

# 煤层瓦斯含量测定过程中合理粉碎时间确定

王 鹏<sup>1</sup> 陈向军<sup>1</sup> 李建兵<sup>2</sup>

(1. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地 河南 焦作 454000;  
2. 沁和能源集团有限公司 山西 晋城 048000)

**摘要:**为了研究粉碎时间对煤层瓦斯含量测值的影响,采用高压吸附装置和破碎装置测试了吸附平衡压力1、2、3 MPa下煤样粉碎0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h后的残存瓦斯含量,并分析了不同粉碎时间下的煤样粒径。试验结果表明:粉碎时间相同时,粉碎后煤的残存瓦斯含量随吸附平衡压力的增高而增大;吸附平衡压力相同时,粉碎后的煤的残存瓦斯含量随粉碎时间的增加逐渐增大,当粉碎时间超过1.5 h后,粉碎后煤的残存瓦斯含量趋于定值;当粉碎时间超过1.67 h后,粒度小于0.25 mm的煤样质量超过80%;综合粉碎后煤的粒径分布情况和残存瓦斯含量的变化,确定煤层瓦斯含量测定过程中煤样合理粉碎时间为2 h。

**关键词:**残存瓦斯含量;煤的破碎程度;吸附平衡压力;合理粉碎时间

中图分类号: TD712.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2015)11-0073-05

## Determination on rational crushing time during gas content measuring process of seam

Wang Peng<sup>1</sup>, Chen Xiangjun<sup>1</sup>, Li Jianbing<sup>2</sup>

(1. Cultivation Base Province and Ministry Joint Key Lab - Henan Provincial Key Lab of Gas Geology and Gas Control Jiaozuo 454000, China;  
2. Qinhe Energy Group Company Limited Jincheng 048000, China)

**Abstract:** In order to study the effect of crushing time to gas content measured value of seam, the high pressure adsorption device and crushing device were applied to measure and test residual gas content of coal samples crushed after 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 hours under adsorption equilibrium pressure of 1, 2 and 3 MPa. The particle diameters of coal samples were analyzed under different crushing time. The experiment results showed that when the crushing time was same, residual gas content of coal crushed would be increased with increased adsorption equilibrium pressure. When the adsorption equilibrium pressure was same, residual gas content of coal crushed would be increased with increased crushing time. After crushing time was over 1.5 hours, residual gas content of coal crushed would be a constant value. When crushing time was over 1.67 hours, the weight of coal sample with particles less than 0.25 mm would be over 80%. Comprehensively With coal particle diameters distribution condition and residual gas content variation after coal crushed, rational crushing time of coal sample was 2 hours during gas content measuring process of seam.

**Key words:** residual gas content; coal crushing degree; adsorption equilibrium pressure; rational crushing time

## 0 引言

煤层瓦斯含量是计算瓦斯储量与瓦斯涌出量的基础数据,2009年,煤层瓦斯含量更作为区域预测的主要指标被写进《防治煤与瓦斯突出规定》<sup>[1]</sup>。

因此,准确测定煤层瓦斯含量关系到矿井的安全生产。直接法测定煤层瓦斯含量包括3个部分<sup>[2-3]</sup>,即井下解吸量、取样过程的损失量和实验室测定的残存瓦斯含量。井下解吸量为实测值,其值较为可靠;取样过程的损失量由井下实测量推算获得,也是

收稿日期: 2015-05-19; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.11.015

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51204065); 河南省科技攻关资助项目(122102310564); 河南理工大学博士基金资助项目(72103/001/002); 河南理工大学青年骨干教师资助项目(72105/149)

作者简介: 王 鹏(1989—)男,陕西扶风人,硕士研究生。Tel: 15239178586,E-mail: ffgzwp@126.com

引用格式: 王 鹏,陈向军,李建兵. 煤层瓦斯含量测定过程中合理粉碎时间确定[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(11): 73-77.

Wang Peng, Chen Xiangjun, Li Jianbing. Determination on rational crushing time during gas content measuring process of seam [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(11): 73-77.

煤层瓦斯含量准确测定的重点研究内容<sup>[4-6]</sup>,众多学者就吸附平衡压力、煤样粒径、煤的破坏类型和解吸时间等因素对煤解吸瓦斯的影响进行了大量研究工作<sup>[7-8]</sup>,并取得了较多的成果;但对于实验室测试的残存量,由于主观认为可靠性高,鲜有学者对实验室测试的残存量影响因素开展研究。

实验室测定煤的残存量包括2个部分,即粉碎前脱气量和粉碎后脱气量。粉碎前脱气量指实验室在常温下利用真空脱气装置进行脱气,常温脱气后,再将煤样加热至95~100℃,恒温再次进行脱气的瓦斯总量;粉碎后脱气量指粉碎前脱气结束后,将煤样从煤样罐中取出放入球磨罐中进行粉碎,然后再次进行脱气所获得的瓦斯量。粉碎前脱气量和粉碎后脱气量虽然均通过实测获得,但粉碎后脱气量与煤的破碎程度密切相关,文献[9-10]在测定煤层瓦斯含量试验中,只对煤样粉碎后的粒度分布提出要求,亦未涉及粉碎时间对煤的残存瓦斯量的影响。目前,实验室测定残存瓦斯含量标准中没有明确粉碎时间,试验人员多是根据个人经验操作。因此,确定合理的粉碎时间对准确测定煤层瓦斯含量具有重要意义。

## 1 煤的破碎机理

### 1.1 煤的粉碎过程

煤的粉碎过程受诸多因素的影响,从微观的角度来看,煤粒的破碎过程可以从化学破坏和物理破坏2种角度解释。

从化学破坏的角度来看,煤是由化学键组成的一种多孔介质,化学键既包括过煤粒内部C原子之间的化学键,又包括C原子和其他元素原子之间的化学键,要破坏煤的宏观结构就要打破各个分子和原子之间的化学键,煤粒在受到外力作用时,如果所施加的外部应力大于化学键之间的内应力时,C原子之间以及C原子和其他元素原子之间的化学键就会发生断裂,煤粒就会发生破碎,宏观表现为煤粒的粒度减小,从而达到粉碎煤样的目的。

从物理破坏的角度看,Rosin-Rammler等学者认为<sup>[11]</sup>粉碎的产物由粗粉和细粉2个部分组成,从产物粒度分布可推断煤粒的破坏形式不是单一连续的,而是多种组合的。Hütting等提出粉碎模型的3种形式<sup>[12]</sup>,分别为体积粉碎、表面粉碎和均一粉碎。<sup>①</sup>体积粉碎模型是指整个颗粒都受到粉碎,成为粒度较大的中间颗粒,随着粉碎时间的增加,这些

中间粒径的颗粒依次再粉碎成有一定粒度分布的中间粒径颗粒,最后逐渐积蓄成微粉成分(冲击粉碎);<sup>②</sup>表面粉碎模型:研磨体仅在颗粒的表面产生破坏,从颗粒表面切下微粉成分,这一破坏不涉及颗粒内部(摩擦粉碎);<sup>③</sup>均一粉碎模型:施加于颗粒上的力使颗粒产生分散性破坏,直接碎成微粉成分。张妮妮等<sup>[13]</sup>通过研究得出:煤粒实际的粉碎是体积粉碎和表面粉碎2种模型的叠加,表面粉碎模型构成最终的细粉产物,体积粉碎模型构成中间过渡的粗粉成分。

目前实验室普遍使用球形和圆柱形的铁质研磨体对煤样进行粉碎,从化学破坏的角度看,当累积能量达到化学键断裂所需量的临界值时,煤粒中的原子和分子之间的化学键断裂,煤样颗粒发生破碎;从物理破坏的层面看,研磨体通过碰撞球磨罐罐壁以及研磨体自身对煤粒做功,使煤粒发生机械粉碎,煤的粒度变小。

### 1.2 煤的破碎程度与粉碎时间的关系

通过球磨罐对煤样进行粉碎,随着粉碎时间的增加,球磨罐内的研磨体持续对罐内的煤样做功,煤的破碎程度会越来越高,文光才<sup>[14]</sup>研究了破碎功与煤样的破碎程度之间的关系,两者能较好地拟合呈幂函数关系:

$$y = aA^b \quad (1)$$

式中:y为煤的破碎程度,%;A为破碎功,J;a、b为拟合系数,其中b<1。

由式(1)可以看出,随着破碎功的增多,煤的破碎程度逐渐升高。对式(1)进行求导变形可得:

$$\frac{dy}{dA} = abA^{b-1} \quad (2)$$

由式(2)可得,随着破碎功的增多,单位破碎功引起煤的破碎程度变化量呈逐渐降低的趋势。

根据试验中使用的球磨机的相关物理参数,根据式(3)计算其对煤样的破碎功:

$$A = \gamma \int_0^t UI dt \quad (3)$$

式中:U为球磨机额定电压,V;I为球磨机额定电流,A;t为粉碎时间,h;γ为转化效率,%。

由于球磨机对煤样做功的转化效率是常数,从式(3)不难看出,球磨机对煤样的破碎功与粉碎时间呈线性关系,即随着粉碎时间的增加,A值将不断增加,煤的破碎程度亦逐渐升高,单位破碎功引起煤的破碎程度变化量逐渐降低,直至其变化量趋于0。

因此,在对煤样进行粉碎时,存在一个合理的粉碎时间,当超过合理粉碎时间后,煤样的破碎程度将不再发生变化。

## 2 试验方法

### 2.1 煤样制备

试验煤样采自山西省沁水煤田端氏煤矿开采的3号煤层,属于高变质程度无烟煤,具有强烈突出危险性。试验煤样粒径为1~3 mm。

### 2.2 试验测试原理

煤体内部的孔隙和裂隙分为开放型和封闭型2种,当粉碎时间较短时,煤体破碎主要是体积粉碎占优,摩擦粉碎很少,由于粉碎时间短,煤的破碎程度较小,封闭型孔隙很难被打开,此时粉碎后所得的瓦斯主要是开放型孔洞和部分打开的封闭型孔洞中的瓦斯。随着粉碎时间的增加、煤粒径的减小,表面粉碎越来越强,煤体中的孔隙逐渐被强制打开,煤体内的瓦斯也会逐渐解吸。因此,随着粉碎时间的累计增加,煤的破碎功增大,应存在一个合理的时间点或者时间段,使煤的破碎程度达到最大,同时粉碎后煤体解吸的瓦斯总量将不再变化。

### 2.3 试验步骤

由于水分对煤体吸附的瓦斯具有影响<sup>[15~19]</sup>,能降低煤对瓦斯的吸附能力,为了避免水分对测试结果的影响,将制备好的煤样置于105℃的红外干燥箱中至少干燥3 h,待煤样冷却后装入毛口玻璃瓶,置于干燥器皿中备用。煤样残存瓦斯含量的测定步骤如下:

1) 真空脱气:称取70 g干燥煤样装入可充气式煤样罐内,拧紧煤样罐,将煤样罐与真空泵连接,对煤样罐抽真空,时间不小于6 h。

2) 高压吸附平衡:在30℃的恒温水浴中,向煤样罐中充入纯度为99.99%的甲烷,气体初始压力要高于试验拟定压力的20%~40%,通过不断微调充气系统使煤样吸附平衡压力为试验设定值。

3) 释放游离气体:待干燥煤样吸附平衡,记录下环境大气压力和温度,打开煤样罐的阀门,使游离气体进入与煤样罐相连的瓦斯含量解吸仪,当煤样2 h之内解吸量小于10 mL时,关闭煤样罐阀门。

4) 粉碎前的脱气:将水浴温度调至95℃,同时利用真空脱气装置对测试煤样进行粉碎前的脱气,当30 min内的脱气量小于10 mL时,脱气结束。

5) 煤样定时粉碎:打开煤样罐,迅速将罐内煤

样装入球磨罐中,在密封条件下粉碎煤样,并记录粉碎时间。

6) 粉碎后的脱气:利用脱气装置对粉碎后的煤样再次进行脱气,并收集气体。

7) 气体成分分析:利用GC-4000A型气相色谱分析仪分析煤样粉碎后所解吸的气体,得出气体中甲烷浓度。

8) 试验数据处理:根据煤样粉碎后所解吸的气体总量和气体中甲烷浓度,计算煤样粉碎后的残存瓦斯含量,并换算成标准状态下的含量。

## 3 试验结果分析

吸附瓦斯平衡压力1.0、2.0、3.0 MPa,粉碎时间为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h条件下,测定粉碎后煤的残存瓦斯量。根据测试数据,得到同一瓦斯吸附平衡压力下,煤样粉碎后残存瓦斯量与粉碎时间的关系曲线,如图1所示。

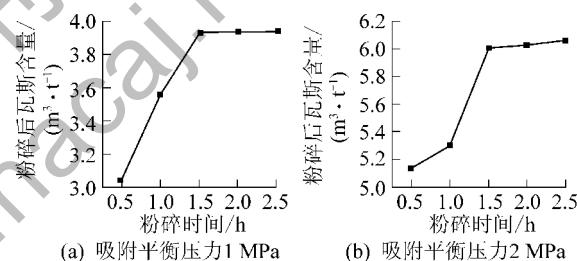


图1 煤样粉碎后残存瓦斯量与粉碎时间的关系曲线

Fig. 1 Curve of residual gas content and pulverizing time

由图1可知,煤样在相同吸附平衡压力下,随着粉碎时间增加,粉碎后的残存瓦斯量逐渐增大,而增加量越来越小,当粉碎时间大于1.5 h后,煤样的残存瓦斯量已变化不大,逐渐趋于一定值。分析原因为,煤粒本身存在无数孔隙裂隙,在球磨罐中煤样发生体积粉碎和表面粉碎,煤粒中的微孔、小孔、大孔不断与外界导通,促使孔隙内吸附甲烷解吸释放,随着粉碎时间的增加,煤的破碎程度越来越高,孔隙导通率越来越大,煤样内解吸的瓦斯量也越来越多。

为了考察粉碎时间相同时,粉碎后煤的残存瓦斯量随瓦斯吸附平衡压力的变化关系,对比分析了1.0、2.0、3.0 MPa吸附平衡压力下煤样粉碎时间0.5 h后的残存瓦斯含量。试验结果表明:粉碎时间为0.5 h时,吸附平衡压力为1.0、2.0、3.0 MPa煤样粉碎后的残存瓦斯含量分别为3.05、5.14和5.56 m<sup>3</sup>/t。由此可知,粉碎时间相同时,随着吸附

平衡压力升高，粉碎后煤样的残存瓦斯量呈增大趋势。吸附平衡压力越高，表征单位质量煤样的吸附瓦斯量越大，深入到微小孔隙内的瓦斯量越大。煤样自然解吸时，部分微小孔隙内瓦斯若无法克服孔隙阻力，就会残留在孔隙内。煤样一旦被粉碎，封闭的孔隙被导通，瓦斯释放出来。当煤粒破坏程度相近时，煤体内部孔隙打开程度相当，吸附平衡压力高的煤样释放出的瓦斯量会更多。

#### 4 合理粉碎时间确定

##### 4.1 煤的破碎度与粉碎时间关系

GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》对煤样的粉碎有如下3个要求：①球磨罐粉碎前进行气密性检查；②煤样装罐时，如果块度较大，应事先将煤样在罐内捣碎至粒度0.25 mm以下，然后拧紧罐盖密封；③煤样粉碎到粒度小于0.25 mm的质量超过80%为合格。本次试验过程及试样已满足①和②的要求，为了考察粉碎不同时间后煤样的粒度分布规律是否满足③的要求，取70 g煤样粉碎不同时间，使用0.25 mm标准煤样筛进行筛分，然后称量粒度小于0.25 mm的煤样质量，试验结果如图2所示。

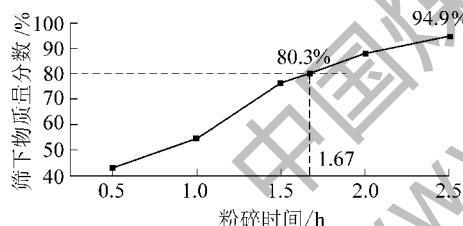


图2 不同粉碎时间下粒度小于0.25 mm的煤样比例

Fig. 2 Proportion of coal samples with particle size less than 0.25 mm under different pulverizing time

从图2可以看出，当粉碎时间为1.67 h时，粉碎后粒径小于0.25 mm的煤样质量为80.3%，满足上述③的要求；当粉碎时间为2.5 h时，小于0.25 mm的煤样质量所占比例接近95%。因此，从煤样破碎后粒度分布情况看，残存瓦斯含量测定过程中煤样粉碎时间至少为1.67 h。

##### 4.2 粉碎后煤的残存瓦斯量与粉碎时间关系

由前述可知，随着粉碎时间的增加，煤的破碎程度逐渐增高，并最终达到破碎极限。此时，煤体内部的各种孔隙、裂隙几乎全部被导通，煤体内的甲烷分子得到释放，粉碎后测得的残存瓦斯含量亦达到最大值。

由图1可知，吸附平衡压力为1 MPa时，煤样粉碎1.5、2.0、2.5 h后残存瓦斯含量分别为3.93、3.94、3.94 m<sup>3</sup>/t；吸附平衡压力2 MPa时，煤样粉碎1.5、2.0、2.5 h后残存瓦斯含量分别为6.01、6.03、6.06 m<sup>3</sup>/t。粉碎时间越长，粉碎后煤的残存瓦斯含量越大，但增加量逐渐减小。由试验数据可知，无论吸附平衡压力是1 MPa还是2 MPa，当粉碎时间超过1.5 h后，煤样粉碎后的残存瓦斯量已基本无变化。由此可确定，从粉碎后的残存瓦斯含量变化来看，煤样至少要粉碎1.5 h。

##### 4.3 煤的瓦斯含量测定的合理粉碎时间确定

综上可知，从煤样破碎后粒度分布情况看，煤样粉碎至少需1.67 h；再从残存瓦斯含量变化看，煤样粉碎至少需1.5 h。因此，综合煤样破碎后粒度分布情况和残存瓦斯含量变化，并考虑到由于试验繁琐导致的计时误差，确定实验室测定煤层瓦斯含量，煤样合理粉碎时间为2 h。为此，建议GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》中关于煤样的粉碎要求条款更改为：①球磨罐粉碎前进行气密性检查；②煤样装罐时，如果块度较大，应事先将煤样在罐内捣碎至粒度0.25 mm以下，然后拧紧罐盖密封；③脱气后粉碎时间不得低于2 h。

#### 5 结 论

1) 相同的吸附平衡压力下，随粉碎时间增加，粉碎后的煤的残存瓦斯量呈先逐渐增加后趋于稳定的趋势；在相同粉碎时间下，粉碎后的煤的瓦斯含量随吸附平衡压力的增高而增大。

2) 从煤的破碎度和粉碎后的残存瓦斯量2个方面的考察，确定煤层瓦斯含量测定过程中合理粉碎时间为2 h。

3) 建议GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》中关于煤样的粉碎要求增加粉碎时间不得低于2 h。

#### 参考文献：

- [1] 国家安全生产监督管理总局,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.
- [2] 任浩洋,王兆丰.测定瓦斯含量取样方式存在问题分析及解决对策[J].煤矿安全,2015,46(4):148-151.  
Ren Haoyang,Wang Zhaofeng. Problem analysis and solutions about sampling way of gas content determination[J]. Safety in Coal Mines,2015,46(4):148-151.

- [3] 王兆丰,康博,岳高伟,等.低温环境无烟煤瓦斯解吸特性研究[J].河南理工大学学报:自然科学版,2014,33(6):705-709.  
Wang Zhaofeng, Kang Bo, Yue Gaowei, et al. Study on gas desorption characteristics of anthracite in low temperature [J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2014, 33 ( 6 ) : 705 - 709.
- [4] 陈向军,王兆丰,王林.取样过程中损失瓦斯量推算模型研究[J].煤矿安全,2013,44(9):31-33,37.  
Chen Xiangjun, Wang Zhaofeng, Wang Lin. Research on gas loss quantity prediction model in sampling process [J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44 ( 9 ) : 31 - 33, 37.
- [5] 张淑同.井下瓦斯含量直接法测定关键技术研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(2):328-332.  
Zhang Shutong. Key technology for gas content direct determination method in underground mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31 ( 2 ) : 328 - 332.
- [6] 谢向向,张玉贵,姜家钰,等.钻井液对煤心煤层气解吸损失量的影响[J].煤田地质与勘探,2015,43(1):30-34.  
Xie Xiangxiang, Zhang Yugui, Jiang Jiayu, et al. The influence of drilling fluid on coal bed methane desorption loss of coal core [J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43 ( 1 ) : 30 - 34.
- [7] 陈向军,贾东旭,王林.煤解吸瓦斯的影响因素研究[J].煤炭科学技术,2013,41(6):50-53,79.  
Chen Xiangjun, Jia Dongxu, Wang Lin. Study on factors affected to coal gas desorption [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41 ( 6 ) : 50 - 53, 79.
- [8] 聂百胜,杨涛,李祥春,等.煤粒瓦斯解吸扩散规律实验[J].中国矿业大学学报,2013,42(6):975-981.  
Nie Baisheng, Yang Tao, Li Xiangchun, et al. Research on diffusion of methane in coal particles [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42 ( 6 ) : 975 - 981.
- [9] 王耀锋.煤层原始瓦斯含量测定方法及误差影响因素研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2005.  
Wang Yaofeng. Study on the measurement method of coal seam primitive gas content and the influencing factors of its errors [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2005.
- [10] 张振飞.煤层瓦斯含量测定方法对比研究[D].淮南:安徽理工大学,2013.
- Zhang Zhenfei. Comparative Study on the coal seam gas content assay method [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2013.
- [11] 陆厚跟.粉体工程导论[M].上海:同济大学出版社,1993.
- [12] 盖国胜,陶珍东.粉体工程[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [13] 张妮妮,周永刚,翁善勇,等.俄罗斯煤和平朔煤混煤的粉碎机理和可磨性规律研究[J].电站系统工程,2005,21(6):14-16.  
Zhang Nini, Zhou Yonggang, Wen Shanyong, et al. Experimental investigation in the comminuting mechanism and the grinding behavior of several blends of Russian Coal and Pingshuo Coal [J]. Power System Engineering, 2005, 21 ( 6 ) : 14 - 16.
- [14] 文光才.煤的冲击破碎[J].煤炭工程师,1995,1995(5):8-11.  
Wen Guangcai. Coal impact crushing [J]. Coal Engineer, 1995 ( 5 ) : 8 - 11.
- [15] 陈向军,程远平.注水对煤层吸附瓦斯解吸影响的试验研究[J].煤炭科学技术,2014,42(6):96-99.  
Chen Xiangjun, Cheng Yuanping. Experiment study on water injection affected to desorption of coal adsorption gas [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42 ( 6 ) : 96 - 99.
- [16] 陈向军,程远平.外加水分对煤中瓦斯解吸抑制作用试验研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(2):296-301.  
Chen Xiangjun, Cheng Yuanping. Influence of the injected water on gas outburst disasters in coal mine [J]. Natural Hazards, 2015, 76 ( 2 ) : 1093 - 1109.
- [17] 陈向军,程远平.注水对钻屑瓦斯解吸指数影响[J].灾害学,2013,30(7):414-423.  
Chen Xiangjun, Cheng Yuanping. Impact of injected water on the gas desorption index of drill cuttings [J]. Disaster Advances, 2013, 30 ( 7 ) : 414 - 423.
- [18] 陈向军,程远平,王林.外加水分对煤中瓦斯解吸抑制作用试验研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(2):296-301.  
Chen Xiangjun, Cheng Yuanping, Wang Lin. Experimental study on the inhibition of injection water to the gas desorption of coal [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30 ( 2 ) : 296 - 301.
- [19] 陈向军,程远平,何涛.注水对煤的瓦斯扩散特性影响[J].采矿与安全工程学报,2013,30(3):443-448.  
Chen Xiangjun, Cheng Yuanping, He Tao, et al. Water injection impact on gas diffusion characteristic of coal [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30 ( 3 ) : 443 - 448.

(上接第138页)

- of factors affected to seam gas content in Daning-Jixian Area [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41 ( 5 ) : 108 - 112.
- [11] 王生全.褶皱中和面效应对煤层瓦斯的控制作用[J].东北煤炭技术,1999,13(3):14-16.  
Wang Shengquan. Control function of fold neutral plan to methane mash gas [J]. Coal Technology of Northeast China, 1999, 13 ( 3 ) : 14 - 16.
- [12] 李贵中,王红岩,吴立新.煤层气向斜控气论[J].天然气工业,2005,25(1):26-28.

- Li Guizhong, Wang Hongyan, Wu Lixin. Theory of syncline-controlled coalbed methane [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 ( 1 ) : 26 - 28.
- [13] 顾宏星.晋城矿区褶皱中和面的确定及应用[D].徐州:中国矿业大学,2011:31-35.  
Gu Hongxing. Determination and application of fold neutral plan in Jincheng Mining Area [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011: 31 - 35.