

渤海海域辽西凹陷陡坡带 LX 构造特稠油藏 内部油品品质分布及成因

王冰洁,徐长贵,吴奎,彭靖淞,刘丰

[中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津300452]

摘要:正确认识特稠油藏内部油品品质分布及成因在油藏的勘探评价和开发设计阶段都具有非常重要的意义。基于岩石热解-地震多属性联合的方法建立油品品质判别模型,对渤海海域辽西凹陷陡坡带 LX 构造新近系明化镇组和馆陶组的块状特稠油藏内部油品品质进行了三维空间刻画,结合流体包裹体资料恢复的古流体活动史和储层物性分析结果,对形成油品品质分布特征的成因进行研究。结果表明:油藏内部油品品质在垂向上明化镇组油层顶部比底部差,馆陶组油层底部比顶部差;平面上在靠近构造高部位相对较差,在断层附近和油藏边界部位油品品质有所变好。整体上油品品质呈现出环带状分布的特征,这种分布特征与原油的“两期成藏和两次稠化”过程关系密切。早期东营组原油经历了成藏第一期和初次稠化过程;晚期东营组经历了初次稠化的油藏遭受破坏在明化镇组和馆陶组再次聚集成藏,并在储层物性越好的层段,由于进一步发生了更强的稠化作用,原油的油品品质也越差。在成藏第二期内,新生成的油品品质较好的原油沿断层和油藏边界充注,导致这些部位的油品品质相对变好,并最终形成现今油品品质空间分布特征。

关键词:岩石热解;地震属性;油品品质;块状特稠油藏;辽西凹陷;渤海海域

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Quality distribution and origin of super heavy crude in LX Structure of the Liaoxi Sag, Bohai Sea

Wang Bingjie, Xu Changgui, Wu Kui, Peng Jingsong, Liu Feng

(CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: A correct understanding of the quality distribution and origin of super heavy crudes is critical to their exploration assessment and development planning. A quality assessment model for characterizing heavy crude samples from the Neogene Minghuazhen and Guantao Formations in the steep slope zone of LX structure in Liaoxi sag of Bohai Sea was established based on a method combining rock pyrolysis with seismic multi-attribute analysis. The quality distribution and origin of the samples was also studied through analyses of paleo fluid activities and physical properties of relevant reservoirs. The result shows that, vertically speaking, the quality of samples from the top is worse than that from the bottom of the Minghuazhen Formation while the Guantao Formation is the opposite with samples from the top better than that from the bottom. Horizontally, the quality of samples from areas near structural highs is less favorable while those near faults and reservoir boundaries yield better-quality samples. As a whole, sample quality shows a zonal distribution, which is considered to be closely linked to the “two-stage reservoiring and densification” of the crude. It is suggested that the crude of the Dongying Formation experienced a reservoiring and densification process in the early stage, and later the reservoirs that had experienced the first densification in the Dongying Fm were destroyed, leading to the re-reservoiring of the crude in the Minghuazhen and Guantao formations. It is also suggested that crude quality is poorer in intervals with better physical properties as a result of more extensive densification. The second stage of reservoiring is proposed to be accompanied by charges of newly-generated better-quality crude along faults and reservoir boundaries that helped improving the quality of existing crude in these areas and resulting in the current spatial distribution of crude quality.

收稿日期:2015-06-30;修订日期:2016-12-06。

第一作者简介:王冰洁(1984—),男,工程师,石油地质。E-mail: wangbj6@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05023-006)。

Key words: rock pyrolysis, seismic attribute, oil quality, massive super heavy oil reservoir, Liaoxi Sag, Bohai Sea

块状特稠油藏油品品质存在的非均质性对油层测试段的选择和油藏开发方案的编制具有非常重要的影响。目前对于原油油品品质的判别具有多种方法,都是基于单井钻后资料在垂向上进行分析^[1-4],且只有在钻井数足够多的情况下,才有可能对整个油藏内部油品品质的分布进行描述。海上由于受钻井成本的控制,特别是在勘探阶段,探井数量往往较少,在空间上不能获得相对密集的地质数据,利用单井难以描述整个油藏油品品质的空间特征,而地震多属性的预测功能在一定程度上为解决这一问题提供了可能。关于利用地震多属性方法进行特征参数的计算国内外已经开展了大量研究和应用,包括砂体展布预测^[5-6]、储层参数求取^[7-11]、含油气性分析^[12]和烃源岩评价^[13-14]等,但未见对油品品质的分析。

研究区为块状厚层特稠油藏,有利于井-震结合方法的利用。因此,本文在选取岩石热解资料建立单井油品品质判别参数的基础上,采取地震多属性拟合判别参数的方法,来达到对渤海海域辽西南洼 LX 构造浅层明化镇组和馆陶组特稠油藏的油品品质进行判别的目的;并在此基础上,利用研究区内 4 口探井的岩心和壁心资料,在明化镇组、馆陶组和东营组共采集了 32 块砂岩流体包裹体样品,对古流体的活动史进行恢复,结合储层物性资料,从动态的角度对特稠油藏内部油品品质分布特征的成因进行了探讨。

1 石油地质概况

渤海海域辽东湾坳陷整体呈北东-南西向展布,古近系次级构造单元自西向东依次为辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起和辽东凹陷,表现为“三凹两凸”的特点(图 1a)。在辽西和辽中凹陷东侧发育陡倾的深大断裂,且多为西倾,在凹陷内形成陡坡带。辽西南洼 LX 构造位于辽西凹陷南部的陡坡带上,是受辽西 1 号大断层和近东西走向的调节断层所夹持的断块构造(图 1b)。构造走向北北东向,地层倾向西南。区内自下而上古近系发育有孔店组(Ek)、沙河街组(Es)和东营组(Ed),新近系发育有馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)。其中,明化镇组和馆陶组垂向上为连续沉积的大套砂岩(图 1c),形成大规模块状特稠油藏(图 1d)。油层厚度较大,原油的密度分布在 $1.004 \sim 1.006 \text{ g/cm}^3$,粘度分布在 $32\,000 \sim 37\,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;且馆陶组原油粘度要大于明化镇组,其原油主要来自于

沙河街组烃源岩,镜质体反射率显示生烃门限深度为 2 500 m 左右^[15]。

2 单井油品品质

利用钻井获取的资料建立油品品质判别模型是井-震联合分析的前提和基础。本文利用单井储层热解数据对油品品质进行分析。储层热解数据在深度上连续分布且易于获取和计算,并对油品品质具有一定的响应^[16-18],因此是建立井-震关系来判别油品品质空间分布的理想参数。

2.1 岩样“三峰法”热解数据特征

“三峰法”热解数据包括 S_0 , S_1 和 S_2 以及它们组合计算之后得到的各种派生参数,其中 S_0 , S_1 和 S_2 分别为样品中气态烃、游离烃和热解烃的含量,分别代表热解炉中储层样品加热到 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 时经氮气吹两分钟所得到的 C_1 — C_7 轻烃、恒温 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 三分钟挥发出来的液态烃和经过 $300 \sim 600\text{ }^\circ\text{C}$ 升温测得的重烃+胶质+沥青质的含量。本文通过对岩心和岩屑不同来源热解数据进行校正之后,利用研究区 4 口探井(井位见图 1b)明化镇组和馆陶组共 367 个样品进行油品品质判别分析。

图 2 为研究区 LX-B 井岩心热解数据随深度变化特征。可以看出,馆陶组和明化镇组油层、含油水层和水层的 S_0 含量没有明显区别,而 S_1 和 S_2 的含量在油层相对于含油水层和水层增加明显;并且馆陶组油层的 S_1 含量要小于明化镇组油层, S_2 的含量要大于明化镇组油层。这种现象与原油油品品质垂向分布非均质性密切相关。原油物性分析结果显示,馆陶组油层的油品品质要比明化镇组油层差,其重质组分(重烃+胶质+沥青质)含量较高,这也为判别参数的建立提供了有利条件。

2.2 油品品质判别参数建立

上述分析表明,研究区热解数据特征和原油的组成有一定的关系。因此,本文利用 S_0 , S_1 和 S_2 的组合派生参数来构建判别模型对油品品质进行识别。图 3a 和 b 分别为热解烃(S_2)与派生参数(M)和油产率指数(OPI)的交汇图。从图中可以看出,随着 S_2 的增大,二者都具有减小的特征,呈现出负相关关系。这种特征表明,随着原油中重质组分的增加和油品品质的

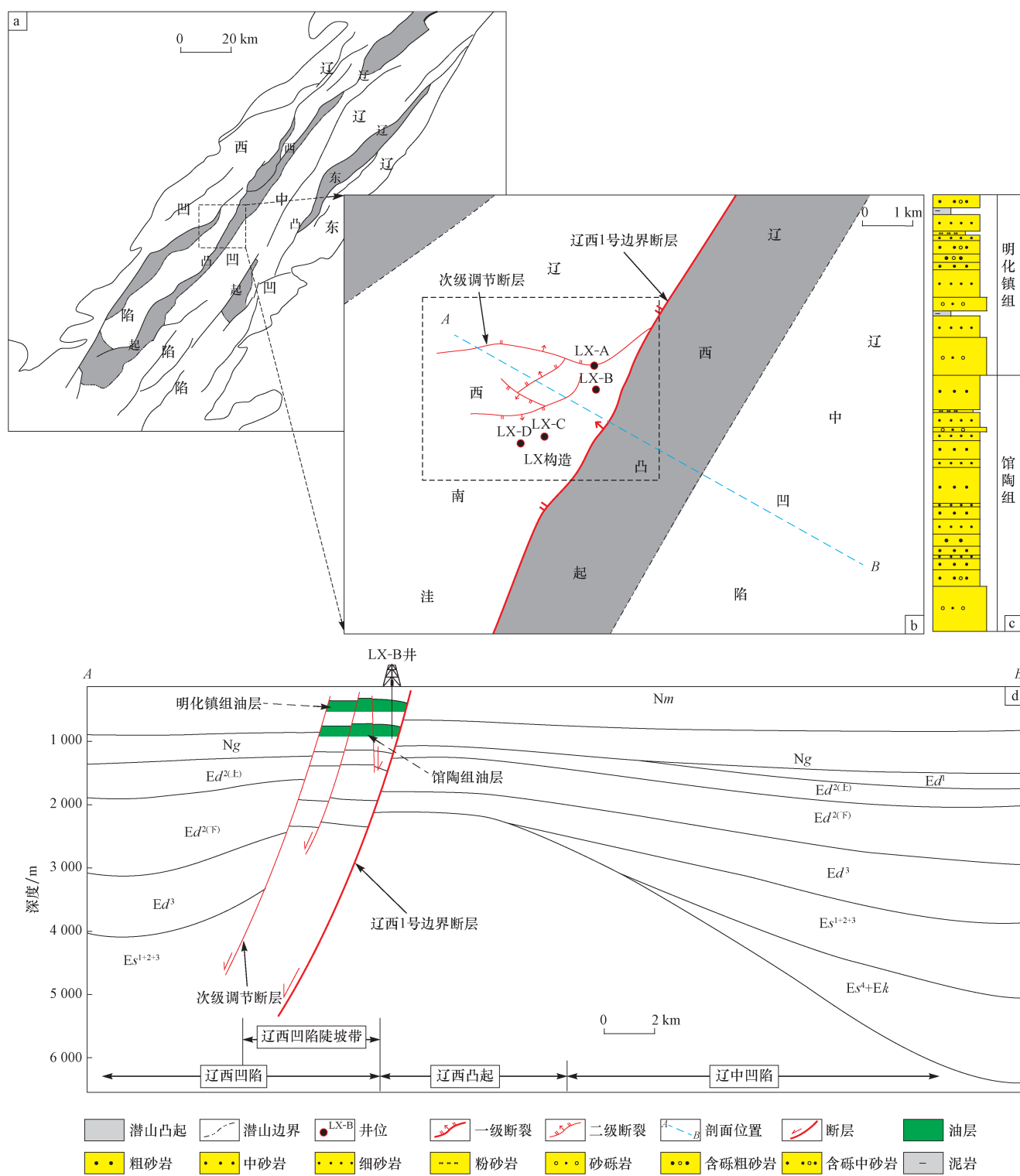


图 1 研究区构造位置和构造特征

Fig. 1 Structural location and characteristics of the study area

a. 辽东湾凹陷区域构造; b. 辽西南洼 LX 构造特征; c. LX-B 井明华镇组和馆陶组岩性柱状图; d. 过 LX-B 井剖面

变差, OPI 和 M 都具有减小的趋势, 这对于油品品质判别参数的建立具有一定意义。实际上, 派生参数 M 反应了在油产率指数 (OPI) 和 $P_g S_1/S_2$ 构成的关系图上所投点的斜率特征 (P_g 为生烃总量)。结合图 3a 中 M 随 S_2 增大而减小的特征, 说明在特稠油藏中伴随着重质组分的增加, 在油产率指数 (OPI) 和 $P_g S_1/S_2$ 构成的图版上向着 OPI 和投点斜率减小的方向油品品质具有逐渐变差的趋势。根据上述这一现象, 在油产率指

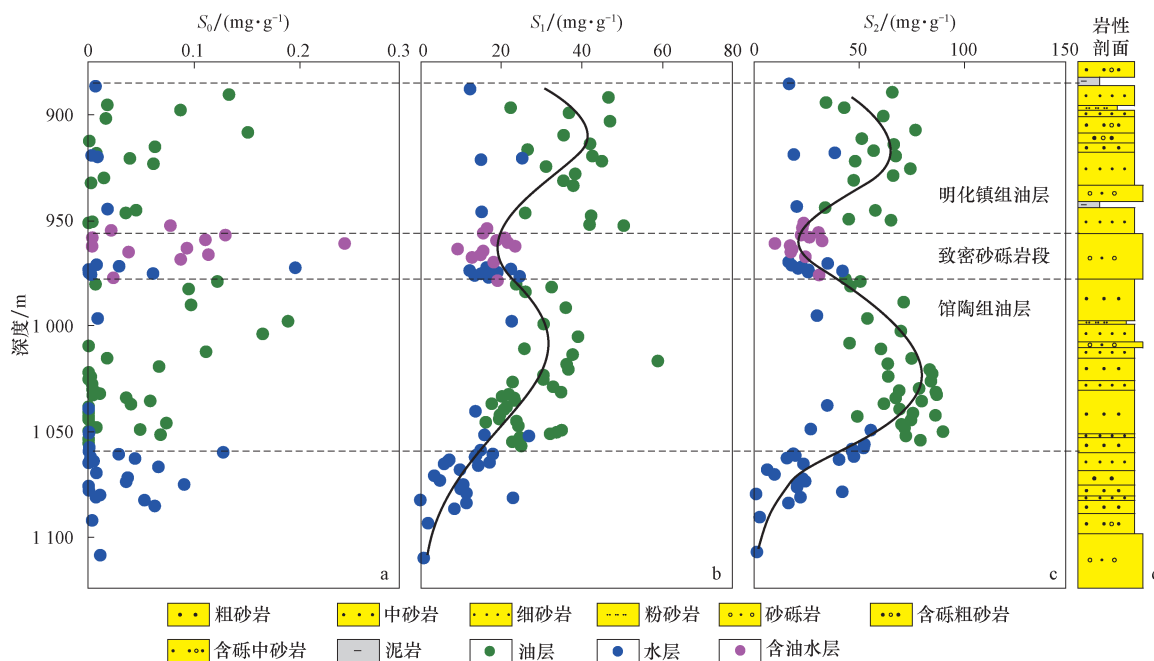


图2 研究区 LX-B 井岩心热解参数随深度变化关系

Fig. 2 Pyrolysis parameters of cores from Well LX-B changing with varying depth in the study area

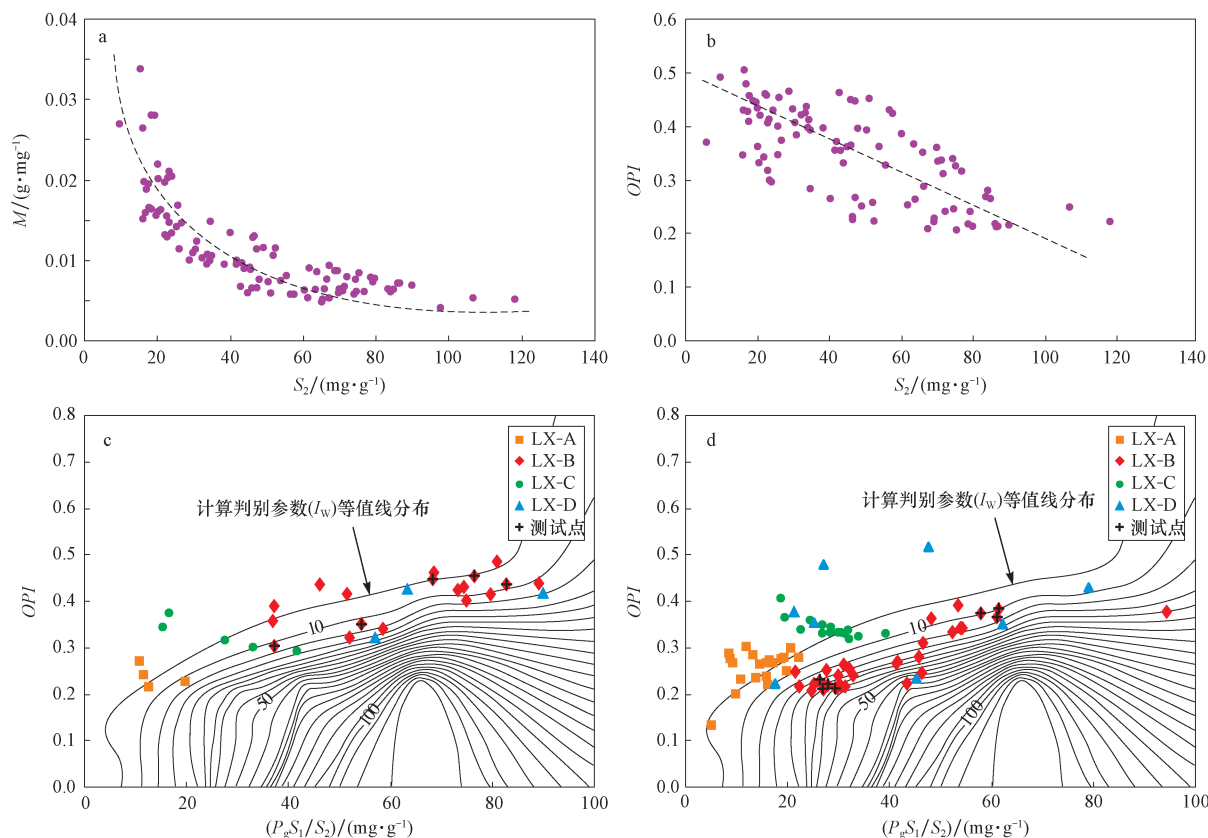
a. S_0 - 深度关系; b. S_1 - 深度关系; c. S_2 - 深度关系; d. LX-B 井岩心岩性柱状图(S_0 , S_1 和 S_2 分别为样品中气态烃、游离烃和热解烃的含量。)

图3 研究区探井岩心热解参数及其派生参数关系特征

Fig. 3 Relationship between pyrolysis characteristic parameters and their derived parameters of cores from the study area

a. 热解烃含量(S_2)和派生参数(M)关系; b. 热解烃含量(S_2)和油产率指数(OPI)关系; c. 明化镇组油层油气总量×游离烃含量/热解烃含量($P_g S_1/S_2$)与油产率指数(OPI)关系; d. 馆陶组油层油气总量×游离烃含量/热解烃含量($P_g S_1/S_2$)与油产率指数(OPI)关系

数 OPI 和 $P_g S_1/S_2$ 所构成的关系图上若能构建上述反应油品品质变化趋势的参数即可对原油的油品品质进行量化表征。本文利用研究区 4 口探井所选取的油层、油-水同层和水层样品数据,通过反复试验,最终确定派生参数 I_w 可以反映这种趋势,定义为油品品质计算判别参数,即随着 I_w 值的变大,原油的油品品质也越差。上述各计算参数见式(1)~(4)所示。

$$OPI = S_1/(S_0 + S_1 + S_2) \quad (1)$$

$$M = OPI/(P_g S_1/S_2) \quad (2)$$

$$P_g = S_0 + S_1 + S_2 \quad (3)$$

$$I_w = P_g S_2^2/(1\ 000 S_1) \quad (4)$$

式中: S_0 , S_1 和 S_2 分别为样品中气态烃、游离烃和热解烃的含量, mg/g ; OPI 为油产率指数,无量纲; P_g 为生烃总量, mg/g ; M 为派生参数; I_w 为油品品质的计算判别参数。

图 3c 和 d 分别为明化镇组油层和馆陶组油层的油产率指数(OPI)和 $P_g S_1/S_2$ 关系图,图中等值线为研究区 4 口探井 367 个热解数据所计算的判别参数 I_w 的分布特征。从图中可以看出,明化镇组油层测试点(该点所在井段进行过原油物性分析)的 I_w 值分布在 5~15 的范围内;馆陶组油层测试点的 I_w 值分布在 10~35 的范围之内,大于明化镇组。这与原油物性分析结果馆陶组油层的油品品质要差于明化镇组油层相一致,且符合油产率指数(OPI)和 $P_g S_1/S_2$ 关系图中油品品质的变化趋势,说明了建立的判别参数可以反映油品品质的分布特征。整体上来看,不同探井的数据在关系图上的分布范围具有相对集中的特点,说明油藏不同位置原油的油品品质存在差别,反映了油藏内部油品品质的非均质性;而明化镇组油层比馆陶组油层 I_w 值的变化范围要小,说明了油品品质的非均质性馆陶组油层要强于明化镇组油层。从单井分布特征上来看,不论在明化镇组油层还是在馆陶组油层,靠近断层一侧的 LX-A 井的 I_w 值和靠近油藏边界的 LX-C 和 LX-D 井的 I_w 值均小于位于油藏中部的 LX-B 井的 I_w 值,反应了油藏在靠近边界断层和边部油品品质相对较好,而油藏中部油品品质相对较差。这与新生成的品质相对较好的原油沿断层和边部充注的特征相关。

3 地震多属性联合判别油品品质

为了在空间上刻画油藏内部油品品质的分布特征,本文采用地震多属性联合预测的方法,在 4 口探井油品品质计算判别参数(I_w)归一化处理的基础上,提

取井旁地震道的多种属性,对判别参数和地震属性进行多元回归建立计算公式,利用地震多属性来求取预测判别参数(I_s),刻画特稠油藏内部油品品质的分布。

3.1 判别模型建立

为了进行属性优选,利用数学理论方法和经验法相结合,将 4 口探井的判别参数划分为训练数据组和检验数据组,分别用来拟合公式和检验拟合结果。其中,每次选择 3 口探井的判别参数作为训练数据组,和地震属性进行多元回归,并计算整体误差,剩余 1 口探井的判别参数作为检验数据组,计算检验误差;对于每口探井的判别参数都分别将其作为一次检验数据组,重复上述过程,最终求取平均误差值,计算不同数目属性的整体误差和校验误差。

从图 4a 和 b 中可以看出,伴随着属性个数的不断增加,整体误差不断减小,但检验误差则出现了先减小后增大(图 4a)或者一直增大的特征(图 4b),这说明利用多属性联合预测随着属性个数的增加可以明显提高拟合程度,但并非越多越有效果^[19-20],必须对地震属性进行优选^[12,21]。综合最小检验误差和总的误差值,在明化镇组和馆陶组分别优选出 4 个和 7 个属性来进行计算。其中,明化镇组包括时间、振幅包络、振幅加权相位余弦和滤波切片 5/10~15/20Hz,馆陶组包括积分、主频、瞬时余弦相位、振幅加权频率、滤波切片 5/10~15/20Hz、滤波切片 15/20~25/30Hz 和滤波切片 35/40~45/50Hz。计算公式见式(5)。从图 4c 和 d 计算判别参数和预测判别参数的关系图可以看出,二者具有明显的正相关关系,说明了可以利用地震数据多属性提取结果来计算判别参数。

$$I_s = w_0 + [w_{1a} \ w_{1b} \ w_{1c}] \begin{bmatrix} A_{1a} \\ A_{1b} \\ A_{1c} \end{bmatrix} + [w_{2a} \ w_{2b} \ w_{2c}] \begin{bmatrix} A_{2a} \\ A_{2b} \\ A_{2c} \end{bmatrix} + \cdots + [w_{na} \ w_{nb} \ w_{nc}] \begin{bmatrix} A_{na} \\ A_{nb} \\ A_{nc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: I_s 表示油品品质的预测判别参数; w_0 为常数; A_n 表示第 n 个属性值; w_n 表示第 n 个属性对应的系数; a, b 和 c 表示曲线上的采样点。

3.2 油品品质判别结果

在判别模型建立的基础上,通过地震数据多属性

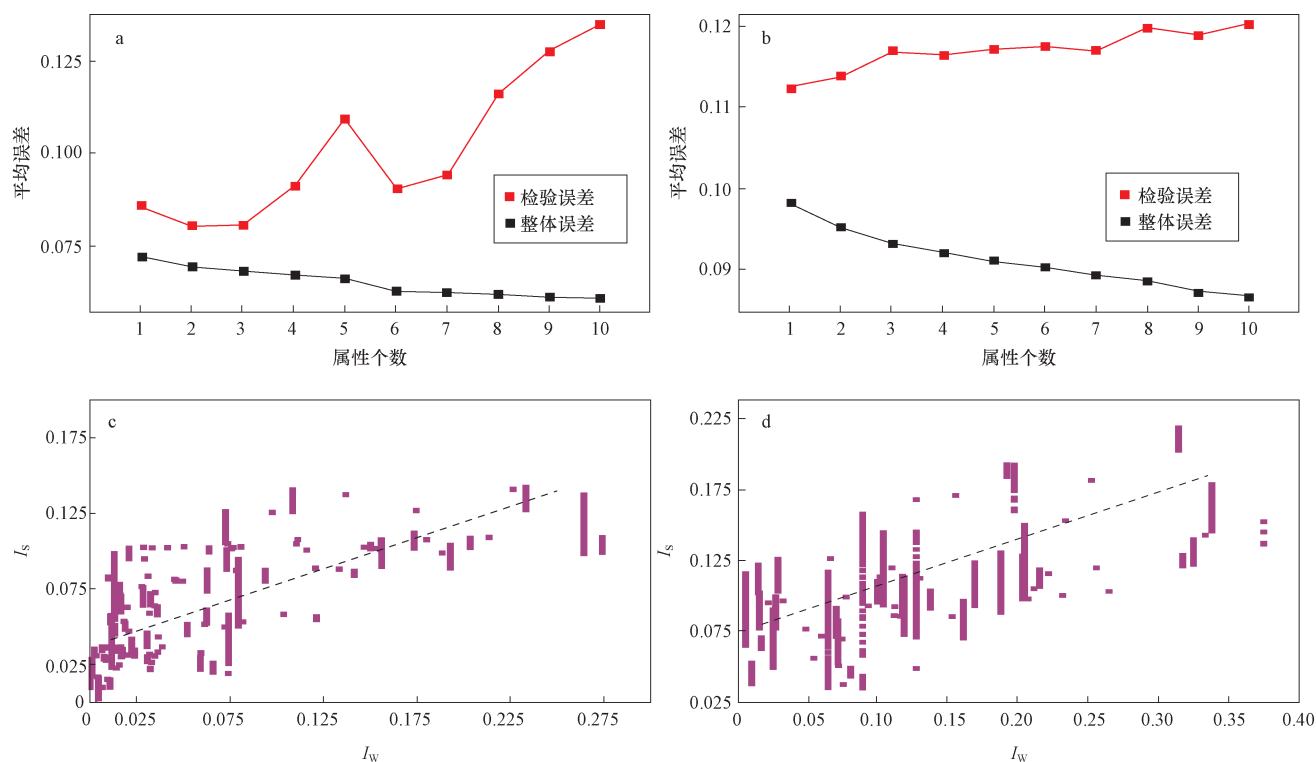


图4 研究区探井地震属性优选依据及计算结果

Fig. 4 Logic and calculation results of seismic attribute selection in exploratory wells in the study area

a, b. 分别为明化镇组和馆陶组油层参与计算的属性个数与计算误差关系;

c, d. 分别为明化镇组和馆陶组油层计算判别参数(I_w)与预测判别参数(I_s)关系

分析得到了 LX 构造特稠油藏油品品质判别参数空间分布特征。图 5a 为明化镇组和馆陶组油层油品品质过井分布特征(剖面位置见图 5b), 图 5b 和 c 分别为从两个油层顶面向下 45 ms 和 55 ms 提取的均方根判别参数平面分布。从剖面上单井计算的判别参数值与地震数据预测判别参数值对比结果来看(图 5a), 二者具有较好的一致性, 对油层均有良好的响应, 对水层无响应; 单井计算判别参数的高值区对应地震数据预测判别参数的相对高值区。因此, 预测判别参数 I_s 对特稠油的油品品质具有一定的响应特征, 伴随着油品品质的逐渐变差, 其值也越来越高。

根据判别结果, 在明化镇组和馆陶组两个油层内部油品品质具有环带状分布特征, 在环内部油品品质相对较差, 环外部油品品质相对较好, 存在明显的非均质性。从垂向上来看, 馆陶组油层的油品品质要差于明化镇组油层; 在油层内部, 明化镇组油层顶部油品品质要比油层底部差, 馆陶组油层在靠近底部的油品品质要比油层顶部差(图 5a)。从平面上来看, 两个油层油品品质分布特征相似, 在靠近构造高部位, 油藏的油品品质相对最差; 向着靠近边界断层的部位和油藏边界, 油品品质具有变好的特征; 其中

靠近油藏外边界, 油品品质相对最好(图 5b, c)。这与图 3 中单井所揭示的油品品质分布结果相一致, 因此更好地在空间上表明了特稠油藏内部油品品质的分布。

4 油品品质分布成因

浅层特稠油的成藏特征具有复杂性, 油藏内部油品品质的分布特征与其成藏期次及储层物性特征具有密切的关系。本文从特稠油成藏的动态角度, 基于对流体包裹体资料进行古流体充注史分析划分成藏期次^[22-26], 综合储层物性特征讨论油品品质分布成因。

钻井揭示 LX 构造高部位明化镇组油层上覆泥岩盖层厚度仅为 1.5 m, 而馆陶组油层顶部为砂砾岩(图 2), 不存在泥岩盖层。LX-B 井明化镇组和馆陶组储层和盖层岩心压汞测试分析计算结果也表明储、盖排驱压力差较小, 对于密度为 0.95 g/cm³ 的原油其封闭油柱高度仅为 1 m 左右。所以, 对于油品品质相对较好的原油, 盖层基本不存在封闭能力。这可以说明原油在聚集时油品品质已经变差, 具有接

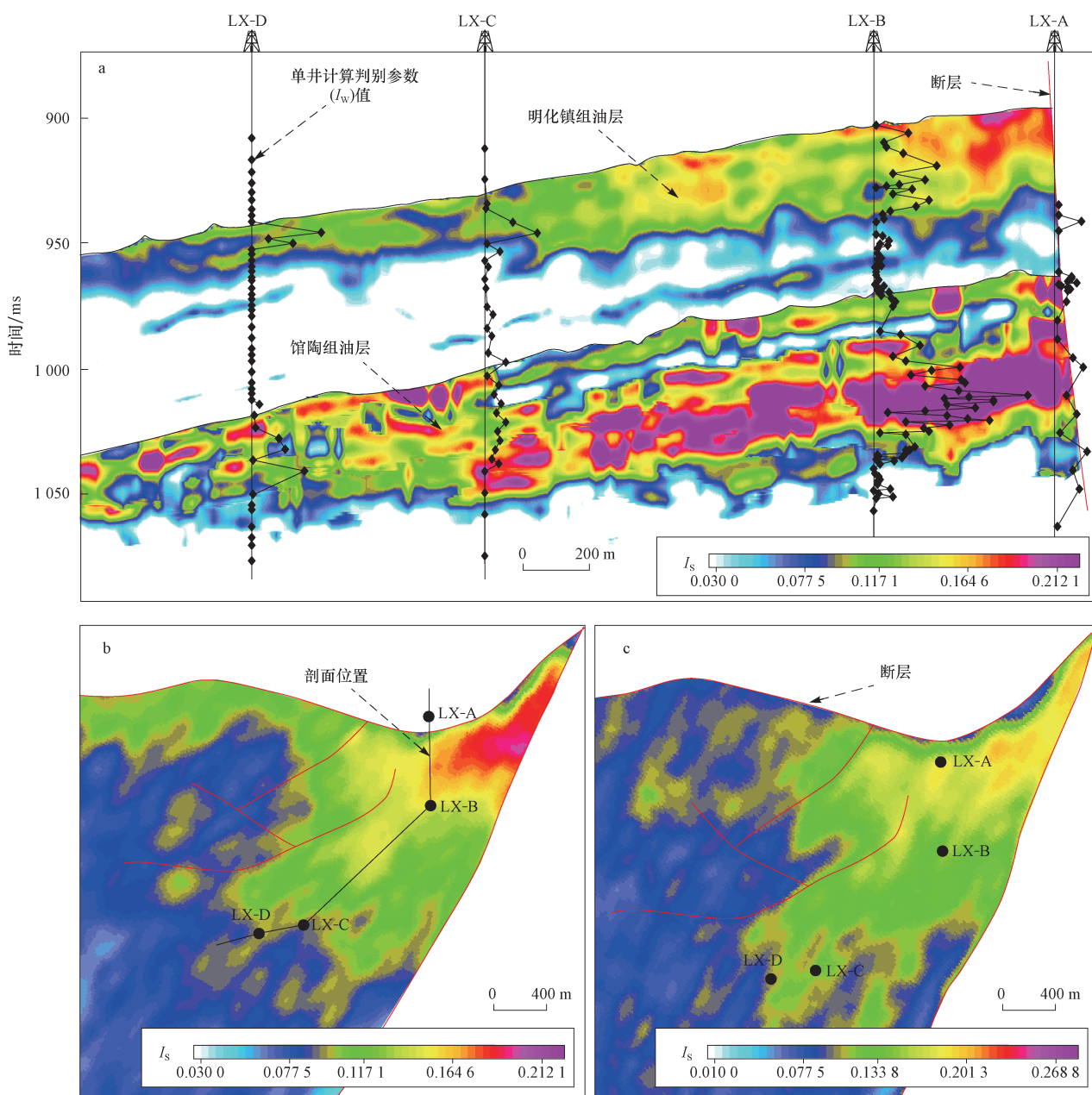


图 5 研究区油层油品品质计算结果

Fig. 5 Calculation results of oil quality in the study area

- a. 明化镇组和馆陶组油层剖面预测判别参数 (I_s); b. 明化镇组油层沿顶面向下开 45 ms 时窗提取判别参数均方根值的平面分布特征;
c. 馆陶组油层沿顶面向下开 55 ms 时窗提取判别参数均方根值的平面分布特征

近于水的密度和较大的粘度;否则,储层中的原油在大规模聚集之前便会沿上覆盖层散失。基于上述特征,本文认为明化镇组和馆陶组原油经历了“两次成藏和两次稠化”的过程,即早期东营组地层成藏,遭受一定程度降解后,油品品质变差;晚期又遭受破坏,调整至浅层明化镇组和馆陶组地层,原油再次遭受降解。

从包裹体显微测温结果可以检测到东营组与油包裹体同期的盐水包裹体均一温度具有两期的特

征,第一期为 55 ~ 65 °C,第二期为 65 ~ 75 °C。利用埋藏史图投影法^[27],在恢复埋藏史和热史的基础上(图 6a, b),对盐水包裹体的均一温度进行投影,可以看出成藏第一期为 28 ~ 25 Ma(东营组沉积末期),成藏第二期为 5 ~ 0 Ma(明化镇组沉积末期至今)。上述分析表明,在东营组沉积末期,原油首先在深部的东营组地层成藏,此时由于地层埋藏较浅,油藏遭受了水洗、氧化和生物降解多种稠化机制的综合作用^[28],发生初次稠化,油品品质变差,降低了对盖层

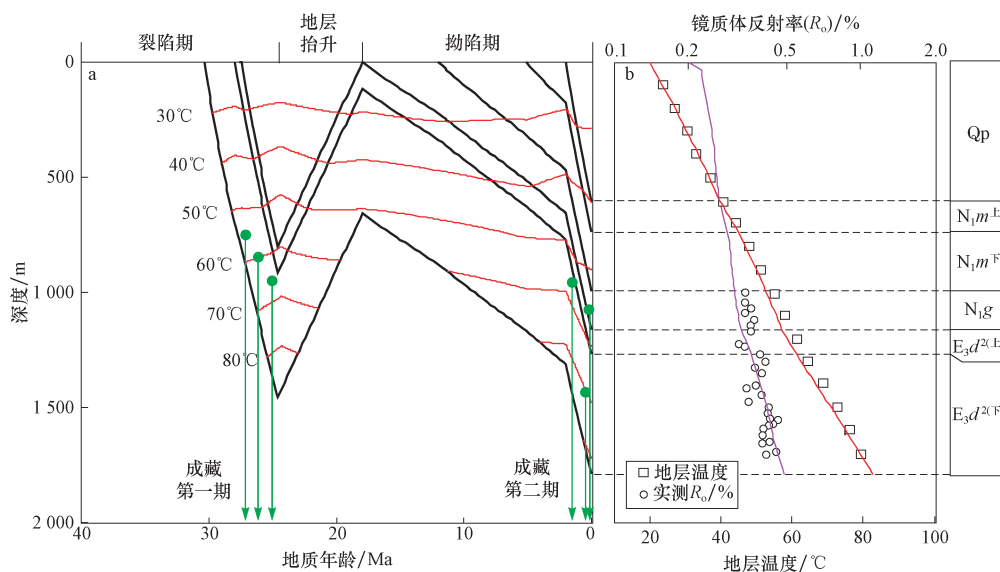


图6 研究区单井埋藏史和热史恢复结果及盐水包裹体均一温度投影结果

Fig. 6 Reconstruction of burial and thermal history and brine inclusion homogenization temperature projection of samples from single wells in the study area

a. 盐水包裹体均一温度在埋藏史图上的投影结果; b. 实测成熟度和温度资料约束热史恢复

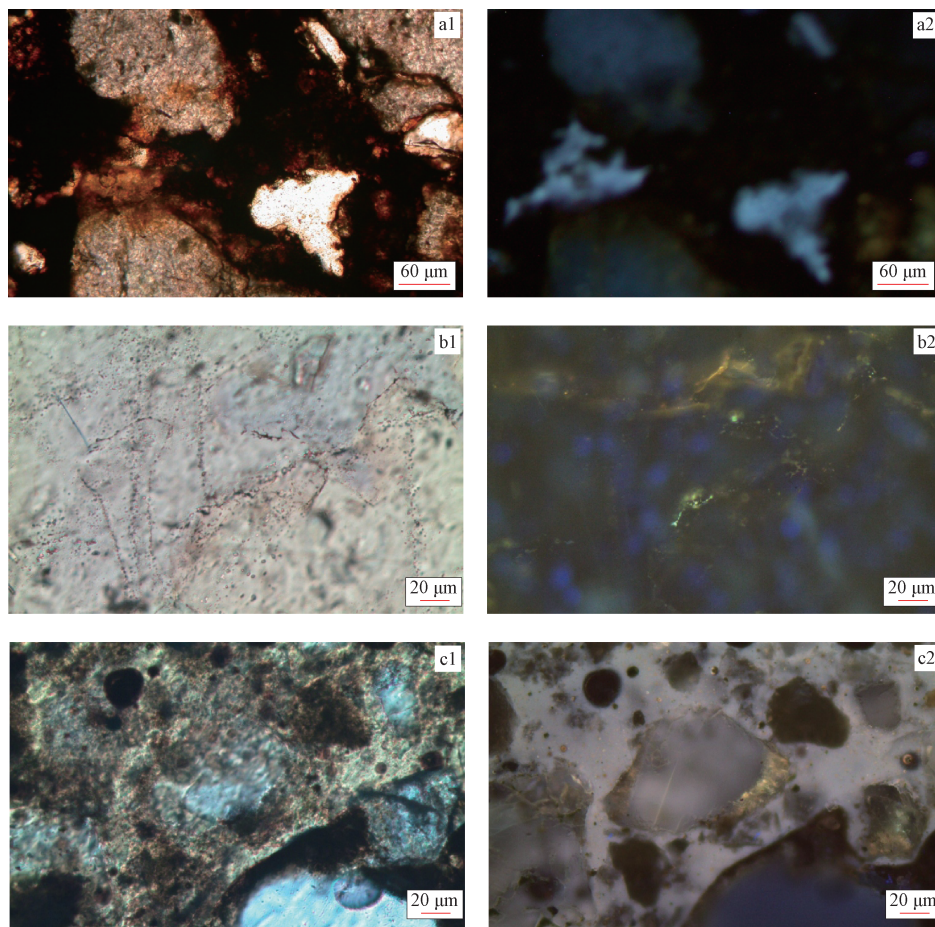


图7 研究区油藏烃类包裹体产状特征

Fig. 7 Characteristics of occurrence of hydrocarbon inclusions from the study area

a1. LX-A井,埋深1 605 m,东营组,粉砂岩;a2. 沥青质充填无荧光显示;b1. LX-C井,埋深952 m,明化镇组,中砂岩;b2. 石英颗粒内裂纹,油包裹体呈浅黄色荧光;c1. LX-B井,埋深889.6 m,明化镇组,中砂岩;c2. 石英次生加大边,油包裹体呈浅黄色荧光
(a1,b1和c1为砂岩包裹体薄片透射光显微观察照片,a2,b2和c2为对应的荧光显微观察照片。)

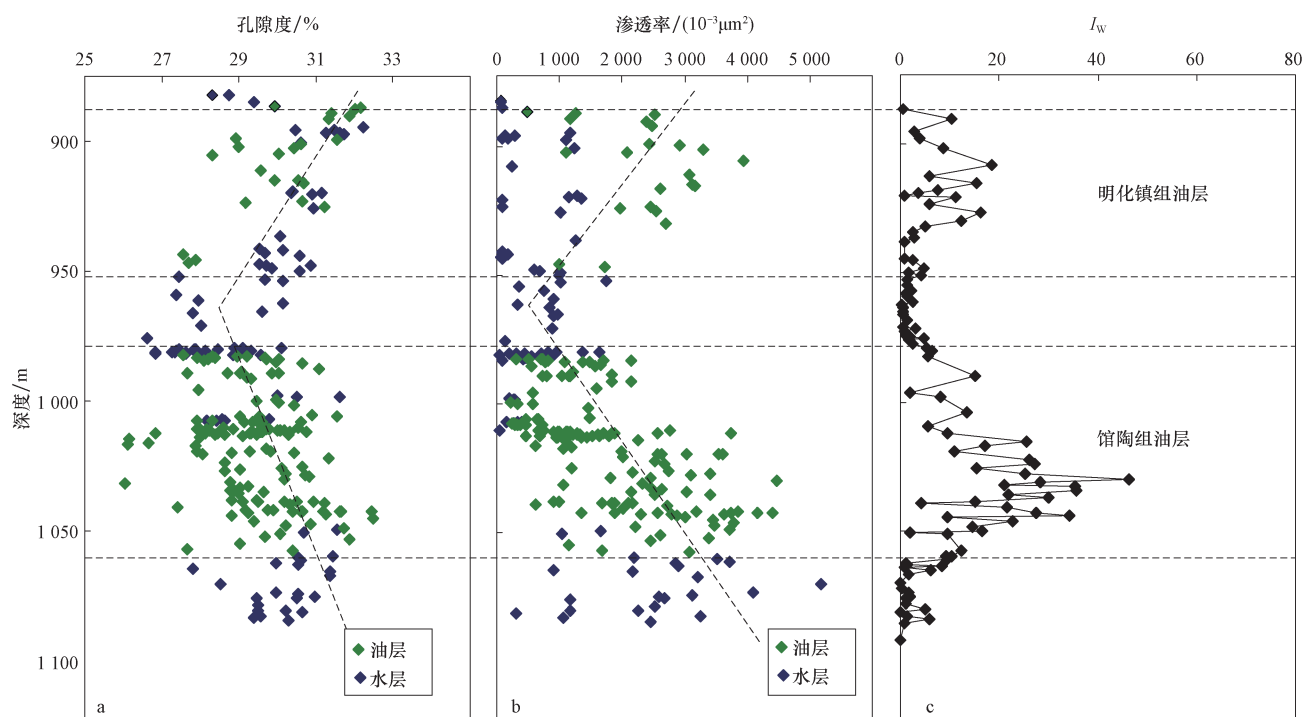


图8 研究区单井(LX-B井)垂向砂岩实测孔隙度和渗透率分布散点图

Fig. 8 Scatter diagram showing vertical distribution of the measured porosity and permeability of sandstone samples from Well LX-B in the study area

a. 孔隙度-深度关系; b. 渗透率-深度关系; c. 计算判别参数(I_w)-深度关系

条件的要求;此时,原油经历了第一次成藏和稠化过程,同时也为明化镇组和馆陶组大规模原油聚集创造了有利条件。在明化镇组沉积末期,新构造运动^[29-31]导致断层发生活化作用,再次对原油进行输导,东营组油藏被破坏,形成古油藏,从LX-B井东营组砂岩样品显微镜下薄片观察可以看到粒间孔隙被褐色的油质沥青所充填,沥青充填物显示暗褐色的荧光或无荧光(图7a),其GOI值(含油包裹体相对丰度)可以达到6%,具有古油藏的特征;被破坏了的东营组油藏的原油向浅层运移至明化镇组和馆陶组,并遭受了再次稠化,此时原油经历了第二次成藏和稠化过程。

根据明化镇组和馆陶组砂岩样品包裹体镜下显微镜观察,可以对第二个成藏期内,即5Ma以来原油的充注史进行细分。显微镜下有机包裹体主要以气-液两相的油包裹体为主,形状多样,荧光下呈蓝白色、浅黄色和亮黄色,反映出不同成熟度的原油充注。这些有机包裹体附存在石英颗粒内裂纹、石英加大边及方解石胶结物中。根据有机包裹体的产状和石英颗粒间的接触关系,明化镇组和馆陶组至少发生过两个阶段的油气运聚:第一阶段为发育于石英颗粒内裂纹中的有机包裹体(图7b),主要反映了地层埋藏早期油充注的

特征;第二阶段为发育于次生加大边和胶结物中的有机包裹体(图7c),主要反映了地层埋藏晚期油充注的特征。油藏包裹体GOI值从1%~6%的范围内都有分布,也说明了这种分阶段的充注特征。成藏第二期原油充注的两个阶段也表明了油藏内部具有近期原油的充注,因此在靠近断层和油藏边部由于接受了较新充注的原油,其油品品质相对于油藏中部,具有变好的特征。

综上所述,由于原油在东营组经历了第一次成藏和稠化过程,所以发生稠化的时间要早于在明化镇组和馆陶组充注的时间;根据稠油的充注特征^[32-34],其优先选择储层中物性较好的层段进行充注,而在物性较差的馆陶组顶部上覆致密砂岩段没有原油或只有少量原油充注,表现为油层和含水层(图2),因此在纵向上连续分布的砂岩中形成了明化镇组和馆陶组两个油层。经历过第二次成藏和稠化过程之后,在压实流的影响之下,具有相对较高孔渗带的地层水具有更快的流动速度,其内部原油经历的水洗、氧化和生物降解作用也更强,进一步导致了储层中原油的稠化;从LX-B井计算判别参数 I_w 值与储层物性关系可以看出(图8),被稠油充注的储层具有物性越好、原油油品品质越差的特点。

5 结论

1) 利用岩石热解和地震多属性联合的方法能够较好地加厚层块状特稠油藏内部的油品品质进行空间刻画。整体上,馆陶组油层的油品品质要比明化镇组油层差。两个油层的油品品质都具有环带状分布的特点:靠近断层和油藏边界的部位,油品品质较好;靠近构造高部位,油品品质相对变差。在明化镇组油层内部,顶部的油品品质要比底部差;在馆陶组油层内部,底部的油品品质要比顶部差。

2) LX 构造块状特稠油藏油品品质的分布特征与其“两期成藏和两次稠化”的过程及储层物性分布特征具有密切的关系。从 28 ~ 25 Ma (东营组沉积末期),在东营组的成藏和稠化为原油在浅层明化镇组和馆陶组聚集创造了有利的条件;从 5 ~ 0 Ma (明化镇组沉积末期至今),初次稠化的原油遭受新构造运动破坏之后,在储层物性的控制作用下,大量充注浅层明化镇组和馆陶组,形成了两个块状油层,并在高孔渗带遭受了更强的再次稠化作用,形成特稠油藏现今油品品质分布特征。

参 考 文 献

- [1] 赵红静,尹凡举,张敏,等. 利用芳烃化合物预测生物降解原油的粘度[J]. 沉积学报,2002,20(3):514-517.
Zhao Hongjing, Yin Fanju, Zhang Min, et al. Viscosity prediction of biodegraded oils on aromatic compounds[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(3): 514-517.
- [2] 任明旺. 岩石热解参数在储层原油密度计算上的应用[J]. 特种油气藏, 2004, 11(6): 16-30.
Ren Mingwang. Application of rock pyrolysis parameters in oil density calculation[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2004, 11(6): 16-30.
- [3] 冯国强,陈爽,郭绪强,等. 油气藏流体粘度预测模型的对比分析[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(5): 80-83.
Feng Guoqiang, Chen Shuang, Guo Xuqiang, et al. Comparison and analysis of the viscosity forecasting models of reservoir fluids[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(5): 80-83.
- [4] 蔡东梅,蒋有录,刘华,等. 瑞利模型在原油相对密度预测中的应用——以胜利油区东辛油田为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(3): 102-105.
Cai Dongmei, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Application of Rayleigh model on forecasting relative density of crude oil in Dongxin oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(3): 102-105.
- [5] Russell B, Hampson D, Todorov T, et al. Combining geostatistics and multi-attribute transforms: A channel sand case study, Black Foot oilfield (Alberta) [J]. Journal of Petroleum Geology, 2002, 25(1): 97-117.
- [6] 郎晓玲,彭仕宓,康洪全,等. 利用多属性体分类技术预测扇三角洲砂体[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 57-64.
Lang Xiaoling, Peng Shimi, Kang Hongquan, et al. Predict fan delta sand body by using multiattributes volume classification technology [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(1): 57-64.
- [7] Hart B, Balch R. Approaches to defining reservoir physical properties from 3D seismic attributes with limited well control: An example from the Jurassic Smackover Formation, Alabama [J]. Geophysics, 2001, 65(2): 368-376.
- [8] Hampson D, Schuelke J, Quirein J. Use of multi-attribute transforms to predict log properties from seismic data [J]. Geophysics, 2001, 66(1): 220-236.
- [9] Helle H, Bhatt A, Ursin B. Porosity and permeability prediction from wireline logs using artificial neural networks: A North Sea case study [J]. Geophysical Prospecting, 2001, 49(4): 431-444.
- [10] Calderon J, Castagna J. Porosity and lithologic estimation using rock physics and multi-attribute transforms in Balcon Field, Colombia [J]. The Leading Edge, 2007, 26(2): 142-149.
- [11] 王治国,尹成,雷小兰,等. 预测砂岩孔隙度的地震多属性优化模式对比[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(3): 442-451.
Wang Zhiguo, Yin Cheng, Lei Xiaolan, et al. Multi-attribute optimization analysis for sandstone porosity prediction [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2011, 46(3): 442-451.
- [12] 鲍祥生,尹成,赵伟,等. 储层预测的地震属性优选技术研究[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 28-34.
Bao Xiangsheng, Yin Cheng, Zhao Wei, et al. Optimizing selection of seismic attributes in reservoir prediction [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(1): 28-34.
- [13] 刘军,汪瑞良,舒誉,等. 烃源岩 TOC 地球物理定量预测新技术及在珠江口盆地的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(4): 415-420.
Liu Jun, Wang Ruiliang, Shu Yu, et al. Geophysical quantitative prediction technology about the total organic carbon in source rocks and application in Pearl River Mouth Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2012, 39(4): 415-420.
- [14] 徐新德,陶倩倩,曾少军,等. 基于地化-测井-地震联合反演的优质烃源岩研究方法及其应用——以涪西南凹陷为例[J]. 中国海上油气(地质), 2013, 25(3): 13-18.
Xu Xinde, Tao Qianqian, Zeng Shaojun, et al. A method to evaluate high-quality source rocks based on geochemistry-logging-seismic joint-inversion and its application: A case of Weixinan sag in Beibuan basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2013, 25(3): 13-18.
- [15] 周心怀,刘震,李维莲. 辽东湾断陷油气成藏机理[M]. 北京:石油工业出版社, 2009: 24-26.
Zhou Xinhui, Liu Zhen, Li Weilian. Oil and gas accumulation mechanism in Liaodong Fault Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 24-26.
- [16] 吴欣松,王志章. 利用储层岩石热解资料评价原油性质[J]. 新疆

- 石油地质,2000,21(1):42-47.
- Wu Xinsong, Wang Zhizhang. Application of geochemical log data to quantitative evaluation of crude oil properties[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1): 42-47.
- [17] 侯连华, 林承焰, 王京红, 等. 原油密度、粘度的地化热解评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 74-78.
- Hou Lianhua, Lin Chengyan, Wang Jinghong, et al. Evaluation oil density and viscosity with geochemical pyrolysis data[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 74-78.
- [18] 郭永华, 周士科, 李洋冰. 渤海地区储集岩热解法原油密度预测模型研究及应用效果[J]. 中国海上油气(地质), 2006, 18(3): 174-178.
- Guo Yonghua, Zhou Shike, Li Yangbing, et al. A study on forecasting model of oil density with reservoir-rock pyrolysis data and its application in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2006, 18(3): 174-178.
- [19] 季玉新, 欧钦. 优选地震属性预测储层参数方法及应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(增刊): 58-65.
- Ji Yuxin, O qin. Studymethods and application of seismic attributes optimizing selection in reservoir parameters predicting[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(S1): 58-65.
- [20] 张新亮, 何丽箐, 吴俊. 基于地震多属性的孔隙度预测——以川东 A 气田为例[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(4): 385-386.
- Zhang Xinliang, He Liqing, Wu Jun. Application of porosity prediction based on seismic multiattributers to eastern Sichuan A gas field[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(4): 385-386.
- [21] 印兴耀, 周静毅. 地震属性优化方法综述[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(4): 482-493.
- Yin Xingyao, Zhou Jingyi. Summary of optimum methods of seismic attributes[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(4): 482-493.
- [22] 李兆奇, 陈红汉, 刘惠民, 等. 流体包裹体多参数综合划分东营凹陷沙三段油气充注期次及充注时期确定[J]. 地质科技情报, 2008, 27(4): 69-74.
- Li Zhaoqi, Chen Honghan, Liu Huimin, et al. Division of hydrocarbon charges and charging date determination of Sha 3 Member, Dongying Depression by various aspects of fluid inclusions[J]. Geological Science and Technology Information, 2008, 27(4): 69-74.
- [23] 孙秀丽, 陈红汉, 宋国奇, 等. 东营凹陷胜坨地区深层油气成藏期及主控因素分析[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 386-393.
- Sun Xiuli, Chen Honghan, Song Guoqi, et al. Hydrocarbon accumulation period and its controlling factors in deep formations of Shengtuo area in Dongying Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 386-393.
- [24] Guo Xiaowen, Liu Keyu, He Sheng, et al. Petroleum generation and charge history of the northern Dongying Depression, Bohai Bay Basin, Chian; Insight from integrated fluid inclusion analysis and basin modeling[J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 32(1): 21-35.
- [25] 席伟军, 张枝焕, 徐新宇, 等. 流体包裹体技术在春风油田特超稠油成藏研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 350-358.
- Xi Weijun, Zhang Zhihuan, Xu Xinyu, et al. Application of fluid inclusion techniques to the study of super-heavy oil accumulation in Chunfeng oilfield, Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 350-358.
- [26] 郑磊, 金之钧, 周瑾, 等. 鲁卜哈里盆地古生界油气藏成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3): 378-384.
- Zheng Lei, Jin Zhiyun, Zhou Jin, et al. Timing of hydrocarbon accumulation of the Paleozoic reservoir in Rub Al Khali Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 378-384.
- [27] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143-150.
- Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143-150.
- [28] 胡守志, 张冬梅, 唐静, 等. 稠油成因研究综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 94-97.
- Hu Shouzhi, Zhang Dongmei, Tang Jing, et al. Review of the genesis of heavy oil[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(2): 94-97.
- [29] 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 21-28.
- Mi Lijun. The Neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001, 15(1): 21-28.
- [30] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138.
- Gong Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.
- [31] 徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等. 渤海地区新构造格局[J]. 石油学报, 2012, 32(3): 442-449.
- Xu Jie, Zhou Bengang, Ji Fengju, et al. A primary study on the Neotectonic pattern of the Bohai area in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 32(3): 442-449.
- [32] 窦立荣, 徐树宝, 祝玉衡, 等. 二连盆地重质稠油藏及地球化学特征[J]. 石油学报, 1995, 16(2): 1-7.
- Dou lirong, Xu Shubao, Zhu Yuheng, et al. Formation and geochemical characteristics of heavy oil pool in Erlian Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16(2): 1-7.
- [33] 赵密福, 李亚辉, 信荃麟, 等. 鲁克沁构造带稠油成藏机制研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 51-56.
- Zhao Mifu, Li Yahui, Xin Quanlin, et al. Forming mechanism of heavy crude in Lukeqin structure belts[J]. Journal of China University of Petroleum(Natural Science Edition), 2001, 25(1): 51-56.
- [34] 李伟, 梁世君, 姜均伟, 等. 吐鲁番坳陷鲁克沁稠油油藏形成及演化特征[J]. 石油学报, 2006, 27(6): 14-18.
- Li Wei, Liang Shijun, Jiang Junwei, et al. Special migration and accumulation of heavy oil reservoir in Lukeqin area of Turpan Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(6): 14-18.

(编辑 李 军)