

1-2-2019

Research and Application of Damage Development of Rock Mass with Complex Structure Under Horizontal Offset

Tiejun Cui

1.College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; ;2.Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China; ;3.Tunnel & Underground Structure Engineering Center of Liaoning, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China; ;

Shasha Li

1.College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; ;2.Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China; ;

Yundong Ma

3.Tunnel & Underground Structure Engineering Center of Liaoning, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China; ;

Laigui Wang

4.School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research and Application of Damage Development of Rock Mass with Complex Structure Under Horizontal Offset

Abstract

Abstract: In order to understand the stress and strain of the complex overlying strata with horizontal offset in service time of mining, *the model of the overburden mining regions is created by PFM with the simulation platform of PFC3D. The overlying strata contains five layers including intrusive igneous rock, of which the bottom rock has anticline and syncline structure due to tectonic stress. The stress and strain characteristics of the five layers of rock mass are analyzed.* Studies show that it takes the compressive stress 379 years to penetrate the overlying strata. The strongest penetrate path of the compressive stress is also determined. The simulation demonstrates the optimal path of roadway through the layer and identifies the correspondence between the service time of mining and the construction position of mining roadway.

Keywords

well versed in mining, complex overlying strata, horizontal offset, damage development characteristics

Recommended Citation

Cui Tiejun, Li Shasha, Ma Yundong, Wang Laigui. Research and Application of Damage Development of Rock Mass with Complex Structure Under Horizontal Offset[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(1): 216-221.

岩层错动下复杂构造岩体破坏发展研究及应用

崔铁军^{1,2,3}, 李莎莎^{1,2}, 马云东³, 王来贵⁴

(1. 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室, 辽宁 阜新 123000;
3. 辽宁省隧道与地下结构工程技术研究中心, 大连交通大学, 辽宁 大连 116028; 4. 辽宁工程技术大学力学与工程学院辽宁 阜新 123000)

摘要: 为了解水平错动作用下复杂构造的上覆岩层在井工开采服务年限内的应力应变情况, 采用 PFC3D 作为模拟平台, 基于下落法构造了该拟采矿区上覆岩层模型。该上覆岩层包含 5 层, 其中有侵入火成岩, 其下部岩层由于构造应力存在背斜和向斜构造。对长时间的岩层变形进行了模拟, 并分析了这 5 层岩体在该过程中的应力应变特征。研究表明, 错动产生的压应力贯穿该上覆岩层需要 379 年, 并确定了压应力最强贯穿路径。对该模拟进行应用确定了穿过该岩层的最优巷道路径及井工开采服务年限与巷道建设位置的对应关系。

关键词: 井工开采; 上覆复杂岩层; 水平错动; 破坏发展特征;

中图分类号: P62; TD15 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 01-0216-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201801027

Research and Application of Damage Development of Rock Mass with Complex Structure Under Horizontal Offset

Cui Tiejun^{1,2,3}, Li Shasha^{1,2}, Ma Yundong³, Wang Laigui⁴

(1. College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China; 3. Tunnel & Underground Structure Engineering Center of Liaoning, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China; 4. School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to understand the stress and strain of the complex overlying strata with horizontal offset in service time of mining, the model of the overburden mining regions is created by PFM with the simulation platform of PFC3D. The overlying strata contains five layers including intrusive igneous rock, of which the bottom rock has anticline and syncline structure due to tectonic stress. The stress and strain characteristics of the five layers of rock mass are analyzed. Studies show that it takes the compressive stress 379 years to penetrate the overlying strata. The strongest penetrate path of the compressive stress is also determined. The simulation demonstrates the optimal path of roadway through the layer and identifies the correspondence between the service time of mining and the construction position of mining roadway.

Keywords: well versed in mining; complex overlying strata; horizontal offset; damage development characteristics

引言

井工开采是煤矿生产的主要形式, 对于拟采用

井工开采的煤层, 应先对上覆岩层进行调查, 其中最重要的就是岩层的岩性、存在的节理, 裂隙和断层、以及构造应力等的情况。井工矿的服务年限一般在 20~50 年, 大型矿井的年限可达到 80 年, 这是一个较长的时间跨度, 在这个时期内岩层可能有较明显的变形。例如文中例子所述, 一方面原有的上覆岩层构造复杂, 存在背斜和向斜构造, 而且有



收稿日期: 2015-12-02 修回日期: 2016-05-19;
基金项目: 国家自然科学基金(51704141, 51474121, U1361211), 辽宁省教育厅项目(LJYL022);
作者简介: 崔铁军(1983-), 男, 辽宁沈阳, 博士后, 副教授, 研究方向为系统可靠性及力学系统稳定性。

<http://www.china-simulation.com>

火层岩侵入,说明原有的构造作用强烈;另一方面,该拟采煤层区与以采煤层区相距不远,已采区大部分为充分开采,且采空区众多,回填不及时,这些造成了采空区上覆岩层的大范围变形与破坏,对拟采区上覆岩层造成了水平错动作用。基于上述两种作用,应对该拟采区进行长时间的上覆岩层应力应变分析,研究其发展规律,以便对巷道的开掘方向等做出科学规划。

目前对上覆岩层应力应变已做了一些研究^[1-10]。但是这些方法也存在者缺点,基于解析计算的方法适用条件限制较大,且岩体内部物理力学参数存在不确定性,所以难以保证结果的有效性;基于连续性理论的模拟方法,对于复杂岩体构造下的应力应变分析适应性也不高,特别是对于存在破碎岩层,岩层相互侵入挤压情况下的模拟效果更为有限。

基于作者对连续-非连续性模拟的研究^[11-14],提出使用 PFC3D 作为模拟平台,采用下落法构造复杂岩体的几何特征,并加以水平错动效应,分析岩体长期应力应变特征。应用该模拟分析,确定了井工服务年限内可作为巷道建设位置的岩体范围,即最优巷道路径。

1 工程背景

某煤矿四周城市均距离比较近,矿井田总面积大约是 23.043 2 km²,东西向长度约为 4 200 m,南北方向上长约 5 350 m。根据地质勘探和采掘工作实践确定地下存在大范围火成岩并绘制了相关地质剖面图。为了提高煤矿产量,在主矿区附近拟建设新的矿井。规划拓展矿区煤层平均赋存标高为 275 m,煤层上覆岩层产状复杂,有古代岩层褶皱形成的背斜和向斜构造,同时拓展采区同主矿区一样有火层岩侵入形成的巨大夹层存在。在地应力方面,形成褶皱的构造应力仍然存在,另一方面主矿区形成的采空区影响破坏了原始地层的应力平衡。以上两个因素导致了拟拓展采区上覆岩层受到水平方向错动作用。这个作用严重影响了煤层上覆岩层的应力应变特征。所以,应了

解井工开采服务年限内上覆岩层的变化情况,为开采决策提供依据。

拟拓展采区上覆岩层示意图如图 1 所示。上覆岩层剖面尺寸 275 m×500 m,由于岩层形状极不规则,具体岩层尺寸根据图 1 按比例可得,这里不再给出。根据该矿区勘探所得各地层岩体物理力学性质,采用统计学正态分布方法,得到相关岩层参数如表 1 所示。对颗粒粒径 R,由于模拟的岩层风化程度较低,岩性质量较好,且考虑到计算性能的影响,5 个岩层颗粒粒径均取 2.5 m。为了模拟上述地层运动,根据该矿 1998~2013 年的不定期监测岩移,发现该覆岩上部 and 下部均受水平岩层移动影响,上部影响范围约为 0~125 m,下部约为 125~275 m,速度大小相近,方向相反,约为 0.1 m/年,即 $V_1=V_2=0.1$ m/年。

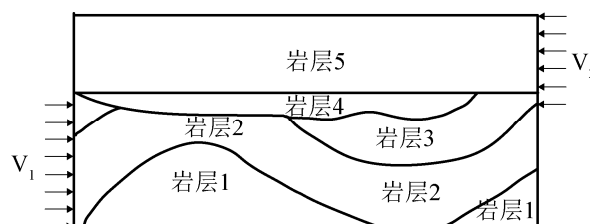


图 1 拟建矿区上覆岩层示意图
Fig. 1 Proposed the mining overlying strata

2 下落法的模型构建

考虑到岩土体形成过程是由于风化、沉积等作用使颗粒在竖直方向从下到上逐层堆积形成的,并经过自然压实的过程。按照该思想构建了“下落法(Particles Fall Method, PFM)”来构造初始应力场。PFM 是通过使颗粒在竖直方向从下到上逐层堆积并压实的过程构造模型的,其流程分别如图 2 所示。

岩体模型的建立方法如下:

- 1) 通过 Matlab 按照图 1 建立并定义岩体坐标系,以便进行不同岩体分界线线型拟合。
- 2) 确定坐标系中岩体分界线走向的关键坐标点。

表 1 上覆岩层中各层参数
Tab. 1 Parameters in the mining overlying strata

岩层	岩性	勘察平均 深度 H/m	密度 $\rho/(Kg/m^3)$	颗粒粒 径 R/m	颗粒法向刚 度 $k_{bn}/(GPa)$	颗粒切向刚 度 $k_{bs}/(GPa)$	法向内聚力 nb/(MPa)	切向内聚力 sb/(MPa)	摩擦 系数 μ
1	未风化岩层, 受挤压 有破碎	224	2 600	2.5	14	14	6	6	0.8
2	微风化辉绿岩	191	2 500	2.5	12	12	5	5	0.7
3	中风化辉绿岩	144	2 400	2.5	11	11	4	4	0.6
4	侵入火层岩	110	2 800	2.5	20	20	8	8	0.9
5	第四纪沉积土和砂 岩、砾岩	54	2 400	2.5	6	6	3	3	0.6

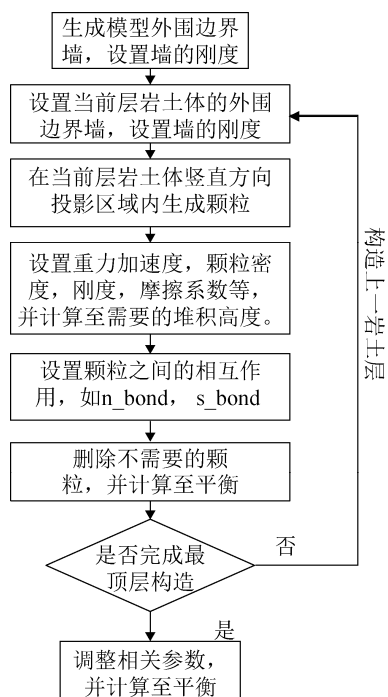


图 2 PFM 流程图

Fig. 2 Flow chart of particles fall method

3) 使用多项式函数拟合这些关键点形成岩体分界线并得到拟合参数。图 1 中岩体分界线拟合成二次或三次曲线, 得到的拟合曲线参数用于 PFC3D 的 FISH 语言对岩层几何形状修正。

4) 使用下落法构造岩层模型, 后使用 FISH 按照拟合的岩体分界线对下落后岩体进行修正。即定位位置在该分界线以上的颗粒, 并进行删除, 已达到修正岩体形状的目的。

根据上述步骤和图 1 构建地层模型, 颗粒粒径均为 2.5 m, 模型厚度为 10 m。各地层颗粒参数如表 1 所示。

3 模拟与分析

图 3 为拟拓展采区岩层在水平错动力作用下内部应力应变的过程模拟。根据上述地层移动速度, 折合成步数(Step)为 0.144 74 年/步, 那么子图 a~i 分别对应的时间为: 7.237 0 年、21.711 0 年、43.422 0 年、72.370 0 年、130.266 0 年、188.162 0 年、253.295 0 年、325.665 0 年、378.495 1 年(由于分析岩层整体破坏, 所以模拟时间较长, 一般井工服务年限为 20~80 年)。

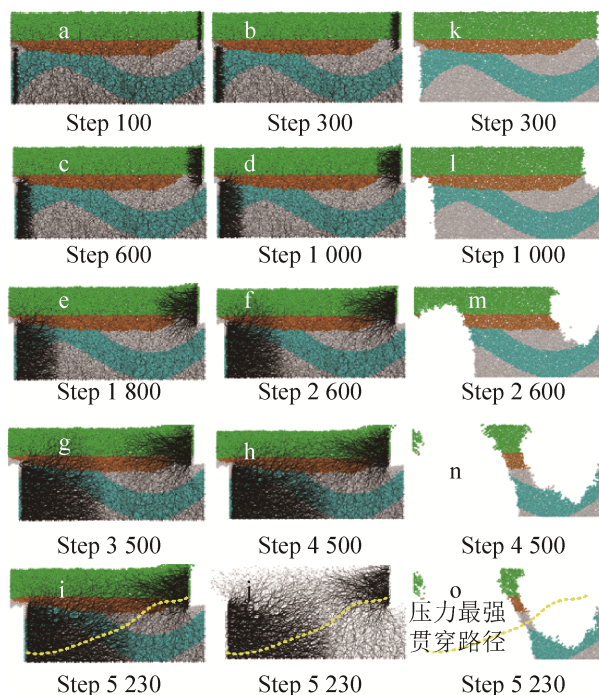


图 3 上覆岩层在水平错动下的模拟过程

Fig. 3 Simulation process of overlying strata under horizontal offset

在岩层错动过程中上覆岩层受到挤压, 各岩层受力及变形规律如下:

岩层 5: 该岩层距地表最近, 为第四纪残积风化土和砾岩组成。表层松散在受挤压部位容易隆起, 应力集中较小, 压应力能均匀地扩散, 如图 a~d。从 e 开始表层土体明显隆起, 隆起部分将不承担挤压应力, 造成该层上部水平压应力传递消失, 压应力在该层下部传递较为明显, 如图 3(g~i) 所示。

岩层 4: 该层为火成岩, 整体性较好, 力学性质好。该层正好处于 V_1 和 V_2 作用的交接处, 在 V_2 作用下, 从图 d 开始压应力传至该层, 由于强度较大且显凸透形状, 右侧受挤压岩体下侵入岩层 3, 造成压应力迅速向岩层 3 扩散, 竖直方向尤为明显, 如图 3(e~i) 所示, V_2 对岩层 4 的作用主要体现为水平压应力的扩散。在 V_1 作用下, 由于 V_1 并未直接作用到岩层 4 左边的凸透形状, 所以最初并未受到影响, 如图 3(a~c) 所示。从图 3(d) 开始与岩层 3 接触, 由于对岩层 1 和岩层 2 的挤压作用, 应力在这两个层中迅速扩散, 并传至岩层 4。由于岩层 4 的岩性较强, 变形相对较小, 阻挡了压应力进一步向岩层 5 扩散, 但岩层 4 左侧会整体抬升。而 V_1 对岩层 4 的作用主要体现为竖直压应力的扩散。如图 3(e~i) 所示。

岩层 3: 该层为火成岩下部岩层中, 岩性最弱的一层, 且为向斜构造, 上部受压, 下部受拉。由于这样的构造特征, 由 V_2 产生的压应力在该层中有靠近破坏处压应力竖向传播, 远离破坏处水平传播的现象, 且竖直压应力传播至岩层 2 时明显减小, 这是由于该层下部受拉破碎造成的。见图 3(e~i)。

岩层 2: 该层左侧背斜右侧向斜, 存在受拉区和受压区。由岩层 3 受力分析可得 V_2 对该层的影响很小。在 V_1 作用下压应力在该层中传播并未有明显的特点, 对该层挤压主要作用是使岩层 4 抬升, 并对岩层 1 进行挤压。如图 3(f~i) 所示。

岩层 1: 该岩层主要受 V_1 作用, 背斜构造明显, 核部压应力较高。由层 2 传递而来的压应力

迅速通过核部将压应力再次传递至岩层 2, 这个过程要比压应力从岩层 2 自身传递的压应力快, 如图 3(g~i) 所示。图 3(j) 为压应力树状图, 图中可以看出压应力通过岩层 1 到岩层 2 的范围较大, 水平向发展为优势。

经过上述分析, 由图 3(i, j) 可知在 379 年时, V_1 和 V_2 在岩层中产生的压应力扩散树开始明显接触, 即产生的压应力将贯穿整个岩层。压应力最强贯穿路径如图 3(i, j, o) 所示。值得注意的是, 穿过岩层 2 的压应力来源于岩层 1 的作用, 而不是岩层 2 中压应力的传播。

上述进行了错动过程的受力分析, 另一项决定开采方案的重要指标就是位移, 巷道或斜坡道都应该在较稳定的岩层中建造, 利用上述模拟过程, 对岩层位移进行分析, 并以一个实际应用给出。

4 最优巷道路径的确定

在受力分析的基础上, 对岩层位移进行分析, 根据实际情况, 设定巷道经过岩层应保证在开采期间位移小于 0.1 m。图 3(k~o) 图显示了在不同时间的位移小于 0.1 m 的岩体位置(大于 0.1 m 的部分已删除), 分别对应: 21.711 0 年、72.370 0 年、188.162 0 年、325.665 0 年、378.495 1 年。

与受力分析对应, 图 3(m, n) 表明了岩层 4 左侧抬升的现象, 因为岩层 5 并未直接受到 V_1 的作用, 而是由于岩层 4 的抬升导致位移偏大。图 m, n, o 也表明了岩层 3 的压应力传递特点, 即压应力水平向传递明显, 而竖直方向传递主要在该层内, 传至层 2 的压应力发展较慢。另一方面, 压应力最强贯穿路径与图 3(o) 所剩岩体基本垂直, 也证明了模拟过程有一定的正确性。

根据图 3(k~o) 可确定所需井工开采服务年限与巷道建设位置(巷道通过的岩层位置)的对应关系。该例中煤层位于该岩层之下, 采用井工开采, 如设工开采服务年限为 70 年, 那么巷道就应在图 1 中剩余的岩层位置通过; 如果年限为 20 年, 应在图 3(k) 中剩余岩层位置通过。当然在岩层中最后存

在的贯穿岩层,且适合巷道通过的位置如图3(o)所示,在这种情况下要使巷道产生超过0.1m变形破坏需要379年,这是最理想的状态,即最优巷道路径。这样可以得到井工开采服务年限小于379年内任意时间所对应的适合巷道通过的岩层位置(除上述时间外的适合巷道通过岩层图由于篇幅所限未给出)。

5 结论

论文以实例作为背景,研究了拟采用井工开采煤层上覆复杂岩层在水平错动作用下的应力应变特征,并进行了应用。

1) 在水平错动的作用下对岩层的应力应变进行了模拟。通过实地测量得到了水平错动的特征,模拟了从开始受到错动到错动产生压力贯穿上覆岩层的全过程。这个过程需要379年。分析了上覆岩层中5个岩层的变形特征,尤其是火成岩在变形过程中的独特作用。

2) 确定了压应力最强贯穿路径。在379年时形成压应力最强贯穿路径,即, V_1 和 V_2 在岩层中产生的压应力扩散树开始明显接触,产生的压应力将贯穿整个岩层。穿过岩层2的压应力来源于岩层1的作用,而不是岩层2中压应力的传播。

3) 对模拟进行实际应用确定了最优巷道路径。确定了所需井工开采服务年限与巷道建设位置(巷道通过的岩层位置)的对应关系。最优巷道路径为最后的可以贯穿上覆岩层且位移小于0.1m的岩层区域,其出现在379年。

参考文献:

- [1] 轩大洋,徐家林,冯建超,等. 巨厚火成岩下采动应力演化规律与致灾机理[J]. 煤炭学报, 2011, 36(8): 1252-1257.
Xuan Da-yang, Xu Jia-lin, Feng Jian-chao, Zhu Wei-bing. Disaster and involvement law of mining-induced stress under extremely thick igneous rock [J]. Journal of China Coal Society. 2011, 36(8): 1252-1257.
- [2] 靳钟铭,徐林生. 煤矿坚硬顶板控制[M]. 北京: 煤炭

工业出版社, 1994.

Jin Zhong-ming, Xu Lin-sheng. Control of hard roof in coal mine [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1994.

- [3] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 岩层控制中关键层的理论研究[J]. 煤炭学报, 1996, 21(3): 225-230.
Qian Ming-gao, Miao Xie-xing, Xu Jia-lin. The oretical study of key stratum in ground control [J]. Journal of China Coal Society, 1996, 21(3): 225-230.
- [4] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
Qian Ming-gao, Miao Xie-xing, Xu Jia-lin, et al. Dominant stratum theory for control of strata[M], Xuzhou: China University of Mining and technology Press, 2000.
- [5] 王金安, 赵志宏, 侯志鹰. 浅埋坚硬覆岩下开采地表塌陷机理研究[J]. 煤炭学报, 2007, 32(10): 1051-1056.
Wang Jin-an, Zhao Zhi-hong, Hou Zhi-ying. Study on the catastrophic of surface land induced by mining under a shallow and hard strata[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(10): 1051-1056.
- [6] 肖江, 任奋华, 王金安, 等. 高位巨厚岩浆岩断裂失稳机理研究[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(1): 1-5.
Xiao Jiang, Ren Fen-hua, Wang Jin-an, et al. Collapse rupture mechanism of extra heavy magmatic rock[J]. Journal of Xi An University of Science And Technology. 2008, 28(1): 1-5.
- [7] 谢广祥, 王磊. 采场围岩应力壳力学特性的工作面长度效应[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1336-1340.
Xie Guang-xiang, Wang Lei. Effect of longwall length on mechanical characteristics of surrounding rock stress shell in mining face[J]. Journal of China Coal Society. 2008, 33(12): 1336-1340.
- [8] 李学良. 基于FLAC_3D的采动区覆岩破坏高度数值模拟研究[J]. 煤炭科技, 2012, 31(10): 83-85.
LI Xue-liang. Numerical Simulation of Corrupt Hight of Overlying Strata Induced by Mining Based on FLAC_3D[J]. Coal Technology, 2012, 31(10): 83-85.
- [9] 付玉平, 宋选民, 邢平伟, 等. 浅埋厚煤层大采高工作面顶板岩层断裂演化规律的模拟研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 366-371.
FU Yu-ping, SONG Xuan-min, XING Ping-wei, et al. Study on Simulation of Caving and Evolution Law of Roof Strata of Large Mining Height Workface in Shallow Thick Coal Seam[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(3): 366-371.