

# 煤层群保护层开采研究的现状与趋势

李洪生<sup>1</sup>, 李树清<sup>2</sup>, 谭玉林<sup>2</sup>

(1. 贵州盘江精煤股份有限公司 土城矿, 贵州 盘县 561600; 2. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 随着矿井开采深度的增加, 煤与瓦斯突出愈加严重, 保护层开采作为防治煤与瓦斯突出最有效、最经济的一种方法而成为研究热点. 通过国内外相关文献的整理和分析, 以保护层开采判别准则为基础, 结合保护层开采后的理论分析, 文章分上保护层和下保护层两类, 对相似材料模拟、数值模拟和现场考察来确定保护范围的研究现状进行了总结, 分析存在的问题, 为保护层开采的进一步研究提供参考.

**关键词:** 煤层群; 突出矿井; 保护层; 保护范围

**中图分类号:** TD823.82

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-9102(2015)03-0045-05

## Status quo and developmental trends of researches on seam group protective layer mining

LI Hongsheng<sup>1</sup>, LI Shuqing<sup>2</sup>, TAN Yulin<sup>2</sup>

(1. Guizhou Panjiang Refined Coal Co. Ltd., Panxian 561600, China;

2. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** With the increasing depth of mining, the outburst of coal and gas has become even more serious. As the most effective and economical way of prevention and treatment of coal and gas outburst, protective layer mining has become a study object for scholars and experts. By sorting out and analyzing relevant literature at home and abroad, and aiming to protect layer mining criterion combined with a protective layer after mining, this paper, based on the theoretical analysis points on both the protective layer and the protective layer under. The scope of the research is summarized by similar material simulation, numerical simulation and on-site visits. This paper also analyzes the existing problems, pointing out the direction for future development.

**Key words:** coal seam group; outburst; protective layer; scope of protection

目前,我国矿井的煤与瓦斯突出灾害较为严重,防治煤与瓦斯突出的区域性措施包括开采保护层和预抽煤层瓦斯2类,而开采保护层是预防煤与瓦斯突出最有效、最经济的一种方法. 根据我国煤炭开采有关法规与规程的规定:在开采高瓦斯煤层或具有突出危险性的煤层群时,应首先开采低瓦斯或无突出危险性的煤层,利用该部分煤层的开采卸压释放作用使高瓦斯煤层或具有突出倾向性的煤层得到卸压释放,从而减小开采该部分煤层时的危险性. 保护层开采后采空区应力重新分布、顶底板发生变形位移,在一定卸压范围内煤岩体的变化得到充分裂隙发育,岩层透气性增强、瓦斯压力迅速降低,使有突出危险煤层的突出危险性区域转变为无突出危险性区域的合理有效范围<sup>[1-4]</sup>. 通过保护层开采改变煤岩层的空间变形,再合理的划分保护范围,从而进行有效的瓦斯抽采确保矿井高产高效的安全生产.

本文主要针对煤与瓦斯突出矿井的区域防突之一的保护层开采后,保护范围划定研究的方法进行综述,分别从上保护开采和下保护层开采两方面进行总结,阐述俯伪斜开采方式、保护层厚度、远距离、中远

距离、以及煤层群近距离保护层开采等对保护范围的影响,为保护层保护范围的进一步研究提供参考。

## 1 保护层开采的保护范围判别准则

保护层开采以后采空区的应力重新分布、顶底板发生变形、煤岩层透气性增强,瓦斯压力降低、媒体强度增大。被保护层瓦斯得到释放,如何确定保护层有效保护范围,国内外学者进行了研究,并形成保护范围判别准则:

### 1.1 应力判别准则

前苏联专家马雷舍夫较早的开展研究保护层开采保护准则,通过地质力学理论并结合矿山实测,研究保护层开采后覆岩的应力重新分布规律,并提出了覆岩受采动后矿山压力安全状态下的保护范围判别准则<sup>[5]</sup>:

$$|\sigma_{yc}| \leq (\cos^2\alpha + \lambda \sin^2\alpha)\gamma H_B \quad (1)$$

式中, $\sigma_{yc}$ :垂直于煤层层理方向的应力; $\alpha$ :煤层倾角; $H_B$ :第一次煤与瓦斯突出或矿山冲击作业的深度; $\lambda$ :侧压系数。

### 1.2 残余瓦斯压力判别准则

应力判别准则未考虑瓦斯压力因素参与情况下的保护层开采准则。保护层开采后被保护层瓦斯压力得到释放,但被保护层仍保持一定的残余瓦斯压力, $P_{OCT}$ 为残余瓦斯压力,则瓦斯压力因素的保护范围判别准则为<sup>[6,7]</sup>:

$$P_{OCT} \leq P_0 \quad (2)$$

式中, $P_0 = 0.6 \sim 0.9$  MPa:瓦斯压力安全值。

我国专家俞启香通过理论方法并结合矿井实验得出瓦斯压力 $P_0$ 小于0.749 MPa,为安全值<sup>[8]</sup>。

### 1.3 被保护层动态瓦斯压力判别准则

残余瓦斯压力判别准则未考虑煤层边缘瓦斯压力增长梯度情况下的保护开采准则。 $P_{II}(S)$ 为瓦斯动态压力,则含瓦斯煤层边缘瓦斯压力增长因素的保护范围判别准则为<sup>[9,10]</sup>:

$$P_{II}(S) \leq P_0 \quad (3)$$

### 1.4 煤层法向变形判别准则

我国于不凡专家针对保护层开采后,被保护层变形程度进行研究并得出煤层膨胀变形值 $\varepsilon_e$ <sup>[11]</sup>:

$$\varepsilon_e = \varepsilon_{e0} e^{-bh} \quad (4)$$

式中, $h$ :保护层到被保护层的法向距离; $\varepsilon_{e0}$ :膨胀变形值; $b$ :层间岩层的力学特性的常数。

《防治煤与瓦斯突出规定》规定我国膨胀变形值大于3‰时为安全值,欧美国家规定膨胀变形值大于6‰时为安全值。

### 1.5 残余瓦斯含量判别准则

由于保护层开采后,被保护层保护效果由媒体卸压和瓦斯渗程度来决定。 $X_0$ 煤层瓦斯残余含量体现出卸压煤层的应力变化和透气性关系:

$$X_0 = \bar{x}_\phi - x_{B,yII} \quad (5)$$

式中, $\bar{x}_\phi$ :被保护层实际平均瓦斯含量; $x_{B,yII}$ :被保护层开采的吨煤瓦斯涌出量。

《防治煤与瓦斯突出规定》根据我国突出矿井统计资料分析并规定<sup>[12]</sup>,煤层瓦斯残余含量 $x_0 \leq 8$  m<sup>3</sup>/t时为安全值。

## 2 保护层开采后保护范围划定

自从1933年法国开始开采保护层解决煤与瓦斯突出问题以来,世界上很多突出矿井国家陆续使用研究这项技术,如中国、苏联、波兰、荷兰等。我国从1958年以来,先后对天府、北票等矿区进行开采保护层解决矿井突出试验,取得良好效果,并对这项技术开始在全国矿区推广。保护范围划定的研究对煤矿安全开采给出合理的依据。

俞启香教授(1974年)等针对天府矿区磨心坡矿的上保护层开采进行了考察,分析了上保护层2号煤层开采后被保护层9号煤层的瓦斯压力、瓦斯流量、煤层变形和煤体温度的变化规律,并对9号煤层的有效保护范围进行了分析,这是我国第一次远距离急倾斜上保护层保护范围的现场考察试验,是用倒台阶采煤法开采保护层;重庆大学采矿系与煤炭科学研究院重庆研究所<sup>[13]</sup>(1974)在鱼田堡煤矿和南桐煤矿直属一井通过现场考察倾斜近距离上保护层与急倾斜中距离下保护层开采,得到5号和6号保护层开采后对被保护层的有效保护范围;中梁山煤矿与原重庆煤炭科学研究所<sup>[14]</sup>(1980年)共同对中梁山煤矿南、北井2号煤层为保护层进行了近距离下保护层的现场考察试验,并用倒台阶采煤法开采保护层。

近些年,随着矿井开采深度不断加深,在受各种地质构造条件的影响,矿井煤层的倾角逐渐变大,煤层突出危险性增大。为了安全开采被保护煤层,一些专家学者通过理论分析、相似材料模拟、数值模拟和现场考察的方法来划定矿井有效的保护范围。

## 2.1 上保护开采保护范围研究

刘林<sup>[15]</sup>通过开采上保护层,采用三维离散单元法来研究,分析出回采过程中采空区底板煤岩体应力重新分布的规律、底板变形和破坏特征,得出沿走向、倾向的最大卸压角,并为考察保护效果和划定保护范围提供理论依据;吴教锟<sup>[16]</sup>根据大湾煤矿的远距离上保护层开采条件,运用FLAC<sup>3D</sup>软件模拟出2号煤层开采后,被保护层11号煤层的应力变化确定了被保护层有效的卸压范围;李青松<sup>[17]</sup>结合防突理论及原理,分析潘二矿上保护层B5煤层开采后,运用钻孔考察,被保护层B4煤层卸压效果,得出有效的保护范围;涂德汉<sup>[18]</sup>具体考察鑫蔡煤矿上保护层开采的实际情况,并介绍瓦斯压力及瓦斯流量的测定方法,根据瓦斯压力划定了走向、倾向卸压角,确定有效保护范围;胡国忠<sup>[19,20]</sup>针对南桐矿区东林煤矿的实际情况,采用有限元3D- $\sigma$ 软件模拟煤矿上保护层俯伪斜采煤工作面保护层开采后,被保护层的应力,应变动态变化规律。模拟出俯伪工作面保护层开采对被保护层的保护效果,确定急倾斜被保护煤层的走向、倾向卸压角,并结合现场瓦斯压力和瓦斯流量钻孔考察划定有效保护范围;袁志刚<sup>[21]</sup>针对俯伪斜采煤方式开采上保护层,运用FLAC<sup>3D</sup>模拟出,保护层开采过程中被保护层应力场及层间变形的动态规律,结合保护范围判别准则确定俯伪斜开采的有效倾向、走向卸压角。王家臣<sup>[22]</sup>通过对冀中能源峰峰集团黄沙矿开采2#煤层为保护层作为研究对象,运用FLCA<sup>3D</sup>模拟软件分别对保护层厚度为0.5,1.0,2.0 m情况下,上保护层开采对被保护层效果的影响进行数值模拟研究。分析出,不同厚度的上保护层开采,厚度越大,被保护层的应力释放越充分,并呈现出非线性;姜利民<sup>[23]</sup>通过新庄孜煤矿的实际情况,结合保护层开采理论,用瓦斯钻孔测量瓦斯压力和瓦斯流量来考察B10煤层开采后对下伏B8煤层的保护效果,确定上保护开采后的保护范围;黄旭超<sup>[24]</sup>以祁东煤矿远距离上保护层开采,来考察被保护层9号煤层的瓦斯钻孔压力、流量来考察保护效果,在此基础上确定了远距离上保护层开采的保护范围;马曙<sup>[25]</sup>运用弹塑性力学对矿井上保护层开采后,用理论计算出采空区下伏煤层的应力变化,得出走向、倾向的卸压角,在结合实际考察,确定有效的保护范围。

综上所述,开采上保护主要是针对俯伪斜煤层开采、近距离保护层开采的研究比较多,也有一部分是远距离研究,从研究来看,近距离保护层开采的保护范围会更大一点,远距离保护层研究较少,由于受到保护层开采后,受层间距、层间岩性等因素影响,导致卸压程度不明显。

## 2.2 下保护开采保护范围研究

王永秀<sup>[26]</sup>根据华丰矿实际情况,运用FLAC软件模拟出下保护层6号煤层开采后,得到被保护层4号煤层的应力变化及层间变形规律,划定出沿煤层走向、倾向卸压角。徐敏<sup>[27]</sup>采用相似材料模拟试验,模拟出远距离下保护层开采时的被保护层的变形规律,被保护层变形呈“M”形态;并工程实例相结合,有效解决煤矿瓦斯突出问题。王宏图<sup>[28]</sup>对东林煤矿K6煤层作为下保护层开采,利用有限元ANSYS模拟软件模拟K6煤层开采后,对被保护层K4煤层的应力云图变化、层间变形进行分析,并结合现场瓦斯压力考察划定倾向上、下部卸压角。范晓刚<sup>[29]</sup>根据南桐煤矿的实际开采情况,采用有限元3D- $\sigma$ 软件模拟煤矿下保护层俯伪斜采煤工作面保护层开采后,受采动影响的被保护层的应力场变化,煤层变形规律进行分析,模拟出被保护层出现椭圆形卸压圈(O形圈),并结合现场的瓦斯钻孔考察划定保护范围。洪松<sup>[30]</sup>利用俯

伪斜开采条件,考察俯伪斜下保护层开采后,对被保护层的压力变化和瓦斯流量钻孔进行分析,划定沿倾向、走向的合理卸压角;李树清<sup>[31]</sup>运用 FLCA<sup>3D</sup>模拟软件对金佳矿下保护层开采时,模拟分析上方煤层群各煤层应力、应变分布规律,通过保护层开采的应力卸压保护准则和变形保护准则来划定各被保护层沿走向及倾向的保护范围,分析出,不同煤岩条件下,模拟出的保护范围与按卸压角划定的保护范围有一点差异性,同时结合现场实践保护范围考察基本与数值模拟保护范围一致.谢景娜<sup>[32]</sup>以丁集煤矿主采煤层 13-1,11-2 煤层为研究背景,利用 ANSYS 模拟软件模拟下保护层逐步回采过程中被保护层应变变形规律.经模拟与实测得出层间变形基本吻合,有效的降低被保护层瓦斯压力的区域位于开切眼前方 50 m 到工作面后面 60 m 范围内.

通过以上文献,可以看出下保护层开采技术越来越成熟,同时下保护层开采更能够充分的释放保护层瓦斯,为卸压瓦斯抽采提供了技术支撑.

### 3 存在的问题

综上所述,近几年对上保护层和下保护层开采的研究越来越多,俯伪斜、远距离、中距离、近距离等保护层开采都有很多的研究,由于开采方式、矿井地质条件及煤层赋存存在差异在以下几个方面仍需深入的研究:

1) 上保护层和下保护层的叠加开采效应下,煤岩层发生时空变化,其围岩应力、层间变形规律之间有密切的关系.目前针对上保护层开采和下保护层开采复合作用下的保护范围和保护效果研究并不多,通过叠加开采效应下,其保护范围临界值的划定有待认真研究.

2) 虽然保护层的研究很多,但是在复杂的地质条件和煤层赋存情况下,尚不能对保护层开采后,被保护层的一个具体量化,一个矿区适用于一个研究成果.

### 4 结论

1) 在保护层开采的保护准则的理论支持的基础上,近些年,我国学者专家通过力学理论分析、相似材料模拟、软件数值模拟以及现场的实地考察,保护层开采后能够有效划定出最合理保护范围.

2) 依据上述的文献来看,普遍是针对多重保护层和叠加开采保护层的研究并不多,也没有更多的量化,针对多重保护层和叠加开采卸压后的形态、效果及量化研究,需加强深入的研究.

#### 参考文献:

- [1] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1992.
- [2] 于不凡. 煤和瓦斯突出机理[M]. 北京:煤炭工业出版社,1985.
- [3] Lama R D, Bodziony J. Management of outburst in underground coal mines[J]. International Journal of Coal Geology, 1998 (35):83-115.
- [4] 中华人民共和国煤炭工业部. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995.
- [5] ЮН 马雷舍夫, А Т 艾鲁尼, ЮЛ 胡金, 等. 煤与瓦斯突出预测方法和防治措施[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004.
- [6] Айруни А Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах[M]. Недра,1981.
- [7] Зенхович Л М. Закономерности изменения фильтрационных свойств междупластовых толщ при дегазации подзащитных пластов скважинами[M]. Ротапринт Ипкон Ан Ссср,1984.
- [8] 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.
- [9] Айруни А Т, Зенкович Л М, Мхатвари Т Я. Искусственное увеличение защитного действия при разработке выбросоопасных пластов[M]. ЦНИЭИуголь,1984.
- [10] Айруни А Т Исследования. Динамики давления метана в опасных повнезапным выбросам подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластах при применении искусственной дегазации [С]// Доклады, 17 международная конференция по научным исследованиям в области безопасности работ в горной промышленности, Варна,1977.

- [11] 于不凡. 开采解放层的认识与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,1986.
- [12] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [13] 南桐矿务局,重庆大学采矿系,煤炭科学研究院重庆研究所. 南桐矿务局直属一井倾斜近距离开采解放层及抽放瓦斯研究报告[J]. 矿业安全与环保,1974,21(1):1-2.
- [14] 邹奎业. 中梁山煤矿解放层开采[J]. 中煤科技,1980(2):42-43.
- [15] 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.
- [16] 吴骏镔,赵旭生,李秋林. 大湾煤矿保护层开采数值模拟研究[J]. 矿业安全与保,2007,34(1):6-10.
- [17] 李青松,王兆丰,陈向军,等. 潘二矿上保护层开采保护效果及参数考察研究[J]. 煤炭工程,2007(5):46-48.
- [18] 涂德汉. 保护层的保护范围和效果的研究[J]. 煤炭技术,2008,27(7):63-64.
- [19] 胡国忠,王宏图,范晓刚,等. 俯伪斜上保护层保护范围的瓦斯压力研究[J]. 中国矿业大学学报,2008,37(3):328-332.
- [20] 胡国忠,王宏图,范晓刚. 急倾斜俯伪斜上保护层保护范围的三维数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(1):45-52.
- [21] 袁志刚,王宏图,胡国忠,等. 急倾斜多煤层上保护层保护范围的数值模拟[J]. 煤炭学报,2009,34(5):596-598.
- [22] 王家臣,邵太升,赵洪宝. 上保护层厚度对保护层开采效果影响数值模拟研究[C]//中国岩石力学与工程学会:全国第十次岩石力学与工程学术大会论文集. 北京:科学出版社,2010:103-107.
- [23] 姜利民,曹学军. 新庄孜矿52210工作面上保护层开采技术研究[J]. 煤炭技术,2010,29(6):64-66.
- [24] 黄旭超,林青,程丽. 关于远距离上保护层开采卸压保护角的确定[J]. 煤炭工程,2010(4):45-47.
- [25] 马曙,韩真理,蒋威杰,等. 突出煤层上保护层开采保护范围的确定[J]. 煤矿安全,2011,42(10):104-107.
- [26] 王永秀,齐庆新,徐刚,等. 华丰矿保护层开采数值模拟研究[J]. 煤矿开采,2003,8(4):4-7.
- [27] 涂敏,缪协兴,黄乃斌. 远程下保护层开采被保护煤层变形规律研究[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(3):253-257.
- [28] 王宏图,洪松,胡国忠,等. 急倾斜下保护层倾向保护范围数值模拟及验证[J]. 重庆大学学报,2009,32(3):629-632.
- [29] 范晓刚,王宏图,胡国忠,等. 急倾斜煤层俯伪斜下保护层开采的卸压范围[J]. 中国矿业大学学报,2010,39(3):380-385.
- [30] 洪松,郑俊祥. 俯伪斜下保护层开采保护范围的现场考察分析[J]. 矿业安全与环保,2010,37(3):71-73.
- [31] 李树清,龙祖根,罗卫东,等. 煤层群下保护层开采保护范围的数值模拟[J]. 中国安全科学学报,2012,22(6):34-39.
- [32] 谢景娜,罗新荣,周昀涵,等. 保护层开采过程中上覆煤岩体的变形卸压效果数值模拟[J]. 煤矿安全,2012,43(5):163-165.