

# 流体包裹体 $PVT_x$ 模拟研究油气 充注期次和古压力恢复:

以西湖凹陷平湖构造带为例

苏 奥<sup>1,2</sup>, 陈红汉<sup>1</sup>, 雷 川<sup>3</sup>, 陈 旭<sup>2</sup>, 王 萍<sup>1</sup>, 吴 桐<sup>1</sup>, 陈 锦<sup>1</sup>, 陈慧钦<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;

2. 中国石油东方地球物理公司研究院, 河北 涿州 072750; 3. 陕西煤田地质油气钻采有限公司, 西安 710054)

**摘 要:**传统流体包裹体  $PVT_x$  模拟应用包裹体组分、气液比和均一温度, 结合模拟软件可以恢复包裹体被捕获时的古流体压力, 然而组分参数受多因素影响而难以确定, 导致精度有限。介绍了 Ping 等 2011 年提出的一种改进  $PVT_x$  模拟法, 以西湖凹陷平湖构造带为例, 应用显微荧光、显微测温和激光共聚焦扫描显微镜等分析, 划分了油气充注期次并恢复了古压力, 简化了依靠传统模拟软件获取捕获压力的步骤。研究结果表明: 平湖构造带存在两期油气充注, 第一期距今 16.8~13.2 Ma, 即中新世早期, 主要充注发橙黄色荧光的原油, 古流体压力为 25.00~28.86 MPa; 第二期为主成藏期, 距今 10.0~0 Ma, 即中新世中后期至今, 主要充注天然气和发蓝绿色、蓝白色多种荧光颜色的原油, 古流体压力为 38.60~44.31 MPa。研究结果有助于深化勘探区油气成藏规律的认识。

**关键词:**流体包裹体;  $PVT_x$  模拟; 古压力; 期次

**中图分类号:** TE135

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7849(2014)06-0137-06

流体包裹体记录了流体被捕获时的压力、温度和组分等丰富的原始信息, 恢复并运用这些信息有助于研究油气充注期次、来源及运移路径追踪等<sup>[1-2]</sup>。目前国内已建立了比较完备的流体包裹体测试分析系统, 已成为划分油气充注期次的最重要手段之一。然而受盆地多套源层、多期构造运动以及多期成藏的影响, 即便同期盐水包裹体均一温度相近或一致, 也有可能是不同期次的油气充注, 但其古压力却可能具有差异性。因此利用流体包裹体  $PVT_x$  模拟恢复的古流体压力结合均一温度能够更好、更准确地进行期次划分。

## 1 流体包裹体 $PVT_x$ 模拟存在问题

自 Aplin 等<sup>[3]</sup>应用 PVTsim 热动力学模拟软件成功恢复了单个包裹体被捕获时的古压力以来, 流体包裹体热动力学已日益朝着高精度方向发展。目前限制其模拟精度的主要参数为包裹体成分和气液比。包裹体原始成分通常采用 3 种方法获取: ①群包裹体成分分析法。将反复洗净后的岩样置于真空

下研磨加热, 利用高精度色谱-质谱仪检测被破坏的流体包裹体成分, 但该方法受清洗效果以及不同期次的包裹体污染等限制。②单个包裹体成分分析法。主要利用红外光谱或激光拉曼进行检测, 但只能提供半定量的成分, 激光剥蚀技术也受诸多因素限制, 可检测出来的有机物数量有限<sup>[4]</sup>, 例如无法检测甲烷、二氧化碳和大分子烃类有机物等, 仍然做不到全面分析的程度。③热动力学模拟。以油气藏原油组分为模型, 以油包裹体均一温度和充填度为约束进行迭代计算获取油包裹体原始组分, 但现今原油可能遭受了后期次生变化以及多期原油混合贡献的影响, 因此模拟结果有较大误差。Montel<sup>[5]</sup>基于大量油样发现原油组分中不同碳数化合物之间的摩尔分数存在联系,  $\alpha-\beta$  控制着原油不同碳数化合物的摩尔分数组成。Thiéry 等<sup>[6]</sup>修正了  $\alpha-\beta$  模型并代替油藏原油模型, 避免了上述因素的影响, 但  $\alpha$ 、 $\beta$  这两个参数值并非唯一, 而与油包裹体甲烷含量等参数有关, 从而增加了  $\alpha$ 、 $\beta$  值的不确定性, 因此也存在类似精度问题。综上, 以上 3 种方法都难以精确

收稿日期: 2013-08-27

编辑: 禹华珍

基金项目: 国家自然科学基金项目(41202088); “十二五”国家重大油气专项(2011ZX05023-004-010)

作者简介: 苏 奥(1989—), 男, 助理工程师, 主要从事盆地流体地质、油气成藏及地球化学方面研究。E-mail: suao446@163.com

通信作者: 陈红汉(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事油气成藏过程与流体包裹体系统分析研究。E-mail: honghanc@qq.com

com

确定油包裹体组分。对于气液比即气泡充填度的测定,通常是人为目测估算包裹体聚焦面的气液面积比来代替体积比,受经验影响较大,而激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)利用原油的荧光特性,可精确重构油包裹体的假三维模型,从而求得气液比,其精度可达到 95% 以上<sup>[7]</sup>。因此充填度( $F_v$ )的准确获取,使得流体包裹体热动力  $PVT_x$  模拟精度提高了一个层次。

## 2 改进后的流体包裹体 $PVT_x$ 模拟原理

前已述及,油包裹体原始组分受目前方法和技术的限制还难以精确获取,使得模拟结果产生较大误差,因此只能间接求古压力。Ping 等<sup>[8]</sup>利用世界各大盆地从黑油到凝析油 160 个已检测组分的油样,在匹配饱和和压力的迭代计算中(具体计算过程参见文献<sup>[8]</sup>),发现不同均一温度下油包裹体  $C_{7+}$  组分摩尔分数与充填度有明显的函数关系(图 1),并建立了关系式。主要受源岩热演化程度控制的原油其  $CH_4$  等轻组分与  $C_{7+}$  重组分含量往往呈负相关。160 个油样的  $CH_4$  与  $C_{7+}$  重组分摩尔分数数据对的拟合呈现出良好的负相关性<sup>[8]</sup>,其公式如下:

$$x(CH_4) = -1.434 \times 10^{-7} x(C_{7+})^5 + 4.065 \times 10^{-5} x(C_{7+})^4 - 4.240 \times 10^{-3} x(C_{7+})^3 + 2.051 \times 10^{-1} x(C_{7+})^2 - 5.509 x(C_{7+}) + 1.080 \times 10^2 \quad (1)$$

(相关系数  $R=0.93$ )

式中: $x(CH_4)$  为  $CH_4$  的摩尔分数; $x(C_{7+})$  为  $C_{7+}$  重组分的摩尔分数。

据式(1)便可成功预测油包裹体甲烷含量。考虑到甲烷对压力的敏感性,可能两者存在某种内在联系,拟合发现不同均一温度情况下  $CH_4$  摩尔分数与原油饱和压力( $P_h$ )也具很好的相关性,是一个二次多项式<sup>[8]</sup>,即:

$$P_h = ax(CH_4)^2 + bx(CH_4) + c \quad (2)$$

式中: $a, b, c$  由油包裹体均一温度直接确定。因此据式(2)可求得油包裹体饱和压力  $P_h$ 。

当均一温度与捕获温度差值较小时,饱和压力与捕获压力大致相等;Ping 等<sup>[8]</sup>假设  $T_t = T_{hoil} + 5$  (差值足够小),捕获压力也与  $x(CH_4)$  具相关性,因此捕获压力与饱和压力均是  $x(CH_4)$  的函数,便可求得等容线的斜率,进而求得其方程[式(3)],从而得到捕获时的古压力( $P_t$ ),公式如下:

$$P_t = P_h + (P_{T_{hoil}+5} - P_h) / 5 \cdot (T_t - T_{hoil}) \quad (3)$$

式中:捕获温度  $T_t$  约等于盐水包裹体均一温度  $T_{aqu}$ ;  $T_{hoil}$  为油包裹体均一温度;  $P_t$  为捕获压力;  $P_h$  为饱和压力;  $P_{T_{hoil}+5}$  为  $T_t = T_{hoil} + 5^\circ C$  时对应的捕获压力。

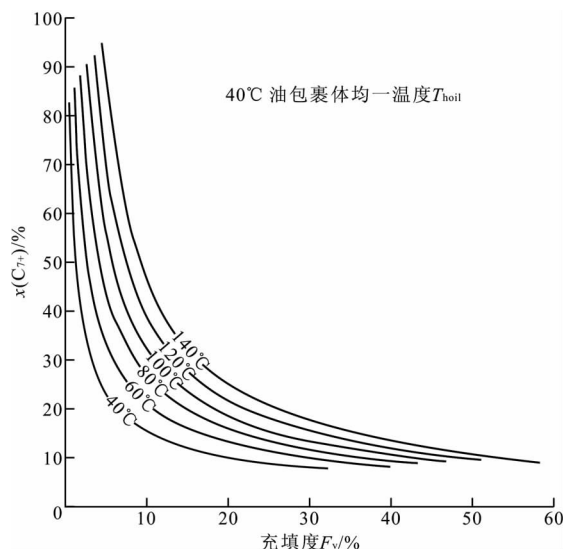


图 1 不同均一温度的油包裹体  $C_{7+}$  组分摩尔分数与充填度  $F_v$  的关系

Fig. 1 Diagram of molar content of  $C_{7+}$  vs  $F_v$  of oil inclusions which have different homogenization temperatures

综上,Ping 等<sup>[8]</sup>改进的包裹体  $PVT_x$  模拟法,抛弃了包裹体原始组分参数,仅用到油包裹体均一温度、同期盐水包裹体均一温度以及激光共聚焦扫描显微镜确定的充填度这 3 个参数,因而精度也得到了提高,而且也不用依靠传统的热动力学模拟软件,降低了成本。

## 3 $PVT_x$ 模拟在西湖凹陷平湖构造带的应用

### 3.1 地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部,是东海油气资源最为丰富的凹陷。整个凹陷呈东西分带、南北分带的特征,由东向西可划分为东部陡坡断隆带、中央洼陷一反转构造带和西部斜坡带,目前已发现了 6 个含油气构造和 8 个油气田,主要集中分布在西斜坡和中央背斜带<sup>[9]</sup>。凹陷经历了断拗期、拗陷期和整体沉降期 3 个构造演化阶段,自下而上发育宝石组( $E_2b$ ),平湖组( $E_2p$ )、花港组( $E_3h$ )、龙井组( $N_1^1l$ )、玉泉组( $N_1^2y$ )、柳浪组( $N_1^3l$ )、三潭组( $N_2s$ )及东海群( $QD$ )。目前平湖组和花港组为凹陷主要储层,平湖组海陆过渡沉积环境发育的煤系地层为凹陷主要烃源层。平湖构造带是位于西部斜坡带中段的一个三级构造单元,总体呈北东向狭长状展布,自南往北可划分为平南区、平中区及平北区,油气多集中在构造带的中北部。总体上,凹陷探明储量巨大,然而总的探明率较低,说明对该区成藏规律的认识仍然较模糊。目前对该区油气成藏模式认识不

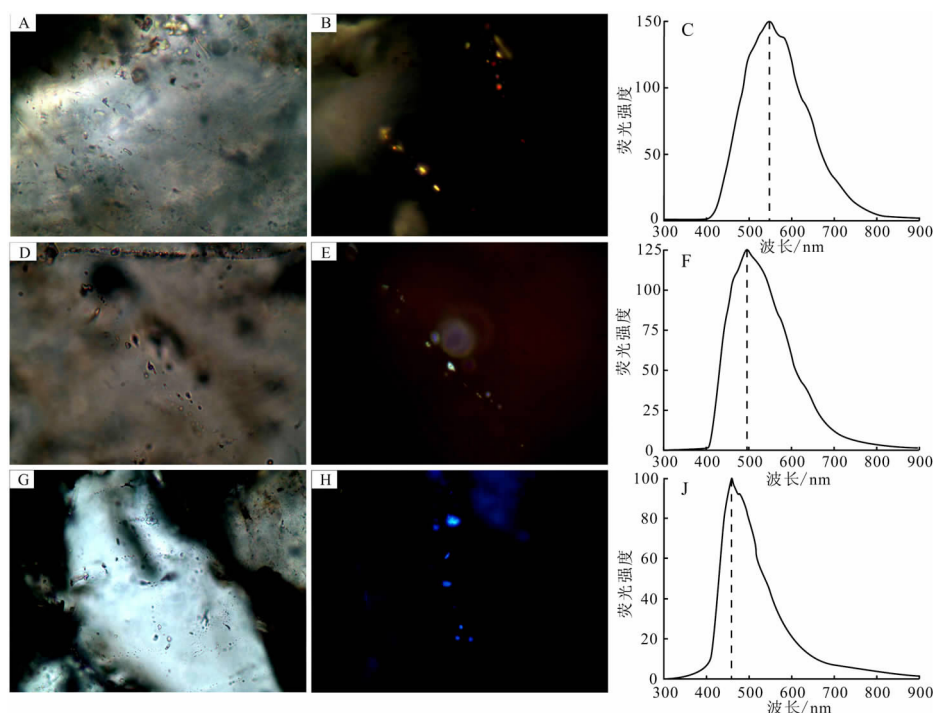
—<sup>[10-11]</sup>, 因此利用改进的包裹体  $pVTx$  模拟研究该区成藏期次和时间是十分必要的。

### 3.2 流体包裹体岩相学特征

将采集于平湖和孔雀亭油气田花港组和平湖组的 15 块岩样制成双面抛光的流体包裹体薄片, 采用 Nikon 80I 双通道荧光显微镜, 配 Linkam THMS600 液氮型冷热台和 Maya 2000 Pro 光谱仪进行了流体包裹体系统测试分析, 本次实验在中国地质大学(武汉)构造油气资源教育部重点实验室中含烃流体地质实验室完成。其中冷热台测温精度为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , 紫外光激发波长介于 330~380 nm。

流体包裹体薄片观察发现烃类包裹体主要分布在穿石英颗粒裂纹、石英内愈合裂纹和长石中, 其中平湖组岩样的烃类包裹体丰度远高于花港组, 但两者岩样烃类包裹体的同期盐水包裹体均较少发育。检测到的烃类包裹体主要有以下 5 种: 单一气

相包裹体、单一液相油包裹体、气—液两相油包裹体、沥青包裹体和气—油—水三相油包裹体, 其中前二者占烃类包裹体总数的绝大部分。烃类包裹体大小不一、形态各异, 但其大小多分布在  $1\sim 10\ \mu\text{m}$  之间, 形状主要为椭圆形、方形、三角形及不规则形。在荧光显微镜下观察发现, 油包裹体主要有橙黄色、绿色、蓝白色 3 种荧光颜色(图 2), 气包裹体在透射光下呈黑色、荧光下为弱白色。烃类包裹体的荧光光谱参数中最大主峰波长  $\lambda_{\text{max}}$ 、光谱波长 650 nm 和 550 nm 处的相对强度比值( $Q_{650/500}$ )和波长 720 nm 和波长 535 nm 所限定的面积与波长 535 nm 和波长 420 nm 所限定面积之比( $QF_{535}$ )可以反映烃类包裹体中烃类的成熟度, 这 3 个参数越大成熟度也就越高<sup>[12]</sup>, 因此基于该区烃类包裹体的 3 项荧光光谱参数结合荧光颜色认为研究区存在 3 幕油和 1 幕天然气充注(表 1)。



A, D, G 为透射光照片; B, E, H 为显微荧光照片; C, F, J 为显微光谱图; B 为穿石英颗粒裂纹中可见发橙黄色荧光油包裹体; E 为穿石英颗粒裂纹中可见发蓝绿色荧光油包裹体; H 为穿石英颗粒裂纹中可见发蓝白色荧光油包裹体

图 2 平湖构造带烃类包裹体显微照片及显微荧光光谱图

Fig. 2 The micrographs and microscopic fluorescence spectrum of hydrocarbon inclusions in Pinghu structural zone

表 1 平湖构造带烃类包裹体的荧光参数

Table 1 Fluorescence parameters of hydrocarbon inclusions in Pinghu structural zone

| 烃类包裹体 | 荧光颜色 | $\lambda_{\text{max}}$ | $Q_{650/500}$ | $QF_{535}$ |
|-------|------|------------------------|---------------|------------|
| 油包裹体  | 橙黄   | 535~548                | 0.36~0.52     | 0.85~1.57  |
| 油包裹体  | 蓝绿   | 490~516                | 0.25~0.38     | 0.66~1.13  |
| 油包裹体  | 蓝白   | 458~466                | 0.12~0.22     | 0.56~0.68  |
| 气包裹体  | 弱白   | —                      | —             | —          |

### 3.3 流体包裹体显微测温

在流体包裹体显微荧光及宿主矿物成岩次序分析的基础上, 利用冷热台对烃类包裹体及同期盐水包裹体进行了显微测温。显微测温结果表明(图 3): 平湖构造带主力储层平湖组共存在 3 幕油和 1 幕气充注, 与烃类包裹体同期的盐水包裹体共检测到 5 幕。第 1 幕油包裹体均一温度在  $82\sim 122^{\circ}\text{C}$  之间, 以发橙黄色荧光为主, 与之对应的同期盐水包裹

体均一温度介于 103~124℃ 之间,代表早期低熟油大量充注过程。第 2 幕油包裹体均一温度在 116~152℃ 之间,主要发蓝绿色荧光,与之对应的同期盐水包裹体均一温度介于 135~164℃ 之间,代表了高成熟度油大量充注过程。第 3 幕油包裹体均一温度在 118~148℃ 之间,主要发蓝白色荧光,对应的同

期盐水包裹体均一温度在 131~166℃ 之间,代表高成熟度油充注过程。第 4 幕气包裹体对应的同期盐水包裹体均一温度介于 138~169℃ 之间,反映了天然气大规模充注过程。第 5 幕盐水包裹体均一温度过高,介于 171~206℃ 之间,远高于现今地温,可能为非均一捕获或包裹体后期次生变化造成,可忽略。

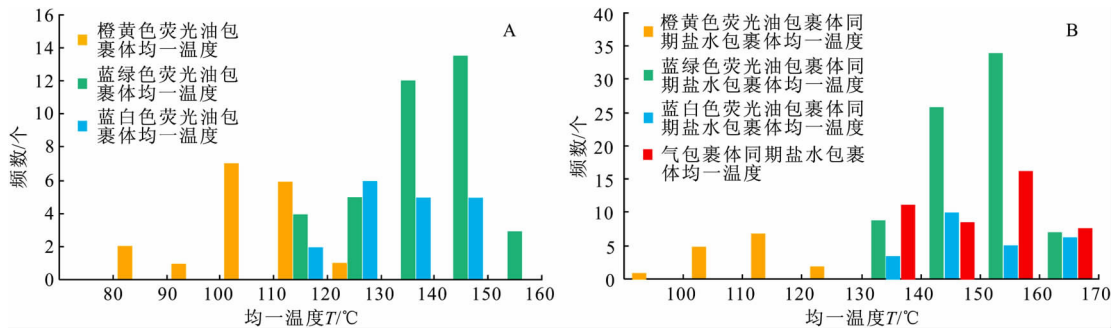


图 3 平湖组烃类包裹体(A)和同期盐水包裹体(B)均一温度

Fig. 3 The homogenization temperatures of hydrocarbon inclusions (A) and its coeval aqueous inclusions (B) in Pinghu Formation

3.4 包裹体气液比测定

激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)利用油包裹体中液体烃类受激光激发产生的荧光特征,进行逐层扫描叠加,从而恢复包裹体三维仿真模型,求得气液比。由于受到效率的约束,笔者仅挑出部分油包裹体进行了激光共聚焦二维扫描(图 4)。本次实验在中国地质大学(武汉)构造油气资源教育部重点实验室完成,其中测试仪器型号为 Leica DM5500,激发波长为 405 μm,工作电压设为 900 V;利用 LAS AF 软件进行包裹体二维图像采集,垂向采样间隔为 1 μm;使用 Feica MM AF 软件进行三维模型重构。测试过程需注意以下问题:①利用仪器测定前,先进

行预热处理;②选择适当的工作功率,避免包裹体受热影响;③选择适当的工作电压,避免荧光过强掩盖了气泡和荧光过弱导致的体积偏小。部分测试结果如表 2。

表 2 部分油包裹体激光共聚焦扫描显微镜测定的气液比  
Table 2 The gas-liquid ratio of part oil inclusions by CLSM

| 编号 | 总体积/<br>μm <sup>3</sup> | 气泡体积/<br>μm <sup>3</sup> | 液相体积/<br>μm <sup>3</sup> | 气液比/<br>% |
|----|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| 1  | 206.6                   | 22.75                    | 183.80                   | 12.38     |
| 2  | 175.4                   | 21.44                    | 154.00                   | 13.92     |
| 3  | 80.5                    | 6.90                     | 73.60                    | 9.37      |
| 4  | 27.8                    | 1.12                     | 25.66                    | 4.37      |
| 5  | 321.2                   | 14.13                    | 307.10                   | 4.60      |
| 6  | 235.8                   | 9.01                     | 226.79                   | 3.97      |
| 7  | 185.7                   | 4.92                     | 180.78                   | 2.72      |

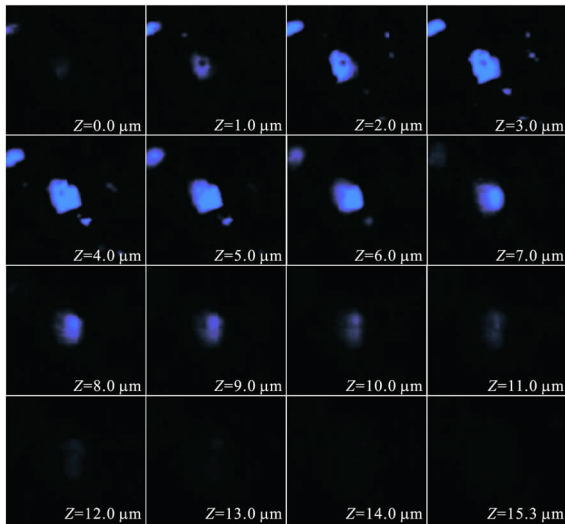


图 4 油包裹体激光共聚焦显微镜连续扫描的二维切片

Fig. 4 The two-dimensional slices of continuous scanning of oil inclusions by CLSM

3.5 包裹体 PVT<sub>x</sub> 模拟恢复古流体压力

多旋回沉积盆地中不同期次的油气充注可能具有相似的均一温度,且包裹体岩相学受薄片数量限制而难以完全反映产状,因此恢复古流体压力结合均一温度和岩相学,能够更好地划分油气成藏期次。改进的 PVT<sub>x</sub> 模拟法相比于传统方法,仅需要气液比(充填度  $F_v$ )和均一温度( $T_{hoil}$  和  $T_{aqu}$ )且不依靠模拟软件(VTfline、PVTsim、PIT 等)。通过上述介绍的计算方法,结合平湖构造带的流体包裹体各项参数得到捕获压力( $P_t$ )。表 3 是部分计算结果。

利用上述改进的 PVT<sub>x</sub> 模拟法求得的结果可知,第 1 期橙黄色荧光油气充注时包裹体被捕获的均一温度为 101.9~122.1℃,捕获压力为 25.00~28.86 MPa。第 2 幕蓝绿色油和第 3 幕蓝白色油的捕获温度和压力大致相同,可能是同时充注,但由于

本次研究进行  $PVT_x$  模拟的包裹体样本数较少,因此本文且作为一期处理,综上第2期蓝绿色和蓝白色荧光油捕获均一温度为  $145.7\sim 163.6^{\circ}\text{C}$ ,捕获压力为  $38.60\sim 44.31\text{ MPa}$ (表3和图5)。

表3 平湖构造带部分流体包裹体组合  $PVT_x$  模拟参数和结果

Table 3 The  $PVT_x$  simulation parameters and results of part fluid-inclusion assemblages in Pinghu structural zone

| 编号 | 包裹体<br>荧光颜色 | $T_{\text{hoil}}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{\text{aqu}}/^{\circ}\text{C}$ | $F_v/\%$ | $P_t/\text{MPa}$ |
|----|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|------------------|
| 1  | 橙黄          | 95.6                               | 101.9                             | 2.72     | 25.00            |
| 2  | 橙黄          | 108.3                              | 117.5                             | 3.97     | 26.34            |
| 3  | 橙黄          | 103.6                              | 110.3                             | 4.60     | 28.86            |
| 4  | 橙黄          | 114.8                              | 122.1                             | 4.37     | 24.39            |
| 5  | 蓝绿          | 126.2                              | 148.9                             | 10.34    | 38.60            |
| 6  | 蓝绿          | 118.3                              | 145.7                             | 9.37     | 41.72            |
| 7  | 蓝绿          | 131.3                              | 159.4                             | 13.29    | 42.56            |
| 8  | 蓝白          | 138.1                              | 163.6                             | 12.38    | 38.39            |
| 9  | 蓝白          | 125.7                              | 160.4                             | 11.16    | 44.31            |
| 10 | 蓝白          | 128.8                              | 158.5                             | 10.12    | 40.02            |

注:  $T_{\text{hoil}}$  油包裹体均一温度;  $T_{\text{aqu}}$  同期盐水包裹体均一温度;  $F_v$  充填度;  $P_t$  捕获压力

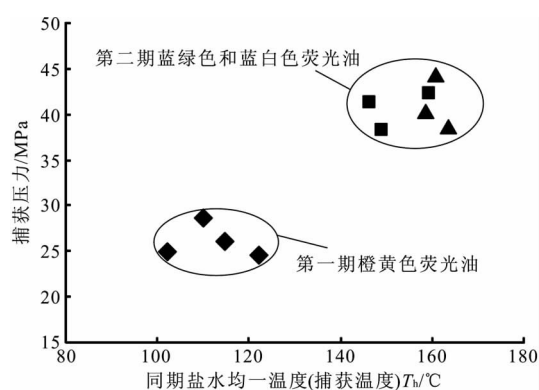


图5 平湖构造带两期油气包裹体捕获压力和温度分布图

Fig. 5 The distribution of trapping pressures and temperatures of two-stage hydrocarbon inclusions in Pinghu structural zone

### 3.6 油气充注期次及时间

研究区储层发育较丰富的烃类包裹体是平湖构造带经历了大规模油气运聚最直接的证据<sup>[2]</sup>。将平湖构造带主力储层平湖组各油气充注幕次同期盐水包裹体的均一温度投到埋藏史—热史图,便可获得油气充注年龄<sup>[13]</sup>。在前文显微荧光分析、显微测温和  $PVT_x$  模拟的基础上结合此投影法综合认为该区存在2期油气充注:第一期距今  $16.8\sim 13.2\text{ Ma}$ ,主要充注发橙黄色荧光的原油;第2期距今  $10.0\sim 0\text{ Ma}$ ,主要充注天然气和发蓝绿色、蓝白色多种荧光颜色的油,反映了不同来源、多种成因的油气充注过程(图6)。西湖凹陷平湖构造带现今储层产出油

气的密度、相态和黏度等测试结果与第2期油包裹体类型、性质最为吻合,所以第2期为主成藏期,且恢复的第2期古流体压力为异常高压。中新世龙井运动使得凹陷挤压反转抬升,储层压力可能完全泄压恢复至常压,此后第2期油气发生大规模充注,说明第2期油气的超压可能是晚期地层较快沉降引起的生烃增压所致,因此泄压带是油气有利聚集区,同时也说明研究区晚期油气充注的动力主要为超压。

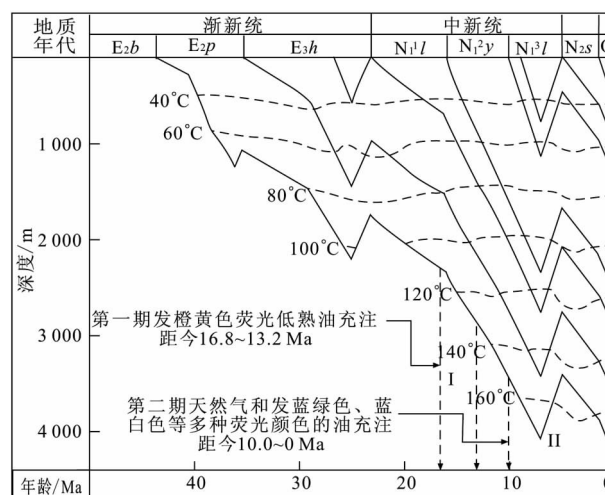


图6 平湖构造带平湖组油气充注时期

Fig. 6 The charging stages of oil and gas in Pinghu Formation in Pinghu structural zone

## 4 结 语

利用显微荧光分析、显微测温、激光共聚焦扫描显微镜精确测定了西湖凹陷平湖构造带油包裹体均一温度、同期盐水均一温度以及充填度,结合研究区地层埋藏史和改进的包裹体  $PVT_x$  模拟,综合认为平湖构造带存在2期油气充注,第1期距今  $16.8\sim 13.2\text{ Ma}$ ,主要充注发橙黄色荧光的原油,古流体压力为  $25.00\sim 28.86\text{ MPa}$ ;第2期为主成藏期,距今  $10.0\sim 0\text{ Ma}$ ,主要充注天然气和发蓝绿色、蓝白色多种荧光颜色的原油,古流体压力为  $38.60\sim 44.31\text{ MPa}$ 。

### 参考文献:

- [1] Conliffe J, Blamey N F, Feely M, et al. Hydrocarbon migration in the Porcupine Basin, offshore Ireland: Evidence from fluid inclusion studies[J]. Petroleum Geosciences, 2010, 16(1): 67-76.
- [2] 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.
- [3] Aplin A C, Macleod G, Larter S R, et al. Combined use of confocal laser scanning microscopy and  $pVT$  simulation for estimating the composition and physical properties of petroleum in fluid inclusions[J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16

- (2);97-110.
- [4] Volk H, Fuentes D, Fuerbach A, et al. First on-line analysis of petroleum from single inclusion using ultrafast laser ablation [J]. *Organic Geochemistry*, 2010, 41(2): 74-77.
- [5] Montel F. Phase equilibria needs for petroleum exploration and production industry [J]. *Fluid Phase Equilibria*, 1993, 84: 343-367.
- [6] Thiéry R, Pironon J, Walgenwitz F, et al. 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 [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(7): 847-859.
- [7] Pironon J, Canals M, Dubessy J, et al. Volumetric reconstruction of individual oil inclusions by confocal scanning laser microscopy [J]. *European Journal of Mineralogy*, 1998, 10(6): 1143-1150.
- [8] Ping H, Thiéry R, Chen H. Thermodynamic modeling of petroleum inclusions: The prediction of the saturation pressure of crude oils [J]. *Geofluids*, 2011, 11(3): 328-340.
- [9] 苏奥, 陈红汉, 王存武, 等. 东海盆地西湖凹陷油气成因及成熟度判别 [J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(5): 521-527.
- [10] 王伟, 张丽艳, 李响, 等. 平湖油气田油气成藏新模式 [J]. *海相油气地质*, 2011, 16(1): 51-55.
- [11] 苏奥, 陈红汉, 王存武, 等. 东海盆地西湖凹陷天然气来源探讨 [J]. *地质科技情报*, 2014, 33(1): 157-162.
- [12] 熊万林, 陈红汉, 云露, 等. 塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史: 以顺 9 井流体包裹体分析为例 [J]. *石油学报*, 2013, 34(2): 239-246.
- [13] 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.

## Application of *PVTx* Simulation of Fluid Inclusions to Estimate Petroleum Charge Stages and Restore Pressure: Using Pinghu Structural Belt in Xihu Depression as an Example

Su Ao<sup>1,2</sup>, Chen Honghan<sup>1</sup>, Lei Chuan<sup>3</sup>, Chen Xu<sup>2</sup>, Wang Ping<sup>1</sup>, Wu Tong<sup>1</sup>, Chen Jin<sup>1</sup>, Chen Huiqin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resource of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Geophysical Research Institute, BGP, CNPC, Zhuozhou Hebei 072751, China; 3. Shaanxi Coal Geology Oil & Gas Drilling Co. Ltd., Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Conventional *PVTx* simulation of reservoir fluid inclusions has been applied to restore trapping pressures by inclusions component, gas liquid ratio and homogenization temperature, combined by simulation software such as VTfline, PVTsim, and PIT. However, inclusions component influenced by multi-factor were not easily acquired. Taking Pinghu structural belt as an example, based on microscopic fluorescent, microthermometry and confocal laser scanning microscope, this paper introduces and applies the revised *PVTx* simulation to estimate petroleum charge stages and restore pressure. There were two stages in Pinghu structural belt. The first charging occurred in 16.8—13.2 Ma, with the oil charged mostly low mature with orange fluorescence color. The second occurred in 10.00—0.0 Ma, with the charged gas and oil with blue-green and light blue fluorescence color. Two stage pressure respectively is 25.00—28.86 MPa and 38.60—44.31 MPa. These are helpful to deepen the understanding oil and gas accumulation patterns of exploration area.

**Key words:** fluid inclusion; *PVTx* simulation; pressures; phase