

文章编号: 1001-6112(2008)01-0037-04

# 鄂尔多斯盆地神木地区上古生界 煤储层特征及含气潜力

薛军民<sup>1,2</sup>, 高胜利<sup>2</sup>, 高鹏<sup>2</sup>

(1. 西北大学地质学系, 西安 710069; 2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司, 西安 710075)

**摘要:**通过对鄂尔多斯盆地神木地区上古生界含煤岩系中煤储层的纵横向分布、宏观煤岩类型、微观煤岩组分、孔隙结构与渗透性、镜质体反射率和吸附性能等方面特征的研究,认为:煤层总厚呈东厚西薄、南北薄的分布特点,煤层厚度满足煤层气开发的要求;多为半亮煤,仅东部边缘地带以半暗煤为主,表现为低含水、中等灰分含量和高挥发分含量的烟煤;煤岩显微组分中,镜质组含量最高,其次为惰质组;孔隙类型以微孔、过渡孔为主。研究区从北向南,煤级逐渐升高,整体表现为低—中煤级;煤的吸附能力较强,煤层气具有饱和、过饱和特征,煤层含气潜力大。最后指出,本区具有煤层气勘探开发的储层条件,含气潜力较大。

**关键词:**煤层气;含气量;煤储层;神木地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## CHARACTERISTICS OF THE UPPER PALEOZOIC COAL RESERVOIR AND ITS GAS-BEARING POTENTIAL IN SHENMU, THE ORDOS BASIN

Xue Junmin<sup>1,2</sup>, Gao Shengli<sup>2</sup>, Gao Peng<sup>2</sup>

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** Studies of longitudinal and horizontal distribution of coal reservoir, macroscopic petrographic types, microcosmic petrographic component, pore configuration and permeability, vitrinite reflectance as well as absorbability in coal-bearing formation of Neopaleozoic in Shenmu area of the Ordos Basin indicate that, coal beds are thicker in the east and west, but thinner in the north and south. Coal bed thickness satisfies the demand of coal seam gas development. Most coal is semi-bright. Semi-dull coal distributes mainly in the eastern margin, characterized by low water cut, medium ash content and high vaporization. Vitrinite takes the first place in petrographic micro-petrological units, and the second is inertinite. Pores are mainly micropores and intermediate pores. Degree of coalification is ascending from north to south in the region of interest, showing low-medium degree entirely. Adsorptive capacity is relatively strong and coal seam gas is saturated, even oversaturated, displaying tremendously potential. Reservoir conditions are qualified for exploration and development of coal seam gas.

**Key words:** coal seam gas; gas content; coal reservoir; Shenmu area; the Ordos Basin

神木地区位于鄂尔多斯盆地东部北段,横跨晋西挠褶带和伊陕斜坡两大构造单元,包括陕西省的神木、府谷县和山西省的河曲、保德县,南北长 90 km,东西长 127 km,煤层气勘探面积为 11 430 km<sup>2</sup>,资源丰富<sup>[1]</sup>。本区东部边缘煤层埋

深小于 800 m 的区域,煤田勘探程度较高;埋深大于 800 m 的地段,是勘探空白区。研究区是鄂尔多斯盆地煤层气勘探的新区域<sup>[2,3]</sup>,2003 年 4 月中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司在孤山地区孤 1 井对煤层进行绳索取心,测取煤

收稿日期: 2006-12-30; 修订日期: 2008-01-08。

作者简介: 薛军民(1961—),男,博士生,高级工程师,主要从事油气勘探开发研究。E-mail: xuejunmin1@163.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB2146000)。

层含气量及其他参数,从此开始了本区煤层气的探勘研究工作。

### 1 煤层分布特征

#### 1.1 煤层埋深及纵向分布特征

该区山西、太原组共有煤层 10 层,从上到下依次命名为 1#~10#,其中,5# 及 8# 煤层是本区的重点煤层。

煤层埋藏深度受构造控制,总体呈东浅西深分布特征。5# 煤层埋深范围 0~2 200 m,黄河以东有 2/3 的地段煤层埋深均小于 1 500 m,而在黄河以西,5# 主煤层埋深均大于 1 500 m。8# 煤层埋深平面分布形态与 5# 煤层相同,仅在同一井点或同一地点埋深比 5# 煤层深 30~60 m。鄂尔多斯盆地历年煤层气研究成果认为,煤层气综合评价的煤层埋深范围应定在 300~1 500 m,已被中联煤层气有限责任公司及国外公司认同并被广泛采用。

#### 1.2 煤层厚度及横向分布特征

5# 煤层厚度 3~10 m,受南北向三角洲平原分流河道控制,发育 2 个自北向南呈条带状分布的煤层厚带,厚带之间砂体较发育。东部河曲—贾家崓—孤 1 井以东的厚煤层带,煤层单层厚度 5~10 m,在 ZK4008 井区 5# 煤层局部厚度最大,达 11.8 m,该带分布面积较大。西部庙沟—刘家村以西也分布有一个厚带,煤层单层厚度 5~7 m,分布面积相对较小。8# 煤层厚度 5~15 m,受潮坪分布区域控制,东部沿黄河以东大部分地区厚度 10~15 m,庙沟—永兴—神木以西地区有一个厚带,盟 5 井最厚可达 13 m。

神木地区煤层总厚呈东西厚、南北薄的分布特点。5# ,8# 主力煤层厚度均大于 3 m,东西部煤层总厚均在 10 m 以上,说明煤层厚度满足煤层气勘探开发的要求<sup>[4]</sup>。

### 2 煤储层特征

#### 2.1 煤岩煤质特征

根据煤中宏观煤岩成分的组成状况及煤层剖面上的相对平均光泽强度,将宏观煤岩类型划分为 4 种:光亮煤、半光亮煤、半暗煤和暗淡煤。神木地区从北向南光亮煤、半亮煤含量逐渐增加,半暗煤含量逐渐减少。本区多为半亮煤,沿东部边缘地带以半暗煤为主。

据煤岩工业分析结果(图 1),水分含量为 0.63%~2.92%,平均为 1.03%,且 5# 煤层平均水分含量比 8# 煤层高 1.54%。煤的灰分含量主

要来自煤中的无机组分,区内煤岩灰分含量为 15%~25%,平均为 19.3%,属中灰煤,反映孔隙度较好,较有利于煤层气富集。挥发分含量受煤的成因类型、煤化程度、煤岩成分控制,为 19.93%~31.12%,区内自北向南逐渐降低,主要是由热演化程度增加所致。本区煤岩为低含水、中等灰分含量和高挥发分含量的烟煤。

#### 2.2 煤岩显微组分特征

本区除黄河以东地区属微三组混合煤外,其他地区都是微镜惰煤,东北部的骆驼也矿和准格尔旗的保德 1 井煤岩镜质组含量均小于 60%,向南至保德—孙家沟矿增大到 82%,其间局部高低略有变化(图 2)。

本区镜质组含量最高,其次为惰质组。镜质组是煤中的主要组分,其生烃能力和吸附能力均大于惰质组。对于煤岩来说,镜质组含量越高,说明煤质越好,煤岩裂缝较发育,对煤层气扩散有利,同时反映该区具备了富产煤层气的主要因素<sup>[5]</sup>。

#### 2.3 煤岩储集物性特征

##### 2.3.1 孔渗特征

本区孤 1 井区 5# 煤层和 8# 煤层的孔隙度为 2.2%~5.0%,其他地区均为 6.90%~9.33%,个别

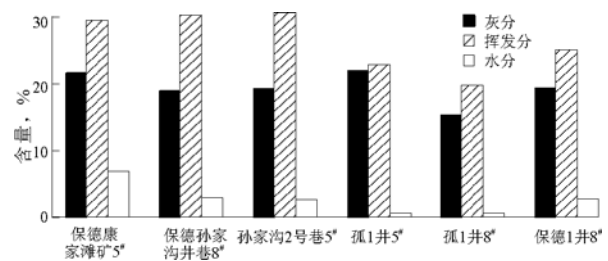


图 1 鄂尔多斯盆地神木地区煤岩工业分析

Fig. 1 Industrial analysis of bituminous coal in Shenmu area, the Ordos Basin

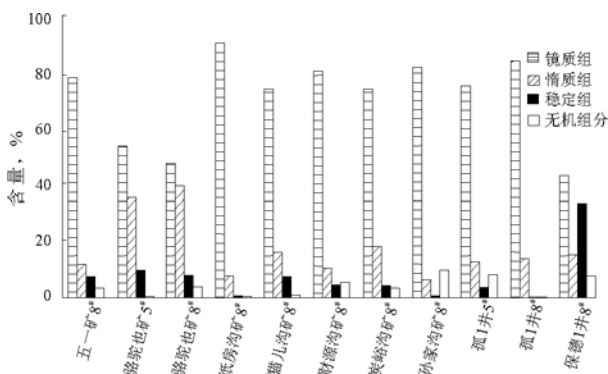


图 2 鄂尔多斯盆地神木地区煤岩显微分析

Fig. 2 Petrographic microanalysis of coal in Shenmu area, the Ordos Basin

煤样孔隙度可达 12%，为中—高孔煤层。孤 1 井区煤层渗透率小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，其他地区为  $(1 \sim 5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，为中孔渗层。本区具有随煤层埋深（煤阶）增大，孔渗条件变差的特点。

### 2.3.2 微观孔隙结构

孤 1 井 8 块煤样的比表面和孔径测量值显示，该区煤岩的比表面较小，为  $0.135 \sim 0.400 \text{ m}^2/\text{g}$ ，平均为  $0.2818 \text{ m}^2/\text{g}$ ，孔径为  $7.5 \sim 11.21 \text{ nm}$ ，平均为  $9.89 \text{ nm}$ 。孤 1 井吸附等温线及孔径曲线（8<sup>#</sup>煤层）（图 3）表明，在低压时吸附量增加较快或缓慢，孔径曲线为双峰型，且微孔部分的峰值较高，说明微孔和过渡孔均较发育，以微孔为主。压汞曲线显示孤 1 井煤岩样品为孔隙型（图 4），随压力增大，进汞量增加缓慢，说明是孔隙进汞，表现出排驱压力大、中值压力大的特点。

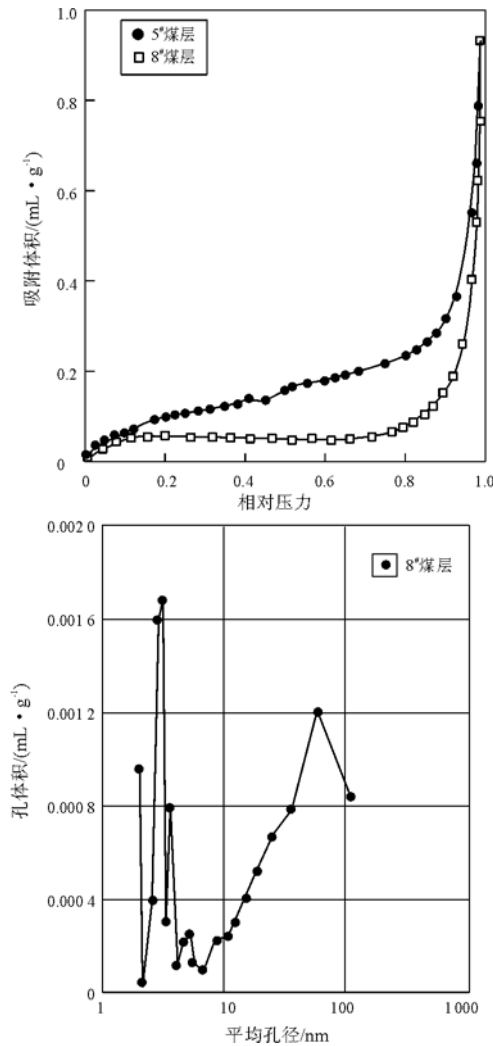


图 3 鄂尔多斯盆地神木地区孤 1 井吸附等温线和孔径分布曲线

Fig. 3 Curves of adsorption isotherm and aperture distribution in Well Gu1, Shenmu area, the Ordos Basin

### 2.4 煤化程度

煤化程度与煤层埋深、温度及压力等条件有关。温度越高，煤化程度也越高。压力对煤岩热演化的影响是间接的，随压力升高，地层温度亦升高，从而使得煤化程度升高，因此煤化程度也被称为煤岩热演化程度。镜质体反射率值 ( $R_o$ ) 是反映煤岩热演化程度的重要参数，是划分煤级的主要参数之一<sup>[6]</sup>。

区内在黄河两岸府谷—贾家岭北部地区  $R_o$  偏低，保德—孙家沟地区  $R_o$  略高。8<sup>#</sup> 煤层  $R_o$  从北 ( $R_o < 0.7\%$ ) 向南 ( $R_o > 1.2\%$ ) 递增，同一资料点，5<sup>#</sup> 煤层  $R_o$  比 8<sup>#</sup> 煤层小  $0.1\% \sim 0.3\%$ （图 5）。区内发育长焰煤、气煤、肥煤和焦煤，从北向南煤级逐渐升高，为低—中煤级煤分布区<sup>[1]</sup>。

## 3 煤层含气性分析

### 3.1 煤的吸附性

煤的等温吸附曲线反映了在一定温度（通常

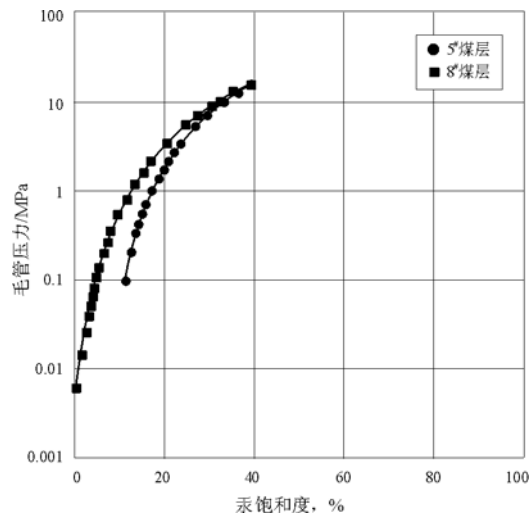


图 4 鄂尔多斯盆地神木地区孤 1 井压汞曲线特征  
Fig. 4 Feature of mercury injection curve of Well Gu1 in Shenmu area, the Ordos Basin

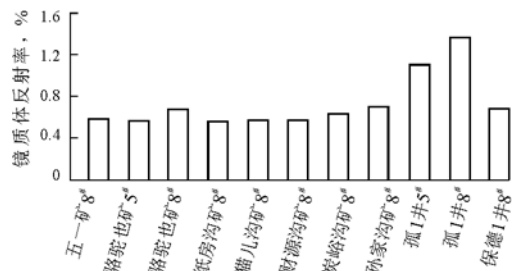


图 5 鄂尔多斯盆地神木地区镜质体反射率特征  
Fig. 5 Feature of vitrinite reflectance in Shenmu area, the Ordos Basin

为煤储层温度)、不同压力下煤层吸附甲烷的能力,煤对甲烷气体的吸附性能决定了煤层的储集能力和煤层气产出能力。据等温吸附实验测定(图6),煤样品的兰氏体积一般为4.71~18.49 cm<sup>3</sup>/t,平均为12.425 cm<sup>3</sup>/t,说明煤层有一定的吸附能力,具备一定的开发潜力;兰氏压力1.27~4.60 MPa,平均为3.045 MPa,较大的兰氏压力对煤层气开发有利。

### 3.2 煤层含气性特征

煤层气含量为损失气、解吸气和残余气含量3部分之和<sup>[7]</sup>。据煤层含气量测定综合图(图7),本区煤层气中解吸气含量为76.37%~97.45%,平均为87.67%;损失气含量为1.60%~22.82%,平均为11.11%;残余气含量为0.77%~1.40%,平均为1.19%,反映了我国煤层气解吸特征<sup>[8]</sup>。

煤层随深度增加含气量增加,浅部5<sup>#</sup>煤层含气量为5.71~9.71 m<sup>3</sup>/t,平均为8.35 m<sup>3</sup>/t;8<sup>#</sup>煤层含气量为8.23~19.95 m<sup>3</sup>/t,平均13.90 m<sup>3</sup>/t。高含气饱和度是本区煤储层的显著特点,浅部5<sup>#</sup>煤层含气饱和度为57%~99%,达到近饱和状态;而深部8<sup>#</sup>煤层上部煤段含气饱和度为45%~82%,底部煤段含气饱和度超过100%,具有超饱和和含气特征。

## 4 煤层含气潜力

制约煤层气含量的因素较多,李小彦等<sup>[8]</sup>认为主要受控于煤级,张建博等<sup>[9]</sup>认为影响煤层气含量的主要因素是煤层厚度、煤阶以及构造复杂程度,王生维等<sup>[10]</sup>认为制约煤层气勘探选区的关键并非煤级,而是渗透率和含气饱和度。

本区为低—中煤级煤,各区煤中镜质组含量较高,中煤阶煤分布区无疑是煤层气勘探的有利地

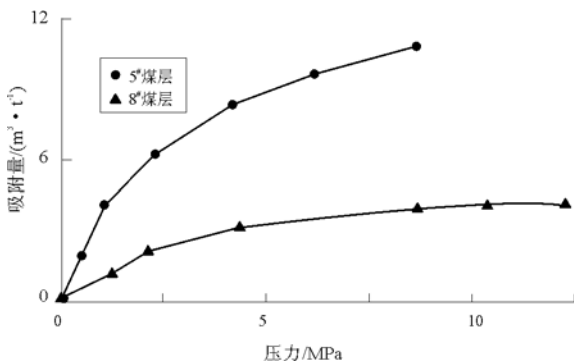


图6 鄂尔多斯盆地神木地区孤1井等温吸附曲线特征  
Fig.6 Curves of isothermal adsorption in Well Gul1, Shenmu area, the Ordos Basin

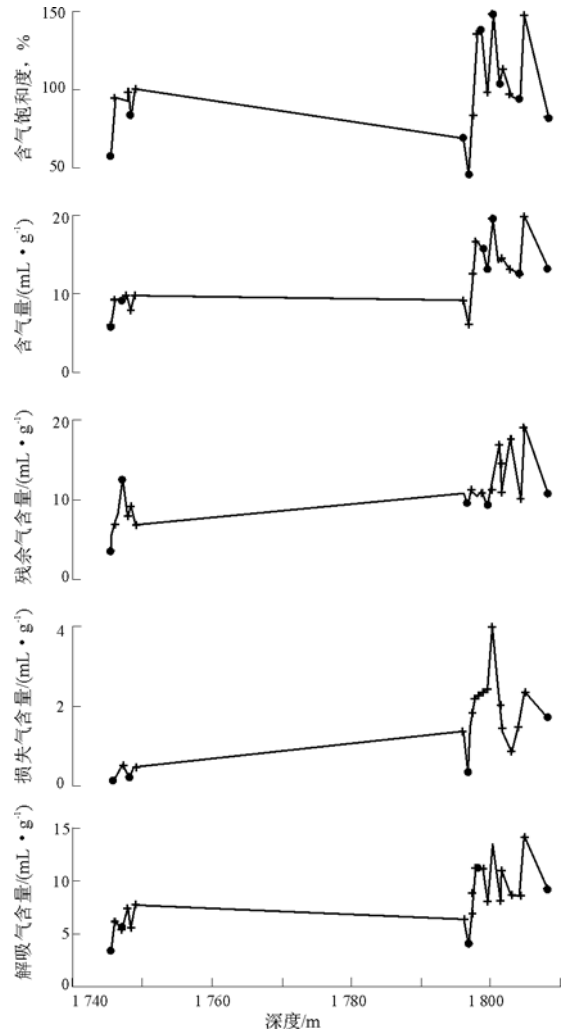


图7 鄂尔多斯盆地神木地区孤1井含气性  
Fig.7 Synthesis map of gas-bearing ability of Well Gul1 in Shenmu area, the Ordos Basin

区<sup>[11]</sup>;但低煤阶煤分布区煤层厚度较大而稳定、孔渗条件好,含气饱和度高(孤1井区浅层煤层气含气饱和度已接近饱和,而深层含气饱和度已处于过饱和状态),所以即使是低煤级煤层仍可采出商业性气量<sup>[9,10]</sup>,据煤层气含气量分级标准<sup>[9]</sup>,含气潜力中—好。

## 5 结论

研究区具备煤储层勘探开发的储层条件,煤层含气潜力大。具有以下特征:煤层总厚呈东西厚、南北薄的分布特点,煤层厚度满足煤层气勘探开发的要求;工业分析显示,多为半亮煤,东部边缘地带以半暗煤为主,表现为低含水、中等灰分含量和高挥发分含量的烟煤;煤岩显微组分中,镜质组含量最高,其次为惰质组;煤层具有中—高孔渗的物性

(下转第46页)

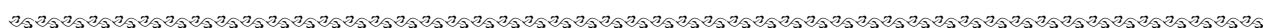
中生界—新生界的多套地层,剖面上大多是高角度断层,但是延伸较短,规模小,形成时间较晚,以喜山期为主。相对于应力分析、模糊综合评判和非线性映射等断层封闭性方法,泥岩涂抹方法在研究区更具优势,研究结论与实际相匹配。通过对多条断层的  $R_m$ , SGR 值的分析与计算,认为大多数断层在塔西河组垂向封闭,具“下开上闭”特征,第三系为重要的输导层。在以上理论研究的基础上指导油气勘探,收到了良好效果。

参考文献:

1 董臣强,孙自明,洪太元. 准噶尔盆地南缘前陆褶皱冲断带构造滑脱层厘定[J]. 石油实验地质,2007,29(2):138~142  
 2 王离迟,洪太元,江 洪. 强振幅地震属性分析技术在车排子地区油气检测中的应用[J]. 新疆地质,2006,24(3):310~313  
 3 洪太元,王离迟,张福顺等. 准噶尔盆地西缘车排子地区地层沉积特征[J]. 中国西部油气地质,2006,2(2):164~167  
 4 鲁 兵,丁文龙,刘 忠等. 断层封闭性研究进展[J]. 地质科技情报,1998,17(3):75~80

5 张永华,贾曙光,杨春峰等. 断层封堵性的应用研究[J]. 石油物探,2001,40(4):83~88  
 6 王 斌,袁月琴,周江羽等. 塔里木盆地雅—轮地区断层封堵性研究[J]. 石油实验地质,2006,28(5):30~35  
 7 吕延防,付 广. 断层封闭性研究[M]. 北京:石油工业出版社,2002  
 8 王德海,郭 峰,任国选等. 松辽盆地东南隆起区断层与油气运移及成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(4):29~33  
 9 吕延防,李国会,王跃文等. 断层封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报,1996,17(3):39~45  
 10 白新华,罗 群. 断层封闭性评价研究[J]. 大庆石油学院学报,1998,22(1):89~93  
 11 何 伟. 断层封堵性的三级评价方法[J]. 油气地质与采收率,2005,12(2):27~29  
 12 鲁雪松,蒋有录,吴 伟. 对断层开启机制的再认识[J]. 油气地质与采收率,2004,11(6):11~13  
 13 杨 勇,邱贻博,查 明. 用模糊综合评判方法研究断层封闭性:以高邮凹陷陈堡地区为例[J]. 新疆石油地质,2005,19(1):102~104  
 14 Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin,1997,81(6):987~997

(编辑 韩 或)

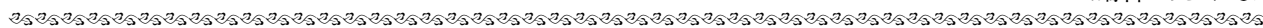


(上接第 36 页)

3 马安来,张水昌,张大江等. 轮南、塔河稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):31~38  
 4 贾存善,马旭杰,饶 丹等. 塔河油田奥陶系油田水同位素特征及地质意义[J]. 石油实验地质,2007,29(3):292~297  
 5 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相碳酸盐岩储集岩特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):217~223  
 6 高 波,刘文汇,范 明等. 塔河油田成藏期次的地球化学示踪研究[J]. 石油实验地质,2006,28(3):276~280  
 7 张水昌,梁狄刚,张宝民等. 塔里木盆地海相油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社,2004.45~47  
 8 范小林,邱蕴玉,鲍新毅. 塔里木盆地轮南—阿克库勒地区地质构造及油气成藏与勘探目标[J]. 石油实验地质,1996,21(2):

132~136  
 9 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质,2000,22(4):307~312  
 10 刘大锰,金奎励,王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因[J]. 现代地质,1999,13(2):169~175  
 11 刘洛夫,赵建章,张水昌等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J]. 沉积学报,2000,18(3):475~479  
 12 吕修祥. 塔里木盆地塔中低凸起志留系油气成藏机理初探[J]. 石油实验地质,1997,19(4):328~331  
 13 贾承造. 塔里木盆地构造演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997  
 14 陈元壮,刘洛夫,陈利新等. 塔里木盆地塔中、塔北地区志留系古油藏的油气运移[J]. 地球科学,2004,29(4):473~482

(编辑 吴传芝)



(上接第 40 页)

特征,孔隙类型以微孔、过渡孔为主;从北向南,煤级逐渐升高,整体表现为低—中煤级;煤的吸附能力较强,煤层气具有饱和、过饱和特征,煤层含气潜力大。

参考文献:

1 刘新社,席胜利. 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  
 2 付金华,魏新善,任军峰等. 鄂尔多斯盆地天然气勘探形势与发展前景[J]. 石油学报,2006,27(6):1~12  
 3 叶建平. 中国煤层气勘探开发进展综述[J]. 地质通报,2006,25(9~10):1074~1078  
 4 常象春,王明镇,郭海花. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产共存特征及其相关性[J]. 石油实验地质,2006,28(6):507~510  
 5 秦长文,庞雄奇,蒋 兵等. 吐哈盆地煤层气富集的地质条

件[J]. 天然气工业,2004,24(2):8~10  
 6 吴传荣,张 慧,李远虑. 西北早—中侏罗世煤岩煤质与煤变质研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995  
 7 张 群,杨锡禄. 煤中残余气含量及其影响因素[J]. 煤田地质与勘探,1999,27(5):26~28  
 8 李小彦,司胜利. 我国煤储层煤层气解吸特征[J]. 煤田地质与勘探,2004,32(3):27~29  
 9 张建博,王红岩. 中国煤层气地质[M]. 北京:地质出版社,2000  
 10 王生维,陈钟惠,张 明等. 煤层气地质学新进展[J]. 煤田地质与勘探,2002,30(5):20~22  
 11 王明寿,汤达祯,魏永佩等. 沁水盆地北端煤层气储层特征及富集机制[J]. 石油实验地质,2006,28(5):440~444

(编辑 韩 或)