

江汉盐湖盆地原油及生油岩中生物标记化合物的特征及其地质意义

杨志琼 童育英

樊兆安

(北京石油勘探开发研究院)

(江汉石油勘探开发研究院)

江汉盆地是一个比较典型的中新生代陆相盐湖盆地。它的特定的高盐度、强还原性地质环境使下第三系生油岩及原油有其特殊性。本文试图利用通过红外、紫外、荧光、色谱-质谱等多种手段分析江汉盆地生油岩及原油(以潜江凹陷潜江组为主)而取得的有关卟啉、甾、萜烷、甾烷等生物标记化合物的资料,结合过去取得的镍、钒等分析结果,进一步总结盐湖盆地生油岩及原油的特征,并据此对沉积环境、原油及生油岩的演化程度以及油源对比等问题,进行初步探讨。

一、实验条件

1. 样品来源

我们分析的样品,有原油 39 个,岩样 25 个。除曲一井的一个原油样品外,均采自江汉盆地下第三系潜江组和新沟组。所有样品都进行了卟啉化合物的定性定量分析,潜江组混合游离卟啉还进行了质谱鉴定。潜江组四个段和新沟组各一对原油-生油岩样(潜一段取两个油样),新疆塔里木盆地曲一井石炭系一个海相原油样,共七个原油样和五个岩样,进行了色谱-质谱鉴定。五个原油样除不经处理直接进行红外分析外,处理后的饱和烃、芳烃、非烃及沥青质也都作了红外分析。

2. 样品处理

总体分析流程见图 1。原油样经沉淀沥青质后,用色层柱分出饱和烃和芳烃组分。前者供色谱-质谱鉴定(部分样品经尿素络合),后者供紫外、荧光分光光度计鉴定。部分高含卟啉的芳烃组分用甲磺酸脱金属后再经色层柱纯化,然后供质谱鉴定游离卟啉类型。岩样用 1:9 乙醇-苯溶剂抽提,抽提物浓缩后的处理过程与原油相同。

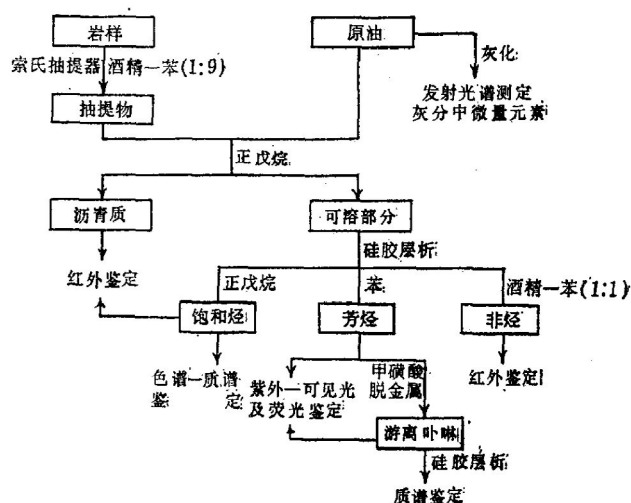


图1 总体分析流程图

仪器: Specord UV. VIS.分光光度计(东德), Jp—3D型荧光分光光度计(法国), P—E 577型红外分光光度计(美国), JGC—20KP/JMS—D300/JMA—2000色谱质谱-计算机联用仪(日本)。

色谱-质谱鉴定萜烷、甾烷实验条件如下:

色谱部分——用毛细管OV—101色谱柱,直径0.5毫米,长45米;柱温160—280℃,程序升温速率4℃/分;汽化室温度300℃;载气用氦气,流速为1毫升/分(不分流)。

质谱部分——采用电子轰击源(EI源),电离电压70eV;离化电流300μA;分辨率 $R=500$;接口界面温度260℃。

计算机部分——计算机控制全谱扫描;扫描速度4秒;扫描间隔3秒;质量范围56—540;记录时间100分钟。

二、实验结果

1. 卟啉的类型及其含量

江汉盆地原油及生油岩中只见到了镍卟啉,吸收峰波长为514和553nm(图2)。

金属卟啉用甲磺酸脱金属后成为游离卟啉。从它们的紫外-可见光吸收光谱看出,甲磺酸法与饱和溴化氢-冰醋酸法^[2]的效果是一致的,并与晏德福提供的石油游离卟啉样品的吸收峰位置完全吻合(图3)。在四个主要吸收峰中,第4峰(500nm)最强而第3峰(534nm)最弱,且 I_4/I_3 比值较大(3.8—5.1),这显示了脱氧叶红初卟啉(DPEP)的特



图2 卟啉的紫外-可见光吸收光谱

a—广33井原油(E_{Q1}^3)
b—广27井生油岩(E_{Q1}^3)

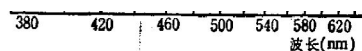


图3 原油中游离卟啉的紫外-可见光吸收光谱

a—晏德福提供的石油游离卟啉样品 b—醋酸-溴化氢法
(石油科学研究院, 1962, 胜利营2井原油)
c—甲烷磺酸法(江汉王2水-13井原油, E_{Q2}^{1+2})
d—甲烷磺酸法(江汉王1-34-9井原油, E_{Q1}^2)

游离卟啉经硅胶柱纯化后进行质谱鉴定的结果表明, 江汉原油中游离卟啉的类型以DPEP和ETIO系列为主, 同时有少量双环脱氧叶红初卟啉(DI-DPEP)和玫红卟啉系列(RHODO系列)存在。DPEP和ETIO系列的分子量分布范围较宽, 有关数据列于表1。

质谱鉴定结果与上述紫外-可见光吸收光谱资料基本一致。

根据 553nm 处吸收峰的峰高,按照布格-兰勃特-比耳定律计算了卟啉含量。潜江组各层位及新一段下部的卟啉平均含量以及王场、广华地区单井卟啉含量分别列于表 2、表 3。

表 1 原油中各类游离卟啉数据表

卟啉核外 甲基数	卟啉分子所 含碳原子数	分子 量			
		DPEP (308+14n)	ETIO (310+14n)	DI-DPEP (306+14n)	RHODO (358+14n)
7	27	406		404	
8	28	420	422	418	
9	29	434	436	432	484
10	30	448	450	446	498
11	31	462*	464*	460	512
12	32	476	478	474	526
13	33	490	492	488	
14	34	504	506	502	
15	35	518	520	516	
16	36	532	534		

* 该系列中含量最高者

表 2 原油及岩样中卟啉含量平均数据表*

层 位	原					油				岩 样	
	样品数	比重	粘度 (厘泊)	饱和烃 (%)	沥青质 $\frac{1600\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	镍卟啉 (ppm)	V (ppm)	Ni (ppm)	$\frac{\text{Ni}}{\text{V}}$	样品数	镍卟啉 (ppb)
潜 1 段	2	0.9403	195.0	19.64	0.37	133.2	2.38	>15.2		2	152.2
潜 2 段	3	0.9102	115.3	32.02	0.42	34.2	1.01	12.34	12.22	3	29.6
潜 3 段	12	0.8846	62.5	37.74	0.54	42.5	1.07	10.38	9.70	6	74.4
潜 4 段	13	0.8466	11.9	57.54	0.60	11.7	0.48	4.34	9.04	7	18.7
新 1 段下部	8			66.43		5.6	0.14	0.94	6.71	2	未检出

* 饱和烃数据由刘银林等提供(以下表格同)。原油灰分中V、Ni含量系杨志琼等1976年测定。

表 2、表 3 数据表明,潜一段卟啉含量最高。总的说来,随埋深增加、地层时代变老、原油成熟度增加(粘度降低、饱和烃增加),卟啉含量也逐渐降低。这与原油灰分中钒、镍含量以及Ni/V比值的变化趋势基本一致。潜二段卟啉含量较潜三段稍低,这很可能与该段盐层特别发育,致使有机质少有关。

2. 萜烷、甾烷的质谱特征

江汉盆地 11 个原油和生油岩样品中饱和烃组分的色谱-质谱鉴定结果充分表明,该地区三环二萜烷系列、五环三萜烷系列和甾烷系列的化合物种类相当丰富。现以黄18井

表3 王场、广华地区原油中卟啉含量与粘度、饱和烃含量对照表

地区	井号	层位	井深(米)	粘度(厘泊)	饱和烃(%)	镍卟啉(ppm)
王场地区	王1—34—9	Eq ₁ ²	1254.6—1293.6	321.45	9.50	101.6
	王4—2	Eq ₂ ³	1307.6—1309.5	123.15	27.11	26.5
	王8—3	Eq ₃ ¹⁺²	1306.2—1418.2	16.17	37.71	61.1
	王2水—13	Eq ₃ ¹⁺²	1469.0—1624.0	18.66	35.88	73.6
	王南14—5	Eq ₂ ³	2185.0—2312.8	13.04	38.63	43.3
	王北13—4	Eq ₁ ⁰	2301.2—2305.8		54.13	未检出
	王东16—4	Eq ₁ ¹	2500.2—2505.4	21.82	47.03	22.0
	王北12—5	Eq ₂ ²	2526.0—2545.2	3.56	62.97	未检出
	王31	Eq ₁ ³	2898.4—2998.8	7.10	56.86	未检出
	王西12—11	Eq ₂ ³	2931.0—2937.0	7.56	58.67	痕迹
	王西56	Eq ₂ ³	2975.2—2995.0	10.11	55.23	未检出
广华地区	广33	Eq ₁ ³	1829.3—1829.6	68.61	29.77	164.8
	广4—9	Eq ₃ ¹⁺²	2381.4—2499.4	15.08	41.49	46.7
	广3—11	Eq ₃ ⁴	2827.2—2857.0	9.12	48.62	12.2
	广11	Eq ₂ ³	3338.0—3347.0	14.60	55.97	未检出

原油为例解析如下(图4):

图4-I为m/e191质量色谱图,其中1—10号峰为三环二萜烷系列,能鉴定出比较系

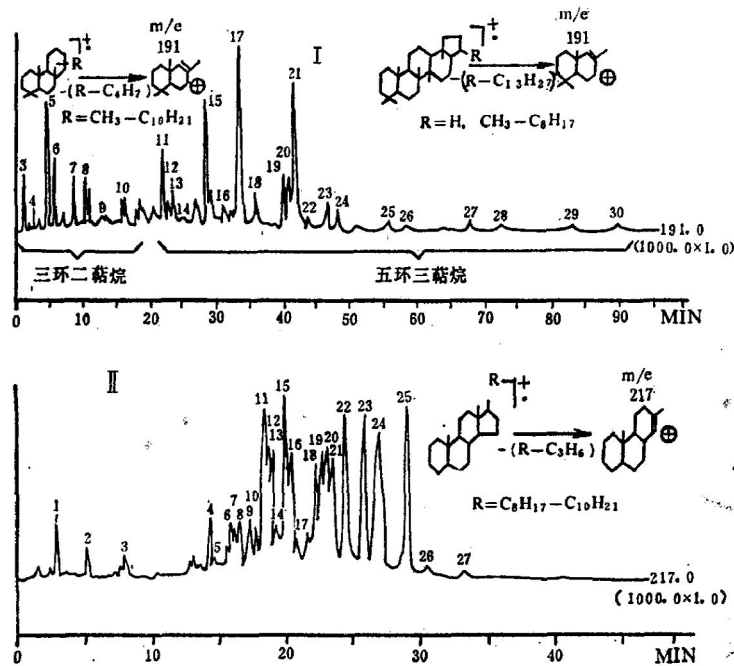


图4 江汉盆地原油及生油岩中的萜烷(I)甾烷(II)分布图

统、丰富的烷基三环二萜烷系列,可能与样品未经蒸馏切割、低分子量化合物得以保存有关;11—30号峰为五环三萜烷系列。各峰对应的化合物名称详见表4。三环二萜烷的确认,主要依据 m/e 191、262、276……388这一组质量色谱图(图5)和棒图(图6);五环三萜烷的确认,主要依据 m/e 191、370、384……482这一组质量色谱图(图8)和棒图(图7)^[6]。这里值得指出的是21号峰,该峰系伽玛蜡烷($C_{30}H_{52}$),从分子式看,它与 $17\alpha(H)$ $21\beta(H)$ 藿烷一样,但由于二者结构上的差别,断裂碎片略有不同(图9),保留时间也不一样。

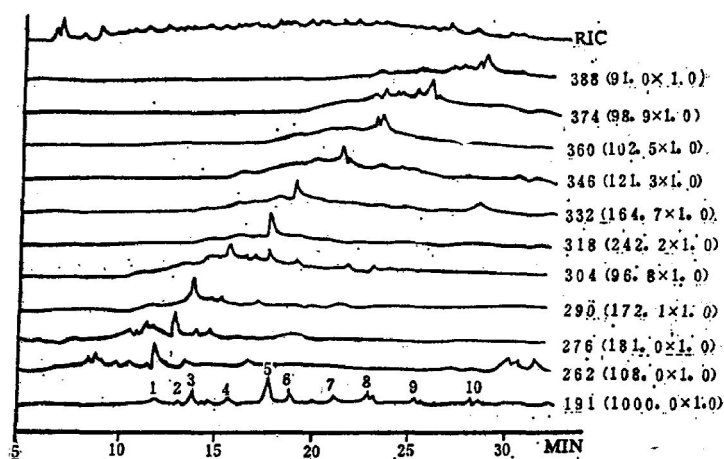


图5 三环二萜烷系列质量色谱图

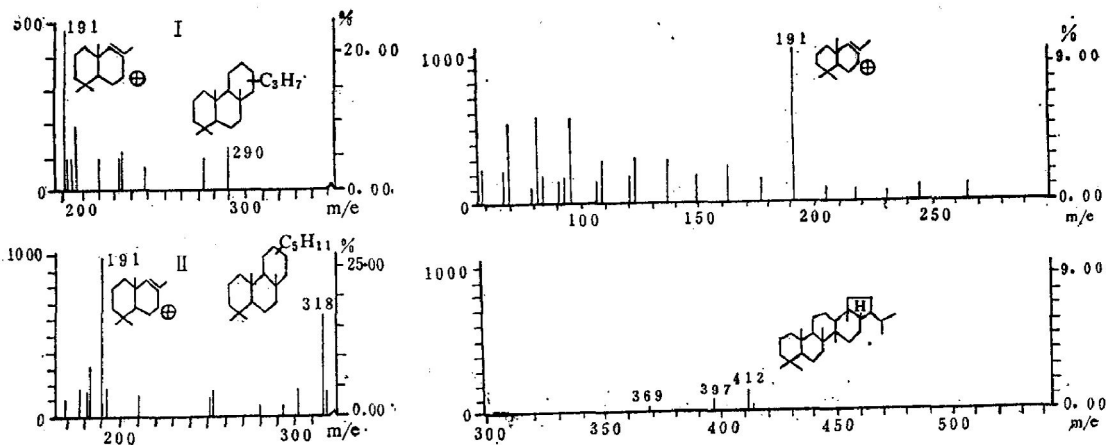


图6 三环二萜烷质谱图

I- $C_{21}H_{38}$; II- $C_{23}H_{42}$ 图7 $17\alpha(H)$ $21\beta(H)$ 藿烷质谱图

图4-II为 m/e 217质量色谱图,图中对应各峰的化学名称列于表5,其中4—10号峰以及14、16、17号峰为重排甾烷^[6],主要依据特征碎片 m/e 259确认(图10);26、27号峰是4-甲基-24-乙基-胆甾烷,主要依据特征碎片 m/e 231来判断。这里值得指出的是,在江汉样品中,见到了相对丰度较高的孕甾烷(1号峰),主要依据 m/e 288质量色谱图和棒图(图11)来确认。

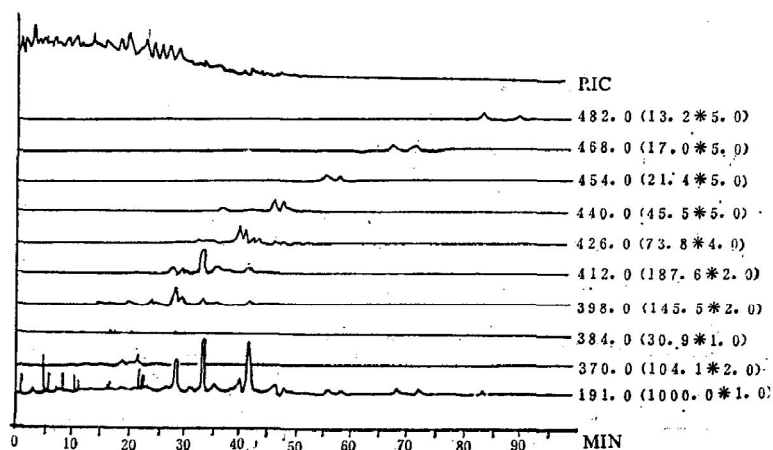
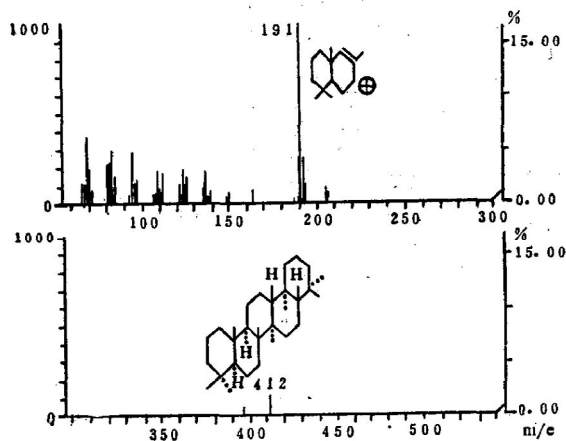
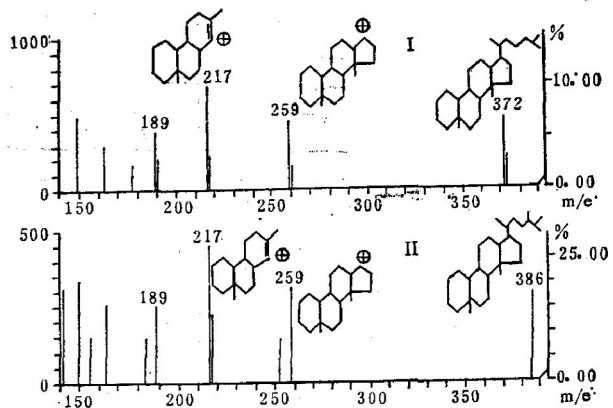
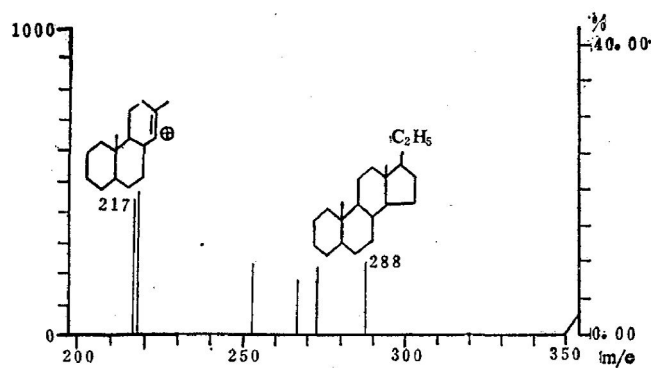


图8 五环三萜烷系列质量色谱图

图9 伽玛蜡烷 ($C_{30}H_{52}$) 质谱图图10 重排甾烷质谱图 I- $C_{27}H_{48}$; II- $C_{28}H_{50}$ 图11 孕甾烷 ($C_{21}H_{36}$) 质谱图

3. 菲

在王1-34-9井 (Eq_1^2 , 1314米), 钟33井 (Eq_3^3 , 1978米) 和钟29井 (Eq_2^2 , 1489.5米) 三块岩样中见到了菲 (图12、13)。菲是一种较稳定的五环芳烃, 它来源于陆生环境的有机质, 说明江汉盆地陆相沉积含陆源有机质。

表4 江汉盆地原油及生油岩中的萜烷*

峰号	分子式	分子量	化 学 名 称	确 认 依 据
1	C ₁₉ H ₃₄	262	三 环 二 萜 烷	质量色谱图
2	C ₂₀ H ₃₆	276	"	"
3	C ₂₁ H ₃₈	290	C ₂₁ —烷基三环二萜烷	质量色谱图, 棒图
4	C ₂₂ H ₄₀	304	C ₂₂ —烷基三环二萜烷	质量色谱图
5	C ₂₃ H ₄₂	318	C ₂₃ —烷基三环二萜烷	质量色谱图, 棒图
6	C ₂₄ H ₄₄	332	C ₂₄ —烷基三环二萜烷	质量色谱图
7	C ₂₅ H ₄₆	346	C ₂₅ —烷基三环二萜烷	"
8	C ₂₆ H ₄₈	360	C ₂₆ —烷基三环二萜烷	"
9	C ₂₇ H ₅₀	374	C ₂₇ —烷基三环二萜烷	"
10	C ₂₈ H ₅₂	388	C ₂₈ —烷基三环二萜烷	"
11	C ₂₇ H ₄₆	370	18α(H)—22, 29, 30—三降藿烷	"
12	C ₃₀ H ₅₄	414	芒 炳 花 根 烷	"
13	C ₂₇ H ₄₆	370	17α(H)—22, 29, 30—三降藿烷	"
14	C ₂₈ H ₄₈	384	五 环 三 萜 烷	"
15	C ₂₉ H ₅₀	398	17α(H), 21β(H)—30—一降藿烷	"
16	C ₂₉ H ₅₀	398	五 环 三 萜 烷	"
17	C ₃₀ H ₅₂	412	17α(H), 21β(H)—藿烷	质量色谱图, 棒图
18	C ₃₀ H ₅₂	412	17β(H), 21α(H)—莫烷	质量色谱图
19	C ₃₁ H ₅₄	426	22S—17α(H), 21β(H)—30—一升藿烷	"
20	C ₃₁ H ₅₄	426	22R—17α(H), 21β(H)—30—一升藿烷	"
21	C ₃₀ H ₅₂	412	伽 玛 蜡 烷	质量色谱图, 棒图
22	C ₃₁ H ₅₄	426	17β(H), 21β(H)—30—一升莫烷	质量色谱图
23	C ₃₂ H ₅₆	440	22S—17α(H), 21β(H)—30, 31—二升藿烷	"
24	C ₃₂ H ₅₆	440	22R—17α(H), 21β(H)—30, 31—二升藿烷	"
25	C ₃₃ H ₅₈	454	22S—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32—三升藿烷	"
26	C ₃₃ H ₅₈	454	22R—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32—三升藿烷	"
27	C ₃₄ H ₆₀	468	22S—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32, 33—四升藿烷	"
28	C ₃₄ H ₆₀	468	22R—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32, 33—四升藿烷	"
29	C ₃₅ H ₆₂	482	22S—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32, 33, 34—五升藿烷	"
30	C ₃₅ H ₆₂	482	22R—17α(H), 21β(H)—30, 31, 32, 33, 34—五升藿烷	"

* 本表除1, 2号峰依据陵43井m/e191质量色谱图(参照图8)外, 均依据黄18井m/e191质量色谱图(参照图7-1, 8, 9, 10, 11)。

表5 江汉盆地原油及生油岩中的甾烷*

峰号	分子式	分子量	化 学 名 称	确 认 依 据
1	C ₂₁ H ₃₆	288	孕甾烷	质量色谱图, 棒图
2	C ₂₂ H ₃₈	302	甾烷	质量色谱图
3	C ₂₃ H ₄₀	316	甾烷	"
4	C ₂₇ H ₄₈	372	13 β ,17 α -20S重排甾烷	质量色谱图, 棒图
5	C ₂₇ H ₄₈	372	13 β ,17 α -20R重排甾烷	"
6	C ₂₇ H ₄₈	372	13 α ,17 β -20S重排甾烷	"
7	C ₂₈ H ₅₀	386	C ₂₈ 重排甾烷	"
8	C ₂₇ H ₄₈	372	13 α ,17 β -20R重排甾烷	"
9	C ₂₈ H ₅₀	386	13 β ,17 α -20S-24-甲基重排甾烷	"
10	C ₂₈ H ₅₀	386	13 β ,17 α -20R-24-甲基重排甾烷	"
11	C ₂₇ H ₄₈	372	5 α ,14 α ,17 α -20S胆甾烷	质量色谱图
12	C ₂₇ H ₄₈	372	5 β ,14 α ,17 α -粪甾烷	"
13	C ₂₇ H ₄₈	372	5 α ,14 β ,17 β -20S-异胆甾烷	"
14	C ₂₈ H ₅₀	386	13 α ,17 β -24-甲基重排甾烷	质量色谱图, 棒图
15	C ₂₇ H ₄₈	372	5 α ,14 α ,17 α -20R-胆甾烷	质量色谱图
16	C ₂₉ H ₅₂	400	13 α ,17 β -24-乙基重排甾烷	"
17	C ₂₉ H ₅₂	400	13 α ,17 β -24-乙基重排甾烷	"
18	C ₂₈ H ₅₀	386	5 α ,14 α ,17 α -20S-24-甲基胆甾烷	"
19	C ₂₈ H ₅₀	386	5 β ,14 α ,17 α -20R-24-甲基粪甾烷	"
20	C ₂₈ H ₅₀	386	5 α ,14 β ,17 β -20S-24-甲基异胆甾烷	"
21	C ₂₈ H ₅₀	386	5 α ,14 β ,17 β -20R-24-甲基异胆甾烷	"
22	C ₂₈ H ₅₀	386	5 α ,14 α ,17 α -20R-24-甲基胆甾烷	"
23	C ₂₉ H ₅₂	400	5 α ,14 α ,17 α -20S-24-乙基胆甾烷	"
24	C ₂₉ H ₅₂	400	5 α ,14 β ,17 β -24-乙基异胆甾烷 + 5 β ,14 α ,17 β -24-乙基粪甾烷	"
25	C ₂₉ H ₅₂	400	5 α ,14 α ,17 α -20R-24-乙基胆甾烷	"
26	C ₃₀ H ₅₄	414	4-甲基-24-乙基-胆甾烷	m/e231质量色谱图
27	C ₃₀ H ₅₄	414	4-甲基-24-乙基-胆甾烷	"

* 本表依据黄18井m/e217质量色谱图

三、讨 论

1. 沉积环境和有机质类型

海相原油的卟啉通常以钒卟啉为主, 我国陆相原油则以镍卟啉为主。在江汉盆地原油及生油岩中富集的石油卟啉都是镍卟啉而未检出钒卟啉; 在原油灰分中, 镍含量远远大

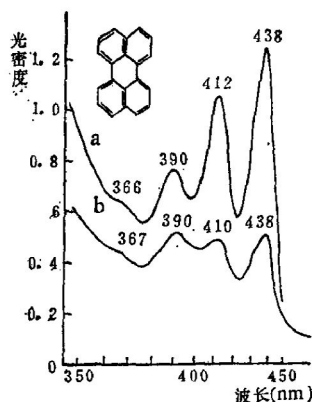


图12 岩样中菲的紫外-可见光吸收光谱图

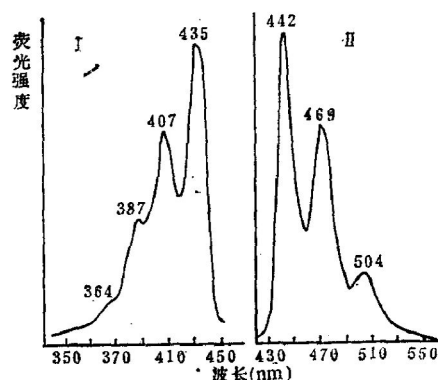
a-钟33井, 1978m, $E_{q_3}^3$, 灰色泥岩b-王1-34-9井, 1314m, $E_{q_1}^2$, 灰色泥岩

图13 岩样中菲的激发光谱(I)和荧光光谱(II)

于钒含量, Ni/V 值很高(见表2)。这些资料说明江汉原油是典型的陆相原油。

在大多数样品中见到了孕甾烷($C_{27}H_{50}$), 其中潜四段和新一段下部两个层位较丰富。这与海相(新疆塔里木盆地曲一井石炭系)原油有比较明显的差别。迄今, 国内发表的孕甾烷资料还不多, 对其成因还值得进一步探讨。

在质谱资料中, 还见到了丰富的伽玛蜡烷。一般认为, 伽玛蜡烷来源于原生动物。与此同时, 从紫外-可见光吸收光谱和荧光吸收光谱确认了菲, 它来源于陆源植物。这些分析结果说明了潜江组有机母质中动植物成分都有, 与江汉盆地潜江组干酪根属于混合型的结论是一致的^[1]。

值得指出的是, 在其它地区也曾发现过伽玛蜡烷^[3], 但相对说来, 其丰度以江汉潜江组样品最高。在王4-11-3井岩样中, 伽玛蜡烷甚至比 $17\alpha(H)21\beta(H)$ 藿烷还高, 与海相原油相比, 也有明显的区别。可以认为, 伽玛蜡烷是陆相原油的一个特征, 但与江汉盐湖沉积环境有何联系, 仍有待研究。

2. 原油及生油岩成熟度

一般认为, 地层越老, 埋藏越深, 有机质演化程度越高, 则原油中卟啉含量越少。从总的趋势看, 江汉原油中卟啉含量的测定结果是符合这一规律的。潜一段原油卟啉含量最高, 反映该层位原油成熟度低; 潜四段、新一段下部原油卟啉含量则很低, 甚至不能检出, 反映它们的成熟度较高。这些结果与其它数据提供的结论是一致的(表2、3、7.)。潜江组埋深在2800—3000米时, 温度达到110—120℃左右, 在封闭条件下可能已使卟啉遭到破坏, 因此在此深度以下的原油均未检出卟啉, 这可以作为原油已经成熟的一个标志。表6数据表明, 原油及其芳烃、非烃的红外光谱分析结果与上述结论是一致的。表6中原油的 $1460cm^{-1}/1600cm^{-1}$ 比值, 芳烃的 $1380cm^{-1}/740cm^{-1}$ 比值, 非烃中的 $740cm^{-1}/720cm^{-1}$ 比值, 它们都随地层的变化而呈现有规律的变化。

各层位原油的质谱鉴定结果与某些常规指标列于表7。数据表明, 从潜一段到潜四段原油成熟度逐渐增加; 新一段下部的原油虽埋藏较浅, 但成熟度更高些。广33井原油与王4-2井原油相比, 后者不如前者成熟, 这与埋深有关。

一般认为, C_{29} 、 C_{30} 五环三萜烷是原生的, 而 C_{27} 、 C_{28} 五环三萜烷则是次生的,

表6 原油及其芳烃、非烃的红外分析数据

井号	井深 (米)	层位	原油			芳烃		非烃	
			1460cm ⁻¹	720cm ⁻¹	720cm ⁻¹	1380cm ⁻¹	2920cm ⁻¹	1650cm ⁻¹	740cm ⁻¹
			1600cm ⁻¹	1460cm ⁻¹	1380cm ⁻¹	740cm ⁻¹	1600cm ⁻¹	1600cm ⁻¹	720cm ⁻¹
王1—34—9	1254.6—1293.6	Eq ₁ ²	1.2	0.13	0.3	4.3	167.7	1.81	1.44
王4—2	1307.58—1309.46	Eq ₂ ³	4.2	0.13	0.3	3.8	43	1.06	0.97
王8—3	1306.2—1418.2	Eq ₂ ¹⁺²	5.3	0.13	0.3	2.9	34	1.05	0.83
王东16—4	2500.2—2505.4	Eq ₄ ¹	5.3	0.18	0.46	2.4	33.1	0.97	0.70
陵39	1062.5—1116.5	Ex ₁	6.7	0.20	0.47	1.8	22.9	0.97	1.21

($C_{27}+C_{28}$)/($C_{29}+C_{30}$)比值随成熟度增加而增加。初步认为,三环二萜烷是由五环三萜烷降解得到的次生产物,所以 Σ 三环萜/总萜(%)可以作为衡量原油成熟度的指标,其变化规律与其它指标相吻合。伽玛蜡烷(γ 烷)与17 α (H)藿烷的比值(γ 烷/17 α (H)藿烷),以及次生的 C_{27} 、 C_{28} 五环三萜烷与它的比值($C_{27}+C_{28}/\gamma$ 烷)都随成熟度的增加而呈现有规律的变化。在 C_{31} 萜烷的一对旋光异构体中,随成熟度的增加22R向22S转化。但在分析的六个油样中, $C_{31}22S/C_{31}22R$ 比值变化的规律性不强。同时重排甾烷是由非重排甾烷演化而来的,重排甾烷的相对丰度与样品经受的热演化程度有关,表7数据表明,重排甾烷/总甾烷(%)数值随原油成熟度增加而增加。 C_{29} 甾烷的5 α 20S/5 α 20R值表示这两个对映体相对含量之比。在现代沉积物中,甾烷以20R构型存在,随着埋深、成熟度的增加,20R向20S构型转化,表7所列数据大体上符合这一趋势。

岩样中有机质的成熟度主要受埋深控制。图14表明,王4—11—3井及广27井 C_{31} 萜烷的一对旋光异构体中,22S明显比22R弱,17 β (H)莫烷也比较明显,伽玛蜡烷很丰富,这些都说明这两块样品成熟度很低;而在黄8井及广4—13井中 $C_{31}22S/C_{31}22R$ 的值在

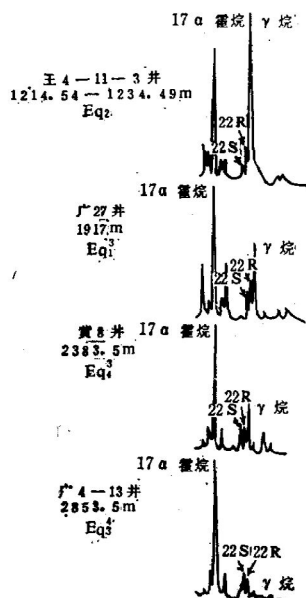


图14 潜江组生油岩萜烷异构体的热演化图

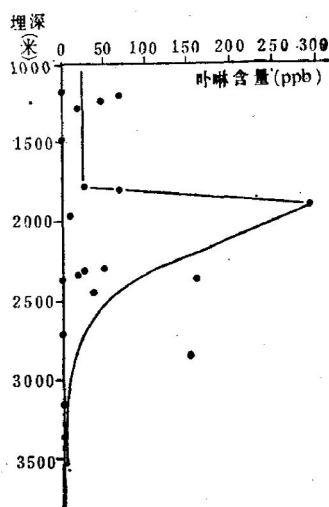


图15 潜江组生油岩卞啉含量—埋深关系图

1.0—1.5范围内, $17\beta(H)$ 莫烷也较弱, 伽玛蜡烷明显减少, 说明它们业已成熟。表7数据表明, 这四块岩样的各项指标, 总的说来, 规律性较好并互相吻合。

从岩样中卟啉含量随埋深而变化的曲线(图15)看出, 江汉盆地潜江组生油岩中镍卟啉大量富集从1900米左右开始, 说明由此岩石有机物中生物色素大量转化成镍卟啉, 这时的地温及地质条件也有利于其它有机物开始转化成油, 因此很可能反映生油门限。到2800米以下, 卟啉很快消失, 反映出因为温度增高, 镍卟啉遭到破坏, 是有机物演化的又一新阶段。

3. 油源对比

通过卟啉含量以及五对原油-生油岩中萜烷、甾烷资料的对比, 对该地区(主要是潜江组)的油源对比提出一些依据和初步看法。

(1) 根据五环三萜烷各峰的相对强度, 绘制了原油指纹图(图16), 它从分子水平上给我们提供了某种信息, 说明潜江组和新沟咀组的原油差别较大, 它们来自不同的两个油源; 潜一段两个样品的原油指纹具有很好的相似性, 很可能具有性质相同的油源; 潜二段王4-2井原油指纹与潜三段广3-11井比较相似, 该井的原油很可能来自潜三段; 潜四段黄18井原油指纹与其它各层位相比, 显示出若干细微的差别, 说明它带有自生自储的某些特点。但是, 必须指出, 从总体

表7 各层位原油和生油岩成熟度指标对比表*

井号	井深 (米)	层位	饱和烃			卟啉	萜					甾	
			%	主峰	OEP	Pr/Ph	$C_{27}+C_{28}/C_{29}+C_{30}$	三环萜/总萜 (%)	C_{31-22S}/C_{31-22R}	$C_{27}+C_{28}/\gamma$ 甾	γ 甾/ $17\alpha(H)$ 甾	$C_{29}5\alpha 20S/5\alpha 20R$	重排甾烷/ 总甾烷(%)
王1-34-9	1254.6—1293.6	Eq ₁	9.50	C_{28}	0.32	0.0638	0.06	0	1.05	0.09	2.33	0.54	12.0
广33	1829.3—1829.6	Eq ₁	29.77	C_{17}	0.78	0.2478	0.10	18.4	0.78	0.29	0.83	0.41	5.7
王4-2	1307.58—1309.46	Eq ₂	27.11	C_{18}	0.70	0.1913	0.13	14.4	1.50	0.38	0.88	0.91	13.3
广3-11	2827.2—2857.0	Eq ₃	48.62	C_{22}	0.82	0.3316	0.17	22.1	1.14	0.76	0.50	0.76	15.1
黄18	2616.4—2622.8	Eq ₄	55.59	C_{17}	0.83	0.4470	0.22	34.1	1.26	0.82	0.78	0.95	24.2
陵43	1114.2—1140.7	Ex ₁	69.15	C_{19}	0.91	0.7130	0.30	58.2	1.15	1.50	0.48	1.18	31.2
王4-11-3	1214.34—1234.9	Eq ₂	9.8	C_{28}	0.44	0.1098	0.17	9.4	0.59	0.37	1.79	0.51	11.1
广27	1917	Eq ₁	15.75	C_{20}	0.92	0.1574	0.17	17.8	0.79	0.96	0.56	0.35	9.9
黄8	2383.5	Eq ₄	28.69	C_{24}	0.98	0.3920	0.18	8.0	1.25	1.19	0.34	0.68	23.8
广4-13	2853.5	Eq ₃	33.63	C_{19}	1.11	0.6693	0.19		1.52	4.89	0.08	0.93	

* 饱和烃中之主峰碳、OEP、Pr/Ph数据由庞林绪等提供。卟啉的单位, 原油为ppm, 生油岩为ppb。

上来说,同一盆地特别是同一凹陷,同一组的原油,由于沉积环境以及母质类型大致相同,因此在原油指纹图上反映出很大程度的相似性。在这种情况下,原油指纹图有一定的局限性,它并不能完全解决原油对比问题,还需结合其它因素和资料统一考虑。

(2) 各层位原油和相应生油岩的卟啉含量之间,存在着较好的对应关系(图17);甾烷质谱资料提供的油源对比参数($5\alpha C_{27}/5\alpha C_{29}$, $5\alpha C_{28}/5\alpha C_{29}$, Σ 重排甾烷/ $5\alpha C_{27}+5\alpha C_{28}+5\alpha C_{29}$)总的说来也比较一致(表8)。这些说明原油与该层位的生油岩之间存在着相应的联系。特别是潜三段、潜四段和新沟咀组,生油岩已经成熟,它们有足够的能为各自的油层提供原油。江陵凹陷新一段下部的一对原油-生油岩,无论从平面上,还是从埋深上看,两者都相距很远,但它们的萜烷、甾烷资料仍然显示出很好的相似性。这说明该层位由于母质类型及沉积环境相似,有机质的演化程度相似,生成的原油也就具有较好的相似性。当然,也不妨假设,新一段下部浅层原油很可能来自该层位深部生油岩。

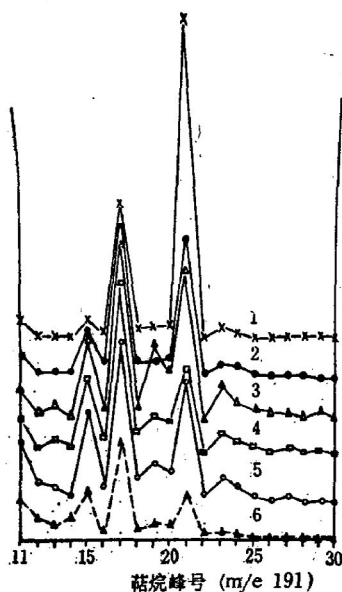


图16 原油指纹图

1. 王1-34-9井 (E_{q1}) 2. 广33井 (E_{q2})
3. 王4-2井 (E_{q2}) 4. 广3-11井 (E_{q3})
5. 黄18井 (E_{q4}) 6. 陵43井 (E_{x1})

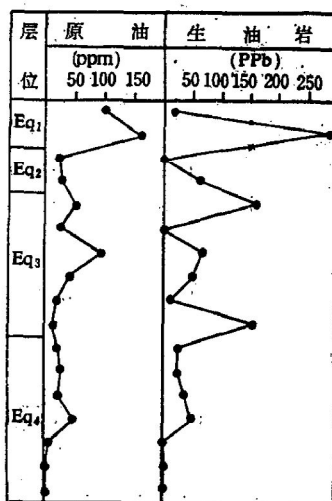


图17 潜江组原油和生油岩卟啉含量对比图

(3) 王1-34-9井 (E_{q1}) 和王4-2井 (E_{q2}) 原油井深都较浅,同层的生油岩尚不很成熟,不可能供给大量原油;这些原油尽管表现出成熟度低的特点,但与潜三段的原油及生油岩、特别是王4-2潜二段原油与潜三段之间,存在着一定的相关性。因此,我们初步认为,潜江组各层位原油确实具有自生自储的某些特点,但并不完全排除纵向运移的可能性。潜三、潜四段是成熟的主要生油层,那里的原油(特别是潜三段)通过断层或砂岩发育的地区向潜一、潜二段运移,从而使后者原油具有双重油源,既保留了低成熟的特征,又与潜三、潜四段的原油和生油岩存在一定的亲缘关系。

王1-34-9井潜一段原油部分由同一层位侧向运移而来,但也由下伏的潜三段提供了一部分。王4-2井潜二段原油则很可能主要由潜三段提供。

表8 原油—生油岩甾烷参数对比表

层位	井号	井深(米)	类别	油源对比参数			成熟度参数	
				$5\alpha-C_{27}/5\alpha-C_{29}$	$5\alpha-C_{28}/5\alpha-C_{29}$	重排甾烷/ $5\alpha-(C_{27}+C_{28}+C_{29})$	$C_{29}5\alpha-20S/5\alpha-20R$	重排甾烷/总甾烷(%)
Eq ₁	广33	1829.3—1829.6	油	2.1	0.6	0.1	0.41	5.7
	广27	1917	岩	1.5	0.9	0.1	0.35	9.9
Eq ₂	广4-2	1307.58—1309.46	油	2.7	0.5	0.3	0.91	13.3
	王4-11-3	1214.54—1234.49	岩	2.1	0.7	0.2	0.51	11.1
Eq ₃	广3-11	2827.2—2857.0	油	1.9	0.9	0.2	0.76	15.1
	广4-13	2853.5	岩	0.9	0.3		0.93	
Eq ₄	黄18	2616.4—2622.8	油	1.1	0.8	0.6	0.95	24.2
	黄8	2383.5	岩	1.0	0.5	0.4	0.68	23.8
Ex ₁	陵43	1114.2—1140.7	油	0.9	0.6	1.0	1.18	31.2
	路9	3400—3409	岩	1.7	0.5	0.8	1.14	29.6

由于分析样品数量较少且不够集中,因此仅仅根据这些资料,不能在油源对比及运移途径等方面得出肯定的结论,而只能提出上述可能的途径。

四、结 论

1.原油中镍卟啉含量随成熟度增加而减少,岩样中镍卟啉含量随埋深变化,根据卟啉富集段的开始深度,推断潜江组生油门限约为1900米左右。

2.江汉盆地游离卟啉以DPEP和ETIO为主,同时有少量DI-DPEP和RHODO系列存在。

3.卟啉,菲,萜烷、甾烷等生物标记化合物的分析结果,说明江汉原油是典型的陆相原油,潜江组生油母质为混合类型。大量伽玛蜡烷的存在也是陆相沉积的一个特征。

4.根据卟啉、萜烷、甾烷资料可知潜一、潜二段成熟度较低,潜三、潜四段业已成熟,新一段下部虽埋深较浅,但其成熟度最高。本文提出 Σ 三环萜/总萜(%), $C_{27}+C_{28}/\gamma$ 烷、 γ 烷/ $17\alpha(H)$ 甾烷比值可作为成熟度指标,有较好的规律性,并与其它指标相吻合。

5.根据卟啉、萜烷、甾烷资料对油源对比进行了初步讨论,可以认为潜江组和新沟组具有不同的油源;潜江组各层位之间,具有自生自储的某些特征,但也有纵向运移的可能性,特别是王4-2井潜二段原油,很可能来自潜三段。但目前资料有限,在油源对比和运移途径等方面,尚不能得出肯定的结论。

唐琳先、连英、杨一峰、吴华芳同志参加了本文红外、紫外、荧光光谱的分析工作,姜乃煌、贾凤英、赵坚同志参加了色谱-质谱分析工作,所有样品均由江继纲、张春荣等同志提供,在此一并致谢。

(收稿日期 1982年7月12日)

参 考 文 献

- [1] 江继纲, 1981, 江汉盆地咸水湖相潜江组油气的生成. 石油学报增刊(陆相生油论文专集).
- [2] 杨志琼等, 1982, 对我国原油中卟啉化合物的研究. 石油勘探研究报告集(第二辑), 中国工业出版社.
- [3] 史继扬等, 1982, 胜利油田原油和生油岩中的生物标志化合物及其应用. 地球化学, 第1期.
- [4] Barer, E. W., Yen, T. F., 1967, Mass spectrometry of porphyrins I characterization of petrophyrins, *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 89, No. 14, P. 3631.
- [5] Seifert, W. K., Moldowan, J. M., 1978, Application of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 42, No. 1, 77-95.
- [6] Seifert, W. K., Moldowan, J. M., 1979, The effect of biogradation on steranes and terpanes in crude oils. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 43, No. 1, P. 111-125.

**BIOLOGICAL MARK COMPOUNDS OF SOURCE ROCKS
AND CRUDE OIL FROM JIANGHAN SALT BASIN
AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE**

Yang Zhiqiong Tong Ruying

(*Beijing Institute of Petroleum Exploration and Development*)

Fan Zhaoan

(*Jianghan Institute of Petroleum Exploration and Development*)

Abstract

Steroids, terpanes, porphyrins and perylenes etc. from source rocks and crude oil of Lower Tertiary (Eocene) in Jianghan basin are analyzed by means of IR, UV, UVF and GC-MS etc. Characteristics of source rocks and crude oil as well as sedimentary environment, maturity of source materials, oil migration and types of organic matters of the basin are discussed. According to the study of biological mark compounds and systematic molecular parameters, the authors suggest that,

(1) The oil source of the Qianjiang Formation is different from that of the Xingouzui Formation,

(2) Though the buried depth of Xingouzui reservoir is shallow, it has a high maturity,

(3) Oil-generating threshold in the Qianjiang Formation is about 1,900m,

(4) The presence of gammacerane is typical of the continental organic source material.