

构造应力对煤层顶板稳定性影响的数值分析

张鑫¹, 潘恺², 武志德³

(1. 黄河勘测规划设计有限公司, 郑州 450003; 2. 北京中色资源环境工程有限公司, 北京 100012;

3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;)

摘要:煤层顶板垮落是煤矿生产常见的灾害,煤层顶板稳定性预测是防治顶板事故的关键技术措施。构造应力是影响煤层顶板稳定性的重要因素之一。利用 FLAC3D 软件,分析在构造应力的影响下煤层顶板在采动过程中的变形破坏特征,以及不同侧压条件下煤层顶板的移动规律。结果表明,顶板破坏在岩梁中部是由下向上发展的,在一定的条件下,随着水平构造应力的增大,顶板破坏范围逐步减小,顶板岩层的位移逐步减小。

关键词:煤层顶板; 构造应力; 数值分析

中图分类号: P554

文献标识码: A

煤层顶板垮落是煤矿生产常见的灾害,我国顶板垮落死亡事故约占煤矿死亡事故的 40%,因此煤层顶板稳定性预测是防治顶板事故的关键技术措施^[1],弄清楚煤层岩体顶板破坏的机理具有十分重要的意义。煤层顶板稳定性受多种因素的控制^[2],例如岩体结构、直接顶厚度、工程地质条件、地应力、采掘工程条件等等,不同地质因素有不同的作用方式,探究各影响因素对煤层顶板的影响机理,对煤层顶板的管理尤为重要。目前已经形成了岩体结构理论、矿压理论等理论和方法^[3,4]。构造应力对采掘工程有重要影响,尤其是深部开采,或在更复杂的构造应力地区开采,构造应力对煤层顶板的影响作用逐渐增强。为了进一步探索构造应力对煤层顶板的破坏机理及作用方式,本文运用 FLAC3D 数值模拟软件,建立相应的数值计算模型,并进行数值模拟分析。

1 顶板变形破坏机理分析

在构造应力区,煤层顶板岩层不仅受到自身重量的作用,还受到轴向推力 N 的作用,顶板岩层的稳定性问题应转化成岩层在自重 q 及轴推力 N 共同作用下复

合弯曲时的失稳问题,煤层顶板岩体的力学模型如图 1 所示。

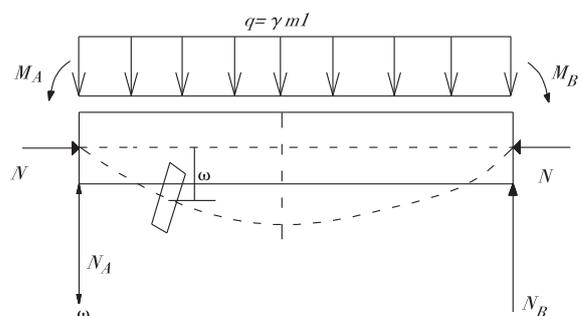


图 1 顶板岩层复合弯曲力学模型

由力学知识可知:如果 N 不大,弯曲变形很小,对顶板稳定性影响不大,当轴向压力 N 达到一定限度后,由 N 产生的弯曲变形将是一个恶性循环,随着下部煤层的开采,岩体应力重新分布,顶板岩梁将无法达到新的平衡状态而导致破坏,使顶板岩体发生屈曲下沉破坏。

2 数值模型的建立及参数的选取

根据区域地质构造应力场的特征,建立尺寸为 $150 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 70 \text{ m}$ 的模型。模型上方自由边界施加

收稿日期:2012-4-12

作者简介:张鑫(1978-),男,河南潢川县人,工程师,硕士,主要从事地质灾害危险性评估、防治及水利水电工程勘察方面的研究,

(E-mail) zhanglaohu78@ yahoo. com. cn

垂直的应力,下方边界采取 z 方向的约束, x 方向水平边界施加水平应力, y 方向水平施加水平应力。具体采用的围岩物理力学参数见表 1 注 (x 为东西向, y 为南北向, z 为垂直方向)。数值模型如图 2 所示。

初始应力状态:

$$\sigma_z = 12.8MPa, \sigma_x = 27.4MPa, \sigma_y = 20.0MPa$$

表 1 岩石物理力学性质参数

岩层名称	顶板	煤层	底板
密度 (Kg/m ³)	2600	1520	2750
抗压强度 (MPa)	116	22.3	104.12
内摩擦角 (°)	38	38.4	30
粘聚力 (MPa)	5.5	1.5	5.6
弹性模量 (MPa)	6700	1000	13500
泊松比	0.28	0.30	0.25
厚度 (m)	30	10	30

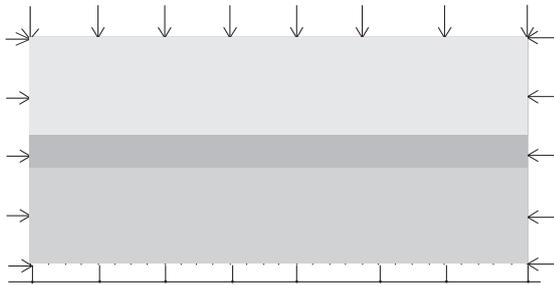


图 2 数值模型及边界条件

3 煤层顶板岩层变形破坏特征

3.1 煤层顶板岩层破坏特征分析

煤层开挖后煤层采空区顶板岩体有脱离煤层形成简支梁的趋势^[5-7],其力学模型见图 1。由于受开挖影响,破坏了煤层围岩的原岩应力,导致煤层顶板岩体悬空,其部分重量传递到周围未直接采动的岩体上,从而引起采区围岩的应力重新分布。图 3 ~ 图 6 是煤层开采过程中,采区围岩应力重新分布的变化云图。



图 3 沿工作面推进 50 m SXX 应力云图

应力云图结果表明:水平应力和垂直向应力都经历了一个应力释放降低区—应力集中增大区—应力稳定



图 4 沿工作面推进 50 m SZZ 应力云图



图 5 沿工作面推进 50 m SXZ 应力云图

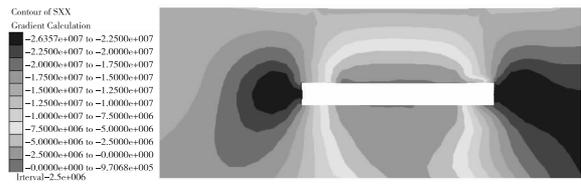


图 6 沿工作面推进 50 m SYZ 应力云图

区三个应力变化区域的变化过程。当煤层开挖后,首先在煤柱周围形成压应力集中,剪应力集中在煤柱周围及顶角端部倾斜区;在靠近采空区的岩梁内出现了明显的拉应力,拉应力以开挖长度的采空区的中轴为对称轴对称分布。

由于煤层的开挖,使得原岩应力(构造应力和岩体自重应力)的释放,加之下部岩体对上部岩体失去支撑作用,使得顶板岩中的应力逐渐超过其强度,顶板岩石强度逐渐衰减,当拉应力超过岩石抗拉强度和角部的剪应力超过岩梁的剪切强度时,煤层顶板岩梁首先在中央的拉应力集中区和煤柱两个端部剪应力集中区发生裂隙,岩层产生离层和向下的挠曲,随着工作面的推进,煤层顶板的拉应力集中范围增大,应力值也随之增大,应力高峰相应向上部转移,围岩周边破坏向深部发展,岩石破裂范围不断增大,顶板岩层产生屈曲破坏和垮落。

3.2 顶板下沉位移特征分析

为了研究引起煤层顶板位移变化的主要原因是构造应力作用还是自重应力作用,在数值模型的建立以及煤层顶板岩层的力学参数的选取仍同上所述,不同的是改变水平应力值的大小(为了方便,这里用侧压系数 K 来表示), K 分别取 0.5、2.0。图 7 ~ 图 10 是煤层开采过

程中,顶板下沉位移云图。



图 7 沿工作面推进 50 m 顶板下沉位移云图 ($K = 2.0$)



图 8 沿工作面推进 50 m 顶板下沉位移云图 ($K = 0.5$)



图 9 沿工作面推进 50 m 顶板水平位移云图 ($K = 2.0$)

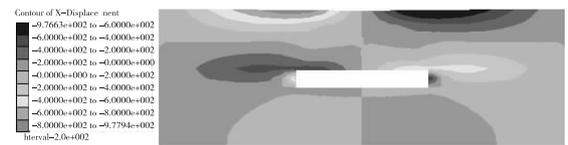


图 10 沿工作面推进 50 m 顶板水平位移云图 ($K = 0.5$)

由数值模拟的结果表明:

(1) 由顶板下沉位移云图可以看出:在构造应力作用下,沿开采工作面推进一定开采长度,当采动稳定后,煤层顶板最大下沉点位于采动推进长度的中心处,且顶板下沉盆地沿走向主断面对称分布。

(2) 由水平位移云图可以看出,在构造应力作用下,沿开采工作面推进一定开采长度,在采动稳定后,煤层顶板上部水平位移的分布沿开采中心所在的平面呈对称的,在中心的右边,向左移动;在中心的左边,向右移动。由远离工作面边界点开始,随着向采空区接近,顶板水平位移逐渐增大,到开采边界上方附近达到最大值,然后迅速减小,到开采中心上方下降到零。顶板上部的移动方向与之相反。

(3) 由水平位移和垂直位移云图比较得出:在相同的条件下,水平位移量值比垂直沉降量值要小得多,但水平移动影响范围比垂直移动影响范围更广。原因是

沉降引起沉降范围边缘的侧压减小,并逐步由受压转变为水平受拉。

(4) 从两组位移云图比较中可以看出:当侧压系数为 2.0 时,顶板水平位移和垂直位移的最大值都远远小于侧压系数为 0.5 时的相应值。可以得出,随着水平应力的增大,顶板岩体被挤压弯曲,层间的组合梁效果加剧,增大了顶板岩体的强度。这说明侧向水平应力在一定的条件下,对煤层顶板具有保护作用,具有减缓采动损害的作用^[8]。

4 结论

(1) 在水平应力为主的构造应力场中,由于受采动影响产生的拉伸变形,是构造应力场中煤层顶板破坏的主要根源。煤层顶板破坏首先发生在采空区顶板岩梁中部的拉应力集中区和岩梁端部的剪应力集中区,在顶板岩梁的中部,破坏过程是由顶板底部向顶板深处逐步扩展的。

(2) 侧向挤压构造应力煤层顶板具有一定的保护作用,但并非是挤压应力越大越好。当侧向挤压应力大于岩石的抗剪或抗压强度时,挤压应力会使岩石产生构造破裂,内聚力急剧降低,反而对煤层顶板的稳定性造成不利的影晌。

(3) 在相同的条件下,水平位移量值比垂直沉降量值要小得多,但地表水平移动范围大于垂直沉降范围,原因是沉降引起沉降范围边缘的侧压减小,并逐步由受压转变为水平受拉。

(4) 数值模拟的结果表明:水平构造应力和自重应力对顶板破坏影响的规律有本质差别。在一定的条件下,水平构造应力增大对煤层的顶板具有保护作用,然而竖向应力增大会引起较大变形。

参考文献:

- [1] 毕华照,宋振骐,乔福祥,等.煤矿顶板事故防治[M].北京:煤炭工业出版社,1991.
- [2] 郭德勇,丁开舟,王新义.煤层顶板稳定性相关因素分析与综合评价[J].煤炭科学技术,2003,31(12):104-106.
- [3] 钱鸣高,缪协兴,许家林.岩层控制中的关键层理论研究[J].煤炭学报,1996,21(3):225-230.

- [4] 葛道凯,杨起.平顶山矿区综采面顶板稳定性的沉积模式[J].煤炭学报,1994,19(2):140-181.
- [5] 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,2005,12(26):1907-1912.
- [6] 贾蓬,唐春安,王述红.巷道层状岩层顶板破坏机理[J].煤炭学报,2006,31(1):11-15.
- [7] 徐茂辉,常亮.某大型地下室的顶板裂缝分析及抗裂措施探讨[J].四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(2):64-67.
- [8] 夏玉成.构造环境对煤矿区采动损害的控制机理研究[D].西安:西安科技大学,2003.

Numerical Analysis of the Influence to Coal Seam Roof of Tectonic Stress

ZHANG Xin¹, PAN Kai², WU Zhi-de³

(1. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China;

2. Sinorex Resources & Environment. Engineering(Beijing) Co., Ltd., Beijing 100012, China;

3. Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, Langfang 065007, China)

Abstract: Seam roof failure is common disaster in coal mine production; the stability prediction of roof is the key technical measures for prevention and control of roof fall accidents; tectonic stress is one of the important factors to the stability of roof. By using FLAC3D software. The distortion destroy characteristic of coal seam roof in undermining process and the movement law of coal seam roof under different lateral pressure in the influence of tectonic stress are analysed in this paper. It can be concluded that the roof failure extends from the middle of the bottom of the stratified rock upwardly, under certain conditions, with the horizontal tectonic stress increase, the shift of roof rock layers will decrease and the destroy zone will reduce.

Key words: tectonic stress; coal seam roof; numerical analysis