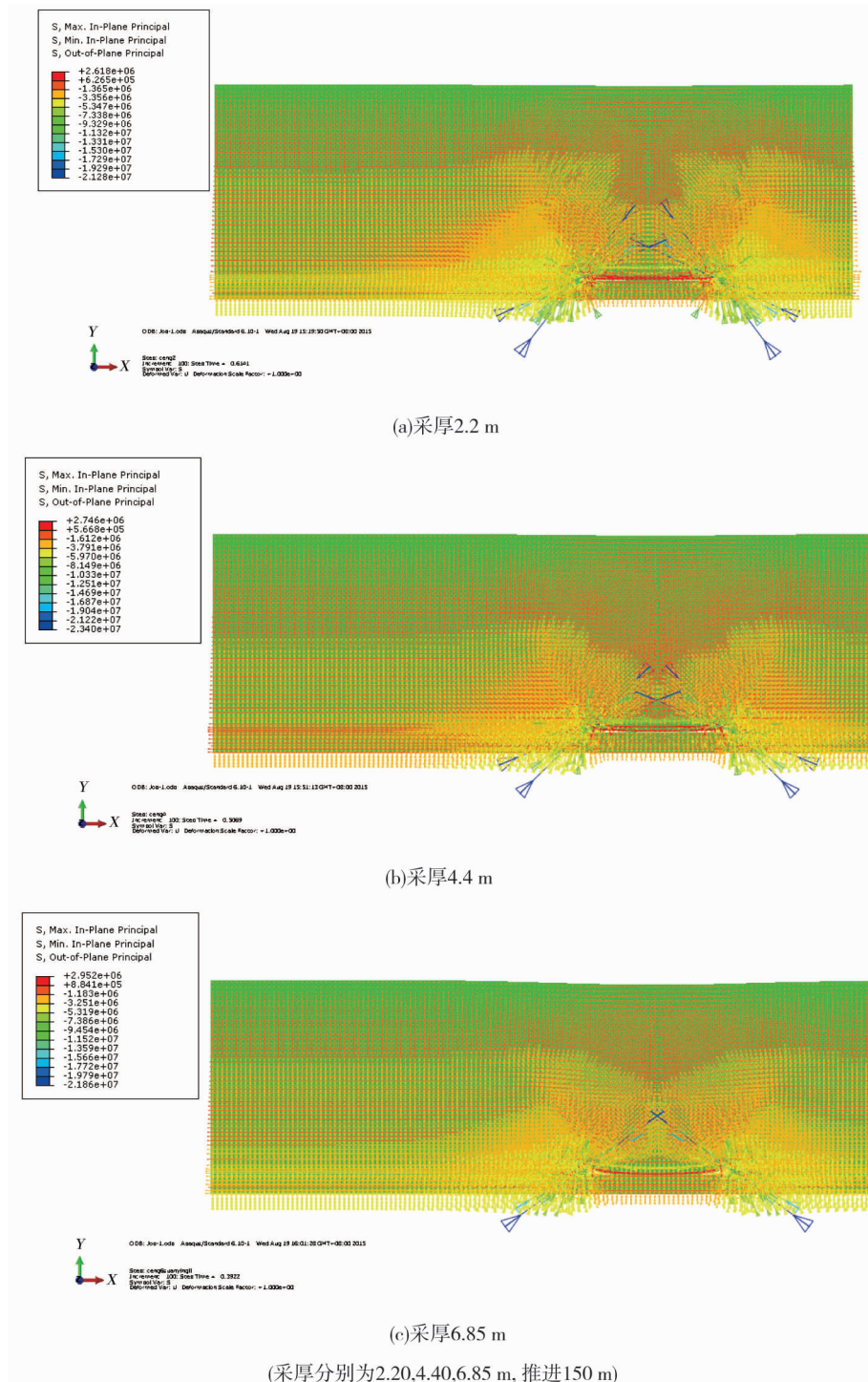


图3 工作面不同采厚上覆岩层应力矢量

## 4 结论

- 1) 煤层上覆岩层发生破坏的顺序:先弯曲再出现离层断裂最后发生垮落.
- 2) 随着开采空间沿走向不断推进扩大,煤层上覆岩层自下而上形成垮落下沉,下沉形状呈现漏斗形,由上至下下沉值逐渐变小,推进一定距离后下沉趋于稳定.

3)采空区应力拱呈现马鞍形,采空区易发生应力集中现象,随着工作面不断推进,应力拱不断增大,拱高也不断加大.

#### 参考文献:

- [1] 黄庆享.浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义[J].岩石力学与工程学报,2002,21(8):1174-1177.
- [2] 钱鸣高,缪协兴.采场上覆岩层结构的形态与受力分析[J].岩石力学与工程学报,1995,14(2):97-106.
- [3] 缪协兴,钱鸣高.采场围岩整体结构与砌体梁力学模型[J].矿山压力与顶板管理,1995(3):3-12.
- [4] 谷拴成,李昂.浅埋薄基岩厚煤层覆岩移动演化规律数值模拟研究[J].煤炭工程,2012,1(3):67-70.
- [5] 李刚,梁冰,李凤仪.大柳塔煤矿 12305 工作面覆岩活动规律的相似模拟[J].黑龙江科技学院学报,2005,15(5):295-298.
- [6] 李向阳,李俊平,周创兵,等.采空场覆岩变形数值模拟与相似模拟比较研究[J].岩土力学,2005,26(12):1907-1912.
- [7] 王玉涛.浅埋煤层开采采空区覆岩稳定性分析与评价[D].西安:西安科技大学,2013.
- [8] 涂敏,刘泽功.煤体采动顶板裂隙发育研究与应用[J].煤炭科学技术,2002,30(7):54-56.
- [9] 费玉祥,徐超杰,贾方旭.下保护层开采覆岩应力变化特性数值模拟[J].矿业工程研究,2014,29(3):1-5.