

# 突出煤层相向掘进工作面合理停掘距离研究

陈向军<sup>1,2</sup>, 王 鹏<sup>1</sup>, 李建兵<sup>3</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. 中国矿业大学(北京) 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 北京 100083;  
3. 沁和能源集团有限公司 永红煤矿 山西 晋城 048204)

**摘 要:** 为避免突出煤层相向掘进的工作面前方应力叠加造成动力灾害, 分别实测和模拟了永红煤矿相向掘进的工作面前方采动应力影响区。实测结果表明: 永红煤矿掘进工作面前方采动影响区范围为 5~7 m, 掘进工作面后方采动影响区范围为 8~9 m, 单巷掘进引起的采动影响区范围为 13~16 m; 数值模拟结果显示: 两相向掘进的工作间距 20 m 时, 工作面之间移动支承压力出现叠加; 两掘进工作面相距 37.5、50 m 时, 掘进工作面前方的煤柱处于弹性状态, 前方煤柱上的移动支承应力无叠加现象, 但相距 37.5 m 比 50 m 的煤柱宽度少了 12.5 m 的原岩应力区。综合实测和数值模拟结果及永红煤矿实际, 工作面相向掘进停掘的合理间距选为 50 m, 因为此时 2 个工作面均未处于对方集中应力影响范围内, 且工作面之间还具有 12.5 m 的原岩应力区, 能够保证工作面安全掘进。

**关键词:** 突出煤层; 相向掘进; 应力叠加; 停掘距离

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2015)09-0007-05

## Study on rational stop driving distance between face to face roadway driving faces in outburst coal seam

Chen Xiangjun<sup>1,2</sup>, Wang Peng<sup>1</sup>, Li Jianbing<sup>3</sup>

- (1. Henan Provincial Key Lab of Gas Geology and Gas Control, Cultivation Base of Province and State Joint Established State Key Lab, Jiaozuo 454000, China; 2. National Key Lab of Geomechanics and Underground Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Yonghong Mine, Qinhe Energy Group Company Limited, Jincheng 048204, China)

**Abstract:** In order to avoid dynamic disaster caused by stress superposition in front of face to face roadway driving faces in outburst coal seam, a mining stress influence zone in front of face to face roadway driving faces in Yonghong Mine was measured and simulated. The site measured results showed that the scope of mining influence zone in front of face to face roadway driving face in Yonghong Mine was 5~7 m, the scope of mining influence zone behind driving faces was 8~9 m and the scope of mining influence zone caused by single roadway driving was 13~16 m. The numerical simulation results showed that when working space between face to face roadway driving faces was 20 m, the moving support pressures between the driving faces would be superposed. When a distance between face to face driving roadway faces was 37.5 m and 50 m, the coal pillars in the front of face to face driving faces would be in elastic status, the moving support stresses of the coal pillars in the front of driving faces would not have a superposition phenomenon occurred, but when the distance between the driving faces was 37.5 m, the width of coal pillar would be 12.5 m less than the width of coal pillar when the distance between the driving faces was 50 m. In combination with site measured, numerical simulation results and actual results in Yonghong Mine, the rational stop driving distance between face to face driving faces was 50 m. At this moment, driving faces were not in the concentrated stress influence scope of the opposite side, there was a 12.5 m in-situ rock stress zone between driving faces and could ensure safety driving operation of the two faces.

**Key words:** outburst coal seam; face to face roadway driving; stress superposition; stop driving distance

收稿日期: 2015-05-06; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2015.09.002

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51074160, 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: 陈向军(1980—), 男, 河南扶沟人, 副教授, 博士, 现任河南理工大学瓦斯防治技术及装备研究所常务副所长。Tel: 0391-3987873

引用格式: 陈向军, 王 鹏, 李建兵. 突出煤层相向掘进工作面合理停掘距离研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(9): 7-11.

Chen Xiangjun, Wang Peng, Li Jianbing. Study on rational stop driving distance between face to face roadway driving faces in outburst coal seam [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(9): 7-11.

## 0 引言

煤与瓦斯突出机理的综合作用假说认为<sup>[1]</sup>,突出是由地应力、包含在煤体中的瓦斯以及煤体自身物理力学性质等综合作用的结果,而地应力的分布规律能够直接影响其他作用因素的性质<sup>[2-4]</sup>,在应力集中带内煤层透气性差,煤中瓦斯不容易逸散,瓦斯含量相对较高,同时煤体受到的挤压强度变低,若煤岩体强度不足以抵抗内部应力,煤岩体弹性能和瓦斯能会冲破抵抗屏障发生煤与瓦斯突出。总之,煤层开采必然会破坏煤体内部应力分布,引起局部应力集中,形成潜在危险区域<sup>[5]</sup>。煤巷掘进就是一种强制破坏原始煤体应力分布的开采方式,应力集中效应明显,掘进时容易发生冒顶<sup>[6]</sup>、冲击地压<sup>[7]</sup>以及煤与瓦斯突出<sup>[8]</sup>等动力灾害,统计国内外煤与瓦斯突出案例发现,煤巷掘进工作面发生突出占总突出次数的70%以上,煤巷安全快速掘进一直是矿井的主要研究工作<sup>[9]</sup>。矿井的产量主要由回采工作面的生产保证,但工作面是为形成回采工作面做准备,目前采掘失调的矿井均是由于掘进工作面速度较慢,不能及时形成回采工作面造成的,而从两侧相向掘进工作面巷道是有效解决矿井采掘失调的有效方式。但掘进工作面掘进时,其前方及侧方一定范围内的煤体将受地应力及采动应力影响,尤其是两侧工作面应力叠加后易发生动力灾害,为此,应研究突出煤层煤巷相向掘进工作面前方应力分布规律,获取合理停掘距离,以避免应力叠加而诱发动力灾害,保证矿井安全生产。

## 1 矿井及工作面概况

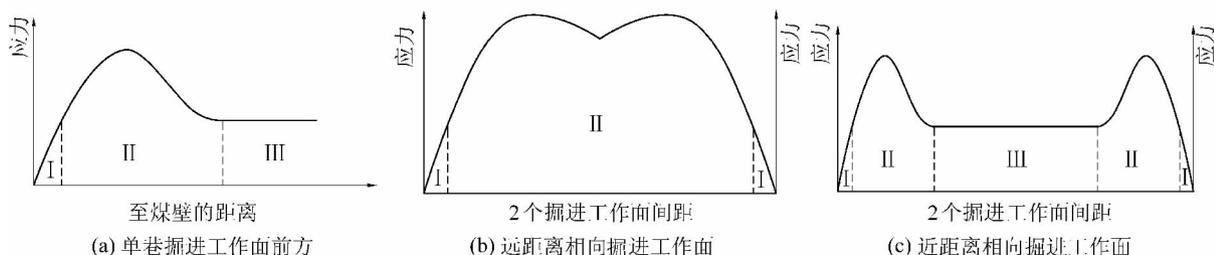
永红煤矿隶属于沁和能源集团有限公司,位于山西省沁水煤田东南部。矿井开采3号煤层,生产能力1.2 Mt/a,属于煤与瓦斯突出矿井。

3313综采工作面为3300大巷南翼的第1个顶分层工作面,该工作面回采巷道两侧为实体煤,工作面巷道长度为1 060 m,巷道掘进工作量很大,造成采掘接替相对紧张。为缩短3313综采工作面准备时间,保证回采工作的正常接替。矿井拟从工作面南部三采区运输下山和工作面北部3300大巷同时开始相向掘进,均采用综合机械化装备掘进。3313综采工作面煤层为一单斜构造,煤层走向NW9°,倾向NE9°,倾角2°~4°,平均厚度5.98 m。3号煤层伪顶为泥岩,厚度较薄,为0.10~0.24 m;直接顶为黑色致密的泥岩,厚度约为5.20 m;基本顶为砂质泥岩或中细砂岩,厚度约为4.24 m,基本顶较坚硬,一般不易冒落;底板为泥岩或粉细砂岩,厚度约为7.49 m,局部较软弱。煤层顶板泥岩抗压强度为25.8 MPa,底板砂质泥岩抗压强度为14.11 MPa,抗剪强度为5.3 MPa。

## 2 掘进工作面采动影响范围测试

### 2.1 测试依据

煤巷掘进使前方煤体的原始应力和原始煤层瓦斯压力遭到破坏,产生瓦斯流动和煤体变形,造成采掘前方塑性煤体变形破坏,一定深度煤体应力集中,形成卸压带、应力集中带和原始应力带<sup>[10]</sup>(图1a)。煤巷相向掘进时,随着2个掘进工作面间距不断减小,前方煤体应力也不断向深部转移(图1b),当前方扰动带连接到一起时,应力集中带发生叠加,应力集中系数将明显高于单个巷道(图1c)。因此,煤巷相向掘进至一定间距后会出现高应力集中区域,更容易诱导动力灾害事故<sup>[11]</sup>。为此,测试掘进工作面采动应力分布,确定相向掘进工作面合理留设间距,对防治由于相向掘进造成前方煤体应力叠加诱发的动力灾害具有重要意义。



I—卸压带; II—应力集中带; III—原始应力带

图1 巷道前方应力分布

Fig. 1 Stress distribution in front of the roadway

## 2.2 测点布置

采用振弦式钻孔应力计和 GSJ-2A 电脑智能检测仪测试工作面前方应力变化规律。振弦式钻孔应力计通过油压将液压装置上 2 个不锈钢压盘固定在钻孔岩石上, 岩石应力发生变化时会改变液压装置的压力, 这个压力通过液压管传递给压力表或者振弦式传感器, 经过计算得出岩石的应力变化量, 它与 GSJ-2A 型电脑检测仪配套使用可直接读出应力。测点选择在 3313 综采工作面配风巷和回风平巷之间的钻场, 钻场与回风平巷的距离为 16.5 m, 与配风巷的距离为 6.5 m, 巷道高度 2.25 m, 如图 2 所示。

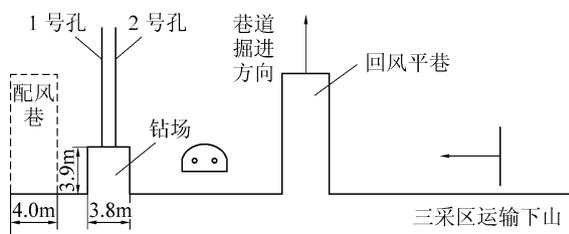


图 2 矿压观测基点布置

Fig. 2 Observation points layout of mine pressure

钻场内沿着掘进工作面布置 2 个深基钻孔, 即 1 号和 2 号孔, 钻孔直径为 60 mm, 深度为 10 m, 钻孔沿着煤层走向水平布置, 在孔底安装振弦式钻孔应力计, 应力计置于孔底以后施加一定值的预应力。

## 2.3 测试结果分析

1 号和 2 号钻孔与回风平巷中心线之间水平距离分别为 17、16 m, 应力计铅垂安装, 且施加一定的预应力, 初始值接近原岩铅垂应力。随着回风平巷的掘进, 钻孔应力计与巷道掘进工作面煤壁之间距离发生变化, 应力计读数随回风平巷掘进而发生变化, 其读数的改变值反映了采动应力的变化, 并由此来确定支承压力影响区范围。图 3 为 1 号和 2 号钻孔应力计读数随掘进工作面推进的变化曲线。

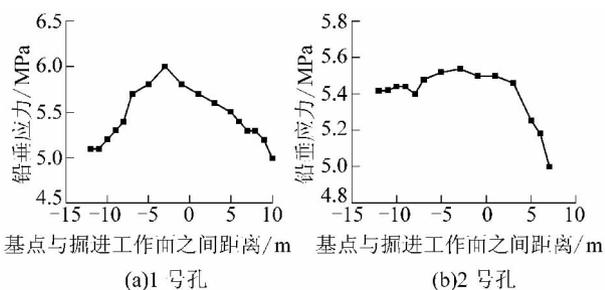


图 3 采动应力随至掘进工作面距离变化曲线

Fig. 3 Change curves of mining stress with distance to driving face

由图 3 可知, 1 号和 2 号钻孔位于掘进工作面

前方采动影响区内, 基点应力的大小与其到掘进工作面距离有关, 随着距离的减小, 基点逐渐受到采动应力的影响, 应力逐渐增大, 增大到一定程度后又逐渐减小, 并趋于一个定值, 该值反映了巷道掘进在围岩引起的应力集中情况。由于 1 号和 2 号钻孔基点距离回风平巷较远, 回风平巷掘进时基点处应力集中系数较小, 最大基点应力集中系数仅为 1.2 和 1.1。将应力增加原岩应力 5% 的区域视为采动应力影响区, 则从 1 号和 2 号钻孔测试数据来看, 掘进工作面前方采动影响区范围为 5~7 m, 后方采动影响区范围为 8~9 m, 掘进引起的采动影响区范围为 13~16 m。从实测的采动应力影响区来看, 相向掘进的工作面最短停掘距离为 32 m。

## 3 合理停掘距离数值模拟分析

### 3.1 模型参数

数值模拟采用 FLAC<sup>3D</sup> 模拟软件, 遵循摩尔-库仑屈服准则判断煤岩体的破坏程度。根据永红煤矿 3313 工作面的实际工程地质条件, 建立模型长度、宽度和高度分别为 120、60、60 m, 包含 8 层岩(煤)层。模型上部边界为自由边界, 按照上覆岩层的重力施加面力边界条件, 模型前后和左右边界为简支边界, 施加水平约束, 模型底部为固支边界, 施加铅垂和水平方向约束。煤岩层物理力学参数见表 1。

表 1 煤岩层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of coal rock

岩石名称	岩层厚度/m	抗压强度/MPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )
粉砂岩	19	44	40	7.0	20	0.11	2 600
砂质泥岩	5	24	42	5.0	25	0.12	2 600
泥岩或粉砂岩	5	44	33	1.4	20	0.11	2 700
3号煤层	6	10	32	1.0	13	0.10	1 400
砂质泥岩	4	20	30	3.0	19	0.13	2 400
中粒砂岩	1	85	40	7.0	40	0.14	2 600
粉砂岩	5	44	37	6.0	20	0.11	2 700
石灰岩	3	55	42	29.0	30	0.18	2 500
细粒砂岩	12	100	38	9.0	36	0.13	2 600

数值计算原始模型的宽度和高度均为

60 m,沿着煤层走向长度120 m。巷道断面为矩形,净宽4.0 m,净高2.3 m,按照实际尺寸模拟,巷道采用端锚树脂金属锚杆支护,掘进后立即支护。

### 3.2 模拟结果分析

为了和现场巷道掘进速度一致,数值模拟开挖时,开挖步长选取1.5 m。根据《煤矿安全规程》规定,掘进巷道贯通前,综合机械化掘进巷道在相距50 m前、其他巷道在相距20 m前,必须停止一个工作面作业,做好调整通风系统的准备工作。为此在

进行模拟时,除选取相对掘进的2个掘进工作面之间距离(煤柱宽度) $L$ 为20、50 m外,还选取了37.5 m。因巷道模型长度120 m,若煤柱两侧的巷道按照一次成巷实现,即煤柱两侧分别一次开挖35.00、41.25、50.00 m三种情况来进行模拟,沿两掘进工作面间轴线建坐标系,以1个掘进工作面为起始点,即坐标轴原点 $L=0$ ,另一掘进工作面位置为2个掘进工作面间距最大值,竖直方向为应力值。模拟的结果如图4所示。

从图4a可知,当掘进工作面相距50 m时,2个

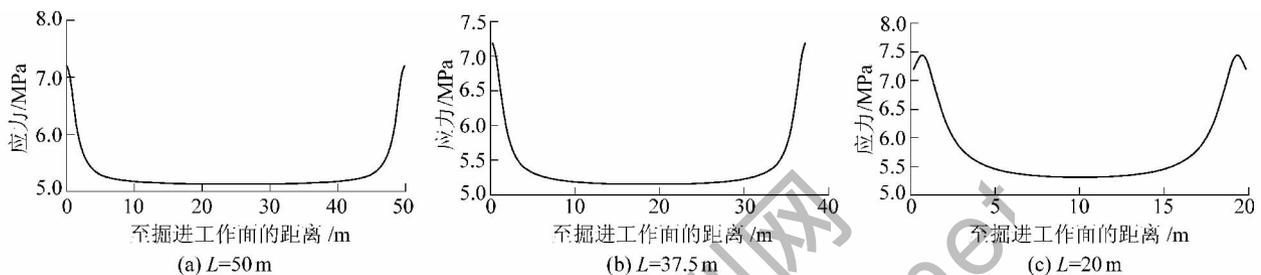


图4 煤柱铅垂应力分布

Fig. 4 Vertical stress distribution of coal pillar

掘进工作面前方的煤柱处于完全弹性状态,煤柱原岩应力5.15 MPa,边缘最大应力为7.3 MPa,最大应力集中系数 $K$ 为1.42,煤柱边缘10 m内应力集中程度较高,10 m外区域煤柱铅垂应力逐渐降低,在煤柱30 m左右时铅垂应力降低到原岩应力5.15 MPa,可见,2个掘进工作面之间距离为50 m时,掘进工作面前方煤柱上的移动支承应力并未出现叠加现象。从图4b可知,当2个掘进工作面相距37.5 m时,掘进工作面前方煤柱应力形态与 $L=50$  m时煤柱上的应力形态相近,煤柱均处于弹性应力状态,但煤柱中部减少了12.5 m的原岩应力区。当两掘进工作面继续掘进,煤柱宽度减少至20 m时(图4c),掘进工作面前方的移动支承压力出现叠加,表现在煤柱上的载荷呈马鞍形分布,煤柱前方出现应力集中,最大应力集中系数 $K$ 为1.46,煤柱边缘出现塑性区和破碎区。煤柱中部出现了采动应力的叠加,其铅垂应力大于原岩应力,若继续对掘极易触发应力势能突然释放现象。

### 3.3 合理停掘距离

从实测的掘进工作面前方采动影响区来看,相向掘进的工作面最大采动影响范围约32 m。根据《煤矿安全规程》一百八十条第三款规定:在同一突出煤层的同一区段的集中应力影响范围

内,不得布置2个工作面相向回采或掘进。因永红煤矿3号煤层属于煤与瓦斯突出危险煤层,因此要求两相向掘进工作面的停掘距离必须大于32 m。

从两掘进工作面的模拟结果来看,在两工作面相距37.5 m和50 m时未出现应力叠加,但相距37.5 m时煤柱处于弹性应力状态,相对于50 m煤柱宽度时缺少了12.5 m的原岩应力区,考虑到永红煤矿采用综掘工艺,掘进速度快,且3号煤层具有煤与瓦斯突出危险性,因此该工作面相向掘进停掘的合理间距选为50 m,待两巷道掘进至间距50 m后,停止一个掘进工作面,由另一个掘进工作面单独前进,以保证掘进安全性。

## 4 结 论

1) 实测的掘进工作面前方采动影响区范围为5~7 m,后方采动影响区范围为8~9 m,掘进引起的采动影响区范围为13~16 m。

2) 数值模拟结果显示,当相向掘进的2个工作面之间相距20 m时,工作面前方的移动支承压力出现叠加,最大应力集中系数 $K$ 为1.46;当相向掘进的2个工作面之间间距为50 m和37.5 m时,工作面前方煤柱上的移动支承应力未出现叠加现象,但相距37.5 m时煤柱均处于弹

性应力状态, 而 50 m 煤柱宽度则有 12.5 m 的原岩应力区。

3) 综合实测和数值模拟结果及永红煤矿实际, 工作面相向掘进停掘的合理间距选为 50 m, 此时两工作面均未处于对方集中应力影响范围内, 且工作面之间还具有 12.5 m 的原岩应力区, 能够保证工作面安全掘进。

#### 参考文献:

- [1] 程远平. 煤矿瓦斯防治理论与工程应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [2] 黄显华, 徐纪元, 杨成轶, 等. 构造突出煤层地应力与瓦斯压力梯度关系模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(5): 65-67, 71.  
Huang Xianhua, Xu Jiyuan, Yang Chengyi, et al. Simulation study on relationship between ground stress and gas pressure gradient of tectonic outburst seam[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 65-67, 71.
- [3] 王春光, 张东旭. 深部煤矿开采瓦斯综合治理技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 11-14.  
Wang Chunguang, Zhang Dongxu. Research on comprehensive gas control technology of deep coal mining[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(8): 11-14.
- [4] 刘义生, 唐鑫, 钱家营深部瓦斯动力现象地质控制因素研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(4): 110-114.  
Liu Yisheng, Tang Xin. Study on geological control factors of deep gas dynamic phenomenon in Qianjiaying mine[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(4): 110-114.
- [5] 张明杰. 叠加采掘集中应力对煤与瓦斯突出的影响[J]. 煤矿安全, 2006, 37(4): 44-47.  
Zhang Mingjie. Influence of concentrated stress on coal and gas outburst[J]. Safety in Coal Mines, 2006, 37(4): 44-47.
- [6] 李克信, 李甲栋, 孙利辉. 孤岛工作面断层采动应力分布规

律研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(7): 13-16.

Li Kexin, Li Jiadong, Sun Lihui. Study on mining induced stress distribution law of fault occurred in island face[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(7): 13-16.

- [7] 蓝航, 杜涛涛. 近距离煤层掘进巷道过终采线冲击地压防治技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(1): 10-14.  
Lan Hang, Du Taotao. Rock burst prevention and control technology of mine driving gateway passing through mining terminal line in contiguous seams[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(1): 10-14.
- [8] 浑宝炬, 程远平, 周红星. 穿层钻孔喷孔周围煤体应力与变形数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 81-85.  
Hun Baoju, Cheng Yuanping, Zhou Hongxing. Study on numerical simulation of coal stress and strain around blowout borehole drilled through strata[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(10): 81-85.
- [9] 陈向军, 王兆丰, 程远平, 等. 水力挤出消突技术在水井头煤矿掘巷中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(3): 49-52.  
Chen Xiangjun, Wang Zhaofeng, Cheng Yuanping, et al. Application of outburst elimination technology with hydraulic pressing to seam gateway driving in Shuijingtou Mine[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(3): 49-52.
- [10] 康红普. 深部煤矿应力分布特征及巷道围岩控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 12-17.  
Kang Hongpu. Stress distribution characteristics and strata control technology for roadways in deep coal mines[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 12-17.
- [11] 杨海楼, 于洋, 朱庆庆. 对采掘巷道围岩稳定与分段控制技术的研究[J]. 煤炭工程, 2013(10): 11-14.  
Yang Hailou, Yu Yang, Zhu Qingqing. Stability and control technology for mining segment of roadway excavation[J]. Coal Engineering, 2013(10): 11-14.

#### (上接第 98 页)

- Fang Aimin, Hou Quanlin, Lei Jiajin, et al. Effects of coalification on the formation and accumulation of coalbed methane: A study case from Qinshui Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(3): 378-382.
- [18] 李勇, 汤达祯, 许浩, 等. 鄂尔多斯盆地东缘煤层气构造控气特征[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(6): 113-117, 129.  
Li Yong, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Characteristics of structural controlled coalbed methane in east margin of ordos basin[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 113-117, 129.
- [19] 李五忠, 陈刚, 孙斌, 等. 大宁-吉县地区煤层气成藏

条件及富集规律[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(2): 352-360.

Li Wuzhong, Chen Gang, Sun Bin, et al. Geological Controls of Coalbed Methane Enrichment in Daning-Jixian Area, Southeastern Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(2): 352-360.

- [20] 姜波, 许进鹏, 朱奎, 等. 鄂尔多斯盆地东缘构造-水文地质控气特征[J]. 高校地质学报, 2012, 18(3): 438-446.  
Jiang Bo, Xu Jinpeng, Zhu Kui, et al. Structural and hydrogeological controls of coalbed methane preservation in the eastern ordos basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(3): 438-446.