

# 不同成因原油全扫描定量荧光特征及其影响因素

李素梅<sup>1,2)</sup>, 庞雄奇<sup>1,2)</sup>, 孙爱艳<sup>1,2)</sup>

1) 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 中国石油大学, 北京, 102249

2) 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京, 102249

**内容提要:**为揭示不同成因类型原油的三维全扫描荧光特征及其主控因素,对50个不同成因类型的原油的三维荧光特征进行了分析。原油样品代表了未熟—低熟至高成熟度范畴原油、淡水与咸水湖相、沼泽相成因原油、高蜡低硫与低蜡高硫油、常规油与重质油等类型。结果表明,分析原油三维荧光谱图及其定量参数有所差异。原油的荧光强度随芳烃含量增加而增加,沼泽相高蜡油荧光强度总体高于湖相原油;荧光强度随成熟度增加而降低、荧光主峰波长随成熟度增加而变短,反映芳烃总量与相对高分子量芳烃丰度具有降低趋势。稠油的荧光谱图不同于常规油,具有波长分布范围宽、主峰不明显等特征。成熟度、母源岩有机质类型与生源、次生改造等多种因素对原油的三维荧光特征有控制作用。

**关键词:** 原油;全扫描定量荧光;成熟度;有机质类型;次生变化

叠合盆地油气藏往往具有多源、多期改造与调整以及混源聚集等基本特征,快速识别不同成因类型油气的分布规律、油气的混源性与保存条件对于油田进一步的勘探具有重要意义。全荧光扫描定量技术(TSF、QGF、QGF-E技术)(Liu et al., 2005; 李素梅等, 2006a, 2006b)为相关研究提供了极好的途径。荧光光谱定量分析先前应用于化探研究、石油烃类污染鉴别(宋继梅等, 2002, 2003; 周长征等, 1998),近年应用于油气成因与成藏过程研究,如指示油气运移与含油气属性(陈银节等, 2005; 慈兴华等, 2004)、识别储层的含油气性与判别原油的成熟度(李素梅等, 2006a)、检测储层包裹体与吸附烃特性(李素梅等, 2006b)以及储层运移通道与古油水界面的鉴定(Liu et al., 2005)等。然而,目前尚有诸多制约全荧光扫描定量技术应用的因素,如不同成因油气的荧光特征及其影响因素、定量荧光参数的适用性及其有效性等。针对上述问题,本研究对不同成因类型原油的全扫描荧光定量特征进行探讨性研究。

## 1 样品与实验

### 1.1 样品

样品主要采自渤海湾盆地东营凹陷,包括北斜

坡郑家-王庄油田(4个)、南部缓坡带八面河油田(3个)、草桥油田(4个)稠油、王家岗油田(6个)咸水湖相成因原油、丁家屋子构造带(4个)高蜡油、牛庄洼陷(3个)淡水-咸水湖相成因、中央隆起带(21个)淡水与咸水成因原油(李素梅等, 2006a),少量样品采自昌潍坳陷(3个)(表1),代表孔店组沼泽相成因高蜡油。上述原油包含咸水-半咸水湖相未熟—低熟油和成熟油、淡水湖相中等成熟度原油、奥陶系潜山较高成熟度高蜡油、沼泽相正常成熟度高蜡油、中等—严重降解稠油等(表1)。

### 1.2 实验方法

将原油稀释至一标准浓度(与二氯甲烷的体积比约为 $5 \times 10^6$ ),该浓度为实验经验值(高浓度如 $> 50 \times 10^6$ 会导致荧光猝灭)(Zierfuss et al., 1956)。利用 Varian Eclipse 分光光度计将原油样品进行波长为250~540 nm、间隔为5 nm的紫外光辐射,利用同步扫描装置将每隔2个激发光波长的荧光发射光谱记录下来,扫描波长范围为220~340 nm。用该方法可形成三维荧光光谱,获得最大发射强度与发射波长(Max Em)、最大激发波长(Max Ex)以及定量荧光参数 $R1$ 、 $R2$ [ $R1 = Em_{360nm} / Em_{320nm}$  (270nm紫外光激发);  $R2 = Em_{360nm} / Em_{320nm}$  (260nm紫外光

注:本文为中国重大基础研究项目(编号G1999043310)资助成果。

收稿日期:2006-12-22;改回日期:2007-01-21;责任编辑:周健。

作者简介:李素梅,女,1968年生,副教授,从事有机地球化学研究。通讯地址:102200,北京昌平中国石油大学盆地中心;电话:010-89733423;Email: smli8888@yahoo.com.cn。

表 1 原油基本地球化学参数

Table 1 Basic geochemical parameters of the oils analyzed

性质	油田	井号	层位	井段(m)	CPI	Pr/Ph	S/ (S+R)	$\alpha\beta/\alpha\alpha\alpha$	Ts/(Ts +Tm)	St/Hop	4-m/ Re-St	G/ C <sub>31</sub> H	
咸水相 未—低熟	沙子岭	Y3-2	Es <sub>4</sub>	1462.0~1484.9	0.89	0.26	0.25	0.24	0.24	5.41	0.07	1.67	
		Y3-4-X10	Es <sub>4</sub>	—	0.92	0.28	0.24	0.23	0.28	5.78	0.06	1.88	
咸水相 正常油	王家岗	Tong61x73	Ed	1599.5~1625.4	—	—	0.44	0.45	0.41	0.83	0.16	0.53	
		W102-c83	Es <sub>2</sub>	2161.98~2202.47	1	0.58	0.46	0.47	0.47	0.55	0.16	0.37	
		W24-x24	Es <sub>1</sub> <sup>中</sup>	1703.8~1712	0.98	0.5	0.43	0.43	0.43	0.80	0.15	0.57	
		W3-x11	Es <sub>3</sub> <sup>中</sup>	2608.3~2633.3	1.02	0.63	0.48	0.48	0.51	0.56	0.18	0.40	
		W53-2	Es <sub>3</sub> <sup>下</sup>	3311.9~3346.7	1.04	0.81	0.47	0.53	0.57	0.33	0.23	0.21	
		W70-13	Es <sub>3</sub> <sup>中</sup>	2771.6~2773.5	1.01	0.59	0.50	0.41	0.40	0.61	0.17	0.38	
淡水-咸水相 正常油	牛庄	N19	Es <sub>2</sub> —Es <sub>3</sub> <sup>中</sup>	2171.0~3110.1	0.95	0.44	0.47	0.47	0.40	1.03	0.13	0.83	
		N20-55	Es <sub>3</sub> <sup>中</sup>	3013.4~3059	0.93	0.44	0.45	0.47	0.41	1.07	0.13	0.84	
		N872	Es <sub>3</sub> <sup>中</sup>	3040.8~3049.1	1	0.56	0.44	0.42	0.40	0.42	0.19	0.37	
中—高蜡油	丁家 屋子	Wx131	Ek	2245.2~2247.5	1.02	0.79	0.51	0.43	0.48	0.68	0.06	2.01	
		Wx133	Ek	3179.4~3185.8	1.01	0.7	0.52	0.49	0.65	0.31	0.07	3.53	
		Wx132	Ek	3271.0~2375.2	1.02	0.76	0.48	0.42	0.44	0.70	0.09	2.37	
		WG1	O	3421.9	1.04	0.83	0.63	0.49	0.47	0.95	0.11	0.65	
沼泽相 高蜡油	昌潍 坳陷	Chan3-5	Ek	1741.5~1799.5	1.17	5.52	0.37	0.31	0.39	0.30	0.08	0.37	
		Chan4-7	Ek	1331.3~1544.9	1.17	4.29	0.40	0.30	0.37	0.19	0.08	0.38	
		Chan90	Ek	1589.4~1717	1.16	5.62	0.35	0.33	0.41	0.29	0.07	0.34	
稠油	郑家- 王庄	Zx41	Ng	1219.3~1224.5		0.65	0.52	0.41	0.43	0.41	0.16	0.37	
		Z362	Es <sub>1</sub>	1196.3~1210.0	1.44	0.68	0.50	0.50	0.42	0.37	0.14	0.53	
		Z408X6	Es <sub>3</sub>	1331.0~1356.0			0.36	0.46	0.38	0.27	0.14	0.57	
		Z408-01	Es <sub>1</sub>	1242.0~1262.0			0.65	0.38	0.37	0.42	0.09	0.97	
	草桥	PC13-151	Ek	1439.4~1439.6	1.34	0.31	0.40	0.33	0.36	1.44	0.11	0.75	
		C100-P19	O	918.87~1177			0.40	0.57	0.36	0.53	0.18	1.00	
		CG4	Ek	—	1.28	0.19	0.34	0.32	0.31	3.76	0.08	2.10	
			CG100-P3	O	926.46~1310			0.35	0.62	0.36	0.51	0.14	0.98
	八面河	M138X5	Es <sub>4</sub>	1194.4~1203.6	1.24	0.23	0.33	0.30	0.30	3.94	0.09	2.10	
		M137	Es <sub>4</sub>	1152.4~1156.2	0.74	0.23	0.34	0.31	0.32	4.02	0.09	2.06	
M120-5-x15		Ek	1550.8~1557.0	0.65	0.39	0.42	0.35	0.31	0.94	0.09	1.98		

注: S/(S+R)—C<sub>29</sub> 甾烷  $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ ;  $\alpha\beta\beta/\alpha\alpha\alpha$ —C<sub>29</sub> 甾烷  $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ ; Ts/(Ts+Tm)—St/Hop—甾烷/藿烷—4-m/Re-St: 4-甲基甾烷/规则甾烷; G/C<sub>31</sub>H—伽玛蜡烷/C<sub>31</sub> 藿烷。

激发](Brooks et al., 1986)。此外,对原油进行常规地化分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原油成因类型

选定原油的成因及其地球化学特征先前已作详细研究(邱桂强等, 2004; Li Sumei et al., 2005, 2006; 李素梅等, 2005a, 2005b, 2005c)。东营凹陷北部陡坡带郑家-王庄、南斜坡八面河、王家岗及草桥油田原油主要为沙四段咸水湖相成因(Pang Xiongqi et al., 2003), 除王家岗油田外, 其他油田原油主要为稠油(邱桂强等, 2004; 李素梅等, 2005b)。八面河、王家岗部分原油具有高硫低蜡特征; 东营凹陷南斜坡沙子岭油田原油代表了咸水相未熟—低熟油, 原油 C<sub>29</sub> 甾烷  $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$  为 0.24~0.25

(Pang Xiongqi et al., 2003)(表 1)。牛庄洼陷原油主要为淡水—咸水相相成因(Pang Xiongqi et al., 2003、张林晔等, 1999); 中央隆起带原油为正常成熟油原油, 具有淡水、咸水及混源成因特征, 源于沙三、沙四段源岩(Li Sumei et al., 2006); 南斜坡丁家屋子孔店组原油具有中—高蜡、低硫特征, 源于相对深层孔店组与沙四段源岩(李素梅等, 2005a), 成熟度高于上部层系(如表 1 成熟度参数所示); 南斜坡王古 1 井奥陶系原油源于孔店组, 具有高蜡、相对高成熟特征(李素梅等, 2005b); 昌潍坳陷孔店组原油源于孔店组烃源岩, 具有高蜡特征, 代表了沼泽相成因原油, 陆相高等植物输入特征较为明显, 如高 Pr/Ph 值(4.29~5.62)、相对低含量的伽玛蜡烷(表 1)(李素梅等, 2005a)。以上原油代表了不同成熟度、不同形成环境与烃源岩类型的原油, 并且原油物性迥

表 2 原油主要 TSF 定量荧光参数统计表  
Table 2 TSF parameters for the oils analyzed

性质	油田	井号	层位	井段(m)	TSF		$\lambda_{Max}$	TSF R2		TSF R1		
					Max	Ex Max	(nm) Em Max	260nm (360/320)	270nm (360/320)			
咸水相未熟—低熟油	沙子岭油田	Y3-2	Es <sub>4</sub>	1462.0~1484.9	495	260	375	11.15	8.15			
		Y3-4-X10	Es <sub>4</sub>	—	521	260	375	9.74	7.05			
咸水相正常油	王家岗油田	Tong61x73	Ed	1599.5~1625.4	722	258	378	7.15	5.66			
		W102-c83	Es <sub>2</sub>	2161.98~2202.47	277	258	378	6.02	4.69			
		W24-x24	Es <sub>1</sub> <sup>†</sup>	1703.8~1712	429	258	378	6.86	5.19			
		W3-x11	Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	2608.3~2633.3	477	260	375	5.72	4.20			
		W53-2	Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	3311.9~3346.7	195	258	378	5.63	4.11			
		W70-13	Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	2771.6~2773.5	376	258	373	6.52	4.93			
淡水-咸水相正常油	牛庄油田	N19	Es <sub>2</sub> —Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	2171.0~3110.1	516	260	375	7.18	5.56			
		N20-55	Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	3013.4~3059	506	260	375	7.48	5.72			
		N872	Es <sub>3</sub> <sup>‡</sup>	3040.8~3049.1	280	258	378	6.83	5.25			
中—高蜡油	丁家屋子	Wx131	Ek	2245.2~2247.5	298	260	375	2.92	2.44			
		Wx133	Ek	3179.4~3185.8	353	260	375	3.57	2.80			
		Wx132	Ek	3271.0~2375.2	194	260	375	3.90	3.20			
高蜡油	丁家屋子	WG1	O	3421.9	334	260	375	2.71	2.12			
沼泽相高蜡油	昌潍拗陷	Chan3-5	Ek	1741.5~1799.5	705	260	370	3.46	2.92			
		Chan4-7	Ek	1331.3~1544.9	498	260	375	4.96	4.09			
		Chan0	Ek	1589.4~1717	672	260	370	3.36	2.83			
稠油	郑家-王庄	Zx41	Ng	1219.3~1224.5	470	342	407	10.20	8.34			
		Z362	Es <sub>1</sub>	1196.3~1210.0	528	376	431	12.33	10.47			
		Z408X6	Es <sub>3</sub>	1331.0~1356.0	482	344	404	9.50	7.81			
		Z408-01	Es <sub>1</sub>	1242.0~1262.0	434	376	431	13.39	11.46			
	草桥油田	C13-151	Ek	1439.4~1439.6	452	342	407	11.97	9.22			
		C100-P19	O	918.87~1177	429	342	407	13.37	10.59			
		CG4	Ek	—	314	338	408	13.65	10.54			
			CG100-P3	O	926.46~1310	423	344	409	13.01	10.13		
	八面河油田	M138X5	Es <sub>4</sub>	1194.4~1203.6	310	334	389	14.47	10.92			
M137		Es <sub>4</sub>	1152.4~1156.2	229	338	388	14.78	11.21				
		M120-5-x15	Ek	1550.8~1557.0	54	400	455	17.17	13.39			

异(稠油、稀油、高蜡-低硫、低蜡-高硫油)。

## 2.2 不同成因类型原油的荧光光谱特征

在不同波长紫外光照射下,不同类型原油的荧光特征不尽相同。首先,原油的全扫描荧光(TSF)强度不等,昌潍拗陷昌90井等孔店组成因的中等成熟度原油TSF强度最高达705 pc(分布范围498~705 pc)(图1),而同样具有高蜡特征的东营凹陷丁家屋子孔店组原油TSF强度分布范围为194~353 pc,王古1井奥陶系古潜山原油为334 pc(表2、图1),表明沼泽相原油荧光强度总体高于湖相原油,指示母源岩生源输入的差异。

不同类型原油发射光波长与主峰也不尽相同,其中主峰是反映原油性质的重要参数。未遭受次生变化的原油主峰多为375 nm,代表三环芳烃系列(分布范围为370~378 nm)(表2、图1、2、3)。东营凹陷北部陡坡带郑家-王庄地区、南斜坡草桥油田、

八面河油田稠油三维荧光主峰位置明显且有“红移”现象,其中,前两个油田主峰发射光波长大多超过400 nm,分布范围为404~431 nm(表2),显示>400 nm的波长部分仍有很高的荧光强度,在三维荧光图中有“截顶”现象、二维图中有“发射”现象(图2)。八面河油田沙河街组原油最高发射光荧光小于其他稠油,但高于稀油,可能指示原油的降解程度不及其他稠油区。高波长的荧光主要为高分子量芳烃和少量非烃所发,稠油的发射光波长“红移”,反映芳烃组成与分布不同于正常油,以重质馏分为主。

值得提出的是,东营凹陷牛庄洼陷以沙三段成因为主的原油与南斜坡以沙四段成因为主的原油荧光光谱图的差异似乎并不明显,表明原油的生物先质具有一定的相似性。邻区沙子岭油田的未熟—低熟油也具有靠前的主峰特征(图1a、b、c、图3),反映未熟—低熟油的重质馏分含量不高,这与该区保存

较好的原油测定的密度与粘度相对不高相吻合,反映低温早熟原油并非都是重质油。丁家屋子孔店组、王古 1 井高蜡油成熟度高于上部层系(李素梅等,2005b),分别为孔店组与深部沙四段源岩的混源成因、孔店组成因原油,观察表明,此类高蜡油的荧光强度稍低于上部沙河街组成因原油(图 1a、b、c、d、e),表明成熟度影响原油的荧光特性。但与相同成熟度的昌潍拗陷孔店组成因高蜡油相比,东营凹陷高蜡油的荧光强度相对较低,反映两区孔店组烃源岩的形成环境、生源输入特征有别。显然,母源岩有机质类型对原油的荧光强度也有控制作用。

### 2.3 影响原油全荧光扫描特征的因素

依据荧光的指纹特征,仅能观察到荧光强度的高低、峰型及其宽窄,当原油性质、原油成因类型具有显著差异时,才能显现原油间的明显的差异,如稀油与稠油、高熟与低熟、沼泽相与湖相等(图 1、2、3)。荧光特征的定量化分析为识别不同成因原油间的细微差异及其影响因素提供了有效途径。除最高荧光强度外,目前使用较多的荧光定量参数包括 TFS R1 $[270 \text{ nm} (Em_{360 \text{ nm}} / Em_{320 \text{ nm}})]$ 、TFS R2 $[260 \text{ nm} (Em_{360 \text{ nm}} / Em_{320 \text{ nm}})]$ 以及发射光与激发光的最大波长( $Ex \text{ Max}$ 、 $Em \text{ Max}$ )。在 TFS R1 与 TFS R2 关系图中,观察到不同成熟度、不同成因类型原油分布于不同的区域。孔店组、奥陶系高蜡油 TFS R1 与 TFS R2 值最低,其次是正常原油,未熟油值较高,而稠油的 TFS R1 和 TFS R2 总体高于其他原油(图 4)。图 4 中不同成因类型原油规律性的分布,指示全扫描荧光定量参数可以较好地地区分原油族群以及可能有多种因素控制原油的荧光特征。

对比表明,原油的荧光强度明显与芳烃含量呈正相关性(图 5a),与饱和烃、非烃与沥青质含量相关性不明显,进一步显示原油中可发荧光的物质主要为芳烃及少量的非烃化合物。因此,从某种意义上而言,所有影响原油中芳烃化合物含量及其分布的因素都会对原油的荧光特性产生影响。

以往的研究及本研究显示,成熟度是影响原油的荧光指纹形态、荧光强度及 TFS R1、TFS R2 等定量参数值的重要因素(李素梅等,2006a)。本研究中,分析原油的三维荧光强度与生物标志物成熟度参数  $C_{29}aaa$  甾烷  $20S/(S+R)$ 、 $Ts/(Ts+Tm)$  呈负相关性(图 5b、c),沙子岭未熟—低熟油与成熟度较高的王古 1 井高蜡油一般处于分析原油的两个末端(图 5b、e、f),指示原油的荧光强度一般随成熟度增加而降低,反映了原油中芳烃化合物含量的变化特

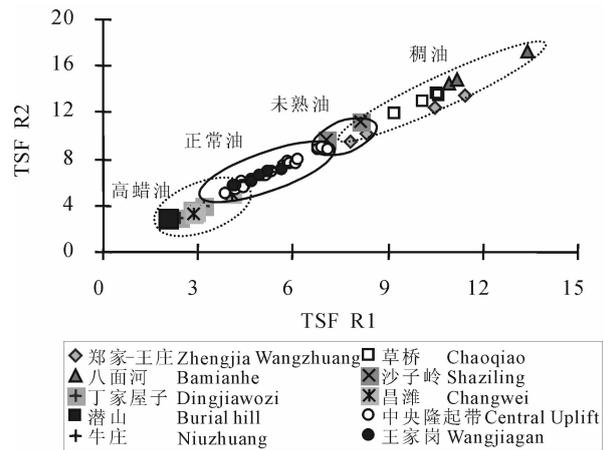


图 4 不同成因原油 TFS R1 与 TFS R2 关系图

Fig. 4 Plot of TFS R1 against TFS R2 for the oils

征。在二维、三维图上,随成熟度的增加,原油的荧光指纹圈有缩小、主峰变窄的趋势(图 3)。全扫描荧光定量参数 TFS R1 和 TFS R2 也表现出与成熟度的一定相关性。分析正常原油的 TFS R1 值与芳烃含量呈正相关(图 5d),正常原油的 TFS R1、TFS R2 随  $C_{29}aaa$  甾烷  $20S/(S+R)$ 、 $Ts/(Ts+Tm)$  增加而降低(图 5e、f)。TFS R1 与 TFS R2 主要体现原油中三环芳烃和二环芳烃的丰度变化特征,以上变化趋势反映在一定成熟度变化范围内,随成熟度增加,低环芳烃相对于高环芳烃含量有增加趋势(在本次分析样品的成熟度范围内)。

母质类型与生源输入是影响原油荧光特征的另一重要因素。分析原油的母源岩有机质类型包括 I~III 型,以 II 型为主(Li Sumei et al., 2003)。对比表明,只有当母质类型与生源输入最有显著差异时,原油的荧光特征才表现出一定的差异。在成熟度相近情况下,昌潍拗陷源于沼泽相孔店组原油较其他原油的荧光强度明显偏高(图 1、表 1),表明原油中芳烃化合物含量高于其他原油,体现了陆相高等植物的生源特征。在图 5a、e、f 中,孔店组中一高蜡油、奥陶系潜山高蜡油的分布有偏离其他正常油的特征,体现生源的控制作用。原油遭受的次生变化明显也控制其三维荧光特征。观察表明,降解稠油具有峰型变宽、主峰不明显、荧光波长红移、并可能出现多峰的特征(图 1、2),其荧光定量参数会出现异常,如图 5d、e、f 中,TFS R1 明显偏离于正常油的演化趋势线。对于遭受生物降解、水洗等次生变化较为严重的原油,由于低分子馏分芳烃的损耗及烃类的相互转化,可导致重质馏分的增加。分析稠油

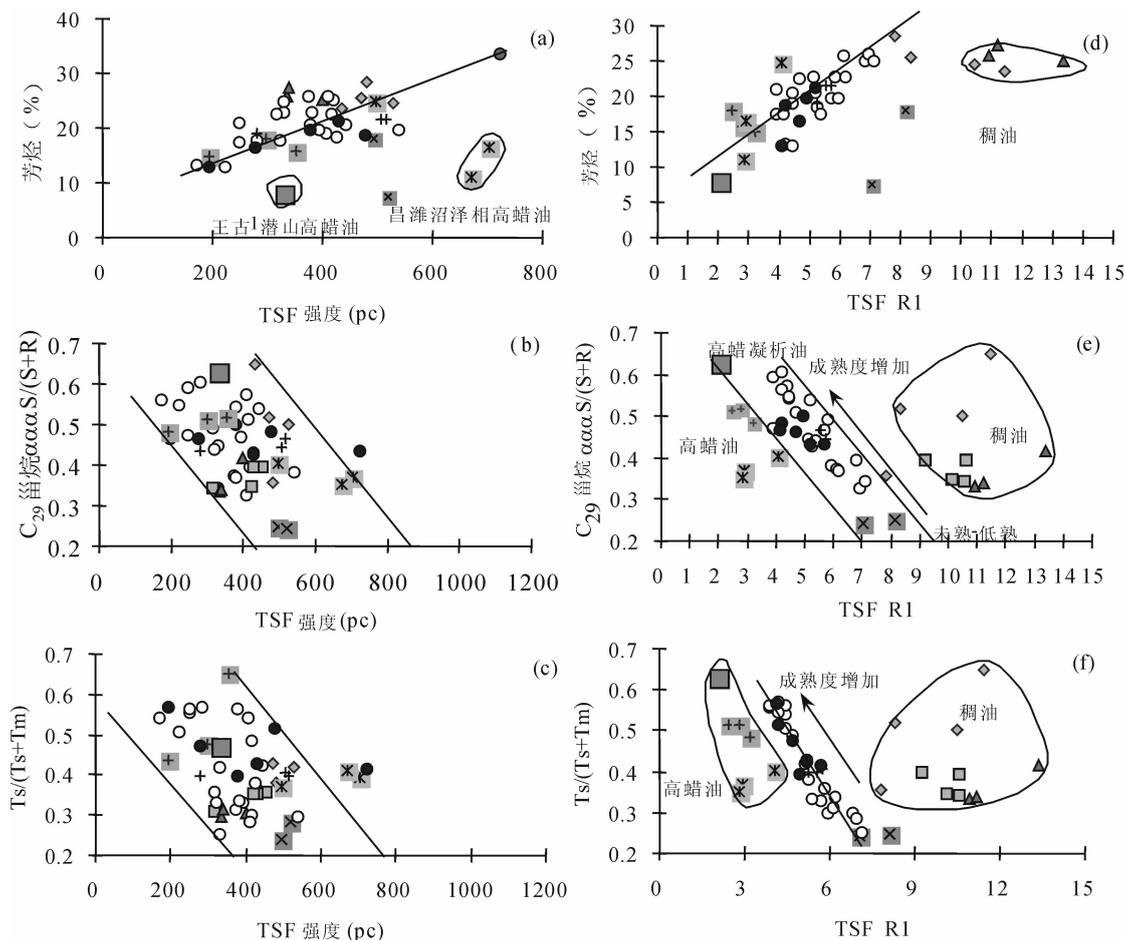


图5 原油的荧光定量参数与生物标志物关系图(图例同图4)

Fig. 5 Plots of TFS R1 and TFS intensity against biomarker parameters for the oils

在高波段仍有较强的荧光,表明高分子芳烃化合物丰度明显增加。一方面与轻质馏分的丢失有关;另一方面可能反映生物降解导致新生芳烃化合物丰度增加。

以上分析表明,有多种影响原油荧光特性的因素,如热成熟度、母源岩有机质类型与生源特征、原油遭受的次生变化等。正因为原油的荧光特征受控于上述因素,因此,可以利用原油的三维荧光特征反映原油的基本性质如成熟度、生物先质类型、混源与次生改造等。

### 3 结论

(1)原油的荧光光谱图特征主要体现原油中芳烃的组成与分布特征,理论上所有影响原油芳烃特征的因素都将影响原油的三维荧光特征。其受控于成熟度、生源与母质类型、原油遭受的次生变化等多种因素。利用原油的三维荧光扫描特征可以划分原油

的族群、鉴别原油成熟度大小与成因、识别原油遭受的次生变化以及鉴定叠合盆地油气源的混源特征。

(2)原油芳烃中仍有大量化合物不能用常规方法识别,由于全扫描荧光特征几乎能反映原油中所有芳烃的荧光特征,该技术具有广泛的应用前景。但目前的应用受全扫描荧光定量参数数量等的限制,高分子量芳烃的荧光参数有待开发。

### 参考文献

- 陈银节, 缪九军, 张宗元. 2005. 三维荧光光谱的油气指示意义. 天然气地球科学, 16(1): 69~72.
- 慈兴华, 向巧玲, 陈方鸿, 史晓梅. 2004. 定量荧光分析技术在原油性质判别方面的应用探讨. 石油实验地质, 26(1): 100~102.
- 李春梅, 李素梅, 李雪, 庞雄奇, 王明培. 2005. 东营凹陷八面河油田稠油成因分析. 现代地质, 19(2): 280~286.
- 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 高永进. 2005a. 东营凹陷王家岗孔店组油气成因解析. 沉积学报, 23(4): 726~733.
- 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 高永进. 2005b. 王古1井奥陶系古潜山原油成因及其意义. 地球科学, 30(4): 451~458.
- 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 高永进, 李雪. 2005c. 东营凹陷南斜坡王家

- 岗地区第三系原油特征及其意义. 地球化学, 34(5): 515~524.
- 李素梅, 庞雄奇, 刘可禹, 金之钧. 2006a. 东营凹陷原油、储层吸附烃全扫描荧光的特征与应用. 地质学报, 80(3): 400~445.
- 李素梅, 刘可禹, 庞雄奇, 付秀丽. 2006b. 一种快速检测油包裹体的新方法及其初步应用. 石油实验地质, 28(4): 386~390.
- 邱桂强, 李素梅, 庞雄奇, 等. 2004. 东营凹陷北部陡坡带稠油地球化学特征与成因. 地质学报, 78(6): 854~862.
- 宋继梅, 吴杰颖, 王凌峰. 2002. 荧光分析法在油气化探中的应用. 物探与化探, 26(5): 347~349.
- 宋继梅, 胡刚. 2003. 芳烃分析在油气化探中的作用和意义. 物探与化探, 27(2): 97~100.
- 张林晔, 张春荣. 1999. 低熟油生成机理及成油体系. 北京: 地质出版社, 1~123.
- 周长征, 李秀云, 宋延博. 1998. 三维荧光法在石油污染鉴别中的应用. 光谱学与学谱分析, 18(4): 500.
- Brooks J M, Kennicutt M C, Carey B D. 1986. Offshore surface geochemical exploration. Oil and Gas Journal, 23(4): 66~72.
- Li Sumei, Li Maowen, Pang Xiongqi, Jin Zhijun. 2003. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin—part 1: source rock characterization. Organic Geochemistry, 34(3): 389~412.
- Li Sumei, Pang Xiongqi, Li Maowen, Jin Zhijun. 2005. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin; Part 4. Evidence for new exploration horizons in a maturely explored petroleum province. Organic Geochemistry, 36(8): 1135~1150.
- Li Sumei, Qiu Guiqiang, Gao Yongjing, Jiang Zhenxue. 2006. Formation and accumulation of the oils in the Central Uplift, Dongying Depression. Petroleum Science, 3(3): 12~22.
- Liu K, Fenton S, Bastow T, Van Aarssen, Eadington P. 2005. Geochemical evidence of multiple hydrocarbon charges and long distance oil migration in the Vulcan Sub-basin, Timor Sea. APPEA Journal, 1~17.
- Pang Xiongqi, Li Maowen, Li Sumei, Jin Zhijun. 2003. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin. Part 2: evidence for significant contribution of mature source rocks to "immature oils" in the Bamianhe field. Organic Geochemistry, 34(7): 931~950.
- Zierfuss H, Coumou D J. 1956. Use of quantitative fluorescence measurements in drilling operations. AAPG Bulletin, 40(11): 2724~2734.

## Total Scanning Fluorescence for Oils with Different Genetic Types and Controlling Factors

Li Sumei<sup>1, 2)</sup>, Pang Xiongqi<sup>1, 2)</sup>, Sun Aiyan<sup>1, 2)</sup>

1) Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing, 102249

2) Basin and Reservoir Research Center of Petroleum University, Beijing, 102249

### Abstract

Totally 50 samples of crude oils with different genetic types were investigated using TSF (Total Scanning Fluorescence) techniques to unravel their 3D fluorescence features and controlling factors. The oils analyzed include immature to highly matured oils, lacustrine oils with source rocks developed in fresh water and brackish-hypsaline environment, oils from paludal facies, high waxy oils with relatively low sulfur content and low waxy oils with high sulfur content, light oil and heavy oils. The investigation shows that the oils are different in both fluorescent fingerprints and TSF parameters. It was observed that the TSF intensity of the oils increases with aromatic concentration, and the oils from paludal facies have higher TSF intensity than that of the lacustrine oils. It was also observed that there is an increasing trend of the oil TSF intensity with increasing maturity, and a shortening trend of the wave length of the prominent peak, indicating a decreasing trend of the total aromatic concentration as well as those aromatics with relatively higher molecular weighty. The results show that the fluorescent fingerprints of the heavy oils are different from that of the normal oils obviously, which are characterized by much wider excitation and emission wavelength without apparent main peak. We suggest that maturity, kerogen type and secondary alteration all have a strong influence on the 3D fluorescence of the oils.

**Key words:** oil; TSF; maturity; kerogen type; secondary alteration