

# 膏盐沉积盆地中未成熟高硫 原油的发现及意义\*

江继纲

(石油工业部江汉石油勘探开发研究院)

盛国英 傅家谟

(中国科学院地球化学研究所)

江汉膏盐沉积盆地中板1井浅层610.23—658.5m发现的未成熟高硫重质原油,其基本特征是:低饱和烃、高非烃;正烷烃具有极明显的偶奇优势;特别富含植烷、伽玛蜡烷、镍卟啉与丰富的长链烷基噻吩类和四氢化噻吩类等生物标记化合物。烷基噻吩和烷基四氢化噻吩类化合物也呈现出极明显的偶奇优势。根据原油产出的地质构造和岩性组合条件以及原油的生物标志物特征综合判断,此原油属典型的自生自储未成熟油,原油的成熟度大致相当于 $R^*$ 为0.36%。

板1井未成熟高硫重质原油的生成主要与膏盐强还原环境,尤其是特别高的含硫量有关。

未成熟石油系指在生油门槛之上或早于石油窗阶段形成的石油。未成熟石油,尤其未成熟工业油藏的研究具有重要的理论意义与实践意义。首次报道的未成熟工业油藏是加拿大的Mackenzie油田, Snowdon和Powell(1982)研究认为该油田轻质油主要是来于树脂煤的未成熟轻质油。国外学者的研究认为,不仅某些特种煤组分可能形成未成熟石油,常常是未成熟轻质油,其它的一些生油岩,如海相碳酸岩、白垩、磷块盐岩和硅藻岩等也具有早期生油、早期运移的特点,从而形成未成熟、低成熟的稠油和石油沥青。

国内学者也开展了早期成油的研究,非常有意义的是近年来在我国东部第三纪陆相含油盆地,如济阳拗陷、江汉盆地、泌阳盆地等地区已应用生物标志物参数证实存在有低成熟和未成熟工业原油。

根据地质和地化资料分析研究,初步确证江汉盆地广华寺构造的广33井原油为未成熟原油,产层1917m,浅于门限深度(2200m),为自生自储油藏,原油含硫3.59%,据分子参数推断,原油成熟度相当于镜煤反射率 $R^*$ 为0.43%,为典型未成熟石油(傅家谟等,1985),本文报道江汉盆地又一产层更浅,成熟度更低,含硫特别高的未成熟高

\*本项目的生物标志物研究部分属于国家自然科学基金项目(850303)和中国科学院有机地球化学开放研究实验室项目(OGL85-02)。

硫原油。该原油的含硫量与生物标志物组成特征非常类似于美国犹他地区著名的Roze1 Point油苗。这一未成熟高硫原油的发现与研究无论对于浅层生油门槛以上找油以及了解环境在未成熟油形成中的可能作用都具有重要意义。

### 一、板1井未成熟高硫原油产出的地质、地化特征

板1井位于江汉盆地小板凹陷的西北部，七十年代在该井上始新统潜江组含膏盐地层中发现了具有工业价值的油藏。油层埋深很浅(610.23—658.5m)，原油为高比重(1.0086)、高粘度(0.75Pa·s)、高含硫(11.54%)的重质油。

板1井原油产出于潜江组三段，储层为鲕状泥灰岩层，上下紧接泥岩层以及膏泥岩、油页岩等隔水性好的地层，属于受岩性控制的透镜体油藏(图1)。从油源条件分

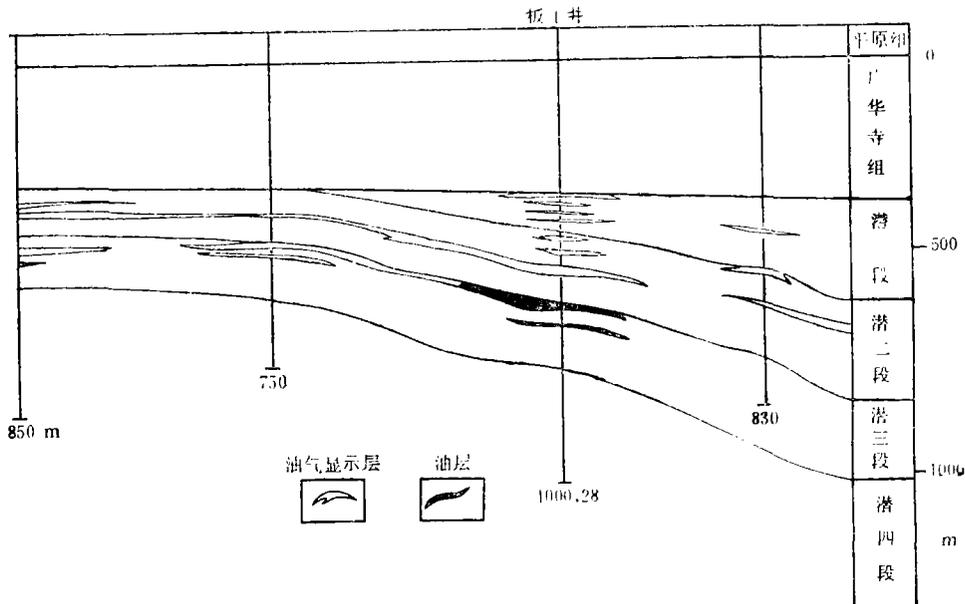


图1 小板地区油藏剖面示意图

析,虽然板1井钻探证实该凹陷有潜江组、新沟咀组和白垩系渔洋组三套生油层系,但研究表明,板1井原油与潜江组生油岩的地化参数具有可对比性,而与新沟咀组和白垩系渔洋组生油岩在成油母质和成熟度方面明显不同。例如潜江组生油岩以偏腐泥型为主,而新沟咀组和渔洋组生油岩以偏腐殖型为主。这明显的表现在它们的甾烷参数差异上。一般认为C<sub>27</sub>规则甾烷代表水生生物输入,C<sub>29</sub>规则甾烷代表陆源输入。板1井原油和潜江组生油岩的规则甾烷参数十分相似,含5α(H),14α(H)、17α(H)—20R—C<sub>27</sub>,C<sub>28</sub>和C<sub>29</sub>甾烷占总αα—20R甾烷的含量分别为53.62%、51.24%、17.54%、19.17%和28.84%、29.54%。C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub>αα—20R甾烷比值为1.86、1.73。而新沟咀和油

洋组生油岩含 $\alpha\alpha\alpha-20RC_{27}$ 、 $C_{28}$ 和 $C_{29}$ 化合物的含量分别为33.04%、24.18%；22.95%、22.00%；44.10%、53.82%； $C_{27}/C_{28}$ 烷烃比为0.75、0.45。板1井原油为自生自储成因的另一特征是高含硫量。板1井原油产出井深为610.23—658.5m，硫含量高达11.54%，这与邻井取心资料400—700m井段膏泥岩中见有自然硫相伴生，其硫含量一般3—6%，最高者达11.42%，颇为接近，说明板1井高硫原油属就地生成，来源于本区膏盐环境的未成熟生油岩。原油的成熟度大致相当于邻近的板2井645m深处岩心样测得的镜质体反射率数据（ $R^o$ 为0.36%）。

小板凹陷潜江组时期为一盐湖环境，沉积了一套厚达4m的泥岩、膏泥岩与盐岩、油页岩、泥灰岩、鲕状泥灰岩组成的含盐含油气地层。暗色泥质岩类发育，埋深多浅于2000m，镜质体反射率 $R^o < 0.5\%$ ，一般0.3—0.45%，孢粉颜色呈浅黄色—黄色，热变指数 $< 2.3$ ，说明潜江组这套盐系地层是不成熟的。尽管如此，但有机母质以偏腐泥型为主，仍具有一定的生烃能力，烃/有机碳一般为1.5—6%，烃含量多数大于100ppm，高者可达609ppm，烃类特征表现为饱和烃含量十分低（ $< 10\%$ ），非烃加沥青质含量特高（ $> 80\%$ ）。并且烃类含量随埋深增加没有明显的变化。小板凹陷潜江组小于1000m深的10个岩心样分析资料表明，平均烃含量为185ppm。其中板27井528m深处灰色含膏泥岩烃含量高达609ppm。显然，这些烃类不是像直接来自干酪根的热降解产物，而可能是在浅层、低温、高盐度条件下，有机质或类干酪根物质早期保存、早期转化生成的，这为本区未成熟石油的形成提供了较丰富的物质基础。

## 二、板1井未成熟高硫原油的生物标志物组成特征

江汉盆地已发现的未成熟原油就其物理性质来看，有重质油（如板1井），也有中质油（如广33井）。将板1井原油与以往研究确证为典型未成熟的广33井和潜10井油样进行对比（表1），可以看出板1井原油具有如下未成熟的特征：

表1 江汉盆地潜江组未成熟原油地球化学参数对比

地区	井号	密度	含硫量 (%)	烷烃 (%)	芳烃 (%)	OEP 值	Pr Ph	Ph nc18	C27 甾烷	C29 甾烷	C29 甾烷	r 蜡烷	C31 甾烷	C32 甾烷	镍卟啉 (ppm)
									$\beta R$	20S	$\beta \beta$		22S	22S	
小板	板1	1.0086	11.54	13.33	11.88	0.59	0.07	3.68	0.08	0.27	0.25	0.85	0.57	0.62	240.4
潜	广33	0.8822	2.93	28.13	17.39	0.70	0.25	4.64	0.04	0.24	0.20	0.59	0.44	0.44	164.8
江	潜深 <sup>*</sup> 10	0.8964	2.22	22.88	15.43	0.91	0.14	4.74	0.02	0.20	0.20	0.52	0.57	0.53	151.7

\*江继纲，1986，潜江凹陷潜江组未成熟生油岩及原油的研究

1.原油中烷烃含量很低（仅13.33%），而非烃加沥青含量特高（达74.79%），如考虑到下面将要讨论的，即芳烃主要由含硫化合物组成，则非烃加沥青的含量将占到原油总量85%。

2.烷烃含量虽很低，但正烷烃含量并不低，且分布完整（图2），说明板1井重质油决非生物降解成因。图2还表明板1井原油正烷烃具有异常明显的偶碳优势（OEP =

0.59), 如此低的OEP值(表1)是一般原油和成熟生油岩中未曾见到的。该OEP值低于江汉盆地生油门槛值。由图2可见, 正烷烃主峰为 $nC_{28}$ 、 $nC_{28}$ 和 $nC_{22}$ 。Ten Haven认为 $nC_{22}$ 烷烃是膏盐相环境沉积的特征之一。

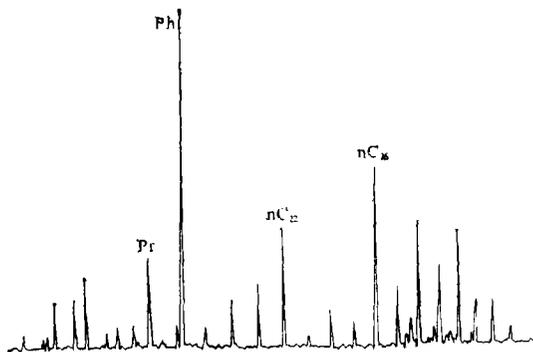


图2 板1井原油烷烃色谱图

3. 板1井原油的生物标志物组成还以极富含植烷、伽玛蜡烷、镍卟啉、升藿烷具有 $C_{35} > C_{32} > C_{34} > C_{33}$ 的异常分布为特征(表1)。尤其是在甾烷分布上仍保持着生物原始构型的相当优势(如 $C_{27}20R$ 、 $C_{28}20R$ 、 $C_{29}20R$ 化合物)。几个鉴别成熟度的重要参数,  $C_{27}$ 甾烷  $\frac{\beta\beta}{\alpha\alpha + \beta\beta} < 0.1$ ,  $C_{29}$ 甾烷  $\frac{20S}{20S + 20R} < 0.3$ ,  $C_{29}$ 甾烷  $\frac{\beta\beta}{\alpha\alpha + \beta\beta} \leq 0.25$ , 均未超过成熟门限的标准。

4. 板1井原油含硫量极高, 其元素组成与Rczel point油苗类似, 即硫含量仅次于碳而成为第二个重要的组成元素, 它确系世界上罕见的高硫原油。板1井原油的芳烃馏分也类似于Rczel Point油苗, 主要成分都是含硫化合物。检出的含硫化合物有: (1) 烷基噻吩类化合物, 包括正烷基噻吩类和异戊二烯基噻吩类化合物, 主要有基峰分别为 $m/z$  111、125、139、153、163、181和195的七个系列化合物; (2) 烷基四氢化噻吩类化合物, 烷基包括正烷基和异戊二烯基。检出了五个系列化合物, 基峰为 $m/z$  101、115、129、143、157(图3); (3) 含硫甾烷, 基峰为 $m/z$  341等。烷基噻吩类和烷基四氢化噻吩类化合物的一个重要特征是高碳数范围具有极明显的锯齿状偶奇优势。分布比较完整的系列是烷基噻吩类的 $m/z$  111、125和139系列和烷基四氢化噻吩的 $m/z$  101、115、129系列(图3)。特别有趣的是 $m/z$  111和115系列的化合物, 每个化合物都有一对异构体, 其相应的 $CPI_s$ 值( $C_{24}$ — $C_{30}$ 范围)比较接近。四个系列的烷基噻吩 $CPI_s$ 值波动在0.46—0.64之间, 烷基四氢化噻吩的四个系列 $CPI_s$ 值波动于0.44—0.51之间(表2)。广33井原油含硫量则较低, 仅3.59%, 从含硫量与原油产出深度关系上判断, 虽在浅于生油门槛, 但成熟度已高于板1井原油。广33井原油芳烃馏分仅含少量含硫化合物, 它的三个主峰不是含硫化合物, 而是脱羧基维生素E的三个同系物。极高的含硫量、丰富的含硫化合物以及烷基噻吩和烷基四氢化噻吩的极低 $CPI_s$ 值都证明, 板1井原油的成熟度十分低, 是远低于广33井原油的未成熟原油。如果说广33井原

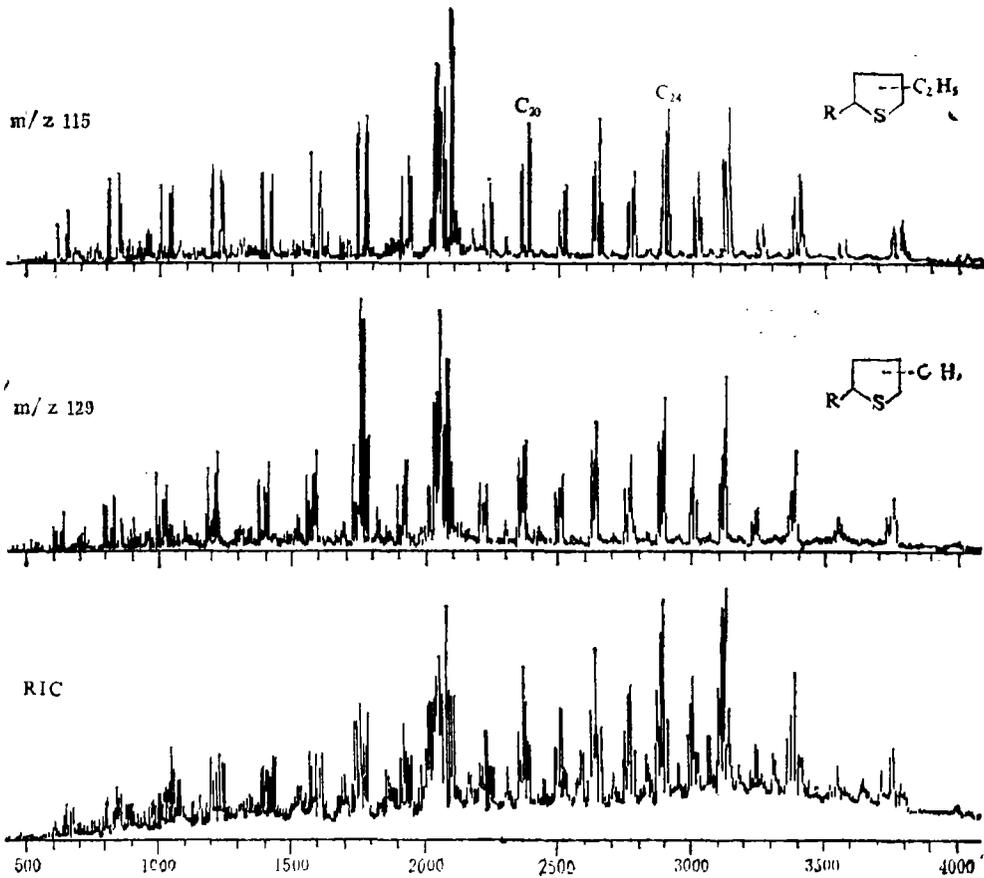


图3 板1井原油中的烷基四氢噻吩类化合物

表2 板1井原油中的烷基噻吩类化合物参数

烷基噻吩类化合物 (C <sub>n</sub> H <sub>2n-4</sub> S)			烷基四氢噻吩类化合物 (C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> S)		
基峰 (m/z)	偶奇优势范围	CPIs	基峰 (m/z)	偶奇优势范围	CPIs
111	C <sub>16</sub> -C <sub>30</sub>	0.46	101	C <sub>24</sub> -C <sub>30</sub>	0.44
125	C <sub>16</sub> -C <sub>30</sub>	0.60	115	C <sub>18</sub> -C <sub>30</sub>	0.48
139	C <sub>12</sub> -C <sub>30</sub>	0.64	129	C <sub>16</sub> -C <sub>32</sub>	0.46
153	C <sub>18</sub> -C <sub>30</sub>	0.48	143	C <sub>20</sub> -C <sub>30</sub>	0.51

油的成熟度按分子参数确定为相当于镜煤反射率R°0.43%，则按相似井深岩样测得之镜煤反射率R°0.36%（见前述）则可能大致反映了板1井原油的成熟程度。

### 三、结 论

根据地质构造与岩性组合条件以及原油的生物标志物特征综合判断，板1井原油属

自生自储的未成熟油。原油的成熟度大致相当于 $R^o$ 为0.36%。板1井异常高的含硫量、丰富的含硫化合物以及烷基噻吩、烷基四氢化噻吩和正烷烃的极强偶奇优势均说明，这一推测是可信的。

板1井未成熟原油属高硫重质油。其基本特征是：低饱和烃、高非烃；正烷烃具有极明显的偶奇优势；特别富含植烷、伽玛蜡烷、镍卟啉与丰富的长链烷基噻吩类化合物等生物标志化合物。烷基噻吩和烷基四氢化噻吩类化合物呈现出极明显的偶奇优势。在甾烷分布上保持着生物原始构型的优势。

板1井未成熟高硫重质原油的生成固然与生油岩的偏腐泥型有机母质有关，更重要的可能是与膏盐强还原环境，尤其是特别高的含硫量有关。江汉盆地潜江组生油岩与国外报道的具有早期生油能力的海相碳酸岩—蒸发岩明显不同，前者为内陆湖相成因，泥岩为主，而后者为海相成因，碳酸岩为主。但二者又有相似之处，即都形成于强还原环境，含硫丰富，生物标志物特征类似，都具有早期成油的特征。膏盐强还原环境有利于有机质的保存与转化，而碳-硫键的存在由于需要的能量低于碳-碳键而有利于干酪根（包括“液态”干酪根）早期裂解成油（烃）。

膏盐环境，低地温，偏腐泥型有机质，易于在浅层生成未成熟石油，特别是未成熟高硫原油，对此浅层油气勘探应予以重视。

本项工作在研究中得到江汉石油勘探开发研究院，英国布里斯托大学有机地球化学实验室和荷兰德尔福特工学院有机地球化学实验室的大力支持，作者谨此致谢。本项工作得到UNDP项目（CPR/84/005）以及中国科学院与英国皇家学会合作项目的资助。

（收稿日期：1987年7月26日）

### 参 考 文 献

- [1] Snowdon, L.R. and Powell, T.G., 1962, Bull AAPG., 66, 6, 775—788.
- [2] Powell, T.G. et al., 1975, Bull AAPG., 59, 6, 1176—1197.
- [3] Pajacas J.G., 1983, Proceedings of the 11th world petroleum Congress, 2, 31—44.
- [4] Hunt, J.M. and Menichol, A.P., 1984, AAPG., Studies in Geology, 18, 117—126.
- [5] Powell, T.G., 1984 AAPG., Studies in Geology, 18, 45—62.
- [6] Issaacs, C.M., Beijing Petroleum Geology Symposium Abstract (1994), Beijing.
- [7] 史继扬等, 1982, 地球化学, 第1期.
- [8] 傅家谟等, 1985, 石油与天然气地质, 6卷2期.
- [9] Sinnighe Damste J.S. et al., 1986, Organic Geochemistry, 10, 4—6, 791—895.
- [10] 盛国英等, 1986, 有机地球化学开放研究实验室研究年报, 贵州人民出版社.
- [11] Huang W.Y. and Meinschein W.G., 1976, Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 323—330.
- [12] 傅家谟等, 1983, 沉积学报, 1卷3期.
- [13] 江继纲, 张谦, 1982, 石油与天然气地质, 3卷1期.
- [14] Mackenzie, A.S. and Maxwell, J.R., 1981, Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration, 239—254, London.
- [15] 盛国英等, 1987, 中国科学, B辑2期.
- [16] Orr, W.L., 1986, Organic Geochemistry, 10, 1—3, 499—516.

# DISCOVERY OF IMMATURE HIGH SULFUR CRUDE OIL AND ITS SIGNIFICANCE IN GYPSUM - SALT BEARING SEDIMENTARY BASIN

Jiang Jigang

(Jiangnan Research Institute of Petroleum Exploration  
and Development, Ministry of Petroleum Industry)

Sheng Guoying

Fu Jiamo

(Research Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

## Abstract

Immature high sulfur heavy crude oil is discovered in Bang 1 Well at depth of 610.23 - 658.5 m in Jiangnan gypsum - salt bearing basin. The principal characters of the crude oil are of low content of saturated hydrocarbons, high content of non-hydrocarbons and remarkable even-odd predominance in n-alkyl hydrocarbons. It is particularly rich in the biomarkers, such as phytane, gamma cerane, nicked porphyrin, and long-chain alkyl thiophene, tetrahydrothiophene, etc. The alkyl thiophene and alkyl tetrahydrothiophene also have an obvious even-odd predominance. The original configuration of biologic materials is reflected in sterane distribution. Based on the geological structure and lithologic characters of the occurrence of the crude oil, as well as biomarkers, it is concluded that such a crude oil can be assigned to immature oil generated and accumulated in situ. Its maturity corresponds to the value of  $R_o$  0.36%.

Certainly, the generation of such an immature heavy crude oil with high content of sulfur could be related to the source rocks rich in sapropelic organic material at shallow depth and low temperature. However, the more decisive factor controlling its generation may be the strong reduction environment of gypsum - salt with high content of sulfur.