

文章编号: 1001-1986(2006)01-0026-04

鄂尔多斯盆地延长组长1段烃源岩有机地球化学特征

王起琮¹, 李文厚², 赵靖舟¹, 罗静兰²

(1. 西安石油大学资源工程系, 陕西 西安 710065; 2. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长1段发育一套深湖相浊积岩及数层暗色泥岩。根据实测的有机碳含量、可溶有机质及族组分含量、有机元素和同位素等数据可知, 该泥岩为一套较好一好的烃源岩。镜质体反射率及生物标志化合物成熟度指标显示, 该段烃源岩有机质处于低成熟到成熟阶段。该套烃源岩的发现为陕北地区寻找新的油气勘探目标提供了依据。

关键词: 烃源岩; 延长组长1段; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P618.11 **文献标识码:** A

Organic geochemistry characteristics of hydrocarbon source rocks in the Member 1 of Upper Triassic Yanchang Formation, in Ordos Basin

WANG Qi-cong¹, LI Wen-hou², ZHAO Jing-zhou¹, LUO Jing-lan²

(1. Research Institute of Oil and Gas Geology, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, China;

2. Department of Geology, Northwest University Xi'an 710069, China)

Abstract: Dark mudstones and the turbidites of deep lake facies were discovered recently in the Member 1 of Yanchang Formation, Upper Triassic in Ordos Basin. Through comparing the measured residual organic carbon, potential hydrocarbon generation amount, kerogen isotopes with the theoretical parameter, it was considered that in this region these dark mudstones are the fairly good or good source rocks. According to the vitrinite reflectance of dispersed organic matter and indexes of maturation of biomarkers the thermal evolution of organic matter in this area is of the characteristics of low-mature or mature. Restudying the source rocks in the Member 1 of Yanchang Formation provides some important message for finding new targets of the exploration of oil and gas in Shaanbei area in Ordos Basin.

Key words: hydrocarbon source rock; the Member 1 of Yanchang Formation; Ordos Basin

1 引言

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组沉积于大型淡水湖盆自诞生至消亡的演化过程。根据岩性、含油性、电性等特征, 延长组自下至上划分为长10~长1共10个层段。长7段为湖盆发育鼎盛时期沉积的地层, 其湖相暗色泥岩累计厚度60~140 m, 有机质丰度高、类型好, 并已达到成熟及高成熟阶段, 为主力烃源岩^[1]。近几年, 笔者在陕北子长、横山等地区又发现一套长1段的深湖相浊积岩及深湖相暗色泥岩^[2]。蟠龙地区暗色泥岩厚度达10~15 m, 其中富含介形虫、瓣鳃类以及鱼鳞、鱼粪和无结构鱼体化石, 偶见大型鱼类化石^[3]。

为研究长1段湖相泥岩对该区油气勘探的意义, 笔者开展了长1段沉积相研究, 并分别在陕北子长、横山、蟠龙、安塞、涧峪岔及甘泉等地区采集了数块暗色泥岩样品, 进行了各项有机地球化学分析。

2 地层发育及烃源岩分布

延长组长1段主要出露于神木、榆林、子长、富县至铜川地区, 在子长县清涧河—大理河流域, 该段地层厚度最大(±380 m)。沉积相研究结果表明, 因受晚三叠世末期印支运动影响, 盆地基底在整体抬升过程中发生差异沉降, 沉降中心位于子长等周边地区, 沉积地层以湖泊—三角洲相为主。湖盆范围大致在榆林鱼河堡、盐池、定边、吴旗、志丹、环县、甘泉和延长等围限地区。湖盆演化经历了4个阶段, 形成4个沉积旋回。早期为三角洲建设期, 地层(长1₄段)以三角洲平原相为主, 常见煤线; 湖盆扩张期沉积地层(长1₃段)主要为浅湖—三角洲前缘相地层, 富含水生生物化石; 湖盆收缩期, 基底小幅抬升, 北部三角洲向湖沉积, 沉积了瓦窑堡煤系(长1₂段); 基底快速沉降期, 沉积了(长1₁段)浊积岩及深湖相泥岩^[4]。

收稿日期: 2005-02-24

基金项目: 国家重大基础研究规划(973计划)项目(编号: 2003CB214602)资助

作者简介: 王起琮(1961—), 女, 北京人, 西安石油大学教师, 高级工程师, 主要研究方向为含油气盆地分析。

陕北地区长1段平均厚度200~230 m,暗色泥岩累计厚度10~160 m,占地层厚度30%~60%。烃源岩主要分布于长_{1₃}段浅湖—三角洲前缘相地层和长_{1₁}段深湖相地层。烃源岩富含有机质,电测曲线具有高电阻($>20\ \Omega\cdot\text{m}$)、高声波时差($>280\ \mu\text{s}/\text{m}$)、低密度($1.3\sim2.6\ \text{g}/\text{cm}^3$)和高自然伽马的特征。笔者应用重叠声波时差和深感应电阻率曲线的方法^[5],进行了烃源岩测井资料解释。解释结果表明,子长地区烃源岩厚度最大(5~70 m,平均24 m),约占平均地层厚度的10%。

3 有机质丰度及类型评价

陕北地区长1段有机质丰度及类型因沉积环境而变化,主要表现为:

a. 深湖沉积环境 长_{1₁}段深湖相泥岩富含介形虫化石。其有机碳(平均3.5%)、氯仿沥青“A”(平均0.2%)、总烃(平均 $1\ 666\times10^{-6}$)、总烃转化率(平均4.8%)、生烃潜量(平均20 mg/g)、H/C比值(平均1.1)等参数均较高;干酪根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 较轻(平均 -28.5‰);有机显微组分以腐泥质为主($>90\%$),其次为壳质组份和富氢镜质体组分,惰质组份质量分数很少($<2\%$)。这些特点表明,深湖相泥岩有机质丰度高,干酪根为I—II₁型干酪根,属于好的烃源岩。

b. 浊积扇沉积环境 长_{1₁}段近源浊积岩的泥质夹层富含黑色碳屑;远源浊积岩的泥质夹层含有介形虫化石。有机碳(平均1.9%)、氯仿沥青“A”(平均0.42%)、总烃(平均 274×10^{-6})、总烃转化率(平均1.7%)、生烃潜量(平均2.6 mg/g)、H/C比值(平均0.9)均较深湖相泥岩低。但远源泥岩样品干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ (-29.7‰)较轻,有机显微组分以腐泥质为主($>90\%$);近源泥岩样品干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ (-24‰)较重,有机显微组分以镜质体为主($>90\%$)。这些特点表明,浊积扇远源沉积环境泥岩有机质丰度较高,有机质类型好(I型干酪根),浊积扇近源沉积环境的泥岩有机质类型差(II₂—III型干酪根),属于差的或非烃源岩。

c. 浅湖—三角洲前缘沉积环境 长_{1₃}段浅湖—三角洲前缘沉积环境的泥岩样品,富含鱼鳞和瓣鳃类化石。有机碳(平均6.5%)、氯仿沥青“A”(平均0.13%)、总烃(平均 735×10^{-6})、总烃转化率(平均2.5%)、生烃潜量(平均32 mg/g)、H/C比值(平均0.9)较高;干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 较轻(平均 -27.9‰);有机显微组分以腐泥质为主(平均85%),其次为富

氢镜质体(13.7%)和壳质组(1.3%),惰质组质量分数低(1%)。这些特点表明,浅湖—三角洲前缘相泥岩有机质丰度高,有机质类型以I—II₁型干酪根为主,属于好的烃源岩类型。

d. 三角洲平原水下沉积环境 长_{1₂}段瓦窑堡煤系的煤岩样品有机碳74.8%、氯仿沥青“A”1.44%、总烃 54×10^{-6} 、总烃转化率0.7%、干酪根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -25.3‰ ,属于III型干酪根。有机显微组分中富含富氢镜质体(基质镜质体65%,均质镜质组11%,腐泥组和壳质组10%,惰质组14%)^[7]。根据煤系有效烃源岩的评价标准(有机碳 $>10\%$,氯仿沥青“A” $>0.065\text{‰}$)^[8],瓦窑堡煤属于好—很好的烃源岩。

e. 三角洲平原水上沉积环境 长_{1₄}段三角洲平原相的泥岩富含植物化石。其有机碳($<1\%$)、氯仿沥青“A”(0.05%)、总烃($<100\times10^{-6}$)、产烃潜量($<2\ \text{mg}/\text{g}$)、H/C比值(<0.8)均较低;干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 较重(-25‰);有机显微组分以壳质组为主(77%),富氢镜质体(16%)和惰质组质量分数低(7%)。这些特点表明,该暗色泥岩有机质丰度低,有机质类型较差(III型干酪根),属于差烃源岩或非烃源岩。

以上有机碳和氯仿沥青“A”含量、有机元素及干酪根碳同位素分析、岩石热解实验等几项分析结果(表1)表明:长_{1₁}段深湖相泥岩以及长_{1₃}段的浅湖—三角洲前缘相泥岩有机质丰度最高,有机质类型最好,生烃能力最高;其次是长_{1₁}段深湖相浊积扇沉积环境和长_{1₂}段三角洲平原相煤层;三角洲平原及泛滥平原相的泥岩有机质丰度最低,有机质类型最差,一般不具有生烃能力,属于差的或非烃源岩。

4 有机质成熟度

4.1 镜质体反射率

长1段煤和III型干酪根的镜质体反射率在0.64%~0.75%之间,富含腐泥质的I—II干酪根镜质体反射率在0.45%~0.57%之间。

由于富氢镜质体的反射率偏低以及当腐泥组分增多时镜质体反射率受到抑制,其不随着热演化程度而升高,造成I—II干酪根的镜质体反射率实测值偏低^[6]。因此,煤及III型干酪根的镜质体反射率代表实际的长1段有机质成熟度。根据成熟度划分标准^[7],长1段烃源岩处于低成熟度阶段($R=0.6\%\sim0.8\%$)。

4.2 岩石热解实验

长1段烃源岩热解实验结果表明:产烃潜量(S_1

+S₂)(0.2~179.7 mg/g)、降解率(0.082(S₁+S₂)/总有机碳)(8%~55%)和产烃指数(S₁/(S₁+S₂))(0.02~0.16)等有机质丰度的指标较高,热解最高峰温在 432~446℃之间(表 2)。根据国内陆相烃源岩评价标准^[7],长 1 段烃源岩属于中等一好的烃源岩(图 1),有机质处于低成熟—成熟阶段(图 2)。

子长南家嘴煤矿长 1₂ 段煤热解模拟实验结果表明:该煤样加热到 350℃ 高温时,其产烃率达到 7.4%。其有机质成熟度已进入生烃门限,具有较高的生烃潜力^[8]。

4.3 生物标志化合物

正构烷烃随成熟度升高,高分子化合物热裂解,主峰碳向低碳数转化,奇偶优势趋于消失。一般通用奇偶优势指数 CPI 和 OEP 来衡量有机质成熟度。通常,现代沉积的 CPI 为 2.4~5.5, OEP>>1;低成熟阶段(R:0.6%~0.8%) CPI 为 1.5~2.0, OEP 为 1.4~1.8;成熟阶段(R:0.8%~1.3%) CPI<1.5, OEP<1.4^[9]。长 1 段烃源岩的 CPI 与 OEP 平均值

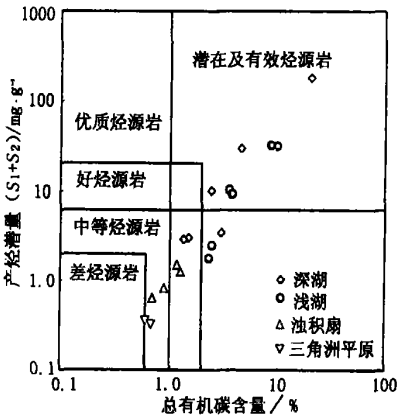


图 1 长 1 段烃源岩有机质丰度分类图

Fig. 1 The classification map of organic matter abundance of the Member 1 of Yanchang Formation

分别为 1.3 和 1.2,其正烷烃分布曲线表现出弱奇碳优势。图 3 是寺湾东深湖相烃源岩的饱和烃气相色谱。其有机质类型为 I 型干酪根;主峰碳数在 C₁₇;其 OEP 和 CPI 分别为 1.13 和 1.3。这显示其有机质处于低成熟—成熟度阶段(表 3)。

表 1 延长组长 1 段暗色泥岩有机地球化学分析数据

Table 1 The organic geochemistry data of the dark mudstone in the Member 1 of Yanchang Formation

地区	取样位置	沉积环境	有机碳 /%	“A” /%	饱和烃 /芳烃	非烃 /沥青	总烃 /10 ⁻⁶	总烃转化率 /%	生烃潜力 (S ₁ +S ₂)/mg·g ⁻¹	H/C	干酪根 δ ¹³ C /‰	有机质类型
寺湾	地表	浊流	1.17	0.043	1.1	0.5	237	2.0	1.48	0.881	-25.4	Ⅱ ₂
庙沟	地表		1.50	0.037	1.4	8.8	300	2.0	3.01	1.078	-29.7	I
刘家园子	地表		3.01	0.046	0.5	6.2	285	0.9	3.44	0.718	-22.7	Ⅲ
寺湾东	地表	深湖	2.44	0.155	2.6	40.6	1 174	4.8	10.01	1.062	-27.8	Ⅱ ₁
蟠龙	地表		4.58	0.251	0.8	8.0	2 157	4.7	29.68	1.142	-29.1	I
甘泉	桥西 1	浅湖	9.77	0.132	1.4	0.4	828	0.9	31.90	0.925	-29.2	I
			8.59	0.106	1.8	0.5	711	0.8	31.50	0.885	-27.1	Ⅱ ₁
安塞	Xp12	三角洲前缘	1.16	0.160			667	5.8			-27.4	Ⅱ ₁
涧裕岔	8126	三角洲平原	0.61	0.014	0.2	1.3	62	1.0	1.26	0.646	-25.0	Ⅲ
南家嘴	地表煤		74.8	1.44	0.9	0.6	54	0.7	210		-25.3	Ⅱ ₂

表 2 延长组长 1 油层组烃源岩热解实验数据

Table 2 The data of thermal decomposition experiment of the source rock in the Member 1 of Yanchang Formation

地区	取样位置	井深 /m	总有机碳 (TOC) /%	T _{max} /℃	游离烃 (S ₁) /mg·g ⁻¹	热解烃 (S ₂) /mg·g ⁻¹	非烃 (S ₃) /mg·g ⁻¹	产烃潜力 (S ₁ +S ₂) /mg·g ⁻¹	产烃指数 (PI)	烃指数 (S ₁ /TOC) /mg·g ⁻¹	氧指数 (S ₃ /TOC) /mg·g ⁻¹	氢指数 (S ₂ /TOC) /mg·g ⁻¹	有机质类型	R/%
寺湾	地表	/	1.17	438	0.06	1.42	0.22	1.48	0.04	5	19	121	Ⅱ ₂	0.64
庙沟	地表	/	1.50	437	0.06	2.95	0.99	3.01	0.02	4	66	197	Ⅱ ₂	0.75
刘家园子	地表	/	3.01	432	0.12	3.32	0.5	3.44	0.03	4	17	110	Ⅱ ₂	
寺湾东	地表	/	2.44	434	1.03	8.98	0.36	10.01	0.10	42	15	368	Ⅱ ₁	
蟠龙	地表	/	4.58	435	1.92	27.8	0.41	29.68	0.06	42	9	606	I	0.45
	冯 18	527.3	0.90	444	0.08	0.74		0.82	0.10	9		82	Ⅲ	0.46
		530.0	1.35	443	0.23	2.66		2.89	0.08	17		197	Ⅱ ₂	0.53
	冯 51	556.7	20.17	446	16.42	163.3		179.70	0.09	81		810	I	0.58
		548.4	3.60	436	0.40	9.90	0.40	10.30	0.04	12	10	278	Ⅱ ₂	0.57
甘泉	桥西 1	548.4	3.70	438	0.40	8.90	0.30	9.30	0.04	11	9	238	Ⅱ ₂	0.57
		546.5	9.77	438	1.30	30.7	0.30	31.90	0.04	13	3	314	Ⅱ ₂	0.57
		544.0	8.59	437	1.0	30.2	0.40	31.50	0.04	16	5	351	Ⅱ ₁	0.5
		624.9	1.28	439	0.16	1.10	0.20	1.26	0.13	13	16	86	Ⅲ	0.49
涧裕岔	8126	625.0	0.70	436	0.10	0.54	0.28	0.64	0.16	14	40	77	Ⅲ	

表 3 延长组长 1 段烃源岩生物标志化合物对比参数

地区	井号	深度/m	沉积相	饱和链烷和烃						萜烷		甾烷	
				峰位	CPI	OEP	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	C ₃₁ —	22(S/S+R)	C ₂₉ — $\alpha\alpha\alpha$	20(S/S+R)
蟠龙	/	/	深湖	15	1.27	1.15	3.10	0.63	0.22		0.60		0.47
寺湾东	/	/		17	1.30	1.13	1.78	0.30	0.20		0.60		0.53
庙沟	/	/		15, 23	1.37	1.40	1.64	0.46	0.32		0.55		0.50
寺弯	/	/		17, 23	1.39	1.54	3.16	1.54	0.40		0.60		0.37
刘家沟	/	/	深湖—浊积扇	15, 23	1.45	1.15	2.08	0.56	0.29		0.59		0.49
甘泉	桥西 1	548	浅湖	17, 27	1.08	1.06	0.82	0.42	0.36		0.60		0.45
涧裕盆	8126	625	三角洲	25	1.26	1.10	2.76	1.15	0.40		0.59		0.38

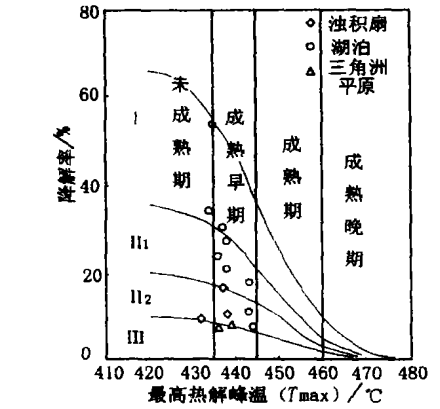


图 2 长 1 段有机质类型及成熟度分类图
Fig. 2 The classification map of organic matter kinds and maturity of the Member 1 of Yanchang Formation

早成熟阶段姥鲛烷(Pr)/植烷(Ph)主要受沉积环境的氧化还原性影响^[9]。长 1 段烃源岩的 Pr/Ph 较高(>1.6)、Pr/nC₁₈ 较低(<0.4), 表明其沉积环境属于弱还原—弱氧化的淡水湖泊沉积环境。萜烷和甾烷的异构化程度随成熟度升高而增加。甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 构型和藿烷 $\beta\beta$ -22R 构型为生物合成构型, 热演化过程中 R 向 S 构型转化。有机质进入生烃门限时(R: 0.5%~0.6%)藿烷异构化达到平衡终点, 此时 22S/(22S+22R) 为 0.55~0.62; 有机质大量生烃时(R: 0.6%)谷甾烷 C₂₉-20S/20S+20R 约为 0.4, 异构化达到平衡终点时(R: 0.8%)C₂₉-20S/20S+20R 约为 0.55^[9]。长 1 段烃源岩的 C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ -20S/20(S+R) 平均值为 0.46; C₃₁ 升藿烷 22S/(22S+22R) 平均值为 0.59, 这表明长 1 段烃源岩已进入生烃门限, 有机质处于低成熟—成熟阶段(表 3)。

5 有机质生烃史

鄂尔多斯盆地埋藏史研究表明, 陕北地区自晚三叠世开始 经历了 3 次沉降(晚三叠世早期、早侏罗世和早白垩世), 两次抬升(晚三叠世末、中白垩世), 以及 1 次沉积间断(晚侏罗世), 晚白垩世延

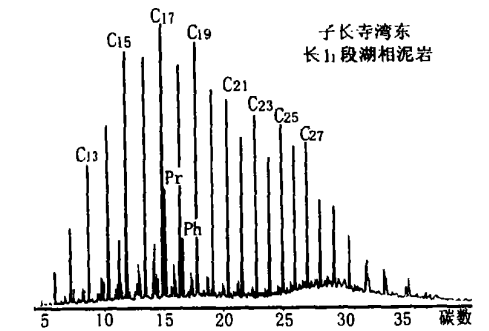


图 3 长 1 段深湖相烃源岩饱和烃气相色谱图
Fig. 3 The gas chromatography chart of the saturated hydrocarbon of the source rock in the Member 1 of Yanchang Formation

长组埋深达到最大(2 700~3 200 m)^[10]。

地热史研究资料表明, 在中生代燕山运动早期, 鄂尔多斯盆地经历了一次大规模岩浆侵入, 使盆地古地温梯度升高至 35~57 °C/km, 远高于古生代古地温梯度(23~29 °C/km) 以及现代地温梯度(22~27 °C/km)^[11]。古地热异常区主要位于南部庆阳和北部鄂托克旗地

区, 因此, 盆地中南部有机质成熟度高于北部, 西部有机质成熟度则高于东部。这次热事件促使上三叠统烃源岩在短时间内提前达到了成熟阶段^[12]。

长 1 段烃源岩在中侏罗世末第 2 次沉降阶段(200~150 Ma), 地层埋深至 800~1 600 m, 地层温度升至 60~90 °C, R 为 0.4%~0.55%, 有机质进入未成熟阶段; 在早白垩世第 3 次沉降阶段(140~97 Ma), 地层埋深至 1 600~2 700 m, 地层温度升至 90~130 °C, R 为 0.55%~0.7%, 有机质达到早成熟—成熟阶段, 长 1 段烃源岩进入早中期生油阶段; 在中白垩世第 2 次抬升阶段(97~60 Ma), 地层抬升至 1 300 m, 地层温度降至 80 °C 以下, 长 1 段烃源岩离开生油窗^[10]。

6 结论

有机地化分析结果表明, 长 1 段烃源岩的分布受长 1 段沉积相的控制, 其深湖—浅湖相和三角洲前缘相的暗色泥岩以及三角洲平原到三角洲前缘相带的瓦窑堡煤层富含生烃母质, 该烃源岩的有机碳含量为 0.6%~10%, 平均 1.5%, 生烃潜量一般在 0.6~32 mg/g 之间 平均 6.5 mg/g, 有机质类型以腐植—腐泥型为主, 其中深湖相暗色泥岩的有机质类型为腐泥型, 有机质处于低成熟到成熟阶段。根据

文章编号: 1001-1986(2006) 01-0030-04

南华北地区石炭—二叠纪煤系生烃潜力与二次生烃探讨

解东宁, 周立发 (西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要:综合运用岩石热解、有机岩石学及有机地球化学等方法, 对南华北地区石炭—二叠纪煤系烃源岩有机质丰度、类型以及成熟度和热演化史进行了分析, 综合评价了烃源岩的生烃潜力。评价结果表明, 石炭系(太原组+本溪组)烃源岩要好于二叠系山西组、石盒子组; 有机质类型以 III 型干酪根为主、II 型干酪根为辅; 有机质热演化程度大部分处于成熟—高成熟阶段, 部分地区达到过成熟, 以生气为主。文中结合构造—热演化史资料分析了煤系二次生烃的条件, 指出谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷初始成熟度较低, 且具有合适的埋藏史类型, 并有二次生烃油气勘探前景。

关键词:南华北地区; 石炭—二叠系; 煤系烃源岩; 初始成熟度; 二次生烃

中图分类号: TE112. 11; P618. 11 **文献标识码:** A

Discussion on hydrocarbon generation potential and secondary hydrocarbon generation of organic matter from Permo-Carboniferous coal measures in the southern North China

XIE Dong-ning, ZHOU Li-fa

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract On the basis of analysis about the abundance and the types of Permo-Carboniferous coal measures organic matters in the southern North China area, and research on the source rocks' maturity and the thermal evolution history, this article evaluates synthetically the hydrocarbon generation potential by means of organic petrology, Rock-Eval and geochemistry. It is concluded that hydrocarbon source rocks of Carboniferous (Taiyuan Formation and Benxi Formation) are better than that of Permian (Shanxi Formation and Shihezi Formation); the type III of organic matter is dominant and the type II is less. Thermal evolution of the most organic matter is in mature stage and high-mature stage, or even over-mature in part area, they are all generating gas. Through systematic research the condition about secondary hydrocarbon generation with the tectonic-thermal evolution history, point out that the Tanzhuang-Shenqiu Depression and the Niqiuji Depression have lower beginning-maturity and superior burial history conditions for secondary hydrocarbon generation and can lead to form gas field.

Key words: the southern North China; Permo-Carboniferous coal measures; beginning-maturity; secondary hydrocarbon generation

收稿日期: 2005-04-19

基金项目: 国家重大基础研究计划项目(批准号: 2002CCC01400)和中石化科技攻关项目资助

作者简介: 解东宁(1975—), 男, 河南宁陵人, 博士研究生, 主要从事石油地质综合研究。

有机质丰度、有机质类型以及有机质成熟度综合评价, 长 1 段烃源岩属于较好—好的烃源岩。

参考文献

- [1] 陈安宁, 韩永林, 杨翼等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长统成藏地质特征及油藏类型[J]. 低渗透油气田, 2000, 5(3): 30—39.
- [2] 王起琮, 李文厚, 赵虹, 等. 鄂尔多斯盆地东南部三叠系延长组长 1 段湖相油积岩特征及意义[J]. 地质科学, 2006, 41(1), 20—28.
- [3] 苏德造. 记陕北子长晚三叠世—新的古鳄类[J]. 古脊椎动物学报, 1999, 37(4): 257—266.
- [4] 王起琮, 李文厚, 赵虹, 等. 靖边—安塞地区延长组长 1 段沉积相特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2005, 20(6): 12—18.
- [5] 张志伟, 张龙海. 测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J]. 石

油勘探与开发, 2000, 27(3): 84—87.

- [6] 肖贤明, 毛鹤龄, 等. 从镜质组的成因论其作为烃源岩成熟度指标的意义[J]. 煤田地质与勘探, 1990, 6: 24—30.
- [7] 徐怀先, 陈丽华. 石油地质试验测试技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 82—83.
- [8] 姚素平, 张景荣, 胡文奎, 等. 鄂尔多斯盆地中生界煤成烃潜力的实验研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(1): 42—47.
- [9] 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成与运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986: 100—105.
- [10] 罗静兰, 张成立, 阎世可, 等. 盆地埋藏史及其对砂岩储层物性演化的影响[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 123—127.
- [11] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报, 1996, 17(1): 17—26.
- [12] 周江羽, 吴冲龙, 韩志军. 鄂尔多斯盆地的地热场特征与有机质成熟史[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 20—24.