

急斜煤层巷道稳定性数值模拟*

王芝银 李云鹏 张恩强
(西安科技学院建筑工程系 西安 710054)

摘要 针对海北煤矿急斜煤层的复杂条件,利用有限元模拟试验方法,对煤层巷道煤柱的留设和回收范围进行了计算模拟试验,探讨了煤层巷道的稳定性,所得结果可供工程参考。
关键词 急倾斜,煤层,巷道稳定性,有限元,模拟试验。
分类号 TD 322, O 242 21 **文献标识码** A **文章编号** 1000-6915(2000)06-0718-04

1 引言

煤层的赋存条件尤其是煤层倾角对煤层巷道的开拓部署,巷道的布置和支护的参数、巷道煤柱的留设和回收以及防灭火等许多重要技术问题影响极大。目前,在缓斜煤层中,这些问题均得到了较好的解决,并取得了不少成功的经验。但对急斜煤层中的这些问题研究较少,本文以青海海北煤矿为例,采用有限元模拟试验技术,探讨布置于急斜煤层中的巷道合理布置方案、预留煤柱的尺寸范围及煤层巷道围岩变形与破坏的一般规律,不仅为海北煤矿,而且可为西部赋存有急斜煤层的矿井生产提供参考依据。

2 计算试验方案及数值仿真模型

2.1 初始条件与计算试验模型

海北煤矿煤层倾角为46°,厚度为8m。煤层顶板直接顶为泥岩,厚度为9m;老顶为粗砂岩、泥岩互层,厚度45m。煤层底板为泥岩及角砾岩,厚度为20m。据西安科技学院矿压所海北州煤炭局海北煤矿煤岩力学性能参数测试报告,主要力学参数见表1。垂直于煤层方向的损伤变量为0.2,平行于煤层方向的损伤变量为0.15,其他岩层垂直方向损伤变量为0.15,平行方向的损伤变量为0.08。

有限元计算试验模型如图1所示。主要几何参数是依据开采方案,考虑采动影响范围确定的。约束条件是左右边界水平约束,垂直自由,顶面

自由,底面垂直约束,水平自由。有限元网格采用等参四边形单元与三角形单元的混合体系,划分单元5815个,节点5838个。
2.2 计算试验方案
(1) 巷道上部垂直厚度30m以上已采空,然后由上向下采10m,此时在巷道上部留有20m煤柱。

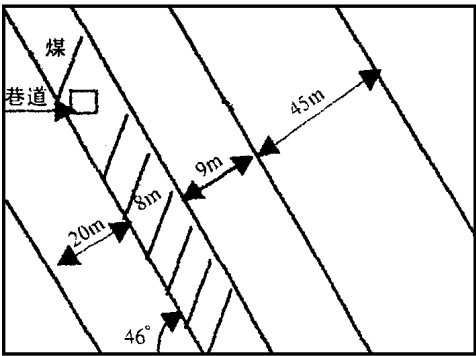


图1 计算试验模型示意图
Fig 1 Calculating test model

表1 海北煤矿岩石力学参数试验结果
Table 1 The test results of mechanical parameters for rock in Haibei mine

岩样名称	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹模 /10 ⁴ MPa	泊松比	内聚力 /MPa	内摩擦角 /(°)
底板	42.1	1.30	2.2	0.13	6.50	30.0
底部煤	8.6	0.35	1.2	0.31	1.85	36.5
顶部煤	10.7	0.18	1.4	0.31	1.85	36.0
老顶	80.7	3.80	2.6	0.12	8.75	25.0
直接顶	32.9	2.00	1.3	0.19	3.20	36.0

2000年7月6日收到初稿,2000年7月22日收到修改稿。
* 陕西省教委专项基金(99JK213, 99JK176)资助项目。
作者 王芝银 简介: 女, 1956年生, 博士, 1981年毕业于西安矿业学院固体力学专业, 现任教授、博士研究生导师, 主要从事岩土力学与工程方面的教学和研究工作。

(2) 从巷道下部留 30 m 煤柱开始向下采到开采斜长达 59 m。

(3) 在巷道下部回收 15 m 煤柱, 留 15 m 煤柱, 探讨由于开采煤柱对巷道的变形、破坏的影响及回收煤柱的可行性。

2.3 数值仿真试验模型

数值仿真试验模型选择了两种, 一种是通常的弹塑性模型, 屈服条件为德鲁克-普拉格准则; 另一种是考虑老顶、底板均为两种岩体的互层组成, 具有初始损伤, 而煤层及直接顶受开采的影响, 易于出现裂纹、裂隙, 煤层及岩层中均具有微裂隙。因此, 采用简化的弹塑性损伤模型, 其本构关系为^[1]

$$\{\Delta\sigma\}_n = [\tilde{D}]_n(\{\Delta\epsilon\}_n - \{\Delta\epsilon^p\}_n) + [\Delta\tilde{D}]_n\{\epsilon\}_n$$
式中: $\{\Delta\sigma\}_n$ 为第 n 次开采所引起的增量应力; $[\tilde{D}]_n$ 为第 n 次开采等效弹性张量; $\{\Delta\epsilon\}_n$ 为第 n 次开采总应变增量; $\{\Delta\epsilon^p\}_n$ 为第 n 次开采塑性应变增量; $[\Delta\tilde{D}]_n$ 为本次等效模量增量, 它取决于损伤演化方程及规律; $\{\epsilon\}$ 为此次前的弹性应变。

因此, 根据文[2]应用虚功原理可导出考虑弹塑性损伤时的有限元方程为

$$[\tilde{K}]\{\Delta u\}_n = \{\Delta f\}_n + \{\Delta f^p\}_n + \{\Delta f^d\}_n$$
式中: $[\tilde{K}]$ 为考虑损伤时的刚度矩阵; $\{\Delta f\}_n$ 为第 n 次开采边界释放应力等效节点力; $\{\Delta f^p\}_n$ 为由塑性应变所引起的附加力; $\{\Delta f^d\}_n$ 是由于开采引起围岩损伤发展而引起的附加力或称为损伤演化附加力。

3 计算结果及分析

现仅给出煤巷上部完全采空(仅留 20 m 煤柱)、煤巷下部留 30 m 煤柱向下开采 59 m 和煤巷下部回收 15 m 煤柱以及几种特殊开采时步时的采区或巷道围岩应力分布等值线图、损伤破坏区图、周边位移、周边应力及巷道周边变形趋势图等。

由图 2~ 4 可见, 开采过程的应力场、塑性破坏区及巷道周边和采区应力分布规律是随着开采步骤的进程而不断调整变化。应力集中均在巷道周边及各采空区的角点处。由图 3 可见, 无论是上部还是下部开采或回收煤柱均对巷道(煤巷)的稳定性影响较小; 而对于各采区开采阶段破坏冒落区均在采区端部顶角附近处, 破坏垮落区的高度在 2~ 3 m 左右。

图 5~ 8 给出了采区变形变化规律。由整体位移场可见, 开采是引起位移变化的直接因素, 且巷道四壁位移随开采步骤的变化方向有很大改变, 即由向上移动变为向下移动, 侧壁先左后右或先右后左出现方向逆转现象, 而巷道整体有向一个方向移动的趋势, 见图 7(d), (e), (f) 所示。由图 7 各图可见, 在煤巷初始开挖时, 巷道四壁均向洞内移动, 而在

上部全部采空(留 20 m 煤柱)时, 巷道出现向上整体移动的趋势。这主要是由于巷道上方煤层采空压力释放所致。在后续巷道下部开采以及煤柱回收过程中, 由于急倾斜煤层顶板岩层有整体沿斜面下滑错动的趋势, 造成巷道顶板、两侧及底板变形规律紊乱, 使巷道洞形出现不规则现象(图 7(e), (f))。

在整个开采过程中巷道顶、底板及两侧壁中点位移变化规律见图 8。上帮移近量为 -1.58×10^{-3} m, 顶板下沉量为 4.97×10^{-3} m, 下帮移近量为 -1.92×10^{-3} m, 底板移近量为 1.42×10^{-3} m, 上下、左右收敛位移分别为 0.93×10^{-2} m, 0.34×10^{-3} m; 从巷道下部留 30 m 煤柱开始向下采到斜长达 59 m 后巷

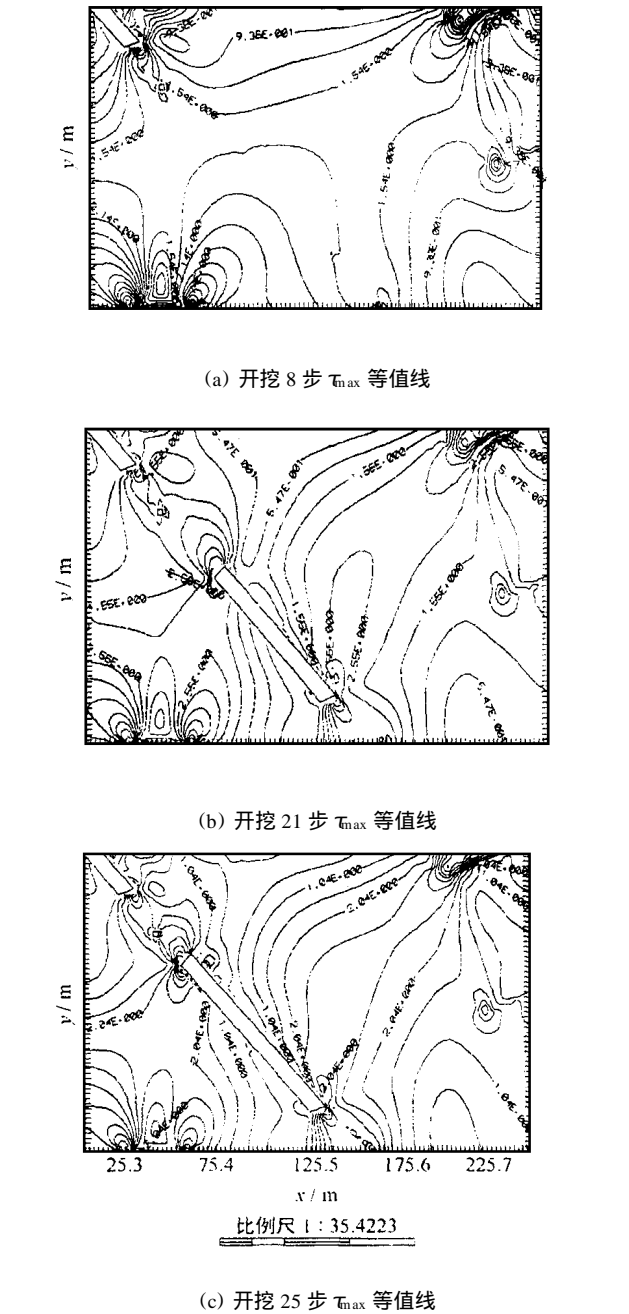


图 2 三种开采步骤条件下采区最大剪应力等值线
Fig 2 The contour of τ_{\max} in three kinds of mining steps

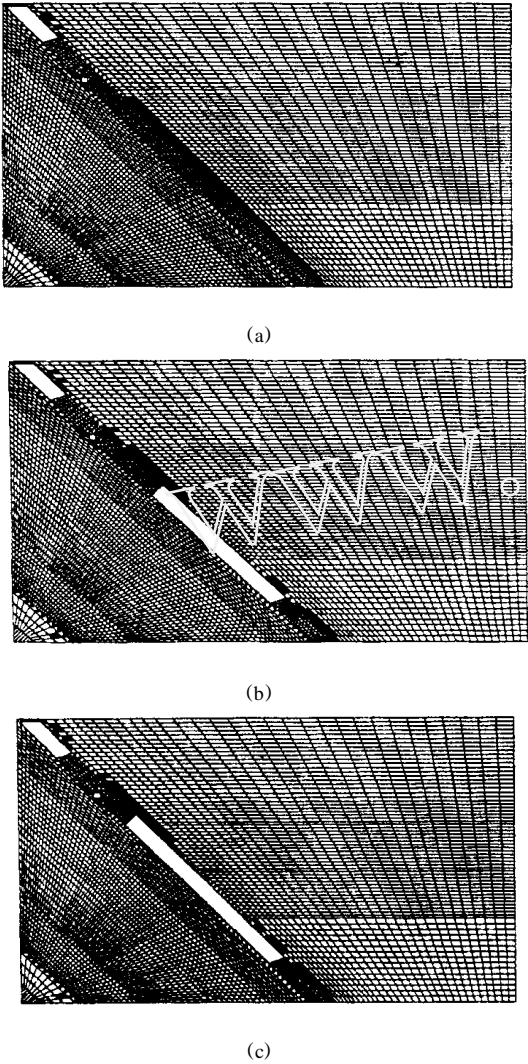


图 3 三种开采步骤条件下的损伤破坏区图
Fig 3 Damage and plastic ranges in three kinds of mining steps

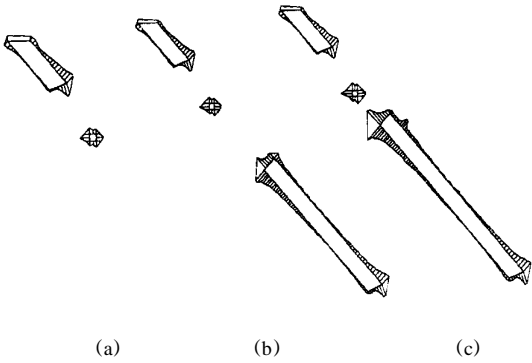


图 4 巷道及采区周边应力分布规律
Fig 4 Peripheral stresses of opening and mining area

道上帮移近量为 $-8.75 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，顶板下沉量为 $-2.69 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，下帮移近量为 $-1.04 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，底板移近量为 $-1.45 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，上下、左右收敛位移分别为 $1.24 \times 10^{-2} \text{ m}$ ， $7.71 \times 10^{-2} \text{ m}$ ；在巷道下部回收 15m 煤柱后巷道上帮移近量为 $-1.94 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，顶

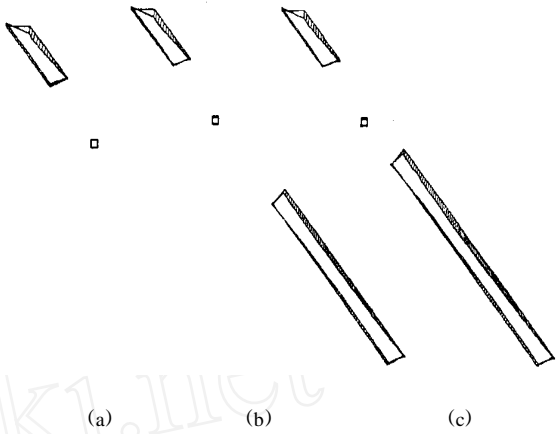


图 5 巷道及采区周边位移分布规律
Fig 5 Peripheral displacements of opening and mining area

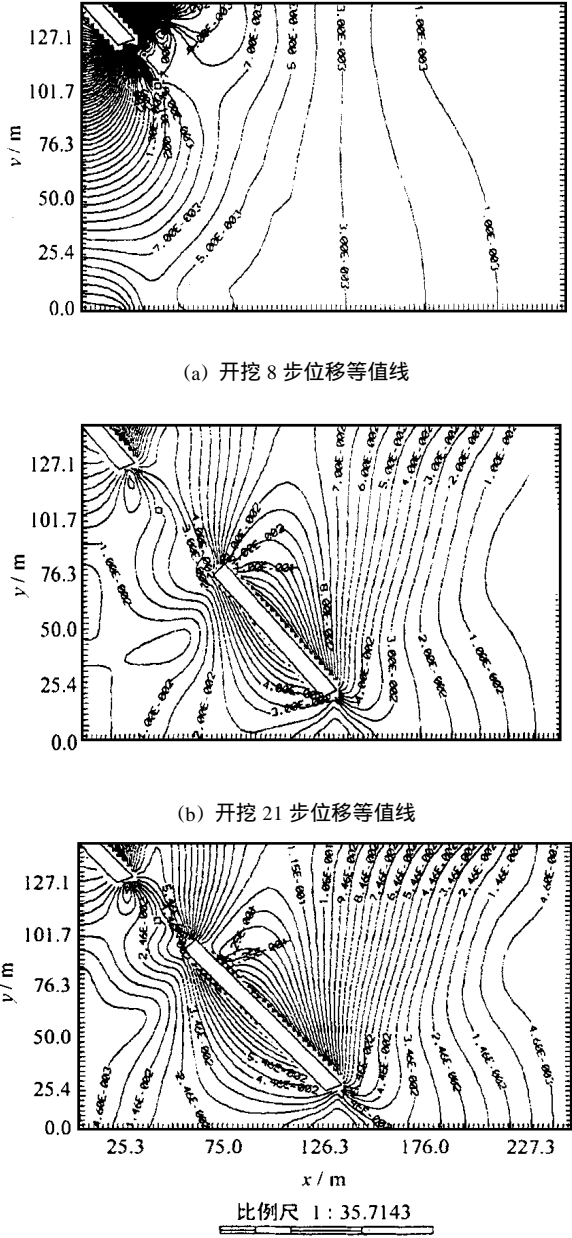


图 6 三种开采条件下采区位移等值线图
Fig 6 The displacement contours in three kinds of mining steps

板下沉量为 $-3.25 \times 10^{-2} \text{m}$ ，下帮移近量为 $-2.12 \times 10^{-2} \text{m}$ ，底板移近量为 $-1.67 \times 10^{-2} \text{m}$ ，上下、左右收敛位移分别为 $1.58 \times 10^{-2} \text{m}$ ， $0.18 \times 10^{-2} \text{m}$ 。巷道变形后的移动趋势及巷道形状如图 7、8 所示。

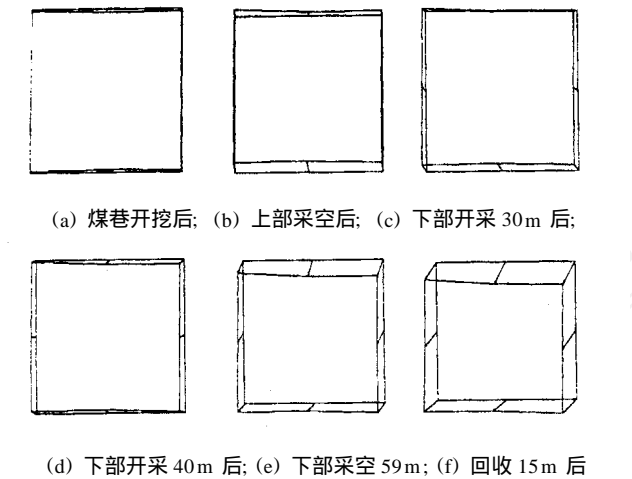
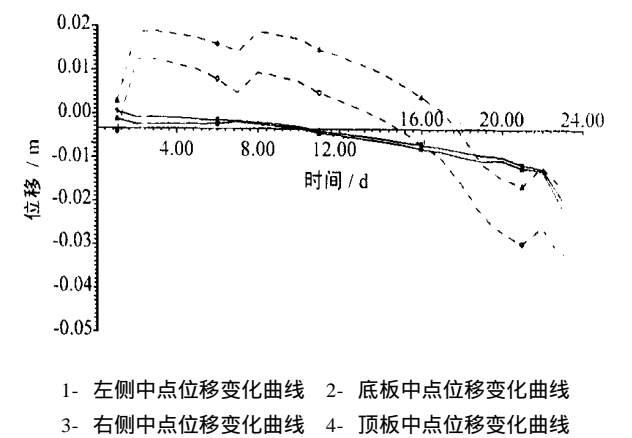


图 7 开采过程中巷道周边变形规律图

Fig 7 Peripheral deformation of opening in the mining process



1- 左侧中点位移变化曲线 2- 底板中点位移变化曲线
3- 右侧中点位移变化曲线 4- 顶板中点位移变化曲线

图 8 开采过程中巷道顶、底和两侧中点变形曲线图
变形规律图

Fig 8 The displacement curves in middle points of roof floor and two sides

由三种特殊条件的巷道变形规律可见，引起巷道变形或出现整体移动主要起因于顶板岩层沿斜面滑移错动的结果。巷道整体移动的趋势在巷道上部采空后就已形成(图 7(b))，方向为向左上方向移动，而随巷道下部开采长度的增加，巷道整体移动方向由左上转为左下方向，而且移动量逐渐增大(图(7)中(d)，(e)，(f))。

4 结 论

- (1) 海北急斜煤层开采在煤层中设置巷道是可行的，在煤巷上方留 20m 煤柱和在煤巷下方留设 15 m 煤柱能保证整个开采过程中巷道的安全稳定性。
- (2) 巷道在整个开采过程中，其周边变形趋势随着开采步骤的进程，而出现方向性的改变现象，而且有整体移动的趋势。
- (3) 煤层顶板在开采过程中有沿层面方向向下滑移错动的趋势。此变形造成了巷道出现上下错动的不规则形状，特别是在回收煤柱时变形逐渐增大，但此时巷道仍处于安全稳定状态。
- (4) 急斜煤层开采的安全稳定程度要比缓斜煤层开采安全稳定性程度高，其主要表现为顶板不易垮落，顶板来压的部分由倾斜岩层所承担。
- (5) 文中计算模拟是根据原采矿设计方案进行的。通过分析表明，该种方案并非是唯一最佳的。可以肯定，通过文中模拟方法及思路，可寻求出具有普遍意义的最优结果。

参 考 文 献

1 王芝银 隧道围岩粘弹塑性损伤有限元分析的统一模式[J]. 西安公路交通大学学报, 1997, 17(2): 32~ 35
2 李云鹏, 王芝银 固体力学有限单元法及其程序设计[M]. 西安: 西安地图出版社, 1994

NUMERICAL SMULATION ON THE STABL ITY
OF OPENING IN STEEP COAL SEAM

Wang Zhiyin, Li Yunpeng, Zhang Enqiang
(Xi an University of Science and Technology, Xi an 710054 China)

Abstract According to the complex conditions of steep seam in Haibeimining, numerical test is carried out for retaining coal post and retrieving range. The stability of seam opening is researched using finite element method. The obtained results are of referential value for engineering.
Key words steep coal seam, opening stability, FEM, simulation test