

凯里—麻江地区油苗与固体沥青的油源分析

张渠, 腾格尔, 张志荣, 秦建中

中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡, 214151

内容提要:对黔南坳陷典型古油藏、残余油气藏的精细解剖对南方海相碳酸盐岩层系油气勘探研究具有重要意义。本文运用碳同位素、饱和烃色谱、饱和烃色质及芳烃色质等技术,对黔东南地区二叠系—寒武系油苗与固体沥青进行了地球化学特征研究和油源分析。研究表明,凯里地区虎庄 47 井原油、洛棉志留系砂岩油苗和麻江地区奥陶系红花园组固体沥青三者同源,主要来自下寒武统牛蹄塘组的优质烃源岩。而麻江地区早二叠世茅口组油苗与虎庄 47 井原油明显不同,主要源于下二叠统栖霞组的优质烃源岩。

关键词:油苗; 固体沥青; 油源分析; 优质烃源岩

黔中地区,自上世纪 80 年代初发现著名的“麻江古油藏”以来,一直是我国油气地质领域中倍受关注的地区,前人从黔中隆起、麻江古油藏等不同的角度广泛讨论了该地区油气成藏规律及其勘探前景(韩世庆等,1982;赵志东,1984;刘特民,1987;梅冥相,1994;王守德等,1995;戴少武等,2001;田海芹等,2002,2006;赵宗举等,2004;马力等,2005;肖开华等,2006;张永刚等 2007)。随着南方海相油气地质勘探研究的不断深入,油气勘探家们越来越意识到黔中隆起及其周缘作为扬子地台的一部分,与扬子其他地区具有类似的沉积构造演化史和成烃成藏过程,是有望找到大中型气田的有利地区,并且对其典型古油藏、残余油气藏的精细解剖对南方海相碳酸盐岩层系油气勘探研究具有重要的借鉴和指导意义。

已有的研究表明(马力等,2004),对麻江—凯里地区下古生界古油藏的油源尚存争议,多数学者认为古油藏形成于加里东末期,由下寒武统黑色泥岩供烃,但也存在多源(如下寒武统和下志留统页岩)供烃及印支期成藏等不同意见。本文通过对黔东南地区麻江古油藏、凯里残余油气藏及下寒武统牛蹄塘组的优质烃源岩的碳同位素、饱和烃色谱、饱和烃色质及芳烃色质等对比研究,重点探讨了该地区的油源问题。

1 地质背景及样品采集、测试

麻江古油藏为目前已知的南方最大的古油藏,

处在贵州东南部的麻江、都匀一带,为构造-岩性复合型油藏,属于加里东期成藏,加里东期破坏的古油藏,原油均已变为固体沥青,主要赋存在下奥陶统红花园组(O_1h)碳酸盐岩溶孔(晶洞)、构造裂隙以及志留系翁项群($S_{1-2}\omega^1$)砂岩粒间孔中。凯里地区是扬子区著名的下古生界油气显示分布区,处于液态烃的奥陶系、志留系油苗显示为主,包括鱼洞(虎庄 47 井)和凯棠等残余油气藏,受燕山期的强烈褶皱冲断和隆升剥蚀影响,原生油气藏基本破坏殆尽,现以残留油气残存(图 1,八普资料,1981;马力等,2004)。本次野外地质调查研究中,在麻江地区陆架桥下二叠统茅口组(P_1m)白云石化灰岩中观察到原油浸出,含油岩石呈花瓣状、黄褐色、砂糖状、较松软,原油主要沿后期尚未充填方解石脉的构造裂缝有规律性分布,表明其演化程度不高,浸入时间也不会太早,晚于后期构造裂缝。

本次研究对研究区南皋、洛绵、陆家桥、洛邦、坝固、三都和独山等典型剖面三叠系—震旦系进行了系统观测、采样(图 1),共采集岩样 123 件,沥青样 40 个、原油样 1 个,其中对沥青、原油进行了族组分及色谱、质谱分析,测定了干酪根、沥青和原油及其族组分碳同位素组分($\delta^{13}C_{\text{干酪根}}$ 、 $\delta^{13}C_{\text{org}}$)。

2 油苗和沥青的地球化学特征

2.1 原油族组分与地球化学特征

凯里—麻江地区 O_1h 、 $S_{1-2}\omega^1$ 和 P_1m 层位部分

注:本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目“中国海相碳酸盐岩层系生烃条件与生烃史分析”(编号 2005CB22102)资助成果。
收稿日期:2007-04-30;改回日期:2007-06-26;责任编辑:周健。
作者简介:张渠,男,1956 生。高级工程师,主要从事有机地球地化方面的分析和研究工作。Email: zhangq@mail. wuxisuo. com。

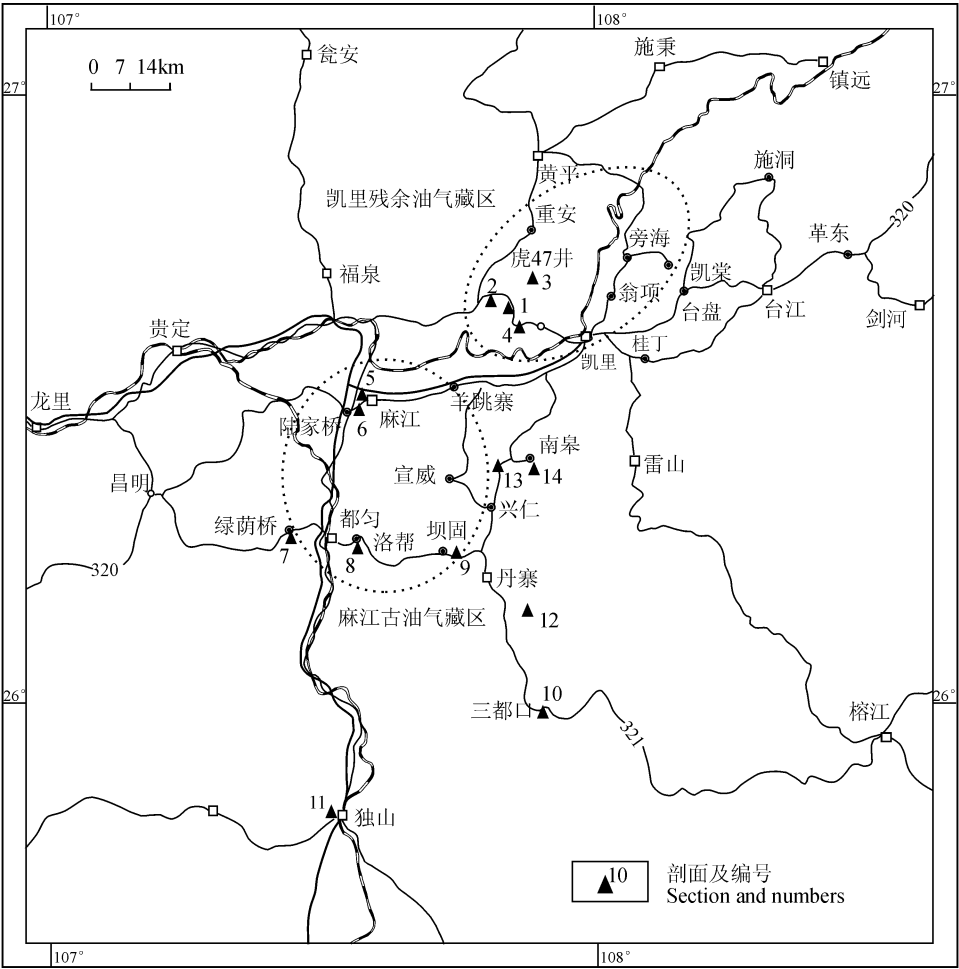


图 1 黔东南地区典型古油藏及主干剖面位置图

Fig. 1 The location of representative paleo-petroleum reservoir and main profile in southeast Guizhou

原油及沥青的成熟度、族组分及其碳同位素等特征如表 1 所示。

O_1h 、 $S_{1-2}w^1$ 中的油苗和沥青,饱和烃含量较高,一般大于 40%,饱/芳比 >1 ,姥植比(Pr/Ph) >1.10 ,三环萜烷比五环萜烷的相对浓度高,二者比值达 2.06~3.43(Dy-12 样品例外),其中虎庄 47 井 O_1h 原油属于轻质油,饱和烃含量最高,达到 65.70%,饱/芳比达 3.81(表 1);饱和烃组分呈富正

构烷烃的“前峰型”分布(图 2a、b、c、d),虎庄 47 井尤其突出(图 2a),主峰碳多为 C_{17} 或 C_{18} ,指示了海相原油的特征。

甾萜类方面,三环萜烷含量高于藿烷含量,三环萜烷以 C_{23} 为主峰, C_{21} 、 C_{23} 、 C_{24} 三环萜烷呈倒“V”字型,表明沥青和油苗的成熟度高,且具有运移特征(图 3a,以洛棉 $S_{1-2}w^1$ 油苗为例),其中都匀 $S_{1-2}w$ 中固体沥青例外,其三环萜烷含量低于藿烷,可能与

表 1 凯里—麻江地区油苗与沥青的主要地化数据表

Table 1 Geochemistry parameters of oil seepage and bitumen in Kaili—Majiang area

井名 (地点)	样号	层位	样品性质	R_b (%)	$\delta^{13}C_{原油/沥青}$ (‰)	饱和烃 /芳烃	Pr/Ph	三环萜烷 /五环萜烷	菲系 (%)	二苯并噻吩类 (%)
虎庄 47	虎 47	O_1h	原油	—	-31.36	3.81	1.12	2.45	40.09	11.15
洛棉	K1-06	$S_{1-2}w^1$	油苗	0.47	-30.84	1.60	1.46	3.43	38.42	11.90
麻江	Mj-02	O_1h	沥青	2.39	-31.96	3.08	1.15	2.06	45.45	19.66
都匀	Dy-12	$S_{1-2}w$	沥青	2.22	-31.62	1.29	1.60	0.76	60.24	3.67
麻江	Mj-03	P_1m	油苗	—	-27.85	1.38	0.82	0.53	23.82	58.59
陆家桥	Lj-22	P_1m	油苗	—	-27.36	0.15	0.99	0.86	12.57	66.66

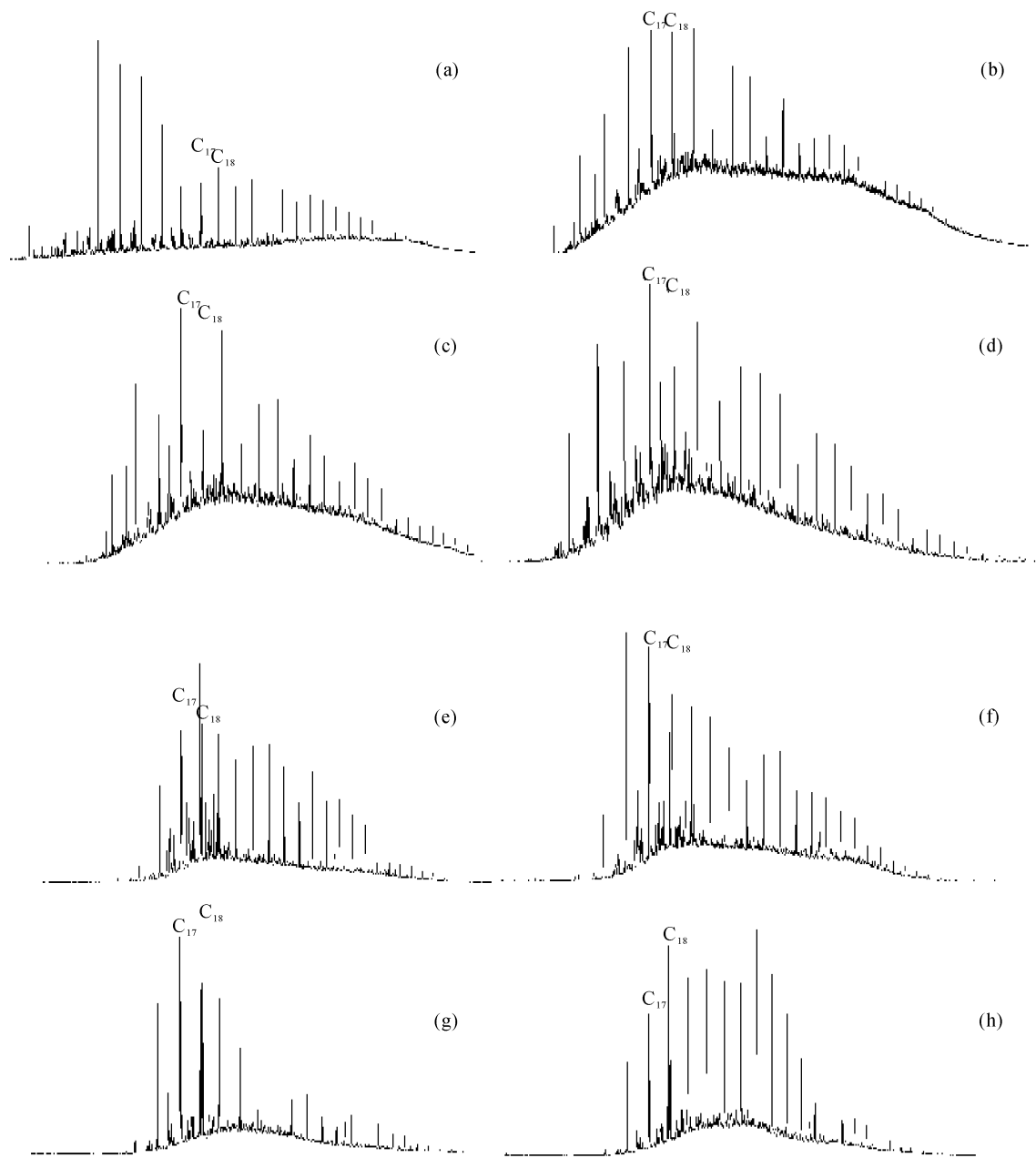


图 2 凯里—麻江地区油苗、沥青、源岩饱和烃色谱图

Fig. 2 Saturated hydrocarbon chromatogram of oil seepage, bitumen and source rocks in Kaili—Majiang area

(a)—虎 47 井,原油;(b)—洛棉 S₁₋₂w¹,油苗;(c)—麻江 O₁h,沥青;(d)—都匀 S₁₋₂w,沥青;(e)—麻江 P₁m,油苗;
(f)—陆架桥 P₁m,沥青;(g)—∈₁n 黑色页岩;(h)—P₁q 灰岩

(a)—Well Hu47, oil; (b)—Luomian S₁₋₂w¹, Oil; (c)—Majiang O₁h, bitumen; (d)—Duyun S₁₋₂w, bitumen; (e)—Majiang P₁m, oil;
(f)—Lujiqiao P₁m, bitumen; (g)—black shale of ∈₁n; (h)—limestone of P₁q

成熟度偏高有关;伽玛蜡烷含量普遍较低,伽玛蜡烷/C₃₀藿烷比值均小于 0.1;孕甾烷含量高于规则甾烷和重排甾烷的含量。

芳烃组分以富含三环菲系列化合物为特征,含

量变化在 40%~46%范围内,都匀 S₁₋₂w 沥青高达 60.24%,而二苯并噻吩类含量相对较低,为 3.67%~19.66%(表 1)。

P₁m 中的油苗,饱和烃含量较低,小于 10%,饱

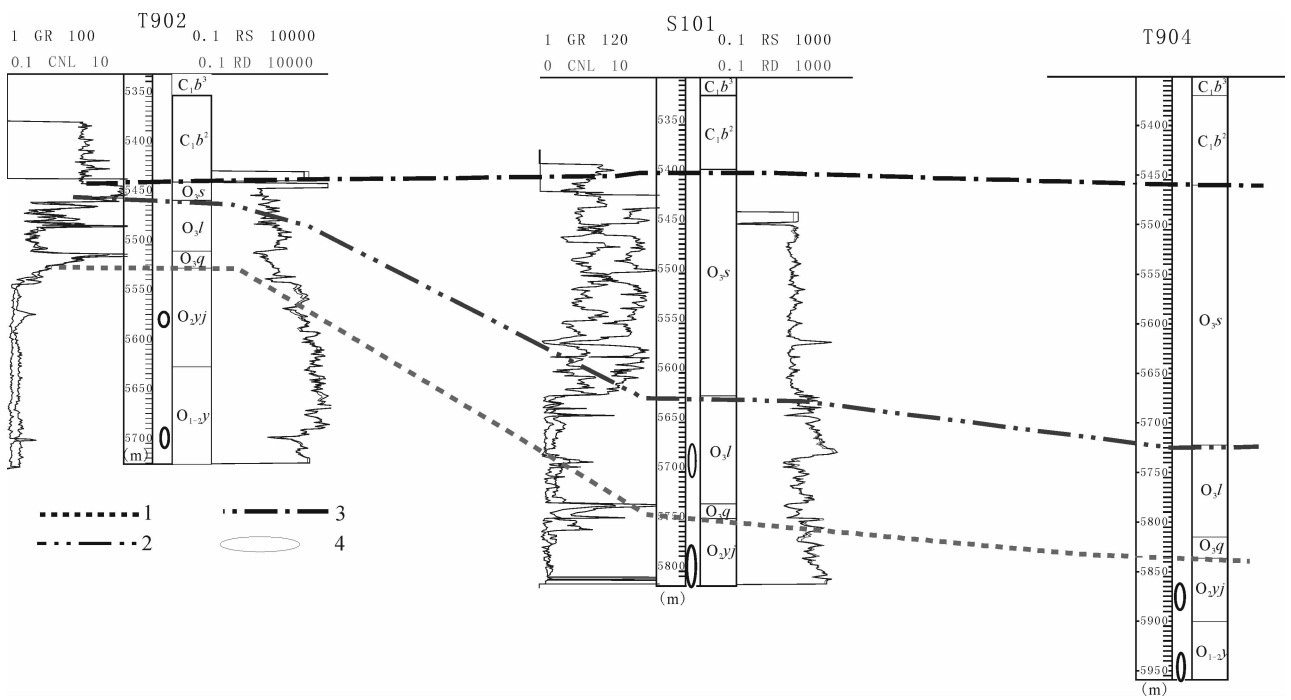


图 3 黔东南地区油苗-沥青饱和烃 m/z 217、 m/z 191 质量色谱图

Fig. 3 Saturated hydrocarbon fragmentogram (m/z 217、 m/z 191) of oil seepage and bitumen in southeast Guizhou

(a)—洛棉 $S_{1-2}\omega^1$, 油苗; (b)—麻江 P_1m , 油苗

(a)—Luomian $S_{1-2}\omega^1$, oil; (b)—Majiang P_1m , oil

和烃/芳烃比为 0.15~1.38(表 1), Pr/Ph 为 0.82~0.99, 三环萜烷比五环萜烷的相对浓度低, 二者比值明显小于 1(表 1), 饱和烃组分呈双峰型分布(图 2e、f); 三环萜烷以 C_{23} 为主峰, C_{21} 、 C_{23} 、 C_{24} 三环萜烷呈倒“V”字型; 藿烷系列中以 C_{30} 藿烷为主峰, C_{29} 、 C_{31} 藿烷的含量相对较高, C_{29}/C_{30} 藿烷比值为 0.41~0.60, C_{31}/C_{30} 藿烷比值为 0.23~0.27(图 3b)。芳烃组分以低菲、高二苯并噻吩系列化合物为特征, 含量分别为 12.57%~23.82% 和 58.59%~66.66%, 这一点与上述志留系和奥陶系原油、沥青特征明显不同, 暗示前者可能是源于碳酸盐岩的原油(表 1)。

2.2 碳同位素特征

虎庄 47 井 O_1h 原油的碳同位素为 -31.4‰, 饱和烃、芳烃、非烃、沥青质的组分碳同位素分别为 -31.8‰、-31.2‰、-30.5‰、-30.3‰; 洛棉 $S_{1-2}\omega^1$ 油苗的沥青“ A ”碳同位素为 -30.8‰, 组分碳同位素分别为 -31.4‰、-31.0‰、-31.0‰、-31.2‰; 洛棉 $S_{1-2}\omega^1$ 油苗的同位素类型曲线略有差异, 抽提物的沥青“ A ”碳同位素比沥青碳同位素(-31.9‰)重 1‰左右(图 4), 彼此具有可比性, 二者应属同源。

麻江 O_1h 和都匀 $S_{1-2}\omega$ 固体沥青的沥青“ A ”碳同位素、组分碳同位素比虎庄 47 井 O_1h 原油和洛棉 $S_{1-2}\omega^1$ 油苗要重, 固体沥青样品因沥青质馏分以贫 ^{13}C 为特征而呈现同位素类型曲线不规则, 以非烃组分的碳同位素最重, 这与固体沥青的演化程度较高有关。麻江 O_1h 和都匀 $S_{1-2}\omega$ 固体沥青抽提物的沥青“ A ”碳同位素比沥青碳同位素分别要重 2‰~3‰左右(图 5), 说明演化程度决定了彼此的差异。但它们的总体曲线形状与虎庄 47 井相似, 说明固体沥青与油苗应是同源。

麻江 P_1m 油苗的两个样品的沥青“ A ”碳同位素为 -27.9‰和 -27.4‰, 两者的组分碳同位素分别为 -27.5‰、-27.7‰、-27.5‰、-26.8‰和 -27.4‰、-28.0‰、-26.9‰、-28.2‰, 沥青碳同位素为 -29.9‰和 -29.3‰, 二者应属同源, 具混合型有机质来源特征, 其碳同位素值比虎庄 47 井原油明显偏重, 同位素类型曲线呈不规则状, 以非烃组分的碳同位素最重为特征(图 4)。

3 油苗和沥青的油源分析

本地区烃源岩的生烃潜力和时空分布研究表明, 发育有两套优质烃源岩, 一是下寒武统盆地相、

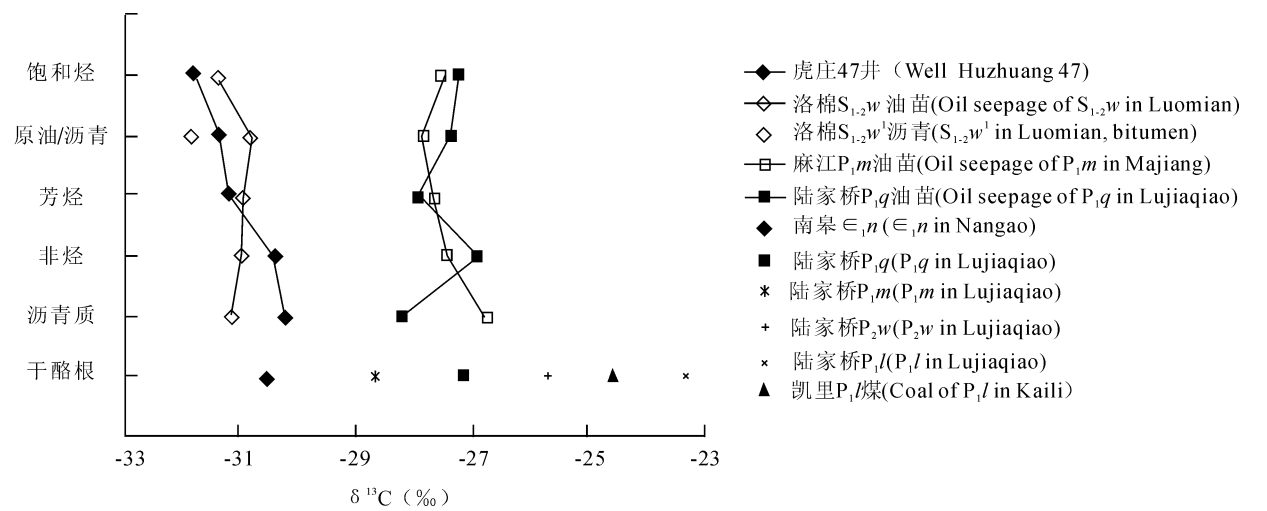


图 4 凯里—麻江地区油苗/沥青/源岩碳同位素类型曲线图

Fig. 4 Carbon isotope type of oil seepage, bitumen and source rock in Kaili—Majiang area

斜坡相的黑色页岩,有机丰度高(TOC普遍大于2%),类型好(I—II型),厚度数十米至100 m;二是二叠系盆地相和泻湖相中发育的优质烃源岩,主要在栖霞组和吴家坪组中局部发富有机质烃源岩,类型以混合型为主,厚度十几米至数十米。该两套优质烃源岩是本地区成烃成藏的物质基础,因篇幅所限本文未对其详述(详见另文)。

3.1 碳同位素组成对比

研究发现,富含有机质的牛蹄塘组($\in_1n$)黑色页岩的同位素类型曲线因演化程度高($R_b>3.4\%$)而呈不规则状,组分碳同位素明显重于 O_1h 和 $S_{1-2}w$ 油苗和固体沥青的组分碳同位素,以芳烃和非烃组分碳同位素为最重,说明随着演化程度的增加,组分碳同位素变重,变重的顺序为页岩($\in_1n$)>

固体沥青>油苗,固体沥青组分碳同位素以非烃最重,源岩以芳烃的组分碳同位素最重。 $\in_1n$ 黑色页岩中干酪根的同位素值主要为 $-29.1\text{‰} \sim -31.9\text{‰}$,平均为 -30.5‰ ,与虎庄47井原油、洛绵志留系油苗($S_{1-2}w^1$, K1-06)和麻江 O_1h (Mj-02)、都匀 $S_{1-2}w$ (Dy-12)固体沥青的原油和沥青碳同位素具有可比性(图4、图5),符合原油-源岩的相关性,说明油苗和沥青主要来源于牛蹄塘组($\in_1n$)的优质烃源岩。

从图4中可以看出,麻江地区下二叠统(P_1m)的油苗的碳同位素明显偏重,与虎庄47井原油明显不同,从 P_1m 油苗稳定碳同位素类型曲线分布趋势推测,与下二叠统栖霞组黑色页岩和灰岩的干酪根碳同位素彼此接近,具有可比性,与麻江 P_1l 煤系的

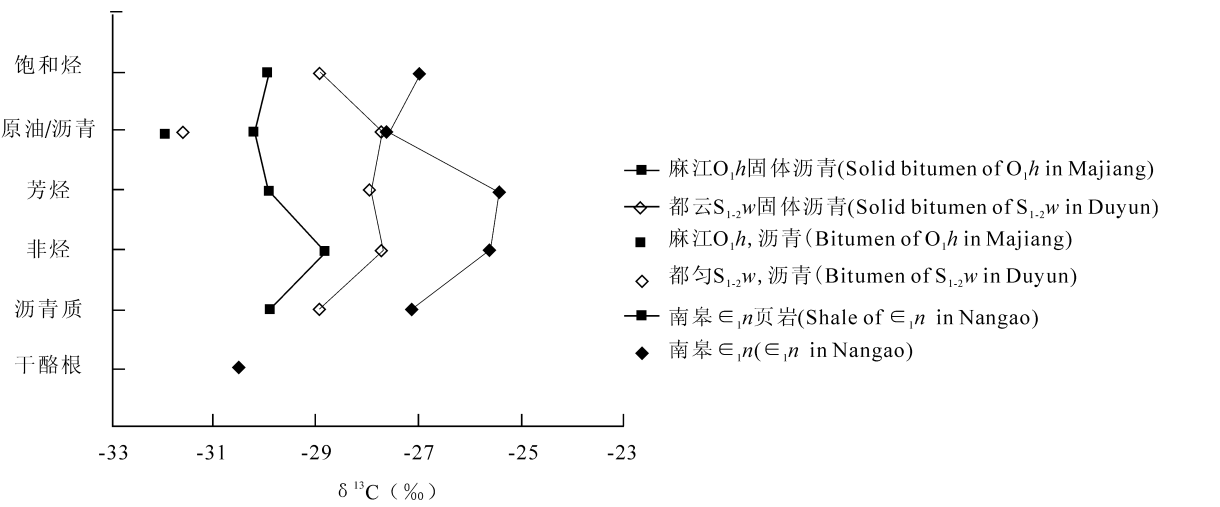


图 5 凯里—麻江地区沥青、源岩碳同位素类型曲线图

Fig. 5 Carbon isotope type of the bitumen and source rock in Kaili—Majiang area

干酪根碳同位素差异很大,说明 P_1m 油苗主要源于下二叠统栖霞组(P_1q)的优质烃源岩。

3.2 饱和烃色谱对比

从饱和烃色谱图(图 2a、b、c、d)可以看到,虎庄 47 井原油、洛绵志留系油苗($S_{1-2}w^1$, KI-06)、麻江 O_1h 固体沥青(Mj-02)和都匀 $S_{1-2}w$ 固体沥青(Dy-12)具有可比性, Pr/Ph 值分别为 1.12、1.15、1.46、1.60;牛蹄塘组(ϵ_1n)的黑色页岩的饱和烃色谱也具有完整的正构烷烃分布(图 2g), Pr/Ph 值在 1.04~1.14,只是正构烷烃或轻质组分较少,这可能是因为地表样品经过长期风化、水洗和成熟度等因素的影响所致。

凯里陆家桥 P_1q 的烃源岩的饱和烃色谱图也呈

3.3 生物标志化合物类

牛蹄塘组(ϵ_1n)的黑色页岩生物标志物的含量较低,孕甾烷含量高于规则甾烷和重排甾烷的含量,三环萜烷含量高于藿烷含量, $G/C_{30}H$ 比值均小于 0.1,与虎庄 47 井原油、洛绵志留系油苗($S_{1-2}w^1$, KI-06)、麻江 O_1h 固体沥青(Mj-02)具有相同特征。

凯里地区 P_1q 的黑色页岩和深灰色灰岩的三环萜烷以 C_{23} 为主峰, C_{21} 、 C_{23} 、 C_{24} 三环萜烷呈倒“V”字型,藿烷系列中以 C_{30} 藿烷为主峰, C_{29} 、 C_{31} 藿烷的含量相对较高, C_{29}/C_{30} 藿烷比值分别为 0.41、0.62, C_{31}/C_{30} 藿烷比值为 0.36,略高于 P_1m 油苗,三环萜烷的含量也高于藿烷的含量,这与栖霞组的页岩和灰岩的演化程度较高有关系。麻江地区 P_1m 油苗

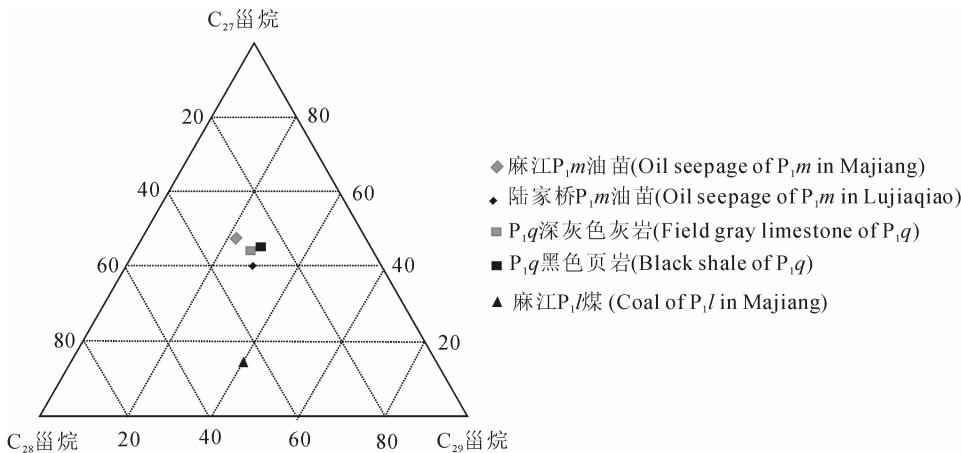


图 6 麻江地区二叠系油苗、源岩、煤 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷相对含量(%)关系图
Fig. 6 Sterane abundance (%) of oil seepage, source rock and coal of Permian in Kaili area

双峰形(图 2h), Pr /Ph 值小于 1,与 P_1m 油苗具有可比性(图 2e、f)。

和 P_1q 页岩和灰岩的 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷含量呈 $C_{27} > C_{28} \geq C_{29}$ 分布特征,而 P_1l 煤则为 $C_{27} < C_{28} \geq C_{29}$ 分

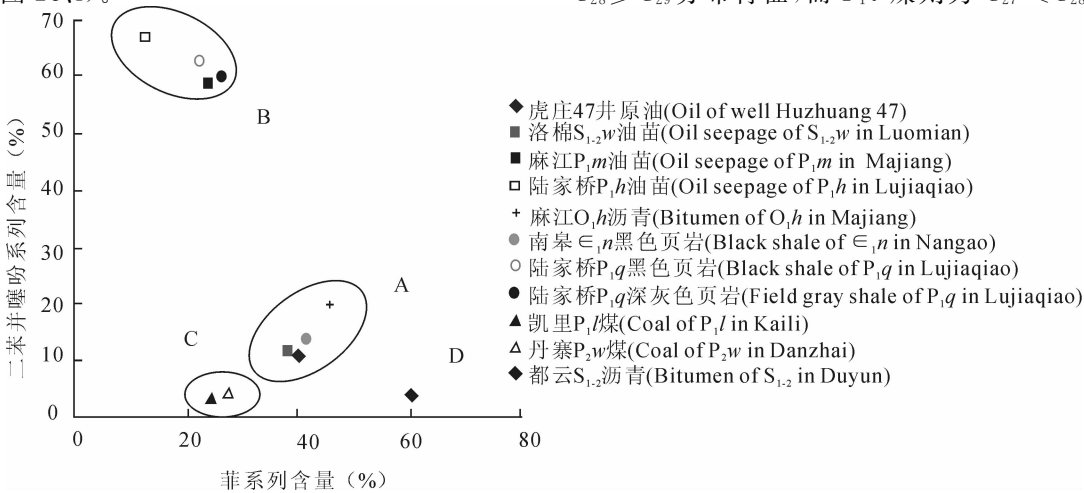


图 7 凯里地区油苗、沥青、源岩、煤的二苯并噻吩-菲系列关系图
Fig. 7 The DBT/phenanthrene correlation of oil seepage, bitumen, source rock and coal in Kaili area

布,说明 P_1m 油苗和 P_1q 页岩和灰岩具亲缘关系,与煤系无关(图 6)。

3.4 芳烃族组对比

从芳烃组分的三环菲系列化合物和二苯并噻吩系列化合物关系对比图(图 7A)中可以看出:虎庄 47 井原油、洛绵志留系油苗、麻江 O_1h 固体沥青与牛蹄塘组($\in_1n$)的黑色页岩具有相似的分布特征,都匀 S_{1-2} 固体沥青的三环菲系列化合物高于前者(图 7D),可能与演化程度高有关。

麻江地区 P_1m 油苗的芳烃组分与下二叠统栖霞组(P_1q)的芳烃组分都具有富含二苯并噻吩类化合物的特征(图 7B),而凯里地区二叠系煤系的芳烃组分中二苯并噻吩类化合物的含量很少,小于 10%(图 7C)。说明 P_1m 油苗源于下二叠统栖霞组的优质烃源岩,与煤系地层无关,这与上述碳同位素特征一致。

4 结论

(1)虎庄 47 井原油与洛绵志留系翁项群($S_{1-2}w^1$)油苗、麻江 O_1h 和都匀 S_{1-2} 固体沥青同源,主要来自下寒武统牛蹄塘组的优质烃源岩。

(2)凯里地区下二叠统茅口组的油苗与虎庄 47 井原油明显不同,主要源于下二叠统栖霞组的优质烃源岩,与二叠系的煤系无关。

(3)凯里—麻江地区的固体沥青和烃源岩的组

分碳同位素重于原油的组分碳同位素,随着演化程度的增加而变重,变重的顺序为页岩($\in_1n$)>固体沥青>油苗,固体沥青以非烃碳同位素最重,源岩以芳烃碳同位素最重。

参 考 文 献

戴少武,何自爱,王津义. 2001,中国南方中、古生界油气勘探的思路. 石油与天然气地质,22(3):195~202.

韩世庆,王守德,胡惟元. 1982. 黔东麻江古油藏的发现及其意义. 石油与天然气地质,3(4):316~327.

刘特民. 1987. 黔中何时隆起. 贵州地质,10(1):79~88.

马力,陈焕疆,甘克文,等. 2004. 中国南方大地构造和海相油气地质. 北京:地质出版社,502~567.

梅冥相. 1994. 论“黔中隆起”. 贵州地质,11(3):199~206.

田海芹,沃玉进,郑磊,等. 2002. 中国南方中、古生界油气勘探方向之思考——近源深埋逆断带可能是今后中国南方中、古生界油气勘探的主战场. 滇黔桂油气,15(3):21~25.

田海芹,郭彤楼,胡东风,等. 2006. 黔中隆起及其周缘地区海相下组合与油气勘探前景. 古地理学报,22(3):195~202.

王守德,郑冰. 1997. 中国南方古油藏与油气评价. 海相油气地质,2(1):44~50.

肖开华,沃玉进,周雁,等. 2006. 中国南方海相层系油气成藏特点与勘探方向. 石油与天然气地质,8(4):509~518.

张永刚,马宗晋,王国力,等. 2007. 中国南方海相油气成藏模式分析. 地质学报,81(2):236~243.

赵宗举,朱琰,徐云俊. 2004. 中国南方古生界—中生界油气藏成藏规律及勘探方向. 地质学报,78(5):710~720.

赵志东. 1984. 贵州及滇东地区下古生界油气资源评价. 贵州地质,1(1):79~88.

Oil Source of Oil Seepage and Solid Bitumen in the Kaili—Majiang Area

ZHANG Qu, Tenger, ZHANG Zhirong, QIN Jianzhong

Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Gerology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu, 214151

Abstract

Detailed research of typical paleo-reservoir and remnant oil/gas reservoir in the depression of southern Guizhou bears great significance in exploration of sea-facies carbonate layers. This paper analyzed geochemistry and oil source of Cambrian-Permian oil seepage and solid bitumen in the region of southeast Guizhou by using carbon isotope, saturated hydrocarbon chromatography, saturated hydrocarbon GC-MS, and aromatic hydrocarbon GC-MS. The results indicated that No. 47 oil well at Huzhuang and oil seepage hosted in the Silurian sandstone at Luomian as well as the slid bitumen of Ordovician O_1h member in the Majiang area are of the same oil source, mainly originating from high-quality hydrocarbon source rocks of the Lower-Cambrian Niutitang Formation, while the oil seepage of P_1m in Majiang is obviously different from that of No. 47 oil well at Huzhuang, it comes mainly from the high-quality hydrocarbon source rocks of the Lower-Permian Qixia Formation.

Key words: oil seepage; solid bitumen; oil source analysis; good source rock