

煤微相的控气作用分析与测井评价

敖旋峰^{1,2},刘迪仁^{1,2*},徐观佑^{1,2},郑佳佳³,许巍^{1,2},倪小威^{1,2}

(1.长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室,湖北 武汉 430100; 2.长江大学 地球物理与石油资源学院,湖北 武汉 430100; 3.武汉新业人力资源服务有限公司,湖北 武汉 430061)

摘要:煤微相与煤储层含气性密切相关,并决定煤的沉积环境和沉积物源,直接影响煤储层的生气潜力和赋存环境。从煤层厚度、煤岩物质组成和灰分产率3方面分析煤微相对煤储层含气性的控制作用,基于测井资料定量划分煤微相,进而预测煤储层产气前景。研究区3#煤层发育潮湿森林滞留沼泽相、干燥森林沼泽相、覆水森林活水沼泽相、湿地草本活水沼泽相和干燥草本沼泽相5种煤微相。潮湿森林滞留沼泽相、干燥森林沼泽相及覆水森林活水沼泽相煤储层有效厚度较大;覆水森林活水沼泽相物性相对较好;潮湿森林滞留沼泽相和湿地草本活水沼泽相灰分含量及夹矸相对较少。潮湿森林滞留沼泽相生气潜力强,干燥森林沼泽相、覆水森林活水沼泽相和湿地草本活水沼泽相生气潜力中等,干燥草本沼泽相生气潜力较弱。利用密度、自然伽马和自然电位等测井曲线可有效划分煤层有效厚度和夹矸厚度及灰分含量等特征参数,依据统计规律可匹配到对应的煤微相,进而有效评价煤储层含气性。

关键词:煤微相 含气性 储层评价 测井 沁水盆地

中图分类号:TE112.111

文献标识码:A

Analysis of coal microfacies controlled gas and logging evaluation

AO Xuanfeng^{1,2}, LIU Diren^{1,2}, XU Guanyou^{1,2}, ZHENG Jiajia³, XU Wei^{1,2}, NI Xiaowei^{1,2}

(1.Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 2.College of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 3.Wuhan Xinye Human Resources Service Co., Ltd., Wuhan City, Hubei Province, 430061, China)

Abstract: Coal microfacies are closely related to the gas-bearing properties of coal reservoirs, which determines the sedimentary environment and sedimentary source of coal and directly affects the potential of coalbed methane generation and the occurrence environment. The control effect of coal microfacies on coal reservoir gas-bearing properties was analyzed comprehensively from three aspects: coal seam thickness, coal reservoir physical property and ash yield. The coal microfacies was quantitatively divided to predict the gas production prospect of coal reservoir based on the logging data. In the study area, there are 5 kinds of coal microfacies in 3# coal seam, such as moist forest detained swamp facies, dry forest swamp facies, water-overlying forest living swamp facies, wet herbaceous living marsh facies and dry herbaceous marsh facies. The effective coal reservoir is thicker in moist forest detained swamp facies, dry forest swamp facies and water-covering forest living swamp facies. The physical property of water-overlying forest living swamp facies is relatively good. There are a little ash and gangue in moist forest detained swamp facies and wet herbaceous living marsh facies. The potential of gas generation in moist forest detained swamp facies is great, it is moderate in dry forest swamp facies, water-covering forest living swamp facies and wet herbaceous living marsh facies, and it is poor in dry herbaceous marsh facies. Density, natural gamma and natural potential logging curves can be used effectively to divide the effective thickness of coal seam, the thickness of gangue and characteristic parameters such as ash content, which can be matched to the corresponding coal microfacies according to the statistical law so as to effectively evaluate the gas-bearing property of coal reservoirs.

收稿日期:2018-01-30。

作者简介:敖旋峰(1993—),男,湖北荆州人,在读硕士研究生,从事煤层气等复杂储层测井评价研究。联系电话:(027)69111085, E-mail:876919013@qq.com。

*通讯作者:刘迪仁(1965—),男,湖北荆州人,教授,博士。联系电话:(027)69111085, E-mail:liudr666@163.com。
基金项目:国家自然科学基金项目“地层条件下富有机质页岩电磁响应机理与应用基础研究”(U1562109)。

Key words: coal microfacies; gas-bearing property; reservoir evaluation; logging; Qinshui Basin

煤储层含气性体现煤储层储集煤层气的数量和评价煤层气勘探开发前景及选区的重要基础,是确定煤层气资源量必不可少的参数。建立煤微相和含气性的关系模型并借助丰富的测井资料准确划分煤微相是测井资料评价煤储层含气性的重大突破^[1-2]。现阶段煤储层含气性预测方法主要有含气梯度法、压力-吸附曲线法、煤质-灰分-含气量类比法、有效生气阶段和有效阶段生气量计算以及地质条件综合分析法等^[3-5]。目前缺乏对煤储层沉积环境的针对性研究,对煤微相的研究仅停留在定性预测和评价阶段,未深入开展煤炭沉积环境同含气性相关性探讨^[6-14]。且这些方法大多是借助实验的方法,成本比较昂贵,操作复杂。

考虑到实验方法判识煤微相的局限性,笔者提出借助测井资料,结合沉积学和煤炭地质学等系统分析煤微相测井响应规律,通过评价煤层有效厚度、夹矸厚度和灰分含量这些煤储层参数来匹配对应煤微相,最终实现利用测井资料定量划分煤微相来进一步预测煤储层产气前景,为煤储层含气性评价工作提供一种新思路。

1 煤微相的控气作用分析

沁水盆地含煤层系主要位于上石炭统的太原组和下二叠统的山西组,是在奥陶系古风化壳之上发育的一套近海海陆交互相含煤沉积。其中,太原组的15#和山西组的3#煤层分布最稳定、单层厚度最大,是煤层气勘探开发的主要目标煤层,也是煤层气研究的热点煤层。沁水盆地某区块煤炭资源丰富,主力煤层分布在山西组和太原组的3#和15#煤层,且以3#煤层为主,煤体变质程度高,基本属于无烟煤,煤层含气质量高,含气性好,是具有工业开采价值的煤储层,本文以山西组的3#煤层为研究对象^[15-17]。

煤微相反映煤的原始成因类型,它取决于泥炭形成的环境,煤微相主要反映在煤岩组成和煤质成分上的差异,包括煤岩类型、显微组分和矿物质含量等。煤微相或泥炭沼泽的形成主要取决于沉积环境、物源丰度类型和气候条件等,不同煤微相反映成煤沼泽环境的覆水深浅程度、氧化还原强度、水质酸碱性和物源种类及堆积方式等条件的不同。物源和环境决定着煤质、煤岩类型和显微组分含量,从而影响后期煤层气吸附和解析特性及储层

的物性,最终集中反映整个煤储层的含气性^[18-19]。

煤微相分类主要依据覆水深浅、气候干湿、树木密度及水体活跃程度等。通过野外露头、取心煤样观测实验,并结合现有地质资料分析煤微相分布规律,结果(表1)表明,研究区3#煤层的煤微相组成以覆水森林活水沼泽相和潮湿森林滞留沼泽相为主。其中郑庄区块以覆水森林活水沼泽相为主,煤层厚度小,夹矸少,主要分布在中部,潮湿森林滞留沼泽相、湿地草本活水沼泽相和干燥草本沼泽相次之。樊庄区块则以湿地草本活水沼泽相为主,煤层厚度小,局部夹矸多,主要分布在中部,西北部为覆水森林活水沼泽相,煤层厚度小,夹矸少;东北部为潮湿森林滞留沼泽相,煤层厚度大,夹矸少;西南部为干燥森林沼泽相,煤层厚度较大,夹矸一般。

表1 煤微相特征
Table1 Coal microfacies characteristics

煤微相	煤岩类型	显微标志	水动力条件	沉积体系
潮湿森林滞留沼泽相	光亮煤	$WI > 0.5$, $GI > 1$	潜水面 以下	三角洲 平原
干燥森林沼泽相	半亮煤	$GI < 1$, $TPI > 1$	静水	浅湖
覆水森林活水沼泽相	半亮煤	$GI > 50$, $TPI > 1$	水下沉积	泻湖
湿地草本活水沼泽相	半暗煤	$WI < 0.5$, $GI > 5$	水下沉积	三角洲 间湾
干燥草本沼泽相	暗淡煤	$GI < 1$, $TPI < 1$	水下氧 化环境	三角洲 平原

注:WI为森林指数;GI为凝胶化指数;TPI为植物结构保存指数。

1.1 煤微相对煤储层厚度的影响

煤的原始沉积环境对煤储层的厚度有重要控制作用。一般来讲,在原始植物泥炭化堆积过程中,物源类型和丰度对最终煤储层的有效厚度起决定性作用。森林沼泽相形成的煤层多、厚度大、分布范围广。在研究区5种煤微相中,潮湿森林滞留沼泽相、干燥森林沼泽相和覆水森林活水沼泽相煤储层有效厚度较大。

1.2 煤微相对储集物性的影响

煤岩类型受控于沉积环境,煤岩类型和显微组分不同,其孔隙的类型和发育程度不同,继而影响煤储层的储集物性。镜质组中割理最发育,能明显提高煤储层的渗透率和孔隙度,镜质组含量越高,割理越发育,渗透性越好;惰质组中孔隙和裂隙都不发育。根据研究区某井煤样裂隙显微观测结果(表2),镜质组含量高的半亮煤中,割理发育,密度

表2 某井煤样裂隙显微观测结果
Table2 Microscopic observations of fracture of coal samples from a certain well

样品编号	煤岩类型	长度 / cm		高度 / cm		宽度/ μm		密度/ ($\text{条}\cdot\text{cm}^{-1}$)	裂隙发育程度
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值		
ZS1	半暗煤	0.06~2.8	1.06	0.07~0.8	0.39	2~40	10	2.1	较发育
ZS2	半亮煤	0.03~3.7	0.35	0.01~1.8	0.38	2~70	9	7.4	发育
ZS3	半亮煤	0.02~0.9	0.31	0.05~2.0	0.56	2~30	9	7.3	发育
ZS4	半亮煤	0.02~0.9	0.33	0.05~0.9	0.36	2~50	12	9.2	发育
ZS5	半亮煤	0.01~1.6	0.48	0.07~2.1	0.93	2~30	7	5.6	较发育
ZS5	半暗煤	0.06~2.8	1.06	0.07~0.8	0.39	2~40	10	2.1	较发育

一般为4~8条/cm,而镜质组含量低的半暗煤中,割理不发育,密度一般小于3条/cm。镜质组含量对煤岩孔隙度有重要影响,研究表明,镜质组含量与煤储层有效孔隙度呈正相关。因此,从煤岩显微组分的角度,镜质组含量高,不仅有利于割理形成,还有利于孔隙度的提高,煤储层物性好。

分析认为,在海平面以相对上升为主的湖侵体系域中形成的煤层,由于容易形成覆水沼泽,还原性较强,其凝胶化组分较多,有利于割理的形成,改善储层的储集性能,即三角洲前缘还原性较强,形成的煤中镜质组含量相对高,煤储层的物性较好。在相对海平面以下降为主的高位体系域中形成的煤层,易形成干燥沼泽相,其还原性较差,凝胶化组分较少,因而煤储层储集性能也较差。在研究区的5种煤微相中,覆水森林活水沼泽相煤储层物性相对较好。

1.3 煤微相对灰分含量的影响

灰分含量是煤岩工业组分评价工作的一项重要参数,反映煤岩品质,同样也影响煤储层的物性,而煤微相能够控制煤储层中的灰分产率。一般情况下,灰分产率越高煤质越不纯净,即高放射性泥质等矿物质含量越高,其通常以孔隙、裂缝和割理充填物的形式出现,不仅会充填孔隙,使孔隙度变小,还会破坏孔隙的连通性,导致渗透率降低,直接影响煤储层的储集物性。根据灰分含量与孔隙度之间的关系统计(图1),两者呈负相关。灰分还影

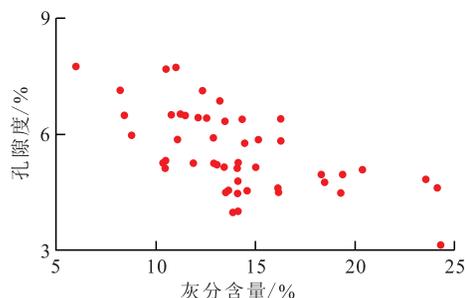


图1 灰分含量与孔隙度的相关性

Fig.1 Correlation of ash content and porosity

响裂隙和割理的发育程度,灰分含量越高越不利于裂缝和割理的发育。

从原始成因方面考虑,在煤岩形成过程中,风和水流等会携带陆源碎屑物质夹杂在煤岩中,这些物质在煤层中形成夹矸。距离分流河道越近,所带来的陆源碎屑物质越多,灰分含量越高,相应煤储层的储集物性越差。由于远离河口,三角洲前缘的碎屑物质相对较少,灰分含量低,因此煤储层的储集物性好,如沁水盆地的东南部。在研究区的5种煤微相中,潮湿森林滞留沼泽相和湿地草本活水沼泽相的灰分含量及夹矸相对较少。

不同煤岩类型灰分含量不同。统计研究区不同煤岩类型灰分含量(图2)发现,光亮煤和半亮煤灰分含量较低,一般小于10%,半暗煤和暗淡煤灰分含量则多大于10%。

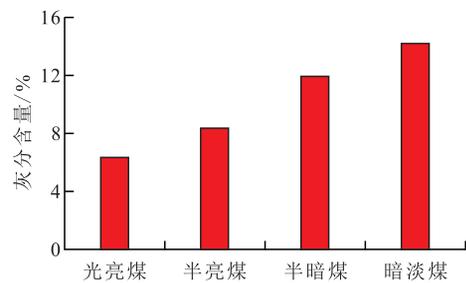


图2 不同煤岩类型灰分含量统计

Fig.2 Ash content statistics of different types of coal rock

比较而言,森林相较草本相高等植物丰富,生气能力强;覆水程度浅的较覆水程度深的生气能力强;水体活跃不利于形成好的生气条件;气候潮湿较气候干燥更有利于生成煤层气。生气能力较强的沉积环境,宏观煤岩类型以亮煤为主,显微组分中镜质组含量高,镜惰比大,灰分含量少,煤层厚度大,这种沉积环境中的煤层煤质纯、物性好、生气能力强;反之,宏观煤岩类型以暗煤为主,显微组分中惰质组含量高,镜惰比小,灰分含量高,煤层厚度薄,这种沉积环境中的煤层煤质差、物性差、生气能力弱。

将研究区5种煤微相依其生气潜力分为3类(表3),通过判识评价井所属煤微相类型能确定其煤层生气能力,发现高产潜能,对于拥有高产潜力但产量不高的井可进行后期储层压裂和改造,可提高产能。

表3 不同煤微相的生气潜力

Table3 Gas generation potential of different coal microfacies

微相类型	生气潜力	煤微相特征
潮湿森林滞留沼泽相	强	泥炭保存条件好,煤层有效厚度大,镜质组含量高,灰分产率低,割理、裂隙发育,储集物性好
干燥森林沼泽相	中	处于干燥氧化环境,以半亮煤为主,煤质差,储集物性中等
覆水森林活水沼泽相	中	覆水深度增加导致灰分产率高,泥炭水动力流动性增强
湿地草本活水沼泽相	中	不利于成煤物质形成,煤层偏薄,但保存环境好,夹矸少
干燥草本沼泽相	弱	成煤环境缺少高等植物,灰分含量高,镜质组含量低,割理不发育

2 煤微相的测井评价

目前最广泛的煤微相划分方法是TPI-GI图解法(图3),该方法是基于测定煤层的煤岩显微组分含量,引入2个定量化参数(GI和TPI)来反映不同环境下形成的煤微相类型。其中,GI主要反映古泥炭沼泽的水位变化特征和植物遗体遭受凝胶化作用的程度;TPI主要反映植物遗体遭受凝胶化作用和自然破碎的程度及其经受氧化降解作用的强弱。该方法存在取心难、耗费高和操作复杂的缺点,而地球物理测井作为一种经济实用的勘探方法,因其分辨率高、资料丰富且连续等特点而被广泛应用。

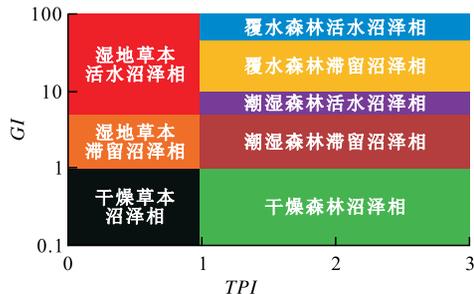


图3 TPI-GI划分煤微相

Fig.3 Division of coal microfacies by TPI-GI

由于成煤环境和古气候条件不同,引起宏观煤岩类型、煤质成分和显微组分含量之间的差异,导致测井曲线上的响应不同,从研究区5种煤微相特征出发,描述各个煤微相在测井曲线上的响应规律。

潮湿森林滞留沼泽相 古气候条件湿润,煤岩

水分含量高,电阻率低;物源为高等植物,密度高,可造长缝,储集物性较好;水体稳定,从外界携带的泥质少,灰分含量低,自然伽马低。

覆水森林活水沼泽相 水体比较活跃,不仅从外界携带的泥质远远多于冲刷带走的泥质,且在覆水程度较深的条件下,由各种途径供给的水分所补充的灰分也增多,整体自然伽马偏高;物源为高等植物,煤质好,密度高;覆水深,为还原条件,自然电位表现为高幅度差。

干燥森林沼泽相 气候干燥,煤岩水分含量少,电阻率高,并且干燥沼泽环境形成的煤煤质差,储集物性中等。

湿地草本活水沼泽相 物源为碎屑草本植物,容易夹杂泥质沉积,且水体活跃,携带外来的泥质成分比冲刷带走的泥质多,导致灰分不断堆积,灰分含量高,自然伽马高。

干燥草本沼泽相 干燥对应氧化环境,离子交换能力弱,自然电位幅度差小,镜惰比小,不利于煤层气的生成;草本沉积,灰分含量高,自然伽马高,煤岩类型多为暗淡煤,孔隙结构差,储集物性差。

为了进一步定量划分煤微相,结合资料统计及理论分析发现煤层有效厚度、灰分含量和夹矸厚度等参数(表4)同煤微相类型密切相关,这些参数均可由测井资料评价,从而实现测井资料定量划分煤微相。其中,煤层灰分含量与密度测井值有极好的线性相关性(图4),煤层有效厚度及夹矸厚度可由测井曲线精确划分(图5),因而借助测井资料可实

表4 不同煤微相特征参数

Table4 Characteristic parameters of different coal microfacies

沉积相类型	有效厚度/m	夹矸厚度/m	灰分含量/%	密度/(g·cm ⁻³)
潮湿森林滞留沼泽相	4.5~7.0	0.2~0.4	6~8.5	1.15~1.38
干燥草本沼泽相	3.5~5.0	0.4~0.7	7~9.6	1.17~1.33
覆水森林活水沼泽相	3.0~4.0	0.5~1.1	5.5~13.9	1.2~1.37
湿地草本活水沼泽相	3.5~5.0	0.5~0.8	7.1~10.5	1.23~1.36
干燥森林沼泽相	4.0~6.0	0.3~0.5	8~9	1.2~1.45

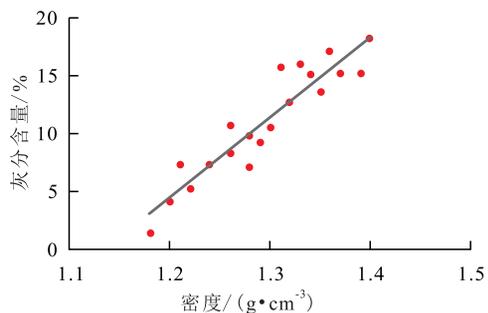


图4 煤储层密度与灰分含量的关系

Fig.4 Relationship between coal reservoir density and ash content

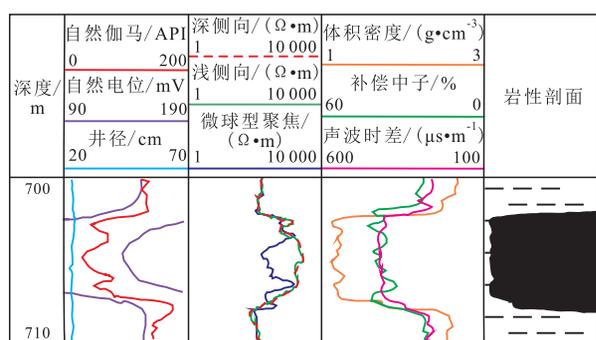


图5 某井测井解释结果

Fig.5 Log interpretation result of a certain well

现定量评价煤微相特征,进而划分煤微相。

以F1—F2—F3井煤微相连井剖面为例,研究区煤层南北向煤微相变化较大,从北到南依次以覆水森林滞留沼泽相、湿地森林活水沼泽相及干燥森林沼泽相为主。

3 结论

含气性作为煤层气勘探开发的一项重要指标,目前评价方法还不成熟,基于测井资料预测含气性尚处于探索阶段。煤微相反映原始成煤环境,决定煤储层生气能力和赋存环境,控制煤层气成藏。研究区3#煤层发育潮湿森林滞留沼泽相、干燥森林沼泽相、覆水森林活水沼泽相、湿地草本活水沼泽相和干燥草本沼泽相5种煤微相。潮湿森林滞留沼泽相、干燥森林沼泽相及覆水森林活水沼泽相煤储层有效厚度较大;覆水森林活水沼泽相物性相对较好;潮湿森林滞留沼泽相和湿地草本活水沼泽相的灰分含量及夹矸相对较少。潮湿森林滞留沼泽相生气潜力强,干燥森林沼泽相、覆水森林活水沼泽相和湿地草本活水沼泽相生气潜力中等,干燥草本沼泽相生气潜力较弱。利用密度、自然伽马和自然电位等测井曲线可有效划分煤层有效厚度和夹矸厚度及灰分含量等特征参数,依据统计规律可匹配到对应的煤微相,进而实现有效评价煤储层含气性。

参考文献:

[1] 梅俊伟,王运海,杨媛媛.延川南山西组煤岩微相特征及其对煤层气开发的指导意义[J].油气藏评价与开发,2015,5(4):77-82.
MEI Junwei, WANG Yunhai, YANG Yuanyuan. Coal rock microfacies characteristics and its guiding significance for coalbed methane development in Shanxi group of South Yanchuan area[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2015, 5(4): 77-82.
[2] 秦勇,刘焕杰,桑树勋,等.山西南部上古生界煤层含气性研究 I 推定区煤层含气性评价[J].煤田地质与勘探,1997,25(4):

25-30, 38.
QIN Yong, LIU Huanjie, SANG Shuxun, et al. The studies on gas-bearing characteristics of the Upper Paleozoic coal seams in the southern Shanxi, China I. gas-bearing seams in the indicated areas[J]. Coal Geology & Exploration, 1997, 25(4): 25-30, 38.
[3] 史继祥,马立军.双鸭山煤田煤含气性及生烃能力探讨[J].煤炭技术,2009,28(2):185-186.
SHI Jixiang, MA Lijun. Study of coal gas-bearing features and hydrocarbon producing ability in Shuangyashan coal fields[J]. Coal Technology, 2009, 28(2): 185-186.
[4] 方爱民,雷家锦,金奎励,等.山西西山煤田7号煤层煤相研究[J].中国煤炭地质,2003,15(5):12-16.
FANG Aimin, LEI Jiabin, JIN Kuili, et al. An anthracographic study on No.7 coal in Xishan Coalfield, Shanxi[J]. Coal Geology of China, 2003, 15(5): 12-16.
[5] 吴英.鄂尔多斯盆地延川南地区煤相对煤储层控制作用[C].全国沉积学大会沉积学与非常规资源,2015.
WU Ying. Relative control of anthracographic on coal reservoirs in Yanchuanan area, Ordos Basin[C]. National Sedimentology Conference, Sedimentology and Unconventional Resources, 2015.
[6] 王生维,陈钟惠,张明,等.煤相分析在煤储层评价中的应用[J].高校地质学报,2003,9(3):396-401.
WANG Shengwei, CHEN Zhonghui, ZHANG Ming, et al. Application of the technique of coal facies analysis to evaluation of coal reservoir[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(3): 396-401.
[7] 杨克兵,严德天,马凤芹,等.沁水盆地南部煤系地层沉积演化及其对煤层气产能的影响分析[J].天然气勘探与开发,2013,36(4):22-29.
YANG Kebing, YAN Detian, MA Fengqin, et al. Depositional evolution of coalbed and its effect of CBM productivity, southern Qinshui Basin[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2013, 36(4): 22-29.
[8] 周春光,杨起,康西栋,等.煤相研究进展[J].中国煤炭地质,1998,26(4):17-23.
ZHOU Chunguang, YANG Qi, KANG Xidong, et al. Advances in the study of coal facies[J]. Coal Geology of China, 1998, 26(4): 17-23.
[9] 鲁静,邵龙义,杨敏芳,等.陆相盆地沼泽体系煤相演化、层序地层与古环境[J].煤炭学报,2014,39(12):2473-2481.
LU Jing, SHAO Longyi, YANG Minfang, et al. Coal facies evolution, sequence stratigraphy and palaeoenvironment of swamp in terrestrial basin[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(12): 2473-2481.
[10] 徐进军,金强,程付启,等.渤海湾盆地石炭系一二叠系煤系烃源岩二次生烃研究进展与关键问题[J].油气地质与采收率,2017,24(1):43-49,91.
XU Jinjun, JIN Qiang, CHENG Fuqi, et al. Advances and crucial issues on secondary hydrocarbon generation of the Carboniferous-Permian coal-measure source rocks in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(1): 43-49, 91.
[11] 赵慧,杨海星,赵承锦,等.沁水盆地郑庄一樊庄区块煤系储层共生成藏微观输导体系[J].油气地质与采收率,2016,23(4):

- 46-52.
- ZHAO Hui, YANG Haixing, ZHAO Chengjin, et al. Study on the micro-transportation system for symbiotic accumulation in coal seam in Zhengzhuang-Fanzhuang block of Qinshui Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(4): 46-52.
- [12] 周广照, 谢元德, 陈庆, 等. 沁水盆地南部海陆过渡相煤系地层横波波速预测[J]. 大庆石油地质与开发, 2017, 36(4): 128-136.
- ZHOU Guangzhao, XIE Yuande, CHEN Qing, et al. Prediction of the shear wave velocity for the sea-land transitional facies coal measure strata in South Qinshui Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2017, 36(4): 128-136.
- [13] 伊伟, 熊先钺, 卓莹, 等. 韩城矿区煤储层特征及煤层气资源潜力[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(6): 78-86.
- YI Wei, XIONG Xianyue, ZHUO Ying, et al. Coal reservoirs and CBM potentials in Hancheng mining area [J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(6): 78-86.
- [14] 梁红艺, 谢小国, 罗兵, 等. 煤层含气量评价方法研究与应用[J]. 特种油气藏, 2016, 23(3): 44-47.
- LIANG Hongyi, XIE Xiaoguo, LUO Bing, et al. Coalbed methane content evaluation and application [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 44-47.
- [15] 叶建平. 平顶山矿区二₁煤层煤相分析[J]. 煤田地质与勘探, 1992, 20(1): 9-14.
- YE Jianping. Coal facies analysis in the Coal B₁, Pingdingshan mining area, Henan [J]. Coal Geology & Exploration, 1992, 20(1): 9-14.
- [16] 马伟竣. 鄂尔多斯盆地延川南2号煤层煤相分析[J]. 中国煤层气, 2014, 11(2): 25-29.
- MA Weijun. Analysis of coal facies of No.2 coal seam in Yanchuannan Block of Erdos Basin [J]. China Coalbed Methane, 2014, 11(2): 25-29.
- [17] 秦勇, 叶建平, 林大扬, 等. 煤储层厚度与其渗透性及含气性关系初步探讨[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(1): 24-27.
- QIN Yong, YE Jianping, LIN Dayan, et al. Relationship of coal reservoir thickness and its permeability and gas-bearing property [J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(1): 24-27.
- [18] 戴金星. 我国煤系地层含气性的初步研究[J]. 石油学报, 1980, 1(4): 27-37.
- DAI Jinxing. Preliminary research on natural gas in coal series in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1980, 1(4): 27-37.
- [19] 张政, 秦勇, 傅雪海, 等. 潘庄区块煤层含气性分布规律及地质控制因素分析[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(5): 98-102.
- ZHANG Zheng, QIN Yong, FU Xuehai, et al. Distribution law of gas-bearing property of coal seams and analysis on geological control factors in Panzhuang Block [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 98-102.

编辑 经雅丽

(上接第54页)

- [26] 刘震, 谭卓, 蔡东升, 等. 用断层面正压力法分析北部湾盆地湘西南凹陷断层垂向封闭性及其演化[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 695-711.
- LIU Zhen, TAN Zhuo, CAI Dongsheng, et al. Analysis on fault's vertical sealing and its evolution by normal pressure of fault surface method in the Weixinan Sag, Beibu Gulf Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(4): 695-711.
- [27] 高先志, 陈祥, 原建香, 等. 焉耆盆地博湖坳陷断层封闭性与油气藏形成[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 35-37.
- GAO Xianzhi, CHEN Xiang, YUAN Jianxiang, et al. Sealing effect of faults on petroleum migration and accumulation in Bohu depression of Yanqi Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(1): 35-37.
- [28] 付广, 宿碧霖, 历娜. 一种利用断层岩泥质含量判断断层侧向封闭性的方法及其应用[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(2): 101-106, 126.
- FU Guang, XU Bilin, LI Na. A method of judging lateral sealing of fault by mudstone content of fault rock and its application [J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(2): 101-106, 126.
- [29] 刘卫国, 宋宪生, 郭长林, 等. 利用自然伽马测井数据计算地层泥质含量[J]. 铀矿地质, 2017, 33(1): 45-48, 54.
- LIU Weiguo, SONG Xiansheng, GUO Changlin, et al. Content index calculation of argillaceous rock in strata with natural Gamma logging data [J]. Uranium Geology, 2017, 33(1): 45-48, 54.
- [30] 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- LIU Zhen. A research on reservoir seismic stratigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [31] 严恒, 代宗仰, 王丽君. 辽河盆地东部凸起区二叠系层速度-砂地比定量解释[J]. 地质学刊, 2011, 35(4): 366-368.
- YAN Heng, DAI Zongyang, WANG Lijun. On quantitative interpretation of Permian layer velocity-sandy ratio in east salient of Liaohe Basin [J]. Journal of Geology, 2011, 35(4): 366-368.

编辑 单体珍