

渤海湾盆地东营凹陷北带油包裹体成分特征^{*}

吴珍珍¹ 董甜甜² 曹锋¹

WU ZhenZhen¹, DONG TianTian² and CAO Feng¹

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 辽河油田勘探开发研究院海外所, 盘锦 124010

1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China

2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, China

2013-04-03 收稿, 2013-07-10 改回.

Wu ZZ, Dong TT and Cao F. 2013. Compositions character of oil inclusions in the North Dongying Depression of the Bohai Bay Basin, China. Acta Petrologica Sinica, 29(9):3279-3286

Abstract The composition of oil inclusions is crucial for the oil-source correlation and fluid inclusions PVT modeling. In this paper, the compositions of oil inclusions in the sandstone reservoir from the third and fourth members of the Shahejie Formation in the north of Dongying Depression are analyzed by combination of the fluorescence spectra, quantitative fluorescence technology and bulk oil inclusions compositions analyse with crushing on line. The results of fluorescence spectra show that the fluorescence colour of the oil inclusions change continuously from yellow-with yellow-white-white blue to blue and the λ_{\max} is ranged from 445nm to 550nm, which indicate that the maturity of the oil in the inclusions which are trapped in the north of Dongying Depression change continuously. The λ_{\max} of the fluorescence spectra is less than 500nm for the observed oil inclusions with the fluorescence colour of the white blue and more than 500nm for the observed oil inclusions with the fluorescence colour of the yellow. The λ_{\max} and Q value of the fluorescence spectra indicate the difference in the content of the saturate, aromatic, NSO compositions and API gravity between the oil inclusions with the fluorescence colour of the white blue and yellow, which indicate the oil inclusions with the fluorescence colour of the white blue have the lower density and higher maturity. The results of quantitative fluorescence and bulk oil inclusions compositions analyse also show the difference in the QGF spectra and TSF parameters for the two types of oil inclusions. The methane in the oil inclusions with the fluorescence colour of the white blue is higher and the contents of C₇-C₉ is lower than the oil inclusions with the yellow fluorescence colour.

Key words North of Dongying Depression; Compositions of oil inclusions; Fluorescence spectra; Quantitative fluorescence; Compositions analyze

摘要 油包裹体成分在油源对比和流体包裹体 PVT 热动力学模拟具有至关重要的作用。本文采用常规荧光光谱、定量荧光技术和在线压碎群体包裹体成分分析方法对东营凹陷北带沙三段和沙四段砂岩储层样品中的油包裹体成分进行分析。荧光光谱分析结果表明油包裹体荧光颜色从黄色-黄白色-白色-蓝白色到蓝色呈现连续变化特征, 主波长范围在 445nm 至 550nm 之间, 指示了东营凹陷北带捕获的包裹体中油的成熟度从低到高呈连续变化。观察到的发蓝白色荧光的油包裹体荧光光谱主波长均小于 500nm, 黄色荧光的油包裹体荧光光谱主波长大于 500nm。油包裹体荧光光谱参数主波长和 Q 值反映发蓝白色和黄色荧光的油包裹体中饱和烃、芳烃、非烃含量和 API 明显不同, 发蓝白色荧光的油包裹体中的烃类具有密度相对较小、成熟度较高的特征。定量荧光和群体包裹体成分结果也表明由于发蓝白色和黄色荧光的油包裹体成分不同导致 QGF 光谱以及 TSF 参数都具有明显的区别, 发蓝白色荧光的油包裹体甲烷含量偏高, 而发黄色荧光的油包裹体 C₇-C₉ 含量相对偏高。

关键词 东营凹陷北带; 油包裹体; 荧光光谱; 定量荧光; 成分分析

中图分类号 P618.13

* 本文受国家自然科学基金项目(2011ZX05006)和中石油股份重大科技项目(2011A-0207)联合资助。

第一作者简介: 吴珍珍, 女, 1981 年生, 博士生, 石油地质专业, E-mail: wuzhenzhen@petrochina.com.cn

储层流体包裹体包含着大量的流体信息,广泛应用于成岩作用研究(司学强等, 2008)、古地温恢复(王一刚等, 1998)、确定油气成藏期次和时间(刘新社等, 2007; 史忠生和何生, 2007; 吕海涛等, 2009; 邓秀芹等, 2009; Zhu *et al.*, 2012, 2013b)、油气运移(唐俊红等, 2005)、油源对比(Zhou *et al.*, 2004)和储层古压力恢复(刘平等, 2008; Aplin *et al.*, 1999; Tseng and Pottorf, 2002; Liu *et al.*, 2003; Thierry *et al.*, 2002; Teinturier *et al.*, 2002)等领域,已成为含油气盆地研究的重要手段之一。流体包裹体成分分析一直是流体包裹体研究的热点和难点,也是用于油源对比和流体包裹体 PVT 热动力学模拟中的重要参数(Zhu *et al.*, 2013c)。油包裹体成分极其复杂,主要含有烷烃、芳香族化合物及沥青等成分。有机包裹体成分研究方法可以分为群体包裹体分析和单个包裹体分析。群体包裹体成分分析方法是首先将样品中有机包裹体打开,再利用气相色谱-质谱检测包裹体烃类成分,但此方法不适合存在多期油包裹体的样品。单个包裹体成分分析方法有红外显微镜法、显微拉曼光谱法(邵先杰, 2006)、显微傅里叶变换红外光谱法、同步辐射 X 射线荧光光谱法、扫描质子探针法和荧光光谱法等,但这些方法只能定量检测部分烃类包裹体成分,或者定性分析烃类包裹体成分。如荧光光谱法是通过观察有机包裹体荧光颜色、测量其荧光强度、荧光光谱及光谱参数等来对包裹体进行有机成分及有机质演化程度的间接分析,显微拉曼光谱法只能分析包裹体中 CO₂、CH₄、N₂、H₂、H₂S 等气体。因此本文采用常规荧光光谱、定量荧光技术和群体包裹体成分分析相结合的方法研究东营凹陷北带油包裹体成分特征,选取只捕获一期油包裹体砂岩样品进行群体包裹体成分分析,油包裹体充注期次采用荧光光谱和均一温度确定。群体包裹体成分分析方法采用澳大利亚 CSIRO 实验室开发的包裹体在线压碎方法,此方法可以将样品释放的流体直接随载气进入色谱,从而可以避免包裹体轻组分的挥发和与外界物质可能的交换和化学反应。

1 区域地质概况

渤海湾盆地是中国陆相含油气盆地的典型代表,因下第三系发育优质的湖相烃源岩且形成复式油气聚集而闻名于世(Zhu *et al.*, 2013a)。东营凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷东南部,为济阳拗陷的一个次级构造单元(图 1),东西长大约 90km,南北宽 65km,面积约 5700km²,是我国油气资源丰度最大、勘探程度最高的地区之一。凹陷东接青坨子凸起,南部地层与鲁西隆起、广饶凸起呈超覆接触,西与惠民凹陷毗邻,北以滨县凸起和陈家庄凸起为界,是一个四周为隆起环绕的晚白垩世-第三纪时期的断-坳复合盆地,第三纪以后属于华北近海拗陷盆地的一部分,不再构成独立盆地。从伸展构造角度看,它是陈南断裂上盘的掀斜半地堇盆地(图 1)。该凹陷是在印支运动时期区域隆起背景下、由走向近东

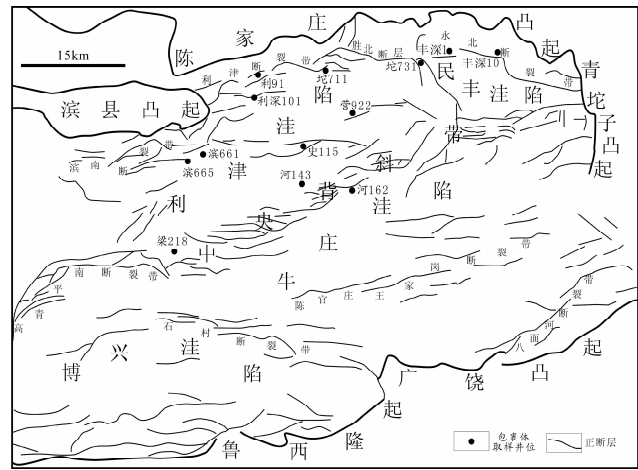


图 1 东营凹陷构造单元划分及包裹体样品位置图

Fig. 1 Map showing the tectonic subdivisions and the positions of the inclusion samples in Dongying Depression

西的陈南大型铲式扇形正断层之上盘发育形成的以半地堇构造样式为基本特征的箕状盆地,具有北断南超、北陡南缓的构造特点。平面上可划分为北部陡坡带、利津洼陷、民丰洼陷、中央背斜带、牛庄洼陷、博兴洼陷和南部缓坡带七个二级构造单元。根据构造及成因特点,可划分为北部陡坡带、中央背斜带、洼陷带和南部缓坡带四个构造带,不同构造带发育的断层特征有所不同。本研究所指东营凹陷北带是东营中央背斜以北的广大地区,南北宽 42km,东西长 90km,面积约 3600km²。该区油气资源丰富,是东营凹陷最主要油气聚集区。沙四上亚段、沙三下段和中段是本区主要的生油层系。沙四上亚段烃源岩岩性以灰色、深灰色、灰褐色灰质泥岩、泥灰岩及钙片油页岩为主,夹有少量碳酸盐岩和粉砂岩,呈韵律层分布,属半咸水-咸水较深湖-深湖相沉积。沙四上亚段烃源岩总有机碳含量(TOC)介于 1%~5%之间,有机质的类型以 I 型和 II₁ 为主。沙三下亚段主要为深灰色泥岩,TOC 为 3.0%~5.0%,有机质类型主要为 I 型。沙三中亚段主要为深灰色泥岩,TOC 介于 1.0%~2.5%,有机质类型以 I 型 II₁ 型为主(Zhu *et al.*, 2004)。自下而上共形成 14 套储集层,前第三系主要有太古界泰山群、古生界寒武系、奥陶系、石炭-二叠系、中生界;古近系有孔二段、孔一段、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组;新近系为馆陶组、明化镇组。含油层系多,具有多种类型的圈闭和油气藏特征。所发现的油气藏包括有构造油气藏、地层油气藏和复合油气藏。东营凹陷新生代构造演化史可分为古近系裂陷充填期和新近系坳陷期。裂陷充填期又分为裂陷 I 幕(孔店组沉积期)、裂陷 II 幕(沙四段沉积期)、裂陷 III 幕(沙三-沙二下沉积期)和裂陷 IV 幕(沙二下-东营组沉积期)(图 2)。盆地经历了初始裂陷-强烈裂陷-裂陷再陷-裂陷萎缩四个阶段,充填地层形成河流相-浅湖相-深湖相-浅湖相-河流相的一个完整的沉积旋回(Zhu *et al.*, 2005)。沉积了下第三系孔店组(Ek)、沙河

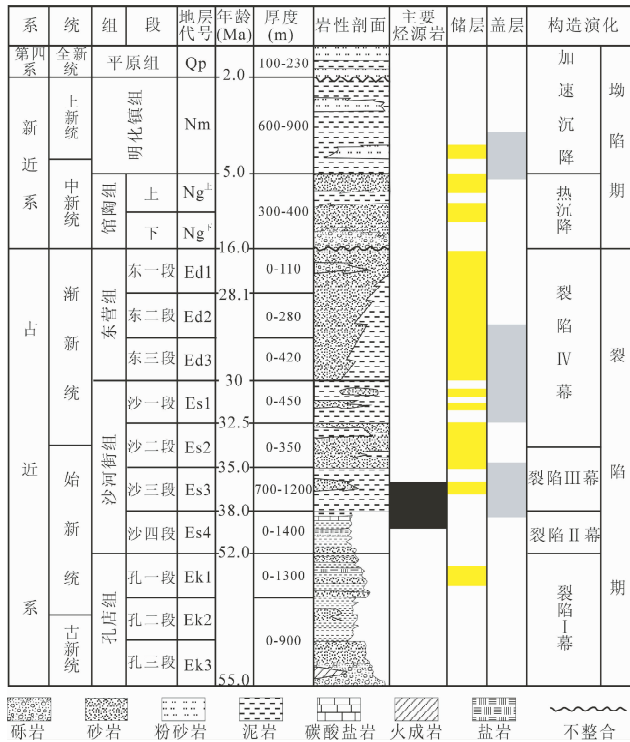


图2 东营凹陷综合柱状图

Fig. 2 Generalized stratigraphy of Dongying Depression

街组(Es)、东营组(Ed)、上第三系馆陶组(Ng)、明化镇组(Nm)和第四系平原组(Qp)六套地层,最大厚度在7000m左右。其中沙河街组分布广泛、厚度较大,与下伏孔店组为连续沉积,也是研究区主要的目的层。自下而上分为沙四(Es4)、沙三(Es3)、沙二(Es2)和沙一段(Es1),各段在岩性和厚度上从凹陷中部向边缘都有不同程度的变化。

2 实验样品和方法

用于研究油包裹体成分所采集的12块砂岩样品均来自东营凹陷北带12口单井沙三段和沙四段,样品井位如图1所示,实验分析在澳大利亚CSIRO流体历史分析组实验室进行。砂岩样品被制成双面剖光薄片,采用Olympus显微镜对流体包裹体样品进行显微观察,显微镜配有20倍、50倍和100倍工作镜头,并利用荧光光谱仪获得单个油包裹体光谱,流体包裹体的均一温度测定使用Linkam THMSG600显微冷热台,测定误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

砂岩样品颗粒定量荧光(QGF)和全荧光扫描(TSF)方法:①把样品碎成单颗粒,筛选出 $63 \sim 180\mu\text{m}$ 范围内颗粒,将样品进行磁力浮选,将石英颗粒挑选出来;②采用标准清洗方法(Liu and Eadington, 2005; Liu *et al.*, 2007)将石英颗粒表面清洗干净并干燥后进行颗粒定量荧光(QGF)分析,设定Verina Cyar-EcliPse荧光光谱计激发波长为254nm进行扫描,记录300~600nm之间的发射光谱。QGF分析完后将样

品砸碎,用溶剂萃取包裹体释放出来的烃类进行TSF分析,用Verina Cyar-EcliPse荧光光谱计激发波长为250~540nm之间每隔5nm的波长进行紫外光扫描,同时用同步扫描选项从220nm扫描到340nm,记录荧光发射光谱,获得三维荧光光谱。

群体包裹体成分分析样品前处理方法和颗粒定量荧光(QGF)样品清洗方法相同,包裹体在线成分分析在色谱-质谱联用仪上进行。将处理好的干净样品(约50mg)放在底部用烧结金属封堵的金属管中,然后将金属管放入MSSV中,用金属手柄将样品碾碎,释放的有机质借助载气直接进入色谱柱中,先用液氮冷阱收集,2min后撤去液氮升温,打开分流阀。采用不同的柱子和升温程序分别检测轻烃($\text{C}_5\text{-C}_9$)和气体($\text{C}_1\text{-C}_5$)。

3 油包裹体荧光特征

油包裹体在紫外光照射下表现出的荧光行为是用于区别盐水包裹体最有效的方法,油包裹体的荧光特征反映了其内石油的成分特征及热演化程度。在东营凹陷北带所取得砂岩样品中检测到大量的油包裹体,油包裹体主要发育在石英颗粒裂纹中,发育在石英加大边和方解石胶结物中的很少。肉眼观察油包裹体在紫外光照射下主要发蓝白色荧光和黄色荧光(图3),利用光谱仪对单个油包裹体进行显微光谱测定获得的典型油包裹体微束荧光光谱显示发蓝白色荧光和黄色荧光的油包裹体荧光光谱特征具有明显的区别,主要表现为主波长的差异。发蓝白色荧光的油包裹体荧光光谱主波长均小于500nm,一般为480nm,发黄色荧光的油包裹体荧光光谱主波长大于500nm,一般为520nm。

不同的油包裹体荧光光谱特征反映了包裹体中油的成分的变化,从而显示出荧光颜色的不同。但人的肉眼对荧光颜色的分辨率比较有限,因此可以利用油包裹体荧光光谱转换成颜色坐标,从而更准确地识别油包裹体荧光颜色。对东营凹陷北带12块流体包裹体样品中的277个油包裹体进行显微光谱测定并利用所得到的光谱转换成国际照明委员会(CIE)用于测量颜色的标准颜色坐标(图4)发现本研究区的油包裹体荧光颜色分布范围比较宽。从图4可以看出,油包裹体荧光颜色从黄色到蓝色几乎呈现连续性分布,荧光颜色包括有黄色、黄白色、白色、蓝白色和蓝色。颜色坐标CIE-X的变化范围为0.17~0.38, CIE-Y从0.22增加到0.43, CIE-Y随着CIE-X的增加而增加。油包裹体荧光颜色从黄色-黄白色-白色-蓝白色到蓝色颜色坐标CIE-X和CIE-Y都逐渐减小。不同的荧光颜色反映了包裹体中油的成分和成熟度的变化,颜色坐标CIE-X和CIE-Y呈现连续分布特征反映了东营凹陷北带捕获的包裹体中油的成熟度从低到高连续性变化特征。

油包裹体荧光光谱参数主波长和Q值($Q = \text{荧光强度 } I_{\lambda=650} / \text{荧光强度 } I_{\lambda=500}$)是油包裹体荧光光谱中的两个重要

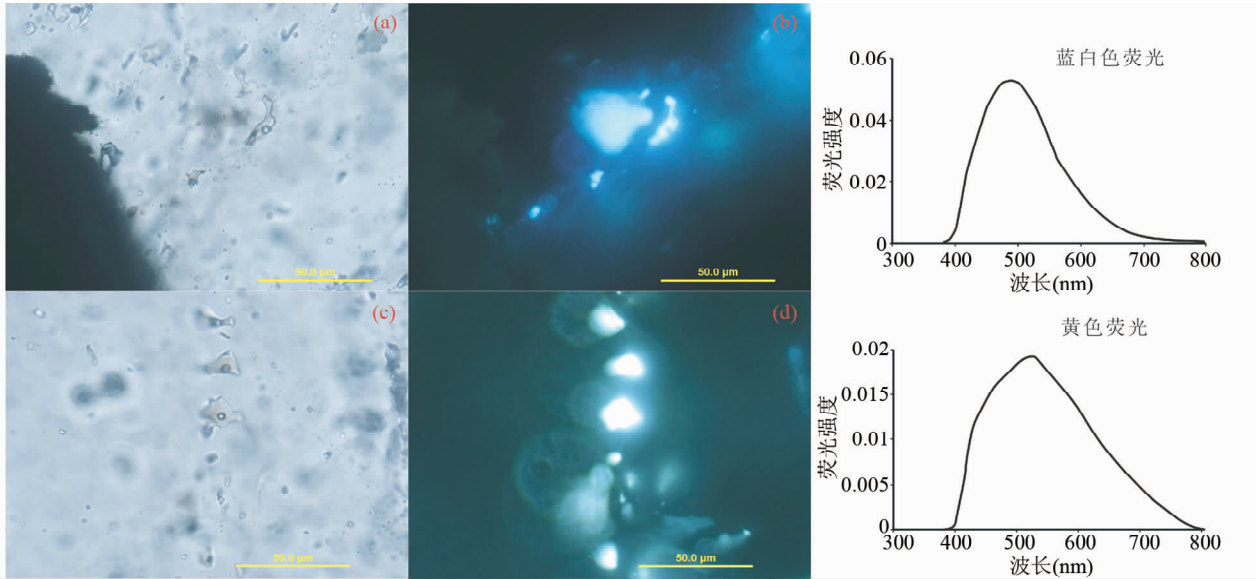


图3 东营凹陷北带油包裹体照片和荧光光谱

(a,b)分别为丰深10井, Es4, 4263m 透射光照片和荧光照片, 光谱主峰485nm, 发蓝白色荧光; (c,d)分别为利91井, Es4, 3024.5m 透射光照片和荧光照片, 光谱主峰520nm, 发黄色荧光

Fig. 3 Oil inclusions photos and fluorescence spectra in the north of Dongying Depression

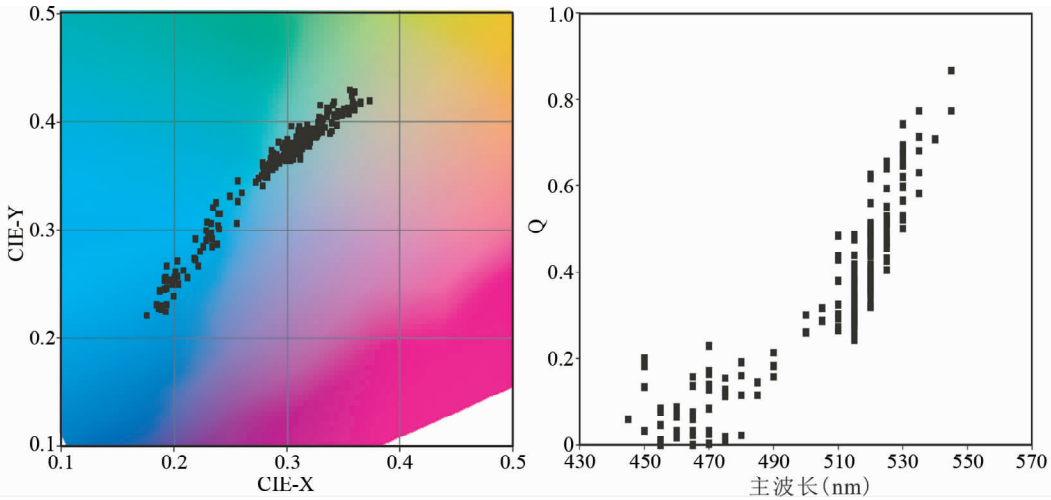


图4 东营凹陷北带油包裹体荧光光谱参数关系图

Fig. 4 The relationship of the parameters for the oil inclusions fluorescence spectra in the north of Dongying Depression

参数,与油包裹体饱和烃、芳烃、非烃含量以及 API 的关系具有密切关系,随着主波长和 Q 值的增加油包裹体饱和烃含量和 API 逐渐减小,芳烃和非烃含量逐渐增加(邵先杰, 2006)。东营凹陷北带 12 块流体包裹体样品中油包裹体荧光光谱参数主波长和 Q 值的关系显示这两个参数的范围也比较宽。油包裹体荧光光谱主波长的分布范围在 445nm 至 550nm 之间, Q 值范围在 0 至 0.867 之间且随着主波长的增大具有增加的趋势。两个参数也都具有连续分布的特征,反映了油包裹体中的烃类族组分和 API 也具有连续变化的特征。为了清楚油包裹体成分特征,利用荧光光谱参数主波长

和 Q 值按照 Stasiuk and Snowdon(1997) 提出的荧光光谱参数与饱和烃、芳烃、非烃含量以及 API 的关系对发蓝白色荧光和黄色荧光的油包裹体中烃类组成特征进行分析。含有发蓝白色荧光油包裹体的三块样品分别来自丰深 1 井、丰深 10 井和利深 101 井,含有发黄色荧光油包裹体的三块样品分别来自利 91 井、坨 711 井和坨 731 井,而且每块砂岩样品中只包含发一种荧光颜色的油包裹体。计算得到发蓝白色荧光和黄色荧光油包裹体的烃类成分特征如图 5 所示,明显反映了两种油包裹体成分之间的差异。发蓝白色荧光的油包裹体中烃类饱和烃含量为 64% ~ 78%、芳烃含量为 20% ~

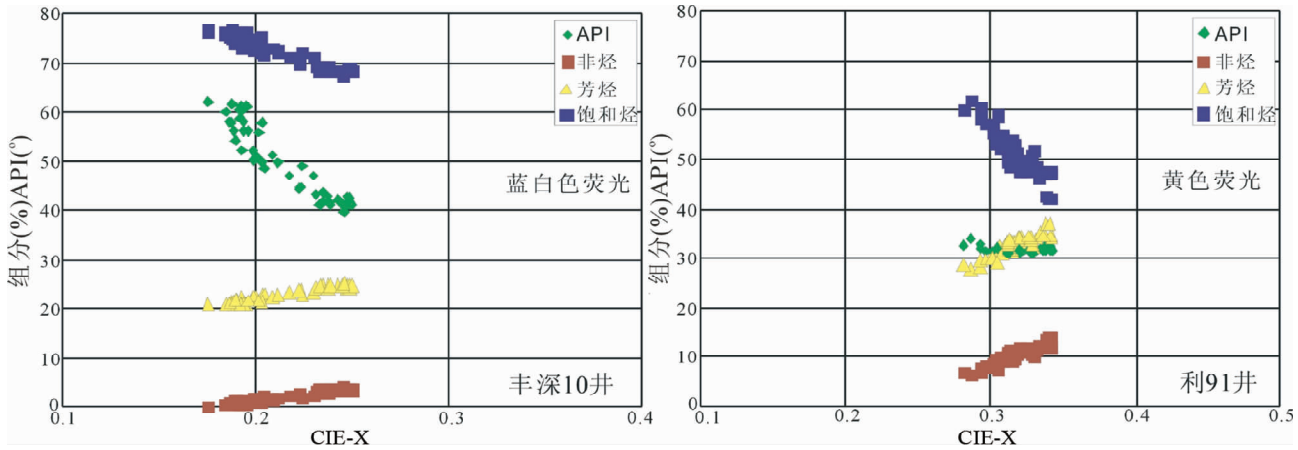


图5 由油包裹体荧光光谱参数计算的东营凹陷北带油包裹体成分特征

Fig.5 The calculated compositions from the parameters of the fluorescence spectra for the oil inclusions in the north of Dongying Depression

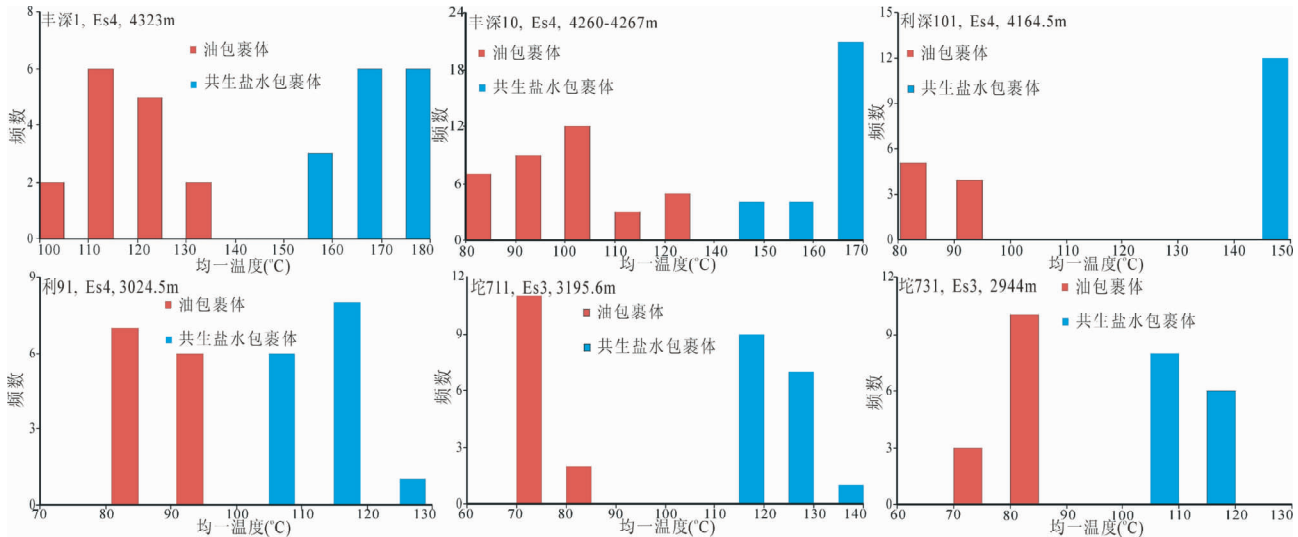


图6 东营凹陷北带油包裹体和共生盐水包裹体均一温度直方图

Fig.6 Histogram of homogenization temperature for the oil inclusions and aqueous inclusion in the north of Dongying Depression

27%、非烃含量为0~5%、API为39~63度；发黄色或者黄白色荧光的油包裹体中的烃类饱和烃含量为42%~62%、芳烃含量为28%~38%、非烃含量为7%~13%、API为30~37度。发蓝白色荧光的油包裹体明显比发黄色荧光油包裹体中的烃类饱和烃含量和API高，芳烃和非烃含量低，指示了发蓝白色荧光的油包裹体中的烃类密度相对较小、成熟度偏高。

4 油包裹体定量荧光特征

为了进一步分析发蓝白色和发黄色荧光油包裹体的特征，选取东营凹陷北带丰深1井、丰深10井、利深101井、坨711井、坨731井、利91井6口单井中6块砂岩样品开展

QGF和TSF分析。由于定量荧光技术分析的是群包裹体的特征，如果在同一块样品中存在多期烃类包裹体，就难于反映不同类型油包裹体成分特征，因此选择的砂岩样品要求只发育一期烃类包裹体。从油包裹体荧光颜色和光谱特征都显示丰深1井、丰深10井、利深101井、坨711井、坨731井、利91井的6块砂岩样品分别均存在一种类型的油包裹体，为了确定相同荧光颜色的油包裹体是属于同期捕获，对油包裹体和共生的盐水包裹体进行均一温度测定，以确定油包裹体的充注期次。测量的6块砂岩样品的油包裹体和共生的盐水包裹体均一温度统计结果如图6所示，直方图分布特征反映油包裹体和共生的盐水包裹体均一温度都具有单峰特征。发蓝白色荧光的油包裹体均一温度范围为80~140℃，发黄色荧光的油包裹体均一温度在70~110℃范围内。由于

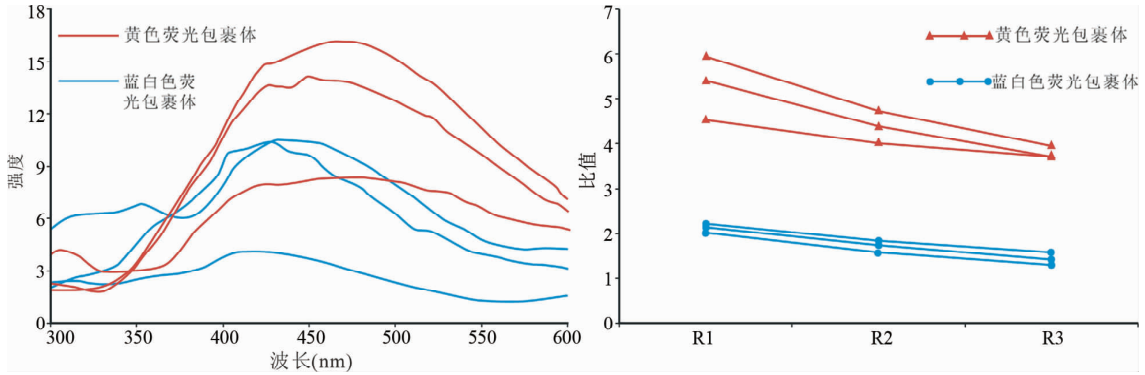


图7 东营凹陷北带油包裹体定量荧光特征

$R_1 = I_{\lambda=319}/I_{\lambda=359}$ 激发光 $\lambda = 254$; $R_2 = I_{\lambda=360}/I_{\lambda=320}$ 激发光 $\lambda = 260$; $R_3 = I_{\lambda=360}/I_{\lambda=320}$ 激发光 $\lambda = 270$

Fig.7 The characters of quantitative fluorescence for the oil inclusions in the north of Dongying Depression

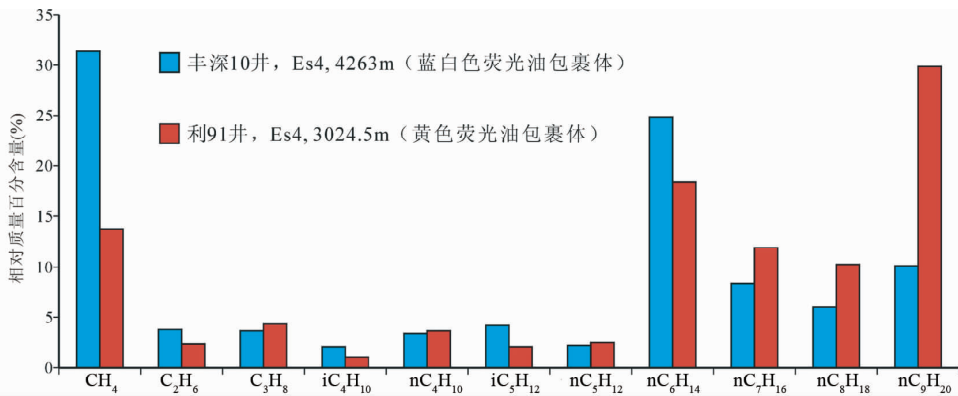


图8 东营凹陷北带发蓝白色和黄色荧光油包裹体轻烃组成特征

Fig.8 The distribution of light hydrocarbon for the oil inclusions with blue-white and yellow fluorescence colour in the north of Dongying Depression

油包裹体均一温度受包裹体在捕获后晚期发生的化学变化、热裂解以及含气饱和度等因素的影响 (Munz, 2001; Munz *et al.*, 1999; Okubo, 2005), 因此造成油包裹体均一温度与捕获时的地层温度具有一定的差异, 不能很好地用于确定油气充注时间。与油包裹体均一温度相比, 油包裹体共生的盐水包裹体均一温度更接近捕获时的地层温度, 可以用于划分油气成藏期次以及确定油气充注时间。

所选取的6块砂岩样品中与油包裹体共生的盐水包裹体均一温度统计直方图显示每块样品中盐水包裹体均一温度变化范围不大, 其差别不超过 30°C, 反映了每块砂岩样品均只存在一期油充注。但结合埋藏史和热史结果发现研究区存在两期油气充注, 分别是在距今 24 ~ 20Ma 和 2 ~ 0Ma。同期捕获的油包裹体成分相似, 因此可以利用定量荧光技术分析不同油包裹体成分之间的差异。

由 Verina Cyar-EcliPse 荧光光谱计扫描得到的发蓝白色荧光油包裹体和发黄色荧光油包裹体 QGF 谱图具有明显的区别 (图 7)。发蓝白色荧光油包裹体 QGF 光谱主波长相对

发黄色荧光油包裹体偏小, 发蓝白色荧光油包裹体 QGF 光谱主波长大概为 420nm, 发黄色荧光油包裹体 QGF 光谱主波长大概为 470nm。QGF 光谱主波长相对荧光光谱稍微偏小, 可能主要是因为激发光波长的差异。TSF 是用三维激发-发射荧光、荧光强度反映原油、岩石可溶指纹特征的技术 (Liu and Eadington, 2005), 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, 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 (李素梅等, 2006)。因此成分不同的发蓝白色和黄色荧光油包裹体 TSF 指纹和参数也会不同。本文对发蓝白色和黄色荧光油包裹体烃三个 TSF 参数 R1、R2 和 R3 进行对比发现两种不同类型的油包裹体 TSF 参数明显不同 (图 7)。发黄色荧光油包裹体烃相对发蓝白色荧光的油包裹体烃 TSF 参数 R1、R2 和 R3 明显偏高, 发黄色荧光油包裹体烃 TSF 参数 R1、R2 和 R3 均大于 3.5, 而发蓝白色荧光的油包裹体烃 TSF 参数 R1、R2 和 R3 都小于 2.5, TSF 参数的明显不同也说明两种类型油包裹体烃成分之间的差异。

5 油包裹体轻烃特征

油包裹体中轻烃是最为重要的组成部分,也是影响流体包裹体 PVT 热力学模拟的重要参数。由于轻烃暴露在空气中很容易挥发掉,因此常规的气相色谱-质谱分析也不能检测到油包裹体中的轻烃组分。包裹体在线压碎成分分析方法是封闭的环境将包裹体压碎,因此防止了油包裹体中的轻烃组分挥发,但澳大利亚 CSIRO 实验室开发的包裹体在线压碎成分分析技术只能检测出 C_1 - C_9 的烃类成分。本次研究选取了东营凹陷北带丰深 10 井和利 91 井的 2 块砂岩样品来分析油包裹体中轻烃成分特征,采用在线压碎成分分析技术得到发蓝白色和黄色荧光油包裹体中 C_1 - C_9 的组成特征如图 8 所示。发蓝白色荧光的油包裹体甲烷含量明显高于发黄色荧光的油包裹体,其质量百分含量超过了 30%。发黄色荧光的油包裹体 C_7 - C_9 含量相对发蓝白色荧光的油包裹体偏高,反映两种油包裹体成分明显存在差异,发蓝白色荧光的油包裹体中轻组分高于发黄色荧光的油包裹体,表现出所充注的原油密度相对较低,成熟度相对较高的特征。

6 结论

(1) 在东营凹陷北带沙四段和沙三段砂岩样品中检测到大量的油包裹体,油包裹体荧光颜色从黄色-黄白色-白色-蓝白色到蓝色呈现连续变化特征,指示了东营凹陷北带捕获的包裹体中油的成熟度从低到高连续变化。

(2) 观察到的发蓝白色荧光的油包裹体荧光光谱主波长均小于 500nm,发黄色荧光的油包裹体荧光光谱主波长大于 500nm。采用油包裹体荧光光谱参数主波长和 Q 值计算发蓝白色和黄色荧光的油包裹体中烃类饱和烃、芳烃、非烃含量和 API 明显不同。

(3) 发蓝白色或者黄色荧光的油包裹体烃的定量荧光和轻烃成分分析结果表明发蓝白色荧光油包裹体 QGF 光谱以及 TSF 参数都具有明显的区别,发蓝白色荧光的油包裹体甲烷含量偏高,发黄色荧光的油包裹体 C_7 - C_9 含量相对偏高。

References

Aplin AC, MacLeod G, Larter SR *et al.* 1999. Combined use of confocal laser scanning microscopy and PVT simulation for estimating the composition and physical properties of petroleum in fluid inclusions. *Marine and Petroleum Geology*, 16(2): 97-110

Deng XQ, Liu XS and Li SX. 2009. The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 30(2): 156-161 (in Chinese with English abstract)

Li SM, Pang XQ, Liu KY and Jin ZJ. 2006. Characteristics and application of total scanning fluorescence for oils and reservoir rock

extracts from the Dongying Depression. *Acta Geologica Sinica*, 80(3): 439-445 (in Chinese with English abstract)

Liu DH, Xiao XM, Mi JK *et al.* 2003. Determination of trapping pressure and temperature of petroleum inclusions using PVT simulation software: A case study of Lower Ordovician carbonates from the Lunnan Low Uplift, Tarim Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 20(1): 29-43 (in Chinese with English abstract)

Liu KY and Eadington P. 2005. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history. *Organic Geochemistry*, 36(7): 1023-1036

Liu KY, Eadington P, Middleton H *et al.* 2007. Applying quantitative fluorescence techniques to investigate petroleum charge history of sedimentary basins in Australia and Papuan New Guinea. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 57(1-2): 139-151

Liu P, Xia B, Tang ZQ, Wang XG and Zhang Y. 2008. Fluid inclusions in reservoirs of Weixinan sag, Beibuwan Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 35(2): 164-169 (in Chinese with English abstract)

Liu XS, Zhou LF and Hou YD. 2007. Study of gas charging in the Upper Paleozoic of Ordos Basin using fluid inclusion. *Acta Petroli Sinica*, 28(6): 37-42 (in Chinese with English abstract)

Lü HT, Chen HH, Tang DQ and Ma L. 2009. Determination of hydrocarbon charging events and timing of accumulation in the Triassic of Tahe area, the Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 30(3): 300-309 (in Chinese with English abstract)

Munz IA, Johansen H, Holm K *et al.* 1999. The petroleum characteristics and filling history of the Frøy field and the rind discovery, Norwegian North sea. *Marine and Petroleum Geology*, 16(7): 633-651

Munz IA. 2001. Petroleum inclusions in sedimentary basins: Systematics, analytical methods and applications. *Lithos*, 55(1-4): 195-212

Okubo S. 2005. Effects of thermal cracking of hydrocarbons on the homogenization temperature of fluid inclusions from the Niigata oil and gas fields, Japan. *Applied Geochemistry*, 20(2): 255-260

Shao XJ. 2006. Analysis of association, compositions and genetic stages of organic fluid inclusions in West Sichuan. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36(5): 820-824 (in Chinese with English abstract)

Shi ZS and He S. 2007. Fluid inclusions of Palaeogene Eh2 reservoir of Hetaoyuan Formation, Nanyang Sag. *Petroleum Exploration and Development*, 34(6): 682-686, 695 (in Chinese with English abstract)

Si XQ, Zhang JL and Yang ZC. 2008. Relation between beach bar sandstones diagenesis and reservoir quality in the upper Es4 of the Palaeogene in Boxing sag. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 32(2): 6-11 (in Chinese with English abstract)

Stasiuk LD and Snowdon LR. 1997. Fluorescence micro-spectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: Crude oil chemistry, density and application to petroleum migration. *Applied Geochemistry*, 12(3): 229-241

Tang JH, Zhang TW, Bao ZY and Zhang MJ. 2005. Application of organic inclusion in oil-gas migration of Sichuan reservoir of Southwest Sichuan Basin. *Earth Science*, 30(2): 228-232 (in Chinese with English abstract)

Teinturier S, Pironon J and Walgenwitz F. 2002. Fluid inclusions and PVTX modelling: Examples from the Garn Formation in well 6507/2-2, Haltenbanken, Mid-Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 19(6): 755-765

Thiery R, Pironon J, Walgenwitz F and Montel F. 2012. Individual characterization of petroleum fluid inclusions (composition and P-T trapping conditions) by microthermometry and confocal laser scanning microscopy: Inferences from applied thermodynamics of

- oils. *Marine and Petroleum Geology*, 19(7):847 – 859
- Tseng HY and Pottorf RJ. 2002. Fluid inclusion constraints on petroleum PVT and compositional history of the Greater Alwyn-South Brent petroleum system, northern North sea. *Marine and Petroleum Geology*, 19(7): 797 – 809
- Wang YG, Yu XF, Yang Y and Zhang J. 1998. Applications of fluid inclusions in the study of Paleo-geotemperature in Sichuan Basin. *Earth Science*, 32(3): 285 – 288 (in Chinese with English abstract)
- Zhou WW, Jiang WR and Li RX. 2004. Organic inclusion and its application on petroleum system in Zhu III depression, Pearl River Mouth Basin, China. *Petroleum Exploration and Development*, 31(2): 128 – 134
- Zhu GY, Jin Q, Zhang SC, Dai JX and Zhang LY. 2004. Distribution characteristics of effective source rocks and their control on hydrocarbon accumulation: A case study from the Dongying Sag, Eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 1275 – 1288
- Zhu GY, Jin Q, Zhang SC, Dai JX, Zhang LY and Li J. 2005. Character and genetic types of shallow gas pools in Jiyang depression. *Organic Geochemistry*, 36(11): 1650 – 1663
- Zhu GY, Zhang SC, Su J, Huang HP, Yang HJ, Gu LJ, Zhang B and Zhu YF. 2012. The occurrence of ultra-deep heavy oils in the Tabei Uplift of the Tarim Basin, NW China. *Organic Geochemistry*, 52: 88 – 102
- Zhu GY, Wang ZJ and Su J. 2013a. Geochemical characteristics of high-quality hydrocarbon source rocks in the Nanpu sag of the Bohai Bay Basin, China. *Oil Shale*, 30(2): 117 – 135
- Zhu GY, Zhang SC, Su J, Meng SC, Yang HJ, Hu JF and Zhu YF. 2013b. Secondary accumulation of hydrocarbons in Carboniferous reservoirs in the northern Tarim Basin, China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 102: 10 – 26
- Zhu GY, Zhang SC, Liu KY, Yang HJ, Zhang B, Su J and Zhang YG. 2013c. A well-preserved 250 million-year-old oil accumulation in the Tarim Basin, western China: Implications for hydrocarbon exploration in old and deep basins. *Marine and Petroleum Geology*, 43: 478 – 488

附中文参考文献

- 邓秀芹, 刘新社, 李士祥. 2009. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透层致密史与油藏成藏史. *石油与天然气地质*, 30(2): 156 – 161
- 李素梅, 庞雄奇, 刘可禹, 金之钧. 2006. 东营凹陷原油、储层吸附烃全扫描荧光特征与应用. *地质学报*, 80(3): 439 – 445
- 刘平, 夏斌, 唐在秋, 王晓光, 张毅. 2008. 北部湾盆地涠西南凹陷储集层流体包裹体. *石油勘探与开发*, 35(2): 164 – 169
- 刘新社, 周立发, 侯云东. 2007. 运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏. *石油学报*, 28(6): 37 – 42
- 吕海涛, 陈红汉, 唐大卿, 马黎. 2009. 塔河地区三叠系油气充注幕次划分与成藏时期确定. *石油与天然气地质*, 30(3): 300 – 309
- 邵先杰. 2006. 川西地区有机流体包裹体产状、组分及成因序次分析. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(5): 820 – 824
- 史忠生, 何生. 2007. 南阳凹陷古近系核桃园组二段储集层流体包裹体. *石油勘探与开发*, 34(6): 682 – 686, 695
- 司学强, 张金亮, 杨子成. 2008. 博兴洼陷沙四上亚段滩坝砂岩成岩作用及其与储层质量的关系. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 32(2): 6 – 11
- 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 张铭杰. 2005. 川西南震旦系储集层有机包裹体在油气运移研究中的应用. *地球科学*, 30(2): 228 – 232
- 王一刚, 余晓锋, 杨雨, 张静. 1998. 流体包裹体在建立四川盆地古地温剖面研究中的应用. *地球科学*, 32(3): 285 – 288