文章编号:1001 - 6112(2008)02 - 0186 - 06

贵州凯里地区下古生界原油油源分析

高 林[1,2] ,刘光祥[3]

(1. 成都理工大学 ,成都 610069;2. 中国石油化工股份有限公司 勘探南方分公司 ,成都 610041;
3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所 ,江苏 无锡 214151)

摘要:在分析贵州凯里地区及邻区古生界烃源岩特征基础上 ,重点分析了凯里地区下古生界原油地球化学特征。研究表明 ,凯里地区下古生界原油、油砂的碳同位素组成特征与下古生界烃源岩抽提物碳同位素组成较为接近 ,而与二叠系烃源岩抽提物的差异较大 ,反映原油与下古生界亲缘关系较好。但原油、油砂在规则甾烷组成特征、四环萜烷相对含量、γ 蜡烷指数等生标特征参数上 ,却与二叠系烃源岩更为相似 ,表明研究区下古生界原油、油砂中的石油可能为下古生界烃源岩和二叠系烃源岩生成油的混源油;结合研究区及邻区构造 —沉积演化史、烃源岩生烃演化史探讨了混源油形成的地质过程。

关键词:原油;烃源岩;地球化学特征;油源对比;下古生界;凯里地区;贵州

中图分类号:TE122.1 **文献标识码**:A

ANALYSIS ON OIL SOURCE OF LOWER PALAEOZOIC CRUDE OIL FROM KAILI AREA IN GUIZHOU PROVINCE

Gao Lin[1,2] , Liu Guangxiang[3]

(1. *Chengdu University of Technology , Chengdu, Sichuan* 610069, *China;* 2. *Southern Exploration Branch Company , SINOPEC, Chengdu, Sichuan* 610041, *China;* 3. *Wuxi Research Institute of Petroleum Geology , Research Institute of Petroleum Exploration and Production , SINOPEC, Wuxi , Jiangsu* 214151, *China*)

Abstract : The geochemical characteristics of the Lower Palaeozoic crude oil from Kaili and its adjacent areas in Guizhou Province has been analyzed with emphasis in this paper based on the characteristics of the source rocks of the same areas. The results show that the stable carbon isotopic composition of the Lower Palaeozoic crude oil and oil sand is similar to that of the Lower Palaeozoic source rock extract , but obviously different from that of the Permian source rock extract , indicating that the crude oil is more closely related to the Lower Palaeozoic source rocks. While the biomarker parameters of the crude oil and the oil sand , such as the regular sterane , the tetracyclic terpane and the gammacerane/ C_{31}-hopane , are more related to those of the Permian source rocks , indicating that the oil from the Lower Palaeozoic and the oil sand may be the mixture of oils generated from the Lower Palaeozoic and the Permian source rocks. The formation process of the mixture oil has also been discussed based on the structural - sedimentary evolution history and the hydrocarbon generation history of the source rocks in the study area.

Key words : crude oil ; source rock ; geochemical characteristics ; oil and source rock correlation ; Lower Palaeozoic ; Kaili area ; Guizhou Province

1 地质概况

研究区位于黔东南 ,地表出露地层为寒武系、奥陶系、中下志留统、中上泥盆统和中下二叠统。地表构造格局呈现为北东向的背、向斜相间 ,并为多条北东走向的断层切割(图 1)。研究区构造单元属于黔南坳陷的黄平凹陷。

前人研究表明[1~4] ,区内自震旦纪以来发育了被动大陆边缘与克拉通周边坳陷(Z —O_2)、克拉通内坳陷(O_3 —S)、克拉通内局部坳陷(D —C)、陆内裂陷与坳陷盆地(P —T_2)多期不同类型盆地的叠加 ,中三叠世末导源于雪峰山的基底拆离构造活

收稿日期:2008 - 01 - 22;**修订日期**:2008 - 02 - 15。

作者简介:高 林(1966 —) ,男 ,博士研究生 ,高级工程师 ,主要从事油气勘探研究和管理工作。E-mail :lingaoynkm @sina.com。

基金项目:中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司项目[2004 - 17(KT)]。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

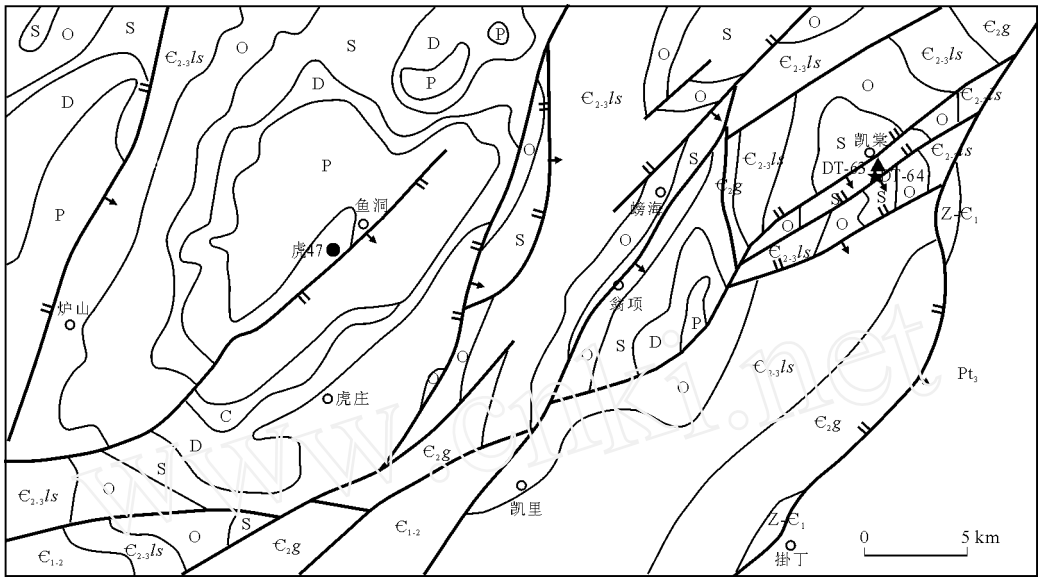


图 1　贵州凯里地区地质略图

Fig. 1　Geologic sketch map of Kaili area in Guizhou Province

动,致使本区结束了海相沉积史[5]。由于受不同世代盆地沉积充填控制,研究区及邻区发育了上震旦统陡山沱组、下寒武统九门冲组、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组泥质烃源岩、二叠系碳酸盐岩(为辅)和泥质烃源岩(为主)等多套烃源岩,它们为区内油气成藏奠定了雄厚的物质基础。区内广泛的油气和沥青显示反映了这一点。该区不仅地表油气苗丰富,而且在多口钻井多层系(震旦系、寒武系、奥陶系和志留系)均见油气显示,少数钻井还曾获工业气流和工业油流。前人根据油气产出、显示特点认为,"本区工业油气流的聚集主要发生在 97 Ma 燕山运动之前,随着燕山主幕的强烈褶皱、冲断隆升及剥蚀,已聚集油气基本被破坏殆尽,以残留油气残存"[6]。邱蕴玉等根据原油、氧化稠油、储层沥青饱和烃、芳烃气相色谱和饱和烃色谱—质谱特征,并结合"七五"科技攻关取得的有关"雪峰推覆构造"、"陆内造山形变"等观念提出凯里虎庄下奥陶统残留油流属海相封闭性混源油的认识[6]。本文对虎 47 井奥陶系原油、凯棠镇南志留系油砂及邻区下寒武统、志留系、二叠系烃源岩进行了采样分析,并结合最新勘探研究成果,以期探讨区内下古生界原油来源和分析该区油气勘探前景。

2　原油地球化学特征与烃—源对比

2.1　样品及其基本特征

本文除采集了凯棠向斜志留系沥青砂岩、含油砂岩和虎 47 井原油样品外,还采集了邻区下寒武统、下志留统、二叠系烃源岩样品和麻江古油藏奥陶系和志留系储层沥青样品。采样位置及其基本特征见表 1。由表 1 可见,下寒武统烃源岩有机质丰度较高,处于过成熟阶段;研究区西北部黔北坳陷下志留统龙马溪组烃源岩有机质丰度也较高(表

表 1　贵州凯里地区及邻区烃源岩、沥青、油砂样品位置及其基本特征

Table 1　Location and property of the source rock, the bitumen and the oil sand samples from Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

样品号	采样位置	层位	岩性	有机碳, %	T_{max}, ℃	I_H/ (mg · g^{-1})	I_O/ (mg · g^{-1})
DT - 06	麻江西陆家桥	P_2w	碳质硅质岩	13.30	465	7	35
DT - 23	三都城东	C_1z	碳质页岩	2.05		0	3
GBC - 63	良村—吼滩	S_1ln	含碳泥岩	0.52		0	40
DT - 03	都匀洛帮	S_1	含沥青砂岩	0.94	532	4	104
DT - 16	都匀坝固镇东	O_1h	沥青灰岩	61.31	526	38	2
DT - 63	凯棠镇南	S	含沥青砂岩	0.27	431	232	91
DT - 64	凯棠镇南	S	含油砂岩	4.33	425	376	23
WT - 10	翁安永和镇	C_1m	含沥青砂岩	0.20	495	10	65

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中数据低为强风化氧化所致),也处于过成熟阶段;二叠系烃源岩处于高成熟阶段。从不同地区储层沥青演化程度(热解最大峰温)看,翁安永和镇下寒武统明心寺组砂岩、麻江古油藏下奥陶统红花园组灰岩、中下志留统翁项群砂岩储层沥青均处于过成熟阶段,而凯棠镇南志留系砂岩中沥青则处于油窗内。不同演化程度沥青、液态油共生现象反映出研究区及邻区存在多期成藏改造事件。

2.2 原油地球化学特征

2.2.1 原油及其馏分碳同位素组成特征

由图 2 可见,寒武系、志留系、二叠系 3 套烃源岩抽提物及其馏分碳同位素具时代越老同位素越轻的特点。虎 47 井原油、凯棠镇南志留系油砂全油及其馏分碳同位素普遍较轻,具典型海相原油特征。其中,虎 47 井原油及其馏分碳同位素具正常组合序次分布,即 $\delta^{13}C_{饱和烃} < \delta^{13}C_{全油} < \delta^{13}C_{芳烃} < \delta^{13}C_{非烃} < \delta^{13}C_{沥青质}$;而凯棠镇南志留系油砂及其馏分则呈现出局部倒转现象,与虎 47 井原油相比,全油、饱和烃、芳烃碳同位素较为接近,而非烃、沥青质碳同位素明显变轻,最大差值为 1.87‰。凯棠镇南志留系沥青砂岩氯仿沥青"A"及其馏分碳同位素组成特征与虎 47 井原油及该剖面油砂基本相似,不仅反映了它们的同源性,而且表明其源岩具有相似的演化程度。凯棠镇南志留系油砂及沥青砂与虎 47 井原油 3 件样品之同位素组成特征与塔里木盆地塔河油田原油及其馏分碳同位素组成特征点落于同一区域,反映其源自海相烃源层;但与研究区及邻区烃源岩抽提物相比,又明显偏负(图 3)。其原因是残留于源岩中的烃类碳同位素随演化程度的增高而逐渐变重。图 4 展示了塔里木盆地 S74 井稠油热模拟残渣抽提物及其馏分碳同位素随模拟温度的增高而逐渐变重的变化特点。从其碳同位素分馏效应看,S74 井稠油($\delta^{13}C_{全油}$ = -32.09‰,$\delta^{13}C_{饱和烃}$ = -31.49‰,$\delta^{13}C_{芳烃}$ = -32.07‰,$\delta^{13}C_{非烃}$ = -32.05‰,$\delta^{13}C_{沥青质}$ = -32.78‰)与过成熟晚期(550 ℃,对应 R_o 为 4.19%)模拟残渣抽提物及其馏分碳同位素分馏效应分别为 3.43‰,4.99‰,6.07‰,5.30‰,5.11‰。由此不难看出,下古生界烃源岩可能是凯里地区原油、油砂及低演化程度沥青的源岩,而二叠系烃源岩则与该区原油、油砂和低演化程度沥青关系略为疏远。

2.2.2 饱和烃气相色谱特征

虎 47 井原油饱和烃气相色谱特征如图 5 所示。正构烷烃分布于 C_{12}—C_{34},主峰碳为 C_{17},正构烷烃构成曲线呈单前峰型,轻重比(C_{21^-} / C_{22^+})较高

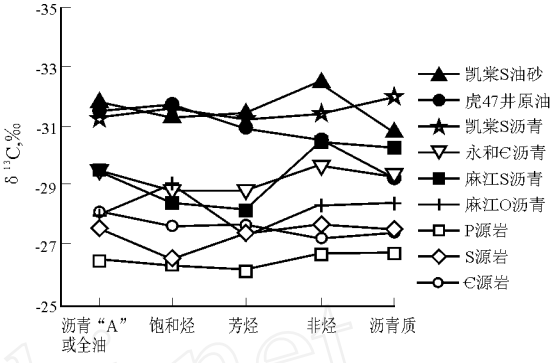


图 2 贵州凯里地区原油、沥青和源岩抽提物及其馏分碳同位素组成

Fig. 2 Stable carbon isotopic composition of the crude oil, the extract of bitumen and source rocks and its fractions from Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

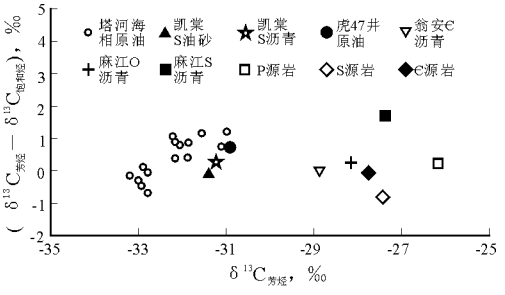


图 3 贵州凯里地区原油、沥青和邻区烃源岩 $\delta^{13}C_{芳烃}$ 与($\delta^{13}C_{芳烃}$ - $\delta^{13}C_{饱和烃}$)相关图

Fig. 3 Relation between $\delta^{13}C_{aro}$ and ($\delta^{13}C_{aro}$ - $\delta^{13}C_{sat}$) of the crude oil, the extract of bitumen and source rocks from Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

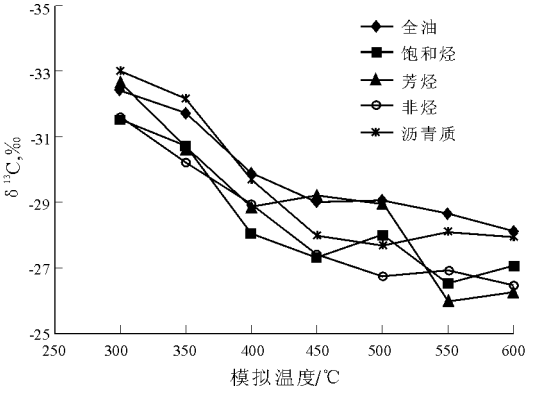


图 4 塔里木盆地 S74 井稠油热模拟实验中残渣抽提物及其馏分碳同位素随温度变化

Fig. 4 Stable carbon isotopic changes of the residual extract and its fractions with temperature during the thermal simulation of the heavy crude oil from Well S74 in the Tarim Basin

(2.33),Pr/Ph 为 1.15,总体反映为源自腐泥型干酪根的特点。其奇偶优势指数(OEP)为 1.05,反映源岩成熟度至少已达成熟阶段;Pr/nC_{17},Ph/nC_{18} 均较

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

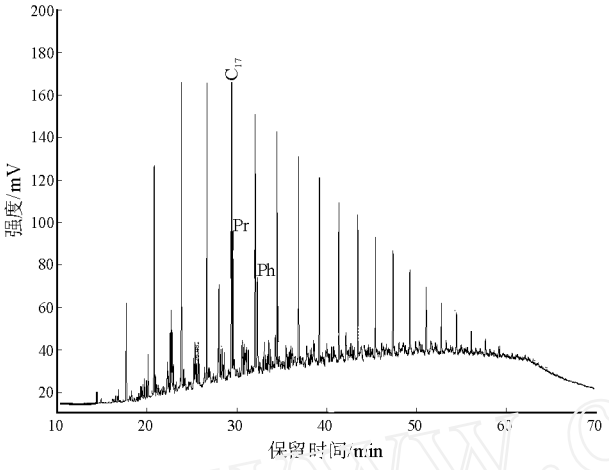


图 5　贵州凯里地区虎 47 井原油饱和烃气相色谱

Fig. 5　Gas chromatogram of the saturated hydrocarbon of the crude oil from Well Hu 47 in Kaili area, Guizhou Province

低(均为 0.41),表明具有较好的油气保存条件。

2.2.3　甾、萜烷生标特征

甾、萜烷类因其特殊的环状分子结构,化学性质相对稳定,具有较强的抗生物降解能力,它所包含的生源信息、热演化程度信息参数在油—油、油—岩、岩—岩对比中广泛应用。

规则甾烷分布:在 C_{27} 胆甾烷、C_{28} 麦角甾烷、C_{29} 谷甾烷相对构成上,二叠系、志留系、寒武系烃源岩及其各层系沥青均呈不对称的"V"字形分布;而志留系油砂呈反"L"形分布,以 C_{29} 谷甾烷占绝对优势,C_{27} 胆甾烷与 C_{28} 麦角甾烷基本均势。虎 47 井原油 C_{28} 麦角甾烷含量极低,C_{27} 胆甾烷与 C_{29} 谷甾烷相对含量相当(图 6)。通常认为,胆甾烷与低等水生生源相关,而谷甾烷则与陆源高等植物生源输入相关。因此,规则甾烷构成特征反映出志留

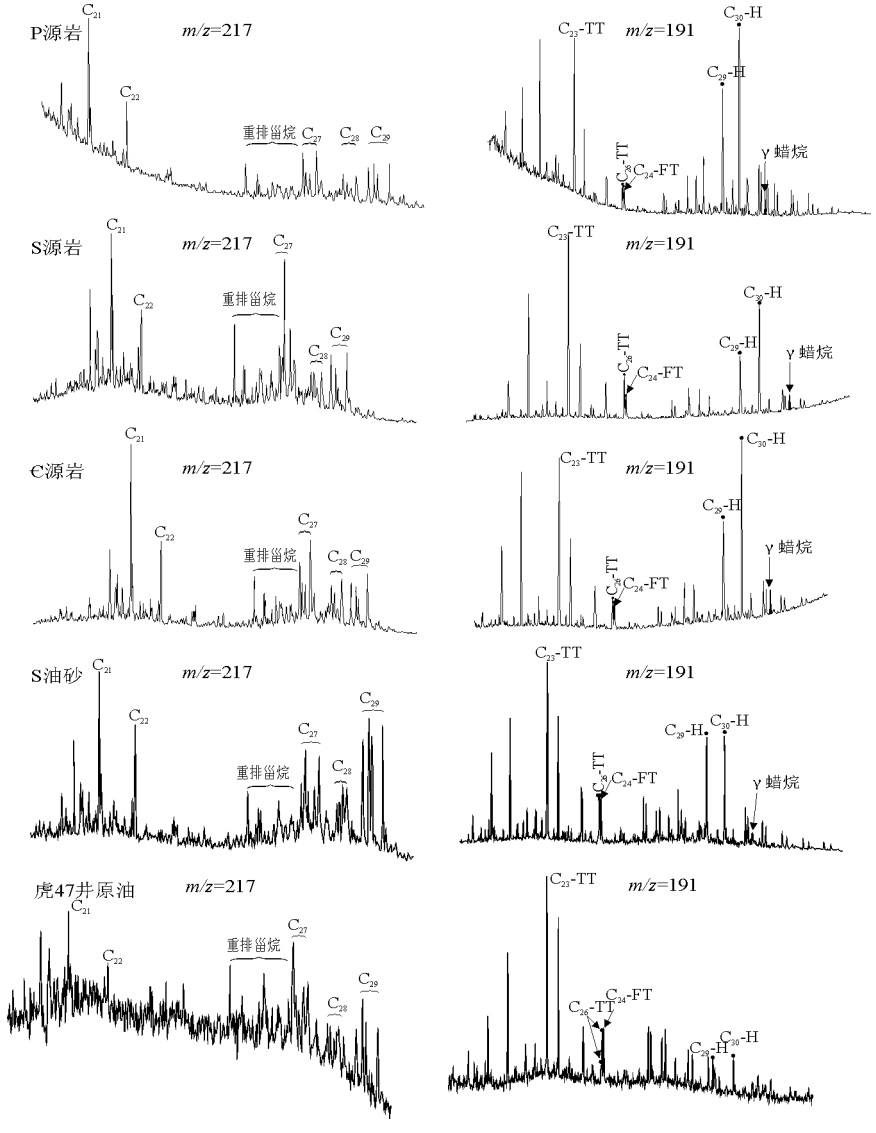


图 6　贵州凯里地区原油、油砂及邻区烃源岩抽提物甾、萜烷特征

Fig. 6　Characteristics of steranes and terpanes of the crude oil, the oil sandstone and the source rock extract from Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

系油砂和虎 47 井原油之源岩生源组合中具有一定含量的陆源高等植物,与烃源岩的分布及有机质类型相对应,二叠系烃源岩可能有一定的贡献。规则甾烷归一化三角组成图也反映出凯棠镇南志留系砂岩中原油及沥青和虎 47 井原油与二叠系烃源岩具较好的亲缘关系(图 7)。

在四环萜烷相对含量方面,下古生界烃源岩 2 倍 C_{24} —四环萜烷/C_{26} —三环萜烷($2C_{24}$ —FT/C_{26} —TT)分布于 1.17～2.00,平均为 1.53,二叠系烃源岩该比值低,为 0.87。凯棠镇南志留系油砂 $2C_{24}$ —FT/C_{26} —TT 比值较低(1.05);虎 47 井原油该比值更低,仅为 0.33,明显较下古生界烃源岩的要低,而与二叠系烃源岩较为接近,可能揭示为混源特征。

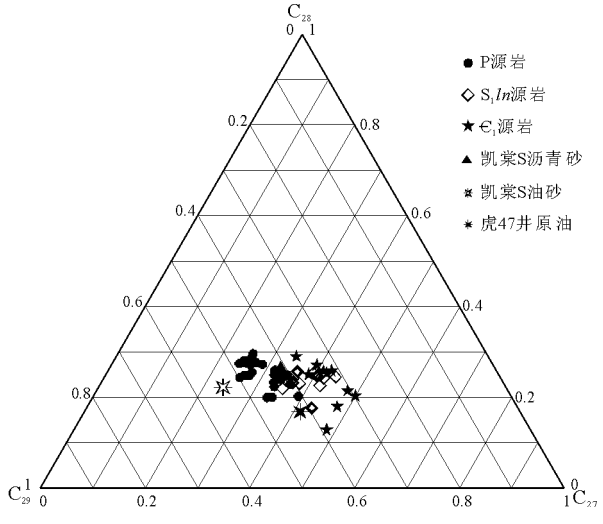


图 7 贵州凯里地区原油、油砂及邻区烃源岩抽提物规则甾烷归一化三角组成

Fig. 7 Triangular diagram showing the relative abundances of C_{27}-, C_{28}- and C_{29}-regular steranes in the crude oil, the oil sandstone and the source rock extract in Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

C_{29} 藿烷/C_{30} 藿烷(C_{29} —H/C_{30} —H)参数被认为与岩性相关,该比值大于 1 反映为碳酸盐岩,小于 1 则反映为泥质岩。由表 2 可见,研究区储层沥青及油砂该比值参数均小于 1,反映区内烃源岩主体以泥质岩为主。但值得注意的是,志留系油砂该比值明显较下古生界烃源岩的要高,已接近于 1,反映可能受碳酸盐岩烃源岩生成烃叠加的信息。虎 47 井原油该比值较低,反映为泥质烃源岩为主的特征。

γ蜡烷指数主要反映了烃源岩的沉积环境,比值越高,沉积环境的还原性就越强,盐度就越高。凯棠镇南志留系油砂该比值明显较下古生界烃源岩的低,而与二叠系烃源岩的较为接近;虎 47 井原油未检测到 γ蜡烷,反映了其间存在较好的亲缘关系。

综合全油及其馏分碳同位素组成特征、饱和烃结构组成特征和甾萜烷生标特征参数,凯棠镇南志留系油砂原油和虎 47 井原油具有下古生界烃源岩与二叠系烃源岩混源特征。

3 讨论与结论

贵州凯里地区下古生界原油、油砂及其馏分碳同位素反映该区原油源自下古生界烃源岩,但甾、萜烷生标特征又揭示出具二叠系烃源岩生成油气渗混叠加组合面貌。下古生界 2 套烃源岩生成的油气储集于下古生界储层属于正常式生储组合,但上古生界二叠系烃源岩生成的油气如何“倒灌”入奥陶系、志留系储层中?凯里地区及邻区现今过成熟的下古生界烃源岩生成的原油如何保存至今?并如何与源自二叠系的原油发生渗混?

生烃史研究表明,凯里及邻区下寒武统烃源岩在志留纪末期 R_o 分布于0.7%～1.4%,处于大量

表 2 贵州凯里地区原油、油砂、沥青和源岩抽提物生标特征

Table 2 Biomarker characteristics of the crude oil, oil sandstone, bitumen and source rock extract samples from Kaili and its adjacent area, Guizhou Province

样品号	采样位置	层位	岩性	规则甾烷相对含量,%			C_{27}/(C_{28}+C_{29})	$2C_{24}$ —FT/C_{26} —TT	γ蜡烷指数	C_{29} —H/C_{30} —H
				C_{27}	C_{28}	C_{29}				
DT-06	麻江西陆家桥	P_2w	碳质硅质岩	31.75	25.93	42.32	0.47	0.87	0.14	0.54
DT-23	三都城东	C_1z	碳质页岩	38.65	25.02	36.33	0.63	1.60	0.14	0.69
GBC-63	良村—吼滩	S_1ln	含碳泥岩	40.48	24.61	34.91	0.68	2.00	0.20	0.48
DT-03	都匀洛帮	S_1	含沥青砂岩	32.90	26.04	41.06	0.49	1.09	0.23	0.50
DT-16	都匀坝固镇东	O_1h	沥青灰岩	41.10	27.78	31.12	0.70	1.29	0.11	0.72
WT-10	翁安永和镇	C_1m	含沥青砂岩	35.04	26.63	38.34	0.54	1.15	0.13	0.77
DT-63	凯棠镇南	S	含沥青砂岩	30.14	24.67	45.20	0.43	1.22	0.17	0.94
DT-64	凯棠镇南	S	含油砂岩	23.76	22.22	54.02	0.31	1.05	0.14	0.98
虎 47	虎 47 井井口		原油	41.17	16.82	42.01	0.70	0.33	—	0.74

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生油期,加里东晚期构造运动不仅使生成的烃类得以大量排出,而且形成适时的圈闭捕获油气成藏。何丰胜等[7]研究表明,虎庄—鱼洞一带深层背斜构造形成于加里东期证实了这一点。在凯里地区,尽管随着后期沉积盖层的叠加,下寒武统烃源岩于中三叠世末已达高成熟—过成熟阶段,但对于奥陶系和志留系储层而言,其经历的温度仍较低(小于 110 ℃, R_o < 0.7 %),至燕山期构造隆升前,下奥陶统红花园组储层经历的最高古地温仍小于 175 ℃(R_o < 1.3 %),油相得以保持。二叠系烃源岩至中三叠世末仍处于未成熟期,至侏罗纪末,已处于低成熟—成熟期,但此时生成的油气难以"倒灌"渗混至下古生界储层,油砂、原油成熟度参数也反映出没有低成熟油的渗混。晚燕山期以来雪峰山的逆冲推覆作用,不仅形成浅层构造叠加于加里东期构造之上,导致深、浅层构造不协调[7],而且使部分二叠系烃源岩再次深埋,并使低成熟—成熟阶段的二叠系烃源岩进一步熟化生烃,下古生界逆冲在二叠系之上,二叠系烃源岩生成的成熟原油向逆冲岩席的上覆下古生界储层运移,导致了本区下古生界混源油特征。

参考文献:

1 吉让寿,秦德余,高长林等. 东秦岭造山带与盆地[M]. 西安:西安地图出版社,1997
2 高长林,叶德燎,黄泽光等. 中国中生代两个古大洋与沉积盆地[J]. 石油实验地质,2006,28(2):95～102
3 高长林,黄泽光,叶德燎等. 中国早古生代三大古海洋及其对盆地的控制[J]. 石油实验地质,2005,27(5):439～448
4 高长林,叶德燎,黄泽光等. 中国晚古生代两大古海洋及其盆地的控制[J]. 石油实验地质,2005,27(2):104～110
5 丁道桂,郭彤楼,胡明霞等. 论江南—雪峰基底拆离式构造:南方构造问题之一[J]. 石油实验地质,2007,29(2):120～127
6 马　力,陈焕疆,甘克文等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004. 523～534
7 何丰胜,杜定全. 凯里虎庄背斜的构造特征及油气保存条件分析[J]. 贵州工业大学学报,2001,30(1):20～23

(编辑　吴传芝)

(上接第 185 页)

参考文献:

1 秦建中,刘宝泉,郑伦举等. 海相碳酸盐岩烃源岩生排烃能力研究[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):349～355
2 秦建中,刘井旺,刘宝泉等. 加温时间、加水量对模拟实验油气产率及地化参数的影响[J]. 石油实验地质,2002,24(2):152～157
3 史基安,王　琪,赵　欣. 不同类型烃源岩气态烃生成特征研究[J]. 沉积学报,1999,17(2):301～305
4 刘全有,刘文汇,秦胜飞等. 煤岩及煤岩加不同介质的热模拟地球化学实验:气态和液态产物的产率以及演化特征[J]. 沉积学报,2001,19(3):465～468
5 黄志海,张四海,钟宁宁. 碳酸盐岩生气的热模拟实验[J]. 地质科学,2003,38(4):455～459
6 程克明,王兆云,钟宁宁等. 碳酸盐岩油气生成理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社,1996. 139～175
7 刘宝泉,蔡　冰. 上元古界下马岭组页岩干酪根的油气生成模拟实验[J]. 石油实验地质,1990,12(2):147～161
8 高　岗. 油气生成模拟方法及其石油地质意义[J]. 天然气地球科学,2000,11(2):25～29
9 赵孟军,卢双舫. 原油二次裂解气:天然气重要的生成途径[J]. 地质论评,2000,46(6):645～650
10 王振平,付晓泰,卢双舫等. 原油裂解成气模拟实验、产物特征及其意义[J]. 天然气工业,2001,21(3):12～14
11 王云鹏,耿安松,刘德汉等. 页岩、煤、沥青和原油的生气模拟实验研究[J]. 沉积学报,2004,22(增刊):106～109
12 赵文智,王兆云,何海清等. 中国海相碳酸盐岩烃源岩成气机理[J]. 中国科学(D 辑　地球科学),2005,35(7):638～648
13 张　林,魏国齐,吴世祥等. 四川盆地震旦系—下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质,2005,27(3):276～280
14 王健宝,肖贤明,王汝泰. 四川盆地早古生代地层中沥青的成因及其生气潜力研究[J]. 天然气工业,2003,23(5):127～129
15 王振平,赵锡嘏,付晓泰等. 塔里木盆地源岩排烃模拟实验及视排油效率[J]. 石油实验地质,1995,17(4):372～376
16 刘大锰,金奎励,王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因[J]. 现代地质,1999,13(2):169～175
17 霍秋立,冯子辉,付　丽. 非烃和沥青质生烃热模拟研究[J]. 地质地球化学,2002,30(3):64～67
18 秦建中,刘宝泉. 海相不同类型烃源岩生排烃模式研究[J]. 石油实验地质,2005,27(1):74～80
19 刘德汉,史继扬. 高演化碳酸盐岩非常规评价方法探讨[J]. 石油勘探与开发,1994,21(3):113～115
20 陈中凯,金奎励. 天然固体沥青的有机岩石学特征[J]. 煤田地质与勘探,1995,23(4):18～22

(编辑　吴传芝)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net