

文章编号:0253-9993(2013)06-0948-06

# 老采空区瓦斯储量预测方法研究

秦 伟,许家林,胡国忠,彭小亚

(中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室 矿业工程学院,江苏 徐州 221116)

**摘 要:**以采动上覆瓦斯卸压运移的“三带”理论为基础确定了老采空区瓦斯的赋存范围,给出了考虑覆岩关键层结构的导气裂隙带和卸压解吸带高度计算方法。根据老采空区瓦斯来源,利用分源法建立了基于瓦斯卸压运移“三带”理论的老采空区瓦斯储量预测模型。结合阳泉三矿 K8108 综放工作面的生产地质条件,对 K8108 综放工作面覆岩导气裂隙带和卸压解吸带高度进行了计算,其覆岩导气裂隙带和卸压解吸带高度分别为 115.3 和 157.7 m。利用老采空区瓦斯储量预测模型对 K8108 综放工作面老采空区瓦斯储量进行预测,该工作面老采空区瓦斯储量预计为 3 078 万 m<sup>3</sup>。同时,利用物质平衡法对模型预测结果进行了验证,结果表明,两种方法的计算结果相差较小。

**关键词:**老采空区瓦斯;储量预测;瓦斯卸压“三带”;煤与瓦斯共采;绿色开采

**中图分类号:**TD712 **文献标志码:**A

## Study on computing method of old goaf methane reserves

QIN Wei, XU Jia-lin, HU Guo-zhong, PENG Xiao-ya

(State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** Based on the “three-zone” theory of relieved methane delivery the existing scope of old goaf methane was obtained. The height of methane conductive zone and the methane pressure relief zone were given by considering key strata structure. According to the sources of old goaf methane, reservation calculation model of methane in old goaf was built. The height of methane conductive fracture zone and methane pressure relief zone were calculated based on geological condition of K8108 working face. The results illustrate that the height of methane conductive zone and methane pressure relief zone of K8108 workface are 115.3 m and 157.7 m respectively. Methane reservation in old goaf of K8108 working face is predicted by reservation calculation model. And finally, the predicted methane reservation is 30.78 million m<sup>3</sup> which is validated by material balance method.

**Key words:** old goaf methane; reserves estimation; “three-zone” theory of relieved methane delivery; co-extraction of coal and methane; green mining

煤层瓦斯是与煤伴生的一种非常规天然气,其主要成分为甲烷,大部分以吸附态储存于煤储层内。煤炭开采使得采空区上覆煤岩层得到不同程度的卸压,如果煤层瓦斯压力下降到临界解吸压力以下,煤层瓦斯就会卸压解吸,为瓦斯抽采创造了有利条件。采煤工作面封闭后,其采动影响范围内能够卸压解吸的瓦斯称为老采空区瓦斯,而采动影响范围之外,或采动

影响范围内不能够卸压解吸的瓦斯则不属于老采空区瓦斯的范畴。目前中国约有 500 个国有重点煤矿已封闭,其中 70% 为高瓦斯煤矿<sup>[1]</sup>,老采空区中赋存的瓦斯资源高达数千亿立方米。瓦斯的主要成分 CH<sub>4</sub> 是较强烈的温室气体<sup>[2]</sup>,同时也是一种清洁能源,因此对老采空区瓦斯进行抽采利用不仅能够大大降低因其向大气逸散而产生的温室效应,而且能够取

得可观的经济效益。

对老采空区瓦斯储量进行预测是老采空区瓦斯开发利用的基础,早在2000年底,中英联合开展了中国报废矿井瓦斯抽采与利用项目,在老采空区瓦斯资源预测及开发利用等方面开展了相应的理论研究工作<sup>[2-4]</sup>,其中文献<sup>[2-3]</sup>根据传统覆岩移动的“三带”理论(垮落带、断裂带和弯曲下沉带)及邻近层残余瓦斯压力理论确定了邻近煤层卸压边界,在此基础上提出了老采空区瓦斯储量的计算方法:物质平衡法和资源构成法。但是很多矿井封闭后并没有对其开采范围内各邻近煤层的残余瓦斯压力进行测量,无法确定老采空区瓦斯赋存的边界。物质平衡法和资源构成法需要收集大量的资料和数据,且在计算过程中会形成庞大的中间数据,另外还存在有效资料和数据不完整的问题。由于传统覆岩移动的“三带”理论不能完全指出邻近煤(岩)层瓦斯卸压解吸的边界,文献<sup>[5-7]</sup>将采空区上覆煤岩重新划分为导气裂隙带、卸压解吸带和不易解吸带,有必要利用新“三带”理论来确定老采空区瓦斯的赋存范围,寻求新的老采空区瓦斯储量计算方法。本文根据采动上覆瓦斯卸压运动的“三带”理论确定了老采空区瓦斯的赋存范围,在此基础上利用分源法建立了老采空区瓦斯储量预测模型,并结合阳泉三矿K8108综放工作面的生产地质条件对其老采空区瓦斯储量进行了预测。

## 1 老采空区瓦斯赋存范围

### 1.1 赋存范围

针对传统覆岩移动的“三带”理论不能完全指出邻近煤(岩)层瓦斯卸压解吸边界的问题,文献<sup>[5-7]</sup>将采空区上覆煤岩重新划分为导气裂隙带、卸压解吸带和不易解吸带。导气裂隙带范围内竖向贯通裂隙发育,瓦斯流动方式为较大裂隙的自由流动和细小裂隙的渗流。卸压解吸带范围内煤层瓦斯充分卸压解吸,横向离层裂隙发育,离层空间内积聚大量的高浓度瓦斯。不易解吸带范围内无采动裂隙生成,煤层瓦斯基本保持原有的赋存状态。因此,根据本文对老采空区瓦斯的定义,导气裂隙带和卸压解吸带内赋存的瓦斯即为老采空区瓦斯,赋存范围在垂直方向上以导气裂隙带高度和卸压解吸带高度为边界,水平方向上以采动影响范围为边界。

### 1.2 导气裂隙带高度

由于瓦斯与水同为流体,导气裂隙带高度与导水裂隙带高度基本相同,为简化问题,可认为导水裂隙带高度即为导气裂隙带高度。在前人研究的基础上,文献<sup>[8]</sup>给出了基于覆岩关键层位置的导水裂隙带

高度判别方法,判别步骤如下:

第1步,收集工作面钻孔柱状资料。

第2步,采用关键层判别软件(KSPB)进行具体钻孔柱状条件下覆岩关键层位置的判别。

第3步,计算关键层位置与开采煤层距离,并判别关键层破断裂缝是否贯通。如关键层位置距开采煤层高度大于7~10倍采高,则该层关键层破断裂缝是不贯通的;如该层关键层位置距开采煤层高度小于7~10倍采高,则该层关键层破断裂缝是贯通的,且它控制的上覆岩层破断裂缝也是贯通的。

第4步,确定导水裂隙带高度。当覆岩主关键层位于临界高度7~10倍采高以内时,导水裂隙带将发育至基岩顶部,导水裂隙带高度等于或大于基岩厚度;当覆岩主关键层位于临界高度7~10倍采高以外时,导水裂隙带将发育至临界高度7~10倍采高上方最近的关键层底部,导水裂隙带高度等于该关键层距开采煤层的高度。

### 1.3 卸压解吸带高度

研究表明,当煤层膨胀率达到0.3%时,煤层瓦斯充分卸压解吸<sup>[9]</sup>,文献<sup>[7]</sup>建立了煤层膨胀率与煤层应力卸压程度值(卸压后的铅直应力与原始铅直应力的比值)之间的换算关系,计算得出了煤层卸压膨胀率达0.3%时所需的应力卸压程度值 $r=0.57$ 。以此卸压程度值作为煤层瓦斯卸压解吸的指标,对不同采高、覆岩关键层结构及工作面长度下采空区上覆煤岩层卸压高度进行了数值模拟研究。研究表明,充分采动条件下,卸压解吸带高度发育至主关键层以下。

## 2 老采空区瓦斯储量预测模型

### 2.1 老采空区瓦斯来源

老采空区瓦斯的来源有以下3个方面:老采空区煤柱、遗煤及充分卸压的邻近未采煤岩层(图1)。其中导气裂隙带内的老采空区瓦斯储量包括:老采空区煤柱瓦斯储量、老采空区遗煤瓦斯储量及导气裂隙带内邻近层煤岩层瓦斯储量;与导气裂隙带内的邻近煤岩层瓦斯不同,卸压解吸带内的邻近煤岩层瓦斯沿层间张性裂隙运移,而没有涌入采动空间,因此在计算过程中应独立进行计算。以下本文根据老采空区瓦斯的赋存范围,利用分源法建立老采空区瓦斯储量预测模型。

### 2.2 导气裂隙带内瓦斯储量

#### 2.2.1 遗煤瓦斯储量

假设遗煤均匀地分布在采空区中,则工作面封闭之前,采空区遗煤的瓦斯涌出总量<sup>[10]</sup>为

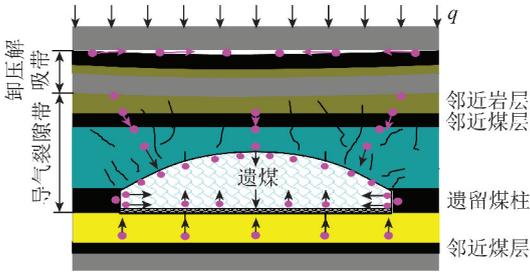


图1 老采空区瓦斯来源

Fig. 1 Source of old goaf methane

$$q_{ym} = SM\rho_c(1-x) \int_0^{(l_1+l_2)/v_g} q_0 e^{-\beta t} dt \quad (1)$$

式中,  $q_{ym}$  为老采空区遗煤瓦斯涌出量总量,  $m^3$ ;  $S$  为老采空区面积,  $m^2$ ;  $M$  为煤层厚度,  $m$ ;  $\rho_c$  为煤体密度,  $t/m^3$ ;  $x$  为采出率, %;  $l_1$  为工作面煤壁到液压支架的距离,  $m$ ;  $l_2$  为采空区沿工作面推进方向上的瓦斯浓度非稳定区域的宽度;  $v_g$  为工作面的推进速度,  $m/min$ ;  $q_0$  为采落煤炭初始瓦斯涌出强度,  $m^3/(t \cdot min)$ ;  $\beta$  为采空区遗煤瓦斯涌出衰减系数,  $min^{-1}$ ;  $t$  为时间,  $min$ 。

老采空区遗煤瓦斯储量是遗煤瓦斯原始总量与遗煤瓦斯涌出总量之差, 可表示为

$$Q_{ym} = SM\rho_c(1-x) \left[ c_b - \int_0^{(l_1+l_2)/v_g} q_0 e^{-\beta t} dt \right] \quad (2)$$

式中,  $Q_{ym}$  为老采空区遗煤瓦斯储量,  $m^3$ ;  $c_b$  为开采层煤层原始瓦斯含量,  $m^3/t$ 。

### 2.2.2 煤柱瓦斯储量

煤壁附近存在一个卸压带, 由于煤柱内部到煤壁表面之间存在着一定的瓦斯压力梯度, 从而使煤柱中的瓦斯沿着卸压带的裂隙涌出, 工作面封闭后煤柱中的瓦斯仍然不断涌出, 聚集在老采空区内部。瓦斯的涌出强度随着煤壁暴露时间的增加而降低<sup>[11]</sup>, 根据煤壁瓦斯涌出强度理论和现场测定结果, 工作面煤壁的瓦斯涌出强度与时间呈负幂函数关系<sup>[12]</sup>为

$$v_m = v_0(1+t)^{-\alpha} \quad (3)$$

式中,  $v_m$ ,  $v_0$  分别为煤壁暴露  $t$  时刻和初始暴露时刻煤壁的瓦斯涌出强度,  $m^3/(m^2 \cdot min)$ ;  $\alpha$  为煤壁瓦斯涌出衰减系数。

从老采空区瓦斯抽采的角度看, 煤柱瓦斯储量即为工作面封闭后煤壁的瓦斯涌出量, 假设回采巷道从掘进开始到工作面封闭所经历的时间为  $t_0$ , 则回采巷道煤壁  $t_0$  内的瓦斯涌出量为

$$q_{t_0} = h_b \int_0^{l_h} v_0 \left[ 1 + \left( t_0 - \frac{l}{v_c} \right) \right]^{-\alpha} dl \quad (4)$$

式中,  $q_{t_0}$  为回采巷道煤壁  $t_0$  内的瓦斯涌出量,  $m^3$ ;  $h_b$  为回采巷道煤壁高度,  $m$ ;  $l_h$  为回采巷道长度,  $m$ ;  $v_c$  为

回采巷道掘进速度,  $m/min$ 。

煤壁从揭露时刻到无穷大时刻的瓦斯涌出总量减去巷道煤壁从揭露时刻到工作面封闭时刻的瓦斯涌出量即为老采空区煤柱瓦斯储量( $Q_{mz}$ ), 即

$$Q_{mz} = Ml_h \int_0^{\infty} v_0(1+t)^{-\alpha} dt - h_b \int_0^{l_h} v_0 \left[ 1 + \left( t_0 - \frac{l}{v_c} \right) \right]^{-\alpha} dl \quad (5)$$

### 2.2.3 邻近煤岩层瓦斯储量

煤炭开采过程中, 导气裂隙带范围内的邻近煤层瓦斯不断涌出, 并随矿井通风排出。工作面封闭后, 导气裂隙带范围内的邻近煤层瓦斯仍不断涌出, 成为老采空区瓦斯的重要来源, 可表示为

$$Q_{dm} = \sum_{i=1}^{n_1} [c_i S_i M_i \rho_c (1-p_i)] \quad (6)$$

式中,  $Q_{dm}$  为导气裂隙带内邻近煤层残余瓦斯储量,  $m^3$ ;  $c_i$  为导气裂隙带范围内的第  $i$  层上邻近煤层瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $S_i$  为导气裂隙带范围内的第  $i$  层上邻近煤层的面积,  $m^2$ ;  $M_i$  为导气裂隙带范围内的第  $i$  层上邻近煤层的厚度,  $m$ ;  $p_i$  为导气裂隙带范围内的第  $i$  层上邻近煤层瓦斯排放率, %。

倾斜及缓倾斜煤层开采时, 邻近层瓦斯涌出量与层间距近于反比关系。因此, 邻近层瓦斯的排放率可表示为

$$p_i = \left( 1 - \frac{H_i}{H_s} \right) \times 100\% \quad (7)$$

式中,  $H_s$  为导气裂隙带实际高度,  $m$ 。

另外, 如果处于导气裂隙带内的邻近岩层含有瓦斯, 则邻近岩层也是老采空区瓦斯的重要来源, 邻近岩层中残存的瓦斯储量可表示为

$$Q_{dy} = \sum_{j=1}^{n_2} \varphi'_j S'_j M'_j (1-\delta_j) \quad (8)$$

式中,  $Q_{dy}$  为导气裂隙带内邻近岩层的瓦斯储量,  $m^3$ ;  $\varphi'_j$  为导气裂隙带范围内的第  $j$  层上邻近岩层孔隙率;  $S'_j$  为导气裂隙带范围内的第  $j$  层上邻近岩层的面积,  $m^2$ ;  $M'_j$  为导气裂隙带范围内的第  $j$  层上邻近岩层的厚度,  $m$ ;  $\delta_j$  为导气裂隙带范围内的第  $j$  层上邻近岩层瓦斯排放率, %。

### 2.3 卸压解吸带内瓦斯储量

工作面开采过程中, 卸压解吸带内瓦斯仅有很少量的可流入采煤空间, 大部分卸压瓦斯并未排出, 所以卸压解吸带内邻近煤层瓦斯储量可表示为

$$Q_{xm} = \sum_{k=1}^{n_3} c''_k S''_k M''_k \rho_c \quad (9)$$

式中,  $Q_{xm}$  为卸压解吸带内邻近煤层瓦斯储量,  $m^3$ ;  $c''_k$

为卸压解吸带范围内的第  $k$  层上邻近煤层瓦斯含量,  $m^3/t$ ;  $S_k''$  为卸压解吸带范围内的第  $k$  层上邻近煤层的面积,  $m^2$ ;  $M_k''$  为卸压解吸带范围内的第  $k$  层上邻近煤层的厚度,  $m$ 。

另外,如果处于卸压解吸带内的邻近岩层含有瓦斯,则邻近岩层中赋存的老采空区瓦斯储量可表示为

$$Q_{xy} = \sum_{l=1}^{n_4} \varphi_l'' S_l''' M_l''' \quad (10)$$

式中,  $Q_{xy}$  为卸压解吸带内邻近岩层瓦斯储量,  $m^3$ ;  $\varphi_l''$  为卸压解吸带范围内的第  $l$  层上邻近岩层孔隙率;  $S_l'''$  为卸压解吸带范围内的第  $l$  层上邻近岩层的面积,  $m^2$ ;  $M_l'''$  为卸压解吸带范围内的第  $l$  层上邻近岩层的厚度,  $m$ 。

综上所述,老采空区瓦斯资源总储量为

$$Q_z = Q_{ym} + Q_{mz} + Q_{dm} + Q_{dy} + Q_{xm} + Q_{xy} = SM\rho_c(1-x) \left[ c_b - \int_0^{(l_1+l_2)/v_g} q_0 e^{-\beta t} dt \right] + Ml_h \int_0^\infty v_0(1+t)^{-\alpha} dt - h_b \int_0^{l_h} v_0 \left[ 1 + \left( t_0 - \frac{l}{v_c} \right) \right]^{-\alpha} dl + \sum_{i=1}^{n_1} [c_i S_i M_i \rho_c (1-p_i)] + \sum_{j=1}^{n_2} \varphi_j' S_j' M_j' (1-\delta_j) + \sum_{k=1}^{n_3} c_k'' S_k'' M_k'' \rho_c + \sum_{l=1}^{n_4} \varphi_l'' S_l''' M_l''' \quad (11)$$

### 3 计算实例

#### 3.1 工作面概况

阳泉三矿 K8108 综放工作面开采 15 号煤层,该工作面上覆 3, 8, 11, 12 及 13 号煤层均未开采。K8108 综放工作面于 2003 年 6 月开始回采,2004 年 9 月回采结束后封闭,工作面标高为 563 ~ 598 m,埋深为 420 ~ 540 m,走向长度为 1 143 m,倾斜长度为 190 m,开采煤层厚度为 6.6 m,煤层倾角  $2^\circ \sim 9^\circ$ ,煤层原始瓦斯含量为  $7.13 m^3/t$ 。K8108 综放工作面采用走向长壁后退式开采,全部垮落法管理顶板。

#### 3.2 关键层判别

根据 K8108 综放工作面地质钻孔柱状,利用关键层判别软件(KSPB)对该综放工作面覆岩关键层位置进行判别<sup>[13-17]</sup>,判别结果如图 2 所示。由判别结果可知 K8108 综放工作面上覆岩层中存在 4 层亚关键层和 1 层主关键层。

#### 3.3 导气裂隙带高度判别

K8108 综放工作面主关键层的高度为 157.7 m,根据基于关键层位置的导水裂隙带高度判别方法,主关键层高度位于 7 ~ 10 倍采高以外,因此 K8108 综放工作面导水裂隙将发育至 7 ~ 10 倍采高上方最近的

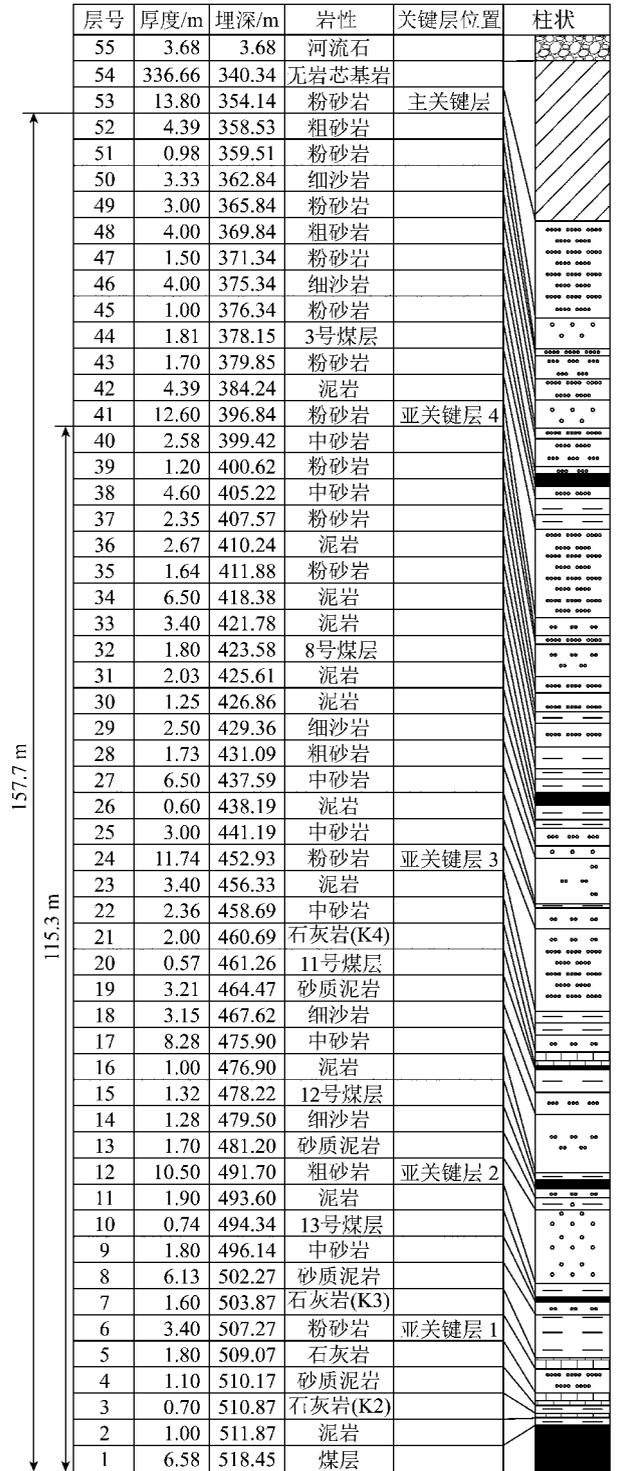


图 2 覆岩关键层判别结果

Fig. 2 Distinguishing results of key strata in overburden 关键层,即亚关键层 4,距离开采煤层 115.3 m。因此 K8108 综放工作面导气裂隙带高度为 115.3 m。

#### 3.4 卸压解吸带高度判别

根据岩层移动的关键层理论,在亚关键层 4 及主关键层弯曲下沉的过程中,两层关键层发生非协调变形,主关键层之下将会产生高层,亚关键层 4 所控制的岩层将充分卸压。因此,K8108 综放工作面覆岩卸

压解吸带将止于主关键层,卸压解吸带高度为 157.7 m。

3.5 老采空区瓦斯储量预测

由 K8108 综放工作面覆岩导气裂隙带高度、卸压解吸带高度的判别结果和工作面地质钻孔柱状可知,K8108 综放工作面覆岩导气裂隙带内赋存的煤层为 8,11,12,13 号煤层,导气裂隙带内赋存的含瓦斯岩层分别为 K2,K3,K4 石灰岩,卸压解吸带内赋存的煤层为 3 号煤层。根据本文建立的老采空区瓦斯储量预测模型对 K8108 综放工作面老采空区瓦斯储量进行预测,模型参数取值见表 1。

表 1 预测模型参数值

Table 1 Parameters of the model

编号	参数	参数值	编号	参数	参数值
1	$S/m^2$	217 170	25	$p_2/\%$	69
2	$M/m$	6.6	26	$c_3/(m^3 \cdot t^{-1})$	15.6
3	$\rho_c/(t \cdot m^{-3})$	1.4	27	$S_3/m^2$	250 641
4	$x/\%$	80	28	$M_3/m$	0.57
5	$c_b/(m^3 \cdot t^{-1})$	7.13	29	$p_3/\%$	56
6	$l_1/m$	4	30	$c_4/(m^3 \cdot t^{-1})$	21.7
7	$l_2/m$	30	31	$S_4/m^2$	277 603
8	$v_g/(m \cdot min^{-1})$	0.001 654	32	$M_4/m$	1.8
9	$q_0/(m^3 \cdot (t \cdot min)^{-1})$	0.17	33	$p_4/\%$	20
10	$\beta/min^{-1}$	0.04	34	$\varphi'_1/\%$	2
11	$l_h/m$	2 666	35	$S'_1/m^2$	218 214
12	$l_g/m$	190	36	$M'_1/m$	0.7
13	$v_0/(m^3 \cdot (m^2 \cdot min)^{-1})$	0.75	37	$\delta_1/\%$	99
14	$h_b/m$	3	38	$\varphi'_2/\%$	2.3
15	$t_0/min$	1 209 600	39	$S'_2/m^2$	222 083
16	$v_c/(m \cdot min^{-1})$	0.002 315	40	$M'_2/m$	1.6
17	$\alpha$	1.005 2	41	$\delta_2/\%$	94
18	$c_1/(m^3 \cdot t^{-1})$	17.8	42	$\varphi'_3/\%$	2.5
19	$S_1/m^2$	228 409	43	$S'_3/m^2$	251 869
20	$M_1/m$	0.74	44	$M'_3/m$	2
21	$p_1/\%$	85	45	$\delta_3/\%$	54
22	$c_2/(m^3 \cdot t^{-1})$	16.1	46	$c''_1/(m^3 \cdot t^{-1})$	18.2
23	$S_2/m^2$	240 692	47	$S''_1/m^2$	305 485
24	$M_2/m$	1.32	48	$M'_1/m$	1.81

将表 1 中各参数代入式(11),可计算得到 K8108 综放工作面老采空区瓦斯储量为 3 078 万 m<sup>3</sup>。

3.6 计算结果验证

为验证本文老采空区瓦斯储量预测模型的准确性,利用物质平衡法对 K8108 综放工作面老采空区瓦斯储量进行计算。物质平衡法认为:老采空区赋存

范围内,老采空区瓦斯储量可看作是瓦斯风排和抽采后的剩余瓦斯量,可表示<sup>[4]</sup>为

$$Q_p = Q_i - Q_d - Q_g \quad (12)$$

式中, $Q_p$  为老采空区瓦斯储量, m<sup>3</sup>;  $Q_i$  为老采空区赋存范围内的原始煤层岩层瓦斯储量, m<sup>3</sup>;  $Q_d$  和  $Q_g$  分别是工作面开采期间的瓦斯抽采量和风排量, m<sup>3</sup>。

对 K8108 综放工作面开采期间的瓦斯抽排数据资料进行了整理,开采期间,工作面每天的瓦斯抽排量如图 3 所示。根据瓦斯抽排数据计算得出 K8108 综放工作面开采期间的瓦斯抽排总量达到了 1 649.12 万 m<sup>3</sup>。

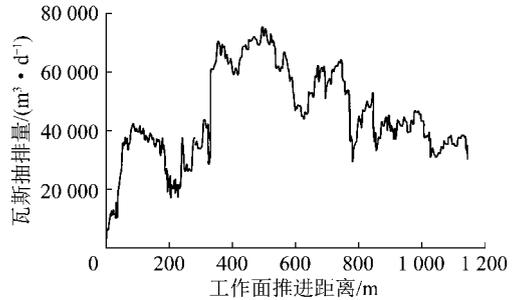


图 3 K8108 工作面开采期间的瓦斯抽排量

Fig. 3 Gas emission quantity of K8108 working face

根据表 1 中 K8108 综放工作面导气裂隙带和卸压解吸带范围内各邻近煤层原始瓦斯含量、煤炭储量、邻近岩层体积及孔隙率可计算得到 K8108 综放工作面开采范围内导气裂隙带和卸压解吸带范围内的原始瓦斯储量为 4 636.34 万 m<sup>3</sup>。根据式(12)可计算得出 K8108 综放工作面老采空区瓦斯储量为 2 987.22 万 m<sup>3</sup>,与本文基于瓦斯卸压运移“三带”理论的预测模型计算结果(3 078 万 m<sup>3</sup>)相差较小,进一步验证了本文所建立预测模型是准确可靠的。

4 结 论

(1) 根据采动上覆瓦斯卸压运移的“三带”理论确定了老采空区瓦斯的赋存范围:垂直方向上以导气裂隙带和卸压解吸带高度为边界,水平方向上以采动影响范围为边界。给出了基于关键层位置的导气裂隙带和卸压解吸带高度的计算方法。

(2) 根据老采空区瓦斯的来源,利用分源法建立了基于采动上覆瓦斯卸压运移“三带”理论的老采空区瓦斯储量预测模型。

(3) 结合阳泉三矿 K8108 综放工作面的生产地质条件,对阳泉三矿 K8108 综放工作面覆岩导气裂隙带和卸压解吸带高度进行计算,计算结果表明,其导气裂隙带和卸压解吸带高度分别为 115.3 m 和 157.7 m。利用老采空区瓦斯储量预测模型对 K8108

综放工作面老采空区瓦斯储量进行了预测,该工作面老采空区瓦斯储量预计为3 078万 $\text{m}^3$ 。同时,利用物质平衡法对K8108综放工作面老采空区瓦斯储量进行了计算,计算结果为2 987.22万 $\text{m}^3$ ,与本文预测模型计算结果相差较小,进一步验证了本文所建立预测模型是准确可靠的。

## 参考文献:

- [1] 崔永君. 废弃矿井瓦斯——值得关注的煤层气资源[J]. 中国煤层气, 2005, 2(3): 27-31.  
Cui Yongjun. Abandoned coal mine methane——A noteworthy CBM resource[J]. China Coalbed Methane, 2005, 2(3): 27-31.
- [2] 韩保山. 废弃矿井煤层气储层描述[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(2): 32-34.  
Han Baoshan. Reservoir characterization of old mine methane (AMM)[J]. Coal Geology and Exploration, 2005, 33(2): 32-34.
- [3] 韩保山, 张新民, 张群. 废弃矿井煤层气资源量计算范围研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(1): 29-31.  
Han Baoshan, Zhang Xinmin, Zhang Qun. Theoretical study on calculation limits of CBM resource of old coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(1): 29-31.
- [4] 张培河. 废弃矿井瓦斯资源量计主要参数确定方法[J]. 中国煤层气, 2007, 4(3): 15-16.  
Zhang Peihe. Analysis on major parameters to calculate CMM resources in old coal mines[J]. China Coalbed Methane, 2007, 4(3): 15-16.
- [5] 屈庆栋. 采动上覆瓦斯卸压运移的“三带”理论及其应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.  
Qu Qingdong. Study on the “three zones” theory of overlying gas release and migration in response to coal mining and its application [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2010.
- [6] 许家林. 煤矿绿色开采[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011.  
Xu Jialin. Green mining of coal mine[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2011.
- [7] 吴仁伦. 煤层群开采瓦斯卸压抽采“三带”范围的理论研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.  
Wu Renlun. Study on the scope of the “three zones” of methane pressure relief and extraction in coal seam group mining [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011.
- [8] 许家林, 朱卫兵, 王晓振. 基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 762-769.  
Xu Jialin, Zhu Weibing, Wang Xiaozhen. New method to predict the height of fractured water-conducting zone by location of key strata [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 762-769.
- [9] 吴仁伦, 许家林, 孔翔, 等. 长综放面采动上覆煤层的瓦斯卸压规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(1): 8-12.  
Wu Renlun, Xu Jialin, Kong Xiang, et al. Methane pressure relief rule of overlying coal seam induced by fully mechanized top coal caving in long working face [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(1): 8-12.
- [10] 胡国忠, 许家林, 黄军碗, 等. 高瓦斯综放工作面的均衡开采技术研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(5): 711-716.  
Hu Guozhong, Xu Jialin, Huang Junwan, et al. Study on the technique of equilibrium mining for high methane fully mechanized top-coal caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(5): 711-716.
- [11] 王义江, 杨胜强, 许家林, 等. 阳泉三矿大采长综放工作面瓦斯涌出特征分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2007, 26(1): 11-15.  
Wang Yijiang, Yang Shengqiang, Xu Jialin, et al. Analysis of methane emission for the bigger mining length and fully mechanized top-coal caving face in Yangquan III Mine [J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 2007, 26(1): 11-15.
- [12] 尚梦强. 综放回采工作面瓦斯来源及涌出规律的分析[J]. 山西煤炭, 2009, 29(1): 25-38.  
Shang Mengqiang. The methane source and its emission rule in fully-mechanized caving face [J]. Shanxi Coal, 2009, 29(1): 25-38.
- [13] 许家林, 钱鸣高. 关键层运动对覆岩及地表移动影响的研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(2): 122-126.  
Xu Jialin, Qian Minggao. Study on the influence of key strata movement on subsidence [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(2): 122-126.
- [14] 许家林. 岩层移动与控制的关键层理论及其应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 1999.  
Xu Jialin. The theoretical study and application of key stratum in ground control and movement [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1999.
- [15] 许家林, 钱鸣高. 覆岩关键层位置的判别方法[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(5): 463-467.  
Xu Jialin, Qian Minggao. Method to distinguish key strata in overburden [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(5): 463-467.
- [16] 朱卫兵, 许家林, 施喜书, 等. 覆岩主关键层运动对地表沉陷影响的钻孔原位测试研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 403-409.  
Zhu Weibing, Xu Jialin, Shi Xishu, et al. Research on influence of overburden primary key stratum movement on surface subsidence with in-situ drilling test [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2): 403-409.
- [17] 秦伟, 许家林. 对“基于薄板理论的采场覆岩关键层的判别方法”的商榷[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 194-197.  
Qin Wei, Xu Jialin. Discussion on key stratum distinguishing method of overlying strata based on the thin slab theory [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(2): 194-197.