

延川南区块煤层气田构造及水文控气作用研究

郭 涛

(中国石化华东分公司 石油勘探开发研究院 江苏 南京 210011)

摘要: 基于延川南煤层气田构造研究,结合2号煤层水质分析、试井及分析化验资料,探讨了构造、水文地质条件对煤层气赋存的控制作用。研究表明:单斜构造和逆断层封堵决定了研究区发育2种不同的水文地质单元,具有不同的水力控气特征。谭坪构造带位于弱径流区,埋藏浅,压力梯度低,属于水力封堵控气,煤层水具有低矿化度,弱碱性,水型为 $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型的特征;万宝山构造带位于滞留区,埋藏深,承压水封堵,压力梯度高,煤层水具有高矿化度,弱酸性,水型为 $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型的特征,属于水力封闭控气。万宝山构造带2号煤层平均含气量 $15.3 \text{ m}^3/\text{t}$,谭坪构造带平均 $9.2 \text{ m}^3/\text{t}$,万宝山构造带煤层气赋存条件优于谭坪构造带。

关键词: 延川南区块;地质构造;水文地质;控气特征

中图分类号:TE122 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2015)12-0166-04

Study on structure and hydrologic gas control role of coalbed methane gas field in Yanchuannan Block

Guo Tao

(Petroleum Exploration and Development Research Institute, SINOPEC East China Company, Nanjing 210011, China)

Abstract: Based on a structure study of a coal bed methane gasfield in Yanchuannan Block in combination with the water quality analysis of No. 2 seam logging as well as analysis and chemical test information, the paper discussed the structure and hydrogeological conditions affected to the control role of the coal bed methane deposition. The study showed that a monoclinical structure and reverse fault sealed decided two different hydrogeological units developed in the study area with different hydraulic gas control features. Tanping structure zone was located in a weak runoff area and was shallow in a deposition depth and low in a pressure gradient. The structure zone was gas controlled with the hydraulic sealing. The seam water had a low mineralization and a weak alkalinity and the water type had $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ type features. Wanbaoshan structure zone was located in a detention area with a deep deposition depth. The pressurized water was sealed and the pressure gradient was high. The seam water had a high mineralization and a weak acidity. The water was in $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ type features. The seam was air controlled with hydraulic sealing. No. seam in Wanbaoshan structure zone had a gas content of $15.3 \text{ m}^3/\text{t}$ in average. Tanping structure zone had a gas content of $9.2 \text{ m}^3/\text{t}$ in average. The coal bed methane deposition condition in Wanbaoshan structure zone was better than Tanping structure zone.

Key words: Yanchuannan Block; geological structure; hydrogeology; gas control features

0 引 言

鄂尔多斯盆地是我国重要的煤炭基地,煤层气资源丰富,是目前我国煤层气勘探开发的热点地区

之一。盆地煤层气赋存的地质条件、资源分布及开发前景已引起越来越多地质学家的广泛关注^[1-5]。

目前的煤层气勘探开发主要集中在盆地东缘,沿黄河呈南北向展布,预测1500 m以浅煤层气地质资

收稿日期:2015-06-28;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2015.12.032

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05035-006)

作者简介:郭涛(1985—),男,湖北襄阳人,硕士,工程师。Tel:025-58611069 E-mail:gttongji@163.com

引用格式:郭涛.延川南区块煤层气田构造及水文控气作用研究[J].煤炭科学技术,2015,43(12):166-169,103.

Guo Tao. Study on structure and hydrologic gas control role of coalbed methane gas field in Yanchuannan Block[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 166-169, 103.

源量约 $9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[6],延川南煤层气田位于鄂尔多斯盆地东南缘,作为中石化首个煤层气田,其成功开发对中石化下步煤层气的勘探开发具有示范意义。

构造变形是影响煤层气成藏的重要因素,不同性质、不同类型的构造对煤层气的生成、运移和保存具有不同的控制作用^[7],区域构造演化及其构造发育特征对研究区水文地质条件具有显著的控制作用,构造发育差异性控制了区域水文地质边界及不同区域水文地质特征^[8],进而影响煤层气的赋存特征。前人对构造、水文地质单因素对含气量的控制作用研究较多,取得了一定的成果^[8-11],而构造、水文联合控气作用研究较少。笔者以延川南煤层气田为研究对象,在分析构造演化、不同区域构造特征及水文地质特征研究的基础上,探讨了构造-水文对煤层气赋存的控制作用,为煤层气勘探与开发提供科学依据。

1 地质概况

延川南煤层气田位于鄂尔多斯盆地东南缘,北邻大宁-吉县区块,南邻韩城-合阳区块,整体上为一倾向北西的大型单斜构造,具有构造简单,地层平缓,断裂少且规模小,发育轻微褶皱等特点。含煤地层为石炭-二叠系,包括上石炭统本溪组、太原组和下二叠统山西组,主力煤层 2 号煤层位于下二叠统山西组。2 号煤厚度为 2.98~7.46 m,平均 5.2 m;顶底板主要均为 2~14 m 泥岩,分布稳定;埋深为 600~1 500 m,往北西方向,埋深逐渐增加;变质程度较高,镜质组反射率 R_o 为 2.1%~3.0%,处于贫煤-无烟煤阶段;含气量 8~20 m^3/t ,平均 13 m^3/t 。平面上,自东向西,由盆缘到盆内,随着埋深增大,2 号煤演化程度增高,含气量逐渐增高。

2 地质构造特征

研究区构造较为简单,整体为北西-东南向的单斜构造,构造平缓。区内共发育断层近 40 条,主要为逆断层,走向北东、北北东向,断距小,延伸短;中部发育规模相对较大的中垛、白鹤逆断层,封堵性强,将整个研究区分为谭坪构造带和万宝山构造带(图 1)。谭坪构造带靠近盆地边缘,断裂、褶皱相对发育,构造相对复杂,往盆地方向,万宝山构造带构造变得更加稳定,地层更加平缓。

鄂尔多斯盆地的形成与演化总体历经印支、燕山和喜山 3 次构造运动,其中燕山运动对研究区产

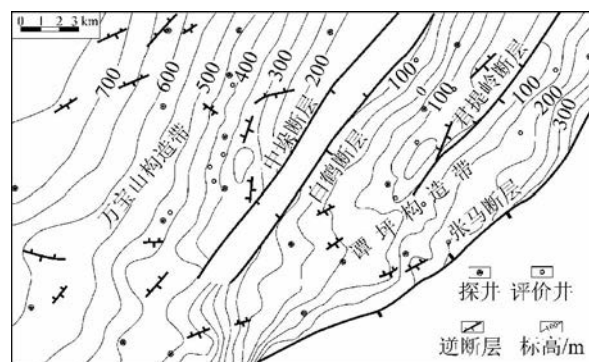


图 1 延川南煤层气田 2 号煤层顶板等高线及构造

Fig 1 Top structure map of No. 2 seam in Yanchuannan

生了至关重要的影响,是控制区域煤层气成藏的关键地质条件^[10]。三叠纪末的印支运动,鄂尔多斯盆地受到近南北向的挤压应力,本次运动使煤层气首次发生运移调整,由于该时期构造运动为挤压作用,煤层气逸散程度小;燕山运动时期,鄂尔多斯盆地受到 NW-SE 向的挤压影响,盆地东南缘发育 NE-SW 向的断层和褶皱;同时,受吕梁山隆升推挤影响,近 NS 向的晋西挠褶带形成,盆地东缘构造形态基本形成。延川南煤层气田地应力测试显示现今最大主应力方向为 110° 左右,垂直于构造走向,研究区内断层、褶皱、含气量及现今最大主应力方向显示燕山运动是本区关键的构造事件,形成了现今的构造形态(图 1),导致了煤层气的差异富集,持续的挤压作用,不仅改造了煤层的赋存状态,并对煤层气成藏特征起着重要控制作用^[8]。喜山期,受 NE-SW 向挤压,盆地构造发生了负反转,鄂尔多斯盆地断裂呈不同程度的开放,导致该区继承性的继续抬升,煤层及上覆地层进一步剥蚀,煤层气的保存再次遭受改造并定型^[12],现今构造依然保持着燕山期的特征。后期受构造运动影响小,煤层气不易逸散,对煤层气保存有利,为煤层气的成藏奠定基础。

3 水文地质特征

区域构造演化及其构造发育特征对研究区水文地质条件具有显著的控制作用,构造发育差异性控制了区域水文地质边界及不同区域水文地质特征^[8]。单斜构造与断层发育特征决定了谭坪构造带与万宝山构造带属于不同的水文地质单元。

不同类型的煤层水对煤层气成藏起着不同的作用。垂向上 2 号煤与下伏奥陶系灰岩含水层有厚 35~50 m 的隔水层相隔,与上覆石盒子组含水层也有 30~50 m 的泥岩或者粉砂质泥岩相隔,2 号煤层

与上下含水层没有水力联系。研究区北部局部地区断层沟通上部水层,存在垂直渗流区(图2)。

与煤层气有关的水文地质参数和条件主要包括煤层气的水型、矿化度、储层压力及化学特征等。水质分析结果表明,延川南2号煤层水质平面分布具有“东西分块、南北成带”的特征。在区块东部谭坪构造带2号煤层埋深较浅,区块以东部分煤层出露地表,接受大气降水补给,矿化度较低,一般3 000~6 000 mg/L,平均在4 313 mg/L, $\text{pH} = 7.1 \sim 8.7$,平均7.7,呈弱碱性,水型为 $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型,表现为弱径流区特征;在西部万宝山构造带,煤层埋藏较深,且白鹤、中垛两条封闭性断层阻断了上部水层的渗入,地层水矿化度急剧升高,最大达到157 934 mg/L,平均在51 900 mg/L, pH 值降低,一般在4.5~7.4,平均6.3,水型为 $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型,整体表现为强滞留环境;在研究区中北部、局部断层发育区,沟通了上下水层的联系,存在垂直渗流现象,此处矿化度也较低且呈弱碱性,为垂直弱渗流区(图2)。

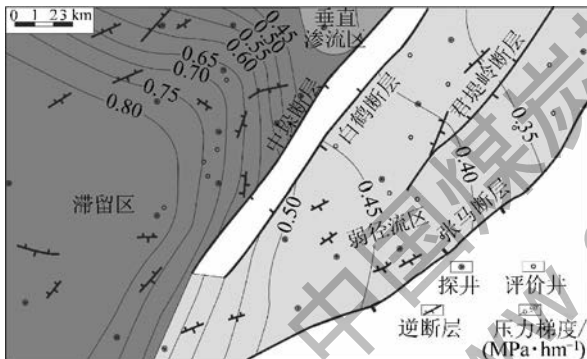


图2 延川南煤层气田水动力平面分布

Fig. 2 Distribution map of hydrodynamic force of No. 2 seam in Yanchuannan

通过试井压力资料分析发现,储层压力随着埋深增加而升高,万宝山构造带2号煤储层压力可达10 MPa以上,明显高于谭坪构造带,为高压滞留环境。压力梯度由东往西逐渐增大,谭坪构造带压力梯度为0.3~0.5 MPa/hm,万宝山构造带为0.5~0.8 MPa/hm(图2),进一步证明万宝山构造带与谭坪构造带分属不同的水文地质单元,万宝山具有更好的保存条件。

从水型、矿化度、 pH 值及储层压力结构特征综合分析认为,万宝山构造带与谭坪构造带分属不同的水文地质单元,万宝山构造带属于滞留区,谭坪构造带属于弱径流区(图2)。万宝山构造带保存条件优于谭坪构造带。

4 构造-水文联合控气作用

构造不仅可以通过构造演化、断裂、褶皱等对煤层气赋存具有直接控制作用,而且可以通过水文地质条件间接控制煤层气的赋存;而水文地质除了受地貌、断裂等构造因素控制外,还受到其本身的规律影响。构造、水文共同作用,控制煤层气的赋存。

含气量是影响煤层气产能的重要地质因素^[13]。构造-水文条件对含气量具有直接的控制作用。同一地区,滞留区煤层气保存条件好,煤层气不易散失,加上高压封堵,含气量明显高;径流区地下水动力相对强,煤层气易被水体携带散失,故含气量相对低^[14]。研究区逆断层受挤压应力作用及泥岩涂抹效应的影响,整体表现为封闭性。单斜构造和断层发育特征决定了延川南气田存在2种不同的水文地质控气作用:水力封闭控气作用、水力封堵控气作用^[15](图3)。工区东部边界煤层出露地表,造成地下水由东部补给,向西部排泄,地下水径流方向与煤层气顺层运移方向相反,有利于煤层气的保存,表现为水力封堵控气作用^[13]。万宝山构造带受埋深及白鹤、中垛逆断层的影响,水动力弱,地下水径流缓慢甚至停滞,地下水以静水压力、重力驱动方式流动,通过压力传递作用,使煤层气吸附于煤中,煤层气相对富集而不发生运移,煤层含气量较高,万宝山构造带表现为水力封闭控气特征(图3)。相对于水力封堵控气,水力封闭控气作用对煤层气的赋存更加有效,因此万宝山构造带比谭坪构造带具有更好的煤层气富集条件。

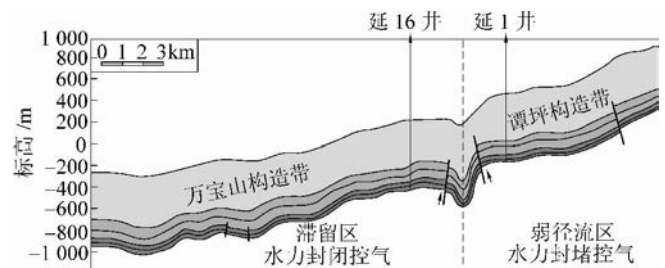


图3 延川南水文地质单元剖面图

Fig. 3 Hydrogeological unit profile in Yanchuannan

延川南煤层气田2号煤含气量整体较高,由东往西随着埋深的增加含气量逐渐升高。谭坪构造带2号煤含气量5.54~10.45 m^3/t ,平均9.23 m^3/t ,万宝山构造带12.49~20.48 m^3/t ,平均15.3 m^3/t 。通过2号煤试井压力分析发现,2号煤储层压力与标高有很好的相关性,相关系数0.9025,好于与埋

深的相关性(图 4a), 含气量与标高的相关性也好于与埋深的相关性(图 4b)。说明含气量主要受构造-水文地质条件影响, 地下水水头压力封堵控制储层压力进而影响含气量, 而不是受埋深所产生的垂向压力控制。分析进一步证明万宝山构造带比谭坪构造带具有更好的煤层气富集条件。

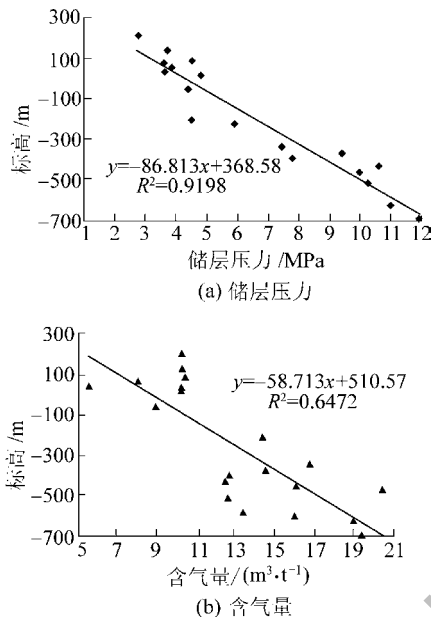


图 4 煤储层压力、含气量与标高的关系

Fig. 4 Relationship between reservoir pressure gas content and altitude graph

5 结 论

1) 燕山运动是控制延川南煤层气成藏的关键地质事件, 形成了现今的构造格局, 为煤层气成藏奠定了基础。研究区构造发育的差异性控制了区域水文地质边界及不同区域水文地质特征, 单斜构造与逆断层封堵决定了研究区发育 2 种不同的水文地质单元。

2) 通过煤层水质分析及储层压力分析, 结合构造特征研究分析认为, 万宝山构造带与谭坪构造带分属不同的水文地质单元, 具有不同的控气特征, 万宝山构造带属于滞留区, 水力封闭控气; 谭坪构造带属于弱径流区, 水力封堵控气。万宝山构造带的煤层气赋存条件优于谭坪构造带。

参考文献:

[1] 冯三利, 叶建平, 张遂安. 鄂尔多斯盆地煤层气资源及开发潜力分析[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 658-662.
Feng Sanli, Ye Jianping, Zhang Suian. Coalbed methane resource in

the Ordos basin and its development potential[J]. Geological Bulletin of China 2002, 21(1): 658-662.

- [2] 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): 37-40.
Liu Xinshe, Xi Shengli, Zhou Huanshun. Features of upper Paleozoic coalbed methane reservoir in eastern Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration 2007, 35(1): 37-40.
- [3] 孙钦平, 王生维. 大宁-吉县煤区含煤岩系沉积环境分析及其对煤层气开发的意义[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 874-879.
Sun Qinqing, Wang Shengwei. The deposit environment analysis of the coal-bearing strata and its significance to the coalbed methane development in Daning-Jixian region[J]. Natural Gas Geoscience 2006, 17(6): 874-879.
- [4] 晋香兰, 张培河, 吴敏杰. 鄂尔多斯盆地低煤阶煤储层孔隙特征及地质意义[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(10): 22-26.
Jin Xianglan, Zhang Peihe, Wu Minjie. Pore features and geological significance of low rank coal reservoirs in Ordos Basin[J]. Coal Science and Technology 2012, 40(10): 22-26.
- [5] 郭涛, 王运海. 延川南煤层气田 2 号煤层煤体结构测井评价及控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(3): 22-25.
Guo Tao, Wang Yunhai. Evaluation of logging of coal texture of seam 2 in Yanchuannan gas field and analysis of its main controlling factors[J]. Coal Geology & Exploration 2014, 42(3): 22-25.
- [6] 接铭训. 鄂尔多斯盆地东缘煤层气勘探开发前景[J]. 天然气工业, 2010, 30(6): 1-6.
Jie Mingxun. Prospects in coalbed methane gas exploration and production in the eastern Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 1-6.
- [7] 姜波, 秦勇, 琚宜文, 等. 煤层气成藏的构造应力场研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(5): 564-569.
Jiang Bo, Qin Yong, Ju Yiwen, et al. Research on tectonic stress field of generate and reservoir of coalbed methane[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(5): 564-569.
- [8] 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.
- [9] 赵少磊, 朱炎铭, 曹新款, 等. 地质构造对煤层气井产能的控制机理与规律[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 108-111, 116.
Zhao Shaolei, Zhu Yanming, Cao Xinkuan, et al. Control mechanism and law of geological structure affected to production capacity of coal bed methane well[J]. Coal Science and Technology 2012, 40(9): 108-111, 116.
- [10] 王琳琳, 姜波, 屈争辉. 鄂尔多斯盆地东缘煤层含气量的构造控制作用[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(1): 14-24.
Wang Linlin, Jiang Bo, Qu Zhenghui. Structural control on gas

(下转第 103 页)

割头上截齿的实际工作过程,适用于截齿截割破岩试验研究。

2) 截齿与岩石相互作用过程中,大块岩屑剥落瞬间对应的截割力可减小至 0,岩体在截齿作用下的失效形式为跃进式破碎。定相关截割试验条件下,法向力和切向力与切削深度呈线性相关,侧向力受切削深度的影响不显著。

3) 截槽的对称性导致截齿转动性能降低,磨损主要集中于硬质合金锥面的较小区域范围内,并造成试验数据中的法向力峰值降低。

参考文献:

- [1] Evans I. A theory of the basic mechanics of coal ploughing [J]. Proceedings of the International Symposium on Mining Research, 1962(2): 761 - 798.
- [2] Evans I. A theory of the cutting force for point - attack picks [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 1984(1): 63 - 71.
- [3] Gökten R M. A suggested improvement on evans' cutting theory for conical bits [C] // Proceedings of the Fourth International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Brisbane, Queensland, 1997(1): 44 - 57.
- [4] Gökten R M. Gunes N. Semi - empirical approach to cutting force prediction for point - attack picks [J]. Js Afr Inst Min Metall, 2005, 105: 257 - 263.
- [5] Roxborough F F, Liu Z C. Theoretical considerations on pick shape in rock and coal cutting [C] // Proceedings of the Sixth Underground Operator's Conference, Kalgoorlie, 1995: 189 - 193.
- [6] Bilgin N, Demircin M A, Copur H *et al.* Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 43(1): 139 - 156.
- [7] Copur H, Bilgin N, Tuncdemir H *et al.* Set of indices based on indentation tests for assessment of rock cutting performance and rock properties [J]. Journal - South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003, 103(9): 589 - 599.
- [8] Nishimatsu Y. The mechanics of rock cutting [C] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Pergamon, 1972(2): 261 - 270.
- [9] 李晓谿. 掘进机截割的关键技术研究 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 87 - 94.
- [10] 张梦奇. 基于截齿轨迹确定掘进机截割头运动速度研究 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(8): 71 - 74.
- Zhang Mengqi. Study on cutting head moving speed of mine roadheader determined based on pick tracing [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(8): 71 - 74.
- [11] 张梦奇, 郝建生, 马健康, 等. 截齿对岩石截割机理试验平台: 中国, ZL201220560659. 9 [P]. 2012 - 10 - 30.
- [12] 徐小荷, 余静. 岩石破碎学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984: 191 - 194.
- [13] 张梦奇. 截齿排布螺旋线对纵向截割头性能的影响 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(12): 84 - 88.
- Zhang Mengqi. Influence of pick arrangement for spiral line on longitudinal cutting head performance [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(12): 84 - 88.
- [14] Meng Zhaoping, Tian Yongdong, Lei Yang. Prediction models of coal bed gas content based on BP Neural Networks and its applications [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(4): 456 - 461.
- [15] 李清. 延川南煤层气藏水文地质特征与产能关系 [J]. 大庆石油地质与开发, 2014, 33(2): 170 - 174.
- Li Qing. Relationship between the hydrogeological characteristics and productivity for the CBM reservoirs in southern Yanchuan [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2014, 33(2): 170 - 174.
- [16] 叶建平, 武强, 王子和. 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用 [J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 459 - 462.
- Ye Jianping, Wu Qiang, Wang Zhihe. Controlled characteristics of hydrogeological conditions on the coalbed methane migration and accumulation [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(5): 459 - 462.

(上接第 169 页)

content distribution in eastern margin of Ordos Basin [J]. Coal Geology & Exploration, 2013, 41(1): 14 - 24.

- [11] Liu Xingkui, Yang Shuzhao. Three - dimensional numerical simulation of methane drainage by high - level drill holes in a lower protective coal seam with a "U" type face [J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2014, 1(4): 434 - 440.
- [12] 张飞燕, 李理, 王立志. 延川南地区构造研究及其对煤层气勘探潜力的影响分析 [J]. 煤, 2012, 21(9): 51 - 53.
- Zhang Feiyan, Li Li, Wang Lizhi *et al.* Structure research and its effects on exploration of coal methane in Yanchuannan [J]. Coal, 2012, 21(9): 51 - 53.
- [13] 孟召平, 田永东, 雷旸. 煤层含气量预测的 BP 神经网络模型与应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(4): 456 - 461.