

# 近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出及 瓦斯抽采参数优化

王海锋,程远平,吴冬梅,刘洪永

(中国矿业大学 煤矿瓦斯治理国家工程研究中心,江苏 徐州 221008)

**摘 要:**为确保近距离上保护层工作面的开采安全,同时有效抽采下被保护层的卸压瓦斯消除其突出危险性,开展了近距离上保护层开采工作面的瓦斯涌出规律研究,在此基础上对被保护层的卸压瓦斯抽采参数进行了优化。研究表明:下被保护层 12 煤层位于上保护层开采后形成的底臃断裂带内,层间裂隙发育充分,保护层工作面瓦斯涌出量大多来自被保护层的卸压瓦斯;在采用底板岩巷上向网格式穿层钻孔对被保护层进行卸压瓦斯抽采时,被保护层卸压瓦斯流向保护层工作面还是穿层钻孔由瓦斯在裂隙中流动形成的沿程阻力决定;被保护层 12 煤层穿层钻孔间距确定为 1 倍层间距大小,即穿层钻孔间距为 16 m。工程应用表明,该设计参数能够满足保护层安全开采及被保护层消除突出危险性的要求。

**关键词:**近距离保护层;瓦斯涌出;穿层钻孔;瓦斯抽采

**中图分类号:** TD712.5 **文献标志码:** A

## Gas emission and parameter optimization of gas extraction in mining face of short distance protective seam

WANG Hai-feng, CHENG Yuan-ping, WU Dong-mei, LIU Hong-yong

(National Engineering Research Center for Coal & Gas Control, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** In order to ensure mining safety of short distance protective seam face, and simultaneously to extract pressure relief gas from the lower protected seam and eliminate outburst risk, researched gas emission law in the mining face of short distance protective seam, and optimized extraction parameters of pressure-relief gas from the lower protected seam. The results show that the 12th coal seam of the lower protected seam is in the floor heave fracture zone which is formed after mining upper protective seam, fractures develop well and the amount of gas emission in mining face of protective seam is mainly from pressure-relief gas of the protected seam; when using net-like upward penetrating borehole to extract pressure relief gas from the lower protected seam, frictional resistance formed by gas flow in fracture determines the flow direction whether the pressure relief gas flow into mining face or penetrating boreholes; and the spacing between every two boreholes in the 12th coal seam of protected seam is determined as a single spacing between protective seam and protected seam, that is to say, 16 m. Engineering application shows that the design parameters can meet the demands of mining safety in the protective seam and eliminating the outburst risk of the protected seam.

**Key words:** short distance protective seam; gas emission; penetrating borehole; gas extraction

随着我国经济的快速和可持续发展,对能源特别是煤炭需求量的不断增加,导致煤矿开采以每年 20 ~ 50 m 的速度向深部延伸,许多矿井已进入深部开采。

随着开采深度的增加,煤层瓦斯压力越来越大、瓦斯含量越来越高,开采煤层的煤与瓦斯突出灾害日趋严重,我国已经成为世界上煤与瓦斯突出灾害最严重的

收稿日期: 2009-09-07 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50674089, 50904068); 国家重点基础研究 (973) 计划项目 (2005CB221503)

作者简介: 王海锋 (1979—), 男, 山西高平人, 博士。E-mail: baizhizhuang@163.com

国家<sup>[1-2]</sup>。

根据多年的瓦斯治理经验,保护层开采技术被公认为是最有效的突出煤层瓦斯防治技术<sup>[3-7]</sup>。保护层开采技术涉及保护层与被保护层 2 个煤层。为消除邻近煤层的突出危险而先开采的煤层或岩层称为保护层,位于突出危险煤层上方的保护层称为上保护层,位于下方的称为下保护层,而需要保护的邻近突出煤层称为被保护层<sup>[8]</sup>。保护层与被保护层之间的层间距决定着被保护煤层的卸压保护效果<sup>[9-12]</sup>,对于上保护层,层间距越小,被保护层的保护卸压效果越好。然而近距离保护层开采工作面受到被保护层卸压瓦斯涌入的威胁较大,给保护层工作面开采造成一定的安全隐患<sup>[13-15]</sup>。

本文分析了近距离上保护层开采条件下煤层瓦斯涌出规律,在此基础上对被保护层卸压瓦斯抽采参数进行了优化,确保了近距离上保护层工作面的安全开采及下被保护层煤与瓦斯突出危险性的消除。

## 1 工程背景及矿井的突出危险性

红菱煤矿位于沈阳市苏家屯区,矿井设计产量 210 万 t,为煤与瓦斯突出矿井,矿井开拓方式为竖井多水平阶段石门分区式,第一水平大巷标高 - 550 m,第二水平大巷标高 - 1 000 m。采煤方法为走向长壁后退式开采,采用全部垮落法管理顶板。矿井主采煤层 7、12 煤层瓦斯压力大、含量高,煤层透气性低,为煤与瓦斯突出煤层。煤层倾角 4~45°;深部局部可达 50°。自 1972 年建井以来共发生了上百次的煤与瓦斯突出动力现象,最大突出强度 5 390 t/次。经专家多次论证认为,突出煤层 12 煤层必须采用保护层开采技术治理煤层瓦斯,选择极薄煤层 11 煤层作为 12 煤层的上保护层开采。

按照生产布局,保护层开采试验首采工作面选在 11 煤层的 321 工作面,与被保护层 12 煤层的间距为 16 m,为近距离上保护层开采工作面。设计保护层 321 工作面走向长 300 m,倾向长 220 m,开采厚度 1.4 m,其中开采煤层厚度 0.4 m,开采 1 m 厚的顶底板岩石。321 工作面对应的被保护层 12 煤层厚度 4.0 m,12 煤层该处瓦斯压力为 6.5 MPa,煤层瓦斯含量为 22.5 m<sup>3</sup>/t

## 2 上保护层开采后底板煤岩层的裂隙发育特征

上保护层开采后,底板煤岩层发生移动变形,地应力降低,裂隙发育<sup>[9,16]</sup>。位于保护层底板的煤层获得卸压效果,下被保护煤层瓦斯获得了卸压流动条

件。随着向保护层底板深部延深,煤岩层的裂隙发育和地应力降低的程度逐渐减弱。被保护层卸压瓦斯是否会涌入保护层工作面取决于层间岩层的裂隙特征及发育程度。对于受到采动影响的底板煤岩层,目前有多种裂隙分带类型。本文从保护层开采的角度出发,结合相似模拟试验和现场试验结果,将底板受到采动影响的煤岩层分为底臃断裂带和底臃变形带。与顶板煤岩层内的裂隙发育不同,底板煤岩层的裂隙发育受保护层采高的影响作用较小。

在一般地质条件下,底臃断裂带下限为底板下方 15~25 m,该带煤岩层受到保护层采动作用的影响较大,裂隙发育充分,裂隙主要为煤岩层离层后形成的沿层理的顺层张裂隙和岩层破碎后垂直、斜交层理形成的穿层裂隙。底臃变形带下限为底板下方 50~60 m,该带内发育的裂隙以沿层理形成的顺层张裂隙为主,穿层裂隙发育不足。

11 煤层与 12 煤层层间距为 16 m,因此 12 煤层位于 11 煤层开采后形成的底臃断裂带内,层间岩层裂隙发育充分,穿层裂隙将突出煤层 12 煤层与保护层 321 工作面连通。12 煤层卸压瓦斯在煤层瓦斯压力及保护层 321 工作面通风负压作用下,沿层间穿层裂隙有涌入保护层 321 工作面的趋势,给保护层工作面的安全开采带来隐患。

## 3 近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出分析

### 3.1 近距离保护层工作面瓦斯涌出特征

在近距离上保护层开采过程中,下被保护层获得卸压增透效果,被保护层大量的卸压瓦斯沿层间穿层裂隙涌入保护层工作面,近距离保护层工作面瓦斯运移如图 1 所示。

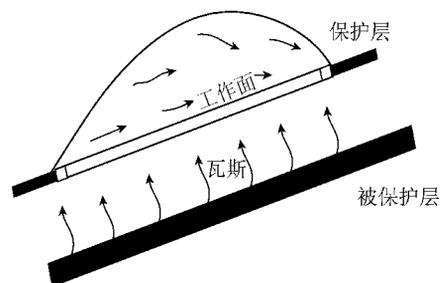


图 1 近距离保护层工作面瓦斯涌出示意

Fig. 1 Schematic diagram of gas emission in short distance protective seam face

从保护层工作面瓦斯涌出来源来看,近距离保护层工作面瓦斯涌出量包括保护层本煤层瓦斯涌出量和被保护层瓦斯涌出量两部分。下被保护层卸压瓦斯向保护层工作面涌出瓦斯量的多少用瓦斯排放率来表示,下被保护层瓦斯排放率与层间距和煤层倾角

有关。随着层间距的加大,被保护层的瓦斯排放率逐渐减小,这是由下被保护层的卸压效果和层间岩层的裂隙发育程度决定的。

在层间距小于 10~15 m 的情况下,下被保护层可解吸瓦斯的自然排放率可达 80% 以上<sup>[17]</sup>。其中部分瓦斯被抽采,部分瓦斯沿裂隙进入保护层工作面,造成保护层工作面瓦斯涌出量加大。在层间距相同条件下,倾斜、急倾斜被保护煤层的卸压程度及裂隙发育程度要高于缓倾斜煤层,因此其瓦斯自然排放率要比缓倾斜煤层大。

### 3.2 保护层 321 工作面瓦斯涌出及瓦斯超限原因分析

试验工作面保护层 11 煤层与被保护层 12 煤层层间距为 16 m,煤层倾角为 37°,属于近距离保护层开采,该区域被保护层瓦斯含量为 22.5 m<sup>3</sup>/t,保护层开采过程中被保护层的卸压瓦斯将大量涌入保护层工作面。而保护层 11 煤层工作面煤层厚度仅 0.4 m,由此可见,保护层开采过程中本煤层瓦斯涌出量所占比例较少,而下被保护层 12 煤层瓦斯涌出量所占比例较大。

采用穿层钻孔对被保护层进行瓦斯抽采,一方面可以降低被保护煤层瓦斯含量,消除其突出危险性,另一方面可有效遏制被保护层卸压瓦斯向保护层工作面的涌入。如果穿层钻孔布置数量不足、位置不合理,对被保护层瓦斯形成的抽采能力不足,会造成被保护层卸压瓦斯向保护层工作面的涌入,进而造成保护层工作面瓦斯超限,留下安全隐患。

321 保护层工作面初采期间,采取了在工作面腰巷中施工穿层钻孔抽采被保护层 12 煤层瓦斯的措施。由于被保护层瓦斯抽采钻孔布置不合理,钻孔数量少,抽采能力有限,造成大量被保护层卸压瓦斯涌入保护层工作面,造成 321 工作面瓦斯浓度超限,工作面上隅角瓦斯浓度一度达 1.5%,给保护层工作面开采带来了极大安全隐患。保护层风排瓦斯量达 6 m<sup>3</sup>/min,占到工作面瓦斯总抽排量的 80%。后期调整了被保护层的瓦斯抽采方案,采用底板岩巷上向网格格式穿层钻孔进行瓦斯抽采,大量被保护层卸压瓦斯经穿层钻孔抽采出,有效控制了被保护层卸压瓦斯向保护层工作面的涌入,保护层工作面瓦斯浓度也降到允许值以下。

## 4 底板岩巷上向网格格式穿层钻孔抽采方法的技术参数优化

### 4.1 沿程阻力对穿层钻孔间距的影响分析

底板岩巷上向网格格式穿层钻孔瓦斯抽采方法是

下被保护层卸压瓦斯抽采的最主要方法,如图 2 所示。被保护层卸压瓦斯抽采设计参数包括穿层钻孔直径、钻孔长度、钻孔间距、孔口负压等,其中穿层钻孔间距的设计最为重要。

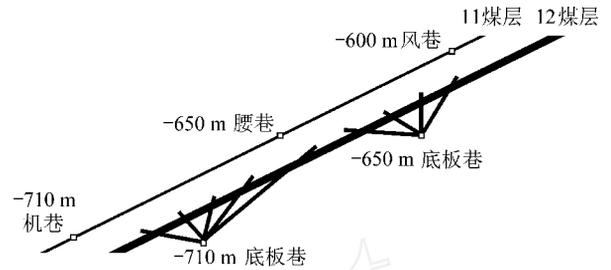


图 2 沈阳红菱煤矿底板岩巷上向网格格式穿层钻孔布置  
Fig. 2 Arrangement schematic diagram of net-like upward penetrating borehole from floor roadway in Hongling Mine of Shenyang mining area

当下被保护层位于底臃断裂带内,层间岩层存在穿层裂隙,则下被保护层卸压瓦斯在瓦斯压力作用下既有沿顺层裂隙向穿层钻孔流动的趋势,也有沿穿层裂隙涌入保护层采空区的趋势,瓦斯在裂隙中流动形成的沿程阻力大小决定了被保护层卸压瓦斯的流动方向。若沿穿层裂隙涌入保护层采空区的沿程阻力比沿顺层裂隙流向附近穿层钻孔的沿程阻力大,则卸压瓦斯将流向穿层钻孔,卸压瓦斯通过穿层钻孔被抽出;反之,卸压瓦斯沿导通裂隙涌入保护层工作面,增加了保护层工作面的瓦斯涌出量,加大了保护层工作面瓦斯治理难度。

因此,为保证卸压瓦斯流向穿层钻孔,可以通过缩小穿层钻孔间距,减小瓦斯沿顺层裂隙流入穿层钻孔的沿程阻力来实现。图 3 为最佳抽采效果情况下煤层瓦斯流动示意图,被保护层的大部分瓦斯经穿层钻孔抽出。而穿层钻孔间距过小,则会加大钻孔的工程量,因此需确定一个合理的穿层钻孔间距。

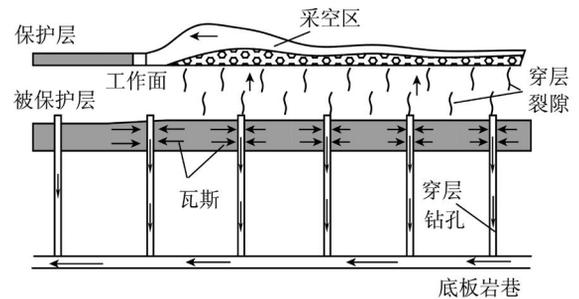


图 3 穿层钻孔间距及瓦斯流动示意

Fig. 3 Schematic diagram of spacing of between every two boreholes and gas flow

### 4.2 穿层钻孔间距与钻孔有效抽采半径之间的关系

穿层钻孔有效抽采半径指的是穿层钻孔在一定时间内可有效降低该半径范围内煤层瓦斯压力和含

量,彻底消除该区域煤层的突出危险性。只有在穿层钻孔间距  $H = \sqrt{2}$  倍的穿层钻孔有效抽采半径  $R$  时,才能遏制被保护层卸压瓦斯涌入保护层工作面,同时均匀抽采被保护层瓦斯,实现区域性消除煤层突出危险性的目的,如图 4 所示。穿层钻孔有效抽采半径与层间距、被保护层卸压程度、煤层透气性变化、煤层瓦斯压力、含量、抽采时间、抽采负压等因素有很大关系。应根据煤层实际情况,通过现场考察得出被保护层中穿层钻孔的有效抽采半径。

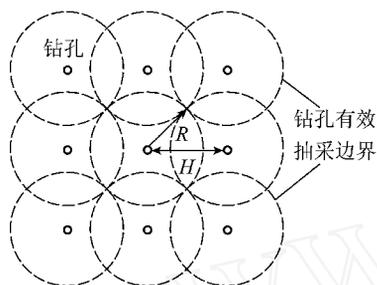


图 4 钻孔有效抽采半径及钻孔间距

Fig. 4 Valid gas extraction radius of borehole and spacing between every two boreholes

### 4.3 被保护层 12 煤层穿层钻孔间距的确定

12 煤层处于 11 煤层 321 工作面开采后形成的底臃断裂带范围内。根据前面的分析可知,被保护层的穿层钻孔间距不能过大。根据理论分析及现场考察结果,在底臃断裂带内一般取 1 倍层间距大小作为被保护层的穿层钻孔间距,即穿层钻孔间距取 16 m。从底板岩巷中向被保护层施工穿层钻孔,穿层钻孔在被保护层上呈网格状均匀布置,由于保护层 321 工作面倾向较长,设计施工了 2 条底板岩巷用于穿层钻孔的施工。经现场试验验证,该穿层钻孔间距大小能够满足保护层 321 工作面的安全开采及被保护层的卸压瓦斯抽采要求。

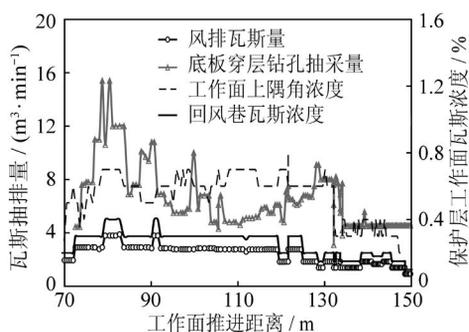


图 5 保护层工作面瓦斯浓度及瓦斯抽排量变化曲线

Fig. 5 Variation curves of gas concentration and gas drainage

## 5 效果分析

被保护层瓦斯抽采方法改为底板岩巷上向网格

式穿层钻孔抽采之后,保护层工作面安全生产状况得到了显著提高。图 5 为保护层工作面瓦斯浓度及瓦斯抽排量变化曲线,从图中可以看出,底板岩巷穿层钻孔平均抽采量在  $8 \text{ m}^3/\text{min}$  以上,最大达  $15.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 。底板穿层钻孔对被保护层卸压瓦斯的有效抽采,使得保护层工作面上隅角瓦斯浓度由工作面开采初期的 1.5% 下降到 0.7% 以下,回风流瓦斯浓度由开采初期的 0.6% 降到 0.4% 以下,保护层工作面瓦斯风排量由初期的  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  降到  $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ,保护层工作面风排瓦斯量占总瓦斯抽排量的比例由开采初期的 80% 降至 30%,彻底消除了保护层工作面的安全开采隐患。

通过瓦斯抽采效果考察,在保护层采动作用影响下,被保护层 12 煤层的相对膨胀变形量达 0.72%,透气性系数增加了 1 010 倍,瓦斯抽采率达到 77.5%,煤层的残余瓦斯含量降至  $5.06 \text{ m}^3/\text{t}$ ,残余瓦斯压力降至 0.25 MPa,彻底消除了 12 煤层的突出危险性,具备了安全高效开采的条件。

## 6 结 论

(1) 近距离上保护层 11 煤层开采过程中,12 煤层位于底臃断裂带内,层间岩层裂隙发育充分,穿层裂隙将被保护层与保护层工作面导通,在煤层瓦斯压力及保护层工作面通风负压作用下,被保护层卸压瓦斯有涌入保护层工作面的趋势,为保证保护层工作面的开采安全及消除被保护层的突出危险性,必须对 12 煤层进行有效的卸压瓦斯抽采。

(2) 在采用底板岩巷上向网格穿层钻孔对被保护层 12 煤层瓦斯抽采时,被保护层卸压瓦斯是否涌入保护层工作面,由瓦斯流动中形成的沿程阻力决定。为保证煤层瓦斯流向穿层钻孔,需减小穿层钻孔间距。

(3) 被保护层 12 煤层穿层钻孔间距确定为 1 倍层间距大小,即穿层钻孔间距为 16 m。工程应用表明,该设计参数不仅保证了保护层 321 工作面的开采安全,而且彻底消除了被保护层工作面的突出危险性,被保护层具备了安全高效开采条件。

### 参考文献:

[1] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):127-139.  
Cheng Yuanping, Fu Jianhua, Yu Qixiang Development of gas extraction technology in coal mines of China[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(2): 127-139.  
[2] 程远平,俞启香.中国煤矿区域性瓦斯治理技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2007,24(4):383-390.

- Cheng Yuanping, Yu Qixiang Development of regional gas control technology for Chinese coal mines [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24 (4): 383 - 390.
- [3] 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.  
Cheng Yuanping, Yu Qixiang Application of safe and high-efficient exploitation system of coal and gas in coal seams [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32 (5): 471 - 475.
- [4] 胡国忠, 王宏图, 李晓红, 等. 急倾斜俯伪斜上保护层开采的卸压瓦斯抽采优化设计 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (1): 9 - 14.  
Hu Guozhong, Wang Hongtu, Li Xiaohong, et al Optimization design on extracting pressure-relief gas of steep-inclined up protective layer with pitching oblique mining [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34 (1): 9 - 14.
- [5] 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.  
Hu Guozhong, Wang Hongtu, Fan Xiaogang, et al Gas pressure investigation on protection region of up protective layer of pitching oblique mining [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 37 (3): 328 - 332.
- [6] 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): 594 - 598.  
Yuan Zhigang, Wang Hongtu, Hu Guozhong, et al Numerical simulation for protection scope of upper protective seam in steeply inclined multi-coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34 (5): 594 - 598.
- [7] 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, 2007: 113 - 119.
- [8] 国家安全生产监督管理总局. AQ1050 - 2009 保护层开采技术规范 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [9] 俞启香. 矿井瓦斯防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [10] 王海锋, 程远平, 俞启香, 等. 煤与瓦斯突出矿井安全煤量研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37 (2): 236 - 240.  
Wang Haifeng, Cheng Yuanping, Yu Qixiang, et al Research on the amount of safely mineable coal in mines susceptible to coal and gas outburst [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37 (2): 236 - 240.
- [11] 石必明, 刘泽功. 保护层开采上覆煤层变形特性数值模拟 [J]. 煤炭学报, 2007, 33 (1): 17 - 22.  
Shi Biming, Liu Zegong Numerical simulation of the upper coal and rock deformation characteristic caused by mining protecting stratum [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 33 (1): 17 - 22.
- [12] Wang L, Cheng Y P, Li F R, et al Fracture evolution and pressure relief gas drainage from distant protected coal seams under an extremely thick key stratum [J]. Mining Science & Technology, 2008, 18 (2): 182 - 186.
- [13] 戴广龙, 汪有清, 张纯如, 等. 保护层开采工作面瓦斯涌出量预测 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (4): 382 - 385.  
Dai Guanglong, Wang Youqing, Zhang Chunru, et al Forecast of the gas effused from the face in protective seam [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32 (4): 382 - 385.
- [14] 罗 勇. 上保护层开采瓦斯综合治理的试验研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25 (4): 388 - 393.  
Luo Yong Study on control of methane in mining upper protective layers [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2005, 25 (4): 388 - 393.
- [15] 王应德. 近距离上保护层开采瓦斯治理技术 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36 (7): 48 - 50.  
Wang Yingde Gas control technology for coal mining with short distance to upward protected seam [J]. Coal Science and Technology, 2008, 36 (7): 48 - 50.
- [16] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [17] AQ 1026 - 2006, 煤矿瓦斯抽采基本指标 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.  
AQ 1026 - 2006, Basic index of coal mine gas drainage and exploitation [S]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2006.

本刊讯: 根据 Ei 中国信息部发布的最新收录结果, 《煤炭学报》2010年 1~2 期共刊出论文 74 篇, 被 Ei 收录 74 篇。