

文章编号:1671-251X(2017)06-0037-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.06.009

杨贺,邱黎明,汪皓,等.远距离下保护层开采上覆煤岩层采动应力场数值模拟研究[J].工矿自动化,2017,43(6):37-41.

远距离下保护层开采上覆煤岩层 采动应力场数值模拟研究

杨贺^{1,2}, 邱黎明^{1,2}, 汪皓^{1,2}, 张子阳², 赵聪²

(1. 煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:为了研究开采下伏8号煤层能否缓解赵庄煤矿主采3号煤层开采过程中的强矿压显现问题,采用FLAC^{3D}软件模拟远距离下保护层开采方案,分析了下保护层8号煤层开采前后被保护层3号煤层采掘过程中的应力峰值、应力分布及塑性范围。结果表明,随着下保护层8号煤层工作面的推进,被保护层3号煤层工作面在倾向上的应力整体呈“M”型分布,煤体两端呈现应力集中,中部区域应力较低,使布置于中部卸压区的3号煤层工作面巷道围岩产生不同程度的卸压;下保护层8号煤层开采后,被保护层3号煤层工作面的煤体应力峰值减小约18%,采动影响距离减小约10 m,且应力集中程度减弱,工作面煤体基本未出现新的塑性区域。

关键词:煤炭开采;围岩稳定性;强矿压显现;下保护层开采;采动应力场;卸压

中图分类号:TD322

文献标志码:A

网络出版时间:2017-05-26 09:47

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170526.0947.009.html>

Numerical simulation research on mining stress field of overlying
coal-rock seam under far distance lower protective seam mining

YANG He^{1,2}, QIU Liming^{1,2}, WANG Hao^{1,2}, ZHANG Ziyang², ZHAO Cong²

(1. Key Laboratory of Coal Methane and Fire Control, Ministry of Education, Xuzhou 221116, China;

2. Faculty of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to research the problem that mining underlying No. 8 coal seam can alleviate strong strata behavior during mining No. 3 coal seam or not, a far distance lower protective seam mining scheme was simulated by use of FLAC^{3D} software, and stress peak value, stress distribution and plastic range were analyzed during mining process of the protected No. 3 coal seam before and after mining the lower protective No. 8 coal seam. The research results show that with the lower protective No. 8 coal seam advancing, inclined stress of working face of the protected No. 3 coal seam represents "M" shape, namely both ends of coal body shows stress concentration, and stress in middle region is lower, so as to make surrounding rock of the No. 3 coal seam working face roadway, which is arranged in central pressure relief area, get pressure relief with different degree. After mining the lower protective No. 8 coal seam, the stress peak value of the protected No. 3 coal seam working face is reduced about 18%, and mining influence

收稿日期:2017-01-12;修回日期:2017-04-24;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51574231, 51504244);教育部科学技术研究项目(113031A);中国矿业大学第七批优秀创新团队建设
项目(2014ZY001);煤炭资源与安全开采国家重点实验室大学生科技创新计划项目(SKLMD20150004)。

作者简介:杨贺(1991—),男,河南三门峡人,硕士研究生,研究方向为煤矿动力灾害预防,E-mail:1016490524@qq.com。通信作者:邱黎明
(1991—),男,河南周口人,博士研究生,研究方向为煤岩电磁辐射技术,E-mail:limingloving@cumt.edu.cn。

distance is shorted about 10 m. Meanwhile, stress concentration degree is weakened, and new plastic zone does not appear in coal body of the working face.

Key words: coal mining; surrounding rock stability; strong strata behavior; lower protective seam mining; mining stress field; pressure relief

0 引言

近年来,随着矿井开采规模逐年扩大,矿压显现加剧,煤与瓦斯突出和冲击地压等煤岩动力灾害日益严重,严重威胁矿井人员和生产设施的安全。防治煤岩动力灾害已成为当前矿山灾害防治的首要任务。作为区域性卸压措施,保护层开采被用于煤与瓦斯突出、冲击地压灾害防治,得到深入研究^[1-5]。沈荣喜等^[6]利用 FLAC^{3D} 软件研究了七台河矿区近距离保护层开采的防冲机理,并讨论了保护层工作面的合理布置。曹承平^[7]研究了近距离上保护层开采的瓦斯治理方法,提出在保护层设计走向孔抽排上邻近层卸压瓦斯。张拥军等^[8]应用 RFPA-Gas 程序研究了近距离上保护层开采瓦斯运移规律,得到被保护层瓦斯流量分布、瓦斯压力分布和透气系数的变化规律。保护层开采不仅有较理想的防突效果,也具有明显的防冲作用。目前对保护层开采的研究多集中在近距离上保护层防突领域,对远距离下保护层缓解强矿压显现作用的研究较少。

山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司赵庄煤矿主采 3 号煤层,回采过程中工作面出现不同程度的巷道变形,其中巷道上方顶板下沉,底臃和帮臃现象尤为明显,特别是底板底臃程度严重,且伴随有间歇性的煤炮声、片帮现象。3 号煤层下方 42 m 处为 8 号煤层,厚度为 0~2.55 m,平均厚度为 0.86 m,煤厚小,目前未开采,且两煤层相对层间距^[9]为 21.2。为研究开采 8 号煤层能否缓解 3 号煤层开采过程中的强矿压显现问题,拟采用先采 8 号煤层再采 3 号煤层的远距离下保护层开采方案,对该方案进行 FLAC^{3D} 数值模拟研究,分析远距离下保护层 8 号煤层开采前后,被保护层 3 号煤层回采期间的应力分布、塑性范围及差异,进而判断其卸压效果。

1 下保护层开采力学模型

当保护层工作面开采后,该区域原始应力场的平衡状态遭到破坏,围岩应力重新分布。为研究下

保护层开采后上覆煤岩层的卸压规律,将上覆煤岩体视为连续介质,采用弹性力学理论^[10-13]建立工作面倾向模型。为便于求解,用应力的转移量来表征上覆煤岩层的卸压程度,对保护层的受力情况进行抽象,抽象出的力学模型^[14]如图 1 所示,其中 k 为应力集中系数, q_0 为煤岩体所受载荷。

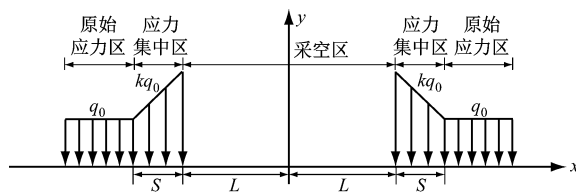


图1 保护层应力分布计算力学模型

保护层工作面开采后上覆煤岩层发生自重转移,造成采空区边缘有较大的应力集中,应力集中区的支撑应力为

$$P = (L + S)\gamma H - L\gamma' h \quad (1)$$

式中: L 为工作面倾向长度的一半; S 为侧向支承压力分布范围; γ 为岩石容重; H 为采深; γ' 为煤的容重; h 为煤层厚度。

根据应力与内力的关系,有

$$P = \int_0^S \delta_y dx = \frac{1}{2} S(\delta_{y\max} - \delta_{y0}) + S\delta_{y0} \quad (2)$$

式中: δ_y 为 y 方向应力; $\delta_{y\max}$ 为 y 方向集中应力; δ_{y0} 为原岩应力, $\delta_{y0} = q_0 = \gamma H$ 。

由式(1)、式(2)得

$$\delta_{y\max} = \gamma H + \frac{2L}{S}(\gamma H - \gamma' h) \quad (3)$$

由于 $\delta_{y\max} = k\delta_{y0}$, 所以有

$$k = \frac{\delta_{y\max}}{\delta_{y0}} = 1 + \frac{2L}{S}(1 - \frac{\gamma' h}{\gamma H}) \quad (4)$$

则应力转移量为 $(k-1)q_0$ 。

2 煤层数值模型及模拟方案

根据赵庄煤矿 3 号、8 号煤层综合地质情况建立数值模型。赵庄煤矿位于沁水煤田东南部,3 号煤层可采走向长度为 1 962 m,倾向长度为 219.5 m,煤层厚度为 4.48 m,煤层倾角为 $1\sim 8^\circ$ 。直接顶多为砂质泥岩或泥岩,厚 0~13.08 m;基本顶为中粒砂岩、细粒砂岩及粉砂岩,厚 0.6~12.26 m,裂隙较

发育,呈半张开状,有方解石和泥质物充填现象;直接底多为砂质泥岩或炭质泥岩,局部地段为粉砂岩或细粒砂岩,厚度为0~11.2 m,有时有泥岩伪底;基本底为细粒砂岩,属软弱-坚硬型。根据现场地质调查、煤岩力学试验研究结果和相关资料,确定模拟计算所用的岩体力学参数,见表1。根据表1及煤层赋存条件建立三维数值模型,其边界条件如图2所示。模型四周边界均固定水平位移,底端边界固定垂直位移,顶端边界施加均匀载荷,设置岩体垂直应力为10.83 MPa,水平应力为13 MPa,模型初始位移和速度均为0,模型采用Mohr-Coulomb破坏准则。

表1 岩体力学参数

序号	岩性	体积密度/ (t·m ⁻³)	泊松比	内摩擦 角/(°)	黏聚力/ MPa	弹性模 量/GPa
1	石英砂岩	2.59	0.25	34.5	7.23	11.85
2	粉砂岩	2.53	0.25	35.0	5.43	7.96
3	3号煤层	1.42	0.30	32.0	1.16	1.23
4	泥岩	2.52	0.35	30.0	4.19	6.20
5	砂质泥岩	2.53	0.32	31.5	5.65	8.23
6	硅质泥岩	2.61	0.34	31.0	7.84	12.62
7	8号煤层	1.46	0.30	30.0	0.75	0.75
8	石灰岩	2.55	0.30	36.5	6.12	8.48

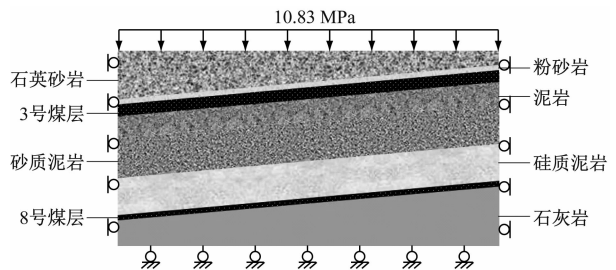


图2 煤层三维数值模型

鉴于赵庄煤矿3号煤层回采过程中冲击地压现象频现,基于该矿地质工程背景,为研究开采下伏8号煤层能否缓解3号煤层开采过程中的强矿压显现问题,提出2种模拟开采方案:①非保护层开采,即不采8号煤层,直接开采3号煤层;②下保护层开采,即先采8号煤层作为保护层,后采3号煤层。

通过逐步开挖模拟采掘过程,分别计算、分析2种方案在回采过程中,3号煤层巷道及工作面围岩应力大小及分布、塑性范围的变化规律,进而得出远距离下保护层开采的卸压效果。

3 数值模拟结果

3.1 回采期间巷道围岩应力

受回采期间采动剧烈影响,回采期间3号煤层工作面前方围岩应力发生了显著改变。在模拟3号煤层工作面回采过程中,3号煤层中设有应力监测点,监测2种模拟开采方案下,3号煤层走向及倾向上巷道垂直应力。依据模拟研究目的,采用FLAC^{3D}软件的单元应力导出命令导出回采期间应力分布数据,如图3、图4所示。

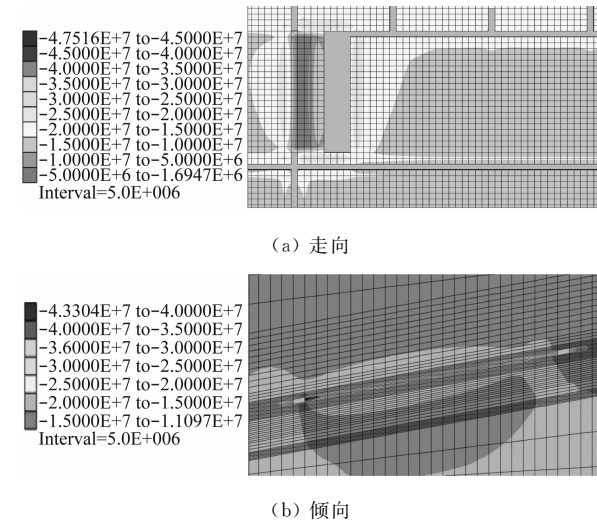


图3 采用非保护层开采,工作面推进100 m时垂直应力分布

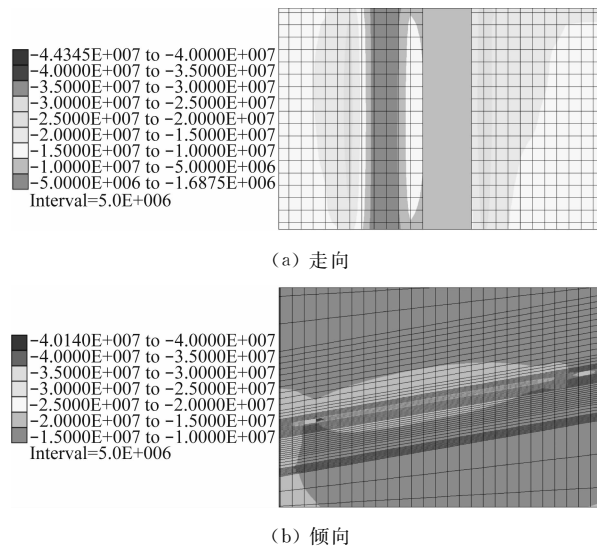


图4 采用下保护层开采,工作面推进100 m时垂直应力分布

采用下保护层开采方案时,工作面推进100 m后,上巷垂直应力峰值约为25.4 MPa,应力集中系数为1.81,采动影响距离超前工作面50~65 m,比采用非保护层开采方案时减少5 m左右;下巷垂直

应力峰值约为 26.9 MPa, 应力集中系数为 1.83, 采动影响距离超前工作面 80~120 m, 比采用非保护层开采方案时减少 10 m 左右。由图 3、图 4 及提取的应力数据可知, 采用下保护层开采方案时, 在工作面推进过程中, 应力峰值区分别位于煤壁前方 4~18 m、后方 8~16 m, 比采用非保护层开采方案时减小约 18%, 而在下保护层 8 号煤层的采空区中部, 被保护层 3 号煤层应力最小, 中部应力比周围煤岩体所受应力小接近一个数量级。

3.2 下保护层开采上覆煤岩层应力分布

下保护层 8 号煤层开采后, 被保护层 3 号煤层原始应力场的平衡状态遭到破坏, 围岩应力重新分布。为研究下保护层 8 号煤层工作面推进过程中被保护层 3 号煤层的应力分布规律, 通过 FLAC^{3D} 软件的单元应力导出命令导出相应数据, 经处理得到被保护层 3 号煤层倾向上最大主应力分布, 如图 5 所示。

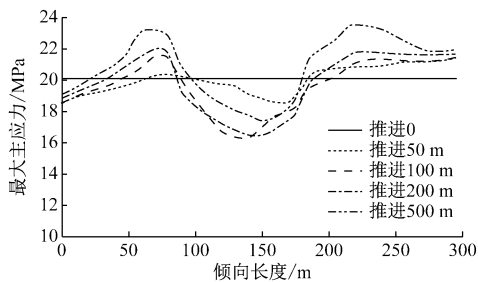


图 5 3 号煤层倾向上最大主应力分布

从图 5 可看出, 倾向上 3 号煤层应力分布曲线整体上呈“M”型, 区域划分明显, 应力集中区呈对称分布。下保护层 8 号煤层工作面推进 50 m 时, 被保护层 3 号煤层卸压区前后 20~70 m 开始出现应力集中, 随着回采推进距离的增加, 煤体两端围岩倾向应力逐步增大, 应力集中区范围也逐渐扩大, 推进距离达到 500 m 时, 围岩倾向应力由原始应力增加到 23.6 MPa, 比未采动时增加了 4.1 MPa。下保护层采空区上覆煤岩层自重转移, 被保护层 3 号煤层此处应力得到释放, 对应图 5 中卸压区域(倾向 100~200 m)。在下保护层 8 号煤层推进 200 m 时, 被保护层 3 号煤层卸压区应力减小, 最低为 16.5 MPa, 卸压效果最理想。

为避免被保护层 3 号煤层巷道布置到应力集中区, 加剧冲击地压危险性, 被保护层 3 号煤层工作面应布置在下保护层 8 号煤层工作面的卸压范围内, 即 3 号煤层工作面的上下巷应分别位于 8 号煤层工

作面上下巷的内侧。根据模拟计算结果, 8 号煤层工作面上巷与 3 号煤层工作面上巷之间倾向上垂直投影距离 s_2 应大于 6.8 m, 其对应卸压角 δ 约为 73°; 2 个工作面下巷间倾向上垂直投影距离 s_1 应大于 8.1 m, 其对应卸压角 β 约为 87°, 如图 6 所示。这样布置巷道能使 3 号煤层工作面完全处于卸压区域内, 取得理想的防冲效果。

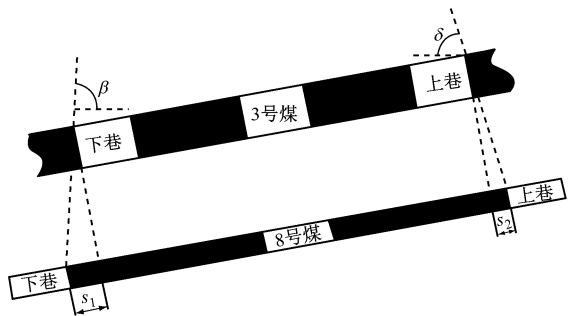


图 6 保护层 8 号煤层与被保护层 3 号煤层工作面巷道布置

3.3 回采期间巷道围岩塑性区

下保护层开采后, 首先表现出卸压作用, 其次表现出煤层膨胀变形, 最后表现出瓦斯动力参数变化, 卸压作用可视为引起其他因素变化的原因。被保护层受采动影响, 应力重新分布, 回采期间巷道开挖活动影响煤岩体的稳定性, 破坏了其围岩结构, 巷道周围出现塑性区。2 种开采方案下被保护层 3 号煤层工作面巷道塑性区分布如图 7 所示。

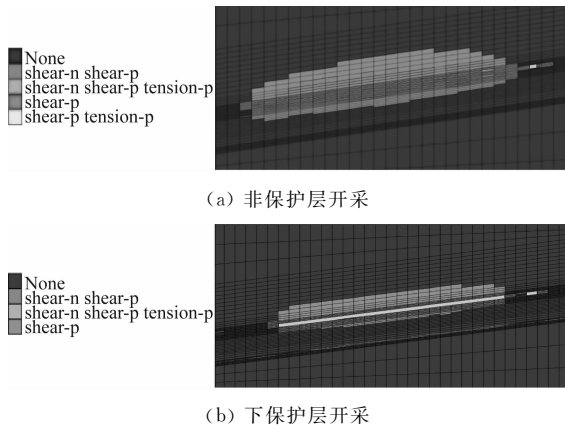


图 7 2 种开采方案下的塑性区分布

从图 7 可看出, 采用非保护层开采方案时, 尽管工作面中部有结构较完整的弹性区, 但其他大部分范围的围岩在回采过程中逐渐发生了塑性变形, 煤层应力较大, 煤层围岩由于应力集中而破碎, 对于围岩稳定性具有威胁; 上巷顶底板塑性区范围为 3~6 m, 下巷顶底板塑性区范围为 4~10 m。采用下保护层开采方案时, 由于围岩在下保护层开采过程中已经发生了塑性变形, 回采期间只有小范围的围岩

发生了新的塑性变形;上巷顶底板塑性区范围为2~4 m,下巷顶底板塑性区范围为3~7 m,巷道围岩稳定性得到提高。

4 结论

(1) 采用下保护层开采方案时,在回采期间,工作面推进过程中应力峰值区分别位于煤壁前方4~18 m、后方8~16 m,主采3号煤层工作面的煤体应力峰值减小约18%,采动影响距离减小约10 m,同时应力集中程度减弱,缓解了主采3号煤层因应力集中而出现的强矿压显现。

(2) 8号煤层开采过程中,倾向上3号煤层应力分布曲线整体呈“M”型,区域划分清晰,煤体两端呈现应力集中,中部卸压效果明显。8号煤层推进200 m时,被保护层3号煤层卸压区应力减小,最小为16.5 MPa,此时卸压效果最理想。随着回采推进距离的增加,煤体两端围岩倾向应力逐步增大,增幅趋于平稳,应力集中区的范围逐渐扩大。

(3) 下保护层8号煤层开采后,被保护层3号煤层在采掘过程中巷道围岩产生不同程度的卸压,工作面煤体基本未出现新的塑性破坏区域,在后期的采掘过程中不易再次产生塑性破坏。

参考文献:

[1] 袁东升. 近距离保护层开采多场演化及安全岩柱研究[D]. 郑州:河南理工大学,2010.

[2] 刘林. 开采保护层保护效果及范围的数值模拟研究[J]. 矿业安全与环保,2005,32(6):6-9.

[3] 付建华. 煤矿瓦斯灾害防治理论研究与工程实践[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2005.

[4] 程远平,俞启香,袁亮. 上覆远程卸压岩体移动特性与瓦斯抽采技术[J]. 辽宁工程技术大学学报,2003,22(4):483-486.

[5] 涂敏,黄乃斌,刘宝安,等. 远距离下保护层开采上覆煤岩体卸压效应研究[J]. 采矿与安全工程学报,2007,24(4):418-421.

[6] 沈荣喜,王恩元,刘贞堂,等. 近距离下保护层开采防冲机理及技术研究[J]. 煤炭学报,2011,36(增刊1):63-67.

[7] 曹承平. 近距离上保护层开采的实践[J]. 煤炭科学技术,2006,34(4):33-35.

[8] 张拥军,于广明,路世豹,等. 近距离上保护层开采瓦斯运移规律数值分析[J]. 岩土力学,2010,31(增刊1):398-404.

[9] 刘洪永,程远平,赵长春,等. 保护层的分类及判定方法研究[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(4):468-474.

[10] 钱鸣高,缪协兴. 采场上覆岩层结构的形态与分析[J]. 岩石力学与工程学报,1995,14(2):97-106.

[11] 朱术云,姜振泉,姚普,等. 采场底板岩层应力的解析法计算及应用[J]. 采矿与安全工程学报,2007,24(2):192-195.

[12] 肖远见,李美海,周定武. 开采层底板岩层的应力分布实验及探讨[J]. 矿业安全与环保,2005,32(5):28-31.

[13] 彭维红,董正筑,李顺才. 半平面体弹性问题的边界积分公式及应用[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(3):400-404.

[14] 王海峰. 采场下伏煤岩体卸压作用原理及在被保护层卸压瓦斯抽采中的应用[D]. 徐州:中国矿业大学,2008.