

文章编号: 1001-6112(2007)05-0500-06

江苏地区句容凹陷油气充注史研究

官 色^{1,2}, 彭平安¹, 刘东鹰³

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. CSIRO Petroleum, PO Box 136, North Ryde, NSW, 1670; 3. 中国石化 江苏油田分公司 地质科学研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要:江苏地区句容凹陷是中国南方海相中、古生界勘探较早的地区, 油气显示丰富。根据有机包裹体的荧光颜色将容 2 井储层方解石脉中的有机包裹体分为不同的期次; 用离线压碎的方法对容 2 和容 3 井储层方解石脉中有机包裹体的烃类组成进行了分析, 并与储层中的轻质油进行了对比; 结合句容地区的埋藏史对该区油气来源及充注史进行了探讨。结果表明: 容 2 井和容 3 井油藏存在多期油气的充注; 包裹体油代表了早期充注的油气, 而不同的正构烷烃分布特征证明容 2 井早期充注的烃类经历了生物降解过程; 早期充注的烃类主要来源于二叠系源岩, 而现今三叠系储层中的轻质油为后期充注的, 其主要来源于晚白垩世末二叠系及部分三叠系烃源岩的急剧沉降而生成的大量油气。

关键词:有机包裹体; 生物标志物; 油气充注史; 句容凹陷; 江苏

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

STUDY OF CHARGE HISTORY IN THE JURONG SAG, JIANGSU REGION

Gong Se^{1,2}, Peng Ping'an¹, Liu Dongying³

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

2. CSIRO Petroleum, PO Box 136, North Ryde, NSW 1670, Australia;

3. Research Institute of Geology, Jiangsu Oilfield Branch Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Regarding exploration of marine Palaeozoic and Mesozoic strata in South of China, the Jurong Sag in the Jiangsu region belongs to the area where was explored in the early stage. Oil and gas show were discovered in many levels in the Jurong Sag. Organic inclusions hosted in calcite vein in reservoir rock from Well Rong2 in the Jurong Sag were divided into different groups according to fluorescence color. Off-line crushing was used to analyze the hydrocarbon released by organic inclusions hosted in calcite vein from reservoir rock in Well Rong2 and Rong3. Through comparing organic inclusion oils with light oil in reservoir, source of hydrocarbon and charge history in the Jurong Sag were discussed combining burial history in Jurong Sag. The results show that multiple charging episodes took place in Well Rong2 and Rong3; Fluid inclusion oils represent the earlier charge while different *n*-alkanes distribution in different groups fluid inclusions in Well Rong2 shows that hydrocarbons charged in the earlier stage underwent biodegradation; Hydrocarbons charged in the earlier charging episode were derived from Permian source rock, however present light oils in Triassic reservoir rock charged in the later charging episode were derived from Permian and part Triassic source rocks due to its quick subsiding during the Late Cretaceous.

Key words: organic inclusion; biomarkers; oil and gas charge history, the Jurong Sag; Jiangsu Province

中国含油气盆地大多经历了多期构造运动, 具有多期源岩和多期成藏的特征^[1,2], 这使得对油气来源、运移及成藏期次的研究变得更为复杂, 流体包裹体的分析对于解决这些问题有着自己独特的优势^[3]。包裹体中烃类代表了古代烃类流体充注

时的成分和性质, 对其成分分析有助于确定油气的来源, 区分不同的油气运移事件, 提供油气充注及油气藏热演化的信息^[4~11]。

江苏句容凹陷是中国南方海相中、古生界勘探较早的地区, 油气显示丰富, 其层位主要包括白垩

收稿日期: 2006-09-06; 修订日期: 2007-08-13。

作者简介: 官 色 (1976—), 女 (汉族), 河北辛集人, 从事油气地球化学的研究工作。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (G1999043308)。

系浦口组、葛村组,中、下三叠统青龙组及上二叠统龙潭组^[12]。前人通过原油与烃源岩之间的对比对该区油气来源进行了研究^[13,14],本文通过对比句容凹陷容2和容3井有机包裹体中烃类与轻质油的地球化学特征,结合埋藏史探讨该区的油气来源及油气充注。

1 样品及实验

包裹体样品取自句容凹陷容2和容3井灰岩储层中的方解石脉,油样为容2和容3井的轻质油(表1)。容2井(JS-38)与容3井(JS-39)样品方解石脉中含有丰富的荧光有机包裹体。容2井三叠系样品中包裹体呈现不同的荧光颜色且方解石脉的颜色也不相同,因此将其分为两组样品:JS-38-1样品方解石呈灰白色,荧光颜色为黄色;JS-38-2样品方解石呈白色,荧光颜色为黄绿色。

包裹体成分分析采用的是离线压碎-色谱、色质方法,压碎装置自行设计加工^[15]。将方解石碎到1~3 mm的颗粒,用二氯甲烷和甲醇的混合溶液(93:7)抽提72 h;将处理好的一定量样品(约2~3 g)在压碎装置中砸碎,然后用二氯甲烷萃取包裹体释放出的烃类物质,进行色谱及色质分析。用同样的方法,对不砸碎的样品(空白样品)进行分析,以

证实包裹体以外的有机质已完全除去,砸碎样品中的有机质确实为包裹体释放出来的烃类。

包裹体油及空白样品的色谱分析在HP5890A型气相色谱仪上完成,色谱条件为:采用DB-5MS毛细柱(30 m×0.32 mm);初始温度为80℃,恒温2 min,以4℃/min的升温速率升到290℃,然后再恒温30 min;载气为N₂,FID检测器,温度为290℃。包裹体油在GC8000TOP色谱与Voyager质谱联用仪上完成,条件与色谱相同。

2 结果与讨论

2.1 包裹体油与对应空白样品的对比

包裹体油分析的关键是确定分析的烃类是包裹体释放出来的,所以对空白样品的分析是非常必要的。图1为句容凹陷容2井(JS-38)和容3井(JS-39)方解石中包裹体油(左)与对应的空白样品(右)的色谱图。可以看出空白样品中基本不含正构烷烃,而压碎包裹体油中含有丰富的正构烷烃,这充分说明了样品在被砸碎之前,包裹体以外的烃类已基本被清理干净,分析的包裹体油确为样品中包裹体释放的烃类,这使得本研究中包裹体油的数据更具可靠性。

2.2 正构烷烃与无环类异戊二烯

容2井三叠系两包裹体油中正构烷烃分布特征有明显的不同(图2)。JS-38-1包裹体油中正构烷烃呈双峰型分布,前主峰碳数为 nC_{16} ,后主峰碳数为 $nC_{22}-nC_{23}$;JS-38-2包裹体油中正构烷烃呈单峰型分布,主峰碳数为 nC_{22} 。一般来说,双峰型正构烷烃分布被认为是不同来源油的混合,但是本研究中JS-38-2包裹体油的后峰型分布及低分子量正构烷烃的逐渐降低趋势,充分说明包裹

表1 江苏地区句容凹陷灰岩样品和轻质油

Table 1 Limestone and light oils samples in the Jurong Sag, Jiangsu Region

样品编号	井号	深度/m	层位	岩性
JS-38-1	容2	387.03	T _{1q}	浅灰色灰岩
JS-38-2	容2	387.03	T _{1q}	浅灰色灰岩
JS-39	容3	1 604.78	P _{1q}	深灰色泥质灰岩
R2y	容2	295.45~425.88	T _{1q}	轻质油
R3y	容3	569.73~563.31	T _{1q}	轻质油

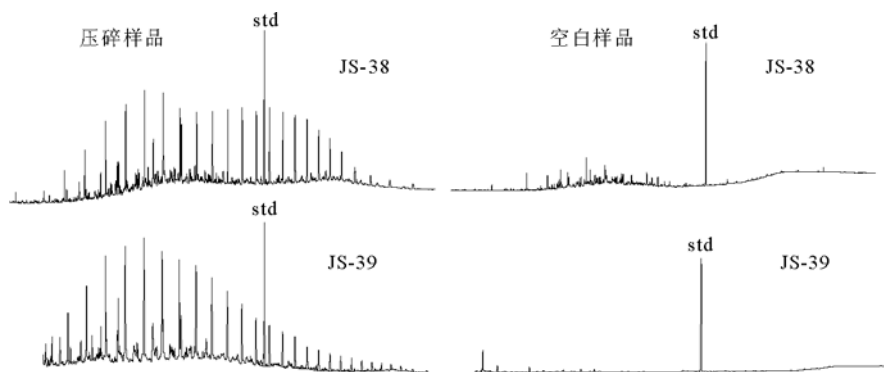


图1 江苏句容凹陷灰岩方解石脉中包裹体油与对应空白样品的色谱图

std为C₂₄D₅₀标样

Fig.1 Chromatograms comparison of fluid inclusion oils from calcite vein in limestones and their blank samples in the Jurong Sag, Jiangsu Region

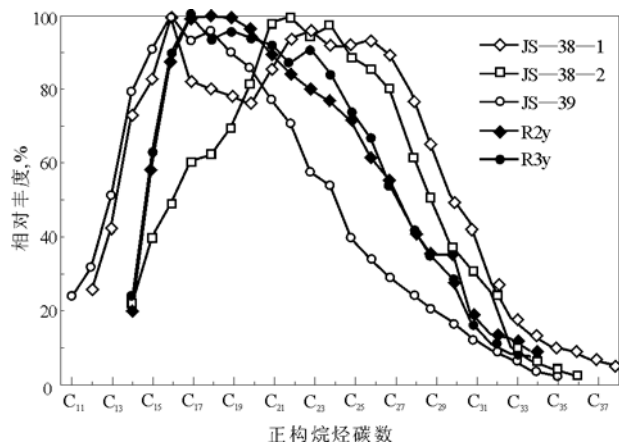


图2 江苏地区句容凹陷包裹体油与轻质油的正构烷烃分布
Fig. 2 Distribution of *n*-alkane in fluid inclusion oils and light oils in the Jurong Sag, Jiangsu Region

体油被捕获时经历了轻度降解,低碳数正构烷烃被部分移去;而且 JS-38-2 的后峰型与 JS-38-1 的后峰型相似,所以推测 JS-38-1 捕获的是生物降解油和非生物降解油的混合物,并非受不同来源的影响。容2井轻质油的正构烷烃具有前峰型分布特征,主峰碳为 nC_{17} ,可能说明轻质油与包裹体油来源于不同的充注期次。容3井二叠系包裹体油和三叠系轻质油中的正构烷烃均呈单峰型分布,

主峰碳数分别为 nC_{16} 和 nC_{17} 。

容2井三叠系包裹体油的 Pr/Ph 值分别为 1.22 (JS-38-1) 和 1.13 (JS-38-2),与容2井三叠系轻质油相似(1.21),可能说明了其来源的一致性;容3井包裹体油的 Pr/Ph 值为 0.76,远低于容3井三叠系轻质油(1.2),说明容3井包裹体油与轻质油的来源可能具有差异性(表2)。

2.3 甾萜类化合物

容2井的两个包裹体油含有较丰富的甾萜烷生物标志物,容3井包裹体油未检测到甾萜烷,推测可能是由于样品量少,甾萜烷的相对含量低于检测限的缘故。

容2井两包裹体油的萜烷参数比较相似,与轻质油有较大差别(表2),轻质油中 TT/H 值和 Ts/Tm 值较高,这些比值不仅受成熟度还受来源的影响。容2井包裹体油的 C_{35}/C_{34} HH 值介于 0.54~0.57 之间,且 $C_{29}/C_{30} \alpha\beta H$ 小于 1,属典型的煤系来源^[16];轻质油的 C_{35}/C_{34} HH 值高于包裹体油,但 $C_{29}/C_{30} \alpha\beta H$ 值明显低于包裹体油,可能受成熟度的影响或由于来源的差异性。

包裹体油与轻质油中规则甾萜烷分布均以 C_{29} 甾萜烷占绝对优势(表2),反映了高等植物来源的特征。虽然海相源岩中也可能存在 C_{29} 甾萜烷优势,如

表2 江苏地区句容凹陷包裹体油和轻质油的饱和烃地球化学参数

Table 2 Geochemical parameters based on aliphatic hydrocarbon in fluid inclusion oil and light oils in the Jurong Sag, Jiangsu Region

参数	样品				
	JS-38-1	JS-38-2	JS-39	R2y	R3y
Pr/Ph	1.22	1.13	0.76	1.21	1.20
Pr/ nC_{17}	1.33	1.35	0.41	0.43	0.43
Ph/ nC_{18}	1.34	1.09	0.55	0.35	0.38
CPI	1.20	0.93	0.95	1.02	1.00
$C_{23} TT/C_{30} \alpha\beta H$	0.30	0.28		0.38	0.41
$C_{26} TT/C_{25} TT$	0.74	0.88		0.96	0.93
$C_{24} TeT/(C_{24} TeT + C_{23} TT)$	0.18	0.17		0.19	0.19
$C_{29}/C_{30} \alpha\beta H$	0.71	0.72		0.37	0.36
TT/H ¹⁾	0.54	0.45		0.90	1.66
ETR ²⁾	0.84	0.80		1.02	1.02
Ts/Tm	0.79	0.91		0.93	0.93
$C_{30} \alpha\beta H/C_{30} (\alpha\beta + \beta\alpha) H$	0.89	0.89		0.93	0.93
22S/22(S+R)C ₃₁ HH	0.49	0.54		0.65	0.67
C_{35}/C_{34} HH	0.57	0.54		0.84	0.69
ST/H ³⁾	0.66	0.56		0.93	0.94
$C_{29}/C_{27} \alpha\alpha 20 RST$	2.59	3.9		2.57	2.09
$C_{29} \alpha\alpha 20 S/20(S+R)ST$	0.54	0.57		0.53	0.53
$C_{29} \alpha\beta\beta/(\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)ST$	0.50	0.48		0.50	0.50
$C_{27} : C_{28} : C_{29} ST$	24 : 15 : 62	17 : 15 : 68		21 : 25 : 54	25 : 24 : 51

注: TT 为三环萜烷; H 为藿烷; TeT 为四环萜烷; HH 为升藿烷; ST 为甾萜。

1) TT/H 为 $(C_{19} - C_{29}) TT / [(C_{29} - C_{30}) H + (C_{31} - C_{35}) HH]$ 。

2) ETR 为 $(C_{28} + C_{29}) TT / (C_{28} TT + C_{29} TT + Ts)$ 。

3) ST/H 为 $C_{29} ST / C_{29} \alpha\beta H$ 。

塔里木海相源岩及江苏下扬子地区下古生界海相碳酸盐岩,但这里认为是受上二叠统龙潭组煤系的影响。JS-38-1 和 JS-38-2 包裹体油的 $C_{29}/C_{27\alpha\alpha\alpha}20R$ 甾烷值分别为 2.59 和 3.9;容 2 井轻质油的 $C_{29}/C_{27\alpha\alpha\alpha}20R$ 甾烷值为 2.57,接近于 JS-38-1 包裹体油;容 3 井轻质油的 $C_{29}/C_{27\alpha\alpha\alpha}20R$ 甾烷值较低(2.09),较高的 C_{29} 甾烷可能说明陆相高等植物来源的输入稍多。包裹体油的 ST/H 值(0.56~0.66)明显低于轻质油(0.93~0.94),低 ST/H 值一般说明陆相来源或受微生物的改造^[17],比值也随成熟度增加而增加^[18]。包裹体油和轻质油的成熟度参数 $C_{29\alpha\alpha\alpha}20S/20(S+R)ST$ 均已达平衡值^[19];其他饱和烃的成熟度参数 $C_{30\alpha\beta}H/C_{30(\alpha\beta+\beta\alpha)}H$, $22S/22(S+R)C_{31}HH$ 以及 $C_{29\alpha\beta\beta}/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)ST$ 均说明了轻质油的成熟度高于包裹体油,且容 2 井两包裹体油的成熟度相差不大。

2.4 芳烃

容 2 井两包裹体油中烷基萘的分布相似(图 3),而容 3 井包裹体中含有较高含量的 2,6-和 2,7-DMN;容 3 井轻质油中 2,6-和 2,7-DMN 的含量高于容 2 井轻质油,这两个异构体的热稳定性较强^[5],说明容 3 井包裹体油和轻质油的成熟度高于容 2 井。1,2,5,6-TeMN 与 1,2,5-TMN 一般同时出现,可以由五环三萜类经降解和重排转变而来,其先质在高等植物中含量很高^[20]。容 2 井两包裹体油和轻质油中 1,2,5-TMN 和 1,2,5,6-TeMN 的含量分别高于容 3 井包裹体油和轻质油,可能说明容 2 井的烃类来源中陆相高等植物的成分较多。包裹体油的 DMPR-x 参数都大于轻质油,据报道 1,7-二甲基菲在树脂来源的源岩中含量较高,说明包裹体中烃类比轻质油的陆源成分多。

从甲基菲指数(MPI_1)计算的 R_c 可以看出,容 2 井和容 3 井包裹体油的成熟度分别低于其轻质

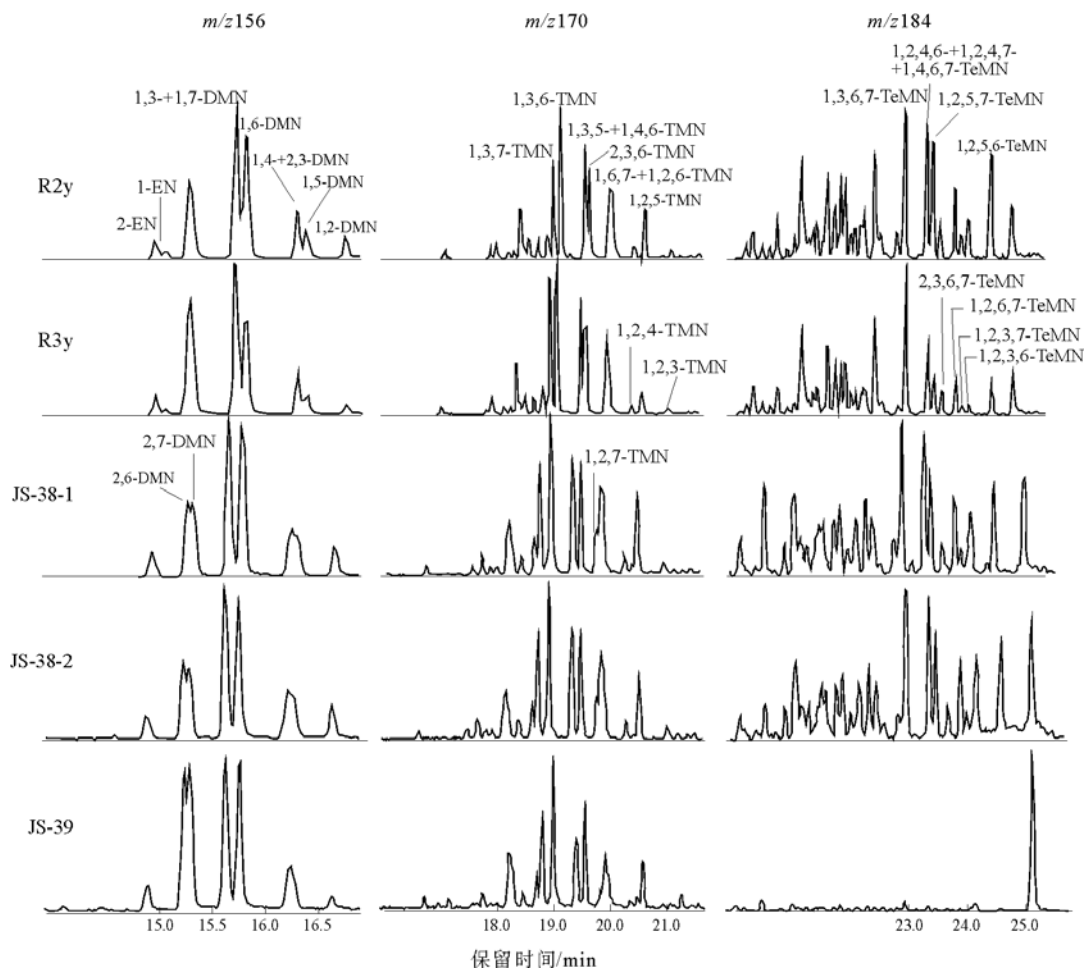


图 3 江苏地区句容凹陷包裹体与轻质油中萘系列化合物的部分质量色谱图比较
EN 为乙基萘;DMN 为二甲基萘;TMN 为三甲基萘;TeMN 为四甲基萘

Fig. 3 Partial mass chromatogram of fluid inclusion oils and light oils showing the distribution of alkylnaphthalene in the Jurong Sag, Jiangsu Region

油,与饱和烃的成熟度参数具有一致性,而且容 2 井包裹体油和轻质油的成熟度均低于容 3 井的包裹体油和轻质油。被包裹体油捕获的烃类一般为早期充注的烃类,表现为其成熟度低于油藏中原油的成熟度^[4,5]。但本研究中包裹体油其他的芳烃成熟度参数基本高于轻质油(表 3),认为可能是轻质油在被采出地面或储存过程中的蒸发作用使得低分子量物质部分损失而影响了成熟度参数^[5]。

3 句容凹陷充注史的探讨

句容凹陷包裹体油和轻质油的来源均以高等植物输入为主,且容 2 井有机质的陆相输入较多,这与轻质油的碳同位素具有一致性。句容地区轻质油的 $\delta^{13}C$ 为 $-27.18\% \sim -28.5\%$ ^[21],容 2 井和容 3 井轻质油单体烃碳同位素基本上大于 -29% ^[22]。容 2 井两包裹体油的地球化学特征相似,成熟度相差不大,认为来源具有一致性,可能主要来源于二叠系源岩的贡献,句容凹陷二叠系以滨海沼泽含煤碎屑岩和浅海碳酸盐岩沉积为主^[23];容 2 井轻质油与其包裹体油的地球化学特征的差异可能是由于轻质油较高的成熟度引起或是来源中具有三叠系源岩的贡献。三叠系青龙组以泥岩、钙质泥岩和灰岩为主,有机质类型兼有腐泥型和腐殖型共同的特点^[23]。容 3 井包裹体油中低的 Pr/Ph 值则说明其来源的沉积环境与容 2 井包裹体油具有差异性;容 3 井轻质油与容 2 井轻质油大部分地球化学特征比较相似,可能说明两轻质油来源具有一致性。

容 2 井三叠系包裹体成分的研究说明容 2 井油藏存在多期油气充注现象。JS-38-2 的正构烷烃分布说明早期充注的油气在被包裹体捕获时曾经历了生物降解和水洗过程,而此过程可能与烃类的充注过程是同时进行的,因为 JS-38-1 包裹体油具双峰型分布,其捕获的是降解烃类与非降解烃类的混合物,埋藏史也说明早期充注的烃类主要来源于二叠系源岩(图 4);而现今三叠系油藏中轻质油没有双峰型分布特征,所以包裹体中烃类所代表的这一期油气充注事件可能因为侏罗纪地层的抬生而被破坏。现今三叠系油藏中的轻质油为后一期充注的具较高成熟度的烃类,他是由晚白垩世末二叠系煤系及部分三叠系烃源岩的急剧沉降而生成的(图 4)。容 3 井二叠系储层包裹体油没有生物降解特征,可能因为烃类被捕获时处于较深的深度,未达到生物降解的条件。从现有正构烷烃及芳烃的特征来看,容 3 井包裹体油与轻质油可能不属于同一充注期次。

表 3 江苏地区句容凹陷方解石脉中包裹体油和轻质油的芳烃参数

Table 3 Geochemical parameters based on aromatic hydrocarbons of oils released from fluid inclusions in calcite vein and light oils in the Jurong Sag, Jiangsu Region

参数	样品				
	JS-38-1	JS-38-2	JS-39	R2y	R3y
MNR ¹⁾	1.08	1.83	2.59	1.21	1.76
TNR-1 ²⁾	0.75	0.76	1.26	0.62	0.93
TNR-2 ³⁾	0.70	0.68	0.71	0.46	0.47
MPI ₁ ⁴⁾	0.45	0.54	0.80	0.57	0.86
Re ⁵⁾	0.67	0.73	0.88	0.74	0.92
MPDF ⁶⁾	0.45	0.44	0.66	0.39	0.51
DMPR ⁷⁾	0.35	0.24	0.45	0.18	0.25
DMPR-x ⁸⁾	0.36	0.28	0.38	0.22	0.23

注:MN 为甲基萘。
 1) $MNR = 2 - MN / 1 - MN$ 。
 2) $TNR-1 = 2.3,6 - TNR / (1.4,6 - + 1.3,5 - TNR)$ 。
 3) $TNR-2 = (2.3,6 - + 1.3,7 - TNR) / (1.4,6 - + 1.3,5 - + 1.3,6 - TNR)$ 。
 4) $MPI_1 = 1.5 \times (3 - + 2 - MP) / (P + 9 - MP + 1 - MP)$ 。
 5) $Re = 0.6 MPI_1 + 0.4$ 。
 6) $MPDF = (3 - + 2 - MP) / (3 - + 2 - + 9 - + 1 - MP)$ 。
 7) $DMPR = (3.5 - + 2.6 - + 2.7 - DMP) / (1.3 - + 3.9 - + 2.10 - + 3.10 - + 1.6 - + 2.9 - + 2.5 - DMP)$ 。
 8) $DMPR-x = (1.7 - DMP) / (1.7 - + 1.3 - + 3.9 - + 2.10 - + 3.10 - DMP)$ 。

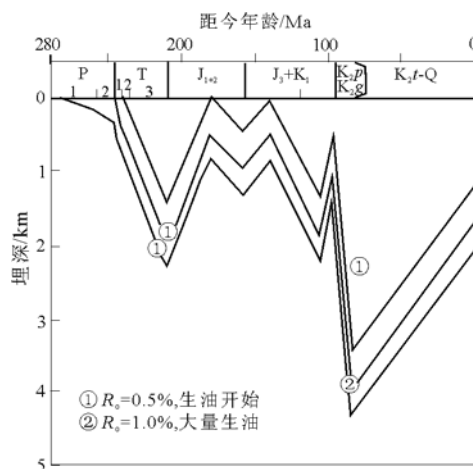


图 4 江苏地区句容凹陷古生界—中生界烃源岩的埋藏史和成熟度史^[24]

Fig. 4 Burial history and maturity history of Palaeozoic—Mesozoic source rocks in the Jurong Sag, Jiangsu Region

参考文献:

- 何治亮, 顾 忆, 高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 433~438
- 腾格尔, 高长林, 胡 凯等. 上扬子东南缘下组合优质烃源岩发育及生烃潜力[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 359~365
- Dutkiewicz A, Rasmussen B, Buick R. Oil preserved in fluid inclusions in Archaean sandstones [J]. Nature, 1997, 395(6705): 885~888
- George S C, Frank W K., Peter J E, et al. Geochemical comparison of oil-bearing inclusions and produced oil from the Toro

- sandstone, Papua New Guinea [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(3/4): 155~173
- 5 杨惠民. 包裹体类型和成分特征在油气运移研究和油气储层评价中的应用;以赤水气田为例 [J]. *海相油气地质*, 1997, 2(3): 16~21
 - 6 郝建荣,柳益群,曹 青等. 新疆三塘湖盆地侏罗系流体包裹体研究[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(4): 391~394
 - 7 李荣西,席胜利,邸领军. 鄂尔多斯盆地中部断裂带方解石脉天然气包裹体研究[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(5): 463~466
 - 8 Karlens D A, Nedkvitne T, Larter S R. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions; Application to elucidation of petroleum reservoir filling history [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1993, 57: 3641~3659
 - 9 George S C, Frank W K, Peter J E, et al. Geochemical comparison of oil-bearing inclusions and produced oil from the Toro sandstone, Papua New Guinea [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(3/4): 155~173
 - 10 侯建国,任丽华,董春梅. 有机包裹体技术在油气运移与聚集中的应用研究[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(4): 409~413
 - 11 George S C, Lisk M, Summons R E, et al. Constraining the oil charge history of the South Pepper oilfield from the analysis of oil-bearing fluid inclusions [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(1-3): 631~648
 - 12 程 军. 下扬子地区化探特征及其含油气远景评价 [J]. *物探与化探*, 1995, 19(6): 462~467
 - 13 徐伟民,夏 延. 江苏句容盆地成油特征及含油气远景[J]. *石油勘探与开发*, 1986, 13(4): 11~19
 - 14 刘东鹰. 江苏下扬子区海相中、古生界石油天然气成藏机制、成藏过程研究[D]:[博士论文]. 广州:广州地球化学研究所, 2004. 61~70
 - 15 宫 色. 储层有机包裹体成分分析方法的建立及其应用研究[D]:[博士论文]. 广州:广州地球化学研究所, 2006. 14
 - 16 Peters K E, Walters C, Moldowan J M. *The biomarker guide, Volume 2: biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 566~567
 - 17 Tissot B P, Welte D H. *Petroleum formation and occurrence* [M]. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 699
 - 18 Seifert W K, Moldowan J M. Application of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1978, 42: 77~95
 - 19 Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[A]. In : Johns R B, ed. *Biological Markers in sedimentary Record, Methods in Geochemistry and Geophysics* [M]. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. 261~290
 - 20 Puttmann W, Villar H. Occurrence and geochemical significance of 1,2,5,6-tetramethylnaphthalene [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1987, 51: 3023~3029
 - 21 陈安定,王文军,岳克功等. 盐城朱家墩气田气源及发现意义 [J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(6): 45~49
 - 22 马安来,包建平. 盐城凹陷凝析油地球化学特征 [J]. *地质地球化学*, 2003, 31(1): 10~15
 - 23 陈 红,龚洪春,杨友胜等. 下扬子区海相油气成藏特征 [J]. *江苏地质*, 2003, 27(3): 148~151
 - 24 刘东鹰. 苏皖下扬子区中古生界油气勘探方向 [J]. *江汉石油学院学报*, 2003, 26(增刊): 46~47

(上接第 499 页)

高密度、中—高粘度、高含硫原油 2 大类。中—低密度、低粘度、低含硫原油主要分布于大王北油田和大 65 油田,保存条件良好,基本没有发生次生变化,主要以该区淡水—微咸水的半深湖—深湖环境下沉积的沙三段成熟烃源岩为母源,局部有咸水—半咸水湖泊环境下沉积的沙一段烃源岩提供的低熟油混入,但由于混入数量有限,基本没有改变该类原油的物性特征。中—高密度、中—高粘度、高含硫原油主要分布于英雄滩油田,在油田构造高位原油发生了轻微—中等强度的次生变化。大王北洼陷下第三系沙河街组的 3 套烃源岩都与其有成因联系。

参考文献:

- 1 胡见义,徐树宝. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. *石油勘探与开发*, 1986, 13(1): 5~9
- 2 朱光有,金 强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3): 506~511
- 3 陈建渝,熊书权,毕研鹏等. 断陷盆地中含油气系统的特征[J]. *石油学报*, 2000, 21(2): 36~41
- 4 谈彩萍,刘翠荣,周新科等. 中国东部老区油气成藏特征[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 144~150
- 5 孔祥星,张林晔,徐思煌. 济阳拗陷车西洼陷油—源对比及运移规律探讨[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 188~193
- 6 Peters K E, Moldowan J M. *The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*[M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1993. 90~94
- 7 张林晔,孔祥星,张春荣等. 济阳拗陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. *地球化学*, 2003, 32(1): 35~42
- 8 朱光有,金 强,王 锐. 有效烃源岩的识别[J]. *石油大学学报*, 2003, 27(2): 6~10
- 9 庞雄奇,李素梅,黎茂稳等. 八面河地区“未熟—低熟油”成因探讨[J]. *沉积学报*, 2001, 19(4): 586~591
- 10 陈建渝,李水福,田 波等. 垦西—罗家油区稠油成因[J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(3): 248~253