

# 油气成藏期研究方法

刘文超<sup>1</sup>, 叶加仁<sup>1,2</sup>, 郭飞飞<sup>1</sup>

(1 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 2 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074)

**摘要:**目前可用于确定油气成藏期的方法有多种, 各有其优缺点。重点介绍了储层岩石学、流体包裹体分析、油气水界面追溯、油储磁性矿物古地磁学、油田卤水碘同位素及储层矿物沥青等方法的原理, 评述了不同方法的有效性与局限性, 认为不同方法结合使用可以实现油气成藏期的精确厘定。

**关键词:** 油气成藏期; 储层岩石学; 流体包裹体; 油气水界面; 古地磁

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

油气成藏期研究对于准确认识油气藏的形成与分布规律具有重要意义。目前, 确定油气成藏期的方法主要有圈闭形成时间法、烃类流体排烃时间法、油气藏饱和和压力法、油藏地球化学法、储层岩石学、流体包裹体分析法(包括均一温度、成分分析、石英 Ar-Ar 定年、荧光分析、岩相学、捕获油包裹体的自生钾长石 Ar-Ar 定年、激光拉曼、显微冷冻、电子探针、离子探针、同步加速辐射、核磁共振)、油气水界面追溯法、油储磁性矿物古地磁学、油田卤水碘同位素法、储层矿物沥青法、放射性同位素法、热释光与 ESR 定年法、磷灰石(U-Th)/He 定年法、Alpha 反冲径迹定年法等。对于圈闭形成时间法、烃类流体排烃时间法、油气藏饱和和压力法、油藏地球化学法、流体包裹体均一温度法、流体包裹体成分分析法等, 对此前人已做过大量研究<sup>[1-5]</sup>。岳伏生等<sup>[6]</sup>认为上述方法均是时间的确定, 而非测定。处在探索阶段的定年法诸如流体包裹体分析(石英 Ar-Ar 定年、捕获油包裹体的自生钾长石 Ar-Ar 定年、显微冷冻、电子探针、离子探针、同步加速辐射、核磁共

振)、热释光与 ESR 定年法、磷灰石(U-Th)/He 定年法、Alpha 反冲径迹定年法在确定油气成藏期方面应用前景广阔, 但欠成熟<sup>[7-14]</sup>。陈红汉<sup>[14]</sup>较为详细地介绍了捕获油包裹体的自生钾长石 Ar-Ar 定年法、热释光与 ESR 定年法、磷灰石(U-Th)/He 定年法、Alpha 反冲径迹定年法, 认为由于受样品分离与实验条件的制约, 目前还没有在确定油气成藏期方面得到很好应用。本文重点讨论了储层岩石学、流体包裹体分析法(荧光分析、岩相学、激光拉曼)、油气水界面追溯法和油储磁性矿物古地磁学、油田卤水碘同位素法、储层矿物沥青法, 具体分析了不同方法的原理、有效性与局限性。

## 1 储层岩石学

酸性油气流体进入储层后, 会导致储层发生一系列成岩作用而留下油气运移的储层岩石学记录, 如储层的溶蚀作用及自生矿物与流体包裹体的形成等, 因此, 可以利用储层岩石学方法来研究油气运移期。

烃类自源岩中排出后, 与其一起运移的油田水是酸性的, 它可以促使矿物溶解, 产生次生孔隙<sup>[15]</sup>, 由此可通过研究储层溶蚀作用来推断油气运移期次。此外, 长石、火山岩屑等铝硅酸盐矿物

收稿日期: 2010-11-22

基金项目: 国家科技重大专项子课题“富烃凹陷特征及类比研究”(2008ZX05023-001-001)

作者简介: 刘文超(1987—), 男, 在读硕士, 主要从事成藏动力学研究。E-mail: liuwei-jack321@163.com

在酸性介质条件下会被溶蚀并形成自生高岭石和石英等胶结物<sup>[16]</sup>。自生高岭石的存在不仅可以说明溶蚀作用的存在,而且也可以大致说明烃类流体的性质,因此,可以根据自生高岭石的形成期来确定油气的运聚期。谭秀成等<sup>[17]</sup>根据储层溶蚀作用和自生黏土矿物的形成期,结合成岩演化序列成果,确定了塔里木盆地库车坳陷中生界储层曾接受过3期油气充注,四川盆地西南部犍为地区下三叠统嘉陵江组储层接受过1期油气充注。

自生伊利石是高岭石和钾长石在储集层酸性水介质中沉淀出的一种成岩矿物。当油气进入储层后,由于孔隙流体介质的变化自生伊利石就会终止其生长<sup>[18]</sup>。利用K-Ar测年法系统测定自生伊利石的年龄,通过相互比较找出年龄由大突然变小的部位,就可以判断出自生伊利石停止生长的时间,即油气藏形成期。王飞宇等<sup>[9]</sup>对塔中4油田K-Ar同位素作了测定,认为塔中4油田CI油藏的成藏期为白垩纪末期。但该方法主要受原生碎屑伊利石、测试矿物制备纯度的影响<sup>[20]</sup>。

储层岩石学法在分析油气成藏期方面可获得比较可靠的结果,但该方法受储集层非均质性、油水分布、水介质变化等条件的影响,且只能测定油气藏形成的最早时间,因此在结果分析上存在不确定因素。

## 2 流体包裹体分析法

流体包裹体是矿物结晶过程中捕获的成岩成矿流体,储层中常见有盐水包裹体和含烃流体包裹体。流体包裹体直接蕴含和记录着各种有关油

气运聚的宝贵信息和证据,在研究油气成藏期方面具有重要意义。

### 2.1 荧光分析

有机包裹体在紫外光照射下表现出荧光特征,利用此特征可有效地区别于一般盐水包裹体<sup>[21]</sup>。不同性质的原油具有不同的荧光及荧光光谱,而油气的多期充注将导致具多种荧光颜色的烃类包裹体出现<sup>[22,23]</sup>。有机包裹体的荧光特征反映了其内石油的成分特征及其热演化程度,有机包裹体的荧光颜色由红色—橙色—黄色—绿色—蓝白色—无色变化,可反映有机质从低成熟向高成熟演化<sup>[24]</sup>。确定油气充注期主要涉及的2个荧光光谱属性参数是主峰波长和红/绿商( $QF_{535}$ 和 $Q_{650/500}$ )<sup>[25]</sup>,随着烃类中小分子成分含量的增加和成熟度的增大,其荧光会发生明显“蓝移”,光谱主峰波长减小;反之,光谱主峰波长增大。对于同源同期充注的烃类,其成分及成熟度一致,因此,其荧光光谱主峰波长应表现出一致性(图1a);而对于不同源的烃类,其主峰波长则表现出不一致性(图1b)<sup>[26]</sup>。 $Q_{650/500}$ 为650 nm波长处荧光强度 $I_{650}$ 与500 nm波长处荧光强度 $I_{500}$ 的比值(图2a); $QF_{535}$ 为发射波长535~750 nm范围内的积分面积 $A(535\sim750)$ 与发射波长430~535 nm范围内的积分面积 $A(430\sim535)$ 之比(图2b)。相比而言, $Q_{650/500}$ 更为常用,其 $I_{650}$ 越大,反映包裹体所包裹油中含有越多的大分子组分,成熟度低;而 $I_{500}$ 越大则反映包裹体所包裹油中含有越多的小分子组分,成熟度高。因此, $Q_{650/500}$ 值越大,反映油的成熟度越低。

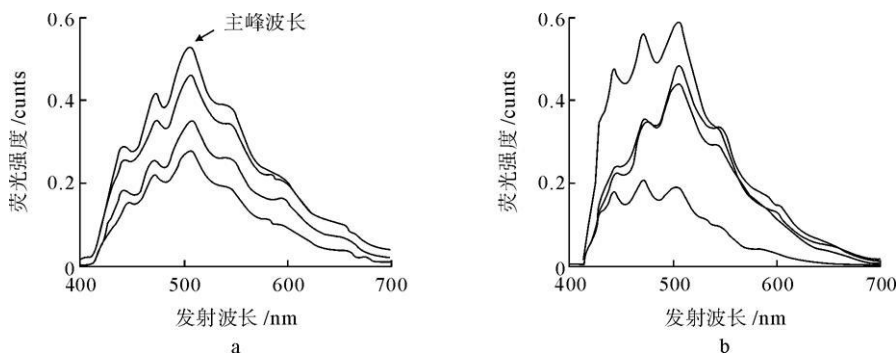


图1 民丰洼陷沙三段典型油包裹体微束荧光光谱

Fig. 1 Typical micro-beam fluorescence spectra of petroleum inclusions from the Es<sub>3</sub> Member of the Shahejie Formation, Minfeng Sag

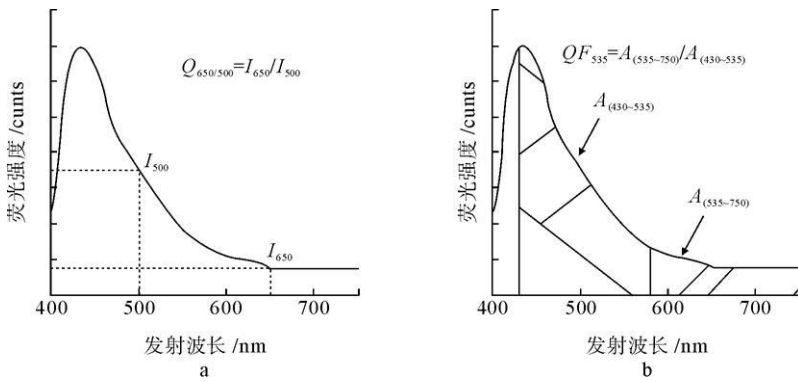


图 2 荧光光谱量化属性参数

Fig. 2 Property parameters for quantification of fluorescence spectra

李纯泉等<sup>[25]</sup>对民丰洼陷沙三段岩性油气藏储层的 15 块流体包裹体样品检测结果表明, 发黄光荧光的油包裹体荧光光谱结构和形态相似, 其主峰波长一致, 而发蓝白色荧光的油包裹体荧光光谱具有 2 种类型: 一类与黄色荧光油包裹体荧光光谱结构和形态相似, 主峰波长一致, 表现出同源特征; 另一类明显发生“蓝移”, 表现出异源特征, 主峰波长与最大荧光强度, 以及主峰波长与红/绿商的相关关系均表现出 3 种特征类型, 由此判定民丰洼陷沙三段岩性油气藏在其地质历史时期共经历了 3 期油气充注。

## 2.2 岩相学

在偏光和荧光显微镜下观察油气包裹体的岩相学特征, 确定油气包裹体的分布特征、相态、类型、丰度、荧光及包裹体所赋存的寄主矿物的形成时间序列和期次, 可进而确定油气包裹体发育期及其反映的油气成藏期。利用此方法首先要通过岩石薄片观察划分成岩期次, 确定成岩作用类型和主要成岩矿物及其形成时间序列, 因此, 成岩作用研究是油气包裹体研究的基础。

李荣西等<sup>[27]</sup>根据成岩作用与油气包裹体分布特征, 识别出鄂尔多斯盆地陇东油田长 3 油藏 2 期油气包裹体。第 1 期油气包裹体形成于早成岩阶段晚期埋藏成岩过程中, 分布在石英和长石等矿物溶蚀孔隙、次生加大底部和早期裂隙中, 包裹体形态不规则, 一般较小(多为 3~8 μm), 为多相烃类包裹体, 代表了油气运移充注过程; 第 2 期油气包裹体形成于晚成岩阶段晚期盆地抬升阶

段, 分布在晚成岩阶段的晚期裂隙、硅质胶结物和亮晶方解石胶结物中, 油气包裹体普遍含盐水, 油、气、水相态边界清楚, 代表了油气大规模聚集成藏过程。

岩相学研究是从油层砂岩储层和油气包裹体形成的历史记录出发, 是确定油气成藏期比较有效的方法, 但首先要确定包裹体寄主矿物的形成时间序列和期次, 也并非直接测定, 而是间接获取。

## 2.3 激光拉曼光谱

激光拉曼光谱技术是一种测定物质分子成分的微观分析技术, 激光拉曼光谱是基于一种激光光子与物质分子发生非弹性碰撞后, 改变了原有入射频率的一种分子联合散射光谱。波数的改变量即为拉曼位移, 其不受入射光源的影响, 而直接取决于参与散射的物质分子内部的能级<sup>[28]</sup>。显微激光拉曼光谱具有微观(微区、微量)、原位、多相态(固态、液态、气态)、分辨率高、稳定性好等特点, 可以为成藏期研究提供重要依据。

张文忠<sup>[29]</sup>通过利用激光拉曼光谱分析得出榆林气田包裹体成分主要包括 3 种类型: 富 CO<sub>2</sub>、富 CH<sub>4</sub> 和富高饱和烃包裹体。结合均一温度测试和埋藏史研究, 认为榆林气田烃类充注主要有 4 期, 分别为中三叠世晚期—晚三叠世晚期; 晚三叠世晚期—早侏罗世晚期; 早侏罗世晚期—晚侏罗世晚期和晚侏罗世晚期—早白垩世晚期。刘艳荣等<sup>[30]</sup>应用流体包裹体观察和激光拉曼探针等微观技术对临清坳陷东北部的德南洼陷流体包裹

体的研究表明,研究区共有6种类型的包裹体:单相盐水包裹体、富液相包裹体、富气相包裹体、含液态CO<sub>2</sub>三相包裹体、富液态烃有机包裹体、富气态烃有机包裹体,表明在古近系和新近系中主要为未成熟—低成熟的液态烃流体活动,在古生界及部分上部层段中主要为成熟、高成熟的气态烃流体活动。

存在问题有:①利用激光拉曼光谱法对石油进行分析时,激光照射芳香族化合物、共轭体系及芳香族有机杂环分子引起的强荧光会完全掩盖很弱的拉曼信号,强烈干扰拉曼光谱的测定;②目前流体包裹体分子基团、水合物结构等尚无统一、标准的拉曼谱库,只能依赖已知标样的分析结果来直接对比,大大制约了激光拉曼研究工作;③定量分析时,实验条件有待验证<sup>[31]</sup>。

### 3 油气水界面追溯法

在油气藏的最初形成时,伴生出现油气水水平界面,后因构造变动,油气水界面发生变迁,当再次变为水平面时,即是油气藏的再形成期,因此,通过对油气藏油气水界面演变史分析,即可研究油气藏形成期<sup>[32,33]</sup>。具体做法是,首先编制大比例尺圈闭发育史剖面图(或平面图),然后计算现今油气藏的油气水界面在各地质历史时期的古埋深,并标于相应时期的剖面图(或平面图)上,则现今油气水界面埋深最早形成水平直线或水平界面的时间,即是油气藏的形成时间<sup>[33]</sup>。

该方法不仅可以确定出烃类流体运聚成藏的时间,而且可以动态分析判断流体成藏后的变迁、调整过程,分析周期短、成本低、简便、直观。邓良全等<sup>[33]</sup>运用油气水界面追溯法对塔中4油田成藏期的研究认为,TZ4油田主要形成于晚海西期。

该方法缺点是:①不适用于现今非水平油气水界面的油气藏,比如岩性油气藏、水动力油气藏等;②只适用于单一充注期次的成藏期的确定,对于多期充注的油气藏需借助其他方法;③该方法仍不是直接测定,而是通过其他地质过程参数间接确定油气成藏期<sup>[14]</sup>。

### 4 油储磁性矿物古地磁学法

古地磁学是通过测定岩石中保存的剩余磁性来追溯地球历史的磁场方向和强度变化特征。由于认识到在烃类运移途径和油储中存在自生磁铁矿<sup>[34]</sup>,运用古地磁学方法在限定油气运聚时间上作了许多研究<sup>[35,36]</sup>。基本思路是储集层中烃类流体充注引起磁铁矿和磁黄铁矿沉淀,通过对储层自生磁性矿物的古地磁学分析,结合地磁极性年代表,可界定烃类流体的运聚时间。

应用古地磁学方法厘定石油运聚期的前提条件是必须了解储层中磁性矿物(磁铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿等)成因与烃类流体运聚的相关关系。许多情况下,储层中磁性矿物的形成并非是烃类流体充注引起,而是热水流体引起,此储层磁性矿物古地磁学的研究更多是反映古代流体流动事件时限。磁性地层学研究目前已成为地层学的重要组成部分,特别是5Ma以来磁性年代表的建立,推动了近晚期地层学和地质年代学,显然,储层自生磁性矿物的古地磁学分析,对近晚期成藏时间的精确厘定将起重要作用<sup>[1]</sup>。

### 5 油田卤水碘同位素法

油田卤水中含有较高丰度的碘同位素<sup>129</sup>I,其丰度要高于海水。这种同位素是烃类成熟过程中从有机质中释放出来的,由于碘同位素半衰期为15.7Ma,<sup>129</sup>I/<sup>total</sup>I比值用于80Ma这一地质时间范围的定年分析<sup>[37]</sup>。地下水是烃类运移和聚集的载体和动力,因此,油田卤水的运聚作用提示了烃类流体的运聚方式。Moran等<sup>[38]</sup>认为油田卤水定年技术的进一步发展,可获得地下流体的驻留时间和烃类从卤化源岩排烃的时间。此种方法适合于盐度较高的油气成藏期的研究,但精度不高。

### 6 储层矿物沥青法

储集层固体沥青是油藏中的石油蚀变物,记录了油藏被改造、破坏的信息。固体沥青反射率反映了烃类流体转变为固体沥青后所经历的热历

史。从储层固体沥青反射率,结合储层埋藏史和热演化分析,可推断沥青形成的地质时代,进而可以确定油气藏的形成时间<sup>[39]</sup>。

金奎励<sup>[40]</sup>根据塔里木盆地志留系沥青砂的换算镜质体反射率测试结果,确定了其下古生界烃源岩的成熟度,结合烃源岩成熟史,确定了油气成藏时间。肖贤明等<sup>[41]</sup>基于有机质热成熟作用平衡原则与有机质再次变质作用原则改进了Karweil图解与成熟度计算方法<sup>[42]</sup>,推算出塔中地区古生界中3组沥青形成的地质时代分别是中一晚奥陶世、晚白垩世—古近纪及新近纪,反映该区在这3个地质时期存在油气生成与运移。该方法基于沥青反射率等价于镜质体反射率,在固体沥青较为丰富的叠合盆地是一种值得推广的方法。

除此方法外,沥青同位素分析也是一种比较精确先进的油气成藏期定年方法,但应用较少<sup>[43]</sup>。

## 7 评述

随着油气成藏动力学研究和叠合盆地油气勘探的不断深入,油气成藏期定年技术得到长足发展。各种成藏期计算方法得出的油气成藏时间只是生、储、盖、运、圈、保等诸多要素其中一项的作用时间,各种方法都有其优缺点。

储层岩石学法在分析油气成藏期方面可获得比较可靠的结果,但该方法受储集层非均质性、油水分布、水介质变化等条件的影响,且只能测定油气藏形成的最早时间;自生伊利石 K-Ar 测年法也存在必须细致分析原生碎屑伊利石、测试矿物制备纯度等问题;通过对油包裹体常规荧光光谱进行检测及定量化描述,可利用其属性参数特征及相关关系特征有效地研究油气充注期,虽然该方法简便易行,但充注期并非成藏期;流体包裹体岩相学是从油层砂岩储层和油气包裹体形成的历史记录出发,是确定油气成藏期次比较有效的方法,但首先要确定包裹体寄主矿物的形成时间序列和期次,也并非直接测定,而是间接获取;激光拉曼光谱分析在成藏期次确定方面是较新的方法,具有微观、原位、多相态、分辨率高、稳定性好等优点,但由于存在拉曼信号弱、拉曼谱库不统

一、实验条件差异等问题,制约了激光拉曼分析法的应用;油气水界面追溯法的分析周期短、成本低、简便、直观,但只适用于现今水平油气水界面与单一充注期的研究,且仍需借助其他地质过程参数求取成藏期。其他方法诸如油储磁性矿物古地磁学法、油田卤水碘同位素法、沥青反射率法目前应用很少,但方法较先进。

单一方法很难实现油气成藏期的精确测定,而把不同的方法结合起来,则可以实现成藏期的精确厘定。徐波等<sup>[44]</sup>运用生烃史法、圈闭形成期法、饱和压力法和流体包裹体分析法等确定辽河拗陷西部凹陷油气藏存在2期油气成藏,第1期以石油为主,成藏时间为沙二段沉积时期和沙一段—东营组沉积时期(38~28 Ma);第2期以天然气为主,成藏时间为馆陶组沉积中期(17 Ma)至今。并指出各种方法所确定的时间对油气成藏期研究的意义及其不确定性所在。刘柏林等<sup>[45]</sup>利用地层原油高压物性、地层流体包裹体均一化温度、含油包裹体丰度、烃源岩成熟演化和地层构造演化等多种技术方法资料分析验证,认为准噶尔中部1区块油气成藏具有明显的幕式特征,主要储层三工河组二段的油气充注以中早期(晚侏罗—晚白垩世)充注为主,获得比较可靠的油藏油气充注时期。

在研究成藏期次的方法中,每一种方法并不是相互独立,而是相互渗透,相互从属。例如流体包裹体本身是一种油气运移的储层岩石学记录,因此,流体包裹体分析技术可以归到储层岩石学方法中;又如自生伊利石 K-Ar 测年法、油田卤水中的碘同位素分析又可以归为同位素分析。因此,在油气成藏期研究中要灵活使用各种方法。

### 参考文献:

- [1] 金之钧. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. 70-71.
- [2] 张世华. 川西拗陷须三须四段含油气系统生排烃过程与主要成藏期关系[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2006, 33(3): 252-255.
- [3] 赵靖舟, 李秀荣. 成藏年代学研究现状[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 257-261.
- [4] 刘震, 刘俊榜, 高先志, 等. 二连盆地岩性油藏的幕式充注和相对早期成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 240-249.
- [5] 潘长春, 傅家漠, 盛国英. 塔里木库车拗陷含油、气储集岩连

- 续抽提和油、气包裹体成分分析[J]. 科学通报, 2000, 45(增刊): 2 750-2 757.
- [6] 岳伏生, 张景廉, 曹正林, 等. 再论石油生成和运移年龄的确定[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 84-86.
- [7] Darren F M, John P, Simon P K, et al. Temperature-composition-time (T-X-t) data from authigenic K-feldspar. An integrated methodology for dating fluid flow events[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2006, 89: 259-262.
- [8] 龚革联, 谭凯旋. 石英的热释光特征及其在测年中的应用[J]. 湖南地质, 1999, 18(2/3): 180-183.
- [9] 贾丽, 鲍继飞, 尹功明, 等. 方解石脉 ESR 定年信号和测量条件的研究[J]. 地震地质, 2006, 28(4): 668-674.
- [10] 保增宽, 袁万明, 王世成, 等. 磷灰石(U-Th)/He 定年技术及应用简介[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(2): 126-132.
- [11] Glasmacher U A, Lang M, Klemm S, et al. Alpha-recoil tracks in natural dark mica; Dating geological samples by optical and scanning force microscopy [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2003, 209: 351-356.
- [12] 吴河勇, 云建兵, 冯子辉, 等. 松辽盆地深层 CO<sub>2</sub> 气藏 40Ar-39Ar 成藏年龄探讨[J]. 科学通报, 2010, 55(8): 692-697.
- [13] 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: 190-198.
- [14] 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): 144-148.
- [15] 蔡春芳, 梅博文, 马亭. 塔里木盆地流体-岩石相互作用研究[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 44-60.
- [16] 曹剑, 张义杰, 胡文瑄, 等. 准噶尔盆地腹部自生高岭石发育特点及其对储层物性的影响[J]. 矿物学报, 2005, 25(4): 367-373.
- [17] 谭秀成, 王振宇, 田景春, 等. 利用储层岩石学研究油气运移期次[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 63-67.
- [18] Saigal G, Bjorlykke K, Lamer S. The effect of oil emplacement on diagenetic process-example from the Fulmar reservoir sandstone, central North Sea[J]. AAPG Bull, 1993, 77(1): 68-80.
- [19] 王飞宇, 郝石生, 雷加锦. 砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 40-43.
- [20] 高岗, 黄志龙. 油气成藏期研究进展[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 661-665.
- [21] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55: 159-193.
- [22] 宋继梅, 唐碧莲. 原油样品的三维荧光光谱特征研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(1): 115-118.
- [23] Esdington P L, Hamilton P L, Bai G P. Fluid history analysis-a new concept for prospect evaluation[J]. The APEG Journal, 1991, 31(1): 282-294.
- [24] Meeleon G, Jones M. Petroleum Fluid Inclusion Research [J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1996, 57: 4 513-4 519.
- [25] 李纯泉, 陈红汉, 刘惠民, 等. 利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2010, 35(4): 657-662.
- [26] 杨杰, 陈丽华. 利用荧光光谱进行原油测定及对比的方法[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 9-11.
- [27] 李荣西, 席胜利, 邱领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 194-217.
- [28] 何谋春, 吕新彪, 王群英. 有机包裹体的拉曼光谱测定[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 182-186.
- [29] 张文忠. 榆林气田储层成岩作用与烃类充注期次研究[J]. 特种油气藏, 2010, 17(2): 49-53.
- [30] 刘艳荣, 吕新彪, 何谋春, 等. 临清坳陷德南洼陷含油气性的流体包裹体分析[J]. 地质科技情报, 2006, 25(1): 51-54.
- [31] 张美珍, 施伟军, 张志荣. 显微激光拉曼光谱仪的地质应用[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 306-310.
- [32] 赵靖舟. 油气水界面追溯法——研究烃类流体运聚成藏史的一种重要方法[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 373-378.
- [33] 邓良全, 刘胜, 杨海军. 塔中隆起石炭系油气成藏期研究[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1): 23-26.
- [34] Elmore R D, Engel M, Crawford L, et al. Evidence for relationship between hydrocarbon and antigenic magnetite [J]. Nature, 1987, 325: 428-430.
- [35] Elmore R D, Leach M C. Paleomagnetism of the rush springs sandstone, Cement, Oklahoma: implications for dating hydrocarbon migration, aeromagnetic exploration, and understanding demagnetization mechanism [J]. Geology, 1990, 18: 124-127.
- [36] Perroud H, Chauvin A, Rebelle M. Hydrocarbon seepage dating through chemical demagnetization [C] // Turner P, Turner A. Palaeomagnetic application in hydrocarbon exploration. London: Geological Society Special Publication, 1995, 98: 33-41.
- [37] Fehn U, Peters E K, Tullai-Fitzpatrick S, et al. <sup>129</sup>I and <sup>36</sup>Cl concentrations in waters of the eastern Clear Lake area, California: Residence times and source ages of hydrothermal fluids [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56: 2 069-2 079.
- [38] Moran J E, Fehn U, Hanor J S. Determination of source ages and migration patterns of brine from the U. S. Gulf Coast basin using <sup>129</sup>I [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 5 055-5 069.
- [39] 曾治平, 王敏芳, 倪建华. 油气成藏期次研究中有有机包裹体分析方法存在问题探讨[J]. 天然气地球科学, 2002, 13(3/4): 55-59.
- [40] 金奎励. 机岩石学研究(以塔里木盆地为例)[M]. 北京: 地震出版社, 1997: 228-230.
- [41] 肖贤明, 刘德汉, 傅家漠, 等. 应用沥青反射率推算油气生成与运移的地质时间[J]. 科学通报, 2000, 45(19): 2 123-

- 2 127.
- [42] Karweil J. Die Metamorphose der Kohlen vom StandPunkt der Physikalishen Chemie[ J]. Z Deutsch Geol Ges. 1955, 107: 132-139.
- [43] 张景廉, 朱炳泉, 涂湘林, 等. 塔里木盆地北部沥青、干酪根的 Pb-Sr-Nd 同位素体系及其成因演化[ J]. 地质科学, 1998, 33(3): 310-317.
- [44] 徐波, 郭华强, 林拓, 等. 辽河坳陷西部凹陷油气成藏期次[ J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 12-14.
- [45] 刘柏林, 王友启. 准噶尔中部 1 区块油藏成藏时期和油气充注特点[ J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(2): 221-224.

## A REVIEW OF THE METHODS FOR DETERMINATION OF HYDROCARBON RESERVOIR FORMING STAGES

LIU Wenchao<sup>1</sup>, YE Jiaren<sup>1,2</sup>, GUO Feifei<sup>1</sup>

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2 Key laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, MOE, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The determination of the forming stages of hydrocarbon reservoir is an important research subject of petroleum geology and exploration. There are various methods to determine the stages. This article made a brief introduction to some of the methods, such as reservoir petrology method, fluid inclusion method, retrospective of hydrocarbon-water contact method, oil pool magnetic mineral and palaeomagnetism method, iodine isotope of oilfield brine method and reservoir mineral bituminous method. Each method has advantages and disadvantages. In consideration of the effectiveness and limitation of each method, it is proposed to combine several methods together for precise hydrocarbon forming stages determination.

**Key words:** hydrocarbon reservoir forming stages; reservoir petrology; fluid inclusion analysis; hydrocarbon-water contact; paleo-magnetic method