

# 近距离煤层群叠加开采卸压效应的数值模拟分析

李洪生<sup>1</sup>, 李树清<sup>1,2</sup>, 汤铸<sup>3</sup>, 孙雪峰<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;  
2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;  
3. 六盘水师范学院, 贵州 六盘水 553004)

**摘要:**以金佳矿为工程背景,采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件对矿井中煤组11223和1118,1这两个工作面的先后叠加开采过程进行了数值模拟分析,得出了煤岩层的应力分布、位移变化规律及塑性区破坏形态.结果表明:叠加开采后在煤岩层中形成了3个不同区域的应力,即煤柱、切眼及进回风巷的应力升高区、采空区中部的应力降低区和远离工作面的原始应力区;应力云图和位移云图的形态走向均为平顶梯形,倾向均为斜梯形;塑性区图走向为驼峰顶边梯形,倾向为圆顶斜梯形.叠加后形态基本未改变,但其范围有所加大.

**关键词:**煤层群叠加开采;应力分布;位移分布;塑性区

**中图分类号:**TD821      **文献标志码:**A      **文章编号:**1674-5876(2014)01-0048-05

## Numerical simulation on superposition mining pressure relief effect of near distance coal seam group

LI Hongsheng<sup>1</sup>, LI Shuqing<sup>1,2</sup>, TANG Zhu<sup>3</sup>, SUN Xuefeng<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
2. Hunan University of Science and Technology, Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Xiangtan 411201, China;  
3. Liupanshui Normal University, Liupanshui 553004, China)

**Abstract:** Taking Jinjia mine as the engineering background, the overlapping mining process of two working face of 11223 and 111811 in the mine coal group was simulated by using FLAC<sup>3D</sup> software and stress distribution, and the displacement and plastic zone failure pattern of the coal and rock were gotten. Results showed that the stress in three different regions were formed in coal beds after overlapping mining, namely, the stress increasing region of coal pillar, cutting holes and the return air lane, the stress decreasing zone of the central mining goaf, and the original stress zone away from working face. The form and trend of stress nephogram and displacement nephogram were flat trapezoid and the tendency was oblique trapezoid. The trend of plastic zone graph was crest trapezoid and the tendency was dome inclined ladder. The pattern did not change after superposition, but the range increased.

**Key words:** overlapping mining of coal seam group; stress distribution; displacement distribution; plastic zone

收稿日期:2013-10-16

基金项目:湖南省研究生科研创新资助项目(CX2012B390);国家自然科学基金资助项目(51374104;51274095);教育部科学技术研究重点资助项目(210147);湖南省教育厅资助科研项目(09B035)

通信作者:李树清(1969-),男,湖南湘阴人,博士,教授,研究方向:巷道围岩控制和矿山安全工作. E-mail: lsq-hnust@163.com

近距离煤层群开采条件下,先采煤层对相邻煤层造成采动影响,可能导致相邻煤层开采条件的破坏,而另一方面,采动可以导致邻近煤层的卸压和瓦斯释放,对后采煤层的瓦斯治理造成影响,特别是在煤层群叠加开采时,采动卸压效应更加显著.因此,研究近距离煤层群叠加开采卸压效应有着比较重要的意义.在煤层群叠加开采卸压效应研究方面,史元伟等<sup>[1]</sup>采用解析法、数值分析方法对近距离煤层开采的相互影响、开采层及煤柱下方的底板岩层应力分布规律等作了许多卓有成效的工作.王洛峰<sup>[2]</sup>等通过采用相似材料模拟试验方法来研究深部强冲击厚煤层开采双层保护层的卸压效果,得到了双层保护层在回采过程中被保护的应力变化规律.郭文兵等<sup>[3]</sup>应用相似理论和光弹性力学模拟实验方法,对平煤集团八矿井田内多煤层同采条件下采场围岩应力场特点以及相互影响关系进行了研究.康永华等<sup>[4]</sup>以现场实测资料为基础,对综采重复开采的覆岩破坏高度、范围、形态及发育特点等进行了全面分析.曲华等<sup>[5]</sup>研究了深井难采煤层上行开采应力分布情况,认为上行开采可显著降低上部煤层工作面采动应力水平.姚邦华等<sup>[6]</sup>采用 RFPA<sup>2D</sup>数值模拟软件分析了双煤层下行开采重复采动,研究了覆岩破断、裂隙发育和再发展规律.孙如华等<sup>[7,8]</sup>采用钻孔电视实测、数值模拟等手段研究了巨厚火成岩覆盖条件下多煤层叠加开采顶板覆岩破坏状况,得到了坚硬岩层覆盖条件下的多煤层叠加开采覆岩变形破坏规律及离层裂隙空间分布特征.冯国瑞等<sup>[9]</sup>通过室内相似模拟实验研究发现,受两次采动影响,上行开采层间岩层出现了裂隙产生、扩展甚至贯通的过程,导致其层间岩层发生了结构性变化.王国旺等<sup>[10]</sup>通过现场实测分析了下行开采下工作面矿压规律.尽管上述研究工作开展了很多,研究角度包括冲击地压预防、防透水等,但较少从瓦斯治理的角度研究煤层群叠加开采效应.笔者运用 FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件,分析了盘江精煤股份有限公司金佳矿近距离煤层群叠加开采围岩应力变化、煤岩层变形破坏情况,为现场瓦斯治理提供了参考依据.

## 1 采煤工作面概况

盘江精煤股份有限公司金佳矿为煤与瓦斯突出矿井,采用平硐、斜井联合开拓,划分为 11 和 12 这 2 个采区.本文研究的 11223 工作面和 111811 工作面处于 11 采区中煤组,中煤组包括 6 层可采

煤层:12<sup>#</sup>,13<sup>#</sup>,17<sup>#</sup>,18-1<sup>#</sup>,18<sup>#</sup>,22<sup>#</sup>.首采的煤层为 22<sup>#</sup>煤层,工作面为 11223 工作面,后采的煤层为 18-1<sup>#</sup>煤层,工作面为 111811 工作面.11223 工作面走向长 845 m,倾斜长 150 m,煤层倾角平均为 20°;111811 工作面走向长 811.5 m,倾斜长 110 m,煤层倾角平均为 23°.2 工作面均采用走向长壁综采采煤法.

## 2 数值计算模型

本模型采用逐层分组法建立,从下至上分为 31 个组建立三维模型.模拟的煤层倾角 20°,走向长为 350 m,水平宽为 234.92 m(倾斜长 250 m),高为 183.31 m.网格的划分分别为长 70 个,宽 50 个,高 78 个.模型网格总数为 273 000 个,结点总数为 286 059 个.为简化模型,固定模型前后边界、左右边界和下部边界,取地表下 100 m 为模型顶部边界,按覆岩重量计算,施加顶部顶部初始应力 2.5 MPa.模型的左右水平按静水压力考虑,前后水平应力取垂直应力一半.每个工作面的开采均沿模型中的 Y 轴正方向开挖,每步开挖 10 m,自动迭代至平衡后开挖下一步,首采下保护层开挖完毕并达到平衡后进行叠加开采工作面的开挖,首采下保护层工作面开采 200 m,开挖 20 步,叠加开采工作面开采 180 m,开挖 18 步.模型采用应变软化本构模型,根据金佳矿地质条件,围岩力学参数见表 1 所示.

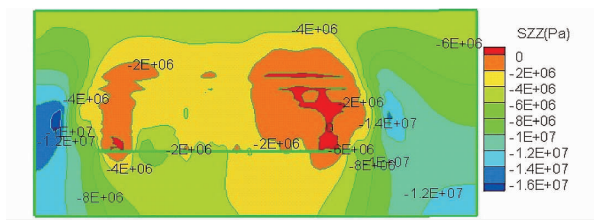
## 3 数值模拟计算结果和分析

### 3.1 采动覆岩应力变化规律

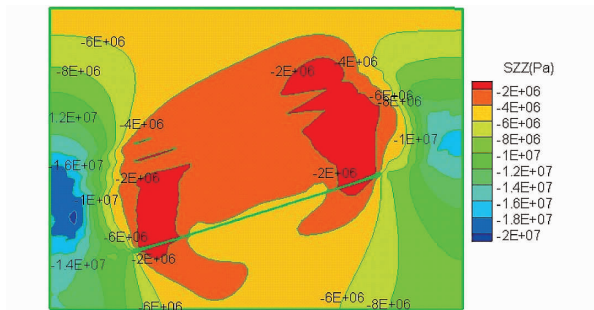
1) 图 1 表示首采煤层 11223 工作面推进 200 m 后的上覆煤岩层垂直应力的分布规律.从图 1 中走向应力分布可以看出煤层开挖后,采空区的上方出现了大量的卸压区域,开切眼后方 25 m 和工作面前方 20 m 处出现应力集中现象;从倾向应力分布来看,由于采空区上方覆岩受煤层开采影响出现了充分的卸压区,在进、回风巷附近中出现了应力集中现象,应力最大达到 20 MPa.当工作面推进时,采空区上覆岩体和下伏岩体应力降低范围都是随着工作面的推进逐步扩大,与此同时在垂直方向上的应力降低区域不断向上和向下延伸.同时,在回采过工作面后方的一定的位置上,由于受到煤层开采后顶板垮落,采空区被大量冒落的煤矸石填充很大部分,采空区后方上覆岩体的部分岩石重力被支撑起来,造成采空区已经形成卸压局部区域的应力开始增加但回升幅度并不大.

表1 金佳矿的围岩力学参数

岩石	岩石容重 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^3)$	弹性模量 $E/\text{MPa}$	抗拉强度 $\sigma_t/\text{MPa}$	内聚力 $c/\text{MPa}$	泊松比 $\lambda$	内摩擦角 $\psi/(\text{°})$	剪胀角 $\phi/(\text{°})$
12 <sup>#</sup> 煤	1.4E4	3.1E4	0.22	0.51	0.24	30.2	11
13 <sup>#</sup> 煤	1.4E4	3.1E4	0.22	0.51	0.24	29.1	11
17 <sup>#</sup> 煤	1.4E4	3.1E4	0.22	0.51	0.24	30.2	11
18-1 <sup>#</sup> 煤	1.4E4	3.1E4	0.26	0.61	0.24	30.2	11
18 <sup>#</sup> 煤	2.5E4	3.1E4	0.22	0.51	0.24	29.1	11
22 <sup>#</sup> 煤	1.4E4	3.1E4	0.22	0.51	0.24	29.1	11
粉砂质泥岩	2.5E4	5.3E4	0.61	1.04	0.26	33.1	11
泥质粉砂岩	2.5E4	1.9E5	1.10	1.60	0.25	39.2	6
细砂岩	2.5E4	2.0E5	1.40	2.60	0.23	41.2	5
砂质泥岩	2.5E4	5.3E4	0.70	1.04	0.26	33.1	11
泥岩	2.5E4	4.7E4	0.34	0.74	0.19	31.0	11

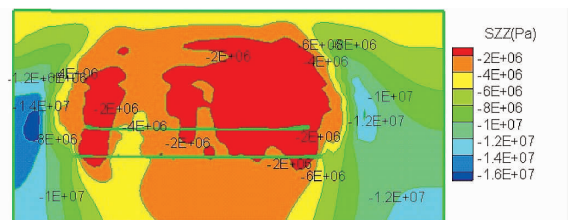


(a) 走向应力分布

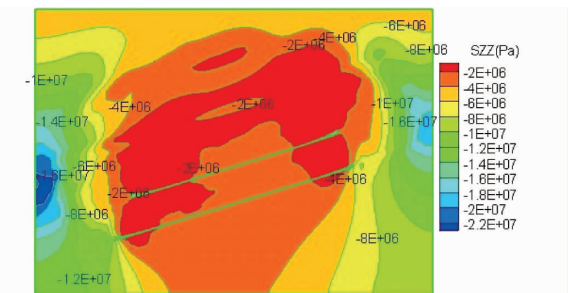


(b) 倾向应力分布

图1 11223 工作面推进 200 m 后覆岩应力分布



(a) 走向应力分布



(b) 倾向应力分布

图2 1118<sub>1</sub> 工作面推进 180 m 后覆岩应力分布

2) 图 2 表示叠加开采 1118<sub>1</sub> 工作面推进 180 m 后的上覆煤岩层垂直应力分布规律. 从图中可以看到叠加开采后煤岩层又出现了一定的应力降低, 应力降低的范围进一步的扩大, 最大的降低区域在 18-1<sup>#</sup> 煤层的上方, 下伏岩层的降低在深度上进一步的延伸.

3) 在图中 1 和图 2 中, 如以 4 MPa 作为卸压区的门槛值, 可以看出卸压区在走向的分布形态有如下特点: 在走向方向上, 采空区上方覆岩卸压区形态为平顶梯形; 在倾向的分布形态与走向类似, 只是采空区上方覆岩卸压区形态不再为规则的梯形, 而是斜梯形. 叠加开采没有从根本上改变卸压区形态, 但扩大了卸压范围, 并提高了卸压程度.

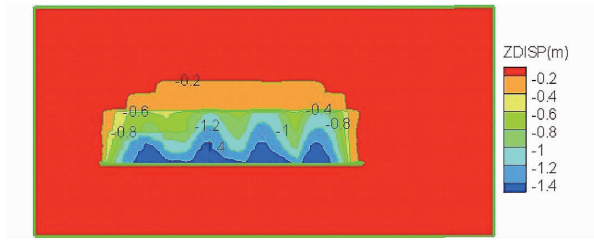
### 3.2 采动覆岩位移变化规律

1) 图 3 表示的是首采煤层 11223 工作面推进

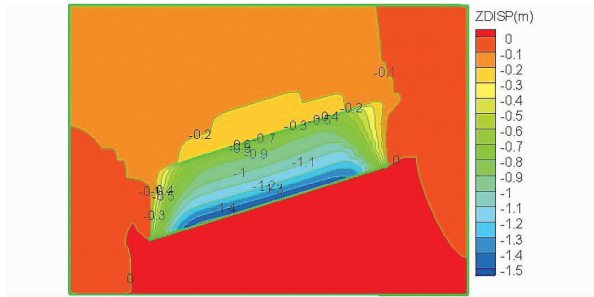
200 m 后的走向和倾向剖面的位移分布情况. 从图中走向分布可以看出, 采用全垮落采煤方法时, 在随着回采推进, 采空区也在不断的扩大, 形成了垮落、断裂及弯曲下沉的不同特点的分带. 由于随老顶的周期性垮落, 采空区被不断压实, 并出现驼峰形态. 从倾向位移分布来看, 由于受煤层倾角的影响, 上覆煤岩层下沉最大的地区出现在进风巷, 下沉值达到 1.5 m. 从采空区至上, 下沉形成阶梯型由大到小下沉, 其分布均匀.

2) 图 4 是 1118<sub>1</sub> 工作面叠加开采 180 m 后的沿走向及倾向剖面的垂直方向位移分布. 从图中走向可以看出, 驼峰形态又一次出现在 1118<sub>1</sub> 工作面开采后的采空区中. 在倾向剖面中看出下沉最大的位于采空区中部, 最大下沉值达到 3.2 m. 整体来看, 叠加开采后的覆岩位移高度增大, 但下伏岩

层的位移量并不大。

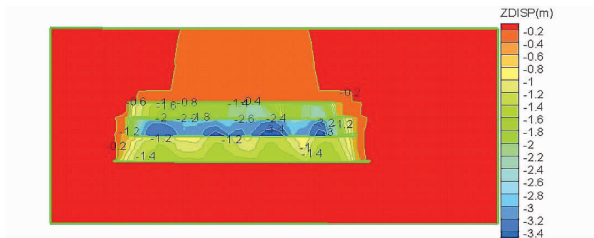


(a) 走向位移分布

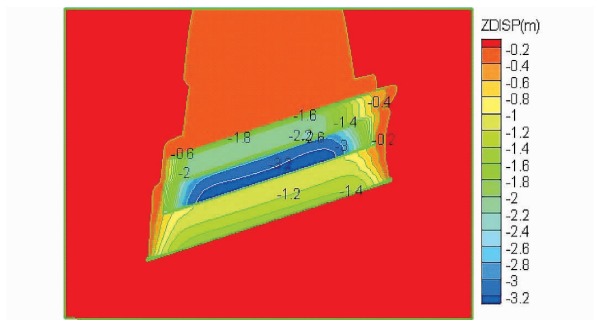


(b) 倾向位移分布

图 3 11223 工作面推进 200 m 后覆岩位移分布



(a) 走向位移分布



(b) 倾向位移分布

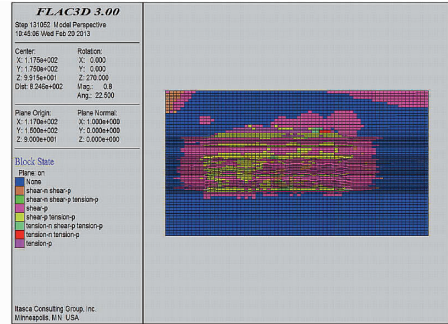
图 4 111811 工作面推进 180 m 后覆岩位移分布

3)从覆岩移动位移分布云图可以看出,其分布形态具有如下特点:在走向方向上,采空区上方覆岩分布形态为平顶梯形;在倾向的分布形态与走向类似,只是采空区上方覆岩分布形态为斜梯形。叠加开采没有从根本上改变分布形态。

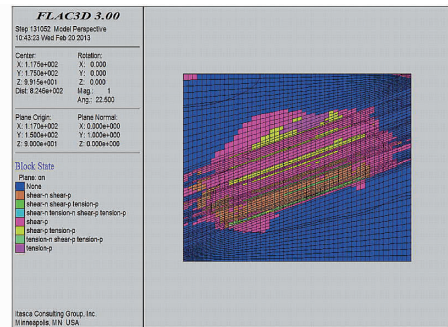
### 3.3 采动覆岩破坏规律

1)图 5 反映的是 11223 工作面推进 200 m 后的覆岩塑性区分布情况。从走向分布来看塑性区的破坏范围比较大,上覆岩层的破坏大于下伏岩层的破坏范围,在最上方的一侧出现驼峰状形态;从倾

向分布可以看到工作面开采后导致塑性区分布呈现出圆顶斜梯形型状。



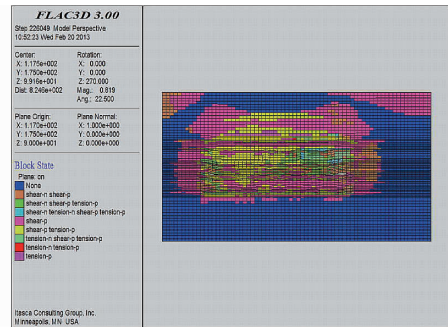
(a) 走向塑性区分布



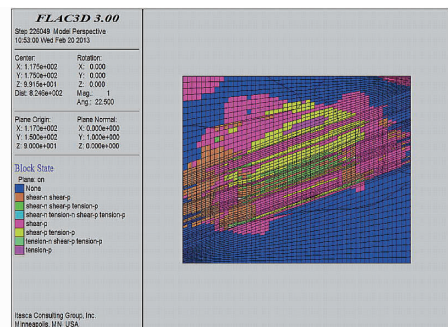
(b) 倾向塑性区分布

图 5 11223 工作面推进 200 m 后覆岩塑性区分布

2)图 6 反映的是 1118<sub>1</sub> 工作面叠加开采推进 180 m 后塑性区的分布情况,从整体来看,破坏程度进一步的增大,上覆岩层的破坏区域大幅增加,影响范围至上 80 m 处,倾向塑性破坏不规则的梯形状。



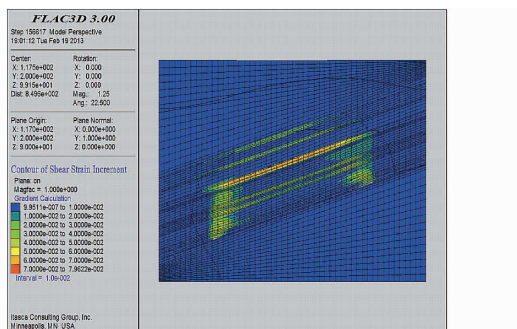
(a) 走向塑性区分布



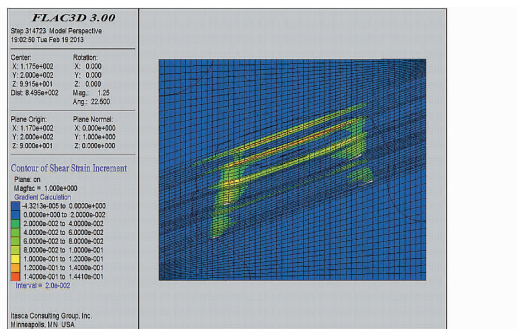
(b) 倾向塑性区分布

图 6 111811 工作面推进 180 m 后覆岩塑性区分布

3)图7是反映11223工作面和1118<sub>1</sub>工作面分别开采后倾向剖面的塑性剪切应变分布。从图7a中看到11223工作面开采后覆岩中塑性剪切应变较大的区域在煤层及其直接顶底板和工作面进回风巷上方的覆岩,最大的塑性剪切应变达到了0.079 6,覆岩破坏带上方有部分区域联为一体。在图7b中1118<sub>1</sub>工作面叠加开采后,塑性剪切应变更一步扩大,汇通区域更广,主要显示在覆岩上方区域,塑性剪切应变最大也达到了0.144 1,相比首采煤层的最大值增加了81%,由此可见叠加开采后覆岩的破坏更加严重,次生裂隙更大,有利于形成瓦斯富集区。



(a)11223工作面开采塑性剪切应变分布



(b)1118<sub>1</sub>工作面开采塑性剪切应变分布

图7 11223工作面开采和1118<sub>1</sub>工作面开采后倾向剖面剪切应变分布

## 4 结论

1)得到了沿煤层走向和倾向的覆(伏)岩应力分布规律,上覆和下伏煤岩层均呈现出了3个不同的应力区域,(1)在进回风巷上方、开切眼及停采线煤柱,出现了覆岩应力集中,在煤壁附近形成应力升压区;(2)采空区的上(下)方覆岩中形成了卸

压区域,沿走向卸压范围的高点和地点对应采空区的中部,沿倾向由于受到煤层倾角的影响卸压范围的高点偏于回风巷;(3)远离切眼、工作面 and 进回风巷处,应力平缓增加。叠加开采导致覆岩中卸压范围在走向、倾向和垂直方向均有所增大,且卸压程度有所增加。

2)工作面开采导致在覆岩中形成卸压区域,其形态一般为斜梯形台体,可在数值模拟的应力分布等值线云图、位移等值线云图及塑性区分布图中体现出来。其具体特点是:走向上形态为平顶梯形,倾向上形态为斜梯形,叠加开采后形态基本未改变。

3)工作面开采导致在煤层及其直接顶底板部分岩层和工作面两巷上方覆岩中形成了塑性剪切应变增量较大的区域,叠加开采导致了覆岩破坏更加严重,剪切应变增大。

## 参考文献:

- [1] 史元伟,郭潘强,康立军,等. 矿井多煤层开采围岩应力分析与设计优化[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995.
- [2] 王洛锋,姜福兴,于正兴. 深部强冲击厚煤层开采上下解放层卸压效果相似模拟研究[J]. 岩土工程学报,2009,13(3):442-446.
- [3] 郭文兵,刘明举,李化敏,等. 多煤层开采采场围岩内部应力光弹力学模拟研究[J]. 煤炭学报,2001,26(1):8-12.
- [4] 康永华,黄福昌,席京德. 综采重复开采的覆岩破坏规律[J]. 煤炭科学技术,2001,29(1):22-25.
- [5] 曲华,张殿振. 深井难采煤层上行开采的数值模拟[J]. 矿山压力与顶板管理,2003(4):56-59.
- [6] 姚邦华,周海峰,陈龙. 重复采动下覆岩裂隙发育规律模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(3):443-446.
- [7] 孙如华,李文平,李小琴. 叠加开采顶板覆岩变形破坏研究[J]. 工程地质学报,2008,23(2):88-92.
- [8] 赵成喜,李文平,孙如华,等. 巨厚火成岩下多煤层叠加开采顶板变形破坏特征[J]. 煤矿安全,2010(9):119-122.
- [9] 冯国瑞,任亚峰,王鲜霞. 白家庄煤矿垮落法残采区上行开采相似模拟实验研究[J]. 煤炭学报,2011,36(4):544-550.
- [10] 王国旺. 大柳塔煤矿浅埋近距离煤层群下行开采下工作面矿压规律[D]. 西安:西安科技大学,2011.