

# 鄂尔多斯韩城地区 石炭—二叠系含煤沉积体系及其控气作用

王小洪, 刘大锰, 姚艳斌, 谢 忱

(煤层气开发利用国家工程研究中心煤储层实验室 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**鄂尔多斯韩城地区煤层气地质条件复杂, 含煤沉积体系特征是影响煤层气富集的重要因素之一。通过对韩城地区石炭—二叠系含煤沉积特征的研究, 发现太原组主要为潟湖—潮坪—障壁岛沉积和陆表海碳酸盐岩台地沉积, 山西组主要为河控三角洲沉积。从主要可采煤层的沉积相变、煤层厚度变化、煤岩物性变化及煤层顶底板封盖特征方面分析了沉积作用对煤层气富集的影响。研究表明: 3 号煤厚度较小, 甚至出现变薄尖灭的现象; 5 号煤在全区发育且厚度较大, 横向连续性好。煤层顶底板主要以泥岩、砂岩、粉砂岩为主, 其中以厚层泥岩为顶底板的结构稳定的煤层更有利于煤层气的富集成藏。白马滩镇以东地区为 2 套煤层的有利开发区块。

**关键词:** 煤层气; 含煤沉积体系; 控气条件; 韩城地区; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** TE132.2

**文献标识码:** A

## Carboniferous-Permian coal-bearing depositional system and its controlling role of coalbed methane in Hancheng area in Ordos Basin

Wang Xiaohong, Liu Dameng, Yao Yanbin, Xie Chen

(Lab of Coalbed Reservoir, National Engineering Research Center of Coalbed Methane Development & Utilization, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The geological conditions for coalbed methane are complicated in Hancheng area of the Ordos Basin. The characteristics of coal-bearing depositional system work as the main controlling factor for the enrichment of coalbed methane. According to the features of coal-bearing sediments in Carboniferous and Permian in Hancheng area, the Taiyuan Formation constitutes of lagoon-tidal-barrier island sedimentation and carbonate flat sedimentation while the Shanxi Formation constitutes of fluvial-dominated delta sedimentation. The changes of sedimentation, the thickness of coalbed, the petrophysical property and the lithology of roof and floor of coalbed are directly concerned to analyze the influence of sedimentary environment on CBM enrichment. The coalbed no.3 is thin and even pinches out locally. The coalbed no.5, which is thick and stable, is widespread in the study area. The roof and floor of coalbed are mainly mudstone, sandstone and siltstone. The coalbed with stable structure and thick mudstone as roof and floor is favorable for the enrichment and accumulation of coalbed methane. The area to the east of Baimatan town is the exploration target for 2 sets of coalbed.

**Key words:** coalbed methane; coal-bearing depositional system; controlling condition of coalbed methane; Hancheng area; Ordos Basin

不同沉积体系中, 含煤岩相的组合特征、煤层厚度及分布规律, 在很大程度上决定了煤层气生成的物质基础、煤储层物性和煤层气的保存和富集条件<sup>[1-6]</sup>。本文初步探讨了韩城地区上石炭统太原组和下二叠统山西组 2 种不同类型含煤沉积体系与控气作用的关系, 深化了对研究区煤层气富集控制机理的认识。

### 1 区域地质背景

研究区位于鄂尔多斯地块东南缘的渭北隆起带东段, 南临渭河地堑, 东至韩城大断裂。

早奥陶世, 鄂尔多斯全区发生广泛的海侵, 海水覆盖全区, 沉积了一套浅灰、深灰色厚层灰岩; 中奥陶世以后, 秦岭、祁连海槽发生褶皱, 整体抬升,

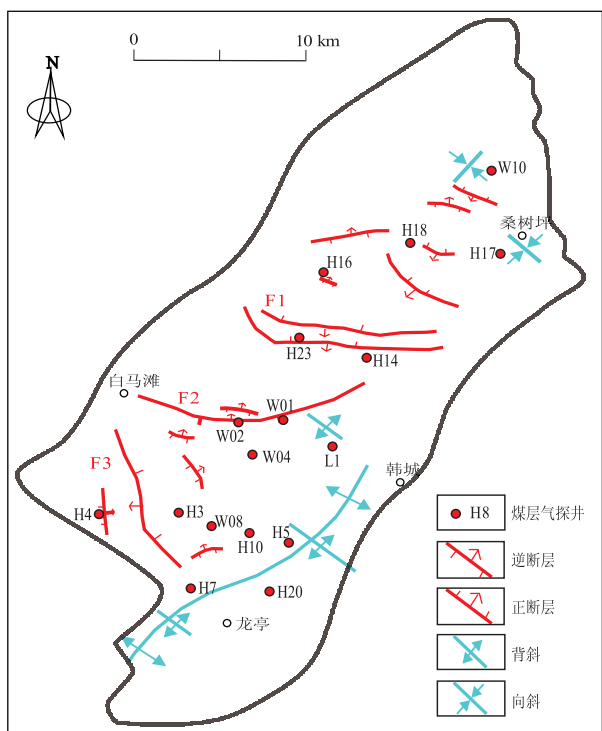


图1 鄂尔多斯盆地韩城矿区构造<sup>[7]</sup>  
F1.薛峰北断裂;F2.薛峰南断裂;F3.前高断裂

Fig.1 Structure sketch map in Hancheng area, Ordos Basin

使得沉积间断,石炭系地层直接覆盖在奥陶系基底之上。石炭系至侏罗系都有煤层的发育。白垩系沉积后,燕山运动导致区域受到强烈的挤压,在挤压构造背景下,较大的逆断层甚至逆掩断层发育,在挤压应力下形成三大断裂带(图1)。断层发育以及该地区在燕山运动后期所受的挤压应力使得地层抬升,从而使白垩系地层遭受较强烈的剥蚀。剥蚀之后的地层与上覆第三系地层出现一较大的不整合面,其后在其之上沉积了新生界地层。

## 2 含煤沉积体系特征

韩城地区太原组与山西组之间以北岔沟砂岩为界存在一沉积体系转换面(图2)。在该界面之上,沉积体系由海陆交互相速转变为陆相沉积。

### 2.1 太原组沉积特征

太原组为潟湖—潮坪—障壁岛沉积体系。由于沉积时地壳振荡频繁,泥岩、砂岩、灰岩与煤交替沉积。根据岩性组合可划分为3个岩性段,旋回结构十分明显(图2)。

第1段主要发育黏土岩、砂质泥岩、粉砂岩。底部以潟湖相的铝质泥岩或砂岩为主,较稳定,在全区普遍分布。上部由潮坪相的泥岩、砂质泥岩或潮汐三角洲石英砂岩、粉砂岩组成。潮汐三角洲与

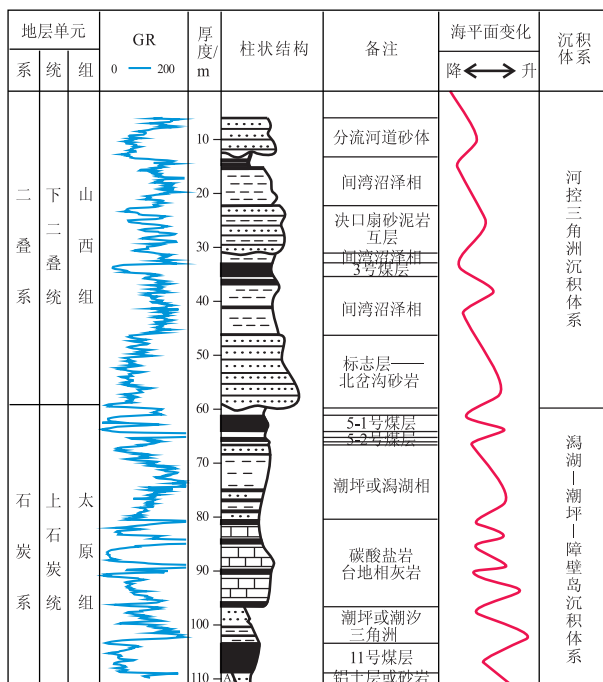


图2 鄂尔多斯盆地韩城矿区沉积体系垂向叠置  
Fig.2 Vertical sequences of depositional systems in Hancheng area, Ordos Basin

潟湖沉积共生,层序上具有向上变薄、变细的特点,其间发育11号煤层。

第2段以灰岩第一分层为起点,以灰岩顶部的薄煤层为终点。沉积物以中厚层海相生物碎屑灰岩及钙质泥岩为主,兼有少量泥岩、石英砂岩、粉砂岩,含数层不稳定的薄煤层。石灰岩横向连续性较好,在研究区内普遍发育,一般1~3层,分岔现象普遍。本段石灰岩主要形成于浅陆表海环境。此为典型的碳酸盐岩台地相沉积特征。

第3段以灰黑色粉砂岩、砂质泥岩、泥岩为主。以灰岩顶部的薄煤层为起点,以5号煤为终点,其间主要发育潟湖相、潮坪相或滨海沉积,仅在研究区中东部L1井附近发育障壁岛滩沉积。障壁岛滩是障壁岛的重要组成部分,以中—细粒砂岩为主,岩性致密(图3)。

太原组主要沉积层序为:铝质泥岩或砂岩(潟湖)—煤—泥岩或砂质泥岩(潮坪)—石灰岩(碳酸盐岩台地)—灰黑色粉砂岩或泥岩(潟湖、潮坪或滨海)—煤。局部沉积层序为:铝质泥岩或砂岩(潟湖)—煤—石英砂岩或粉砂岩(潮汐三角洲)—石灰岩(碳酸盐岩台地)—灰黑色粉砂岩或泥岩(潟湖、潮坪或滨海)—煤。

### 2.2 山西组沉积特征

山西组为本区另一重要含煤地层,属陆相沉积。本组岩性以各粒级的砂岩、粉砂岩为主,泥岩、

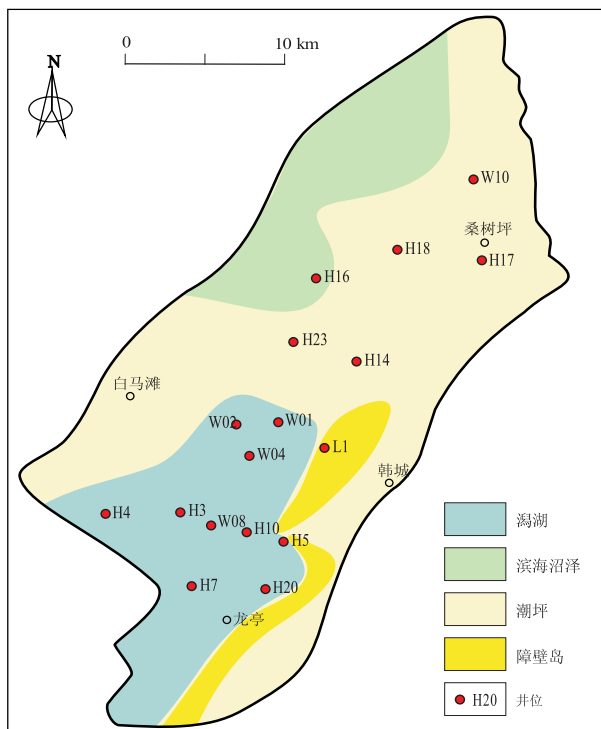


图 3 鄂尔多斯盆地韩城矿区太原组第 3 段沉积相

Fig.3 Sedimentary facies of 3rd part of Taiyuan Formation in Hancheng area, Ordos Basin

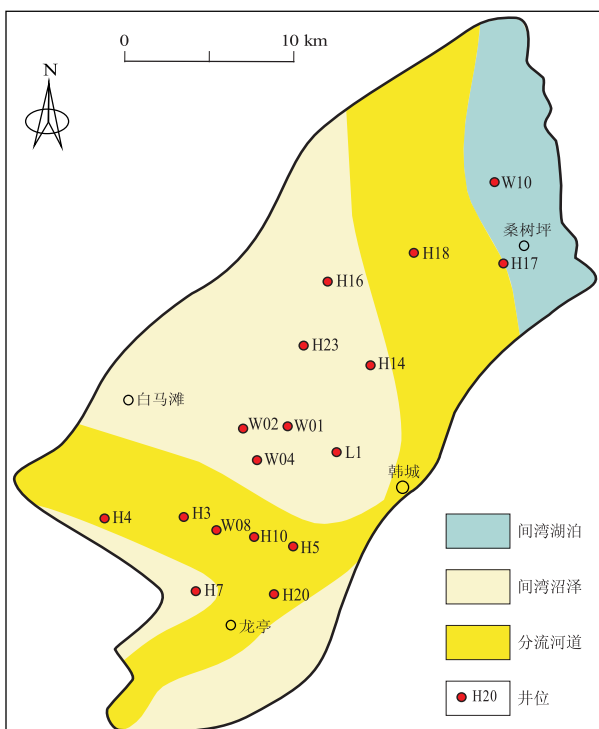


图 4 鄂尔多斯盆地韩城矿区山西组中部沉积相

Fig.4 Sedimentary facies of middle Shanxi Formation in Hancheng area, Ordos Basin

砂质泥岩、碳质泥岩次之。山西组含煤 1~4 层。3 号煤层赋存于山西组中部,为本区主要可采的较稳定煤层。

山西组的底部一般发育北岔沟砂岩,为三角洲平原分流河道砂体。垂向上可见多期河道的发育,河道以中—细粒砂岩为主,为向上变细的正韵律序列。河道间主要为间湾沼泽沉积,由泥岩、砂质泥岩、粉砂岩组成,夹数量不等的薄煤层。3 号煤层就是由分流河道间的泥炭沼泽转化而来。局部地区河道之上发育决口扇或间湾湖泊沉积,决口扇以细砂岩、粉砂岩为主,可见砂泥互层。间湾湖泊以暗色泥岩为主,主要发育于研究区东北部的桑树坪一带(图 4)。

山西组主要为河控三角洲沉积体系,且三角洲平原组合和三角洲前缘组合十分发育,前三角洲组合不甚发育。典型的沉积层序为:三角洲分流河道—间湾沼泽(间湾湖泊)—煤—间湾沼泽—决口扇—间湾沼泽—分流河道。

### 3 沉积体系对煤层气富集成藏的影响

沉积环境对煤层气富集成藏的影响主要为以下 3 个方面:(1)不同的沉积环境下煤层厚度与结构各异;(2)对煤岩、煤质的控制;(3)对煤层顶底板岩性的控制,从而影响煤层气的保存条件。

### 3.1 沉积环境对煤层厚度与结构的控制

研究区 5 号煤位于太原组顶部,在全区发育较稳定,煤厚在 2~8 m 之间,多在 3 m 以上,具东西分带、南北分区的特点。富煤带在 W08 井和 W10 井附近,往西北、东南向煤层厚度减薄(图 5)。5 号煤层的厚度变化与发育特征受其沉积环境的控制。

在太原组沉积晚期,由于地壳上升,全区发生大面积海退,海退之际留下大范围覆水环境,此时陆源供应少,活动碎屑体系废弃,从而使研究区内大部分沼泽化,进而形成泥炭沼泽沉积。但各地沼泽化进程并不均衡,在研究区结束早晚各异。5 号煤层最早在研究区北部滨海沉积的东侧发育,且由于海退过程中海岸线不断往东南向推移,泥炭沼泽持续发育。西南端的厚煤带由潟湖淤积而成,沼泽化在这一带结束最晚,泥炭沼泽发育时间最长。而南东向 5 号煤层明显分岔变薄,是由于整体海退过程中出现多期小规模的海侵,泥炭沼泽化进程不断受海水影响。在局部障壁岛滩沉积环境,如 L1 井附近,由于物质来源较丰富,沉积速度过快导致泥炭沼泽化现象不普遍,故煤层较薄。5 号煤层属结构较简单的煤层,一般含夹矸 1~2 层,夹矸厚度 0.5~1 m,且具有煤层厚度越大,夹矸层数越多的特点。

研究区 3 号煤位于山西组中部,煤厚主要集中在 0.8~2m 之间,中部厚,向南北两端趋于尖灭;

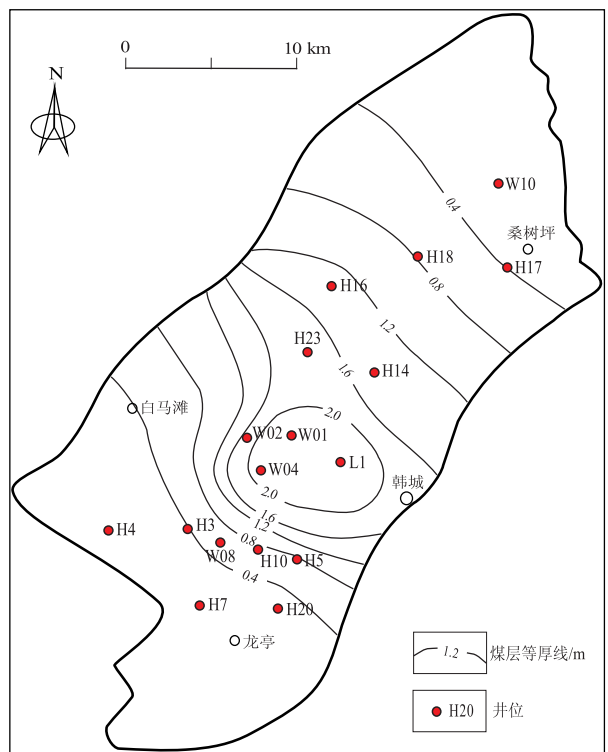
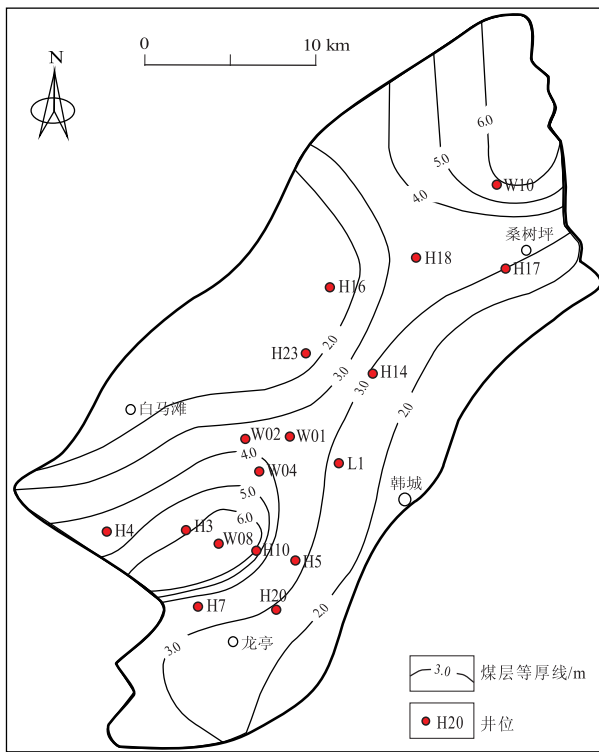


图5 鄂尔多斯盆地韩城矿区太原组5号煤厚度

Fig.5 Thickness of coalbed no.5 in Taiyuan Formation in Hancheng area, Ordos Basin

图6 鄂尔多斯盆地韩城矿区山西组3号煤厚度

Fig.6 Thickness of coalbed no.3 in Taiyuan Formation in Hancheng area, Ordos Basin

结构简单,一般不含夹矸。煤层主要发育于河控三角洲的分流河道间沉积环境。由于分流河道之间的漫滩地区利于植物生长、容易发生泥炭化作用,特别是在间湾沼泽相之上往往最先堆积泥炭沼泽,故形成的煤层厚度较大。从3号煤层厚度等值线(图6)可以看出,3号煤层的富煤带分布范围大致与三角洲朵叶体分布范围一致,表明煤层沉积时期的古环境总体上还处于受河控三角洲影响的淡水环境中。而在北部间湾湖泊这样的较深区域,可能主要是由于主河流的改道作用,导致本区分流河道废弃之后才逐渐泥炭沼泽化,泥炭沼泽发育时间相对较短,形成的煤层薄。

### 3.2 沉积环境对煤岩物性的控制

研究区5号煤以半亮型煤为主,次为半暗型煤。3号煤则以暗煤为主,为暗煤—半暗型煤。各煤层显微煤岩组分以镜质组为主,惰质组次之,壳质组含量很少。通过对覆盖全区5号煤层28个样品点的分析可知,该煤储层的灰分含量为7.11%~36.65%,平均为16.55%。全硫含量平均为1.64%,以中硫煤为主。对研究区3号煤层5个样品点的分析可知,该煤层的灰分为15.41%~43.6%,平均为27.67%。全硫含量平均为0.76%,属低硫煤。对比2套煤层,发现5号煤层的硫分高于3号煤层,

这主要是由成煤沉积环境决定。5号煤沉积环境为潟湖—潮坪—障壁岛—滨海沉积相,属海相咸水泥炭沼泽,海相成煤环境下的煤层受海水影响,煤硫分较高。3号煤层的成煤环境为河控三角洲间湾沼泽沉积,属陆相淡水泥炭沼泽,其硫分低于海相煤层硫分。

### 3.3 沉积环境对煤储层围岩的控制

煤层顶底板岩层的封盖性能对煤层气的保存和富集十分重要,良好的封盖层可以减少煤层气的运移及逸散。不同沉积体系中发育的不同顶底板类型具有不同的封盖能力。煤层上覆泥、页岩等直接盖层,平面上连续稳定分布,其上又有区域性盖层,对煤层气的保存最为有利。砂岩孔隙比较发育,渗透率较高,为煤层气逸散提供了良好的通道,对煤层气的封盖能力不如泥岩<sup>[8-9]</sup>。裂隙不发育的厚层灰岩、泥晶灰岩也是较好的封盖层<sup>[10-11]</sup>。

根据现有钻井资料,5号煤的泥岩、碳质泥岩顶板约占研究区的75%,砂岩、细砂岩顶板约占25%。5号煤的底板主要为泥岩、碳质泥岩。顶底板岩性展布与厚度受沉积相带的控制。全区5号煤从直接顶板以三角洲平原间湾沼泽相为主环境的白马滩镇向东,到以三角洲分流河道为主环境一带,煤储层平均含气量由25 m<sup>3</sup>/t降至9 m<sup>3</sup>/t。3号煤在白马滩

镇向东以间湾沼泽相为主环境,煤层顶底板主要为泥岩,煤储层含气量在 15~18 m<sup>3</sup>/t 之间;而在研究区东部以分流河道为主环境一线,煤层平均含气量不足 10 m<sup>3</sup>/t。

#### 4 结论

1) 韩城地区太原组主要发育潟湖—湖坪—障壁岛沉积和陆表海碳酸盐岩台地沉积,山西组为河控三角洲沉积。

2) 5 号煤形成于太原组沉积晚期,厚度较大,在全区发育稳定,厚煤带集中在东北端与西南端。3 号煤位于山西组中部,全区局部可采,富煤带分布范围与三角洲朵叶体分布范围一致。沉积环境同时控制着煤岩物性的变化和煤储层顶底板的岩性展布及厚度。总体而言,2 套主力煤层的有利开发区块为白马滩镇向东一带。

#### 参考文献:

[1] 陈震. 韩城—合阳地区下二叠统煤层气富集的沉积条件 [M]//中石油煤层气有限责任公司,中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司,编. 2010 年中国非常规天然气勘探开

发技术进展.北京:石油工业出版社,2011.

[2] 秦勇,傅雪海,傅国友,等.煤层气地质条件的沉积控制因素[M]//煤层气成藏机制及经济开发理论基础.北京:科学出版社,2005.

[3] 窦建伟,邵龙义,张鹏飞.河北省南部晚古生代含煤岩系层序地层研究[C]//层序地层学及其在油气勘探中的应用论文集.北京:石油工业出版社,1997:129-133.

[4] 贾建称.沁水盆地晚古生代含煤沉积体系及其控气作用[J].地球科学与环境学报,2007,29(4):374-382.

[5] 李明培,李智学,邵龙义,等.陕西省渭北煤田石炭—二叠系层序地层与聚煤作用研究[J].中国煤炭地质,2011,23(8):43-48.

[6] 赵庆波,孔祥文,赵奇.煤层气成藏条件及开采特征[J].石油与天然气地质,2012,33(4):552-560.

[7] Yao Yanbin, Liu Dameng, Qiu Yongkai. Variable gas content, saturation, and accumulation characteristics of Weibei coalbed methane pilot-production field in the southeastern Ordos Basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(8):1371-1393.

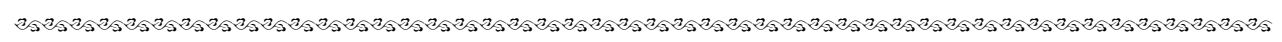
[8] 徐茂政,傅雪海.煤储层围岩成因类型划分及其封盖能力评述[J].江苏煤炭,1999,2(2):10-11.

[9] 秦勇,傅雪海,岳巍,等.沉积体系与煤层气储盖特征之关系探讨[J].古地理学报,2000,2(1):77-84.

[10] 傅家谟,刘德汉,盛国英.煤成烃地球化学[M].北京:科学出版社,1990.

[11] 刘占勇.白额勘探区含煤岩系沉积环境及其对煤层气富集的影响[J].河北工程大学学报:自然科学版,2012,29(2):53-57.

(编辑 黄娟)



(上接第 595 页)

[20] 邹才能.非常规油气地质[M].2 版.北京:地质出版社,2013.

[21] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密岩油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.

[22] Clarkson C R, Jensen J L, Pedersen P K, et al. Innovative methods for flow-unit and pore-structure analyses in a tight siltstone and shale gas reservoir[J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(2):355-374.

[23] Hildenbrand A, Urai J L. Investigation of the morphology of pore space in mudstones—first results[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(10):1185-1200.

[24] Slatt R M, Brien N R O. Pore types in the Barnett and Woodford gas shales: Contribution to understanding gas storage and migration pathways in fine-grained rocks[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(12):2017-2030.

[25] Chalmers G R, Bustin R M, Power I M. Characterization of gas shale pore systems by porosimetry, pycnometry, surface area, and field emission scanning electron microscopy transmission electron microscopy image analyses: Examples from the Barnett, Woodford, Haynesville, Marcellus and Doig units[J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(6):1099-1119.

[26] Ross D J K, Bustin R M. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs[J].

Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(6):916-927.

[27] Teige G M G, Hermanrud C, Rueslatten H G. Membrane Seal Leakage in Non-Fractured Caprocks by the Formation of Oil-Wet Flow Paths[J]. Journal of Petroleum Geology, 2011, 34(1):45-52.

[28] Macgregor D S. Factors controlling the destruction or preservation of giant light oilfields[J]. Petroleum Geoscience, 1996, 2(3):197-217.

[29] Okui A, Waples D W. Relative permeabilities and hydrocarbon expulsion from source rocks[C]//Dore A G, Augustson J H, Hermanrud C, et al, eds. Basin Modelling: Advances and Applications. Amsterdam: Norwegian Petroleum Society Conference, 1993:293-301.

[30] Hildenbrand A A, Ghanizadeh A, Krooss B M. Transport properties of unconventional gas systems[J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 31(1):90-99.

[31] 范昌育,王震亮.页岩气富集与高产的地质因素和过程[J].石油实验地质,2010,32(5):465-469.

[32] Ross D J K, Bustin R M. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the Western Canada sedimentary basin: Application of an integrated formation evaluation[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(1):87-125.

(编辑 黄娟)