

文章编号:1672-9854(2010)-01-0044-07

四川盆地东部海相二叠系油苗的发现及其地质意义

刘岩¹, 钟宇宇¹, 邵瑞奇², 田永晶¹, 朱雷¹, 马永强³

(1 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室; 2 重庆天府矿业公司生产部)

(3 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室)



刘岩

摘要 在四川盆地东部古生界地层发现大量天然气资源,鲜有原油发现。重庆天府磨心坡煤矿下二叠统茅口组石灰岩上部地层裂隙发现沿层间裂隙随水渗出的黄绿色液态轻质油苗。研究表明:油苗碳数分布较窄,为 C_4 - C_{26} ,具有明显的姥鲛烷优势,Pr/Ph值为1.64, $\delta^{13}C$ 值为-26.2‰;油苗所反映的成熟度较高,折算 R_o 约为1.6%,一维盆地模拟验证二叠系的热演化程度可达与之相当的热演化程度。综合研究认为油苗与二叠系煤系地层关系密切。油苗的发现表明,在四川盆地古生界整体高过成熟的大背景下,某些成熟度相对较低,保存条件适宜的区域仍有发现一些中小型油藏的可能,这对四川乃至南方古生界油气勘探具有一定的启示意义。

关键词 四川盆地东部;海相地层;二叠系;油苗;成熟度;碳同位素

中图分类号:TE125.2 **文献标识码**:A

刘岩 1985年生,在读博士研究生。主要从事油气地质与地球化学研究。通讯地址:102249 北京市昌平区中国石油大学(北京)资源与信息学院

四川盆地分为5个不同的含油气区,即川东气区、川南气区、川西南气区、川北气区和川中油气区,且具有全盆含气的特点^[1]。各区均发现大量天然气资源,川中平缓构造区除侏罗系发现少量凝析油外,古生界却鲜有原油的发现^[2]。2006年8月初,在重庆天府磨心坡煤矿下二叠统茅口组石灰岩上部地层裂隙发现液态轻质油苗,油苗沿层间裂隙随水渗出,至8月20日出油量达1 t/d左右,一直持续到9月下旬开始减量,至10月上旬仍有少量渗出,渗出持续时间约2个月,累计渗出原油约30~40 t。发现油苗后,笔者赴渝采集到样品,并进行了一系列地球化学分析。上世纪90年代,在南桐煤矿硃石台矿区也曾发现赋存于长兴组石灰岩的多处油苗^[3]。这些发现表明在四川盆地,尤其是东部已经达到高过成熟的上古生界中油苗的发现并非孤立现象,今后仍有发现上古生界油藏的可能。

1 区域地质及油苗产状

磨心坡煤矿位于川东南斜坡高陡构造区天府中

梁山隔档式构造北段观音峡背斜西翼,处于泸州古隆起东北部^[1](图1),褶皱核部出露上二叠统长兴组生物礁灰岩地层(图2)。油苗产于茅口组灰岩上部地层裂隙,沿层间裂隙渗出,出油点上方为上二叠统龙潭组煤系地层和长兴组石灰岩。地表(石门)标高约600 m,出油点为标高约100 m的浅层,其地层和地质构造特征见图3。油苗沿茅口组石灰岩裂缝顺层产出,能自然流出,呈淡黄绿色,挥发性极强,且具有刺鼻气味。茅口组石灰岩色浅,有机质丰度很低,裂隙溶洞较多但普遍被方解石饱和充填,与此相同,龙潭组也普遍发育方解石脉,而晶洞较为少见。

2 油苗地球化学特征

2.1 油苗宏观物性及地球化学特征

油苗呈透明状,杂质含量少,密度低(仅为0.7755 g/cm³),黏度极低,属于轻质凝析油。定量族组分分析表明,油苗以饱和烃为主,芳烃含量极低,基本不含非烃和沥青质。

收稿日期:2009-05-08

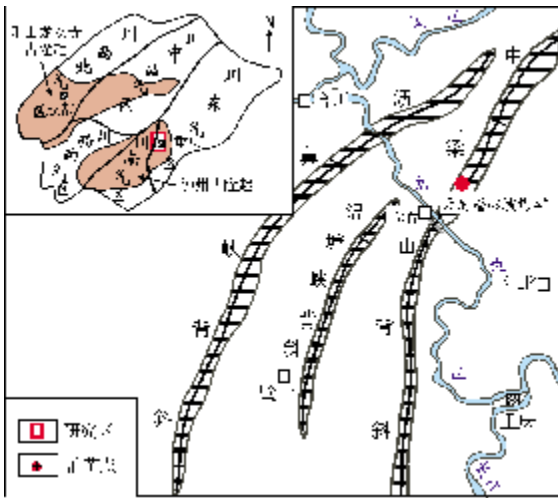


图1 油苗产出位置示意图

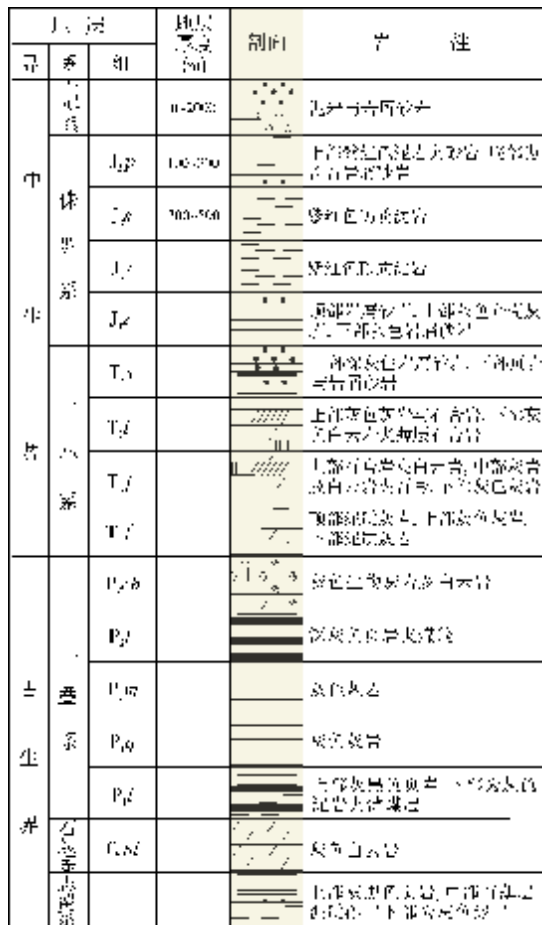


图2 磨心坡矿区及周边地层综合柱状图

J_{3p} 蓬萊鎮組; J_{3s} 遂寧組; J_{3s} 沙溪廟組; J_{3z} 自流井組;
T_{3x} 須家河組; T_{2l} 雷口坡組; T_{1j} 嘉陵江組;
T_{1f} 飛仙關組; P_{2ch} 長興組; P_{2l} 龍潭組; P_{1m} 茅口組;
P_{1q} 栖霞組; P_{1l} 梁山組; C_{2h} 黃龍組

磨心坡油苗全油色谱特征为: 碳数分布范围较窄, 为 $nC_4 \sim nC_{26}$, 主峰碳数为 nC_8 , 为单峰态前峰型; 轻重比极高, $\Sigma C_{21}^- / \Sigma C_{21}^+$ 达 264; Pr/nC_{17} 为 0.59, Ph/nC_{18} 为 0.46, Pr/Ph 值为 1.64, 姥鲛烷略占优势, 表明油苗源岩的沉积环境为较强氧化环境^[4]; 庚烷值为 13.73, 异庚烷值为 2.56; 正构化系数为 1.04, 芳构化系数为 3.44 (图 4)。

油苗极轻, GC/MS 分析基本未检测到有生物源意义的甾萜类化合物。磨心坡油苗全油碳同位素值 $\delta^{13}C_{油}$ 较重, 为 -26.2‰ , 从四川盆地现已发现的一些凝析油的碳同位素组成特征^[5]来看 (表 1), 油苗具典型的煤型油特征。

表1 油苗碳同位素与四川盆地凝析油碳同位素组成比较

母质类型	气藏	井号	层位	凝析油 $\delta^{13}C_{油}$ (‰)	$\delta^{13}C_{总}$ (‰)	$\delta^{13}C_{芳}$ (‰)	备注
腐殖型	川西北中坝	中 29	T ₃ X ²	-26.02	-26.69	-24.74	据文献 [5]
		中 34	T ₃ X ²	-25.96	-26.57	-24.69	
	川中八角场	角 13	T ₃ X ²	-26.05	-27.63	-24.13	
		角 48	T ₃ X ⁶	-25.89	-27.70	-25.50	
		角 6	Jt ¹	-24.99	-26.88	-24.09	
	川东卧龙河	卧 13	T ₁ J ⁵	-26.28	-26.35	-25.26	
		卧 70	T ₁ j	-25.87	-26.16	-24.51	
腐泥型	川东板东	板东 4	P ₂ ch	-26.51	-26.54	-25.66	据文献 [5]
	川中八角场	角 2	Jt ⁴	-29.92	-29.99	-28.29	
		角 12	Jt ⁴	-29.10	-29.78	-28.02	
	川南纳溪	纳 24	T ₁ j ¹	-30.64	-30.96	-29.35	
	川南白节溪	白 1	T ₁ j ¹	-29.52	-29.88	-27.60	
	川西北中坝	中 21	T ₂ l ³	-31.47	-31.89	-30.18	
		中 40	T ₂ l ³	-31.67	-32.05	-30.15	
	磨心坡油苗		P ₁ m	-26.20			据文献 [3]
	磨心坡龙潭组煤		P ₂ l		-26.50	-23.30	
	磨心坡泥岩		P ₂ l		-26.10	-23.01	
	南桐煤矿 4# 煤层		P ₂ l	-26.20			
	南桐煤矿		P ₂ ch	-27.77			

注: T₃x 须家河组; Jt 珍珠冲组; T₁j 嘉陵江组; P₂ch 长兴组; T₂l 雷口坡组; P₁m 茅口组; P₂l 龙潭组。

编者注: Jt 为侏罗系中、下统自流井群, 层位大致与文中 J_{3z} 相当, 其中 Jt¹ 为珍珠冲组 (段), Jt⁴ 为大安寨组 (段)。

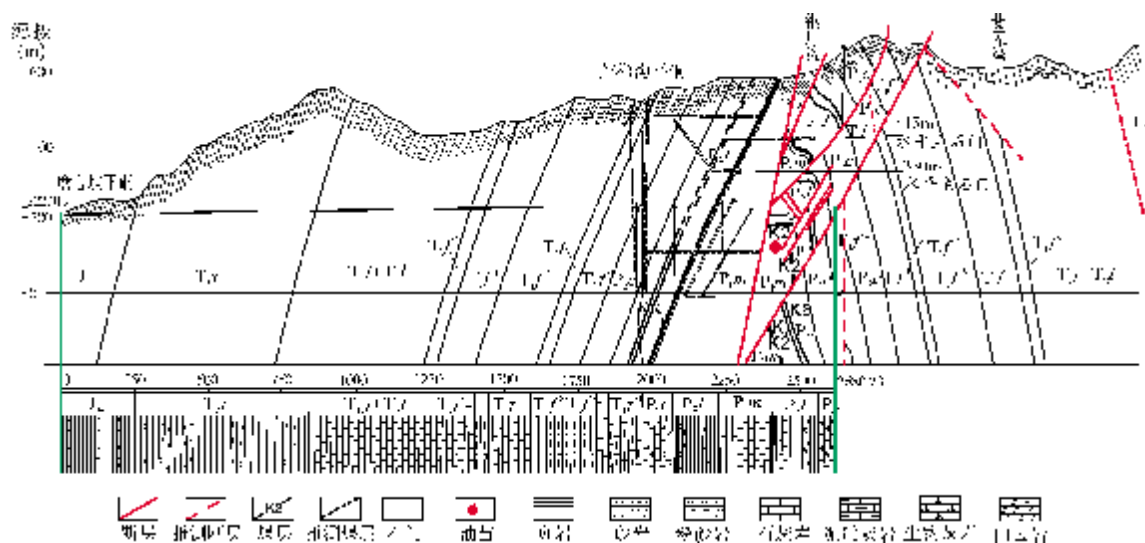


图3 磨心坡油苗发现点地质剖面

T_{3x} 须家河组; T_{3j} 嘉陵江组; T_{2l} 雷口坡组; T_{1f} 飞仙关组; P_{2c} 长兴组; P_{2l} 龙潭组; P_{1m} 茅口组

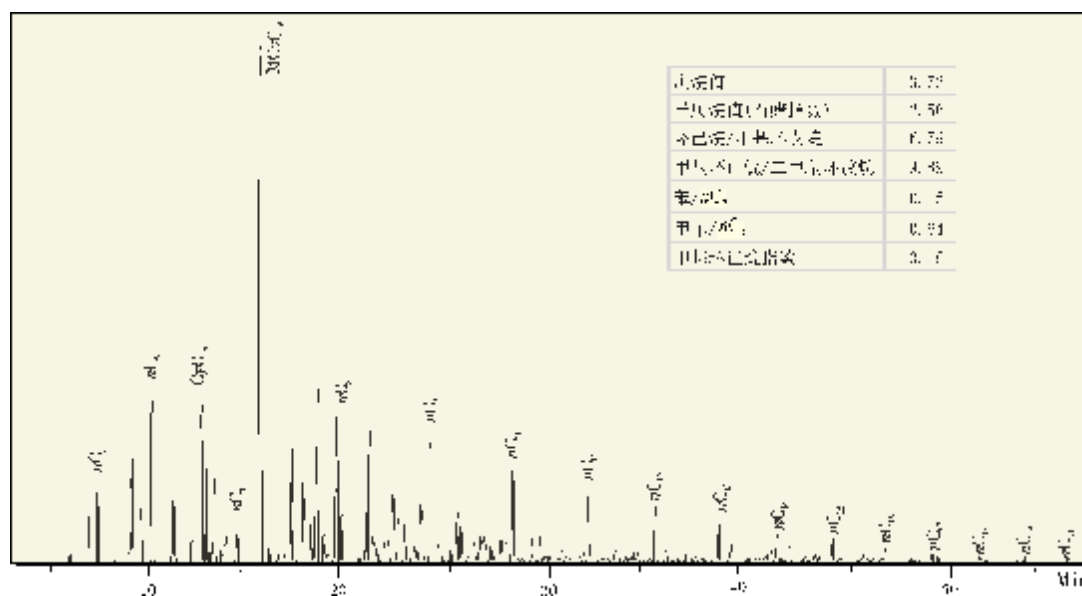


图4 磨心坡油苗气相色谱图

2.2 原油成熟度特征

2.2.1 庚烷值与异庚烷值

庚烷值与异庚烷值是常用的分子成熟度参数。Thompson^[7] 用庚烷值和异庚烷值来衡量沉积物中轻烃的烷基化程度,将原油划分为四大类,并认为这种分类也适合于凝析油。王顺玉^[5,8]将四川盆地凝析油按母质来源分为五大类:成熟陆源母质来源凝析

油、高成熟陆源母质来源为主的凝析油、成熟湖相腐泥母质来源凝析油、高成熟海相腐泥母质来源凝析油和高成熟混源凝析油。结合 Thompson^[7]的庚烷值—异庚烷值的演化曲线(图5),可以看出原油更加接近于川东北地区龙潭组煤系地层来源的2类凝析油(以卧龙河气田嘉陵江组二段凝析油和板东4井凝析油为代表),且庚烷值偏低,芳构化程度更高,表明其热演化程度更高,这也与其地层时代更老的实际地质相符合。

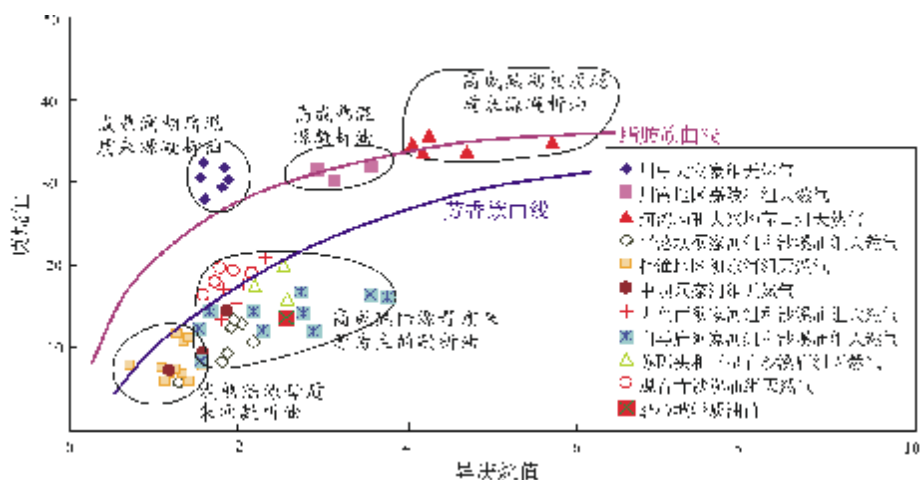


图5 磨心坡原油样品庚烷值参数(据文献[5])

2.2.2 可能烃源岩演化初步分析

区内可能的烃源岩为上二叠统海相地层和海陆交互相煤系地层、下二叠统煤系地层和下志留统龙马溪组页岩。据地层剖面丈量厚度,结合区域地层资

料^[9],运用 Genex 一维盆地模拟软件,对其进行虚拟并盆地模拟(图6)。从剖面的盆地模拟结果来看,该区龙潭组地层经历的最高地温也大约是在 135~150℃之间,折算 R_o 约为 1.6,与龙潭组实测 R_o 相一致。

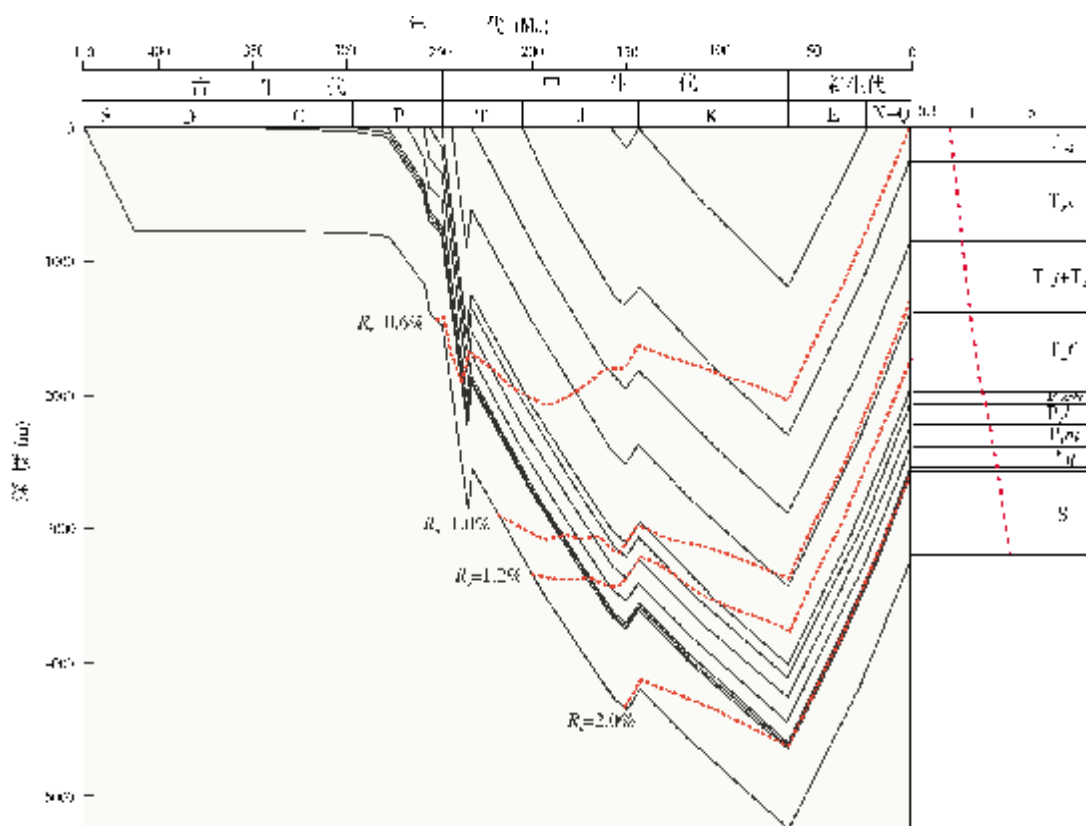


图6 磨心坡煤矿烃源岩演化历史

T_{3x} 须家河组; T_{1j} 嘉陵江组; T_{2l} 雷口坡组; T_{1f} 飞仙关组; P_{2ch} 长兴组; P_{2l} 龙潭组; P_{1m} 茅口组; P_{1q} 栖霞组

美国学者 Mango^[10-12]于 1987 年建立了一套轻烃生成的稳态催化模型,用于计算原油的成熟度。Bement^[13]等用 4 个不同构造类型盆地的 5 套不同时代生油岩轻烃资料,对 2,4-/2,3-DMP 这项 Mango 提出的轻烃温度参数进行了地质校正。他们利用镜质体反射率(R_o)作为地质温度计求取生油层的最大埋深温度,建立了生油层最大埋深温度与 2,4-/2,3-DMP 的函数关系式,指出该轻烃温度参数不受盆地类型、温度史(有效受热时间)、生油层时代、干酪根类型和岩性的影响,并以此计算了 2500 多个原油的生成温度,但至今尚未发表该温度关系式。Mango^[14]基于 Bement 的研究工作和他本人的分析资料,推导出一个生油层最大埋深温度(T)与 2,4-/2,3-DMP 的函数方程式: $T(^{\circ}\text{C})=140+15\ln(2,4-/2,3\text{-DMP})$ 。该温度与盆地类型、热历史(有效加热时间)以及生油岩时代、干酪根类型及岩性诸因素无关,并且在塔里木盆地应用效果良好^[15]。应用 Mango 方法计算原油的 K_1 值(Mango 参数)为 1.14,完全符合 Mango 提出的轻烃稳定热催化成因理论,说明油气成藏后没有经过生物降解的影响,保存条件相对较好。计算得出该油样最大生油层温度达 144 $^{\circ}\text{C}$,与模拟结果相同。

3 油苗来源的初步探讨

3.1 $\text{C}_5\text{—C}_7$ 馏分组成特征

凝析油中各组分的含量变化具有专属的指向意义。Leythzeuser^[16]等研究认为源于腐泥型母质的原油轻烃馏分中富含正构烷烃,源于腐殖型母质的轻烃馏分则富含异构烷烃和环烷烃,而 Snowdon^[17]认为富含环烷烃也是陆源母质的重要特征。根据塔中典型海相原油和吐哈盆地煤成油以及川西北、川西以及川中不同类型母质来源凝析油的 C_5 、 C_6 、 C_7 族组成特征^[8,18-19]确定了图版,结果表明磨心坡油苗与煤成油凝析油特征更为接近(图7),而且具有高成熟的特征。 $n\text{C}_6$ 、 $i\text{C}_6$ 和 $n\text{C}_7$ 和苯类化合物的相对组成变化可以较好地区分不同沉积环境母质生成的凝析油。含海相有机质生成凝析油苯含量低, $n\text{C}_6$ 和 $i\text{C}_6+n\text{C}_7$ 含量高;而煤成凝析油正好相反,苯含量高,而 $n\text{C}_6$ 和 $i\text{C}_6+n\text{C}_7$ 含量低,油型凝析油处于两者之间。张云献^[20]通过东濮凹陷文23气田、白庙、桥口深层以及塔里木盆地中1井,共11个凝析油样品的轻烃组分的统计分析,利用 C_6 各组分间的差异,较好地地区分了海相凝析油、陆相凝析油与油型凝析

油。磨心坡油苗 C_6 各组分相对组成与东濮凹陷煤型凝析油组成相类似(图8)。以高等植物为主要生源的陆相原油轻烃中环己烷占优势,而海相原油中环戊烷很丰富^[21]。油苗的环己烷/甲基环戊烷值可达 6.79,环己烷占绝对优势。 $\text{C}_5\text{—C}_7$ 轻烃组成及 C_6 系列化合物的组成均表明,磨心坡油苗更像是煤型凝析油。

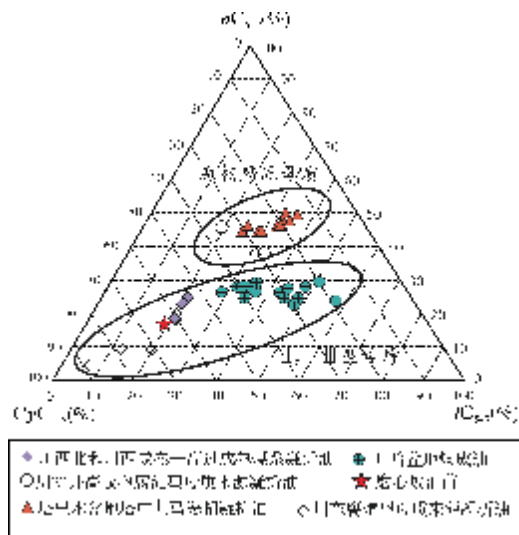


图7 油苗 C_{5-7} 轻烃组成三角图(据文献[17—19])

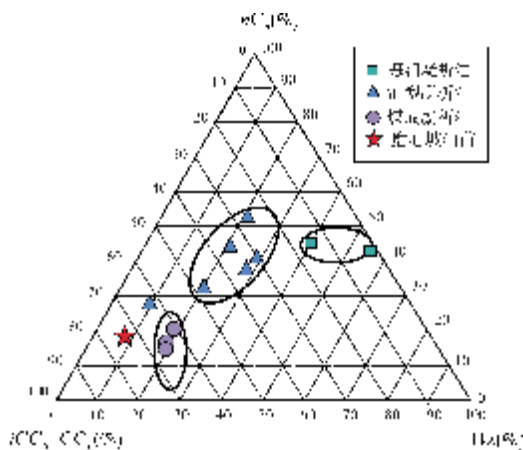


图8 C_6 类化合物组成三角图(据文献[20],有修改)

3.2 C_7 馏分组成特征

C_7 馏分中的甲基环己烷(MCYC₇)主要来自高等植物木质素、纤维素和糖类,热力学性质相对稳定,是反映陆源母质类型的良好参数,它的大量出现是煤成油轻烃的一个特点。各种结构的二甲基环戊烷(DMCYC₅)主要来自水生生物类脂化合物,并受

成熟度影响。正庚烷(nC_7)主要来自藻类和细菌,对成熟作用十分敏感,是良好的成熟度指标^[22]。塔里木盆地原油轻烃分析结果表明^[15],海相油中有较高的二甲基环戊烷,其含量大都在15%以上,而陆相油中一般小于15%。另一方面,陆相油中甲基环己烷较丰富,基本上都高于30%,而海相油中大多低于30%,反映出有机质类型及沉积环境的差别。在一定的演化程度下,原油轻烃的碳环优势指数(RPI)主要受源岩沉积环境中的催化剂种类(过渡金属及其配位体)控制,与干酪根的类型和结构关系密切,因而可用轻烃中的异构烷烃(3RP)、环戊烷(5RP)和环己烷(6RP)的组成来区分原油。故而从原油的 C_7 正构烷烃、二甲基环戊烷和甲基环己烷组成相对含量,可以判断原油与陆相还是海相有机质关系密切^[4]。前人^[8]对四川天然气及凝析油的 C_7 轻烃组成进行了研究(图9)。研究发现,Ⅰ型与Ⅱ₁型干酪根生成油气,以川中地区大安寨组的天然气、川南地区嘉陵江组的天然气、河湾场和大兴场茅口组的天然气为代表,Ⅱ型与Ⅲ型干酪根或煤生成油气主要包括中坝、梓潼地区老关庙、文兴场、柘坝场、魏城等须家河组的天然气,平落坝、大兴西、白马庙须家河组和侏罗系的天然气以及观音寺、苏码头和三皇庙侏罗系的天然气。两种天然气具有明显的差别。油样 C_7 的二甲基环戊烷、甲基环己烷和 nC_7 相对组成上,富环己烷,而贫 nC_7 ,甲基环己烷含量非常高,达72.06%,各种结构二甲基环戊烷含量低,仅为13.2%,结合前人^[8]对四川天然气与凝析油的研究成果,可以看出磨心坡油苗为Ⅲ型干酪根母质来源的凝析油。

3.3 碳同位素组成特征

结合上扬子地区烃源岩干酪根碳同位素值演化特征^①,依据碳同位素分馏特征分析(图 10),其可能烃源岩应该为上二叠统,包括龙潭组、长兴组和大隆组的海相或海陆交互相地层,而不太可能是下伏栖霞组与梁山组。而依据地层关系,上二叠统作为烃源层似不合常理,但从油苗发现点处逆冲断层构造的发育情况来看(图 3),逆冲断层造成的地层倒置关系有可能使上二叠统中生成的烃类沿断层进入到下二叠统茅口组石灰岩中,但烃源在上二叠统的具体位置和成藏过程仍有待进一步研究。

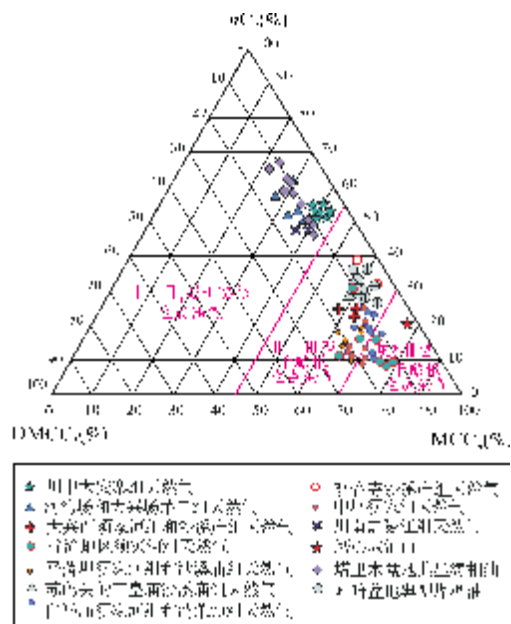
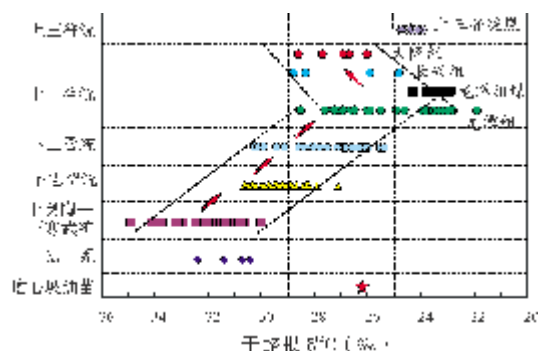
图 9 油苗 C₇ 轻烃组成三角图(据文献[8,18—19])

图 10 油苗的稳定碳同位素组成特征(底图据文献①)

综上所述,磨心坡油苗可能来源于上二叠统海相地层或海陆交互相地层,尤其与海陆交互相龙潭组煤系可能有较密切的生源关系。

川东地区煤热演化程度分布具有明显的特点,背斜部位煤系地层成熟度较低,大多为焦煤—瘦煤,部分露地表部位甚至仍处于肥煤阶段^[23]。在川东地区,仍有部分地区有机质的热演化程度相对较低,在保存条件适宜的地方,还有发现一些小型凝析油藏的可能性。

4 结 论

川东磨心坡煤矿高一过成熟的海相二叠系茅口

① 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司. 南方复杂构造区有效烃源岩评价[R]. 2007.

组石灰岩裂缝中发现轻质油苗。

油苗的油质较轻,碳数分布范围较窄($C_4 \sim C_{26}$),具有姥鲛烷优势。轻烃组成特征表明,油苗的性质与四川盆地已发现的煤成凝析油较相似。油苗的碳同位素组成也揭示了其来源于Ⅲ型或Ⅱ型干酪根的可能性。

油苗的折算成熟度 R_o 为1.6%左右,一维盆地模拟验证二叠系地层的热演化程度可达与之相当的热演化程度。

磨心坡油苗的发现表明,在川东及至南方上古生界地层整体高一过成熟的大区域背景下,某些相对较低成熟的区域仍有发现一定规模的石油聚集的可能,这对四川盆地及至南方上古生界油气勘探具有一定的启示意义。

参考文献

- [1] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志:卷十 四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [2] 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.
- [3] 李任伟. 四川南桐煤矿区长兴灰岩中油苗地化特征[J]. 地质科学,1993,28(4):347-355.
- [4] 彼得斯 K E,莫尔多万 J M.生物标志化合物应用指南:古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌,张水昌,林永汉,等,译. 北京:石油工业出版社,1995.
- [5] 王顺玉,王廷栋. 四川盆地凝析油的地球化学特征[J]. 石油与天然气地质,1990,12(4):454-461.
- [6] 王顺玉,王廷栋,明巧. 高演化地区煤系凝析油的地球化学特征[J]. 天然气工业,1994,3(2):26-29.
- [7] Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1983,47:307-316.
- [8] 王顺玉,明巧,贺祖义,等. 四川盆地天然气 $C_4 \sim C_7$ 烃类指纹变化特征研究[J]. 天然气工业,2006,(11):11-13.
- [9] 曾道富. 关于恢复四川盆地各地质时期地层剥蚀量的初探[J]. 石油实验地质,1988,10(2):134-141.
- [10] Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: A kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 1315-1323.
- [11] Mango F D. The origin of light cycloalkanes in petroleum[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 23-27.
- [12] Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: Ring preference in the closure of carbocyclic rings[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1994, 58(2): 895-901.
- [13] Bement W O, Levey R A, Mango F D. The temperature of oil generation as defined with C_7 chemistry maturity parameter(2,4-DMP/2,3-DMP ratio)[C]// Grimalt J O, Dorronsoro C. Organic Geochemistry: Developments and Applications to Energy, Climate, Environment and Human History. Donostia-San Sebastian: European Association of Organic Geochemistry, 1994:505-507.
- [14] Mango F D. The light hydrocarbons in petroleum: a critical review[J]. Organic Geochemistry, 1997, 26(7/8):417-440.
- [15] 朱扬明,张春明, Mango. 轻烃参数在塔里木原油分类中的应用[J]. 地球化学, 1999, 28(01):26-33.
- [16] Leythaeuser D, Schaefer R G, Cornford C. Generation and migration of light hydrocarbon ($C_2 \sim C_7$) in sedimentary basins[J]. Organic Geochemistry, 1979, 1(4):191-204.
- [17] Snowdon L R. Immature oil and condensate-modification of hydrocarbon generation model for terrestrial organic matter [J]. AAPG Bull., 1982, 66(6):775-788.
- [18] 黄汝昌. 中国低熟油及凝析气藏形成与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [19] 王祥,张敏,黄光辉. 典型海相油和典型煤成油轻烃组成特征及地球化学意义[J]. 天然气地球科学,2008,19(1):18-22.
- [20] 张云献,沈忠民,王英,等. 成熟凝析油色—质谱分析及在石油地质中的应用[J]. 石油实验地质,2007,(5):516-521.
- [21] Ten Haven H L. Applications and limitations of Mango's light hydrocarbon parameters in petroleum correlation studies. Organic Geochemistry, 1996, 24(10-11):957-976.
- [22] 廖永胜. 罐装岩屑轻烃和碳同位素在油气勘探中的应用[M]// 天然气地质研究论文集委员会. 天然气地质研究论文集. 北京:石油工业出版社,1989.
- [23] 朱兴珊,徐凤银,陈长国. 南桐矿区龙潭煤系热演化及煤变质研究[J]. 中国矿业大学学报,1996,12(4):38-44.

编辑:金顺爱

Light Oil Show Discovered in Permian Marine Limestone in the East Part of Sichuan Basin and Its Geological Significance

Liu Yan, Zhong Ningning, Shao Ruiqi, Tian Yongjing, Zhu Lei, Ma Yongqiang

Abstract: There is abundant natural gas but less oil accumulation in Palaeozoic and Triassic marine reservoirs in the east part of Sichuan Basin. Recently, some yellow greenish light crude oil show was discovered in fissures of marine Lower Permian Maokou limestone at Moxinpo Coal Mine in Chongqing. The oil has been analyzed by a series of geological and organic geochemistry methods. The distribution of n-alkane in aliphatic fraction of the oil ranges from n- C_4 to n- C_{26} with obvious pristane preference ($Pr/Ph=1.64$). Relatively high R_o (about 1.6%) of the calculated oil maturity is consistent with the measured vitrinite reflectance of the Permian coal at Moxinpo. The $\delta^{13}C$ is -26.2% , which is similar to those from Permian Longtan shale and coal. It is considered that the oil in limestone fissures is mostly derived from the marine Permian coal measure strata, including some contributions of continental organic matter. The accumulation of the hydrocarbon needs to be further studied. The discovery of the oil show hints possible industrial hydrocarbon accumulation in some relative low mature reservoirs among high mature areas of Sichuan Basin.

Key words: Oil show; Permian; Marine formation; Maturity; Carbon isotope; Sichuan Basin

Liu Yan: male, Doctor degree in progress at China University of Petroleum-Beijing. Add: State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Changping, Beijing, 102249 China