

冀中拗陷未熟油研究及勘探前景

秦建中 王 静 郭爱明

(华北石油管理局勘探开发研究院,河北任丘 062552)

提 要 冀中拗陷的晋县凹陷中,北部 $E_{s4}-E_{k1}$ 段盐湖相未成熟阶段含膏烃源岩中的可溶有机质所形成的原油属未熟油,如赵兰庄、赵县油田等。这种未熟油具有高密度 ($0.98\sim 1.08\text{ g/cm}^3$),高粘度、高胶质+ 沥青质和高含硫量 ($6.5\%\sim 15\%$) 等特征;正构烷烃常常呈明显的偶数碳优势,环烷烃和异构烷烃含量很高,有的甚至掩盖正构烷烃的分布,表现出未熟油和非生物降解的特征。其盐湖相和强还原或硫酸盐环境沉积的含膏泥岩在未成熟阶段具有丰富的可溶有机质含量 (“A”大于 0.2%)。并非干酪根热降解成烃,而是浮游水生生物的残留烃类,它具有较高的转化率,“A”/TOC平均达 55% 和有利的排烃条件,具备了形成未熟油藏的条件而且具有良好的勘探前景。

关键词 冀中 拗陷 未熟油

分类号 P 618.13Q 1

第一作者简介 秦建中 男 38岁 高级工程师 有机地球化学

近几年来,我国东部各油田相继发现和找到一批未熟—低熟油田,取得明显的经济效益,它是我国石油地质勘探的重大进展之一。冀中拗陷在未熟—低熟成油理论的指导下,相继发现和找到以 E_{s1} 下段未熟—低熟烃源层为源岩的高阳—西柳油田等和

晋县凹陷中北部以 $E_{s4}-E_{k1}$ 段未熟含膏泥岩为源岩的赵兰庄—赵县油田。但是,未熟—低熟油的类型成因机制、形成条件以及勘探前景尚待进一步深入研究,本文结合冀中拗陷的实际地质条件,试图在这方面进行深入探讨。

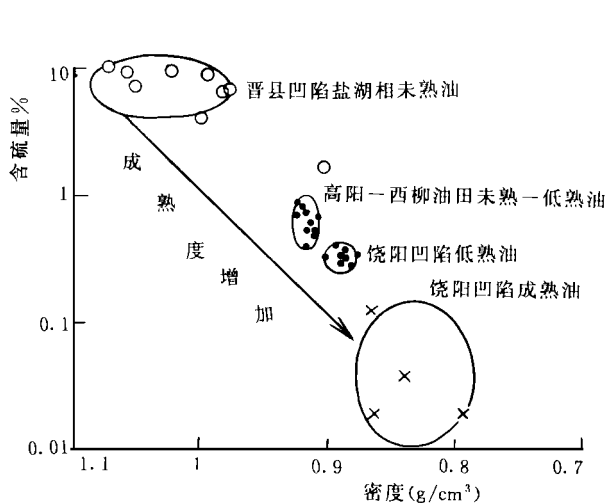


图 1 冀中拗陷未熟—低熟原油密度与含硫量的关系图

Fig. 1 Relationship between the sulfur content and density for immature and low mature oils in the Jizhong depression

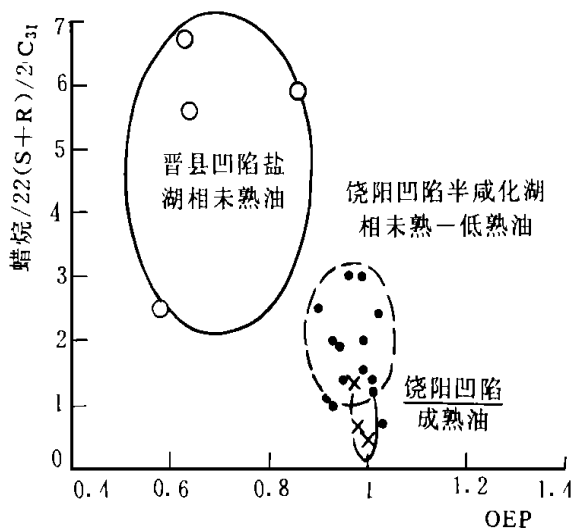


图 2 冀中拗陷未熟—低熟原油伽玛蜡烷与奇优势的关系

Fig. 2 Relationship between gammacerane and OEP for immature and low mature oils in the Jizhong depression

表 1 冀中拗陷晋县凹陷未成熟原油有机地化特征

Table 1 Characteristics of immature oils from the Jinxian sag in the Jizhong depression											
井号	产层	密度 g/cm ³	胶质+沥青质 (%)	含硫量 (%)	OEP	PR/PH	PH/N C ₁₈	20S/20St RC ₂₉ (%)	ββΣ C ₂₉ (%)	22S/22R C ₃₁	γ-蜡烷/ C ₃₁ 藿烷
赵7井	Es ₄ -Ek ₁	1.0744	56.4	10.83	0.63	0.44	1.33	44.44	50.0	2.43	6.23
赵9井	Es ₄ -Ek ₁	0.9953	48.7	8.93	0.64	0.17	1.18	45.74	64.37	1.57	2.51
赵3井	Es ₄ -Ek ₁	1.023	41.33	9.41	0.86	0.39	1.93	48.65	61.05	1.43	1.30
赵28井	Es ₂₋₃	0.9839	69.36	6.55		0.58	2.71	43.69	50.48		5.13
赵37井	Es ₂₋₃	1.0722	50.33	10.29				40.0	60.78		7.33
赵芯2	Es ₂₋₃				0.58	0.17	1.13	50.0	61.16	1.25	1.38

1 冀中拗陷未熟油的特征

冀中拗陷^[2]的未熟油主要是以晋县凹陷中北部以 Es₄-Ek₁ 段未熟含膏泥岩为源岩的原油。其主要特征是: 1) 原油具有高密度 (0.98~ 1.08 g/cm³), 高粘度 (1 000~ 2 000 mpa. s), 高胶质+ 沥青质含量 (35%~ 70%) 和高含硫量 (6.5%~ 13%) 等四高特点; 2) 正构烷烃常常呈明显的偶数碳优势 (OEP 值变化在 0.58~ 0.86 之间), 特别是环烷烃含量 (包括 nC₂₁~ nC₂₃ 之间的孕甾烷系列和 nC₂₇~ nC₃₁ 之间的甾烷、萜烷系列) 很高, 异构烷烃含量 (尤其植烷含量) 也很高, 有的甚至掩盖正构烷烃的分布。它们均表现出未熟油 (图 1, 表 1) 和非生物降解的特征。

这类原油的异常特征是甾烷的异构化程度很高, 20S/20(S+ R) C₂₉ 大于 40%, ββΣ C₂₉ 大于 45%, 似乎与未熟油的特征相矛盾, 其实这并非原油的成熟度高, 而是生物残留烃可溶有机质在未成熟早

期所固有的特征, 这在晋县凹陷中北部 Es₄-Ek₁ 段未熟烃源岩中得到证实 (图 3)。究其原因是这种未熟油并非干酪根热降解的产物, 而是直接来自沉积时保存下来的可溶有机质即生物残留烃, 据^[3]曾宪章同志研究认为, 生物残留烃异构化所需的活化能相对很低, 在未成熟早期就开始发生异构化。这在二连盆地 K₁ 未成熟早期烃源层中也得到证实。

未熟油当中含硫量, 甾烷系列中孕甾烷含量, 萜烷系列中 γ 蜡烷含量和饱和烃色谱中植烷含量等都很高, 以及正构烷烃呈明显的偶数碳优势等均表明源岩为盐湖相, 强还原或硫酸盐沉积环境 (图 2)。

2 冀中拗陷未熟油的成因机制及其形成条件

2.1 成因机制的探讨

冀中拗陷的未熟油主要是晋县凹陷中北部赵兰庄赵县油田的原油。它们是来自本区内 Es₄-Ek₁ 段

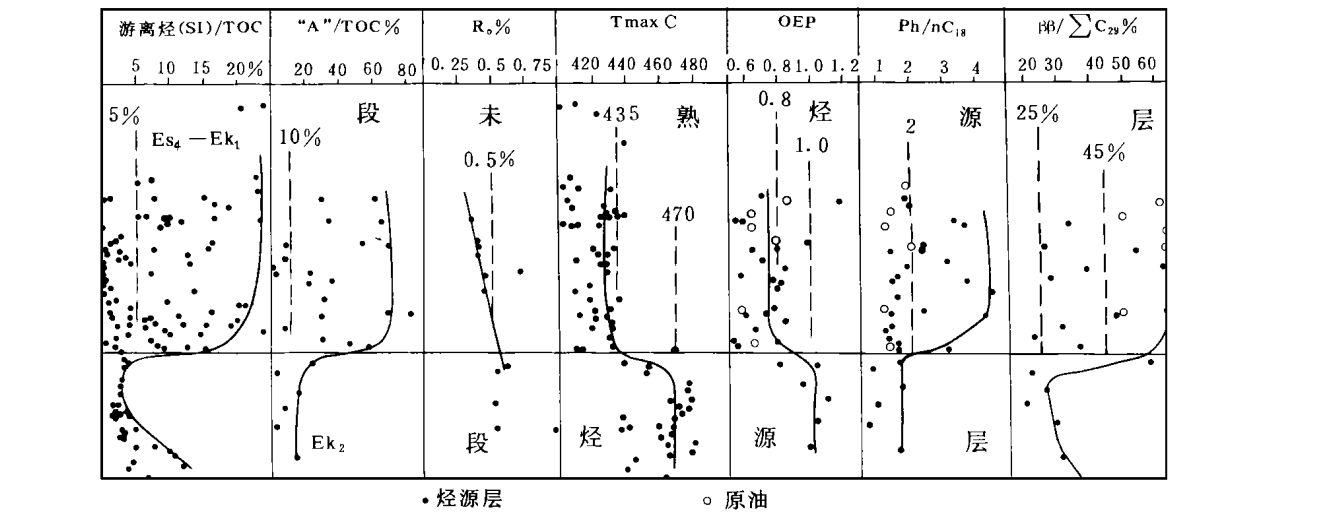


图 3 晋县凹陷中北部 Es₄-Ek₁ 段未熟烃源层和未熟油的演化剖面

Fig. 3 Evolution profiles of immature source rocks and immature oils for the Es₄-Ek₁ formation from the mid-north Jinxian sag

未熟含膏烃源岩 ($R_o = 0.3\% \sim 0.6\%$) 中的可溶有机质, 其主要依据是: 1) 油-岩生物标志物中, 都具有丰富的胆甾烷含量, 胆甾烷 ($\alpha\alpha\alpha C_{27}$)、谷甾烷 ($\alpha\alpha\alpha C_{29}$) 均大于 1; 孕甾烷含量都极高; 甾烷的异构化程度都较高; γ -蜡烷含量也都极高; 正构烷烃均呈明显的偶数碳优势; 饱和烃色谱图中环烷烃含量和异构烷烃含量也都很高, Pr/Ph 均小于 0.5 等, 具有很好的可比性, 也说明 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩以浮游水生生物输入为主, 强还原或硫酸盐环境的盐湖相沉积。2) 晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩均处于未成熟阶段 (或低成熟早期), 埋深一般小于 3 000 m ($R_o = 0.3\% \sim 0.6\%$), 但是转化率已经很高, 烃/有机碳达到 10%~45%, “A” 有机碳达到 20%~80% 以上, 具备形成未熟油的物质基础。3) 晋县凹陷中北部下第三系还发育有 Ek_2 段正常湖相沉积的差-中等烃源层, 其有机地化特征与上述 $Es_4 - Ek_1$ 段烃源层特征差别很大, 无可比性。它们均说明未熟油是来自 $Es_4 - Ek_1$ 段未熟烃源层 (图 3)。

在成岩阶段的早期, 可溶有机质主要以非烃或沥青质的形式存在于泥岩中, 经过低温低压生物化学反应和脱官能团作用, 或化合物中硫碳键的断裂等形式形成烃类。可溶有机质的初次运移方式应以水溶状态为主, 一是在成岩早期阶段, 有足够的泥岩孔隙原生水, 粘土矿物脱水, 石膏向硬石膏转化脱水使未熟油运移出来; 二是未熟阶段的可溶有机质以非烃+沥青质 (50%~70%), 芳烃 (30%~45%) 以及硫化物等极性化合物为主, 在水中的溶解度大大提高, 例如, 噻吩和吡啶因的溶解度可达 $3.015 \times 10^{-6} \sim 10.080 \times 10^{-6}$; 三是在成岩早期阶段, 泥岩和砂岩较疏松, 液体容易排出和运移^[1]。

由于未熟油密度和粘度很大, 以非烃或沥青质为主, 二次运移距离不会太远, 一般为短距离运移, 这从未熟油多产自本层或紧临烃源层可得到证实, 此外, 早期运移进入砂岩储层的烃类, 还可大大抑制成岩压实作用的进行, 有机酸可增强次生孔隙的发育, 这从赵 37 井含未熟油砂岩孔隙的变化可得到证实。

2.2 盐湖相未熟油的形成条件探讨

1) 丰富的可溶有机质含量。尽管烃源层处于未成熟阶段, 而且有机碳含量也不高, 但是可溶有机质沥青“A”和总烃含量很高, 一般分别大于 0.2% 和 1.000×10^{-6} , 这是形成未熟油的物质基础。例如, 晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段未熟含膏泥岩的有机碳

含量虽然平均只有 0.53%, 但是其可溶有机质沥青“A”和总烃含量平均达 0.243% 和 1.10×10^{-6} , 而且具有 400 m 左右的未熟含膏泥岩, 具备了形成未熟油的物质基础条件。

2) 盐湖相和强还原或硫酸盐环境沉积的含膏泥岩, 是未成熟阶段大量形成可溶有机质的必要条件, 它容易使生物残留烃类“腌”下来, 形成未熟油。

3) 有利的排烃条件。盐湖相沉积的未熟含膏泥岩由于可溶有机质富含非烃沥青质和硫化物, 密度和粘度很大, 若遇大套厚层含膏泥岩或与石膏层或盐岩或碳酸盐岩互层, 往往使排烃困难。但是, 若是含膏泥岩与砂岩互层, 或断面直接与储层相接触或沿断面或不整合面短距离运移, 就可以形成未熟油藏。例如, 晋县凹陷赵 9 井、赵芯 2 井等在 $Es_4 - Ek_1$ 段的油气显示集中段的烃源层几乎都是砂泥岩互层。砂泥比为 1:1~1:3, 对排烃甚为有利。

4) 烃源层处于未成熟阶段, 具有较高的转化率 (图 3)。例如, 晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩埋深一般小于 3 000 m; 温度小于 100°C ; $R_o < 0.6\%$; OEP 值多小于 0.8 尚处于未成熟阶段 (以前成熟门限深度定为 2 800 m)。但是, 未熟膏泥岩的 HC/TOC 平均达 25%, “A”/TOC 平均达 55%, 具备了形成未熟油的条件。

3 冀中拗陷未熟油的勘探前景

晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩具备了形成未熟油的条件, 目前已经发现和找到了赵兰庄和赵县油田, 而且具备良好的勘探前景。1) 晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏烃源层尽管分布面积受到限制, 其总生油量约 9.79 亿吨, 运移量约 3.78 亿吨, 聚集量约 1 亿吨, 勘探前景是乐观的。但是, 这种未熟油藏 (或油田) 中含硫量往往很高, 密度很大, 而且常常伴随 H_2S 气体, 是其致命的弱点。2) 由于盐湖相未熟油的排烃时间早, 埋藏深度浅, 温度低, 运移距离近, 晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩段内或附近的储集层和圈闭内, 无论埋藏深浅, 都可能具有形成未熟油藏 (或油田) 条件。3) 若未熟油来自埋藏深度较大 (大于 2 800 m) 的 $Es_4 - Ek_1$ 段含膏泥岩或沉积相处于盐湖至半咸化湖的过渡相或混有部分 Ek_2 段正常湖相烃源层的“香油”, 可使未熟油物性变好, 例如, 赵 39 井油藏等。

南宮凹陷 Es_4 段烃源岩与晋县凹陷中北部 $Es_4 - Ek_1$ 段烃源岩相似, 也是一套含膏泥岩发育段, 其

沥青“ A”含量在 0.1644%~0.3643%之间,总烃含量在 $316 \times 10^{-6} \sim 1660 \times 10^{-6}$ 之间,“ A” /TOC也较高,基本上具备了形成未熟油的条件。只是有几点与晋县凹陷中北部 Es₄ - Ek₁ 段不同: 1) 南宫凹陷 Es₄ 段烃源岩虽然也含膏,但是,生物标志物中,甾甾烷含量很低,正构烷烃呈明显的奇数碳优势(OEP在1.2左右),表明沉积环境有差别。 2) 南宫凹陷 Es₄ 段烃源岩的烃/有机碳及 A/TOC比晋县凹陷中北部 Es₄ - Ek₁ 段要低得多,同时,甾烷的 $\beta\beta/ \Sigma C_{29}$ 小于25%。 3) 南宫凹陷 Es₄ 段砂岩储层不发育,排烃较困难。因此,南宫凹陷 Es₄ 段烃源岩虽然基本上具备了形成未熟油的条件,但是比晋县凹陷中北部

Es₄ - Ek₁ 段要差,特别是排烃条件。根据南宫凹陷 Es₄ 段的实际分布和发育情况,形成规模未熟油藏(或油田)具有一定的困难。

参 考 文 献

[1] David K Baskin and Kenneth E Peters, Early Generation Characteristics of a Sulfur-rich Monterey Kerogen. A A A G. 1992, 76 (1): 1~ 13.
[2] 王静等. 晋县凹陷中北部生物残留烃原油的勘探前景. 古潜山, 1994, (2): 27~ 35.
[3] 曾宪章,梁狄刚. 中国陆相原油和生油岩中的生物标志物. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989, 215~ 227.

Research on Immature Oils in the Jizhong Depression
and Its Exploration Prospect

Qin Jianzhong Wang Jing and Guo Aiming

(North China Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Hebei Rengiu 062552)

Abstract

Immature oils in the Zhaolanzhuang and Zhaoxian oil-fields are generated from Es₄ - Ek₁ source rocks (Ro around 0.4%) with gypsum collected from the north-middle Jingxian sag of the Jizhong depression. Characteristics of the immature oil are of high viscosity (0.98~ 1.08 g/cm³) and HS (6.3%~ 15%). The amount of soluble organic matter is more than 0.2%, the ratio of soluble organic matter/total organic carbon is 55%. It has abundant asphaltene, cyclohydrocarbons and isohydrocarbons. n-Alkanes are dominated by even carbon. The area has a favorable expulsion condition and bright exploration prospect.

Key Words Jizhong depression immature oil