

文章编号: 1000-1964(2004)02-0132-05

## 煤与远程卸压瓦斯安全高效共采试验研究

程远平<sup>1</sup>, 俞启香<sup>1</sup>, 袁亮<sup>2</sup>, 李平<sup>2</sup>, 刘永庆<sup>2</sup>, 童云飞<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 能源科学与工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 运用高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采的思想, 在淮南潘一矿进行了煤与瓦斯安全高效共采及远程瓦斯抽采的试验研究: 首先开采瓦斯含量低、无突出危险的 B11 煤层, 利用其采动影响使处在其上部 70 m (相对层间距 35) 的 C13 煤层卸压, 煤层透气性系数增加近 3 000 倍, 瓦斯大量解吸并形成了沿顺层张裂隙流动的条件。通过在 C13 煤层底板沿走向布置的瓦斯抽采巷向 C13 煤层均匀地打网格向上穿层钻孔, C13 煤层内的卸压解吸瓦斯在煤层残余瓦斯压力和抽采负压作用下沿顺层张裂隙向抽采钻孔汇集, 瓦斯抽采率达 60% 以上, 不仅消除了煤与瓦斯突出危险性, 而且相对瓦斯涌出量由原来 25 m<sup>3</sup>/t 下降到 5 m<sup>3</sup>/t, 工作面日产量由原来的 1 700 t 提高到 5 100 t, 成功地实现了煤与瓦斯两种资源的安全高效共采。

**关键词:** 高瓦斯; 煤层群; 煤与瓦斯安全高效共采; 远程瓦斯抽采; 低透气性

**中图分类号:** TD 823 **文献标识码:** A

## Experimental Research of Safe and High-Efficient Exploitation of Coal and Pressure Relief Gas in Long Distance

CHENG Yuan-ping<sup>1</sup>, YU Qi-xiang<sup>1</sup>, YUAN Liang<sup>2</sup>, LI Ping<sup>2</sup>, LIU Yong-qing<sup>2</sup>, TONG Yun-fei<sup>2</sup>

(1. College of Mineral and Energy Resources, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;

2. Huainan Mining (Group) Co. Ltd, Huainan, Anhui 232001, China)

**Abstract:** With the idea of safe and high-efficient exploitation of coal and gas in high gas content coal seams, in Panji mine 1 of Huainan city the experimental research of safe and high-efficient exploitation of coal and gas, and gas extraction in long distance was carried out. The B11 coal seam with a low gas content and without coal and gas outburst danger was exploited. Then the pressure on the C13 coal seam which is 70 meters (a comparative interval of 35 m) above the B11 coal seam was relieved by making use of the exploiting effect. The results were that the permeability of the C13 coal seam increased by nearly 3 000 times, a great deal of gas was released and flowed in the open cracks along the C13 coal seam. The grid bores were drilled evenly toward C13 coal seam in the gas extraction tunnel to be located in the bed plate along C13 coal seam. The released and pressure relief gas in C13 coal seam accumulates toward the borehole along the open cracks under the residual gas pressure and extraction negative pressure, and the gas extraction ratio of C13 coal seam exceeded 60%. The results indicate that this method can eliminate the outburst danger of coal and gas, and make the comparative gas effusion reduces from 25 m<sup>3</sup>/t to 5 m<sup>3</sup>/t and the output of working face increases from 1 700 t/d to 5 100 t/d. The safe and high-efficient exploitation of coal and gas has been realized successfully.

**Key words:** high gas content; coal seams; safe and high-efficient exploitation of gas and coal; long distance gas extraction; low permeability

收稿日期: 2003-02-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50134040); 国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA803B0412)

作者简介: 程远平(1962-), 男, 吉林省集安市人, 中国矿业大学教授, 博士生导师, 工学博士, 从事火灾防护理论与工程应用、矿业安全工程方面的研究

我国以煤炭为主要能源,在能源生产和消费中煤炭约占 74%,煤炭提供了 78% 的发电能源,70% 的化工原料和 60% 的民用商品能源<sup>[1]</sup>。在煤炭资源的开采过程中,其伴生承压气态产物煤层瓦斯必然向矿井涌出,可能造成瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出等灾害事故,严重地制约着煤炭企业的安全高效集约化生产。近年来,随着开采深度的不断增加,不少煤矿变为高瓦斯矿井,原来没有煤与瓦斯突出危险的煤层变为煤与瓦斯突出危险的煤层,国有煤矿 50% 的矿井为高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井。煤层瓦斯的大量直接排放不仅浪费了能源资源而且严重污染了环境。以甲烷为主要成分的煤层瓦斯是一种具有强烈温室效应的气体,甲烷的温室效应比二氧化碳大 20 倍以上,对地球臭氧层的破坏力是二氧化碳的 7 倍。煤层瓦斯同时也是一种洁净能源,我国埋深在 2 000 m 以内的煤层瓦斯储量为  $(32 \sim 35) \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,几乎与常规天然气资源量相当<sup>[2-3]</sup>。由于我国大部分高瓦斯矿区煤层透气性较低,地面钻井采气和煤矿井下原始煤体瓦斯抽采困难。

文献[4]中提出了高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采的概念:在煤层群开采条件下,首先开采瓦斯含量低、无突出危险(或危险性较小)的首采煤层,利用其采动影响使处在其上部和下部的卸压煤层卸压,煤层透气性成千倍增加,瓦斯大量解吸并沿岩体移动形成的裂隙流动,从而形成良好的瓦斯抽采条件。同时进行的卸压瓦斯高效抽采既解决了由卸压煤层向首采煤层涌出瓦斯问题,保障首采煤层实现安全高效开采,又大幅度地降低了卸压煤层的瓦斯含量,消除煤与瓦斯突出危险性,为在卸压煤层内实现快速掘进与高效回采提供了安全保障,从而实现瓦斯与煤炭两种资源的安全高效共采。

本文详细介绍基于高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采的思想,在淮南潘一矿进行的煤与瓦斯安全高效共采及远程瓦斯抽采的试验研究工作。

## 1 试验矿井及试验区概况

试验矿井为淮南煤业(集团)有限责任公司潘一矿,位于淮南矿区新区,是年产 300 万 t 的特大型矿井,1983 年 12 月投产。井田走向长 13.5 km,倾斜长 5.7 km。目前主采煤层为 C13、B11 和 B8 煤层,其中 C13 和 B8 煤层具有煤与瓦斯突出危险性,矿井地面建有永久瓦斯抽采系统。现矿井生产水平为一水平下山部分 530~650 m 之间。

试验区位于潘一矿东一和东二采区,首采煤层为 B11 煤层,东一采区的 2151(1)工作面与东二采

区的 2352(1)工作面联合开采,合称 2352(1)工作面,由东一采区向东二采区开采,煤炭运输系统和进回风系统均由东二采区承担。走向长壁工作面走向长 1 640 m,倾斜长 190 m,煤层厚度 1.5~2.4 m,平均 2.0 m,倾角 6~13°。平均 9.9°。B11 煤层瓦斯含量为 4~7.5 m<sup>3</sup>/t,无煤与瓦斯突出危险性。工作面煤层赋存稳定,地质构造简单,采用综合机械化采煤,工作面设计平均日产为 2 000 t。卸压煤层为 C13 煤层,位于 B11 煤层上部 70 m 处,相对层间距 35。由于东一采区和东二采区之间 C13 煤层被断层分割,因此试验区 C13 煤层分别由东一采区的 2121(3)和东二采区的 2322(3)工作面进行开采。工作面走向长 1 680 m(两个面合计),倾斜长 160 m,煤层厚度 5.57~6.25 m,平均 6.0 m,倾角 6~13°。平均 9.9°。实测该区域煤层瓦斯压力为 4.4 MPa,煤层瓦斯含量 13.0 m<sup>3</sup>/t,煤层原始透气性系数为 0.011 m<sup>2</sup>/(MPa<sup>2</sup>·d)。试验区相邻的 2312(3)综合机械化采煤工作面(未进行远程瓦斯抽采)回采期间工作面相对瓦斯涌出量 14.8~38.6 m<sup>3</sup>/t,平均达 25.0 m<sup>3</sup>/t,绝对瓦斯涌出量为 22.7~33.1 m<sup>3</sup>/min,平均达 27.0 m<sup>3</sup>/min。C13 煤层曾多次发生过煤与瓦斯突出事故和特大瓦斯爆炸事故。工作面煤层赋存稳定,地质构造简单,经卸压和远程瓦斯抽采全面消除煤与瓦斯突出危险性,并有效地降低煤层瓦斯含量后采用综合机械化放顶煤采煤方法,工作面设计平均日产为 5 000 t。试验区域内煤层简况如表 1 所示。

表 1 试验区域内煤层简况  
Table 1 Brief condition of coal seams in experimental zone

煤层	煤层厚度/m	层间距/m	相对层间距*	瓦斯含量/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )
C13-2	0.9	77	38.5	13.0
C13	6.0	70	35	13.0
C12	0.8	66	33	13.0
B11-2	0.4	2	1	5.5
B11	2	0	0	5.5

\* 相对层间距为层间距与首采煤层开采厚度之比

## 2 煤与瓦斯安全高效共采技术方案

由于矿井主采煤层 C13 煤层瓦斯压力大,瓦斯含量高,煤层透气性低且具有煤与瓦斯突出危险,原始煤体瓦斯抽采困难,致使综合机械化放顶煤这一高效采煤方法在该矿无法使用。C13 煤层曾采用综合机械化采煤方法结合近程瓦斯抽采技术分层开采,在工作面回风流瓦斯浓度按 1.5% 管理的条件下工作面平均日产在 2 000 t 以下。煤巷掘

进需采用“四位一体”的防治煤与瓦斯突出措施,月进尺仅 40~ 60 m. C13 煤层的开采效率低下.

为了从根本上改变煤矿生产的被动局面,提高煤矿生产的安全性效益,从 1997 年起淮南(矿业)集团有限责任公司与中国矿业大学合作共同开展了高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采的试验研究工作.根据潘一矿试验区的实际情况,我们设计了如图 1 所示的煤与瓦斯安全高效共采技术方案.该方案改变了原设计先采 C13 煤层再采 B11 煤层的下行开采顺序,首先开采瓦斯含量低、无突出危险的 B11 煤层,利用其采动影响使处在其采空区上部的煤(岩)层卸压变形,产生裂隙,形成卸压瓦斯“解吸-扩散-渗流”的活化流动条件.处在不同卸压区域内的煤(岩)层其卸压及裂隙分布形态是不同的,根据相对层间距将卸压煤层的瓦斯涌出分为近程、中程和远程瓦斯涌出<sup>[4]</sup>.淮南潘一矿 B11 煤层平均采高 2.0 m,该煤层开采之后相对层间距 4~ 6 为垮落带的上限高度,处在此上限高度以内的瓦斯涌出为近程瓦斯涌出,主要为采空区的遗煤.距 B11 煤层 2.0 m 的一个不稳定分层 B11-2 (厚度为 0.2~ 0.5 m).相对层间距 15~ 20 为断裂带的上限高度,处在断裂带的瓦斯涌出为中程瓦斯涌出,在试验条件下该区域内没有煤层.处在弯曲带内的 C12 和 C13 煤层距 B11 煤层 70 m,相对层间距 35,属远程瓦斯涌出.由于弯曲带内形成的裂隙主要为岩层离层后形成的顺层张裂隙和少部分岩层破断后形成的穿层裂隙,因此 C12 和 C13 煤层的解吸瓦斯只能有少部分通过穿层裂隙进入断裂带,成为中程瓦斯涌出.预计中程瓦斯的涌出量不大,无需采用中程瓦斯抽采措施,故此部分瓦斯将进入垮落带,成为近程瓦斯的一部分.来自 C12 和 C13 煤层的远程瓦斯涌出对 B11 煤层开采的影响可以通过近程瓦斯抽采得以解决,但由于

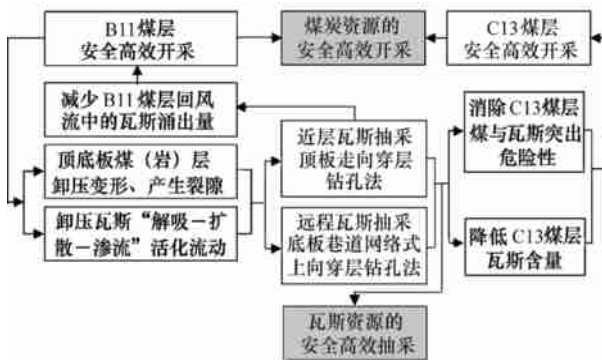


图 1 高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采技术方案  
Fig. 1 Technical project of safe and highly efficient exploitation of coal and gas in high gas content coal seams

C13 煤层为矿井的主采煤层,我们将采取高效的远程瓦斯抽采方法,在卸压抽采区域内大幅度地降低 C13 煤层的瓦斯含量,全面消除其突出危险,使其达到使用综合机械化放顶煤采煤法的技术要求

### 3 远程瓦斯抽采技术方案

针对 C13 煤层卸压裂隙分布特征和瓦斯流动特点,我们提出了以下 5 种远程瓦斯抽采方法: 1) 底板巷道网格上向穿层钻孔法; 2) B11 煤层巷道网格上向穿层钻孔法; 3) C13 煤层巷道法; 4) C13 煤层底板走向长钻孔法; 5) 地面钻井法.经过详细的技术及经济比较,我们选择了底板巷道网格上向穿层钻孔法

底板巷道网格上向穿层钻孔法如图 2 所示,在 C13 煤层底板 10~ 20 m 的花斑粘土岩和砂岩中,位于卸压煤层工作面运输巷与回风巷的投影中间,沿岩层走向方向布置一底板瓦斯抽采巷.该巷由东一采区进风,东二采区回风构成矿井总负压通风.在底板瓦斯抽采巷内,在首采煤层开采的有效卸压区域内每隔 30~ 40 m 布置一长度 5 m 的水平抽采钻场.在每个钻场内打一组扇形穿层钻孔,钻孔直径 91 mm,钻孔有效抽采半径 15~ 20 m,钻孔间距以 C13 煤层中厚面为准,孔底进入 C13- 2

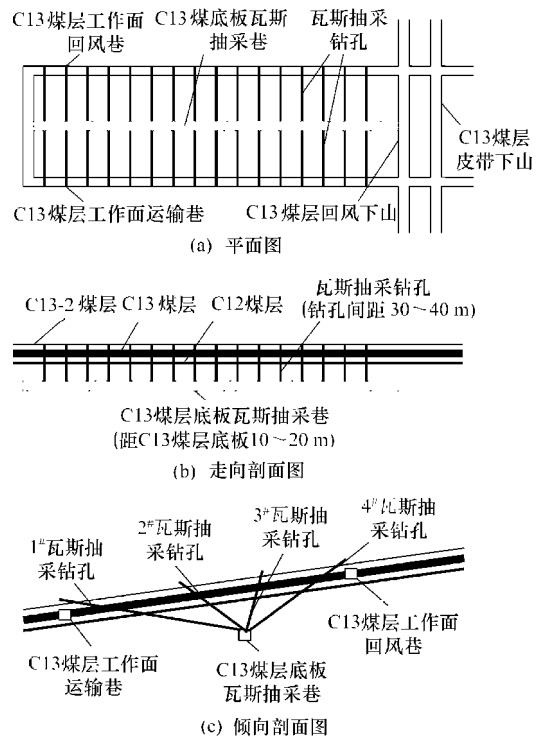


图 2 底板巷道网格上向穿层钻孔远程瓦斯抽采方法示意图

Fig. 2 Sketch map of methods of long distance gas extraction in gridding bores through coal and rock seams in bed plate tunnel

煤层顶板 0.5 m。这样在 C13 煤层的卸压区域内形成网格上向穿层钻孔, 卸压解吸的瓦斯在煤层残余瓦斯压力和抽采负压的作用下, 沿顺层张裂隙向抽采钻孔汇集, 经瓦斯抽采管路抽到地面

底板巷道网格上向穿层钻孔法的优点是: 1) 瓦斯抽采巷可兼作考察巷, 在首采煤层开采初期即可进行考察工作; 2) 瓦斯抽采工作机动灵活, 能及时根据考察结果调整抽采钻孔参数, 可靠性高; 3) 有专门的瓦斯抽采巷道, 抽采钻孔相对较短, 工程量相对较小, 现有的设备和技术能保证设计方案的实施; 4) 上向钻孔有利于水的排放; 5) 抽采时间长, 均匀布孔能获得均匀良好的瓦斯抽采效果。综合考虑巷道维护、钻孔工程量、施工安全与管理以及参数考察工作等因素, 我们将瓦斯抽采巷布置在 C13 煤层底板 10~20 m 的花斑粘土岩和砂岩中

#### 4 煤与瓦斯安全高效共采效果

##### 4.1 瓦斯抽采效果

当首采煤层工作面采过瓦斯抽采钻场约 40 m, 瓦斯抽采量急剧增加。图 3 为单一钻场瓦斯抽采量随时间的变化, 图中明显地反映出煤层应力变化规律与卸压瓦斯流动之间的关系。前 20 d 为瓦斯抽采增长期, 煤层卸压应力活动加剧, 瓦斯抽采量增加; 第 20~80 d 为瓦斯抽采活跃期, 在瓦斯抽采活跃期内卸压应力活动稳定, 透气性达到最大, 实测煤层透气性系数由卸压前的  $0.011 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$  增加到卸压后的  $32.7 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ , 增加了近 3 000 倍, 瓦斯抽采量稳定, 平均单孔瓦斯抽采量在  $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$  以上; 第 80 d 后为瓦斯抽采衰减期, 煤层开始逐渐压实, 透气性下降, 煤层残余瓦斯压力渐小, 瓦斯抽采量呈负指数规律下降

表 2 卸压煤层工作面已无煤与瓦斯突出危险性综合论证

Table 2 Integrated reasoning for having without danger of coal and gas outburst in working face of pressure relief coal seam

参数	方法	结果	规定值	突出危险性	备注
瓦斯抽采率/%	残余瓦斯压力	68.3			
	单一钻场瓦斯抽采量	79.9	> 30	无	符合文献[5]第 190 条
	工作面瓦斯抽采平衡	60.0			
残余瓦斯压力/MPa	实际测定	0.5	< 0.74	无	符合文献[5]第 190 条及文献[6]第 30 条
C13 煤层顶底板相对变形/%	实际测定	2.63	0.58	无	规定值为天府煤矿远距离保护层指标 <sup>[7]</sup>
煤巷掘进验证	最大钻屑量/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ )	5.8	< 6	无	符合文献[6]第 36, 38 条
	瓦斯涌出初速度/( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	3.8	< 4	无	

从表 2 中可以看出, 瓦斯抽采率达 60% 以上, 煤层残余瓦斯压力降为 0.5 MPa, 煤层顶底板相对变形达 2.63%, 煤巷和切眼掘进过程中煤与瓦斯

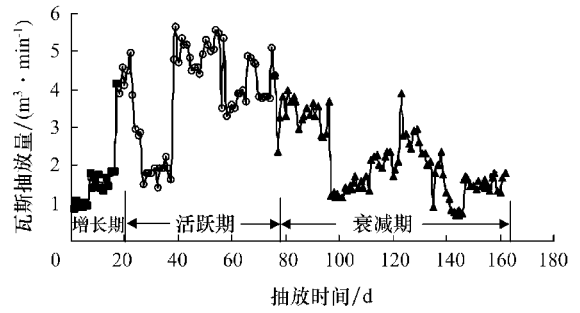


图 3 钻场瓦斯抽采量随时间的变化  
Fig. 3 Variation of gas extraction quality vs time in drilling yard

图 4 为近程及远程瓦斯抽采量随时间的变化, 远程瓦斯抽采量为  $6.5 \sim 25.2 \text{ m}^3/\text{min}$ , 平均为  $16.0 \text{ m}^3/\text{min}$ ; 近程瓦斯抽采量为  $0.9 \sim 12.8 \text{ m}^3/\text{min}$ , 平均为  $5.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 。受首采煤层的采动影响, 卸压煤层的高效瓦斯抽采期为 2 个月, 高效抽采走向范围为 160 m, 同时起作用的钻场数为 4 个, 同时抽采钻孔数为 16 个, 平均单孔瓦斯抽采量在  $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$  左右, 连续抽采时间超过 4 个月以后, 煤层瓦斯抽采率可达 60% 以上

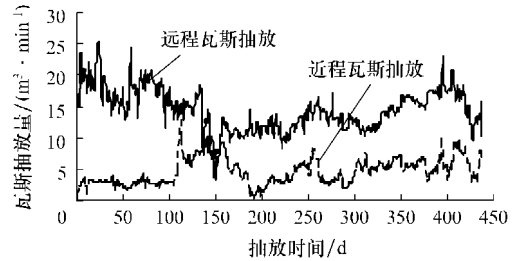


图 4 近程及远程瓦斯抽采量随时间的变化  
Fig. 4 Variation of short and long distance gas extraction quality vs time

卸压煤层 2121(3) 工作面经卸压及远程瓦斯抽采后已无煤与瓦斯突出危险, 其综合论证结果如表 2 所示

突出指标检验均小于规定临界值

##### 4.2 首采煤层开采效果

首采煤层 2352(1) 工作面回采期间供风量为

1 100~ 1 400 m<sup>3</sup>/m in, 风排瓦斯量 6~ 14 m<sup>3</sup>/m in, 平均为 9~ 10 m<sup>3</sup>/m in; 瓦斯抽采量为 0.9~ 12.8 m<sup>3</sup>/m in, 平均为 5.0 m<sup>3</sup>/m in; 总瓦斯量为 8.5~ 24.5 m<sup>3</sup>/m in, 平均为 15.0 m<sup>3</sup>/m in. 工作面产量为 1 400~ 2 000 t/d, 平均为 1 700 t/d; 回风流中的瓦斯浓度为 0.5%~ 1.0%. 从上述参数可以看出, 现有技术措施保证了 B11 煤层工作面的安全回采

#### 4.3 卸压煤层开采效果

卸压煤层 C13 煤层 2121(3) 工作面煤巷掘进落后于首采煤层 B11 煤层 2352(1) 工作面走向距离 350~ 450 m 以上, 落后时间 4~ 5 个月以上. 掘进期间供风量为 300~ 400 m<sup>3</sup>/m in, 回风流中的瓦斯浓度为 0.3~ 0.7%, 平均为 0.5%. 煤巷月掘进速度为 200 m 以上, 在掘进过程中无任何动力现象显现. 在相邻的未卸压工作面煤巷掘进过程中, 瓦斯突出指标严重超标, 需采用“四位一体”的防突措施, 煤巷月掘进速度仅为 40~ 60 m, 掘进期间瓦斯涌出量较大, 需要采用超前预抽的方法防突和降低掘进工作面的瓦斯涌出

由于采用了卸压及远程瓦斯抽采, 卸压煤层 2121(3) 的工作面已无煤与瓦斯突出危险性, 瓦斯抽采率达到 60% 以上, 达到了综合机械化放顶煤开采的技术条件, 采用综合机械化放顶煤采煤法与未采取远程瓦斯抽采的相邻综合机械化采煤工作面 2312(3) 相比(见表 3), 工作面平均产量由原来的 1 700 t/d 提高到 5 100 t/d, 达到了原来的 3 倍; 相对瓦斯涌出量由原来的 25 m<sup>3</sup>/t 降低到 5.0 m<sup>3</sup>/t, 降低了 4/5; 在供风量相当条件下, 回风流平均瓦斯浓度由原来的 1.15% 降低到 0.5%. 按卸压煤层 2121(3) 工作面的现有瓦斯抽采能力和通风能力, 工作面平均生产能力可达 7 000 t/d

表 3 远程瓦斯抽采工作面与

未进行远程瓦斯抽采工作面参数对比

Table 3 Parameters of working face with long distance gas extraction and without long distance gas extraction

对比参数		远程瓦斯抽采工作面 2121(3)/综采放顶煤开采	未进行远程瓦斯抽采工作面 2312(3)/综采开采
产量/(t·d <sup>-1</sup> )	范围 平均	3772~ 6335 5 100	1087~ 2450 1 700
相对瓦斯涌出量/(m <sup>3</sup> ·m in <sup>-1</sup> )	范围 平均	3.7~ 7.6 5.0	14.8~ 38.6 25.0
回风流瓦斯浓度/%	范围 平均	0.32~ 0.70 0.5	0.83~ 1.42 1.15
风量/(m <sup>3</sup> ·m in <sup>-1</sup> )	平均	1 800	1 850

## 5 结 论

1) 试验研究证明, 针对淮南潘一矿煤层赋存

条件提出的高瓦斯煤层群煤与瓦斯安全高效共采的技术方案是可行的, 实现了煤与瓦斯两种资源的安全高效共采

2) 在层间距 70 m (相对层间距 35) 的条件下, 卸压煤层透气性系数由卸压前的 0.011 m<sup>2</sup>/(MPa<sup>2</sup>·d) 增加到卸压后的 32.7 m<sup>2</sup>/(MPa<sup>2</sup>·d), 增加了近 3 000 倍, 采用底板巷道网格式上向穿层钻孔远程瓦斯抽采方法, 高效瓦斯抽采期为 2 个月, 高效抽采走向范围为 160 m, 同时起作用的钻场数为 4 个, 同时抽采钻孔数为 16 个, 平均瓦斯抽采量为 16.0 m<sup>3</sup>/m in, 连续抽采时间超过 4 个月后, 煤层瓦斯抽采率可达 60% 以上, 实现了瓦斯资源的安全高效开采

3) 卸压煤层 C13 煤层煤巷掘进落后于首采煤层 B11 煤层工作面走向距离 350~ 450 m 以上, 落后时间 4~ 5 个月以上. 卸压及远程瓦斯抽采使 C13 突出危险煤层在卸压瓦斯抽采区域内全面消除了煤与瓦斯突出危险性, 大幅度地降低了煤层的瓦斯含量, 煤巷月掘进速度由原来的 40~ 60 m, 提高到 200 m 以上, 工作面达到了可采用综合机械化放顶煤采煤法的条件, 与未采取远程瓦斯抽采的相邻综合机械化采煤工作面相比, 工作面平均产量由原来的 1 700 t/d 提高到 5 100 t/d, 相对瓦斯涌出量由原来的 25 m<sup>3</sup>/t 降低到 5.0 m<sup>3</sup>/t, 回风流平均瓦斯浓度由原来的 1.15% 降低到 0.5%, 实现了煤炭资源的安全高效开采

## 参考文献

- [1] 胡省三, 沈祝平. 世纪之交我国煤炭工业科技的发展[J]. 中国煤炭, 2000, 26(1): 13-16
- [2] 孙茂远, 黄盛初, 朱超. 世界煤层气开发利用现状[J]. 中国煤炭, 1996, 22(4): 51-53
- [3] 吴佩芳. 中国煤层气产业发展面临的机遇和挑战[A]. 罗新荣, 卡尔·舒尔兹, 胡予红. 2002 年第三届国际煤层气论坛论文集[C], 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002. 20-21.
- [4] 程远平, 俞启香. 煤层群煤与瓦斯安全高效共采体系及应用[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(5): 471-475
- [5] 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [6] 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.
- [7] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992. 167-187.

(责任编辑 王玉浚)