

文章编号: 0254-5357(2015)05-0558-07

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2015.05.010

激光共聚焦扫描显微镜测定烃类包裹体气液比的误差校正研究

高镜涵¹, 陈勇^{1*}, 徐兴友², 黎萍², 王娟², 韩云¹

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中石化股份胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257000)

摘要: 通过烃类包裹体 PVT 模拟可以重建捕获温度和捕获压力, 气液比是影响 PVT 模拟结果的重要参数, 然而由于缺少烃类包裹体标准样品, 一直未能深入研究激光共聚焦显微镜气液比测定精度的问题。本文利用人工合成包裹体技术合成了一种用于校正激光共聚焦扫描显微镜(LSCM)测定气液比的烃类包裹体标准样品, 根据已知的合成烃类包裹体的油气组成、捕获温度和捕获压力计算出烃类包裹体的理论气液比, 并利用 LSCM 测定烃类包裹体的实际气液比, 通过计算实际测试值与理论值的差值以分析实际测定气液比的误差, 实现对激光共聚焦扫描显微镜的误差标定。实验结果证实, 高分辨率的 LSCM 测定烃类包裹体气液比的绝对误差小于 0.5%, 可以为包裹体 PVT 模拟提供精确参数。本研究肯定了 LSCM 测定烃类包裹体气液比方法的准确性, 进一步证实了烃类包裹体的 PVT 模拟结果可以为油气成藏研究提供可靠数据。

关键词: 烃类包裹体标准样品合成; 气液比; PVT 模拟; 激光共聚焦扫描显微镜; 误差校正

中图分类号: P571; P575.2 **文献标识码:** A

烃类包裹体作为流体包裹体家族中特殊的一类, 能够提供大量关于油气流体物理化学环境的信息和参数^[1], 其中烃类包裹体的气液比(F_v)是进行古流体压力 PVT 模拟的重要参数之一, 获取准确的烃类包裹体的气液比是十分重要的^[2]。激光共聚焦扫描显微镜(LSCM)分析技术是集显微技术、高速激光扫描技术与图像处理技术为一体的一项光学显微测试方法^[3], 已在细胞生物学、神经生物学等现代医学和生物研究中获得了广泛的应用^[4]。Pironon 等^[5]首次报道用激光共聚焦扫描显微镜测定烃类包裹体总体积及其气泡体积, 并通过不同测定方法的比较肯定了该技术的准确性; Aplin 等^[6]也通过该方法获取了烃类包裹体的气液比, 并应用 PVT 热力学模拟软件求得流体包裹体捕获时的捕获压力, 提高了古流体压力定量计算的精度。而 Thiéry 等^[7-8]根据 Montel^[9]提出的 α 、 β 参数限定复杂的原油组成, 估计了烃类包裹体中的组成, 并将激光共聚焦扫描显微镜测定的烃类包裹体的气相充填度与显微测温结果相结合建立了烃类包裹体的气相

充填度与温度的曲线 $F_v(T)$ 。此后, 多位学者^[10-18]在前人工作的基础上结合 PVT 模拟软件恢复了流体包裹体捕获压力, 获取了油气成藏温压条件, 并将结果应用于油气运移和油气成藏研究。

烃类包裹体在激发光照射下会发射荧光, 且包裹体内气液两相的荧光性质相异, 基于此对包裹体进行逐层扫描, 并利用软件重构烃类包裹体的三维模型, 从而求取气液比^[3,4,6,12,19]。王爱国等^[20]指出 F_v 在一定范围内会显著影响最小捕获压力的计算, 且气泡越小, 压力计算误差越大。虽然激光共聚焦扫描显微镜在地质领域尤其是油气勘探领域中的应用才刚刚起步, 但在总体上大大提高了烃类包裹体气液比的测量精度。然而, 关于该测定方法的误差一直鲜有报道, 并且由于缺少标准样品, 也未见校正方法的报道。本文介绍了一种用于校正激光共聚焦扫描显微镜测定气液比的烃类包裹体标准样品的合成方法, 并将标准样品应用于激光共聚焦扫描显微镜的误差标定, 评价了该方法的可靠性。

收稿日期: 2015-06-13; 修回日期: 2015-07-28; 接受日期: 2015-09-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41172111); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(SD2013211151)

作者简介: 高镜涵, 硕士研究生, 地质工程专业。E-mail: gjh0465@163.com。

通讯作者: 陈勇, 博士, 副教授, 主要从事盆地流体分析和油气地球化学研究工作。E-mail: yongchenzy@upc.edu.cn。

1 烃类包裹体标准样品的制备

对人工合成流体包裹体样品的研究可以加深对天然包裹体形成过程的认识和了解,验证与流体包裹体形成机制有关的一些假设^[21~22]。目前,无机体系流体包裹体的合成方法已比较成熟,而人工合成烃类包裹体的研究起步较晚,还处于发展完善阶段^[21]。Pironon等^[23]在常温常压下利用无机盐溶液过饱和结晶的方法合成了标定的烃类包裹体样品,但其温度不恒定,其合成包裹体不能作为标准样品。本文在此方法的基础上进行了改进,过程如下。

本次选择常压低温石盐晶体生长合成烃类包裹体的方法,实验温度设定为80℃,压力为常压(1×10^5 Pa),实验周期为7 d左右,实验中所用的水均为去离子水。所用标准油样由胜利油田地质科学研究院提供,分别取自王斜731井(低熟油)、王102井(高熟油),油品的组分通过气相色谱-质谱分析获得,各组分含量由PVT模拟利用软件换算得出,原油组成和含量列于表1。由于合成实验压力是 1×10^5 Pa,所以理论上均一捕获的烃类包裹体均一温度也应该为80℃,对于均一温度偏离这个数值的包裹体,不作为研究对象。

标准样品制备流程如图1所示,该方法步骤简单,可操作性强,易于推广。具体步骤如下:①在250 mL烧杯中配制80℃下的饱和氯化钠溶液,用塑料膜封好烧杯口,并在塑料膜扎好孔以便放置玻璃管;切割玻璃管,清洗烘干;②将直径约5 mm,长度约150 mm的玻璃管插入油样中吸取5~10 mm油样,迅速将玻璃管插入装有饱和氯化钠溶液的烧杯中,距杯底约10 mm处封好固定;③将烧杯放入烘箱中蒸发一个实验周期,烘箱温度恒定在80℃,整个实验过程中烘箱不被打开,待烧杯中只余很少溶液,底部出现大量氯化钠晶体时从烘箱取出,自然冷却;④挑选玻璃管周围结晶较好的氯化钠晶体放入小烧杯中,先用三氯甲烷,后用无水乙醇在超声清洗机里进行多次清洗,晾干;⑤用502胶水将氯化钠晶体固结在载玻片上,静置使其充分固结;⑥用Buehler低速精密切割机将氯化钠晶体切割成厚度0.5 mm左右的薄片,切割刀片的冷却液选择无水乙

表1 原油组成和含量

Table 1 The composition and content of crude oil

原油组成	含量(%)		原油组成	含量(%)	
	王102井	王斜731井		王102井	王斜731井
丙烷	0.001	0.001	正十九烷	3.417	3.141
异丁烷	0.008	0.005	正二十烷	3.555	3.674
正丁烷	0.100	0.021	正二十一烷	2.834	2.825
异戊烷	0.627	0.094	正二十二烷	3.395	3.478
正戊烷	1.139	0.109	正二十三烷	3.605	3.970
己烷	7.190	1.623	正二十四烷	3.534	4.068
苯	0.984	0.016	正二十五烷	2.677	3.310
正庚烷	6.503	2.552	正二十六烷	2.564	3.109
正辛烷	1.930	0.759	正二十七烷	1.916	2.609
正壬烷	2.010	1.025	正二十八烷	2.190	2.856
正癸烷	2.259	1.119	正二十九烷	1.680	2.434
正十一烷	2.390	1.305	正三十烷	1.983	3.500
正十二烷	2.326	1.531	正三十一烷	1.200	2.011
正十三烷	3.137	2.526	正三十二烷	1.047	1.459
正十四烷	3.437	2.975	正三十三烷	1.027	1.816
正十五烷	3.634	3.375	正三十四烷	0.625	0.934
正十六烷	3.880	3.504	正三十五烷	0.390	0.566
正十七烷	3.706	3.716	正三十六烷	0.305	0.445
姥鲛烷	3.330	4.999	正三十七烷	0.558	0.964
正十八烷	4.004	3.945	正三十八烷	0.311	0.628
植烷	8.594	17.004			

醇;⑦分别在砂纸和抛光绒布上对切割好的样品进行打磨抛光,用无水乙醇作为润湿剂,超声波清洗;⑧将制好的氯化钠晶体样品薄片在紫外荧光显微镜下进行观察,挑选出气液两相烃类包裹体的样品,以备激光共聚焦扫描显微镜分析。

2 激光共聚焦扫描显微镜气液比测定误差标定

2.1 烃类包裹体气液比理论值计算

在高温高压条件下,如果矿物在形成或生长时所捕获的流体为均匀的单一相,流体相可以充满整个包裹体空腔。但是随着温度、压力的下降,流体相会发生相分离,因包裹体中不同流体的收缩系数不同(密度变化不同),就会产生气泡。对于烃类包裹体,由于油样的成分复杂,可以采用热力学状态方程计算。本次热力学模拟计算采用Peng-Robinson状态方程,该方程是描述真实气体P-V-T状态的方程之一,除了能计算气相体积之外,还可用于表达

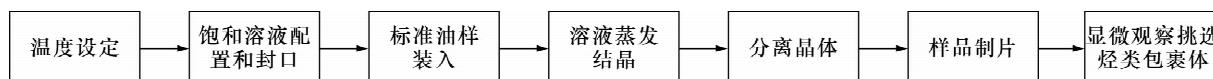


图1 烃类包裹体标准样品制备流程

Fig. 1 The preparation process of standard hydrocarbon inclusion samples

气液平衡,是一个能用于气、液两相的状态方程,在计算饱和蒸气压、饱和液体密度和气液平衡等方面都有相对较高的准确度。由于标准样品合成压力为常压,所以烃类包裹体标准样品中的气泡只是因为温度降低引起流体密度变大收缩形成的。因为包裹体的体积变化可以忽略,只要计算出实验温度和实验室温度下的烃类流体密度差值,就可以计算出烃类包裹体的理论气液比。

由于包裹体可以看作封闭体系,假设包裹体的质量和体积在这个过程中没有发生变化,烃类包裹体理论气液比的计算过程如下:

$$m = V_1 \rho_1 \quad (1)$$

$$m = V_2 \rho_2 \quad (2)$$

变形后:

$$\rho_1 = m / V_1 \quad (3)$$

$$\rho_2 = m / V_2 \quad (4)$$

式中: V_1 、 ρ_1 分别为包裹体均一捕获时内部液态烃的体积和密度; V_2 、 ρ_2 分别为常温下(冷却后)流体包裹

体变为气液两相时液态烃的体积和密度。那么,气相体积为二者之差($V_1 - V_2$)。

降温后,烃类的密度发生了变化,根据公式换算,通过密度变化百分数即可求得体积变化百分数,气相与液相的体积比(R)可表示为:

$$R = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100\% = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \times 100\% \quad (5)$$

由此可见,前后体积发生了变化即形成了气泡,近似将体积变化量看成是气泡的体积,由此可得同类包裹体的气液比。不同温度压力下的液相烃类密度由 Peng – Robinson 状态方程计算获得。

2.2 烃类包裹体气液比实验值测定

在透射光和紫外荧光下尽量挑选出形态较为规则的、周边无其他荧光干扰的单独存在的气液两相烃类包裹体,均一温度接近 80℃ 的包裹体作为分析对象,如图 2 所示。

共聚焦显微镜选择 488 nm 的激光,设定激光强度为 90,层间距为 0.2 μm,进行样品的实时预览

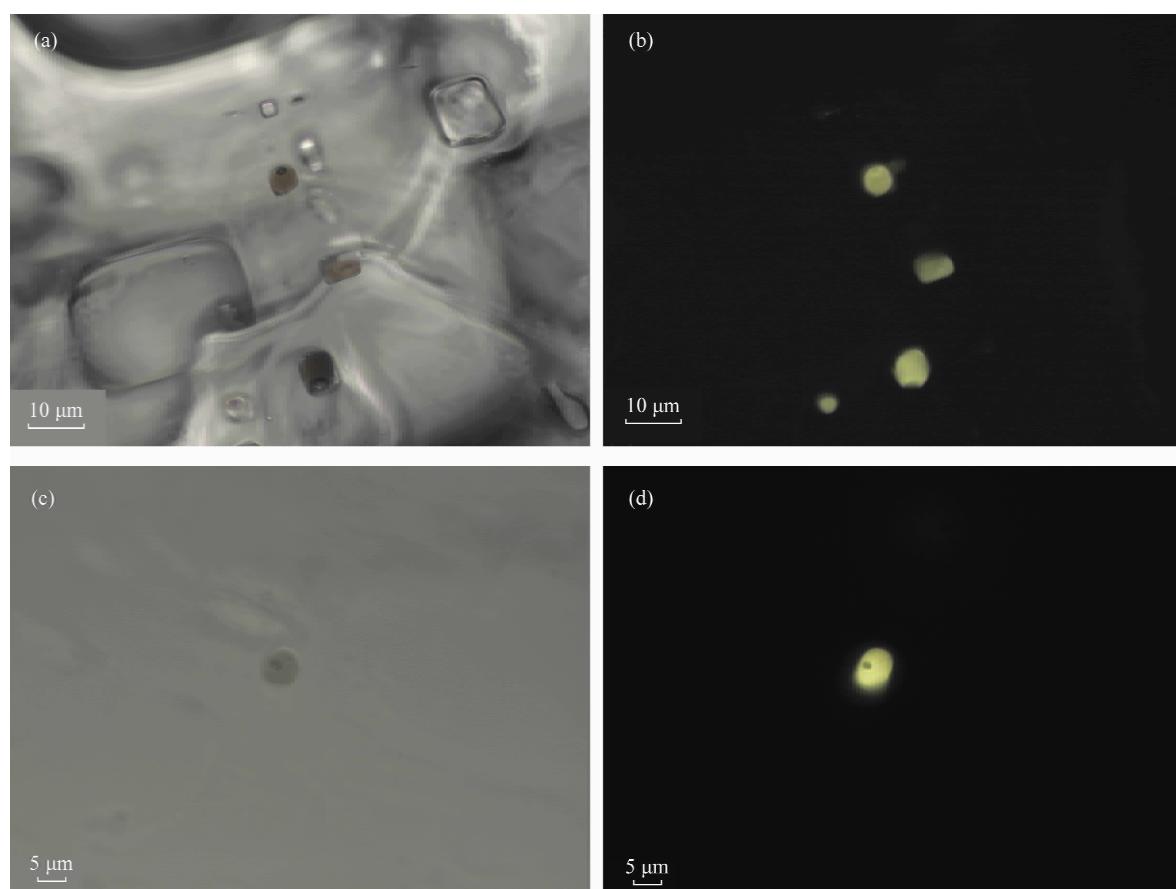


图 2 烃类包裹体的透射光和荧光特征

Fig. 2 Transmitted light and fluorescence characteristics of hydrocarbon inclusions

(a),(b)—王 102 井;(c),(d)—王斜 731 井。

时, 根据图像中烃类包裹体的荧光强度调整 Pinhole 值、Gain 值等参数, 通过调焦确定烃类包裹体的顶底界面, 在透射光及荧光下以层间距沿 z 轴进行不同深度切片, 利用三向坐标标定三维立体图像的液相边界, 根据标定的液相边界, 通过 3DforLSM 软件可以计算出烃类包裹体中液相的体积。利用激光共聚焦扫描显微镜可以精确地获取烃类包裹体中气相

的直径, 根据球体体积计算公式, 计算出包裹体中气相的体积, 气相与液相体积比值即得出烃类包裹体的气液比。

气液比的测试值与理论值列于表 2, 通过计算实际测试值与理论值的差值, 分析实际测定的误差, 从而对仪器进行标定。

表 2 烃类包裹体气液比的实验测试值与理论值比较

Table 2 A comparison of theoretical and actual vapour/liquid ratio of hydrocarbon inclusions

样品井名	实验测试值				理论计算值			气液比测试值与理论值的比较	
	气相直径 (μm)	气相体积 (μm ³)	液相体积 (μm ³)	气液比 (%)	20℃密度 (g/cm ³)	80℃密度 (g/cm ³)	气液比 (%)	绝对误差 (%)	相对误差 (%)
王 102	7.81	249.431	6015	4.15	0.7844	0.7498	4.41	0.26	5.89
王斜 731	3.56	23.623	788.8	2.99	0.8105	0.7789	3.07	0.08	2.60

3 激光共聚焦扫描显微镜测定气液比的误差来源分析

从表 2 中可以看出, 烃类包裹体气液比的理论值与实际测试值之间的绝对误差均低于 0.5%, 满足古压力恢复参数的精度要求。关于烃类包裹体气液比测量精度对古压力恢复的影响这一问题, Aplin 等^[6]曾进行测试, 结果显示: 气体体积比每增大 1%, 饱和压力计算值增加约 2 MPa, 这样的压力误差对沉积盆地压力系数计算的影响不容忽视。王爱国等^[23]也计算了同一初始组分同一油/水伴生包裹体组合不同 F_v 时的最小捕获压力, 发现 F_v 在一定范围内会显著影响计算结果, 并且气泡越小压力计算误差越大。经过校正后的气液比用于计算捕获压力, 其误差可以控制在 1 MPa 左右, 提高了 PVT 模拟计算的精度。

虽然经过校正后的气液比精度有所提高, 但是仍存在一些导致误差的因素, 主要包括激光共聚焦扫描显微镜的仪器误差和理论计算误差两个方面。

3.1 仪器误差

Aplin 等^[6]认为激光共聚焦扫描显微镜对烃类包裹体内部结构成像的准确性受如下因素控制: ① 显微镜的固有局限, 包括激光的光斑尺寸和其垂直分辨率; ② 相比于无荧光的气泡和矿物, 发荧光的液体边界很亮, 致使不能准确界定气相边界; ③ 气泡成像为椭圆, 沿着 z 轴被拉长了。他们认为气泡的真实形状可能近似于一个球体, 但这也取决于包裹体的表面形态和气泡相对于包裹体表面的位置。Pironon 等^[5]使用石油的一个正烷烃假设成分, 并且比较了不同图像处理和计算程序的结果, 证实用该

方法测定烃类包裹体内气泡体积的准确度高于 95%; 同时他也指出, 由于具有精确体积的烃类包裹体并不存在, 故精度还不能准确地确定。Pironon 等^[5]将激光共聚焦扫描显微镜对烃类包裹体研究可行性的初步测试应用于较大的包裹体(80 μm), 提出若空间分辨率低于或者等于 1 μm, 可以容易地测量储层中常见的更小的包裹体(20 μm)。此后, Thiéry 等^[7]也提出激光共聚焦扫描显微镜的高分辨率(x 或 y 轴 0.1 μm, z 轴 0.3 μm)可以估计非常微小的包裹体(>3 μm)的体积, 且该测量方法的精确度约为 ±5%。可见, 仪器分辨率的大小在气液比测定的精确度方面起着至关重要的作用。本次验证实验所用的共聚焦显微镜的分辨率为 0.2 μm, 可保证包裹体气液比测试值的准确性。

3.2 理论计算误差

Peng – Robinson 状态方程可用于烃类体系相平衡及其他热力学性质的计算, 该方程存在的缺点是所得出饱和液体的体积有一定误差, 导致饱和液体密度的预测不甚准确, 一般情况下表现为烃类组分(甲烷除外)液相密度的预测值普遍小于实测数据^[24]。为了提高密度的计算精度, 本研究选用了 Peng – Robinson – Peneloux (PRP) 方程进行模拟计算, 此方程采用了体积校正, 具有足够的精度, 可以满足实际应用的要求。在本次验证实验理论计算过程中存在的误差主要来自组分的选取, 计算时未考虑烃类组分的正异构方面, 只计算了具相同碳数的各烃类组分总的摩尔百分比, 导致烃类组分液相密度的计算结果存在偏差, 可能对气液比的理论值计算有一定影响。

此外,根据气相与液相间的压力差、液相表面张力以及气泡自身的吉布斯自由能等,气泡的半径不仅受温度的影响而且还受包裹体大小的影响。相对于尺寸大的包裹体来说,尺寸小的烃类包裹体在进行激光共聚焦气液比测定时存在的误差要大。

4 结论

(1)利用人工合成包裹体技术合成了一种烃类包裹体标准样品,这种方法便捷实用,可操作性强。结果证实,人工合成烃类包裹体标准样品可以用来校正激光共聚焦扫描显微镜,经过校正,可以明确激光共聚焦扫描显微镜测定烃类包裹体气液比的误差范围。

(2)通过标准样品标定结果显示,具有高分辨率的激光共聚焦扫描显微镜可以获得高精度的烃类包裹体气液比数据,可以为包裹体PVT模拟提供精确参数,对于确定地质历史时期油气运移与聚集过程具有重要意义。

(3)烃类包裹体气液比校正的误差主要来自仪器和理论计算两个方面。激光共聚焦扫描显微镜的误差主要取决于仪器的分辨率,理论计算选取的状态方程自身存在的误差以及所测定烃类包裹体的尺寸等因素也对其有一定的影响。但只要仪器精度高,且选择的烃类包裹体尺寸较大,可以减小这些误差的影响,基本不影响PVT模拟结果。

5 参考文献

- [1] 张志坚,张文淮.有机包裹体的研究现状[J].地质科技情报,1995,14(3):39-43.
Zhang Z J, Zhang W H. Current Research Status of Organic Inclusions [J]. Geological Science and Technology Information, 1995, 14(3):39 - 43.
- [2] 周振柱,周瑶琪,陈勇,等.一种获取流体包裹体气液比的便捷方法[J].地质论评,2011,57(1):147-152.
Zhou Z Z, Zhou Y Q, Chen Y, et al. A Convenient Method to Obtain Vapour/Liquid Ratio of Fluid Inclusions [J]. Geological Review, 2011, 57(1):147 - 152.
- [3] 孙先达,索丽敏,张民志,等.激光共聚焦扫描显微检测技术在大庆探区储层分析研究中的新进展[J].岩石学报,2005,21(5):1479-1488.
Sun X D, Suo L M, Zhang M Z, et al. New Progress of Confocal Laser Scanning Microscopic Detection Technology in the Research of Reservoir Analysis of Daqing Exploration Area [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(5):1479 - 1488.
- [4] 王存武,邹华耀,姜丽娜,等.激光扫描共聚焦显微镜精确测量有机包裹体气液比方法研究[J].现代科学仪器,2008,1:20-22.
Wang C W, Zou H Y, Jiang L N, et al. Research of Using Confocal Laser Scanning Microscope to Accurately Measure the Vapour/Liquid Ratio of Organic Inclusions [J]. Modern Scientific Instruments, 2008, 1:20 - 22.
- [5] 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.
- [6] 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, 16:97 - 110.
- [7] Thiéry R, Pironon J, Walgenwitz F, et al. PIT (Petroleum Inclusion Thermodynamic): A New Modeling Tool for the Characterization of Hydrocarbon Fluid Inclusions from Volumetric and Microthermometric Measurements [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69 - 70: 701 - 704.
- [8] 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.
- [9] Montel F. Phase Equilibria Needs for Petroleum Exploration and Production Industry [J]. Fluid Phase Equilibria, 1993, 84:343 - 367.
- [10] Teinturier S, Pironon J, Walgenwitz F. Fluid Inclusions and PVTX Modelling: Examples from the Garn Formation in Well 6507/2-2, Haltenbanken, Mid-Norway [J]. Marine and Petroleum Geology, 2002, 19 (6): 755 - 765.
- [11] Liu D H, Xiao X M, Mi J K, et al. 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 [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(1):29 - 43.
- [12] 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等.利用储层流体包裹体的PVT特征模拟计算天然气藏形成古压力——以鄂尔多斯盆地古生界深盆气藏为例[J].中国科学(D辑),2003,33(7):679 - 685.
Mi J K, Xiao X M, Liu D H, et al. Using the PVT Characteristics of Fluid Inclusions in Reservoir to

- Simulate and Calculate Ancient Formation Pressure of Natural Gas—A Case Study of Upper Palaeozoic Deep Basin Gas Reservoir of Ordos Basin [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(7): 679–685.
- [13] 平宏伟,陈红汉,宋国奇. 单个油包裹体组分预测及其在油气成藏研究中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2012,37(4):815–824.
Ping H W, Chen H H, Song G Q. Prediction of Composition of Single Oil Inclusion and Its Application in the Study of Hydrocarbon Accumulation [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2012,37(4):815 – 824.
- [14] 平宏伟,陈红汉. 石油包裹体热力学模拟古压力改进:饱和压力预测和体积校正[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2013,38(1):143 – 155.
Ping H W, Chen H H. Improvement of the Simulation of Ancient Pressure Using Oil Inclusions Thermokinetics: Prediction of Saturation Pressure and Volume Correction [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2013,38(1):143 – 155.
- [15] 平宏伟,陈红汉. 甲烷摩尔含量约束的石油包裹体捕获压力预测模型[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2014,39(1):79 – 90.
Ping H W, Chen H H. The Model Used for Predicting the Trapping Pressure of Oil Inclusions Constrained by the Mole Content of Methane [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2014,39(1):79 – 90.
- [16] 陈红汉,董伟良,张树林,等. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):207 – 211.
Chen H H, Dong W L, Zhang S L, et al. Application of Fluid Inclusions in the Study of Ancient Pressure Simulation [J]. Oil & Gas Geology, 2002,23(3):207 – 211.
- [17] 毛毳,陈勇,周瑶琪,等. 储层烃类包裹体类型识别与PVT模拟方法[J]. 岩矿测试,2010,29(6):751 – 756.
Mao C, Chen Y, Zhou Y Q, et al. Type Recognition of Hydrocarbon Inclusions in Reservoir and PVT Simulation Methods [J]. Rock and Mineral Analysis, 2010,29 (6): 751 – 756.
- [18] 刘德汉,官色,刘东鹰,等. 江苏句容—黄桥地区有机包裹体形成期次和捕获温度、压力的PVTsim模拟计算[J]. 岩石学报,2005,21(5):1435 – 1448.
Liu D H, Guan S, Liu D Y, et al. Formation Period of Organic Inclusions and PVTsim Simulation Computation of Trapping Temperature, Pressure in Huang Qiao area of Jurong, Jiangsu [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(5):1435 – 1448.
- [19] 苏奥,陈红汉,雷川,等. 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[J]. 地质科技情报,2014,33(6):137 – 142.
Su A, Chen H H, Lei C, et al. Using Fluid Inclusions PVT_x Simulation to Study Oil and Gas Filling Period of Time and Recover Ancient Pressure: A Case Study of Pinghu Tectonic Zone of Xihu Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33 (6): 137 – 142.
- [20] 王爱国,吴小宁,蒲磊,等. 对VTflinc软件计算流体包裹体最小捕获压力方法中参数的研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(1):25 – 32.
Wang A G, Wu X N, Pu L, et al. The Study of the Parameters of VTflinc Software for Computating the Minimum Trapping Pressure of Fluid Inclusions [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(1):25 – 32.
- [21] 倪培,王一刚. 人工合成烃类包裹体的实验研究[J]. 岩石学报,2007,23(9):2033 – 2038.
Ni P, Wang Y G. Experimental Study of Synthetic Hydrocarbon Inclusions [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007,23 (9):2033 – 2038.
- [22] 陈勇,葛云锦,周振柱. 实验研究碳酸盐岩储层烃类包裹体不混溶捕获行为[J]. 地球化学,2011,40(6):536 – 544.
Chen Y, Ge Y J, Zhou Z Z. Experimental Research on the Immiscible Capture Behavior of Hydrocarbon Inclusions in Carbonate Reservoir [J]. Geochimica, 2011,40(6):536 – 544.
- [23] Pironon J. Synthesis of Hydrocarbon Fluid Inclusions at Lower Temperature [J]. The American Mineralogist, 1990,75:226 – 229.
- [24] 梁平,王治红,李志铭,等. 基于SRK状态方程的烃类液相密度计算校正[J]. 西南石油大学学报,2009,31(3):118 – 120.
Liang P, Wang Z H, Li Z M, et al. Correction of Density Calculation of Hydrocarbon Liquid Phase Based on the SRK Equation of State [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2009,31(3):118 – 120.

Error Correction of Vapour/Liquid Ratio of Hydrocarbon Inclusions Measured by Confocal Laser Scanning Microscope

GAO Jing-han¹, CHEN Yong^{1*}, XU Xing-you², LI Ping², WANG Juan², HAN Yun¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

2. Geological Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: PVT simulation of hydrocarbon inclusions can be used to reconstruct trapping temperature and pressure. Vapour/liquid ratio is an important parameter affecting PVT simulation. However, due to the lack of a hydrocarbon inclusion standard, the accuracy of the vapour/liquid ratio measured by Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM) has not been investigated. In this paper it is proposed that a synthetic hydrocarbon inclusion standard can be used for correcting CLSM and the theoretical vapour/liquid ratio of hydrocarbon inclusions can be calculated based on the known hydrocarbon composition, trapping temperature and pressure. The actual vapour/liquid ratio can be obtained by CLSM. The differences between the actual values and theoretical values can be used to calculate the error of actual vapour/liquid ratio, so as to complete the error calibration of CLSM. Experimental results confirm that the absolute error of CLSM with high resolution is less than 0.5%, and thus CLSM can provide accurate parameters for the PVT simulation of inclusions. This study affirms the accuracy of CLSM for determining the vapour/liquid ratio of hydrocarbon inclusions, and further confirms that PVT simulation of hydrocarbon inclusions can provide reliable data for hydrocarbon accumulation.

Key words: synthesis of standard hydrocarbon inclusion samples; vapour/liquid ratio; PVT simulation; Confocal Laser Scanning Microscope; error correction