

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

东营凹陷原油、储层吸附烃全扫描荧光特征与应用

李素梅^{1,2)}, 庞雄奇^{1,2)}, 刘可禹³⁾, 金之钧⁴⁾

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

2) 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京, 102249

3) CSIRO Petroleum, P. O. Box 1130, Bentley WA 6102, Australia

4) 中国石化石油勘探开发研究院, 北京, 100083

内容提要: 应用全扫描荧光分析(TSF、QGF-E)技术对东营凹陷沙河街组40个原油、15个储层包裹烃、39个储层砂吸附烃的三维荧光特征进行了定性与定量分析。分析表明, 原油与包裹烃的TSF指纹特征总体相似, 均为单峰型, 指示油气成因具有内在的联系。观察到不同原油TSF强度峰宽与最高值有异, 低成熟度样品往往具有较高的TSF强度及较宽的峰。进一步分析表明, 原油TSF最高强度、TSF定量参数 $R1[270nm(E_{m360nm}/E_{m320nm})]$ 、 $R2[260nm(E_{m360nm}/E_{m320nm})]$ 与生物标志物成熟度参数 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 、 $Ts/(Tm+Ts)$ 等有良好的线性正相关性, 反映TSF荧光指纹特征及其定量参数可作为一种温标用于热成熟度分析。应用TSF技术确认东营凹陷中央隆起带原油成熟度具有自西南向东北逐渐降低的变化规律, 其反映了油源与油气充注方面的重要信息。对东营凹陷牛庄洼陷两口井的储层砂的QGF-E分析表明, 颗粒样品所在层段的烃类含量普遍较高, 反映致密薄层砂、微裂缝等可能为该洼陷岩性油气藏重要的隐蔽型油气运移通道。TSF、QGF-E技术在油气族群、储层含油气性、油气运移路径与油层识别等方面具有广泛的应用前景。

关键词: TSF; QGF-E; 荧光指纹; 成熟度; 隐蔽油气运移通道

1 TSF、QGF-E 技术概述

TSF (Total Scanning Fluorescence, 全扫描荧光) 是用三维激发-发射荧光、荧光强度反映原油、岩石可溶烃指纹特征的技术(Brooks et al., 1983; Liu et al., 2005)。一般地, 全扫描荧光强度与芳烃含量成正比, 而芳烃含量及荧光强度与API比重度成反比。通过对比三维荧光谱图特征及相关定量参数, 可进行样品性质的对比研究(Liu et al., 2005), 如预测原油中芳烃的含量、计算API大小和评价热成熟度(Barwise et al., 1996)。国内以往在常规荧光检测、一维和二维荧光分析方面做过很多研究(宋继梅等, 1998), 后者分别指固定激发与发射波长、固定激发波长的定量荧光分析技术, 有一定的局限性。TSF技术为可变激发、发射波长的三维定量荧光分析技术, 能比较全面地反映烃类的荧光特征。近年开展的三维荧光研究主要用于油气化探(宋继梅等, 2002, 2003)、石油污染鉴别(周长征等, 1998), 最近有人用

于指示油气运移与含油气属性(陈银节等, 2005; 慈兴华等, 2004)。TSF技术在油气成因与成藏过程中的应用还相当薄弱。近年, Liu等(2005)将这一技术应用用于储层油气运移通道与古油水界面的研究, 并将储层颗粒吸附烃和非烃、颗粒包裹烃定量荧光分析分别称之为QGF-E (Quantitative Grain Fluorescence on Extract)、QGF (Quantitative Grain Fluorescence)技术, 以上技术的原理相同, 仅分析对象不同。

针对以往定量荧光光谱主要为化探研究且以煤岩及地表样等居多, 本次研究选用胜利油田东营凹陷原油、砂岩及其包裹体样品, 分析原油烃类的TSF谱图及其定量荧光特征, 结合原油常规地化研究, 讨论原油差异性分布规律。同时, 对东营凹陷岩性油气藏发育区致密储层、薄层粉砂岩进行QGF-E检测, 用于储层含油气性、隐蔽油气藏运移通道的研究。这是基于笔者最近在对东营凹陷岩性油气藏(高永进等, 2004; 张善文等, 2004)进行解剖时发现, 该

注: 本文为国家“973”重大基础研究规划项目(编号G1999043310)资助成果。

收稿日期: 2005-11-14; 改回日期: 2005-12-15; 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。

凹陷 $E_{s_3}^{\#}$ 岩性油气藏不仅不以 $E_{s_3}^{\#}$ 烃源岩为主力烃源岩,而且还普遍混有相隔数百米的沙四段成因油气。岩性油气藏中的输导体系可能是解释上述它源型隐蔽油气藏形成的关键所在。

2 样品与实验

2.1 样品

分析样品包括东营凹陷40个原油、15个包裹烃样品、39个致密储层的砂岩/粉砂岩样。其中,原油样主要取自中央隆起带的现河(8个)、史南(3个)、东辛(9个)油田,北部胜坨油田(11)及东部牛庄(3个)和王家岗油田(6个),储层包裹体样品也取自上述油田,原油及包裹体样品的层位主要为第三系沙河街组。39个致密储层样分别取自牛庄洼陷王550井、牛876井储层砂岩和粉砂岩(各为25、14个)。

2.2 实验方法

在 TSF 分析前,将正常原油/抽提沥青稀释至一标准浓度(与二氯甲烷的体积比 $<5 \times 10^{-6}$),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250~540nm、间隔为5nm 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220~340nm。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 紫外光激发)(Brooks et al., 1986)。此外,对原油进行常规地化分析。

QGF、QGF-E 的分析方法为,取少量碎屑岩储层样品(岩心或岩屑)研磨过筛,取近2g 的24~80目粒径的砂粒,用20mL 二氯甲烷(DCM)浸泡,用超声波振荡10min,倒掉溶剂;待溶剂挥发干,加40mL 浓度为10%的双氧水(H_2O_2),超声波振荡10 min,静置40min,再振荡10min,用蒸馏水洗净;加入40mL 浓度为3.6%的盐酸,放置10min,其间不时搅拌,然后用蒸馏水洗净;干燥器烘干($<60^\circ C$);显微镜下观察样品是否为单个粒径适中的颗粒,并进行选择;加入20mL 二氯甲烷,超声波振荡10min,将溶液部分进行荧光扫描(QGF-E 分析)。此时固体颗粒的全扫描荧光定量分析也可称为 QGF 分析(Liu et al., 2005)。

3 结果与讨论

3.1 原油、包裹烃 TSF 谱图特征

所分析原油的三维荧光光谱指纹特征总体相似,多为单峰型(图1),在图2中的等值线大致为单圈,表明原油成因类型有一定相似性。有些原油如澳大利亚 Vulcan Sub-basin 的原油的三维指纹可出现2~4个峰(Liu et al., 2005),平面上荧光强度等值线表现为多个大小不同的同心圈。本次分析原油的三维荧光差异主要表现在,成熟度高的原油荧光强度峰较窄,平面上荧光强度等值线圈直径相对较小,如史106井、史138X3井等原油(其 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 值分布范围为0.47~0.59);而成熟度低样品三维谱图中的荧光强度峰较宽,在平面图中表现得较为发散(图2),如辛120-7井、辛48-12井原油,其 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 值分别为0.33、0.34,成熟度相对较低。TSF 立体指纹图中荧光强度峰的宽窄与强度可反映特定波长范围内可发荧光的芳烃化合物量的多少。对于相同成因一定成熟度范围内原油,成熟度高的样品芳烃化合物含量可能较低,因而荧光强度低。类似地,包裹烃 TSF 谱图特征与原油较为相似,总体为单峰型(图3)。

三维定量荧光参数可以较为精确地反映原油、包裹烃的谱图及荧光光性变化特征。本次分析的原油、包裹烃在特定波长范围内荧光强度有较大的变化(图4)。并且,TSF R1与 TSF R2及其与 TSF 强度

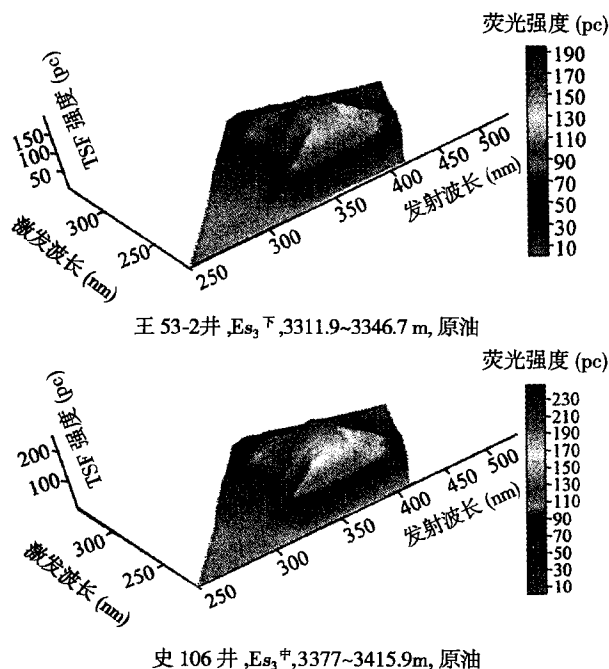


图1 代表性原油 TSF 三维光谱图

Fig. 1 3D TSF spectrogram of typical oils

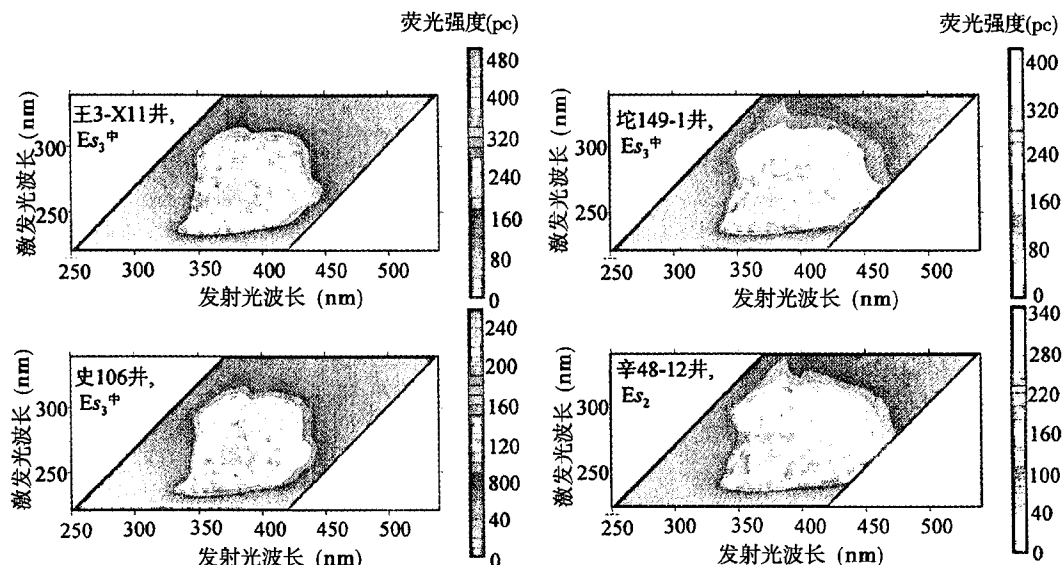


图2 东营凹陷部分原油 TSF 等值线图

Fig. 2 3D TSF excitation-emission contour plots for partial oils from Dongying depression

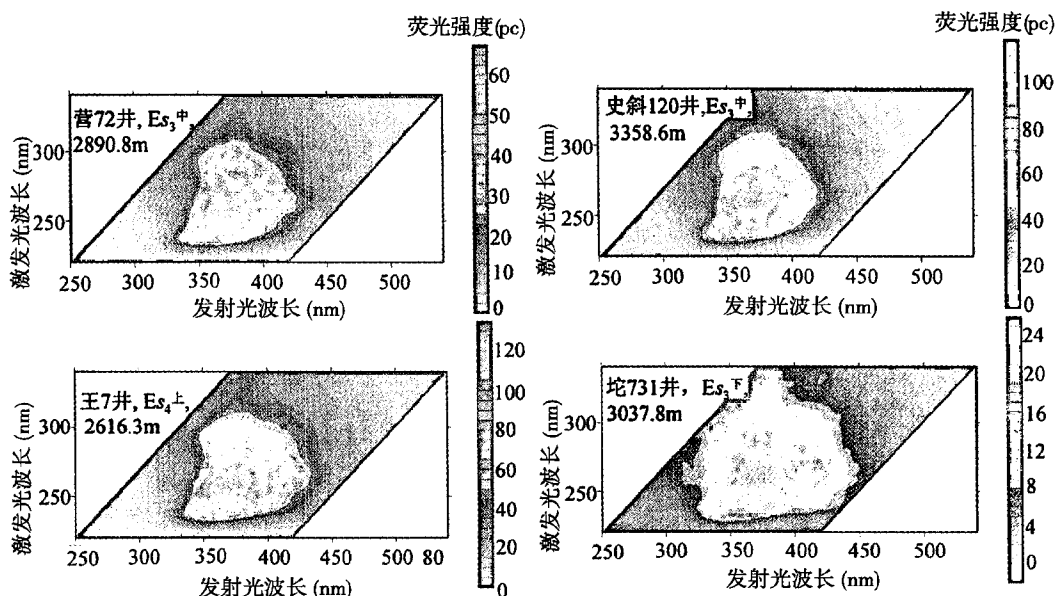


图3 东营凹陷部分包裹烃 TSF 荧光强度等值线图

Fig. 3 3D TSF excitation-emission contour plots for partial inclusion oils from Dongying depression

间具有很好的正相关关系(图4)。值得重视的是,研究区原油的 TSF R_1 和 R_2 总体高于包裹烃(图4a)。发射波长360nm 主要代表三环芳烃类物质(如菲系列),320nm 主要代表两环芳烃类物质(如萘系列),其比值越高,反映样品中较重馏分与较轻馏分的比值越高,指示成熟度较低。故 TSF R_1 、TSF R_2 的高值对应较低的成熟度。东营凹陷原油 TSF R_1 、TSF R_2 值高于包裹烃可能并非反映原油成熟度低于包

裹烃,而是原油中轻质馏分的丢失。原油遭受后期改造作用可导致轻质馏分包括芳烃的损失。东营凹陷包裹烃全扫描荧光强度普遍低于原油,该特征不同于澳大利亚等其他地区。从原油烃类化学组成来看,分析原油绝大多数为正常原油,仅局部原油有生物降解迹象,似乎并不反映原油普遍的次生改造作用。近期在东营凹陷中央隆起带的现河地区钻遇沙四段的稠油,表明隆起带局部地区存在原油的次生改造

现象。分析原油与包裹烃的荧光特征可能反映早期所生烃在成藏过程中普遍遭受过次生改造,而后期所生烃由于量大而覆盖了早期原油的次生变化。上述反常现象有待进一步研究。

3.2 储层吸附烃 QGF-E 指纹特征

QGF-E 分析主要有两个参数,即 QGF-E 强度(1.2g 样品在20mL DCM 中萃取物的最高荧光强度值)及与之相对应的发射光波长 $\lambda_{\max}$ 。样品 QGF-E 强度的高低是原油/有机化合物浓度的反映。对国外13口井182个样品的分析结果统计表明,现今油层的 QGF-E 值一般为40~1000pc,水层样品一般为4~21pc,低一个数量级^①。东营凹陷牛庄洼陷牛872井、王550井储层砂吸附烃荧光指纹特征如图5所示。值得提出的是,本研究中牛872井、王550井储层颗粒的 QGF 测试结果不佳,可能反映粉砂岩等物性较差的储集层中不易形成包裹体,尽管存在吸附烃。

3.3 TSF、QGF-E 技术的应用

依据 TSF 技术的基本原理,TSF 反映的是原油、包裹烃或其他类样品中以芳烃为主的化合物的光性特征,本质上反映芳烃化合物的组成与分布,最终受成熟度、母质类型的影响。理论上,原油的 TSF 谱图与定量荧光特征可应用于指示样品的热成熟度与母质类型,并进一步用于识别原油的族群及油气成藏期次研究。

东营凹陷原油的 TSF R1 和 TSF R2 与主要生物标志物成熟度指标显示良好的线性关系(图6),与

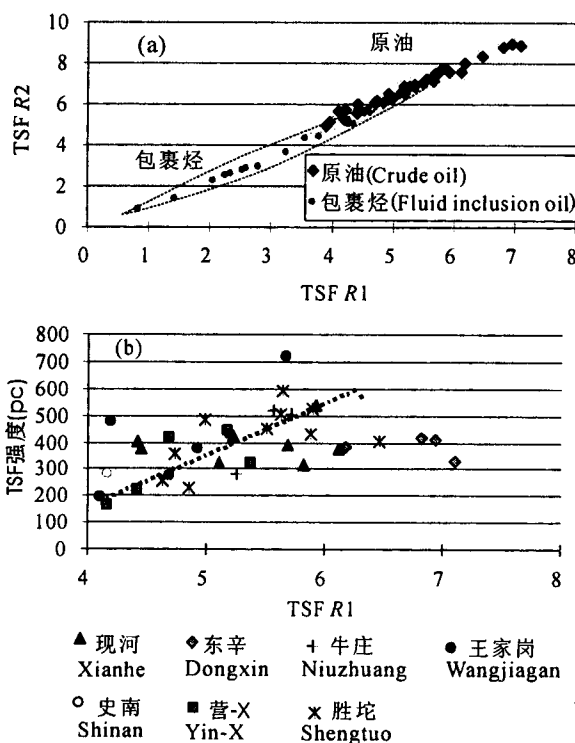


图4 原油、包裹烃 TSF R1、R2、最大强度相关图
(营-X 井代表营字号井)

Fig. 4 Cross plots of TSF R1 and R2, intensity for the normal oils and inclusion oils

Ts/(Ts + Tm) 的相关系数分别高达 0.8730、0.8507;与 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 的相关系数分别为 0.7257、0.6973;与 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 的相关系数分别为 0.6689、0.6338。显然,TSF 技术可作为一种快速有效的反映原油、烃源岩及包裹烃相对成熟度的工具。依据原油 TSF R1、TSF R2 的大小,可判断取自中央隆起带东辛油田东辛穹隆构造的原油(辛字号井)成熟度最低,而东营穹隆构造带的原油(营字井)成熟度相对较高;史南油田原油成熟度最高,其次是王家岗油田,其他地区原油成熟度有一定变化范围(表1)。因此,TSF R1 和 TSF R2 反映的成熟度趋势与生物标志物成熟度大体一致,定量 TSF 参数可用于原油成熟度的研究。对于很难通

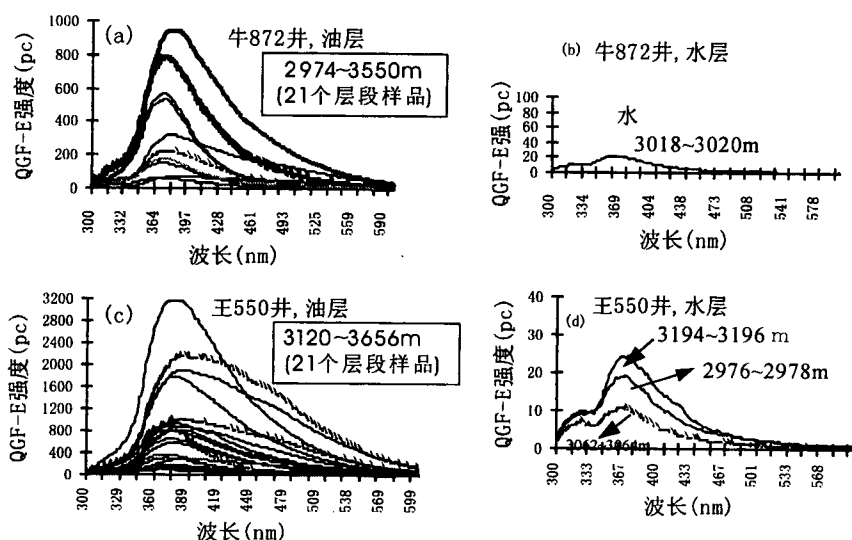


图5 牛庄洼陷王550井、牛876井储层颗粒 QGF-E 光谱指纹图

Fig. 5 QGF-E spectrogram of the reservoir grains from the Wang 550 and Niu 876 wells of the Niuzhuang sag

过生物标志物等途径反映热成熟度的样品,如采用包裹烃,TSF 技术可为一种有效途径。包裹烃的 TSF 不仅可用于反映充注时油气的成熟度,还可用于油气藏形成期次与过程的研究。

TSF 谱图及相关定量参数反映了相当宽范围烃源岩的母质特征,在使用 TSF 温标前,需要排除母质类型等其他因素的影响。本次分析的原油为陆相原油,包含淡水与咸水湖相成因,如王家岗原油代表了第三系沙河街组咸水成因(李素梅等,2005);中央隆起带史南、东营穹隆构造带等原油总体为沙河街组淡水成因。观察表明,不同成熟度的王家岗油田原油的 TSF R1 和 R2 的变化范围超过与其相近成熟度的史南原油(图6),似乎表明母源岩性质的影响较小。Barwise 等(1996)对北海及全球范围内包括海相与陆相的不同成因类型原油的 TSF 作过系统的研究,结果表明,成熟度及生物降解对原油荧光光性有

较大影响,而母质类型几乎不太受影响,观察到单位重量陆相与海相原油所能产生的荧光量相当接近。

由于本区原油的甾烷/藿烷、伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷等与生源输入及母源原始沉积环境相关的指标也受成熟度的控制,因而应用其与荧光扫描定量参数 TSF R1 和 R2 的相关性来识别母源对荧光性质的控制有其不确定性。源岩母质类型等因素是否对 TSF 产生影响及其机理的研究需选取代表性烃源岩加以确认。毫无疑问,TSF 技术在反映油气成因、热演化乃至油气成藏期次与过程方面具有一定的应用潜能,但与其他指标一样,也有其适用范围与局限性。油气成因类型与相关油气形成地质条件的综合研究是有效应用 TSF 技术的基础与前提。

全荧光扫描技术在反映储层含油气性、油气运移路径及古油水界面等方面可能更有潜能。本研究通过对东营凹陷岩性油气藏较为发育的牛庄洼陷王

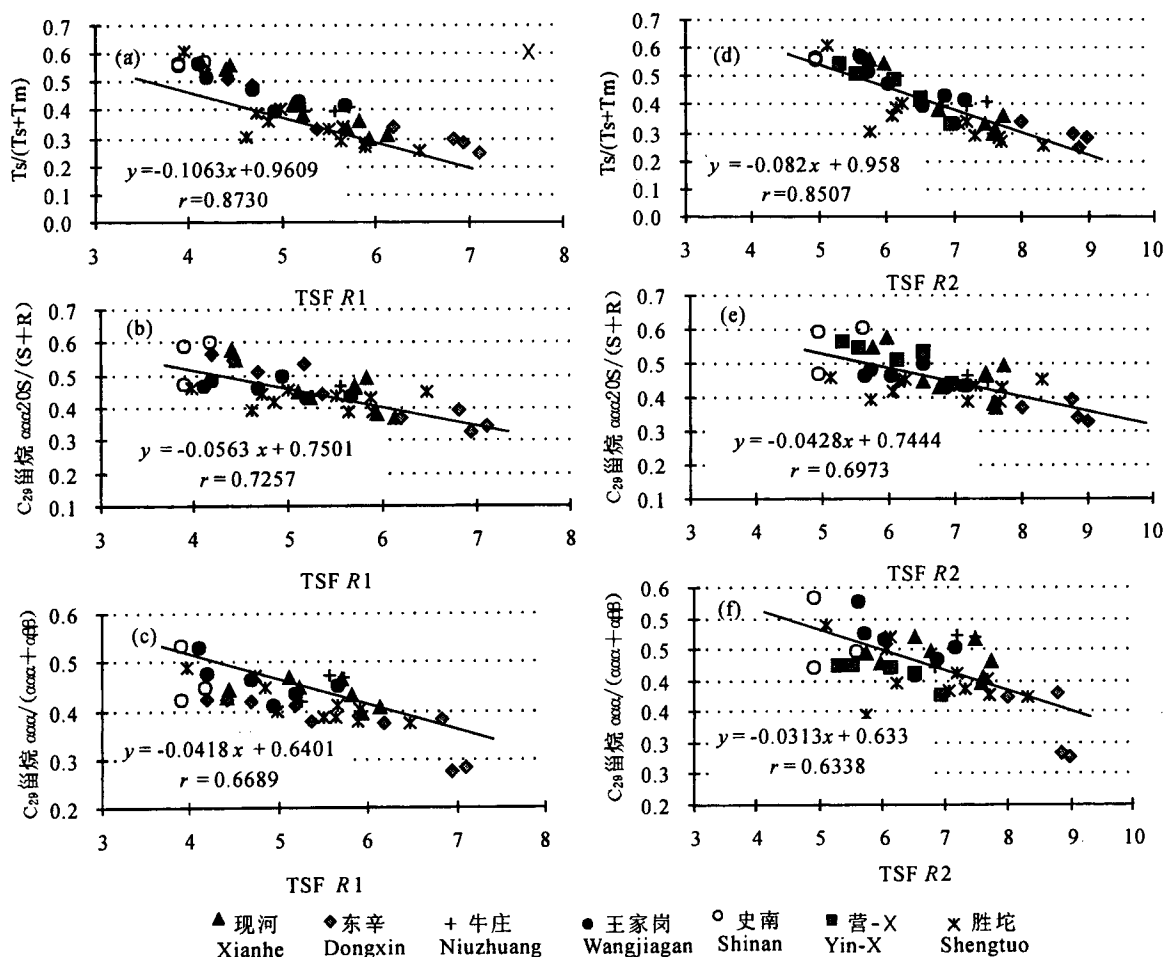


图6 原油 TSF R1、TSF R2与生物标志物成熟度指标关系图

Fig. 6 Plots of TSF R1 and TSF R2 against biomarker maturity parameters for the oils

表 1 东营凹陷部分原油主要 TSF 定量荧光与生物标志物参数统计表

Table 1 TSF and biomarker parameters for partial reservoir oils from the Dongying depression

地区	井号	层位	埋深 (m)	TSF 最大 强度	λ_{Max} (nm)		TSF R2	TSF R1	$C_{29}\alpha\alpha\alpha S/$ (S+R)	$C_{29}\alpha\alpha\alpha/$ $\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta$	Ts/ (Ts+Tm)	C_{31} 藿烷 22S/ (S+R)	
					E_x	E_m	260nm	270nm					
							Max	Max					(360/320)
中央隆起带	现河	河100X28	Es_2	2153.9~2156.6	331	260	375	6.5	5.1	0.45	0.47	0.42	0.58
		河10-C8	Es_2	2321.1~2350.9	406	258	373	6.0	4.4	0.58	0.43	0.54	0.58
		河146	$Es_3^{中}$	3089.2~3132.3	393	258	373	7.5	5.7	0.47	0.47	0.33	0.59
		河3-6	Es_2	2034.5~2060.7	315	260	375	7.7	5.8	0.49	0.43	0.36	0.58
		河4-X43	Es_2	2560.3~2673.6	378	260	375	5.8	4.5	0.55	0.44	0.56	0.58
		河50-X7	Es_2	2213	540	258	378	7.6	5.9	0.38	0.40	0.30	0.56
		河51-125	Es_2	2614	426	258	373	6.8	5.2	0.43	0.45	0.38	0.58
		河75-34	Es_2	2416	375	258	378	7.6	6.1	0.37	0.41	0.31	0.56
	东营	辛11CX129	Es_2	2173.3~2177.0	418	258	378	8.8	6.8	0.39	0.38	0.30	0.56
		辛120-7	Es_2	2342.8~2344.0	409	258	373	9.0	6.9	0.33	0.28	0.29	0.55
		辛17-33	Es_2	2239.6~2249.1	380	258	378	8.0	6.2	0.37	0.37	0.34	0.57
		辛48-12	Es_2	2457.9~2463.8	329	258	378	8.9	7.1	0.34	0.28	0.25	0.56
		新营 C86	Es_1	1979.5~1987.3	170	260	375	5.3	4.2	0.56	0.42	0.54	0.57
		营12-41	Es_2	1957~1963	322	260	375	6.9	5.4	0.44	0.38	0.33	0.57
		营14X26	Es_1	1866.1~1868	415	260	375	6.1	4.7	0.51	0.42	0.49	0.58
		营87-33	Es_2	2219.3~2221.3	223	258	373	5.5	4.4	0.55	0.42	0.51	0.58
		营11X58	$Es_3^{中}$	3242~3254	443	258	378	6.5	5.2	0.54	0.41	0.42	0.58
	史南	史106	$Es_3^{中}$	3377.0~3415.9	248	260	375	4.9	3.9	0.47	0.53	0.56	0.58
		史138X3	$Es_3^{中}$	2942.8~3142.4	248	260	375	4.9	3.9	0.59	0.42	0.56	0.58
		史8X41	Es_1^5	2453.4~2455.6	282	260	375	5.6	4.2	0.61	0.45	0.57	0.58
王家岗	通61X73	Ed	1599.5~1625.4	722	258	378	7.2	5.7	0.44	0.45	0.41	0.59	
	王102-C83	Es_2	2162.0~2202.5	277	258	378	6.0	4.7	0.46	0.47	0.47	0.58	
	王24-X24	Es_1	1703.8~1712.0	429	258	378	6.9	5.2	0.43	0.43	0.43	0.58	
	王3-X11	$Es_3^{中}$	2608.3~2633.3	477	260	375	5.7	4.2	0.48	0.48	0.51	0.58	
	王53-2	$Es_3^{下}$	3311.9~3346.7	195	258	378	5.6	4.1	0.47	0.53	0.57	0.58	
	王70-13	$Es_3^{中}$	2771.6~2773.5	376	258	373	6.5	4.9	0.50	0.41	0.40	0.58	

550、牛876两井致密储层(含薄层粉砂岩)颗粒的 QGF-E 分析,发现除个别层段外,绝大多数层段采集的样品都可检测到相对较高的荧光,其含油级别某种程度上已达到油层级别^①,至少表明该类样品处于曾经的/当前的油气运移路径/运载层中。该测试结果对于东营凹陷正在进行的隐蔽油气藏成藏机理的研究可能具有重要意义,致密储集层中可能存在各种隐蔽油气运移通道,如薄层砂、微裂缝等,此类隐蔽油气运移通道的存在可能是牛庄洼陷 $E_{s_3}^{中}$ 岩性油气藏中普遍混有相隔数百米的下部沙四段成因油气的重要原因。

4 结论

(1) 东营凹陷不同区域位置沙河街组原油、储层包裹烃 TSF 指纹特征相似,均为单峰型,反映湖相这一相同地质背景前提下油气成因的相似性。该区原油 TSF 指纹特征与原油成熟度大小密切相关,TSF 强度峰高、R1 与 R2 值大的原油成熟度一般较低;反之,则较高。

(2) 原油 TSF 最大强度、TSF R1 和 R2 与生物标志物成熟度参数 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha S/(S+R)$ 、 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 、Ts/(Ts+Tm) 等有很好的线性关系,反映 TSF 定量参数可作为有效的成熟度指标。包裹烃的 TSF 指纹及其定量参数可用于反映油气的充注期次与过程。

(3) 原油、包裹烃 TSF 反映一定范围母质类型所形成的芳烃的光性特征,除成熟度与生物降解外,可能还受其他因素的影响,TSF 技术的应用需建立在对油气成因及相关地质背景详细研究基础之上。

(4) QGF-E 技术是检测储层含油气性、识别油气运移通道与油层的有效手段。

注 释

① Liu Keyu. 2002. Quantitative grain fluorescence on extract (QGF-E), a technique to detect current and residual oil zones, principles and applications. CSIRO Confidential Report.

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.
- 高永进, 邱桂强, 陈冬霞, 张俊. 2004. 牛庄洼陷岩性油藏含油气性及主控因素. 石油与天然气地质, 25(3): 284~287.
- 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 高永进, 李雪. 2005. 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.
- 宋继梅, 程桂, 伍大俊. 1998. 原油样品同步荧光光谱测定技术. 石油勘探与开发, 25(4): 20~21.
- 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.
- 张善文, 曾溅辉, 肖焕钦, 邱楠生, 姜振学. 2004. 济阳坳陷岩性油气藏充满度大小及分布特征. 地质论评, 50(4): 365~369.
- 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. 光谱学与光谱分析, 18(4): 500.
- Brooks J M, Kennicutt M C, Barnard L A, Denoux G J, Carey B D. 1983. Applications of total scanning fluorescence to exploration geochemistry: Proceedings, 15th Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 3: 393~400.
- Brooks J M, Kennicutt M C, Carey B D. 1986. Offshore surface geochemical exploration. Oil and Gas Journal, 23(4): 66~72.
- Barwise T, Hay S. 1996. Predicting oil properties from core fluorescence. In: Schumacher D, Abrams M A, eds. Hydrocarbon Migration and its NearSurface Expression. AAPG Memoir 66, 363~371.
- 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 2005, 1~17.
- Zierfuss H, Coumou D J. 1956. Use of quantitative fluorescence measurements in drilling operations. AAPG Bulletin, 40(11): 2724~2734.

Characteristics and Application of Total Scanning Fluorescence for Oils and Reservoir Rock Extracts from the Dongying Depression

LI Sumei^{1,2)}, PANG Xiongqi^{1,2)}, LIU Keyu³⁾, JIN Zhijun⁴⁾

1) Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation (China University of Petroleum), Ministry of Education, Beijing, 102249

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

3) CSIRO Petroleum, P.O. Box 1130, Bentley, WA 6102, Australia

4) Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing, 100083

Abstract

Totally 40 normal oils, 15 fluid inclusion oils and 39 reservoir rock extracts from the Dongying Depression were investigated using TSF (Total Scanning Fluorescence) and QGF-E (Quantitative Grain Fluorescence on Extract) techniques combined with biomarker analysis to unravel their 3-D fluorescence features characteristically and quantitatively. It was observed that both the normal oils and the inclusion oils show generally similar TSF fingerprints with only one spectral peak, suggesting close genetic relationship of the oils. It was also observed that the peak-wide and maximum intensity of the TSF increase with decreasing oil maturity. The results show good positive relationship between the TSF indices i. e., TSF intensity, TSF $R1$ ($=Em_{360nm}/Em_{320nm}$) as well as TSF $R2$ ($=Em_{360nm}/Em_{320nm}$) and the biomarker maturity parameters, i. e., C_{29} sterane $20S/(S+R)$, $Ts/(Tm+Ts)$, which suggest that the former can be used as potential indicators of thermal maturity. According to the TSF thermal indices, we observed the oils in the Central Uplift of the Dongying Depression that exhibit a decreasing thermal maturity trend from the southwest to the northeast, indicating variation of the oil sources and primary oil charging direction. QGF-E analysis of the tight sand or siltstone extracts from Niu876 and Wang 550 wells in the Niuzhuang Sag showed that most of the samples bear relatively strong TSF intensity, indicating existence of relatively high abundance of hydrocarbons and therefore possibly well development of subtle oil-migrating pathways such as thin sand/siltstone and microfissure in the Niuzhuang Sag, which is significant for the formation of the subtle oil pools in the Niuzhuang Sag by connecting lithologic traps and deep source rocks. This study shows good prospect of the TSF and QGF-E techniques in discriminating oil group, evaluating maturity and identifying oil migration pathway as well as paleo-oil layer.

Key words: TSF; QGF-E; spectral fingerprint; maturity; subtle oil-migration pathway