

# 临兴地区深部煤层气及致密砂岩气资源潜力评价

谢英刚<sup>1</sup> 孟尚志<sup>2</sup> 高丽军<sup>1</sup> 孙新阳<sup>2</sup> 段长江<sup>1</sup> 王海平<sup>1</sup>

(1.中海油能源发展股份有限公司 工程技术分公司 天津 300457; 2.中联煤层气有限责任公司 北京 100011)

**摘要:**针对鄂尔多斯盆地东缘临兴地区主煤层埋深较深、致密砂岩产气层数较多的特点,分析了区内煤储层特征,评价了深部煤层气及致密砂岩气的资源潜力。研究表明,区内构造简单,以单斜构造为主,东中部局部地区发育断裂,煤储层相对稳定,储层压力呈欠压-常压状态,有利于煤层气的富集;深部 5 号和 9 号煤层以半亮型的肥煤到焦煤为主,储层物性较好,且 9 号煤层资源潜力较大,是深部煤层气勘探的主要煤层;致密砂岩展布主要受控于煤系地层沉积特征,在北部地区相对发育。研究认为,该区有利于深部煤系煤层气与致密砂岩气多层共采,而中南部地区为煤层气单采有利区。

**关键词:**深部煤层;煤储层;煤层气;致密砂岩气;资源潜力

**中图分类号:** TE132.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2015)02-0021-04

## Assessments on potential resources of deep coalbed methane and compact sandstone gas in Linxing Area

XIE Ying-gang<sup>1</sup>, MENG Shang-zhi<sup>2</sup>, GAO Li-jun<sup>1</sup>, SUN Xin-yang<sup>2</sup>, DUAN Chang-jiang<sup>1</sup>, WANG Hai-ping<sup>1</sup>

(1. Engineering and Technology Branch, CNOOC Energy Technology and Services Limited, Tianjin 300457, China;

2. China United Coalbed Methane Corporation Limited, Beijing 100011, China)

**Abstract:** According to the deep depth of the main seam in Linxing Area at east edge of Ordos, many gas layers features of the sandstone, the paper analyzed the coal reservoir features within the area and evaluated the potential resources of the deep coalbed methane and the compact sandstone gas. The study showed that the structure within the area was simple and mainly was the monoclinic structure. The development of the structure was broken in the some area of the middle east part, the coal reservoir was relative stable and the reservoir pressure was in an under-pressure to normal pressure state and was favorable to the enrichment of the coalbed methane. The deep No.5 and No.9 seams were semi-bright type fat coal to coking coal mainly, the reservoir physical property was quite well and the resources potential of No.9 seam was high and was the main seam for the deep coalbed methane exploration. The layout of compact sandstone was controlled by the sedimentary features of the coal measure strata and was relatively developed in the south part. The study held that the area was favorable to the multi layer simultaneous mining of the deep coal measure coalbed methane and compact sandstone gas and among the area, but the middle and south part could be a favorable zone for a single mining of the coalbed methane.

**Key words:** deep seam; coal reservoir; coalbed methane; compact sandstone gas; potential resources

## 0 引言

近年来,深层煤层气及煤系非常规天然气勘探开发受到国内高度关注。临兴地区位于鄂尔多斯盆地东缘晋西挠褶带,在二叠系含煤地层中已有多口探井钻遇致密砂岩气层,太原组及下石盒子组致密砂岩气层测试均见工业气流;其西部附近的大牛地

致密气田已经投入开发;其东部邻区的杨家坡煤层气区已申报为中型煤层气田;其南部附近的保德煤层气田也已投入开发。临兴地区具有煤层埋深较大、煤系致密砂岩产层数较多的特点。分析临兴地区深部煤储层特征,评价深部煤系气资源潜力,是指导后续勘探的重要基础。笔者针对这一特点与现状,分析了区内深部煤储层地质特征,评价了深部煤

收稿日期: 2014-08-22; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.02.005

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05062)

作者简介: 谢英刚(1977—),男,辽宁昌图人,工程师,硕士。Tel: 13821390969, E-mail: xieyg2@cnooc.com.cn

引用格式: 谢英刚,孟尚志,高丽军,等.临兴地区深部煤层气及致密砂岩气资源潜力评价[J].煤炭科学技术,2015,43(2):21-24,28.

XIE Ying-gang, MENG Shang-zhi, GAO Li-jun, et al. Assessments on potential resources of deep coalbed methane and compact sandstone gas in Linxing Area [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 21-24, 28.

层气资源潜力,并结合煤层与顶板致密砂岩的组合关系,优选出深部煤系气综合开发的资源潜力区。

## 1 地质概况

临兴地区位于山西省西部临县和兴县境内,构造位置为鄂尔多斯盆地伊陕斜坡和晋西挠褶带,总体上为一单斜构造<sup>[1-2]</sup>。区内出露上石炭统和下二叠统含煤地层,从东向西地层埋深逐渐加大,至区块西南侧埋深大于2 000 m。下二叠统山西组和上石炭统太原组是区内的主要含煤地层,也是本区主要含气层系,山西组(4+5)号煤层和太原组(8+9)号煤层为区内主煤层。

地震勘探表明,区内可进一步划分为3个构造单元。其中,东中部为受侵入岩影响隆起区,断裂发育,呈环形放射状展布;中部为围着隆起发育的向斜区,呈环状分布;西部、北部和南部为平缓褶皱区,地层倾角不大。区内相对简单的单斜构造总体有利于煤层气的富集,仅东中部紫金山断裂发育区对煤层气保存不利,但由于其储层物性相对较好,在局部地区可能存在煤层气富集高产区。

研究区煤层埋深较大,以大于1 500 m为主(图1)。5号煤层埋深1 018~2 046 m,平均1 833 m;9号煤层埋深1 087~2 102 m,平均1 902 m。煤层埋深总体上由北东到西南向逐渐变深,仅在中东部隆起区埋深相对较浅,在1 000 m左右。

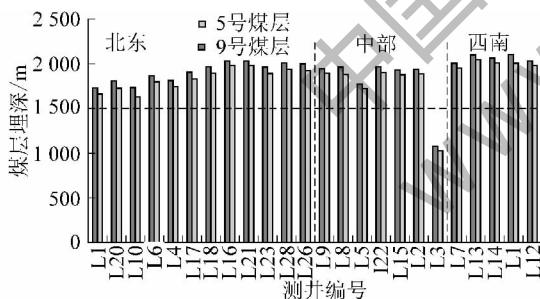


图1 临兴区块5号和9号煤层埋深柱状图

鄂尔多斯盆地早白垩世末发生了大规模的地层抬升剥蚀,在盆地东部、北部剥蚀厚度达700~1 000 m,造成天然气扩散,导致地层卸压,地层流体压力为低压状态<sup>[2-8]</sup>。根据测井解释,区内地层压力稳定,压力系数变化在0.88~0.96,属常压地层,局部井段偏高压。随着煤层埋深增加,储层流体压力会逐渐变大,有利于深部煤层气开发。区内煤层灰分变化较大,但总体上以中低灰煤和中灰煤为主。煤岩类型以半亮煤和光亮煤为主,5号煤层惰质组

含量相对较高;镜质组最大反射率1.01%~1.36%,为肥煤和焦煤(表1)。

表1 临兴地区煤层显微组分组成和镜质组最大反射率

试样 编号	煤层	有机组分含量/%			$R_{\max}$ /%
		镜质组	惰质组	壳质组	
1	5	68.1	20.5	—	88.6 1.12
2	5	58.0	28.2	—	86.2 1.19
3	5	50.3	35.7	1.6	86.6 1.01
4	5	67.4	22.6	2.6	92.6 1.17
5	9	86.2	6.8	—	93.0 1.32
6	9	88.6	8.1	—	96.7 1.27
7	9	86.6	4.1	—	90.7 1.30
8	9	78.5	6.5	—	85.0 1.29
9	9	71.0	18.0	—	87.4 1.36
10	9	45.9	24.8	—	70.7 1.16
11	9	72.9	16.1	0.2	89.2 1.34
12	9	83.6	9.2	—	92.8 1.31
13	9	69.7	25.4	0.2	95.3 1.33
14	9	71.9	17.9	0.2	90.0 1.22
15	9	70.7	10.0	—	80.7 1.34

## 2 煤储层发育特征

### 2.1 煤储层厚度

5号煤层厚度2.40~7.04 m,平均4.02 m,在东北、西北、东南的局部地区较厚,东中部隆起区较薄(图2a);9号煤层厚度2.32~15.00 m,平均7.20 m,在东北部局部地区相对较薄(图2b)。对比之下,9号煤层较厚且相对稳定,更加有利于深部煤层气的开发。

### 2.2 煤储层含气性和吸附性

区内煤储层埋深大,煤心提钻时间超长,导致煤层含气量测试结果与实际结果误差相对较大。因此,笔者主要采用录井气测全烃含量来定性评价不同煤储层的含气性。

气测录井结果显示,9号煤层气测全烃含量大于5号煤层(图3)。其中,5号煤层气测全烃含量为1.59%~33.22%,平均13.66%;9号煤层气测全烃含量为3.08%~41.57%,平均20.04%。同时,气测全烃含量总体随着煤层埋深增加而变低,埋深小于2 000 m时,气测全烃含量一般小于10%,埋深大于2 000 m以后变化较大。

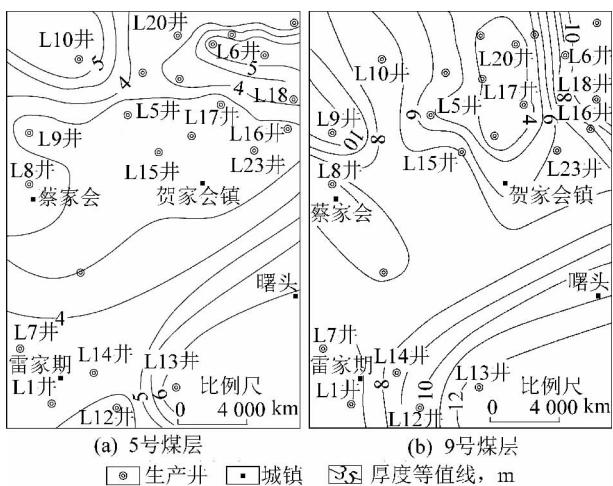


图2 5号和9号煤层厚度等值线

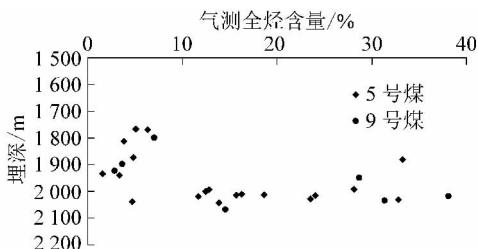


图3 气测全烃含量随埋深的变化

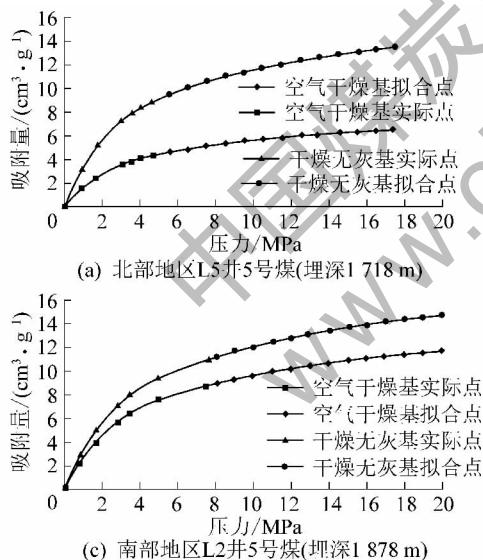


图4 典型井不同煤储层样品等温吸附曲线

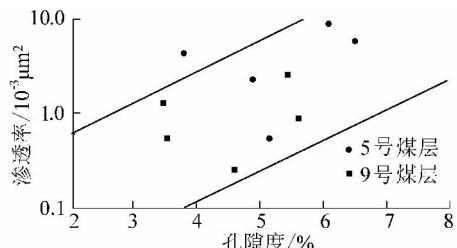


图5 5号煤层与9号煤层孔隙度和渗透率的关系

北部和南部地区煤样等温吸附试验表明9号煤层相对于5号煤层朗格缪尔体积相对较高,吸附能力较强,且其吸附能力受灰分的影响相对较小(图4)。随着埋藏深度的增加,煤岩吸附能力增大。

### 2.3 煤储层孔渗性

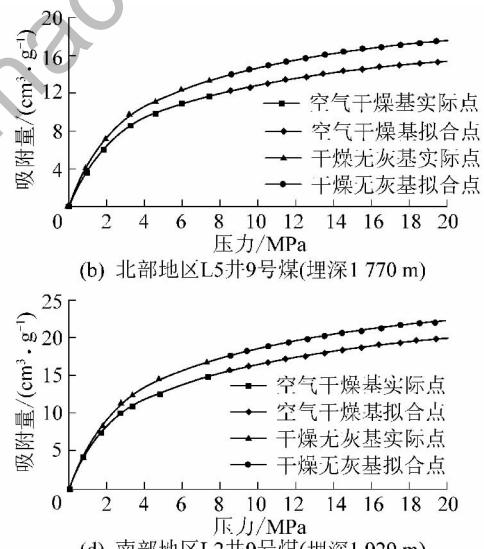
研究区内5号煤层孔隙度为5.33%~7.10%,平均6.05%;9号煤层孔隙度为4.23%~6.79%,平均5.92%。据实验室测试数据,2个煤储层渗透率总体偏高,这是肥煤和焦煤储层裂隙较为发育的结果。同时,煤储层孔隙度与渗透率呈正相关关系(图5)。

压汞试验显示5(4+5)号和9(8+9)号煤层的孔隙结构和连通性相似,都以微孔为主,且退汞饱和度相对较高,说明煤储层孔隙连通性较好。对比分析5号煤层最大进汞饱和度高于9号煤层,说明5号煤储层孔容更大一些。

## 3 煤岩层含气资源潜力分析

### 3.1 煤层气资源潜力

煤层气资源量主要取决于煤层厚度和煤层含气



量,通过煤层厚度与煤层含气量(气测全烃含量)的乘积可评价研究区内煤层气资源潜力。5号煤层在东北、西北、南部区域煤层气资源潜力较大,沿北东-西南走向的东中部地区资源潜力相对较小(图6a)。分析认为,一方面东中部地区为隆起区且断裂发育,煤层含气量相对较低;另一方面,该区域煤层相对较薄。9号煤层沿北东-西南向煤层气资源

潜力逐渐增大,仅在北部局部地区由于煤层厚度较薄,资源潜力相对较低(图6b)。原因在于,该煤层沿北东-西南向埋深逐渐变深,煤储层演化程度增高,含气量增加。

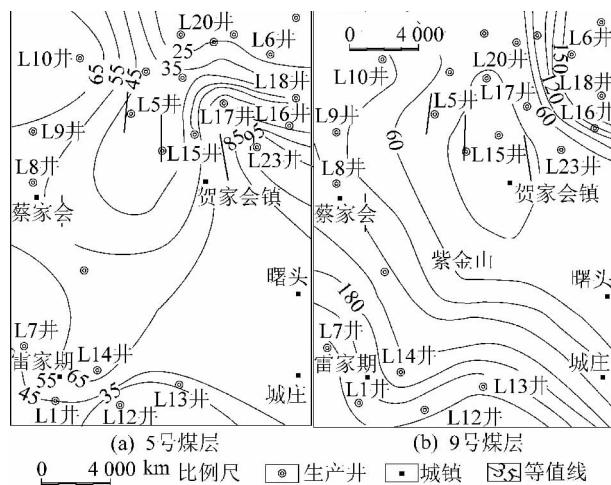


图6 煤气测烃含量与煤层厚度之积等值线

根据钻探揭露资料,9号煤层顶底板主要为泥岩,偶见细砂岩;5号煤层顶板主要为泥岩和细砂岩,其中偶见粗砂岩。进一步来看,区内发育4种煤层与顶底板的组合类型:A型的煤层顶板为砂岩,底板为砂岩;B型的煤层顶、底板均为泥岩;C型的煤层顶板为泥岩,底板为砂岩;D型的煤层顶板、底板均为砂岩。临兴地区本溪组和太原组为滨岸环境的潮坪相沉积体系,山西组为海陆过渡相的曲流河三角洲沉积体系<sup>[9-16]</sup>。因此,5号煤层受分流河道影响较大,顶板常为砂岩层,易发育A型接触关系,不利于煤层气保存;9号煤层形成于潮坪沼泽,易发育B型接触关系,有利于煤层气保存。

### 3.2 致密砂岩气层分布特征

前期勘探开发资料表明,研究区内5号煤层和9号煤层顶底板及其附近的致密砂岩常富气,北部区域山西组和太原组的致密砂岩气层层数较南部地区多(表2)。

表2 临兴地区深部煤系致密气产层数量统计

层位	数量/个							
	L6井	L4井	L5井	L10井	L8井	L2井	L3井	L1井
山西组	1	3	3	1	3	0	0	0
太原组	0	4	0	5	0	0	0	1
本溪组	1	1	0	0	0	0	2	0

沉积学分析显示,煤系致密砂岩气层的层数以及厚度受控于沉积微相,优势沉积微相为厚度大的

潮坪砂坝和分流河道砂体。北部区域太原组潮坪砂坝和山西组分流河道砂体分布广泛,发育优质致密砂岩气层的可能性较高,即该区为致密砂岩气的潜力高值区。

## 4 结 论

1) 研究区煤层总体构造为单斜,仅东中部局部地区发育断裂,煤层埋深由东向西逐渐变深,且5号与9号煤层埋深均在1000 m以上,煤储层压力相对稳定,呈欠压-常压状态。

2) 研究区深部5号和9号煤层煤岩煤质、储层物性相似,其中煤阶主要为肥煤到焦煤,以半亮煤为主,灰分较低,煤层孔隙度与渗透率较高。两主力煤层的储层厚度与含气量差异较大,其中9号煤层厚度较大且分布稳定,气测全烃含量较高,煤层气资源潜力较大。

3) 5号煤的煤层气资源潜力受煤层厚度和含气量共同影响,煤层气资源潜力区主要为研究区的东北、西北、南部局部地区。9号煤的煤层气资源潜力主要受含气量的影响,煤层气资源潜力随着深度增加而变大。

4) 煤系地层顶板的致密砂岩层中往往含有致密砂岩气,受控于煤系地层沉积特征,有利的致密砂岩气层由北东向西南方向逐渐减小,单从资源潜力来说,北部地区为后期区内非常规天然气整体勘探开发提供了物质基础。

## 参考文献:

- [1] 廖昌珍,张岳桥.温长顺.鄂尔多斯盆地东缘边界带构造样式及其区域构造意义[J].地质学报,2007,15(4):466-474.
- [2] 张国良,贾高龙.鄂尔多斯盆地东缘煤层气地质及勘探开发方向[J].中国煤层气,2004,25(1):17-20.
- [3] 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.
- [4] 李士祥,施泽进,刘显阳,等.鄂尔多斯盆地中生界异常低压成因定量分析[J].石油勘探与开发,2013,40(5):528-533.
- [5] 许浩,张君峰,汤达祯,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田低压形成的控制因素[J].石油勘探与开发,2012,39(1):64-68.
- [6] 王胜利,许化政.鄂尔多斯盆地上古生界流体压力分布与成因[J].石油实验地质,2010,32(6):536-540.
- [7] 李士祥,邓秀芹,庞锦莲,等.鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构造运动的关系[J].沉积学报,2010,28(4):798-807.
- [8] 刘为付,朱筱敏,杜业波,等.鄂尔多斯盆地二叠系天然气储层特征及有利区预测[J].西安石油大学学报:自然科学版,2006,21(5):6-12.

(下转第28页)

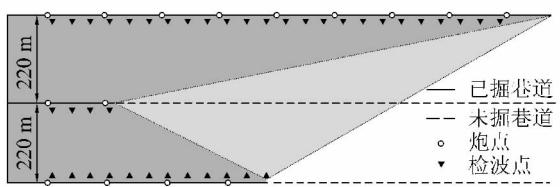


图4 某矿盘区槽波透射示意

岖、工农关系复杂地区，在地面开展三维地震难度较大，且效果不好。这时，如果借助煤矿井下大距离槽波透视技术，实现盘区构造的精细探测，可以达到事半功倍的效果。

### 3.3 跨层透射槽波地震勘探

在高瓦斯矿井、煤与瓦斯突出矿井以及水害严重矿井，在采煤工作面布设前，为了确保安全生产，需要提前开拓瓦斯高抽巷或底板泄水巷，以掩护煤巷安全掘进。在这种情况下，可以从瓦斯高抽巷或底板泄水巷向目标煤层施工浅孔，利用钻孔布设炮点/检波点，并结合一条掘进的煤巷，构成跨越空间岩巷—煤巷的三维立体探测系统，实现地质构造的超前探测。

## 4 结 论

1) 相对于常规的集中式地震仪、分布遥测式地震仪而言，节点式地震仪不需要主机、交叉站、电源站和大线，施工时不需要相互通信，无需布设炮线、电话线，且具备独立同步施工的能力，是煤矿井下槽波地震勘探的理想仪器。

2) 节点式地震仪采用“节点式设计、独立型激发、分布式采集、三通道存储、集中式回收”的设计理念，较好地满足煤矿井下地震仪器本安防爆、指标先进、施工快捷等基本要求。

3) 节点式地震仪灵活、无约束布设的优势，使得煤矿井下超长超宽工作面、互不贯通的巷道之间

(上接第24页)

- [9] 陈钟惠，张年茂，张守良，等.鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积体系和聚煤作用的时空演化[J].地球科学：中国地质大学学报，1989，14(4)：357-36.
- [10] 刘新社，席胜利，周焕顺.鄂尔多斯盆地东部上古生界煤层气储层特征[J].煤田地质与勘探，2007，35(1)：35-40.
- [11] 魏红红，彭惠群，李静群，等.鄂尔多斯盆地中部石炭一二叠系沉积相带与砂体展布[J].沉积学报，1999，17(3)：403-408.
- [12] 何义中，陈洪德，张锦泉.鄂尔多斯盆地中部石炭二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J].石油与天然气地质，2001，22(1)：

以及采区、盘区和煤巷—岩巷跨层条件下的槽波地震探测得以实现。

为了更好地发挥煤矿井下槽波地震勘探技术的优势，今后应该进一步加大反射槽波地震勘探、钻孔—巷道的透射槽波地震勘探技术与装备研究。

### 参考文献：

- [1] 程建远，李浙龙，张广忠，等.煤矿井下地震勘探技术应用现状与发展展望[J].勘探地球物理进展，2009，32(2)：96-100.
- [2] 朱光明，李桂花，程建远.煤矿巷道内地震勘探的数值模拟[J].煤炭学报，2008，33(11)：1273-1267.
- [3] 冯宏，文柱展，张仲礼，等.槽波地震仪的发展和DYSD-III型矿井数字地震仪[J].煤田地质与勘探，1994，22(3)：55-57.
- [4] 吴海江，浩，程建远，等.基于GPS技术的矿井地震仪研制[J].西安石油大学学报：自然科学版，2013，28(4)：82-86.
- [5] 鲍五堂，吴铁军，石磊军，等.现代网络传输技术与地震勘探仪器的发展[J].地球物理学进展，2013，28(5)：2781-2786.
- [6] Krey T C. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining[J]. Geophysics，1962，28：701-714.
- [7] 刘天放，潘冬明，李德春，等.槽波地震勘探[M].徐州：中国矿业大学出版社，1994.
- [8] 张守恩，姜可富.地震槽波方法试验与研究[J].地球物理学报，1983，26(2)：198-203.
- [9] 王伟，高星，李松营，等.槽波层析成像方法在煤田勘探中的应用——以河南义马矿区为例[J].地球物理学报，2012，55(3)：1054-1062.
- [10] 姬广忠，程建远，朱培民，等.煤矿井下槽波三维数值模拟及频散分析[J].地球物理学报，2012，55(2)：645-654.
- [11] 王文德，刘玉忠.钻孔槽波地震勘探的研究[J].煤田地质与勘探，1997，22(5)：20-23.
- [12] 郭恩惠.巷道槽波透射法适用环境和影响因素的探讨[J].煤田地质与勘探，1990，15(2)：54-59.
- [13] 王文德，赵炯，王谊，等.槽波反射法探测效果的影响因素及改进措施[J].煤田地质与勘探，1997，25(1)：55-57.
- [14] 王金华.我国煤矿开采机械装备及自动化技术新进展[J].煤炭科学技术，2013，41(1)：1-4.
- [15] 杨思通，程久龙.煤巷地震超前探测数值模拟及波场特征研究[J].煤炭学报，2010，35(10)：1633-1637.

68-71.

- [13] 李勇，汤达祯，许浩，等.鄂尔多斯盆地东缘“翘板”支点影响下的含煤地层发育特征[J].煤炭学报，2012，37(2)：378-382.
- [14] 汪正江，陈洪德，张锦泉.鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J].沉积与特提斯地质，2002，22(2)：18-23.
- [15] 杨奕华，包洪平，贾亚妮.鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储集层控制因素分析[J].古地理学报，2008，10(1)：25-32.
- [16] 郭本广，许浩，孟尚志，等.临兴地区非常规天然气合探共采地质条件分析[J].中国煤层气，2012，9(4)：3-6.