文章编号: 0254-5357(2016)04-0389-08

DOI: 10.15898/j. cnki. 11 - 2131/td. 2016. 04. 009

# 岩盐中合成烃包裹体与母油的地球化学特征及其在油源对比 中的意义

许 锦<sup>1,2</sup>,席斌斌<sup>1,2</sup>,蒋 宏<sup>1,2</sup>

(1. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214151;

2. 中国石化油气成藏重点实验室, 江苏无锡 214151)

摘要:油气包裹体广泛应用于油气成藏研究,但油气包裹体能否继承母油荧光及地球化学特征等,尚缺乏直接的实验证据。本文在开放体系下用 NaCl 挥发结晶法对一轻质原油进行合成烃类包裹体实验,通过镜下观察和激光剥蚀色谱-质谱技术分析合成的烃包裹体和母油的荧光特征、成分特征及地化特征,研究两者的异同点。结果表明,在 NaCl 合成烃类包裹体中共发现三种相态的包裹体:纯液相烃包裹体、气液两相烃包裹体和气油水三相包裹体;共有绿黄色荧光、蓝色荧光两种不同颜色的荧光特征。相对于母油,合成包裹体的饱和烃和芳烃类化合物中的轻质组分含量较低,可以推测在母油被捕获成为包裹体的过程中,不同的化学成分存在差异性捕获。但合成包裹体的 Pr/Ph 等地化参数和不同系列化合物相对含量与母油相差不大,能很好地反映母油的沉积环境等地化特征。因此,包裹体成分信息可以应用于油源对比分析。 关键词:合成烃包裹体;母油;激光剥蚀色谱-质谱分析;地化参数;油源对比

中图分类号: TE135.4; 0657.63 文献标识码: A

油气包裹体是油气在运移路径以及储层充注过 程中捕获在石英、方解石等主矿物中的地质古流体 样品<sup>[1-2]</sup></sup>, 是 进 行 油 气 成 藏 期 次<sup><math>[3-5]</sup>、成 藏 年</sup></sup> 代[6-9]、油气运移及古油水界面界定[10-13]、油油对 比<sup>[14]</sup>或油源对比<sup>[15]</sup>、成熟度判识<sup>[16]</sup>、沉积环境研 究<sup>[17-19]</sup>等研究的重要手段。油气包裹体的成分对 母油的继承性是油气地球化学领域使用包裹体进行 油源对比的前提。但油气包裹体是否继承了母油的 成分信息,是否能够反映母油的原始地球化学特征; 还是受捕获过程、原始流体特征、主矿物性质等的影 响造成了差异捕获,进而造成油气包裹体与母油的 地化特征存在差异,尚缺乏直接的实验证据。人工 合成烃包裹体的实验研究与包裹体成分的地化分 析,尤其是单体包裹体成分分析以及母油地化分析 相结合则是解决上述难题的关键。前人曾成功进行 了人工合成烃包裹体实验[20-24],也在烃-水-岩相 互作用(油水比率、油水介质对矿物润湿性的差异 等)对储层成岩作用的影响<sup>[23-24]</sup>以及油气包裹体 古压力恢复模型的建立<sup>[25-26]</sup>、单个油包裹体荧光特性<sup>[16]</sup>等方面取得了显著的成果。但是受包裹体尺 寸较小以及分析手段的限制,直接获得单体包裹体 特别是油气包裹体的有机成分信息还比较困 难<sup>[18-19,27-28]</sup>。因此,烃包裹体的化学组成是否与母 油完全一致,地球化学参数及地化意义能否代表母 油的特征,包裹体在多大程度上继承了母油的成分 及其地化特征,至今未见这方面的探讨。

针对上述问题,本文在开放体系下进行 NaCl 人 工合成烃包裹体的实验研究,利用单体油气包裹体 激光剥蚀成分分析方法<sup>[18-19,27]</sup>对人工合成的油气 包裹体开展了 GC - MS 成分分析,并与合成烃包裹 体的母油地化特征进行对比,研究单体烃包裹体的 地化参数能否代表母油的性质,进而能否应用于油 源对比等进行了探索。

#### 1 实验部分

本文 NaCl 合成烃包裹体实验,为了与合成的烃

收稿日期: 2015-10-20; 修回日期: 2016-06-30; 接受日期: 2016-07-15

基金项目:中石化科技部攻关项目"油气包裹体成分分析技术方法的完善与应用"(P09058);中石化科技部青年创新基金 "单种成烃生物生烃烃类特征及同位素分析"(P14132)

作者简介:许锦,硕士,工程师,从事石油地质与有机地球化学研究。E-mail: xujin. syky@ sinopec. com。

包裹体对比 GC - MS 成分特征进行了毛细管封存母 油样品实验;针对合成烃包裹体的光学特征进行了 包裹体的偏光/荧光观察,针对母油和人工合成烃包 裹体成分采用单体包裹体的方法进行了分析。上述 各类实验均在中国石化油气成藏重点实验室完成。

#### 1.1 NaCl 合成烃类包裹体实验

目前进行人工合成油气包裹体的方法主要有两种<sup>[20-24,29]</sup>:一种是利用高温高压下石英(或方解石) 晶体生长愈合裂缝形成包裹体;另一种是在低温 (一般低于100℃)常压下通过饱和溶液冷却结晶在 油水边界捕获油气包裹体。考虑到高温条件下可能 使母油的成分发生变化<sup>[30]</sup>,本次研究采用第二种方 法。母油样品选用塔河油田 X 井奧陶系一间房组 的轻质原油,深度约 5877.5 ~ 5890 m,密度约为 0.845 g/cm<sup>3</sup>。具体的实验步骤如下。

(1) NaCl 子晶的制备:室温下用烧杯配制约 100 mL 的 NaCl 饱和溶液,然后放置在阴凉通风处, 让其自然挥发。在挥发过程中,观察烧杯底部沉淀 的 NaCl 晶体,将粒径较小的晶体用镊子夹出,以制 备出直径大于2 mm 晶体形态较规则的 NaCl 晶体, 放置于干燥皿中备用。

(2)在50 mL 烧杯中放入5~10个 NaCl 子晶, 然后依次加入室温条件下的 NaCl 饱和溶液约5 mL 以及母油约2 mL,使 NaCl 子晶位于油水界面处。 再将烧杯置于阴凉通风处,使其自然挥发约72 h。

(3)将 NaCl 子晶取出,用三氯甲烷超声波清洗 30 min 三次,然后放置于干燥皿中备用。

由于本次实验使用了加置子晶于油水界面处的 方法,既保证了合成晶体的粒度及形态,又使得晶体 在生长时能够与母油及饱和溶液充分接触,有利于 烃类包裹体的捕获以及后期的观察及分析。

## 1.2 毛细管封存母油样品实验

为了确保在相同的实验分析条件下,能够对母 油样品进行激光剥蚀 GC - MS 成分分析,本研究采 用 Chou 等<sup>[31]</sup>提出的石英毛细管样品的制备方法, 将母油封存在直径约为50 μm 的石英毛细管中,可 以与合成包裹体在同样条件下进行单体包裹体激光 剥蚀 GC - MS 分析。毛细管封存母油样品实验所使 用的仪器为法国万奇公司生产的 GeoFluid FIS20 型 毛细管样品制备装置。具体的实验步骤为:①截取 长度约为40 mm 的石英毛细管,用氢火焰枪将其一 段焊封;②用火焰枪的外焰灼烧封口端约1s,迅速 将封口端插入母油中,吸入长约3 mm 的油柱;③取 出毛细管,将其中的原油离心至毛细管的封口端; ④将毛细管接入 FIS20 装置,将封口端插入液氮杯 中约10 mm;⑤开启真空泵,抽真空10 min;⑥用氢 火焰枪炬沿液氮杯的上沿,将毛细管焊封死。

### 1.3 包裹体的镜下观察及筛选

本次研究采用德国蔡司公司生产的 Imager A2m 型偏光荧光显微镜以及 Imager Z1m 型共聚焦 激光扫描显微镜对 NaCl 子晶中的包裹体进行了观 察及筛选。

偏光荧光显微镜下观察发现,NaCl 子晶中的烃 类包裹体均出现主要以三种方式被捕获的现象 (图1)。①纯液相烃包裹体:包裹体在室温下呈现 单一的液相(图1a、b);②气液两相烃包裹体:包裹 体在室温下呈现气液两相(图1c、d);③气油水三相 包裹体:室温下呈现气-液-水三相(图1e、f)。上 述现象表明,烃类包裹体既呈现出均匀捕获的特征 (第一类包裹体),同时又存在气-油不均匀捕获 (第二类包裹体)以及油-水不均匀捕获(第三类包 裹体)的情况。包裹体的荧光特征显示,在实验过 程中至少有两种不同荧光颜色的烃类包裹体被捕



a、b:纯液相烃包裹体,荧光下发绿黄色荧光;c、d:气液两 相烃包裹体,荧光下发蓝色荧光;e、f:气-水-油三相包 裹体,荧光下发绿黄色荧光。左为透射光,右为荧光,放大 倍数均为500倍。

#### 图 1 NaCl 中烃包裹体显微照片

Fig. 1 Photomicrographs of synthetic petroleum-bearing inclusions

— 390 —

获,即绿黄色荧光包裹体以及蓝色荧光包裹体。

# 1.4 单体油气包裹体的激光剥蚀 GC - MS 成分分析

由于单体油气包裹体激光剥蚀成分分析方法对 包裹体的体积要求较高,因此本次研究采用共聚焦 激光显微镜对烃包裹体进行了体积测量,选取体积 大于 10<sup>5</sup> μm<sup>3</sup>的烃包裹体,采用自主组建的单体油 气包裹体激光剥蚀成分分析仪对合成的单个烃包裹 体和毛细管封存母油样品进行了成分分析。

1.4.1 分析仪器

单体油气包裹体激光剥蚀成分分析仪主要由激 光剥蚀观察系统(美国相干公司 Geolaser 193 nm 准 分子激光器以及改造后的日本奥林巴斯 BX51 型偏 光荧光显微镜),富集传输系统(样品池、传输线及 冷阱,自主研发)和 GC – MS 分析系统(Agilent 7890 气相色谱以及 5975C 四极杆质谱仪)三部分组成。

1.4.2 分析步骤

主要步骤分为本底分析与样品分析。本底分析 的步骤为:将包裹体放入样品池中,样品池加热至 150℃,打开分流口,将载气流速设定到约 120 mL/min,吹扫样品池5 min,并在冷阱中进行富集; 关掉分流口,撤掉冷阱,加热传输线至 300℃,打开 GC - MS 进行地化分析。样品分析的步骤与本底分 析类似,只不过在进行冷阱富集的同时,应先用 193 nm 的激光器将目标包裹体上覆主矿物剥蚀掉。为 减少剥蚀过程中激光与包裹体内成分的相互作用, 需要先采用直径大于包裹体最大直径的激光光斑进 行剥蚀,待剥蚀至接近包裹体上表面时,采用4~10 µm 直径的小光斑进行剥蚀直至将包裹体恰好打 开,使其中的油气成分挥发释放,并经过载气吹扫进 入冷阱中富集。

1.4.3 GC - MS 分析条件

(1)色谱条件:进样口温度 300℃,柱温 40℃
(恒温 2 min),以4℃/min 升至 300℃恒温 30 min。

(2)质谱条件:电离方式为 EI,电子轰击能量为 70 eV,离子源温度为 230℃,采用 SIM 和 TIC 两种 扫描方式。

# 2 母油及合成烃包裹体的地球化学特征研究

# 2.1 母油全烃色谱分析

从 X 原油族组分来看, 饱和烃占 71.5%, 芳烃 含量为 21.5%, 即 X 原油以饱和烃成分为主。全烃 气相色谱分析显示主峰碳为 nC<sub>11</sub>, 没有明显的奇偶 优势; nC<sub>1</sub>~nC<sub>10</sub>之间的轻质烃类特别是直链化合物 含量较高, 显示 X 原油的成熟度较高。

# 2.2 母油与合成烃包裹体的成分差异

利用气相色谱仪直接进行全烃色谱分析,可以 较完整地保存样品轻烃部分的指纹信息;而单体包 裹体激光剥蚀分析实验与原油全烃色谱分析来比, 采用GC-MS联用,仪器分析条件设置不同、检测方 式不同,对轻烃部分定量分析效果不好。毛细管封 存母油样品则可以同样采用单体包裹体激光剥蚀成 分分析仪进行分析。因此,为了保持样品分析条件 的一致性,本文采用毛细管封存母油样品与人工合 成烃包裹体进行成分对比,在进行典型地化参数对 比时,再分别与毛细管封存母油及母油全烃色谱分 析结果进行对比。

本文共对3个NaCl合成包裹体(样品编号:S1、 S2、S3)和1个毛细管封存母油样品(样品编号:S4) 进行了单体包裹体成分GC-MS分析。S4在荧光 下呈黄绿色。人工合成包裹体的荧光观察显示有两 种颜色的包裹体出现:S2在荧光下呈绿黄色,相对 于母油出现红移;S1和S3在荧光下呈蓝色,相对于 母油出现蓝移。

具体如图 2 所示,从总离子流图(TIC)可以看 出,激光剥蚀出的合成包裹体成分以饱和烃,特别是 碳数在 8 ~ 25 之间的正构烷烃为主; S1、S3 的轻烃 含量较高,在 nC<sub>10</sub>之前能看到明显的轻烃化合物的 聚集,S2 中的轻烃化合物相对较少;芳烃类化合物 含量也较高,主要以萘系列化合物为主,特别是萘和 甲基萘。S4 虽然与 X 原油全烃气相色谱图有所区 别,但可以认为基本是由不同的分析仪器及检测方 式造成的。4 个合成包裹体成分分析均未检测出烯 烃等原油热裂解的典型产物。因此,虽然不能避免 激光在剥蚀过程中不与包裹体内的油气成分进行相 互作用,但因整个实验过程中激光对包裹体内油气 成分的热影响较小,可以忽略。

图 3a 是人工合成的 4 个包裹体样品的正构烷 烃(以 GC - MS 中 m/z57 来计算峰面积) 对比图, 图 中显示人工合成包裹体成分中的正构烷烃碳数范围 较窄, 主要是 nC<sub>8</sub> ~ nC<sub>25</sub>, 其中 S1 和 S3 两个样品重 现性好, 主峰碳为 nC<sub>13</sub>, 样品 S2 的主峰碳为 nC<sub>17</sub>, 比 S1 和 S3 偏后; 毛细管封存母油样品由于所封存母 油体积较大, 此处检测范围较宽, 最高碳数可到 nC<sub>32</sub>。图 3b 是萘系列化合物的百分含量图, 合成包 裹体和毛细管封存母油样品采用激光剥蚀 GC - MS 分析的数据。图中三个岩盐人工合成包裹体样品的 萘系列化合物含量相似, 均是以较轻的萘和甲基萘 为主, 而毛细管封存母油样品中却显示出较轻的萘

— 391 —



图 2 人工合成包裹体及毛细管封存母油 GC - MS 的总离子流图(TIC)

Fig. 2 Total ion chromagrams of S1 to S4

和甲基萘化合物比例少,较重的二甲基萘系列化合物比例较多。显示合成包裹体的成分与母油的正构 烷烃和萘系列化合物等组分相对含量确实存在 差异。

陈红汉<sup>[16]</sup>指出,同一胶结物世代、同一流体包 裹体组合出现不同荧光颜色和不同显微荧光光谱特 征的油包裹体,意味着可能存在以下几种油包裹体 捕获分馏机制:①矿物颗粒表面选择性吸附;②捕获 后原油裂解作用;③捕获后发生了部分泄漏。本次 人工合成包裹体过程均是在室温下进行,不可能存 在原油的裂解,而且包裹体的镜下观察也排除了泄 漏的可能。因此,推测可能是由矿物颗粒表面洗择 性吸附造成上述包裹体荧光颜色的差异<sup>[23-24]</sup>。本 研究中,人工合成烃包裹体实验是在开放体系下进 行的,故实验过程中母油可能会有部分组分散失,而 且轻质组分比重质组分更容易挥发。如果轻质组分 挥发比较严重,那么包裹体中所捕获的烃类应该比 母油重,而且一般会造成荧光光谱的红移。实验中 包裹体的荧光观察显示 S2 发生了红移,则可能是该 原因造成的。但是 S1、S3 则相对发生了蓝移,而且 包裹体成分分析表明 S1 和 S3 主峰碳位置比母油的 偏低,轻质组分比例较 S4 更高,用原油挥发蓝移不能解释这种现象。陈勇等<sup>[24]</sup>提出轻质油相对于重质油难以形成包裹体,而且同一矿物对不同极性的化合物吸附能力也不同。因此,推测在包裹体捕获过程中,矿物表面的物理及化学特征对原油中不同极性化合物具有不同的吸附性能,捕获的能力也有差异,因此才造成包裹体成分的差异。

## 2.3 母油与合成包裹体的地化参数对比

对原油或烃源岩的地球化学分析中,前人经过 大量样品测试及数据总结,开发出多种地化参数,并 赋予其不同的地质意义,这对烃源岩评价、油源对比 及沉积环境分析等方面具有重要意义。从本文剥蚀 出的4个合成包裹体样品的类异戊二烯类化合物参 数及OEP的星状图来看(图4),这几个参数均比较 接近。以Pr/Ph值为例,X原油的Pr/Ph值为0.95, 3个岩盐合成包裹体的Pr/Ph值分别为0.83、0.86 和0.81,毛细管封存母油的Pr/Ph值为0.78,能反 映其具有相同的沉积环境特征,即合成的包裹体虽 然荧光颜色有微小差异,但总体上能反映母油的地 化特征。另外由于实验条件的限制,单体包裹体 成分分析仪的分离度要稍逊于常规色谱分析的分离



N:萘;2-MN:2-甲基萘;1-MN:1-甲基萘;EN:乙基萘; DMN-1:2,6-二甲基萘+2,7-二甲基萘;

DMN-2:1,7-二甲基萘+1,3-二甲基萘+1,6-二甲基萘; DMN-3:1,4-二甲基萘+2,3-二甲基萘+1,5-二甲基 萘+1,2-二甲基萘。

## 图 3 人工合成包裹体与毛细管封存母油单体剥蚀正构烷 烃(a)和萘系列化合物(b)相对百分含量对比

Fig. 3 The relative percentages of normal paraffin hydrocarbons (a) and naphthalene series (b) compounds in S1 to S4

度,因此,本文除了计算 Pr/Ph、Pr/nC<sub>17</sub>、Ph/nC<sub>18</sub>等 地化参数外,还计算了(Pr + nC<sub>17</sub>)/(Ph + nC<sub>18</sub>)值作 为补充,该参数在母油中为 1.12,在 4 个合成的包 裹体样品中分布在 0.96~1.10 之间,最大相差仅 14%,可以认为 S1~S4 四个样品的(Pr + nC<sub>17</sub>)/(Ph + nC<sub>18</sub>)值及反映的不同化合物的相对含量意义是 一致的。

因此,虽然 S1、S2、S3、S4 在全油面貌和不同系 列化合物的比例上有些差异,但是合成烃包裹体和 母油的全烃分析结果中所获得的 Pr/Ph 等类异戊二 烯和同一系列化合物(正构烷烃、萘系列)的相对含 量百分比等参数比较接近,说明合成包裹体捕获烃 类的地化参数还是继承了母油的原始地化特征。陈 红汉<sup>[16]</sup>曾对塔河油田 S75 井鹰山组巨晶方解石样 品中第二期包裹体进行了荧光光谱分析,认为选择 性吸附虽然会造成同一油包裹体组合显微荧光波长



#### 图 4 母油与合成包裹体单体剥蚀类异戊二烯参数对比

Fig. 4 Isoprenoid parameters of S1 to S4 and crude oil

在一定范围内发生波动,但未对成熟度评价产生显 著的影响。

本次利用人工包裹体合成及单体包裹体激光剥 蚀分析结果也表明,虽然包裹体在捕获烃类的过程 中可能存在选择性吸附,造成某些成分的相对比例 与母油有差异,但是对其化学性质影响较小。因此, 利用包裹体中微量的烃类物质与母油成分进行油源 对比仍然具有较高的可靠性。

### 3 结论

本文利用激光剥蚀色谱 - 质谱对单体油气包裹 体进行了分析,并与母油的地化特征进行对比,为包 裹体中烃类成分与母油成分的关系提供了较为可靠 的实验证据。研究表明,相对于母油,合成包裹体的 正构烷烃和芳烃类化合物中的轻质组分含量较低。 结合 NaCl 合成烃类包裹体也存在不同的相态和荧 光,可以推测,包裹体在捕获烃类的过程中可能存在 着主矿物对母油成分的选择性捕获。尽管如此,在 合成包裹体捕获的烃类物质中,饱和烃和芳烃的多 种地化参数均与母油相差不大,仍能反映母油的原 始沉积环境等地化特征。

由于本次研究所采用的 NaCl 合成包裹体实验 是在常温、常压以及开放体系下进行的,而且未使用 储层中常见的石英、方解石等矿物作为包裹体的主 矿物,实验条件与烃包裹体捕获时的地质条件存在 一定差异。另外,仅有少数体积较大的合成烃包裹 体能够满足单体油气包裹体激光剥蚀成分分析的要 求,因此,本次研究所获得的包裹体成分分析数据还 不够全面,仍然需要开展更为详细的研究工作支持 以上结论。

# 4 参考文献

- [1] 卢焕章,欧光习,范宏瑞等编著.流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004:374-377.
   Lu H Z, O G X, Fan H R, et al. Fluid Inclusion[M]. Beijing:Science Press,2004:374-377.
- [2] 刘德汉,卢焕章,肖贤明编著.油气包裹体及其在石油 勘探和开发中的应用[M].广州:广东科技出版社, 2007:173-178.

Liu D H, Lu H Z, Xiao X M. Petroleum Inclusion and Its Application in Petroleum Exploration and Development [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press,2007:173 – 178.

[3] 时保宏,张艳,张雷,等.鄂尔多斯盆地延长组长7致 密储层流体包裹体特征与成藏期次[J].石油实验地 质,2012,34(6):599-603.

> Shi B H, Zhang Y, Zhang L, et al. Hydrocoabon Accumulation Dating by Fluid Inclusion Characteristics in Chang7 Tight Sandstone Reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2012,34(6):599-603.

[4] 罗泉,姜振学,李卓,等.英买力地区中生界-新生界 油气藏石油包裹体特征及成藏期次[J].石油学报, 2015,36(1):60-66.

> Luo X, Jiang Z X, Li Z, et al. The Properties of Petroleum Inclusions and Stages of Hydrocarbon Accumulation in Mesozoic-Cenozoic Reservoirs in Yingmaili Area of Tabei Uplift, Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36 (1):60-66.

- [5] Kihle J, Hurum H J, Liebe L. Preliminary Results on Liquid Petroleum Occurring as Fluid Inclusions in Intracellular Mineral Precipitates in the Vertebrae of Pliosaurus Funkei [J]. Norwegian Journal of Geology, 2012,92(2-3):341-352.
- [6] Guo X W, Liu K Y, He S, et al. Petroleum Generation and Charge History of the Northern Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China: Insight from Integrated Fluid Inclusion Analysis and Basin Modeling
   [J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 32 (1): 21-35.
- [7] 刘文汇,王杰,陶成,等.中国海相层系油气成藏年代 学[J].天然气地球科学,2013,24(2):199-209.
  Liu W H, Wang J, Tao C, et al. The Geochronology of Petroleum Accumulation of China Marine Sequence[J].
  Natural Gas Geoscience,2013,24(2):199-209.
- [8] 胡雄,梁为,李洋冰,等.黄河口凹陷流体包裹体成藏 年代和充注期次研究[J].矿物岩石地球化学通报, 2014,33(6):868-873.

Hu X, Liang W, Li Y B, et al. Research on the Age of — 394 — Hydrocarbon Accumulation and Filling History of Fluid Inclusions in Huanghekou Depression [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2014, 33 (6): 868 - 873.

- [9] 陈红汉,吴悠,丰勇,等. 塔河油田奥陶系油气成藏期 次及年代学[J]. 石油与天然气地质,2014,35(6): 806-819.
  Chen H H, Wu Y, Feng Y, et al. Timing and Chronology of Hydrocarbon Charging in the Ordovician of Tahe oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(6):806-819.
- [10] Liu K, Eadington P J, Middleton H, et al. Applying Quantitative Fluorescence Techniques to Investigate Petroleum Charge History of Sedimentary Basins in Australia and Papuan New Guinea [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 57:139 – 151.
- [11] Cao J, Jin Z J, Hu W X, et al. Improved Understanding of Petroleum Migration History in the Hongche Fault Zone, Northwestern Junggar Basin (Northwest China): Constrained by Vein-calcite Fluid Inclusions and Trace Elements[J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27 (1):61-68.
- [12] Zhuo Q G, Meng F W, Song Y, et al. Hydrocarbon Migration through Salt: Evidence from Kelasu Tectonic Zone of Kuqa Foreland Basin in China [J]. Carbonates and Evaporites, 2014, 29(3):291-297.
- [13] 马剑,黄志龙,范彩伟,等.应用定量颗粒荧光技术研 究宝岛13-1 气田油气成藏特征[J].天然气地球科 学,2014,25(8):1188-1196.
  Ma J, Huang Z L, Fan C W, et al. The Application of Quantitative Grain Fluorescence Technique to Study Hydrocarbon Accumulation Characteristics of BD13-1, Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Geoscience,2014, 25(8):1188-1196.
- [14] 米敬奎,张水昌,何坤,等.群体包裹体地球化学特征 及在油气源对比中的应用[J].石油实验地质,2011, 33(2):188-192.
  Mi J K, Zhang S C, He K. Application of Colonial Inclusions Geochemistry in Oil- and Gas-origin Study

[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(2): 188 – 192.

 [15] 席伟军,乔明全,张枝焕,等. 包裹体技术在春风油田 稠油油源对比中的应用[J]. 石油天然气学报,2013, 35(4):27-30.
 Xi W J, Qiao M Q, Zhang Z H, et al. Application of

Inclusions Technology in Heavy Oil Source Correlation in Spring Oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013,35(4):27 - 30.

- [16] 陈红汉.单个油包裹体显微荧光特性与热成熟度评价[J].石油学报,2014,35(3):584-590.
  Chen H H. Mircrospectro Fluorimetric Characterization and Thermal Maturity Assessment of Individual Oil Inclusion [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(3): 584-590.
- [17] 许锦,郑伦举,贾存善,等.群体包裹体成分分析法及 在沙雅隆起的应用探索[J].石油实验地质,2011,33 (2):197-201.

Xu J, Zheng L J, Jia C S, et al. Grouped Fluid Inclusion
Composition Analysis and Application in Shaya Uplift
[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33 (2):
197 – 201.

- [18] Zhang Z R, Greenwood P, Zhang Q, et al. Laser Ablation GC-MS Analysis of Oil-bearing Fluid Inclusions in Petroleum Reservoir Rocks [J]. Organic Geochemistry, 2012,43:20-25.
- [19] 饶丹,秦建中,许锦,等. 塔河油田奥陶系油藏成藏期 次研究[J]. 石油实验地质,2014,36(1):65-71.
  Rao D, Qin J Z, Xu J, et al. Accumulation Periods of Ordovician Reservoirs in Tahe Oil Field[J]. Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):65-71.
- [20] 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.
  Ni P, Meng F W. Experimental Study on Synthetic Oil (Hydrocarbon)-bearing Inclusions in Carbonate [J]. Acta Petrologica Sinica,2008,24(1):161-165.
- [21] 孟凡巍,倪培,丁俊英,等.人工合成烃类流体包裹体测温数据对石油地质的指示[J].岩石学报,2008,24
   (9):1975-1980.

Meng F W, Ni P, Ding J Y, et al. Homogenization Temperatures from Synthetic Fluid Inclusions: Implications for Oil and Gas Geology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(9): 1975 – 1980.

[22] 孟凡巍,倪培,葛晨东,等.实验室合成石盐包裹体的 均一温度以及古气候意义[J].岩石学报,2011,27 (5):1543-1547.

> Meng F W, Ni P, Ge C D, et al. Homogenization Temperature of Fluid Inclusions in Laboratory Grown Halite and Its Implication for Paleotem Peraturerecon Struction [J]. Acta Petrlogica Sinica, 2011, 27 (5): 1543-1547.

[23] 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):1050 - 1056.

Ge Y J, Chen Y, Zhou Y Q, et al. Experimental Simulation of Fluid Inclusion Response to Hydrocarbon Charge in Carbonate Reservoir [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(10):1050 – 1056.

- [24] 陈勇,葛云锦,周振柱,等.矿物润湿性对储层烃类包裹体形成制约的实验研究[J].地质学报,2011,85
  (4):569-575.
  Chen Y,Ge Y J,Zhou Z Z, et al. Experimental Study of the Constraint of Minerals Wettability on Hydrocarbonbearing Inclusion Forming in Reservoir [J]. Acta
- [25] Guillaume D, Teinturier S, Dubessy J, et al. Calibration of Methane Analysis by Raman Spectroscopy in H<sub>2</sub> O-NaCl-CH<sub>4</sub> Fluid Inclusions[J]. Chemical Geology, 2003, 194(1-3):41-49.

Geologica Sinica, 2011, 85(4): 569 - 575.

- [26] 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 Petroleum Geology, 2003,20(1):29-43.
- [27] 张志荣,张渠,席斌斌,等. 含油包裹体成在线激光剥 蚀色谱-质谱分析[J].石油实验地质,2011,33(4): 437-440.
  Zhang Z R,Zhang Q,Xi B B,et al. On-line Analysis of Oil-bearing Fluid Inclusion with Laser Ablation GC-MS
  [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011,33(4): 437-440.
- [28] Albrecht M, Derrey I T, Horn I, et al. Quantification of Trace Element Contents in Frozen Fluid Inclusions by μs-fs-LA-ICP-MS Analysis [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2014, 29:1034 – 1041.
- [29] Pironon J. Synthesis of Hydrocarbon Fluid Inclusion at Low Temperature [J]. American Mineralogist, 1990, 75: 226-229.
- [30] Teinturier S, Elie M, Pironon J. Oil-cracking Processes
   Evidence from Synthetic Petroleum Inclusions [J].
   Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78 79:
   421 425.
- [31] Chou I M, Song Y C, Burruss R C. A New Method for Synthesizing Fluid Inclusions in Fused Silica Capillaries Containing Organic and Inorganic Material [ J ]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2008, 72 (21): 5217 - 5231.

# Geochemical Characteristics of Synthetic Hydrocarbon Inclusions in Rock Salt-Crude Oil and Their Implication for Oil Source Comparison

XU Jin<sup>1,2</sup>, XI Bin-bin<sup>1,2</sup>, JIANG Hong<sup>1,2</sup>

2. Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanisms, SINOPEC, Wuxi 214151, China)

# Highlights

- The synthesized petroleum inclusions and crude oil show different fluorescence.
- · Geochemical parameters of synthesized petroleum inclusions and crude oil have similar value.
- · Geochemical composition of petroleum inclusions can be used to recognized sedimentary environment.

**Abstract**: Petroleum inclusions are widely used in hydrocarbon accumulation, but the lack of direct experimental evidence means that proof cannot be determined as to whether petroleum inclusions inherit the fluorescence and geochemical characteristics from crude oil. The petroleum inclusion in NaCl crystal is synthesized using the NaCl evaporation crystallization method under the open system and is reported in this paper. The fluorescence, composition and geochemical characteristics of synthesized petroleum inclusion and crude oil were studied by Microscope and Laser Ablation GC-MS. Three kinds of



petroleum-bearing inclusions are identified at room temperature, such as liquid single-phase hydrocarbon inclusion, gas and liquid two-phase hydrocarbon inclusion, and gas, petroleum and water three-phase inclusion. These petroleum-bearing inclusions show yellow-green and blue-green fluorescence. The synthesized petroleum inclusions have lower content of light fractions in saturated hydrocarbons and aromatics than the crude oil. It can be inferred that the selective-capture of different compounds occur during the trapping process of synthesized petroleum inclusion. However, both the crude oil and synthesized petroleum inclusion show similar Pr/Ph ratios and the relative content of different types of compounds, which can be used to discriminate the sedimentary environment and other geochemical characteristics. Therefore, the geochemical composition of petroleum inclusion is still a powerful and reliable tool to trace the source rock of the crude oil, using the method described here.

Key words: synthetic hydrocarbon inclusions; crude oil; Laser Ablation GC-MS analysis; geochemical parameters; oil source correlation

本文引用格式:许锦,席斌斌,蒋宏.岩盐中合成烃包裹体与母油的地球化学特征及其在油源对比中的意义[J].岩矿测试,2016,35(4):389-396. XU Jin, XI Bin-bin, JIANG Hong. Geochemical Characteristics of Synthetic Hydrocarbon Inclusions in Rock Salt-Crude Oil and Their Implication for Oil Source Comparison[J]. Rock and Mineral Analysis,2016,35(4):389-396. DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2016.04.009.

<sup>(1.</sup> Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi 214151, China;