

林家善, 谢渊, 刘建清, 等. 黔中隆起北部瓮安古油藏储层的新发现及其油源分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 995-1001.

Lin Jiashan, Xie Yuan, Liu Jianqing, et al. New findings and oil-source analysis of the reservoir in Weng'an paleo-oil accumulation on the northern margin of the Qianzhong Uplift[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 995-1001(in Chinese with English abstract).

黔中隆起北部瓮安古油藏储层的新发现及其油源分析

林家善^{1,2} 谢渊^{1,2} 刘建清^{1,2} 赵瞻^{1,2} 冯伟明^{1,2} 魏洪刚¹

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;

2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:首次对瓮安玉华灯影组富沥青层段进行了描述, 明确为瓮安古油藏储集层之一。储集层发育于灯影组中段, 储集空间类型主要为晶间孔、晶间溶孔、铸模孔及溶蚀孔洞, 为中—高孔高渗的优质储集层。并通过对饱和烃色谱、生物标志物、干酪根碳同位素组成等进行系统对比, 认为该沥青源于下寒武统牛蹄塘(C_1n)烃源岩。

关键词:瓮安古油藏; 储集层; 生物标志物; 油源分析

中图分类号: P618.130.2¹ 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2014) 03-0995-07

瓮安古油藏是20世纪70年代以来在中国南方下古生界发现的系列古油藏之一, 位于贵州瓮安、福泉、余庆开阳一带的黔中隆起北部, 初步估算其原始石油储量大于 8×10^8 t, 为中国目前仅次于麻江古油藏的第二大古油藏^[1,2]。前人通过分析研究认为瓮安古油藏的主力烃源岩为寒武系下统牛蹄塘组(C_1n)泥质岩, 储集层为寒武系下统明心寺组(C_1m)上部滨海海岸沙滩相的石英砂岩, 寒武系下统金顶山组(C_1j)的泥质岩、泥质灰岩成为直接盖层, 生、储、盖组合良好^[2,3]。于晚奥陶世至早志留世聚集成藏, 因燕山期的强烈褶皱及区域抬升, 使储层暴露而破坏^[2], 从而形成现今的瓮安古油藏。然而, 笔者在位于古油藏主体部分的玉华地区开展震旦纪地层剖面测制过程中, 在灯影组($Zbdy$)地层内发现大量的沥青显示(图1), 厚度大且平面上呈带状分布。据此, 笔者认为瓮安古油藏的储集层应不仅限于明心寺组砂岩, 还应包括震旦系灯影组白云岩。

本文首次对瓮安玉华震旦系灯影组沥青进行了报道, 并通过对饱和烃色谱、生物标志物及稳定碳同位素进行系统对比, 论证了该储层沥青源于下寒武统牛蹄塘(C_1n)烃源岩, 为上生下储模式。

1 地质背景

瓮安玉华为瓮安古油藏主体部分之一, 位于川黔南北构造带的白岩—高坪背斜上。背斜褶皱呈近南北向展布, 北起瓮安白岩, 南至福泉高坪, 南北长约20 km, 东西宽2~4 km。背斜核部出露最古老的地层为前震旦系板溪群清水江组, 向两侧依次出露震旦系、寒武系。其首尾由于受新华夏应力场的干扰和边界条件制约, 发生偏转而呈“S”形。白岩—高坪背斜由于小坝断裂的错切, 被分成2段: 北部为白岩背斜, 南部为高坪背斜(图1-a)^[4]。

震旦系灯影组地层沉积在陡山沱组含磷层系之上, 与上覆牛蹄塘组地层呈假整合接触。研究区处于碳酸盐潮坪环境, 玉华剖面自下而上大体分为3

收稿日期: 2013-08-01; 改回日期: 2013-10-24

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011120967和1212011220744)联合资助。

作者简介: 林家善, 男, 1982年生, 硕士, 工程师, 主要从事油气地质研究工作; E-mail: nun.1@163.com。

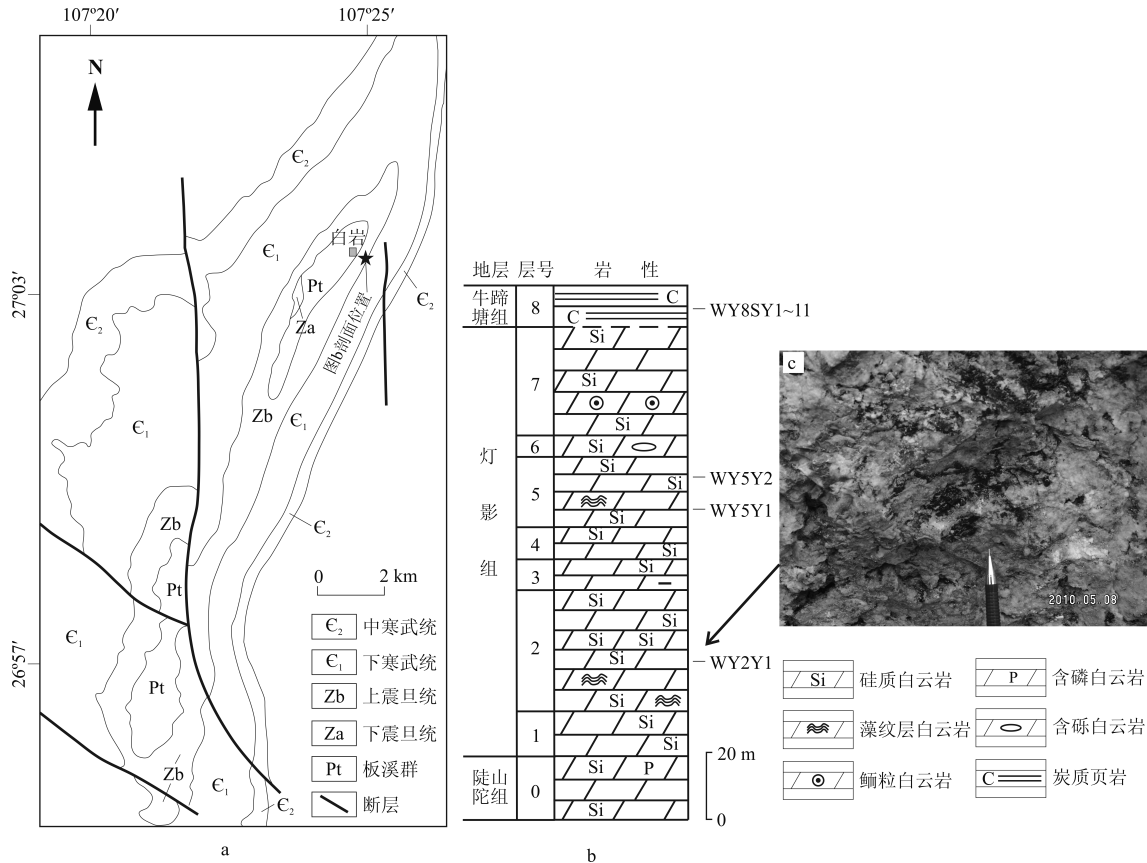


图1 瓮安玉华白岩地区地质简图及采样剖面
Fig.1 Simplified geological map, geological section and sampling location in Baiyan area, Weng'an

段(图1-b):(1)下段主要为黑色、浅灰色条带状厚层块状硅质细-粒晶白云岩,含①小层,厚13.4 m;(2)中段主要为灰白、灰色厚层块状硅质细-粉晶白云岩,下部发育大量的藻纹层,包括②~⑥小层,厚约84.3 m;(3)上段主要为灰色、灰白色厚层状含硅质白云岩,夹鲕粒白云岩透镜体,含⑦小层,厚33.3 m。

2 储集层特征及样品采集

灯影组岩性总体上较为致密,其储层发育与桐湾运动的抬升暴露有关^[5,6]。早期藻类的腐化为暴露期的淡水渗滤提供了原始的空间和通道,其中相当部分的孔隙在成岩过程中得以保存下来。灯影组沥青主要产自剖面中的第②和⑤藻纹层白云岩层段内,其累计厚度可达15 m。储集空间类型主要为晶间孔、铸模孔及大量的溶蚀孔洞,沥青主要赋集于这些空间内(图1-c)。其中溶蚀孔洞可以进一步分成2类:一类为不规则溶孔,大小为2~5 mm;另一类为顺藻纹层发育的规则溶孔,规模较大可达15

mm。孔隙度发育,介于5%~10%;受裂缝发育程度影响渗透率变化较大,为 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 34.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;排驱压力低于1 Mpa。为中-高孔高渗的优质储集层。

对灯影组沥青富集层段进行了样品采集(图1-b),并在剖面的牛蹄塘组泥质岩及邻区的下二叠统栖霞组(P₁q)灰岩、上二叠统吴家坪组-长兴组(P₂w-c)煤层进行了烃源岩样品采集。对所有样品的有机碳含量及有机碳同位素进行了测试分析,并对部分样品的饱和烃气相色谱、生物标志化合物进行了分析(表1)。以上分析项目均在中国科学院有机地球化学国家重点实验室完成。

3 烃源岩和沥青地球化学特征

3.1 沥青地球化学特征

灯影组储集层的氯仿沥青“A”含量可达18~295 $\mu\text{g/g}$,说明其地史上发生过油气聚集。受高热演化程度的影响,其族组分中非烃和沥青质占有绝

表1 瓮安玉华和木引槽地区烃源岩及沥青部分有机地球化学数据
Table 1 Organic geochemical data of source-rock and bitumen in Yuhua and Muyincao area, Weng'an

样品编号	层位	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
玉华地区															
WY8SY1	C _{in}	1.21	210	7.29	5.47	1.33	-33.77	-30.01	-29.41	nC ₁₈	1.19	0.12	0.09	1.05	1.11
WY8SY2	C _{in}	1.23	50	20.26	3.9	5.19	-31.86								
WY8SY3	C _{in}	2.81	100	14.89	3.05	4.88	-32.25			nC ₁₈	1.32	0.12	0.50	1.09	1.17
WY8SY4	C _{in}	5.85	70	26.55	5.17	5.14	-31.66	-27.52	-27.77	nC ₁₈	1.73	0.20	0.10	1.01	0.94
WY8SY5	C _{in}	4.24	90	27.42	2.87	9.55	-32.41								
WY8SY6	C _{in}	3.58	80	14.7	3.23	4.55	-31.7			nC ₁₈	1.07	0.30	0.61	0.27	0.71
WY8SY7	C _{in}	4.99	50	17.68	8.08	2.19	-31.63	-27.78	-28.95	nC ₂₀	1.28	0.10	0.12	0.96	0.85
WY8SY8	C _{in}	2.92	50	29.51	7.38	4.00	-32.38								
WY8SY9	C _{in}	4.56	60	37.55	7.06	5.32	-31.96			Ph	1.82	0.29	0.12	1.06	0.97
WY8SY10	C _{in}	4.18	60	19.11	10.58	1.81	-32.56	-27.28	-28.48						
WY8SY11	C _{in}	3.66	40	23.3	15.04	1.55	-31.89								
WY2Y1	Zbdy		18	15.66	3.61	4.34	-30.61	-28.87	-27.43	Ph	1.03	0.27	0.16	0.90	0.88
WY5Y1	Zbdy		88	13.64	2.27	6.01	-33.83	-27.67	-27.9	Ph	0.97	0.23	0.13	0.92	0.86
WY5Y2	Zbdy		295	8.43	7.83	1.08	-32.91	-29.32	-27.77	nC ₁₈	1.57	0.25	0.10	0.89	1.38
木引槽地区															
D6330SY1	P _{1q}	0.89	60	10.42	8.19	1.27	-29.45	-27.18	-28.05	nC ₁₈	1.39	0.23	0.15	0.81	0.77
D6330SY2	P _{1q}	0.47	50	12.73	6.1	2.09	-29.28								
D6330SY3	P _{1q}	0.64	30	22.98	7.45	3.08	-29.74								
D6330SY4	P _{1q}	0.4	460	21.08	6.49	3.25	-29.28	-28.12	-27.62	nC ₁₈	0.65	0.22	0.11	1.12	0.75
D6331SY1	P _{2w-c}	0.16	170	19.63	5.52	3.56	-25.32	-26.74	-27.75	nC ₁₈	0.64	0.27	0.11	1.12	0.89
D6331SY2	P _{2w-c}	0.22	680	24.51	12.65	1.94	-24.65	-26.57	-28.74	nC ₂₀	0.53	0.40	0.11	1.04	0.88

注: A—残余有机碳(TOC)/%; B—氯仿沥青“A”(μg/g); C—饱和烃含量%; D—芳香烃含量%; E—饱和烃/芳香烃; F—干酪根δ¹³C/‰(PDB); G—氯仿沥青“A”δ¹³C/‰(PDB); H—芳香烃δ¹³C/‰(PDB); I—主峰碳数; J—ΣnC₂₁/ΣnC₂₁₋₂₇; K—姥姝烷/植烷(Pr/Ph); L—伽玛蜡烷/C₃₀藿烷; M—三降新藿烷/三降藿烷(Ts/Tm); N—C₂₇甾烷; 空白为无测试数据。

对的优势,饱和烃含量一般在10%左右,饱/芳比>1,姥植比(Pr/Ph)在0.23~27。正构烷烃分布为“前峰型”,单峰分布,主峰碳为 nC_{18} , $\sum nC_{21-}/\sum nC_{21+}$ 比值在0.97~1.57,指示海相原油特征。

甾萜烷方面,三降新藿烷与三降藿烷比值在0.9左右。甾烷中,24-乙基、5 α (H)、14 α (H)、17 α (H)一胆甾烷通常是以20R(右型)构型存在($C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$),在地质体中它们部分转变为20S(左型)构型($C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S$),常用 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 比值来反应成熟程度,沥青的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)>0.4$,表明其成熟度很高。普遍含有一定量的伽玛蜡烷,伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷比值在0.1~0.16。 C_{27} 甾烷/ C_{29} 甾烷比值变化较大。

全沥青碳同位素($\delta^{13}C_{全沥青}$)为-32.91‰~-30.61‰,其氯仿沥青A($\delta^{13}C_{沥青A}$)和芳烃($\delta^{13}C_{芳烃}$)稳定碳同位素分别为-29.32‰~-26.57‰与-28.74‰~-27.43‰。具有全沥青向可溶有机质,族组分变重的趋势: $\delta^{13}C_{全沥青}<\delta^{13}C_{沥青A}<\delta^{13}C_{芳烃}$ 。

3.2 烃源岩地球化学特征

前人的研究成果表明牛蹄塘组是中上扬子地区最主要的烃源岩之一^[7-9]。研究区内牛蹄塘组烃源岩残余有机碳含量在1.21%~5.85%,平均高达3.57%,是研究区内最优质烃源岩。饱和烃含量在8%~37.55%,饱/芳比普遍>2,WY8SY5最高达9.55;姥植比(Pr/Ph)<0.3,表明具有较强的还原环境。正构烷烃分布为“前峰型”,单峰分布,主峰碳为 nC_{18} 或 nC_{20} , $\sum nC_{21-}/\sum nC_{21+}$ 比值>1,指示海相烃源岩特征。

甾萜烷方面,三降新藿烷与三降藿烷比值在1.0左右, $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)>0.42$ 。伽玛蜡烷含量较低,伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷比值<0.1。样品WY8SY6具有异常低的Ts/Tm比值(0.27),异常高的伽玛蜡烷指数(0.61),这可能是该样品的五环三萜烷类化合物受明显生物降解作用。 C_{27} 甾烷/ C_{29} 甾烷在0.71~1.17变化,在一定程度上具 C_{29} 甾烷分布优势。 P_1 灰质烃源岩的残余有机碳平均含量为0.63%; P_2W-c 煤层残余有机碳含量为0.5%。正构烷烃分布为“前峰型”,单峰分布,主峰碳为 nC_{18} 或 nC_{20} 。 P_1 灰质烃源岩的 $\sum nC_{21-}/\sum nC_{21+}$ 比值在0.65~1.40,而 P_2W-c 煤层的 $\sum nC_{21-}/\sum nC_{21+}$ 比值明显小于1,表明它们的母质来源含有较多的高等植物。 P_1 灰质烃源岩与 P_2W-c 煤层的Ts/Tm比值与伽玛蜡烷指

数都比较稳定, C_{27} 甾烷/ C_{29} 甾烷比值<1,具明显的 C_{29} 甾烷分布优势。

稳定碳同位素方面,牛蹄塘组烃源岩的干酪根碳同位素($\delta^{13}C_{干酪根}$)为-33.77‰~-31.63‰,而 P_1 灰质烃源岩与 P_2W-c 煤层的干酪根同位素均大于-30‰,具明显偏重的特点。

4 沥青的油源分析

4.1 饱和烃色谱对比

沥青的正构烷烃系列参数指示海相原油的特征。牛蹄塘组烃源岩的正构烷烃系列同样反映了海相母质的特点。而二叠系烃源岩的正构烷烃系列参数指示了一定量的陆源高等植物母质,显示陆源的特点。可见,在母质来源上灯影组沥青与牛蹄塘组烃源岩具有较好的可比性。

由于都形成于较强的还原环境,沥青与烃源岩的姥植比(Pr/Ph)差异并不明显。研究表明,烃源岩、原油(或沥青)中的Pr/ nC_{17} 和Ph/ nC_{18} 比值能够有效地表征母质类型、形成环境和成熟度的差异^[10-12]。从Pr/ C_{17} 与Ph/ C_{18} 比值相关图上明显可以看出:灯影组沥青与牛蹄塘组烃源岩具有相似分布特征(图2-A);而二叠系灰质和煤系烃源岩的Pr/ $C_{17}<0.7$ 、Ph/ $C_{18}<0.8$,与沥青的组成差别很大(图2-B)。

4.2 生物标志物对比

生物标志化合物图谱对比是常用的有效而直观的油源对比方法^[13]。在TIC图谱上(图3),Zbdy

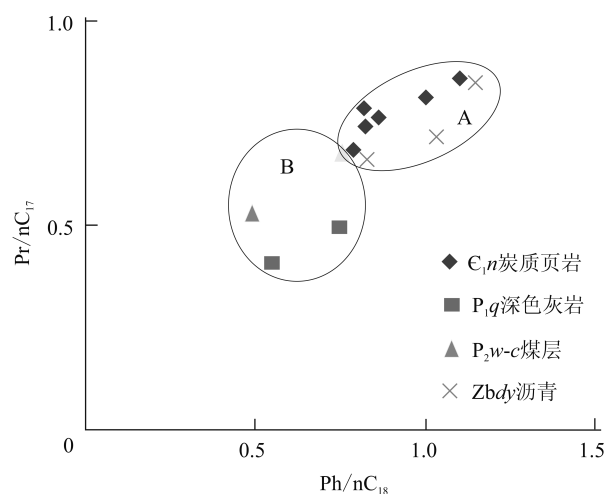


图2 瓮安地区沥青与烃源岩Pr/ C_{17} 与Ph/ C_{18} 比值相关图
Fig.2 Cross plots of Pr/ C_{17} and Ph/ C_{18} ratios of bitumen and source rock in Weng'an area

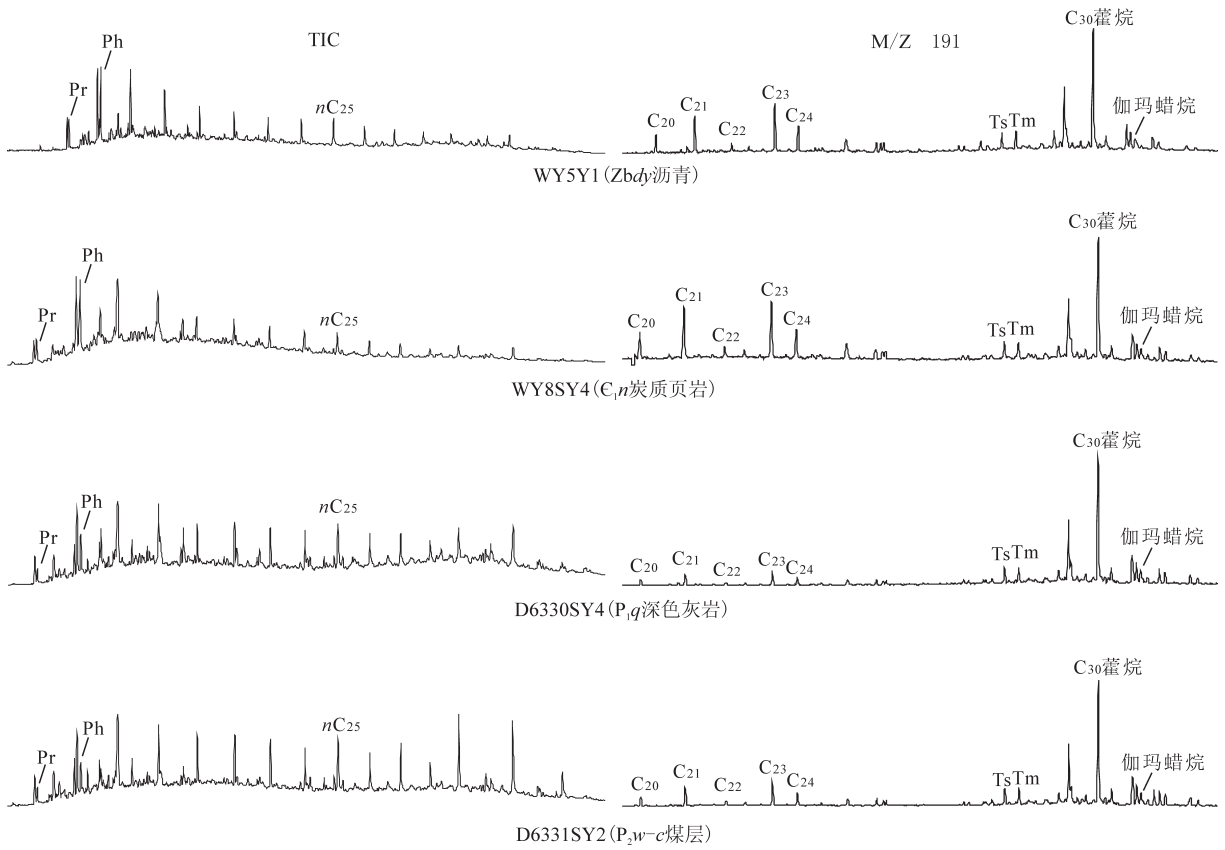


图3 瓮安地区沥青与烃源岩部分生物标志物色谱质谱图
Fig.3 Mass chromatograms of some biomarkers of bitumen and source rock in Weng'an area

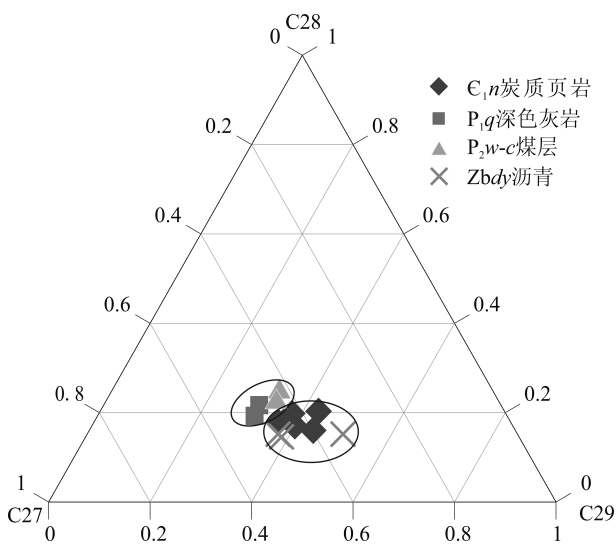


图4 瓮安地区沥青与烃源岩C₂₇、C₂₈、C₂₉规则甾烷相对含量三角图

Fig.4 Triangular diagram of C₂₇, C₂₈ and C₂₉ regular sterane of bitumen and source rock in Weng'an area

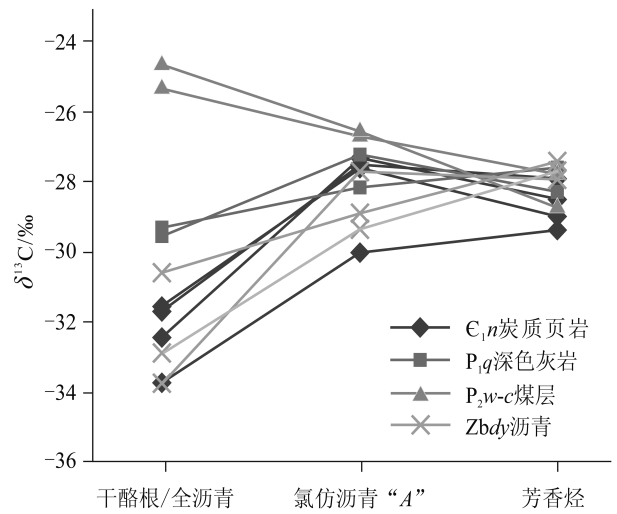


图5 沥青与烃源岩的干酪根、氯仿沥青“A”及芳香烃碳同位素组成对比图

Fig.5 Comparison of carbon isotopic composition of bitumen and source rock

沥青与 C_{1n} 炭质页岩色谱图呈单驼峰分布,同时随着碳数的增加峰高逐渐降低;而二叠系烃源岩色谱图具有双驼峰分布的特点,相反在高碳数部分峰高较大。在M/Z 191质量色谱图上(图3),Zbdy沥青与 C_{1n} 炭质页岩具有相同的三环萜烷分布特征,而与二叠系烃源岩的差异较大。因此,生物标志物谱图的直观对比反映出Zbdy沥青与 C_{1n} 炭质页岩具有良好的可比性。

饱和烃质量色谱图(M/Z 217)分析显示,沥青与 C_{1n} 、 P_2W-c 烃源岩的 $C_{27}\alpha\alpha\alpha R$ ($5\alpha(H)$ 、 $14\alpha(H)$ 、 $17\alpha(H)$ -胆甾烷-(20R))、 $C_{28}\alpha\alpha\alpha R$ (24-甲基、 $5\alpha(H)$ 、 $14\alpha(H)$ 、 $17\alpha(H)$ -胆甾烷-(20R))和 $C_{29}\alpha\alpha\alpha R$ 甾烷的峰分布均呈反“L”型: $C_{27}\alpha\alpha\alpha R > C_{29}\alpha\alpha\alpha R > C_{28}\alpha\alpha\alpha R$;而P1灰质烃源岩的分布呈“V”字型: $C_{27}\alpha\alpha\alpha R \approx C_{29}\alpha\alpha\alpha R > C_{28}\alpha\alpha\alpha R$ 。

另外,在规则甾烷 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 三角图上(图4),灯影组沥青与牛蹄塘组炭质页岩聚类分区,揭示出它们之间具有较好的亲缘关系。

4.3 稳定碳同位素组成对比

烃源岩的干酪根稳定碳同位素组成($\delta^{13}C$)受热分馏效应影响较小,是划分高一过成熟烃源岩有机质类型的可靠指标^[14,15]。如表1所示, P_2W-c 煤层的干酪根碳同位素组成大于-26‰,属于Ⅲ型干酪根;而二叠系灰质烃源岩(P_1q)干酪根碳同位素组成介于-30‰~-28‰,属于Ⅱ₁型干酪根;牛蹄塘组烃源岩的干酪根碳同位素组成低于-30‰,为Ⅰ型干酪根。这与其正构烷烃系列参数反映的母质来源特征相符。全沥青碳同位素组成亦低于-30‰,反映出与牛蹄塘组烃源岩具有较好的亲缘关系。另外,在氯仿沥青“A”碳同位素组成上, P_2W-c 普遍较灯影组沥青偏重1‰以上。在干酪根、氯仿沥青“A”以及芳香烃的碳同位素组成分布上,如图5所示, P_2W-c 具有 $\delta^{13}C_{\text{干酪根}} > \delta^{13}C_{\text{氯仿沥青}} > \delta^{13}C_{\text{芳香烃}}$ 的分布特征;而 P_1q 、 C_{1n} 及震旦系沥青为 $\delta^{13}C_{\text{干酪根}} < \delta^{13}C_{\text{氯仿沥青}} > \delta^{13}C_{\text{芳香烃}}$ 或 $\delta^{13}C_{\text{干酪根/全沥青}} < \delta^{13}C_{\text{氯仿沥青}} < \delta^{13}C_{\text{芳香烃}}$ 分布特征,曲线形态多为反“L”型。据此可以推断震旦系沥青的形成与 P_2W-c 煤层无关。

5 结 论

(1)震旦系灯影组中段为为中—高孔高渗的优质储集层。沥青主要赋集于晶间孔、铸模孔及溶蚀

孔洞内,有机地球化学指示为海相原油。

(2)通过饱和烃色谱、生物标志化合物及稳定碳同位素组成对比,表明震旦系灯影组沥青为单源供烃,源自下寒武统牛蹄塘组优质烃源岩。

参考文献(References):

- [1] 韩世庆,王守德,胡惟元. 黔东麻江古油藏的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(4): 315-326.
Han Shiqing, Wang Shoude, Hu Weiyan. The discovery of a paleopool in Majiang and its geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 1984, 3(4): 315-326(in Chinese with English abstract).
- [2] 王守德,郑冰,蔡立国. 中国南方古油藏与油气评价[J]. 海相油气地质, 1997, 2(1): 44-50.
Wang Shoude, Zheng Bing, Cai Ligu. The destroyed oil pools in south China and hydrocarbon prospecting[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1997, 2(1): 44-50(in Chinese with English abstract).
- [3] 许国明,王国司,石国山. 黔中隆起及其南北斜坡区天然气勘探前景[J]. 贵州地质, 2008, 25(2): 81-85.
Xu Guoming, Wang Guosi, Shi Guoshan. The natural gas exploration prospecting in Qianzhong protrusion and its south and north slope area[J]. Guizhou Geology, 2008, 25(2): 81-85(in Chinese with English abstract).
- [4] 密文天,王新利,冯志强,等. 贵州瓮安陡山沱组碳同位素特征及古海洋意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(3): 296-304.
Mi Wentian, Wang Xinli, Feng Zhiqiang, et al. Carbon isotope characteristics and the implication for the ancient ocean evolution of Doushantuo formation in Weng'an, Guizhou, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition), 2012, 39(3): 296-304(in Chinese with English abstract).
- [5] 莫静,王兴志,冷胜远,等. 川中地区震旦系灯影组储层特征及其主控因素[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1505-1514.
Mo Jing, Wang Xingzhi, Leng Shengyuan, et al. Reservoir characteristics and control factors of Sinian Dengying Formation in central Sichuan[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1505-1514(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘家洪,杨平,汪正江,等. 黔北震旦系灯影组顶部古风化壳特征及油气意义[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 931-938.
Liu Jiahong, Yang Ping, Wang Zhengjiang, et al. Paleo-weathering crust at the top of Sinian Dengying Formation in northern Guizhou and its petroleum exploration significance[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 931-938(in Chinese with English abstract).
- [7] 陶树,汤达祯,周传祚,等. 川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义[J]. 中国地质, 2009, 36(2): 397-403.
Tao Shu, Tang Dazhen, Zhou Chuanyi, et al. Element geochemical

- characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan-central Guizhou (Chuandongnan-Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments[J]. *Geology in China*, 2009, 36(2): 397-403(in Chinese with English abstract).
- [8] 赵明胜, 王约, 田景春, 等. 从生物化石组合特征剖析黑色页岩的沉积环境——以鄂西长阳地区寒武系牛蹄塘组为例[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1484-1492.
- Zhao Mingsheng, Wang Yue, Tian Jingchun, et al. A sedimentary environment analysis of black shales based on fossil assemblage characteristics: A case study of Cambrian Niutitang Formation in Changyang area, western Hubei[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1484-1492(in Chinese with English abstract).
- [9] 杨平, 汪正江, 谢渊, 等. 黔北下寒武统牛蹄组烃源岩的生物标志物特征和沉积环境[J]. *地质通报*, 2012, 31(11): 1910-1921.
- Yang Ping, Wang Zhengjiang, Xie Yuan, et al. The biomarker characteristics and sedimentary environment of Lower Cambrian Nititang Formation source rock in northern Guizhou. *Geological Bulletin of China* 2012, 31(11): 1910-1921(in Chinese with English abstract).
- [10] Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oil from Eastern Indonesia[J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(11): 192-1942.
- [11] Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(6): 1109-1128.
- [12] 段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及成因[J]. *地质学报*, 2006, 80(2): 301-310.
- Duan Yi, Wu Baoxiang, Zhang Hui, et al. Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng oilfield in the Ordos basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(2): 301-310(in Chinese with English abstract).
- [13] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993, 201-240.
- [14] 黄第藩, 李晋超, 张大江. 干酪根的类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. *沉积学报*, 1984, 2(3): 18-33.
- Huang Difan, Li Jinchao, Zhang Dajiang. Kerogen types and study on effectiveness, limitation, and interrelation of their identification parameters[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1984, 2(3): 18-33(in Chinese with English abstract).
- [15] 郝石生, 高岗, 王飞宇, 等. 高过成熟海相烃源岩[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 126-127.
- Hao Shisheng, Gao Gang, Wang Feiyu, et al. High-over Mature Marine Hydrocarbon Source Rocks[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 126-127(in Chinese).

New findings and oil-source analysis of the reservoir in Weng'an paleo-oil accumulation on the northern margin of the Qianzhong Uplift

LIN Jia-shan^{1,2}, XIE Yuan^{1,2}, LIU Jian-qing^{1,2}, ZHAO Zhan^{1,2},
FENG Wei-ming^{1,2}, WEI Hong-gang¹

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The bituminous fragments in Dengying Formation are described in this paper for the first time, and have been evidently defined as one of the Weng'an paleo-oil reservoirs. The reservoir is in the middle of Dengying Formation, the pores consist mainly of intercrystal, intercrystal dissolved and moldic pores and caves, being a middle-high porosity and high permeability reservoir. Based on an analysis of saturated hydrocarbon chromatography, biomarkers, and carbon isotopic composition of kerogen, the authors hold that the bitumen originated from Niutitang Formation source rock.

Key words: Weng'an paleo-oil accumulation; reservoir; biomarkers; oil source analysis

About the first author: LIN Jia-shan, male, born in 1982, engineer, majors in oil and gas geology; E-mail: nun.1@163.com.