

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.018

鄂尔多斯盆地旬宜区块上古生界烃源岩地球化学特征

顾超,曹建康,庄一鹏,李杭兵,李俨

(中国石化河南油田分公司勘探开发研究院,河南 南阳 473132)

摘要:对鄂尔多斯南部旬宜区块上古生界烃源岩进行了系统性地分层系、分岩性的地球化学特征研究,为油气勘探提供了理论依据。通过对鄂尔多斯盆地南部旬宜区块内已有钻井岩心、岩屑、化验分析资料的整理分析,结合区域地质情况,对区块内烃源岩有机质丰度、类型、成熟度进行综合研究认为,有机质类型为Ⅲ型干酪根,成熟度总体上呈高熟-过熟,多数已进入过成熟干气阶段,太原组-山西组均具有良好的生烃潜力。同时,将碳质泥岩也纳入评价范畴,评价结果表明碳质泥岩具有一定的物质基础,进一步提升了本区的勘探潜力,丰富了整个盆地南部的烃源岩评价理论,对本区天然气勘探部署具有重要的指导意义。

关键词:鄂尔多斯盆地;上古生界;烃源岩;有机质丰度;有机质类型;有机质成熟度

中图分类号:TE122

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)02-0263-07

Geochemical Characteristics of Upper Paleozoic Source Rocks in Xunyi Block, Ordos Basin

GU Chao, CAO Jiankang, ZHUANG Yipeng, LI Hangbing, LI Yan

(Petroleum E&D Research Institute of Henan Oilfield Branch Company, SINOPEC, NanYang 473132, Henan, China)

Abstract: This paper systematically studies the geochemical characteristics of the upper Paleozoic source rock which is in Xunyi block, south of ordos by stratification and lithology, providing theoretical basis for oil and gas exploration. Based on the sorting and analysis of the existing data of drilling cores, cuttings and chemical analysis in this area, a comprehensive study of degree, type and maturity of the organic matter of the source rocks is done considering the regional geological conditions. The results show that the organic matter type is the Ⅲ kerogen. The maturity is generally from high-mature to over-mature, the majority being over-mature dry gas. Both Taiyuan Formation and Shanxi formation have good hydrocarbon generating potential. The paper also brings carbonaceous mudstone into the evaluation category. The evaluation results show that carbonaceous mudstone has a certain material basis. It has promoted the exploration potential of this area, and enriched the hydrocarbon source rock evaluation theory in the south of the whole basin. It has an important guiding significance for the exploration and deployment of natural gas in this area.

Keywords: Ordos Basin; Upper Paleozoic; source rock; organic matter abundance; organic matter type; organic maturity

收稿日期:2019-09-19;修回日期:2019-11-22

基金项目:中国石化集团有限公司“旬宜区块三叠系延长组油气富集规律及增储领域研究”(P18053-4)

作者简介:顾超(1985-),女,辽宁人,硕士,从事油气地质综合研究工作。E-mail:6164092@qq.com

旬邑—宜君区块位于鄂尔多斯盆地南部,处于伊陕斜坡和渭北隆起的结合部,整体上位于鄂尔多斯盆地主体内。除边界断裂外,工区东南部发育数条北东向断裂带,这些断裂带表现为逆断层性质,断距较小,在断裂带附近,地层发生明显褶皱变形,在工区西部及北部区域,地层平缓,构造稳定,整体构造特征为北西向平缓单斜,地层倾角为 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 。旬邑—宜君探区跨陕西省旬邑、宜君、黄陵等县(图1),面积为 $1\,140.325\text{ km}^2$ 。“十三五”油气资源评价显示,旬邑—宜君探区中生界石油资源量达 $3.61\times 10^8\text{ t}$,古生界天然气资源量达 $2\,290\times 10^8\text{ m}^3$,勘探潜力较大。

多年的勘探公关研究和勘探成果已证实,鄂尔多斯盆地上古生界是一套以石炭—二叠系煤系地层为主体的典型煤成气体系(高建平,2006),多数地质工作者认为盆地上古生界烃源岩具有广覆式生烃、近距离运移成藏的地质特征,天然气富集高产一方面受优质储层控制,同时也受优质烃源岩控制(李浩等,2015)。笔者在借鉴前人研究认识的同时结合目前研究成果对该区上古生界烃源岩进行了评价研究,其对天然气勘探开发部署具有重要意义。

1 烃源岩展布特征

旬邑—宜君古生界烃源岩主要发育在石炭—二叠系,岩性主要为暗色泥岩,碳质泥岩及煤。层位上

主要为太原组和山西组,其中煤对全区的生烃量有较大贡献,其次为碳质泥岩、暗色泥岩(付金华等,2006)。全区只有A井、B井钻揭古生界,各层烃源岩厚度情况见表1。

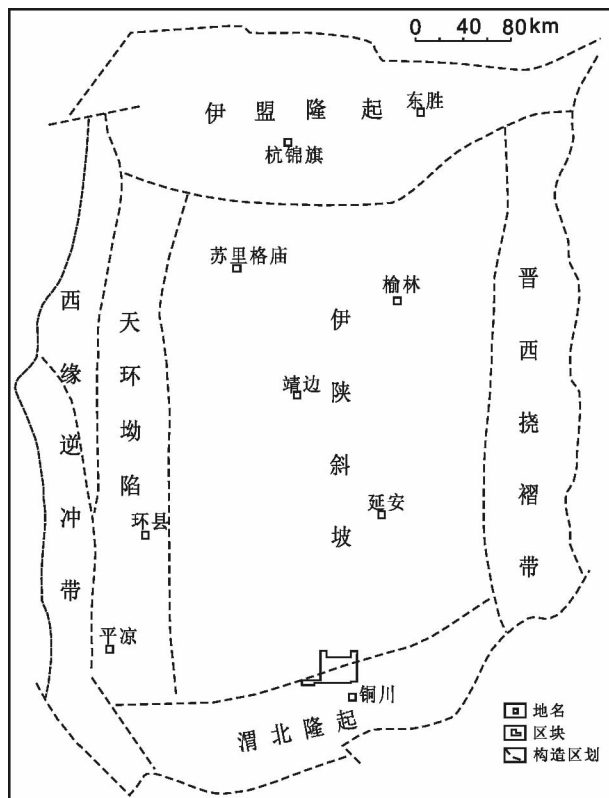


图1 旬宜区块地理位置图

Fig. 1 Geographic location of Xunyi block

表1 旬宜区块上古生界已钻井烃源岩厚度统计表

Tab. 1 Thickness statistics of drilled source rocks in Upper Paleozoic of Xunyi block

分类	井号	太原	山1	山2	下石盒子	上石盒子	合计
暗色泥岩(m)	A井	14.2	37.5	18.1	1		70.8
	B井	17.79	34.09	25.94	26	22.1	125.92
碳质泥岩(m)	A井	4.5	14				18.5
	B井	4m	0.31m	1m			5.31
煤(m)	A井	2m	3.3m				5.3
	B井		6m				6
泥地比(%)	A井	60.53	52.08	31.53	1.13		
	B井	77.82	47.35	48.98	27.37	28.84	

1.1 煤层

区内2口探井钻遇煤层厚度分别为5 m、

6.3 m。从整个鄂尔多斯南部来看煤岩东部较西部发育,东部黄龙—宜川地区煤层达到10 m以上,西

部彬县—泾川—镇原一带煤层小于6 m,区内煤层厚度为4~8 m,推测区内东部地区大于6 m为区内煤层较厚区域(图2)。

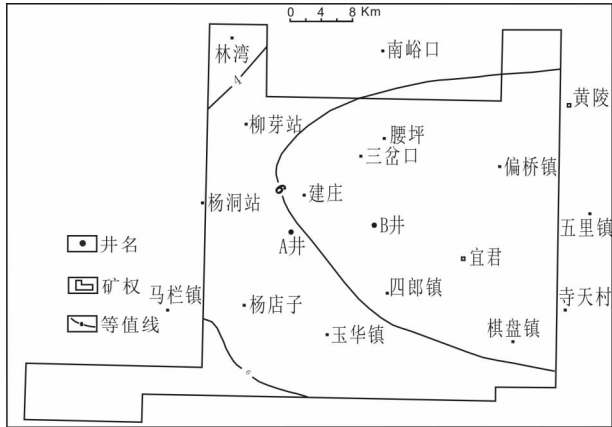


图2 旬邑—宜君上古生界煤层等厚图

Fig. 2 Isopach map of Upper Paleozoic coal seams in Xunyi-Yijun

1.2 碳质泥岩

区内钻至古生界2口探井,仅A井在太原组、山1段分别钻遇4.5 m、14.5 m碳质泥岩,而B井仅在太原组钻遇4 m,山1段及山2段基本钻遇碳质泥岩小于1 m。所以,目前认为碳质泥岩在太原组沉积时期全区分布厚度为4 m,山1、山2段碳质泥岩分布暂无法落实。

1.3 暗色泥岩

研究区太原组泥岩厚度平面分布在5~20 m(图3),东部较西部片厚。山西组山1段泥岩厚度平面分布在25~45 m,西部A井一带厚约40 m为区内较厚区域;山西组山2段泥岩厚度平面分布为10~40 m。其中,A井西北—东南一线厚度大于20 m,为区内较厚区域。

2 地球化学特征

本次研究对区内已钻至古生界的2口探井进行了较为全面的取样、室内化验分析及系统评价工作。样品的地球化学分析实验均在河南油田分公司勘探开发研究院实验中心完成,沉积岩中总有机碳的测定采用红外碳硫仪LECOCS-230,岩石热解分析使用仪器为油气评价工作站OGE II,饱和和烃气相色谱分析采用气相色谱仪,测试条件为毛细柱:SE-

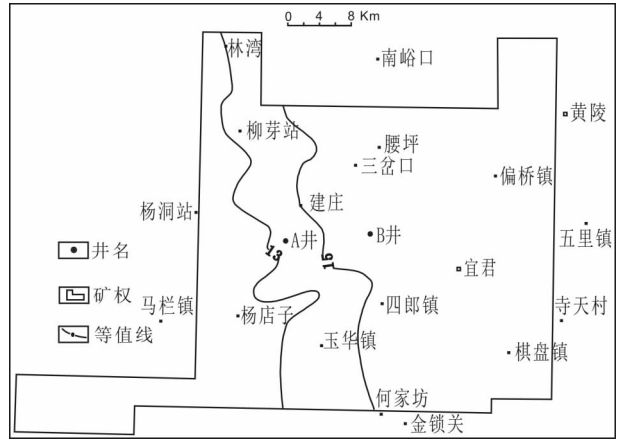


图3 旬邑—宜君太原组暗色泥岩等厚图

Fig. 3 Isopach map of dark mudstone in Xunyi-Yijun Taiyuan Formation

54,检测器为MSD。

2.1 有机质丰度

油气勘探实践和油气地球化学研究表明,表征有机质丰度的指标有残余有机碳含量(Toc,%)、氯仿沥青A含量(Eom,%)、总烃(HC,10⁻⁶)、岩石热解生烃潜量(S1+S2)(HC mg/grock)等(李浩等,2015)。

烃源岩有机碳含量是有机质丰度最基本的指标,其他指标作为辅助指标。综合国内外有关烃源岩有机质丰度的划分标准,采用煤系烃源岩的有机质丰度的评价指标及划分标准(陈建平等,1997)(表2)。

从旬宜区块上古生界烃源岩有机质丰度纵向分布来看,2口井有机碳、氯仿沥青A、生烃潜量高值区均集中在太原组及山西组。另外,B井石盒子组出现部分高值,由于目前高值数据为岩屑数据,其烃源岩潜力有待于进一步落实。

太原组烃源岩有机碳样品4块,其中A井1块有机碳值为10.9%;B井7个样品均大于3%,2口井有机碳值大于3%占100%,为好烃源岩。氯仿沥青“A”样品共计3个,均为非-差烃源岩。生烃潜量方面B井4个岩屑样品分布于0.31~1.13 mg/g,平均为0.63 mg/g,为差烃源岩。

山1段烃源岩有机质频率分布见图4、图5。其中有机碳样品29块,A井15块样品有机碳值分布于0.18%~8.78%,平均为2.19%;B井目前暗色泥岩样品14个,有机碳含量最小值为0.51%,最大值为6.13%,平均值为1.92%。由于样品较少,暂评价山

1段暗色泥为差-中等烃源岩。氯仿沥青“A”样品共计5个,其中A井4个样品,最小值为0.0079%,最大值为0.0185%,均值为0.0149%,数据集中在非-差烃源岩范围;而B井仅1个样品值为0.013%,为非烃源岩。生烃潜力方面B井4个样品分布于均集中

在非-差烃源岩范围,最小值为0.57 mg/g,最大值为1.82 mg/g,平均为1 mg/g。A井共计样品10个,最小值为0.38 mg/g,最大值为1.88 mg/g,平均为0.016 mg/g,小于0.5 mg/g的样品占70%,0.5~0.2 mg/g的样品占30%,为差烃源岩。

表2 旬宜区块上古生界煤系泥岩有机质丰度评价标准(据陈建平等,1997)

Tab.2 Evaluation standard for organic matter abundance of Upper Paleozoic coal measure mudstone in Xunyi block

油源岩类型	评价参数	烃源岩级别				
		很好	好	中等	差-很差	非
泥岩	有机碳(%)	3~6	3~6	1.5~3	0.75~1.5	<0.75
	氯仿沥青“A”(%)	>0.12	0.06~0.12	0.03~0.06	0.015~0.03	<0.015
	S ₁ +S ₂ (mg/g)	>20	6~20	2~6	0.5~2	<0.50
	总烃(10 ⁻⁶)	>700	300~700	120~300	50~120	<50
碳质泥岩	有机碳(%)	35~40	18~35	10~18	6~10	6~10
	S ₁ +S ₂ (mg/g)	>120	70~120	35~70	10~35	<10
	IH	>700	400~700	200~400	60~200	<60
煤	氯仿沥青“A”(%)		>5.5	2.0~5.5	0.75~2.0	<0.75
	S ₁ +S ₂ (mg/g)		>300	200~300	100~200	<100
	IH		>400	275~400	150~275	<150
	总烃(10 ⁻⁶)		>25 000	6 000~25 000	1 500~6 000	<1 500
有机质类型		I ₁	I ₂	II	III ₁	III ₂

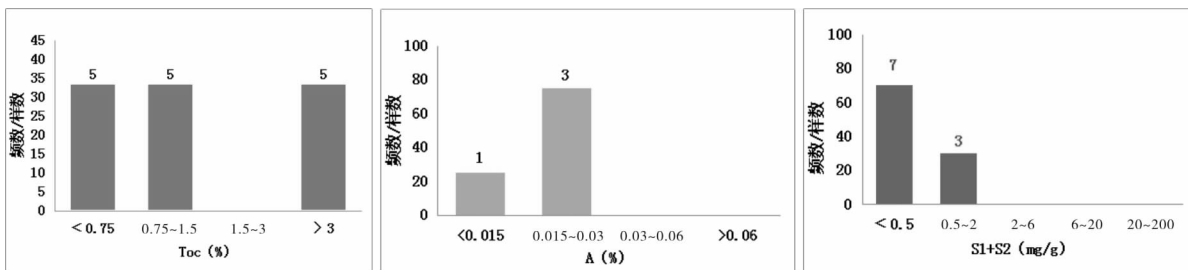


图4 A井山1有机质丰度频率分布图

Fig.4 Frequency distribution of organic matter abundance in Section 1 of well A

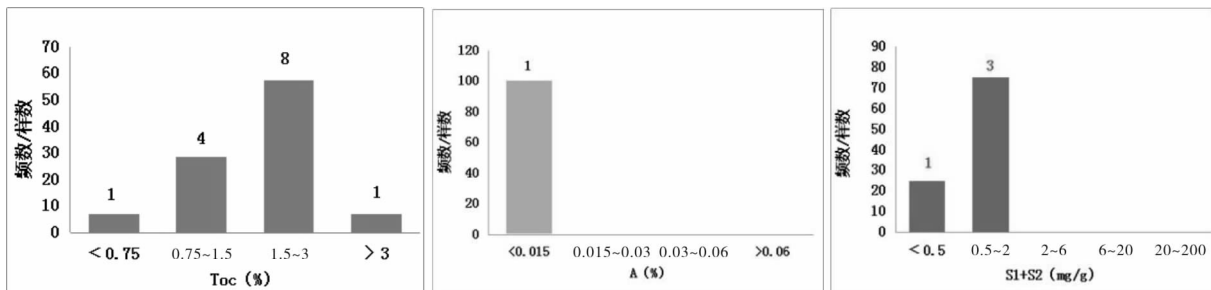


图5 B井山1段有机质丰度频率分布图

Fig.5 Frequency distribution of organic matter abundance in Section 1 of well B

山2段烃源岩有机碳样品共10块。其中,A井7块样品有机碳值均小于1.5%,平均为0.41%,小于0.75%的样品占85%,0.75%~1.5%的样品占15%;B井暗色泥岩样品仅有3个,有机碳含量同样都小于1.5%,最小值为0.62%,最大值为0.84%,平均值为0.7%。由于样品较少结合区域认识,综合2口井的情况,山2段暗色泥岩为中-差等烃源岩。氯仿沥青“A”样品共计7个。其中,A井5个样品,最小值为0.01%,最大值为0.02%,均值为0.015%,数据全部小于0.03%,集中在非-差烃源岩范围。而B井仅2个样品值为0.0157%、0.0215%,为差烃源岩。生烃潜量方面B井3个样品分布于差烃源岩范围,最小值为0.52 mg/g,最大值为0.7 mg/g,平均为0.62 mg/g;A井共计样品7个,最小值为0.037 mg/g,最大值为0.98 mg/g,平均为0.023 mg/g。小于0.5 mg/g的样品占86%,0.5~2 mg/g的样品占14%,为差烃源岩。

全区氯仿沥青“A”含量及生烃潜量偏低,可能与热演化程度较高有关。区内上古生界煤系烃源岩热演化程度已达到高-过成熟阶段,残留可溶有机质和热解的有机质多已排出,有机质丰度指标(生烃潜量S1+S2,氯仿沥青“A”)含量已失去有机质丰度评价的意义。因此,对区内上古生界烃源岩进行评价时主要考虑有机碳含量,综合评价结果表明,太原组为好烃源岩,山1段为差-中等烃源岩,山2段为中等-差烃源岩。

目前旬宜地区碳质泥岩、煤的样品数据较少,由于岩心样品可靠性高,本次煤层有机碳评价采样煤层岩心数据,B井山1段5个有机碳岩心样品数据分布于63%~93%,最小值为65%,最大值为93%,平均值为79.3%。

碳质泥岩方面:上古生界太原组共有样品5个岩屑样品,其中A井4个样品分别为26.2%、29.6%、7.59%、44.7%,平均值为27%,为好烃源岩。山1段碳质泥岩有5个B井岩心数据,仅1个样品有机碳大于10%。由于样品数量有限,暂时将山1段评价为差-中等烃源岩。

2.2 有机质类型

烃源岩干酪根类型是烃源岩生烃类型和能力的一项重要参数,类型不同,其生烃潜力、产烃类型及门限深度(温度)都有一定的差异。因此,研究有机质类型对于判定油源优劣、预测远景储量关系密切。

由于此次研究尚未查找到干酪根显微组分的原始资料,因此本次研究主要是通过HI-T_{max}图对旬宜区块进行判断。

本次研究共分析氢指数与T_{max}样品74块,其中A井41块,B井33块。根据岩样热解参数整理,绘制出氢指数与T_{max}值的关系图版(图6),从判别图可以看出,旬宜区块上古生界太原组、山西组山1段及山2段烃源岩均为Ⅲ型。

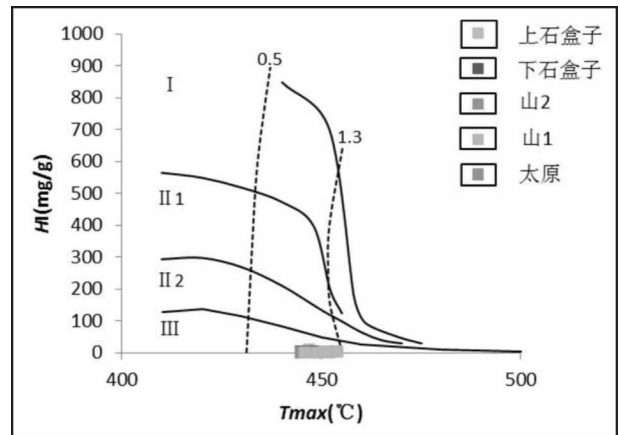


图6 B井氢指数-T_{max}关系图

Fig. 6 Hydrogen index T_{max} diagram of well B

2.3 有机质成熟度

本次烃源岩有机质成熟度判断标准结合区块勘探情况,采用烃源岩有机质成烃演化阶段划分标准(许怀先等,2001)(表3)。根据实际化验分析数据对Ro、T_{max}、CPI、OPE四项指标进行综合分析。

旬宜区块上古生界热演化参数散点图,B井太原组底部-山1段Ro在1.8%~2.35%,T_{max}在440~600°C。OEP始终小于1.1,CPI在1.1左右;A井Ro在1.9%~2.5%,T_{max}在440~600°C。OEP、CPI在1.1左右。旬宜区块上古生界石炭系底界烃源岩现今成熟度达到2.4%,山2段成熟度方面暂无可靠数据,据区域研究成果推断,旬宜区块山2段成熟度为1.7%~1.9%,热演化程度较高。

2.4 综合评价

对旬宜区块太原-山西的暗色泥岩、碳质泥岩和煤岩的有机质丰度、类型和热演化程度进行了综合分析,太原组-山西组均具有良好的生烃潜力,但按岩性来说煤要优于碳质泥岩、泥岩(表4)。

表3 烃源岩有机质成烃演化阶段划分表(据许怀先等,2001)

Tab. 3 Division of hydrocarbon generation and evolution stages of organic matter in source rocks

演化阶段	Ro (%)	孢粉颜色指数 SCI	Tmax (°C)	CPI	OEP	孢粉颜色	$\alpha\alpha-C_{29}$ 甾烷 20S/20(S+R)	油气性质及产状
未成熟	<0.5~0.6	<2.5	<435	>1.2	>1.2	浅黄色	<0.25	生物甲烷,未熟油、凝析油
低成熟	0.5~0.8	2.5~3.0	435~445	1.2~1.0	1.2~1.0	黄色	0.25~0.40	低熟重质油、凝析油
成熟	0.8~1.3	>3.0~4.5	445~480	1.0	1.0	深黄色	>0.40	成熟中质油
高成熟	1.3~2.0	>4.5~6.0	480~510	—	—	浅棕色-棕黑色	—	高熟轻质油、凝析油、湿气
过成熟	>2.0	>6.0	>510	—	—	黑色	—	干气

表4 旬宜上古生界烃源岩综合评价表

Tab. 4 Comprehensive evaluation of Upper Paleozoic source rocks in Xunyi

地区	层位	烃源岩类型	有机质丰度	有机质类型	热演化程度
旬宜	太原	暗色泥岩	好	Ⅲ	过熟
		碳质泥岩	好		
		煤	好		
	山1	暗色泥岩	中-好		高熟
		碳质泥岩	差-中		
		煤	好		
	山2	暗色泥岩	中等-差		
		碳质泥岩	差		

3 结论

旬宜区块上古生界煤层有机质丰度高,有机碳岩心平均值高达 79.3%,类型为Ⅲ型,与整个鄂尔多斯盆地煤系地层相同,成熟达到过熟-成熟,生烃潜力大,无疑是本区主力烃源岩层。

旬宜区块上古生界碳质泥岩有机质丰度随深度有所变化,太原组有机质丰度高、山西组山1段有机质丰度差-中等,山2段有机质丰度变差,有机质类型同样为Ⅲ型,总体处于过熟-成熟阶段。前人认为整个鄂南区域碳质泥岩有机质丰度低,为差等烃源岩,潜力有限。本次研究结果表明,太原组、山西组山1段碳质泥岩有机质丰度达到中等-好,具有生烃潜力。

旬宜区块上古生界暗色泥岩与碳质泥岩相同有机质丰度随深度而变化,太原组有机质丰度高,山西组山1段有机质丰度差-中等,山2段有机质丰度中

等-差,有机质类型Ⅲ型,山1组底部达到过成熟。本次研究结果表明,太原组、山西组可以作为上古生界含油气系统的烃源岩。

综合来看,太原-山西组的煤、碳质泥岩、暗色泥岩不论是物质基础,还是所处的热演化阶段都表明其具备大量生烃的条件,均可作为上古生界含油气系统的烃源岩(杜尚明等,2004)。

目前,鄂尔多斯盆地南部勘探程度相对较低,探井部署较少。笔者通过对于旬宜区块分层系、分岩性进行的烃源原岩地球化学特征分析,进而证实了区块勘探潜力,为有利区带及勘探部署工作奠定了坚实的基础,并丰富了现有的盆地南部烃源岩评价理论(王道富等,2005)。除此以外,前人研究多注重于煤与暗色泥岩的分析与评价,笔者把碳质泥岩也做为评价范畴,评价结果显示,除暗色煤、暗色泥岩以外,太原组碳质泥岩也具有较好的物质基础,因此资源潜力有所提高,评价结果对区块及整个南部地区的烃源岩评价工作都是一种启示及推动。

参考文献(References):

- 李浩,任战利,陈西泮,等. 陕北斜坡东部上古生界烃源岩地球化学特征[J]. 西北大学学报,2015,45(5):795-800.
- LI Hao,REN Zhanli,CHEN Xiban,et al. Geochemical features of natural gas source rock in the Upper Paleozoic in the east part of North Shaanxi slope[J]. Journal of Northwest University,2015,45(5):795-800.
- 高建平,周立发,徐艳萍,等. 太康隆起和周口坳陷上古生界煤系烃源岩地球化学特征[J]. 西北地质,2006,39(3):59-64.
- GAO Jianping,ZHOU Lifa,XU Yanping,et al. Geochemical Characteristics of the Upper Paleozoic Source Rocks in Taikang Rise and Zhoukou Depression[J]. Northwestern Geology,2006,39(3):59-64.
- 杜尚明,胡光灿,李景明,等. 天然气资源勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2004:63-80.
- DU Shangming,HU Guangcan,LI Jingmin,et al. Natural gas resource exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry press,2004,63-80.
- 王道富,杨华,付金华. 鄂尔多斯盆地天然气勘探开发战略研讨[J]. 天然气工业,2005,25(4):1-4.
- WANG Daofu,YANG Hua,FU Jinhua. Expanding strategy of Natural gas exploration and development in E'erdusi Basin[J]. Natural Gas Industry,2005,25(4):1-4.
- 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):14-17.
- FU Jinhua,WEI Xinshan,REN Junfeng,et al. Gas exploration and developing prospect in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2006,27(6):14-17.
- 李浩,任战利,高海仁,等. 延长气田上古生界烃源岩评价及生排烃特征[J]. 天然气工业,2015,35(4):33-39.
- LI Hao,REN Zhanli,GAO Hairen,et al. Quality evaluation and hydrocarbon generation-expulsion characteristics of source rocks in Upper Paleozoic in the Yanchang Gasfield, Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35 (4):33-39.
- 陈建平,赵长毅,何忠华. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨[J]. 石油勘探与开发,1997,24(1):1-5.
- CHEN Jianping,ZHAO Changyi,HE Zhonghua,et al. Discussion on evaluation standard of hydrocarbon generation potential of coal measure organic matter[J]. Petroleum Exploration and Development,1997,24(1):1-5.
- 程克明,王铁冠,钟宁宁. 烃源岩地球化学[M]. 北京:科学出版社,1995.
- CHEN Keming,WANG Tieguan,ZHONG Ningning. Source rock geochemistry[M]. Beijing: Science Press,1995.
- 黄第藩,熊传武. 含煤地层中石油的生成、运移和生油潜力评价[J]. 勘探家,1996,1(2):66-68.
- HUANG Dipan,XIONG Chuanwu. Generation, Migration and Evaluation of Hydrocarbon Generation Potential of Oil Formed in Coal-Bearing Strata [J]. Explorationist, 1996,1(2):66-68.
- 张添锦,王云. 鄂尔多斯盆地岩溶古地貌恢复与天然气富集关系——以高桥地区奥陶系马家沟组马五段为例[J]. 西北地质,2017,50(2):207-213.
- ZHANG Tianjin,WANG Yun. The Relationship between Karst Palaeogeomorphology Recovery and Gas Enrichment in Ordos Basin: Example from Mawu Section of Ordovician Majiagou Formation in Gaoqiao Area [J]. Northwestern Geology,2017,50(2):207-213.