

葛云锦,陈勇,周瑶琪,等. 实验模拟碳酸盐岩储层包裹体对油气充注的响应[J]. 地球科学进展, 2011, 26(10): 1 050-1 056. [Ge Yunjin, Chen Yong, Zhou Yaoqi, et al. Experimental simulation of fluid inclusion response to hydrocarbon charge in carbonate reservoir[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(10): 1 050-1 056.]

# 实验模拟碳酸盐岩储层包裹体对油气充注的响应\*

葛云锦<sup>1,2</sup>, 陈勇<sup>2\*</sup>, 周瑶琪<sup>2</sup>, 周振柱<sup>2</sup>

(1. 延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075;

2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555)

**摘要:**设计了一系列不同油水比(3/7, 5/5, 7/3, 9/1)的实验,以冰洲石为主矿物合成了烃类包裹体,为探讨碳酸盐岩烃类流体包裹体的形成机制提供了一条有效途径。镜下观察及显微荧光分析发现:样品中合成的包裹体沿裂隙分布,表明微裂隙愈合过程中捕获包裹体,烃类和盐水包裹体既同时出现在同一裂隙中,又有分带出现的情况。样品中合成的烃类包裹体数量随油水升高而增多。烃类包裹体所发荧光与实验原油荧光特征一致。显微测温研究显示:不同油水比条件下形成的包裹体均一温度并无明显差异,油气饱和度不是包裹体均一温度的主要影响因素,均一温度受压力及气液相成分影响。实验结果显示,油气对晶体生长和包裹体的形成有抑制作用,但不会终止其形成。油气包裹体的大量形成对应着油气充注的关键时期。油水不混溶造成烃类包裹体和盐水包裹体分带出现。

**关键词:**油气充注;烃类包裹体;人工合成;碳酸盐岩;裂隙愈合

中图分类号:P618.130.2

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2011)10-1050-07

含油气条件下的成岩作用一直存在争议,有学者认为石油充满储层会抑制成岩作用致使储层矿物停止生长<sup>[1~5]</sup>;有些认为油侵不会中断矿物胶结作用<sup>[6~9]</sup>;有学者研究证明油气聚集不会使储层成岩作用终止,但是有一定程度的影响<sup>[10~12]</sup>。针对碳酸盐岩储层主矿物方解石,也有研究证明油气存在的情况下矿物仍在生长并捕获油气及盐水包裹体<sup>[12~18]</sup>。但这些实验的油水比较低,只能解释油气饱和度较低的情况。倪培等<sup>[12]</sup>以冰洲石为主矿物,在温度为110℃、油水比为72%的条件下做了合成包裹体的实验,结果没有烃类包裹体的生长。高油气饱和度会对储层矿物成岩作用产生什么影响?会

不会使矿物生长完全终止? 这些问题都没有合理的解释。由于矿物中流体包裹体的形成过程实际上记录了水-岩作用的过程,因此,本文设计了油水比从低到高的条件下在方解石中人工合成烃类包裹体的实验,寻找烃类包裹体形成的边界条件,希望实验结果能够为储层矿物成岩作用研究提供更多的依据。

## 1 实验过程

### 1.1 实验方案

人工合成碳酸盐岩烃类包裹体实验采用裂隙愈合的方法,人为使冰洲石产生微裂隙,加入重质原

\* 收稿日期:2011-04-18;修回日期:2011-08-11.

\* 基金项目:国家自然科学基金项目“碳酸盐岩烃类包裹体捕获机制及其成岩成藏响应:来自实际储层温压条件的人工合成包裹体证据”(编号:40902040);中央高校基本科研业务费专项资金项目“储层流体包裹体形成机制与分析方法研究”(编号:10CX05004A);中国石油科技创新基金项目“淮南霍一玛一吐构造带油气成藏过程流体示踪研究”(编号:2010D-5006-0106)资助。

作者简介:葛云锦(1981-),男,安徽怀远人,博士研究生,主要从事油藏地球化学研究。E-mail:upegyj@163.com

\* 通讯作者:陈勇(1976-),男,四川安岳人,副教授,主要从事流体包裹体和油气地球化学研究。E-mail:yongchenzy@upc.edu.cn

油、NaCl 溶液及碳酸钙粉末,合成流体包裹体。本次实验采用不同的油水比:3/7、5/5、7/3、9/1,NaCl 溶液浓度为 5% (质量百分比),实验温压条件为 150 °C、40 MPa,接近 4 000 m 储层的温压条件。采用接近实际储层温压条件的目的是通过合成实验分析储层中不同油气饱和度情况对碳酸盐岩成岩作用及烃类包裹体形成的影响。合成实验的具体参数如表 1 所示。

## 1.2 实验过程

实验采用冰洲石作为主矿物,主矿物中包裹体较少。将晶体切割成尺寸合适的小四方短柱,放入去离子水中进行超声波清洗,以清除其表面的杂物,确保实验中不带入外界物质,减少干扰。将冰洲石晶体短柱加热至 450 °C,使原生包裹体爆裂,然后迅速投入去离子水中淬火冷却使其产生微裂隙。选取一定长度的圆柱状金管,一端封闭后,加入原油、碳酸钙粉末及 NaCl 溶液,最后放入已经产生微裂隙的冰洲石短柱。本次实验所用原油是由中国石油大学重质油国家重点实验室提供的重质原油,密度较大,为 0.9320 g/cm<sup>3</sup>,原油成熟度不高。

合成包裹体实验在中国石油大学(华东)油气资源与环境地质研究所的高温高压实验室完成。实验室备有已产生人工裂隙的冰洲石晶体短柱及金管(外径约 5 mm,壁厚约 0.2 mm,长度约 5 cm)若干,金管已经清洗并烘干待用。

## 2 实验结果

### 2.1 镜下及荧光特征

通过显微镜下观察分析,可以了解包裹体的产状、相态、大小、形状、颜色、共生关系等特征,这是流体包裹体研究的基础工作。而烃类包裹体在受到紫外光、紫光或蓝光照射时,会在极短的时间内发射出比照射光波长更长的荧光,荧光分析成为分辨烃类包裹体和水溶液包裹体的有效方法。实验后,将冰洲石样品取出,清洗干燥后制备成包裹体薄片在偏光显微镜和荧光显微镜下进行观察,在几个样品中均可以看到有包裹体形成,合成包裹体的特征描述如下:

(1) 样品中合成的包裹体大致沿裂隙成线状分布(图 1a),明显可见裂隙愈合痕迹,表明是微裂隙愈合过程中捕获形成的包裹体。

(2) 包裹体总体比较大,大小在 10 ~ 80 μm 之间,多为两相,气液比在 10% ~ 30% 之间,有的形状规则,如长条形等,有的形状比较不规则(图 1g)。

人工合成的烃类包裹体有的液相为黄色,气泡呈黑色,有的液相为无色,气泡黑色。人工合成的盐水包裹体液相透多为无色透明。

表 1 实验方案简表  
Table 1 Experiment design

样品编号	1	2	3	4
金管质量/g	3.2916	3.1641	3.1786	3.2691
方解石质量/g	0.2053	0.2445	0.2559	0.2437
$M_{CaCO_3}/g$	0.0218	0.0207	0.0191	0.0212
油水比	3/7	5/5	7/3	9/1
$V_{油}/mL$	0.0672	0.105	0.144	0.189
$V_{水}/mL$	0.1568	0.105	0.0616	0.021
装样后质量/g	3.7224	3.6468	3.6496	3.7338
样品焊后质量/g	3.7220	3.6453	3.6485	3.7326
样品干燥后质量/g	3.7218	3.6453	3.6484	3.7324
样品出炉后质量/g	3.7345	3.6474	3.6488	3.7327
实验温度/°C	150	150	150	150
实验压强/MPa	40	40	40	40
盐度/%	5	5	5	5
时间/d	15	15	15	15

(3) 包裹体既可以沿裂隙分布,也可以沿方解石解理分布。在一条裂隙中既有烃类包裹体,也有盐水包裹体,但二者一般分带分布,界面也较清楚(图 1d、f)。

(4) 通过几个样品的观察、统计和比较发现,随着油水比的升高,样品中合成烃类包裹体总数呈逐渐增多趋势,至 70% 达到最高,高于此值的样品中烃类包裹体数量又开始减少,而且多为单个出现,成片出现的包裹体减少,油水不混溶包裹体增多(图 2)。

### 2.2 显微测温分析

在显微镜下观察且在荧光照片的基础上,在样品中选取两相盐水和烃类包裹体进行显微测温分析,显微测温在中国石油大学地球化学与岩石圈动力学实验室完成,使用仪器为 Linkam THMS 600 型冷热台。大部分盐水包裹体均一温度低于试验设定温度,在 120 °C 左右出现峰值,也有少数包裹体因为捕获不均一流体,其均一温度高于设定温度。大部分烃类包裹体均一温度低于同期盐水包裹体,不均一捕获的烃类包裹体均一温度高于设定温度。盐水包裹体均一温度直方图如图 3 所示。

实验合成的与烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度特征显示,每一个温压条件下的样品中盐水包裹体的均一温度都呈现一期峰值,且与实验设定温度存在一定差值。这种盐水包裹体实测温度小于

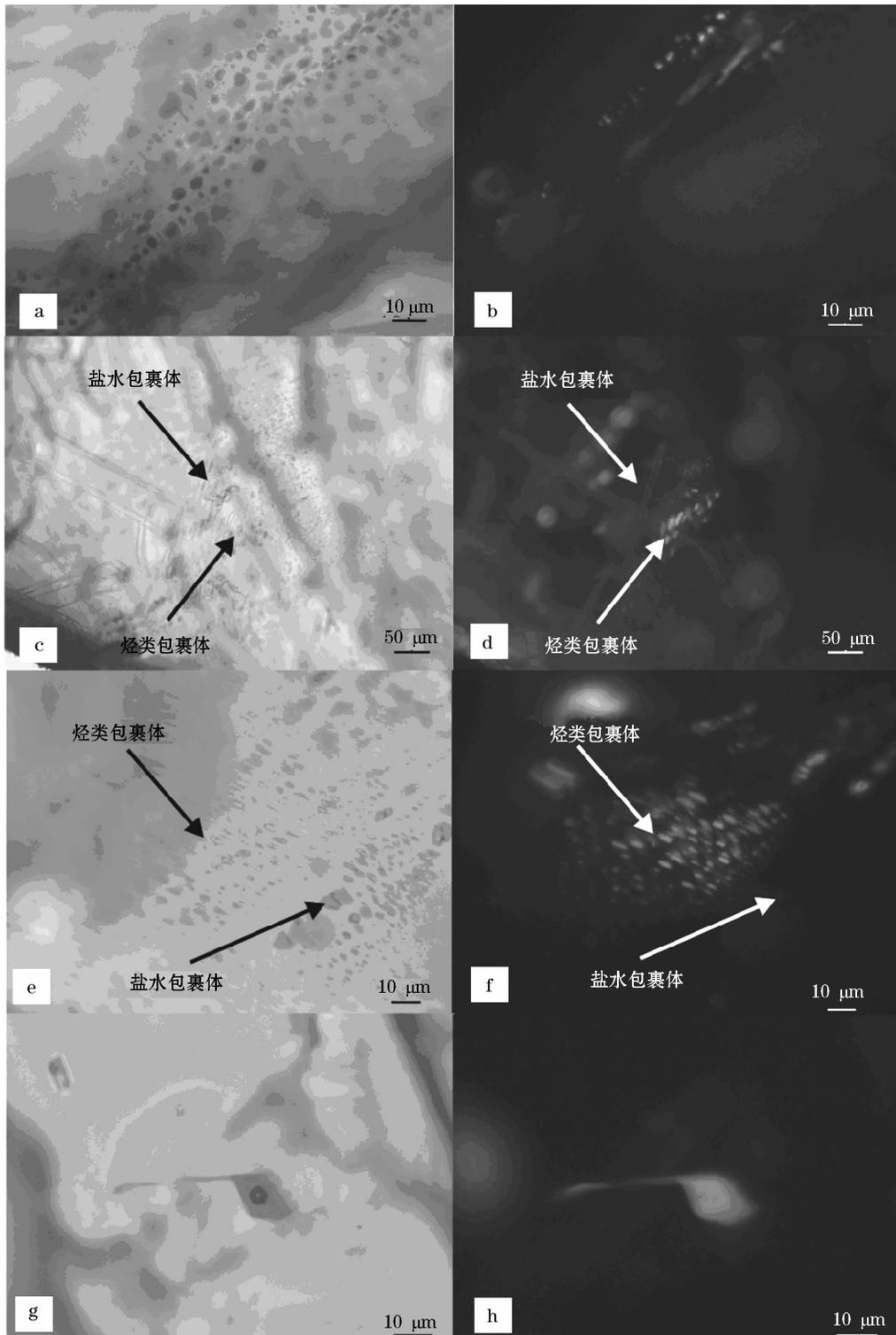


图 1 人工合成烃类及盐水包裹体镜下特征

**Fig. 1 Characteristics of synthesized hydrocarbon-bearing inclusions and aqueous inclusions**

(a) 烃类包裹体与盐水包裹体沿裂隙分带捕获, 单偏光; (b) 对应于照片 (a), 荧光; (c) 盐水及烃类包裹体同一解理面分布, 单偏光; (d) 对应于照片 (c), 荧光; (e) 烃类包裹体与盐水包裹体共生, 单偏光; (f) 对应于照片 (e), 荧光; (g) 不规则烃类包裹体, 单偏光; (h) 对应于照片 (g), 荧光  
 (a) Hydrocarbon and brine inclusions trapped in different area within same fracture, plainlight; (b) Fluorescence corresponding with photo (a);  
 (c) Hydrocarbon and brine inclusions trapped in the same cleavage face, plainlight; (d) Fluorescence corresponding with photo (c); (e) Paragenetic hydrocarbon and brine inclusions, plainlight; (f) Fluorescence corresponding with photo (e); (g) Irregular hydrocarbon inclusions, plainlight; (h) Fluorescence corresponding with photo (g)

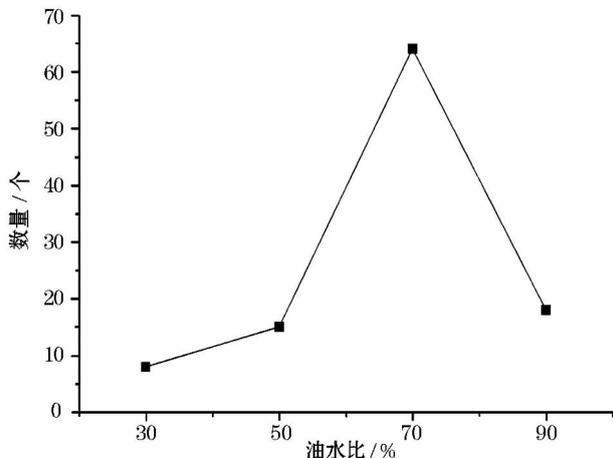


图 2 烃类包裹体数量变化图

Fig. 2 Quantity of synthetic hydrocarbon inclusions

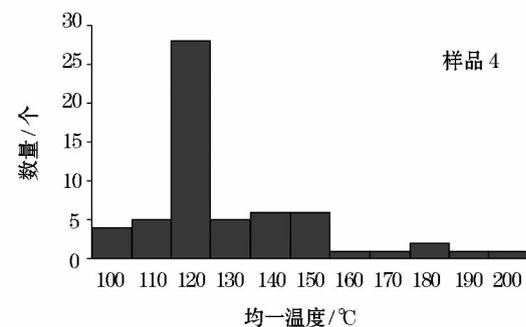
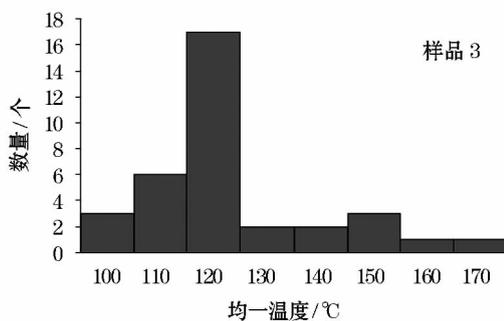
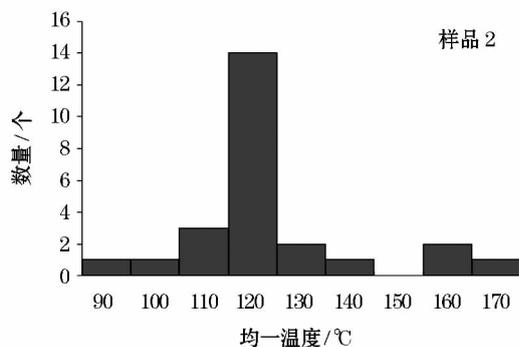
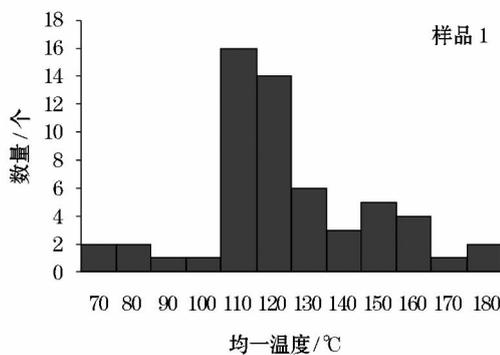


图 3 盐水包裹体均一温度直方图

Fig. 3 Histogram of homogenization temperature of aqueous inclusions

110 ~ 130 °C 之间的均一温度峰值做平均计算, 这些包裹体均一温度变化范围不大, 分别属于特定的包裹体组合, 所获得的均一温度数据是可靠的, 结果如表 2 所示。

从表 2 中可以看出, 合成盐水包裹体均一温度平均值随油水比的变化不大, 最大值与最小值之间仅相差 3 °C, 说明油水比不是包裹体均一温度变化的主要影响因素。包裹体在均一温度上的差异可能与其

合成温度的现象, 在无机溶液体系合成的流体包裹体中也可以发现<sup>[19]</sup>。这符合流体包裹体研究的一个基本理论: 均一温度仅仅是捕获温度的最低估计值, 对形成在一定围压条件下的自然界包裹体, 显微测温得到的均一温度不能简单等同于包裹体形成的温度<sup>[20]</sup>。为了获得形成时的温度, 必须对形成在一定围压条件下的自然界包裹体进行压力校正。Goldstein 等<sup>[21]</sup>提出了包裹体组合 (FIA) 的概念: “在岩相学上相关的、最大程度上识别出的包裹体群”。包裹体组合 (FIA) 在理论上具有相同的形成条件, 因此有相似的均一温度, 表现在实际测量中, 一个包裹体组合中 90% 的不同大小和形态的包裹体的均一温度的波动范围局限一般在 10 ~ 15 °C 之间。本文将高于和低于均一温度峰值的包裹体删掉, 只取

捕获的成分差异及后期的延伸、破裂及泄露有关。

### 3 讨论

油气包裹体在石油地质中的应用很广, 但是一些理论还需要进一步验证, 本次实验通过对不同油水比碳酸盐岩合成包裹体的研究, 得到了一些认识, 对油气包裹体在石油地质工作中的正确应用具有重要意义。

表 2 合成盐水包裹体均一温度平均值  
Table 2 Average homogenization temperature  
of synthetic aqueous inclusions

样品编号	1	2	3	4
油水比	3/7	5/5	7/3	9/1
均一温度平均值/℃	129	127	126	127

(1) 人工合成烃类包裹体实验可以通过设定贴近实际储层的实验条件来模拟天然包裹体的形成过程,与地质条件具有良好的可比性。①温压条件。虽然本次实验设定的温压条件较高,但是已有实验在 90 ℃、20 MPa 条件下 15 天内合成烃类包裹体。说明实验不仅可以模拟高温环境,也能模拟常见的低温地质环境<sup>[22]</sup>。②时间。合成烃类包裹体时间仅为 15 天,这从侧面说明长时间的地质环境更有利于包裹体的形成。③流体体系。在实际的地质环境中流体为开放流动体系,而合成烃类包裹体实验为封闭体系。但在实际地质环境中流体的运移是非常缓慢的,在漫长的地质时间中可能会运移相对较远的距离,但是在实验的 15 天时间里,可以认为其是相对静止的封闭的流体环境,在一个很小的区域内,流体介质参数不会发生大的改变。所以说人工合成流体包裹体在一定程度上能够模拟天然包裹体形成过程,是探讨流体包裹体形成机制的有效途径。

(2) 通常认为,矿物表面由于亲水(较油而言)而会优先与水结合<sup>[23]</sup>。已有研究证明,油气包裹体中含有水,表明油气包裹体的形成可能与水有着密切关系<sup>[24]</sup>,所以水对方解石成岩作用非常重要。此处提出一个问题:当油气持续注入时,会导致油水比不断升高,那么会不会达到一定程度后使矿物完全停止生长?有实验证明石英晶体在油水比高达 90% 时也能生长捕获包裹体,但实验的温压条件都比较高,与实际地质环境有一定差距<sup>[25]</sup>。有学者通过对黄骅凹陷地区的石英矿物中油气包裹体的研究认为,石油充注到一定程度后,胶结作用将会停止,后期进入储层的原油可能未被捕获<sup>[10]</sup>。本次实验在 150 ℃、40 MPa,相当于 4 000 m 深度储层的温压条件,最大油水比为 9/1 的条件下合成了烃类包裹体,说明在物源充足的条件下油的注入不会终止矿物的生长及包裹体的形成。烃类包裹体从油气注入开始到结束可以持续形成,大量油气包裹体形成的时间可对应油气充注的关键时刻<sup>[16,26]</sup>。另外从图 2 可以看出,70% 的油水比形成的烃类包裹体最多,超

过此值数量开始下降,表明此油水比值对形成烃类包裹体最有利。

此外,根据幕式成藏理论,油气成藏可能是一个快速的过程,储层中油气饱和度骤然升高。快速成藏导致储层油气饱和度可能会迅速超过烃类包裹体形成的油水比上限,一些学者认为这样成藏过程将不被记录,烃类包裹体记录的可能只是排烃早期或排烃末期油水比较低时的信息<sup>[27]</sup>。而本文通过实验模拟幕式成藏的特征,一是油水比较高,达到 90%;二是时间较短,只有 15 天,结果仍然能够形成油气包裹体,说明这种成藏模式的油气成藏过程可以被油气包裹体记录下来,且通过与烃类包裹体共生的盐水包裹体捕获温度确定成藏期次。

(3) 包裹体均一温度受包裹体内捕获物质影响,盐水包裹体内液相成分为水,气泡为水汽,同一包裹体组合内其气液比也大致相同,受压力影响,均一温度低于捕获温度,对其进行压力校正后能够得到较准确的包裹体捕获温度。而均一温度高于实验设定温度的包裹体内除水溶液之外,还捕获了气相或液相的高饱和烃,这说明油水共存条件下水相中气体过饱和导致气体出溶,此类包裹体在两相(气相+液相)条件下捕获,即捕获了不混溶流体,气泡成分除了水汽之外还有其他高饱和烃类物质,因此具有不同的气液体积比和高于或等于实验设定温度的均一温度。在测实际储层包裹体温度时测到的一些均一温度异常高的包裹体,可能是不混溶现象造成的,该类包裹体不具有地质意义,应注意甄别。

(4) 油水不混溶及其界面。油水不混溶是造成烃类包裹体和水溶液包裹体分带的主要原因,烃类包裹体和盐水包裹体分带出现的现象在储层包裹体常见,这种现象主要是油水不混溶造成的。由于油水不混溶,对于不同的裂隙就可能对应不同的相带(油相或者水相),这样就有可能有的裂隙是水溶液先进入,有的裂隙是油先进入,再加上水和原油对方解石的润湿性差别不大,这样先进入的流体就容易保留在裂隙里面被捕获形成包裹体,因此出现了盐水包裹体和烃类包裹体分带出现的现象(图 1c、d)。

(5) 在同时出现烃类包裹体和盐水包裹体的裂隙中通过荧光观察发现,有时不止出现一种荧光颜色的包裹体,即有黄绿色荧光包裹体、蓝白色荧光包裹体及不发荧光光的盐水包裹体。如果简单运用“蓝白色荧光油包裹体指示高成熟度”的原则判断,就会得出储层中有 2 期成熟度不同的油气充注的结论,而本文加入的重质原油成熟度较低,发黄绿色荧

光,且仅为一次加入,也证明了简单运用油包裹体均一温度和荧光颜色来确定成熟度是不可靠的<sup>[28]</sup>。应当结合共生盐水包裹体均一温度分布,包裹体捕获油气成分及储层原油等信息进行综合分析。当存在 2 期不同成熟度的油气充注时,会在烃类包裹体荧光颜色和盐水包裹体均一温度上与单期成藏有什么样的差异信息?这需要用不同时间段加入不同原油的合成烃类包裹体实验来正演多期成藏过程并提供基础数据。

## 4 认识与结论

在接近实际储层的条件下,以方解石为主矿物进行高油水比的人工合成烃类包裹体实验。通过对合成包裹体的镜下和荧光观察发现,实验既合成了烃类包裹体,同时也合成了与其共生的盐水包裹体。随着油水比从 30% 增高到 90%,烃类包裹体逐渐增多,在 70% 达到峰值。说明油气没有使方解石停止生长,烃类包裹体从油气注入开始到结束可以持续形成,大量油气包裹体形成的时间对应着油气充注的关键时刻。

对与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行显微测温,结果显示:包裹体均一温度都在 110 ~ 130 °C 之间出现峰值。不同油水比之间均一温度平均值相差 1 ~ 3 °C,可以忽略不计,说明油水比不是均一温度的主要影响因素。流体包裹体均一温度除受围压影响外,还与其捕获的物质成分有关系。

荧光结果显示,包裹体中既有黄绿色荧光,也有蓝白色荧光,与实验加入的重质原油的黄绿色荧光有差异,也证明了运用油包裹体均一温度和荧光颜色来确定成熟度是不可靠的,应当结合其他参数综合讨论。

## 参考文献 (References):

- [1] Dixon S A, Summers D M, Surdam R C. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation (Upper Jurassic), southern Alabama [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1989, 73 (6): 707-728.
- [2] Gluyas J G, Robinson A G, Emery D, et al. Link between Petroleum Emplacement and Sandstone Cementation [R]. *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the Fourth Conference*, 1993.
- [3] Neilson J E, Oxtoby N H, Simmons M D, et al. The relationship between petroleum emplacement and carbonate reservoir quality: Examples from Abu Dhabi and the Amu Darya Basin [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1998, 15 (1): 57-72.
- [4] Marchand A M E, Haszeldine R S, Smalley P C, et al. Evidence for reduced quartz-cementation rates in oil-filled sandstones [J]. *Geology*, 2001, 29 (10): 915-918.
- [5] Marchand A M E, Smalley P C, Haszeldine R S, et al. Note on the importance of hydrocarbon fill for reservoir quality prediction in sandstones [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2002, 86 (9): 1 561-1 571.
- [6] Walderhaug O. A fluid inclusion study of quartz-cemented sandstones from offshore mid-Norway—possible evidence for continued quartz cementation during oil emplacement [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1990, 60 (2): 203-210.
- [7] Ramm M. Porosity-depth trends in reservoir sandstones: Theoretical models related to Jurassic sandstones, offshore Norway [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1992, 9 (5): 553-567.
- [8] Saigal G, Bjorlykke K, Larter S. The effects of oil emplacement on diagenetic processes—Examples from the Fulmar reservoir sandstones, Central North Sea. Am. Assoc [J]. *Petroleum Geologists Bulletin*, 1992, 76 (7): 1 024-1 033.
- [9] Midtbø R E A, Rykkje J M, Ramm M. Deep burial diagenesis and reservoir quality along the eastern flank of the Viking Graben. Evidence for illitization and quartz cementation after hydrocarbon emplacement [J]. *Clay Minerals*, 2000, 35 (1): 227-237.
- [10] Yuan Dongshan, Zhang Zhihuan, Zhu Lei, et al. Effects of oil charge on quartz cement [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (9): 2 315-2 320. [袁东山, 张枝焕, 朱雷, 等. 油气聚集对石英矿物成岩演化的影响 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (9): 2 315-2 320.]
- [11] Ni Pei, Wang Yigang. Experimental study on synthetic oil (hydrocarbon)-bearing inclusions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (9): 2 033-2 038. [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): 2 033-2 038.]
- [12] Ni Pei, Meng Fanwei. Experimental study on synthetic oil (hydrocarbon)-bearing inclusions in carbonate [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (1): 161-165. [倪培, 孟凡巍. 碳酸盐岩中烃类包裹体的人工合成实验研究 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (1): 161-165.]
- [13] Balitsky V S, Yu V, Prokof'ev, et al. Experimental study of the interaction of mineral-forming hydrothermal solutions with oil and their joint migration [J]. *Petrology*, 2007, 15 (3): 211-223.
- [14] Julien Bourdet, Jacques Pironon. Strain response and re-equilibration of CH<sub>4</sub>-rich synthetic aqueous fluid inclusions in calcite during pressure drops [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72 (12/15): 2 946-2 959.
- [15] Liu Dehan, Lu Huanzhang, Xiao Xianming. Oil-gas Inclusion and Its Application in Exploration and Development [M]. Guangdong: Guangdong Science and Technology Publish House, 2007. [刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 油气包裹体及其在石油勘探和开发中的应用 [M]. 广东: 广东科技出版社, 2007.]
- [16] Ge Yunjin, Chen Yong, Zhou Yaoqi. Effects of hydrocarbon emplacement on diagenesis of carbonatite in different conditions [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2009, 33 (1): 18-22. [葛云锦, 陈勇, 周瑶琪. 不同成岩条件下油气充注对碳酸盐岩成岩作用的影响 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33 (1): 18-22.]
- [17] Ge Yunjin, Chen Yong, Zhou Yaoqi, et al. Characteristics of synthetic hydrocarbon-bearing inclusions in carbonatic rocks under various oil-water ratios [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83 (4): 542-549. [葛云锦, 陈勇, 周瑶琪, 等. 不同油水比条件下人工合成碳酸盐岩烃类包裹体特征实验研究 [J]. 地质学报, 2009, 83 (4): 542-549.]
- [18] Chen Yong, Ge Yunjin, Zhou Yaoqi, et al. Hydrocarbon-bearing

- inclusions synthesized in carbonate at the temperature and pressure of natural reservoir: Some important implications for the study of petroleum geology [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(1): 11-16. [陈勇, 葛云锦, 周瑶琪, 等. 实际储层温压条件下成功合成碳酸盐岩烃类包裹体及其启示意义 [J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 11-16.]
- [19] Ni Pei, Rao Bing, Ding Junying, *et al.* Studies on the synthetic fluid inclusions and their application to laser raman spectrum analysis field [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(2): 319-326. [倪培, 饶冰, 丁俊英, 等. 人工合成包裹体的实验研究及其在激光拉曼探针测定方面的应用 [J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 319-326.]
- [20] Zhang Wenhui, Chen Ziyang. The Geology of Fluid Inclusions [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993. [张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.]
- [21] Goldstein R H, Reynolds T J. Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals [M]. Tulsa: SEPM, Short Course, 1994.
- [22] Ge Yunjin. Trapping Mechanism of Hydrocarbon Inclusion in Carbonate and Its Response to Hydrocarbon Accumulation [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010. [葛云锦. 碳酸盐岩烃类包裹体形成机制及其对油气成藏响应 [D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.]
- [23] Pan Changchun, Zhou Zhongyi, Xie Qilai. Hydrocarbon inclusions: Implications to petroleum geology and geochemistry [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(4): 15-23. [潘长春, 周中毅, 解启来. 油气和含油气包裹体及其在油气地质地球化学研究中的意义 [J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 15-23.]
- [24] Cao Jian, Yao Suping, Hu Wenxuan, *et al.* Detection of water in petroleum inclusions and its implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(12): 1 501-1 507. [曹剑, 姚素平, 胡文瑄, 等. 油气包裹体中水的检出及其意义 [J]. 科学通报, 2006, 51(13): 1 583-1 588.]
- [25] Teinturier S, Pironon J. Experimental growth of quartz in petroleum environment. Part I: Procedures and fluid trapping [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68(11): 2 495-2 507.
- [26] Sun He, Xiao Yilin. Fluid inclusions: Latest development, geological applications and prospect [J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(10): 1 105-1 121. [孙贺, 肖益林. 流体包裹体研究: 进展、地质应用及展望 [J]. 地球科学进展, 2009, 24(10): 1 105-1 121.]
- [27] Song Mingshui. Limitation of restoring the paleohydrocarbon-water contact by GOI [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(3): 5-8. [宋明水. 含烃流体包裹体丰度法追溯古油水界面的局限性 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 5-8.]
- [28] Zhao Yanjun, Chen Honghan. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2008, 33(1): 91-96. [赵艳军, 陈红汉. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008, 33(1): 91-96.]

## Experimental Simulation of Fluid Inclusion Response to Hydrocarbon Charge in Carbonate Reservoir

Ge Yunjin<sup>1,2</sup>, Chen Yong<sup>2</sup>, Zhou Yaoqi<sup>2</sup>, Zhou Zhenzhu<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Yanchang Petroleum (GROUP) Co., Ltd, Xi'an 710075, China;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** Synthetic oil (hydrocarbon)-bearing inclusion were synthesized in Iceland crystal with different Oil/water ratios (3/7, 5/5, 7/3, 9/1), which provided better means for researching the mechanism of trapping oil (hydrocarbon)-bearing inclusion in carbonate. Through microscopic observation and micro-fluorometry, it could be seen that the inclusions distributed along the microcrack, which demonstrated that inclusions were trapped during the process of crack healing. Oil and brine inclusions not only distributed in the same crack, but also in different zone. The quantity of synthetic oil (hydrocarbon)-bearing inclusions increased company with the O/W ratios rising. The fluorescence characteristic of oil inclusions and oil adopted in experiment was coincident. There were no apparent differences among the homogenization temperature of inclusions from different sample. Therefore the hydrocarbon saturation was not the main influential factor of homogenization temperature. Homogenization temperature was affected by pressure and gaseous and liquid phase composition. It could be concluded that crystal growth and inclusions trapping were inhibited by oil and gas, but not terminated. The critic time of hydrocarbon accumulation coincided with trapping much oil inclusions. Zonation of oil and brine inclusions distribution was caused by immiscibility effect between oil and water.

**Key words:** Oil accumulation; Oil (hydrocarbon)-bearing inclusion; Synthetic technique; Carbonate; Crack heal.