

文章编号: 1008-0058(2000)01-0042-04

含油气沉积盆地流体包裹体及应用

孙 檣, 谢鸿森, 郭 捷, 苏根利, 秦业

(中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 近年来, (有机)流体包裹体在含油气沉积盆地分析研究中的作用日益重要。首先论述了流体包裹体应用于盆地分析的理论基础, 然后简介了流体包裹体的研究方法。最后讨论了流体包裹体在油气生成、运移及勘探、评价方面的应用。

关键词: 流体包裹体; 沉积盆地; 理论基础

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A

近年来, 随着基础理论及分析测试技术的发展, (有机)流体包裹体作为流体活动的原始样品和真实记录, 在油气生成、运移和聚集方面的应用日益引起人们的重视, 对其研究已成为含油气沉积盆地分析的重要手段之一。

1 流体包裹体应用于沉积盆地分析的理论基础

沉积盆地中储集岩成岩矿物的结晶作用是从沉积作用开始而贯穿盆地整个埋藏与隆升史的, 而且其成岩反应是不均一的, 并受多种因素影响。由于流体的流动对成岩矿物的结晶有很强的控制作用, 因此矿物将优先在流体流动带结晶, 而将其周围的地层水、油、气等流体以包裹体的形式被捕获。这些流体包裹体则记录了盆地油气生成、运移和演化的信息^[1~3], 所以可以根据这些资料对沉积盆地的油气前景进行评估。目前, 可供流体包裹体研究的岩石和矿物包括碳酸岩盐、蒸发岩建造中的盐类矿物、碎屑岩中的碳酸盐和石英胶结物及地层中的其它脉石矿物, 其中碳酸盐岩和碎屑岩及产于其内的方解石脉、白云石脉、石英脉等含有较丰富的包裹体, 它们反映了油气的演化和运移历史, 是主要的研究对象。

此外, 流体包裹体应用于沉积盆地分析还基于以下的前提:

(1) 流体包裹体的成分能够代表其形成时主体

流体的成分^[4]。事实上, 由于存在界面层效应, 任何给定的流体包裹体的成分都不可能与它从中捕获的主体流体成分相同。然而, 对目前的包裹体研究而言, 这种差别小得没有任何意义, 其成分可以代表主体流体的组成;

(2) 流体包裹体的物理化学条件、性质与主矿物结晶生长时的相一致^[5];

(3) 流体包裹体与其寄主矿物之间不发生任何物质的交换或其它化学反应;

(4) 流体包裹体作为一封闭体系, 在其形成时及形成后不存在物质的流入或溢出。

2 流体包裹体的研究

2.1 显微观测

盆地沉积物的成岩演化非常复杂, 而在这一过程中可能有流体包裹体的形成, 并且其组合十分复杂, 因此, 对流体包裹体的显微观测研究很重要。

通过显微观测研究沉积物的成岩作用、流体包裹体与成岩作用关系及包裹体的成因(原生、次生、假次生)是一切工作的基础。在偏光显微镜下可以对流体包裹体进行特征及类型的研究, 包括颜色、折光率、形态、大小、类型、相组分、数量、分布等。它们可以反映有机质的演化程度及丰度, 如: 随着有机质热演化程度的增高, 有机包裹体的颜色愈深, 由无色→浅黄色→黄色→褐黄色→褐色→灰色→黑色; 而其相组分由水、油为主的水、油、气三相→油、气为主

收稿日期: 1999-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49772111)

作者简介: 孙檣, 男, 1970年生, 博士生, 主要从事地球化学及含油气沉积盆地研究。

的水、油、气三相 → 油、气二相 → 气单相 (主要为 CH_4)。此外, Burruss^[6] 的研究表明: 随演化程度的升高, 有机包裹体的体积由小到大、数量由少变多、形态由对称规则状到厚壁状再到极不规则状。

此外, 显微荧光技术也是研究流体包裹体的有效方法。一方面它可以准确鉴别有机包裹体, 另一方面还能揭示有机包裹体的成分。据 Khorasani^[7] 对荧光光谱与烃中主要组分关系的研究, 根据有机包裹体所发出荧光的特征可以定性估计复杂有机物中饱和组分, 高烷基化芳烃结构组分、缩合芳烃结构组分的相对含量。一般而言, 短波长荧光光谱 (绿光为主, 波长小于 500 nm) 主要反映烷基结构, 长波长荧光光谱 (红光为主, 波长大于 650 nm) 主要反映缩合芳香结构。由此可见, 有机包裹体的荧光颜色可反映有机质演化程度, 也即随着有机质从低成熟向高成熟演化, 荧光颜色由浅黄 (亮黄) 色 → 褐黄色 → 棕色 → 暗蓝色 → 蓝灰色 → 无荧光。

2.2 温度测定

由于古温度对于推测沉积盆地的地温及有机质热演化历史进而评价油气生成能力是非常重要的, 因而对其研究一直为学者们所重视。

运用流体包裹体确定古温度, 是通过测定包裹体中流体的均一温度和等容线 (即在密度恒定条件下的压力和温度关系曲线) 来完成的。据 Roeder^[4] 的研究, 流体包裹体均一法测温的原理和条件是包裹体所捕获的流体为单一均匀相, 而且流体的包腔在封闭后体系不变。由于有机流体包裹体的有机气泡收缩速度比水蒸汽泡快, 因而实际工作中, 应选用与其共生的盐水溶液在显微冷热台上进行均一温度测定, 且因为温度较低, 故一般不进行压力校正。在难于找到盐水溶液包裹体的情况下, 则将有机包裹体的均一温度测定值加上一定的校正值 (校正值为 $5 \sim 10^\circ\text{C}$)^[8] 作为其形成时的均一温度。

此外, 初熔温度和冰点温度也是流体包裹体温度测定的重要内容, 它们是确定包裹体含盐体系成分的重要参数。例如: $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的初熔温度是 -22.9°C , $\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{NaHCO}_3-\text{H}_2\text{O}$ 体系的初熔温度是 -21.4°C 。

沉积岩中包裹体一般非常细小, 准确观测的难度较大, 因而观测中应注意区分包裹体的类型和成因以便对测定的包裹体均一温度进行解释与校正。

2.3 压力研究

事实上, 要准确地测算包裹体捕获时的流体压

力, 难度是很大的, 需要知道捕获流体相的组成及 $p-V-T-X$ 体系特征。一般对于均一流体可采用已知捕获温度的等容线法求得流体捕获压力; 而对处于沸腾状态的流体其压力就等于该流体沸腾时的蒸汽压。对于非均一流体 (即流体组分、相态、密度有所不同) 被矿物捕获后形成的不混溶流体包裹体则常被用于捕获压力的研究。近年来, 油相包裹体和同生水溶液包裹体 $p-V-T$ 的相图已被广泛用于恢复包裹体捕获时的温-压条件^[9,10]。该方法建立在以下假设的前提下: (1) 各油相包裹体个体的组成均一, 并和现在的油气藏组成一致; (2) 同生水溶液包裹体不含甲烷等气体。此外, 刘斌等提出对不混溶流体包裹体运用热力学状态方程计算包裹体的形成压力和温度的方法^[11], 并进一步提出根据不混溶流体相态平衡原理, 基于包裹体组合的组成和相态, 又可分为三种热力学数值计算法: (1) 两相共存时流体密度比率 (k_p) 法; (2) 两相共存时组分含量比率 (k_i) 法; (3) 两相共存时溶解度 (x_2) 法。

2.4 成分研究

包裹体的成分代表了包裹体形成时流体的原始组成, 反映了成矿时的物理化学条件, 因此对它的研究是很重要的。

近年来, 随着分析测试技术和方法的发展, 对流体包裹体的成分测试方法及内容也不断进步。当前, 成分测试方法分为三大类^[12], 即破坏性群体包裹体的成分分析 (如色谱质谱、等离子质谱等)、破坏性单个包裹体成分分析 (如激光消融等离子质谱等) 和非破坏性单个包裹体成分分析 (如红外光谱、激光拉曼显微光谱等)。分析测试内容包括流体包裹体的气体、液体、固体有机和无机组成及 δD 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 分析^[13]。此外, 通过显微测温对流体包裹体盐度的测试也是一种有效的方法。

当前对流体包裹体成分研究的方法较多, 但都有局限性。这主要表现在: (1) 样品制备过程中可能造成的污染; (2) 各种分析方法本身的精度和准确度的局限性; (3) 测试过程中可能引起的包裹体成分的变化。因此, 在成分分析过程中应尽可能结合其它资料对测试结果进行综合分析对比。

3 流体包裹体在含油气沉积盆地研究中的应用

3.1 流体包裹体应用于油气生成的研究

由于碳酸岩既可以是生油岩也可以是储集岩,

一般难以从物性等特征加以区别。施继锡等通过研究,认为可以根据有机质包裹体类型、分布、大小、荧光、成分及饱和烃等方面特征加以区别^[8]。

生油热历史和有机质成熟史的研究在油气资源评价及勘探中具有重要意义。由于在某些情况下(如海相碳酸岩盐地层)获得古温度的指标——镜质体反射率(R_o)比较困难,因而通过对流体包裹体均一温度进行一定压力校正的捕获温度就成为研究该问题的一种重要手段。潘长春等运用矿物流体包裹体对准尔沉积盆地油气资源和生油热历史进行了研究^[14],根据包裹体均一温度分别为 157°C 、 175°C 、 245°C 和 285°C ,认为该区二叠系平地泉组生油层的热演化及生油热历史与四次热事件有关,即二叠系的火山喷发作用、深部岩浆体的侵入活动、印支期构造运动和喜山期造山活动。另外,据有机质包裹体的类型与相态、有机包裹体的荧光性质等可以进行生油岩有机质成熟度的评价。此外,还可根据有机包裹体的数量及包裹体中气态烃含量对生油岩的烃类丰度进行评价。施继锡等提出将碳酸盐岩中有机包裹体含量10%作为生油岩的下限^[8]。

根据流体包裹体还可以对油气生成时的物理化学条件进行研究。此外,由于盆地沉积物中有机质的产率和保存在很大程度上受到盆地水循环的影响(如与开阔海的连通、大陆水的注入、介质的氧化作用等),因而通过流体包裹体研究沉积物沉积时的介质水、油藏流体水及成岩作用过程中流体的特征及成分随时间的变化等具有重要意义。Canals等通过流体包裹体对法国 Mulhouse 盆地蒸发岩沉积的母源水进行了研究,认为该母源水与由90%海水和10%SDOM的泉水组成的混合水相同。

3.2 流体包裹体应用于油气运移的研究

构造运动和物质运动是相辅相成的。不同时期和不同性质的构造运动特征是有差异的,因而可以通过物质特征来重演构造运动的历史。

烃类有机包裹体是油气运移聚集过程中遗留下来的“痕迹”和历史记录,因而在一定地区水平和垂直方向上进行流体包裹体系统采样、分析,并与研究区成岩作用史及构造演化史相结合,则有助于油气运移方向、运移通道、运移期次等问题的研究。韦昌山等^[15]介绍了定向包裹体群的面状要素与微裂隙成生关系测量法(FIP法)在油气运移通道研究中的应用。覃建雄等^[2]通过对鄂尔多斯含油气盆地东部奥陶系地层中不同组系脉岩中包裹体研究,认为

油气通过晚期的构造裂隙由盆地东部(烃源岩)向盆地西部(储集岩)运移聚集;油气大量成熟和运聚的相对时间为 T_3 末至 J_1 早期。杨惠民^[16]对贵州赤水地区不同期次裂隙缝胶结物中有机包裹体的系统研究,划分出了不同油气运移期次的有机包裹体区分标志。此外,通过有机包裹体研究还可以对油气运移相态进行探讨。施继锡等^[17]研究了川东地区下三叠统嘉陵江组第二段(T_{1j2})在不同成岩阶段的有机包裹体特征,认为该区天然气主要以气态烃相的形式运移,其次是油气或水气不混溶相运移。

3.3 流体包裹体应用于油气勘探及评价

石油和天然气是岩石孔隙中的一种液态流体和气态流体,其运移和聚集过程是流体在孔隙介质中的运移和聚集过程。它们的运动并不是简单地由高压区向低压区流动,而应遵循一般流体的基本运动规律,即自发地从能量高处向能量低处运移,也即流体总是从流体势高的地区向流体势低的地区运动。

流体势的概念是由 Hubber^[18]早在50年代初引入至油气运移和聚集研究中的,但是他所定义的流体势主要考虑了流体的位能和压能,而没有考虑毛细管阻力的作用。England^[19]在考虑了毛细管阻力作用的条件下,将流体势定义为:从基准面传递单位体积的流体至研究点所必需做的功:

$$\Phi = \rho gz + \rho \int_0^p \frac{dp}{\rho(p)} + \frac{2\delta \cos\theta}{r}$$

其中, ρ 为流体密度, g 为重力加速度, z 为相对高程, δ 为界面张力, r 为毛细管半径,即岩石孔隙半径, θ 为可湿性,用界面与管壁间夹角表示, p 为高程 z 处孔隙流体的压力。

由此可见,利用流体包裹体得出流体的密度、压力和相对高程,即可计算出流体势并可作出流体势动力学图,从而可以确定油气运移的方向及油气圈闭部位。刘斌等^[20]运用包裹体流体势图对吐—哈盆地台北坳陷侏罗纪地层中油气运聚特征进行了研究,并划出了油气聚集最有利的圈闭部位。

此外,根据流体包裹体还可对油气藏进行评价。施继锡等提出根据有机包裹体的类型及相态、有机包裹体的荧光性质和温度测定结果对产层的油气演化阶段进行评价^[8]。如在偏光显微镜下观察,岩层中未见到纯液态烃、液态烃包裹体表明成矿介质环境中缺少烃类,有机质不成熟,未进入液态窗阶段;见有纯液态烃、液态烃包裹体则证明进入液态窗阶段;见有大量的液态烃和少量气态烃包裹体,表明已

进入高成熟阶段;若岩层中主要是气态烃包裹体,则已到凝析油—湿气阶段;若主要是固态沥青包裹体和气态烃包裹体,则演化已达到干气阶段。此外,根据有机包裹体还可对工业产层的烃类丰度进行评价。Shi等^[21]据大量碳酸盐岩产层有机包裹体相对数量统计,认为工业油气层中有机包裹体数量都大于60%。

参考文献:

- [1] Eadington P J. Fluid history analysis: a new concept for prospect evaluation[J]. *The APEA Journal*, 1991, **31**: 301~310.
- [2] 覃建雄. 矿物流体包裹体研究在油气资源评价和油气勘探远景预测中的应用[J]. *地质科技情报*, 1993, **12**(1): 47~52.
- [3] 郑有业, 李晓菊, 马丽娟, 等. 有机包裹体在生油盆地研究中的应用[J]. *地学前缘*, 1998, **5**(1~2): 325~331.
- [4] Roedder E. Fluid inclusions[J]. *Reviews in Mineralogy*, 1984, **12**: 11~45, 251~290.
- [5] Murry A C, Roedder E. Fluid inclusions evidence on the environments of sedimentary diagenesis a review[J]. *SEPM Special Publication*, 1979, **26**: 157~203.
- [6] Burness R C. Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis[A]. In short course in fluid inclusions: Applications to petrology[C]. *Canada Short Course Handbook*, 1981, **6**: 138~156.
- [7] Khorasani G K. Novel development in fluorescence microscopy of complex organic mixtures: Application in petroleum geochemistry[J]. *Org Geochem*, 1987, **11**: 157~168.
- [8] 施继锡, 余孝颖. 碳酸盐岩中包裹体有机质特征与非常规油气评价[J]. *矿物学报*, 1996, **16**(2): 103~108.
- [9] Narr W, Burruss R C. Origin of reservoir fracture in Little Knife field, North Dakota[J]. *AAPG Bull*, 1984, **68**: 1087~1100.
- [10] 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.
- [11] 刘斌, 沈昆. 油气田中不混溶流体包裹体组合的判别和计算[J]. *矿物岩石地球化学通讯*, 1994, (2): 72~74.
- [12] 王莉娟. 流体包裹体成分分析研究[J]. *地质论评*, 1998, **44**(5): 496~501.
- [13] 刘德汉. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具[J]. *地学前缘*, 1995, **2**(3, 4): 149~153.
- [14] 潘长春, 周中毅. 流体包裹体在准尔盆地油气资源评价中的应用[J]. *石油实验地质*, 1990, **12**(4): 412~419.
- [15] 韦昌山, 翟裕生. 定向流体包裹体群的面状要素与微裂隙成生关系的测量法[J]. *地质科技情报*, 1996, **15**(3): 81~85.
- [16] 杨惠民. 包裹体类型和成分特征在油气运移研究和油气储层评价中的应用[J]. *海相油气地质*, 1997, **2**(3): 16~21.
- [17] 施继锡, 李本超. 包裹体作为天然气运移判别标志的研究[J]. *石油与天然气地质*, 1991, **12**(2): 185~194.
- [18] Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. *AAPG Bull*, 1953, **37**: 1954~2026.
- [19] England W A. The movement of petroleum fluids in the subsurface[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 1987, **4**: 327~347.
- [20] 刘斌, 沈昆. 包裹体流体势图在油气运聚研究方面的应用[J]. *地质科技情报*, 1998, **17**(增刊): 81~86.
- [21] Shi Jixi, Lan Wenbo. Organic inclusion as an indicator of oil/gas potential assessment of carbonate reservoir beds[J]. *China Journal of Geochemistry*, 1993, **12**(1): 2~13.

FLUID INCLUSIONS IN SEDIMENTARY BASINS GENERATING PETROLEUM AND THEIR APPLICATION

SUN Qiang, XIE Hong-sen, GUO Jie, SU Gen-li, DING Dong-ye

(*The Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*)

Abstract: In recent years, much attention was paid to the application of (organic) fluid inclusions in the study of sedimentary basins generating petroleum. Theoretic basis of fluid inclusions applied to the study of sedimentary basins is discussed, and the major methods on fluid inclusions are then introduced. At last, the application of fluid inclusions in the analysis of the origin, migration, exploration and evaluation of oil and gas is further discussed.

Key words: (organic) fluid inclusions; sedimentary basins; theoretic basis