

文章编号: 0254-5357(2010)03-0217-04

实验研究碳酸盐岩储层烃类包裹体捕获模式

陈勇, 葛云锦

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 在接近实际储层的温压条件下, 利用人工合成烃类包裹体研究了碳酸盐岩储层烃类包裹体的捕获模式。人工合成烃类包裹体实验研究证实, 在含油气条件下可以通过矿物晶体缺陷的愈合而形成烃类包裹体。根据矿物晶体缺陷类型和包裹体岩相学特征, 可以把烃类包裹体的捕获模式分为4种: 点缺陷型、线缺陷型、面缺陷型和体缺陷型。由于矿物晶体生长过程中点缺陷和线缺陷容易愈合, 多数包裹体以这两种模式形成。点缺陷型包裹体体积一般较小, 不方便分析; 而线缺陷型包裹体体积变化较大; 面缺陷型包裹体数量较少, 一般厚度较薄; 体缺陷型包裹体由于难以形成因而数量很少。结合天然样品对比, 线缺陷型次生包裹体是最常见的, 也是分析中用到最多的包裹体类型。

关键词: 碳酸盐岩储层; 人工合成烃类包裹体; 捕获模式

中图分类号: P59; P579 **文献标识码:** A

Experimental Study on the Modes of Hydrocarbon-bearing Inclusion Trapped in Carbonate Rock Reservoirs

CHEN Yong, GE Yun-jin

(College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: Under the simulation from the actual reservoir temperature and pressure conditions, hydrocarbon-bearing inclusions were synthesized and the modes of hydrocarbon-bearing inclusions forming in carbonate rock reservoirs were studied. Results from synthetic hydrocarbon-bearing inclusion experiments show that the hydrocarbon-bearing inclusions can be trapped through healing the crystalline imperfections under reservoir bearing gas and oil condition. According to the types of crystalline imperfections and the petrographic characteristics of inclusions, the modes of hydrocarbon-bearing inclusions trapped can be divided into four groups, point defect mode, line defect mode, face defect mode and space defect mode. Because the inclusions trapped in point defect and the line defect modes can be easily healed during the growth of mineral crystals, most inclusions formed in these two modes. Inclusions trapped in point defect mode are commonly in small size and not easy to be analyzed. The inclusions trapped in line defect usually have different volumes. The number of inclusions trapped in face defect mode is less and usually thinner. And the space defect mode is difficult to form inclusions. Compared to the natural samples, secondary inclusions trapped in line defect mode are the most common ones and also the most common ones in inclusion analysis.

Key words: carbonate rock reservoir; synthetic hydrocarbon-bearing inclusion; trap mode

收稿日期: 2009-08-29; 修订日期: 2010-02-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40902040); 山东省自然科学基金资助项目(Y2008E25); 油气资源与探测国家重点实验室开放课题(2009006); 中央高校基本科研业务费专项基金资助

作者简介: 陈勇(1976-), 男, 四川安岳县人, 副教授, 博士, 从事流体包裹体和油气地球化学研究工作。

E-mail: yongchenzy@upc.edu.cn.

碳酸盐岩储层烃类包裹体在油气成藏、油气运移、油源对比等油气勘探领域有着广泛的应用^[1-3];但是关于烃类包裹体形成的微观过程还不是很清楚。烃类包裹体的捕获模式与形成机制是目前烃类包裹体研究的重要内容之一^[4]。由于烃类包裹体的捕获过程会影响到包裹体的相态、组成以及分析结果等参数,所以搞清烃类包裹体的形成机制就成为烃类包裹体分析和应用的重要前提^[4-5]。国内外已有不少学者对烃类包裹体的形成机制和分类都进行了深入探讨^[4,6-7],如 Tim 等^[8]对水溶液包裹体中的烃类物质捕获机制进行了探讨。尽管已有关于人工合成碳酸盐包裹体的研究成果报道^[9-11],但有关碳酸盐岩储层烃类流体包裹体的形成模式与捕获机理还不是很清楚^[9]。为了解实际碳酸盐岩储层烃类包裹体的形成模式,探讨其捕获机理,作者设计了人工合成烃类包裹体实验来进行验证。由于结晶作用,烃类物质可以被捕获在矿物晶体的缺陷或者是胶结物中而形成烃类流体包裹体^[6,12-13],本文基于晶体生长的基本过程和模式分析,利用人工合成烃类包裹体讨论了碳酸盐岩储层烃类包裹体的捕获模式。

1 晶体缺陷的类型

众所周知,流体包裹体是因为晶体生长过程存在缺陷,在晶体缺陷中捕获并封存的流体就形成了流体包裹体。由于晶体生长过程中原子都是严格按周期性规律排列的,当这种规律被破坏,在晶体上就会留下痕迹,这些痕迹称为晶体缺陷。按照缺陷区相对于晶体的大小,可将晶体缺陷分为以下4类^[14]:①点缺陷:缺陷区的尺寸在三维方向上都远小于晶粒的线度;②线缺陷:缺陷区的尺寸在某一方向可以与晶粒的线度相比拟,而在其他方向上可以忽略不计;③面缺陷:缺陷区的尺寸在某一晶面上可与晶粒的线度相比拟,而在穿过该面的任何方向上缺陷区的尺寸都远小于晶粒的线度;④体缺陷:缺陷区的尺寸在三维空间上都可以与晶粒的线度相比拟,这种缺陷尺度较大。

2 人工合成烃类包裹体实验

人工合成碳酸盐岩烃类包裹体实验采用最早由 Roedder 等^[15]提出的人工合成流体包裹体技术,本次研究运用高温高压水热裂隙愈合和晶体生长的方法合成烃类包裹体,人为使冰洲石雏晶产生微裂隙,加入原油、NaCl 溶液及碳酸钙粉末,在接近真实储层的温度、压力(150℃,40 MPa)条件下促使晶体矿物生长和裂隙愈合而形成流体包裹体,通过晶体自身生长形成的包裹体类型代表原生的,

裂隙愈合形成的包裹体代表次生的。油水比小于3:7,合成实验的时间7~15 d不等。研究目的是为了探讨碳酸盐岩烃类包裹体的捕获模式,分析不同晶体缺陷对碳酸盐岩烃类包裹体形成过程的影响及其分布特征。

3 烃类包裹体的捕获模式

在不同温压条件下成功合成了碳酸盐岩烃类包裹体,各类包裹体照片及荧光特征如图1所示。不论包裹体的成因如何,根据包裹体的捕获机制、岩相学特征和荧光分析,结合晶体缺陷的类型,可以把碳酸盐岩烃类包裹体的形成模式分为线缺陷型、面缺陷型、点缺陷型和体缺陷型4种类型。

(1)线缺陷型。线缺陷型模式形成的烃类包裹体多数是通过愈合晶体裂隙而形成的,数量较多,主要沿着晶体的裂隙(或解理)分布(如图1-a所示),荧光分析显示,通过愈合晶内裂隙可以形成烃类包裹体。由于晶内裂隙容易愈合,所以此类包裹体容易形成,属于包裹体形成最常见的一种模式;但此类包裹体一般不够规则,形态各异,体积大小差别也往往较大。这类包裹体在成因机制上属于次生包裹体,代表后期地质作用破坏晶体产生微裂隙,微裂隙再愈合而形成的包裹体。而线缺陷的原生包裹体可以在晶体生长时形成。理论上讲,这种类型的包裹体具有似针状的形态,但在镜下看到的一般是长条状。

(2)面缺陷型。面缺陷型烃类包裹体是由于晶体的晶面存在缺陷而形成的,其特点是包裹体形态在一定程度上受到晶面形态的控制,一般呈扁平,平面上较大,但是多数厚度都较薄(如图1-b所示),其分布一般大致平行于晶面。

(3)点缺陷型。如果环境溶液中存在杂质(矿物晶体溶质之外的分子、原子等),这些杂质掺入晶体内部就容易形成点缺陷,此类缺陷容易形成体积很小的流体包裹体,如图1-c所示,可见1~2 μm大小的烃类包裹体,其形态可为近圆形或者椭圆形,一般边缘较为圆滑。目前有学者研究的纳米级流体包裹体有可能为该模式形成,该类包裹体的数量与环境溶液杂质的掺入数量有直接关系。由于该类缺陷容易愈合,所以形成的包裹体数量较多,分布也较广。

(4)体缺陷型。晶体生长在三维方向上的缺陷都存在较大尺寸则为体缺陷,如果这种缺陷愈合也可以形成烃类包裹体(如图1-d所示),则其包裹体的体积一般较大,不仅平面上形态较大,而且厚度一般较厚;但这种包裹体一般呈单个出现,数量较少。

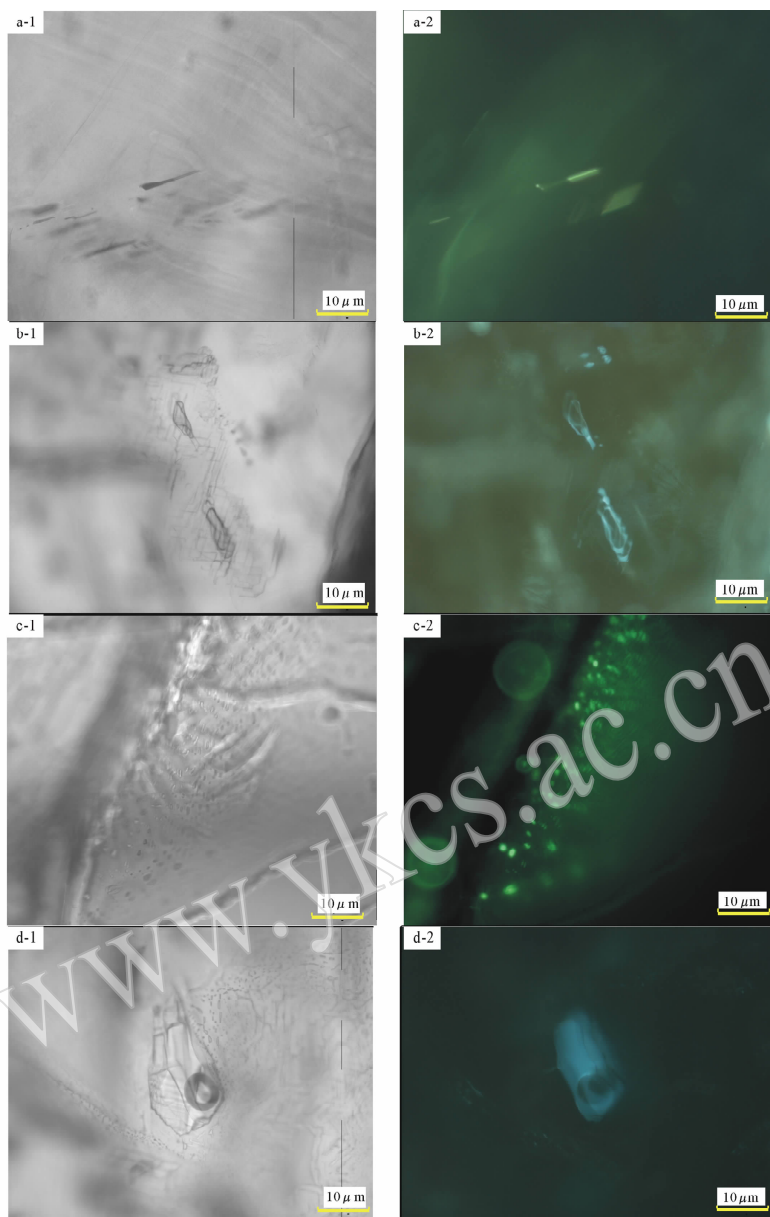


图1 烃类包裹体及其荧光显微照片

Fig. 1 Micro-photos of hydrocarbon-bearing inclusions and their fluorescence

a-1—线缺陷型模式包裹体, a-2—对应 a-1 的荧光照片; b-1—面缺陷型模式包裹体, b-2—对应 b-1 的荧光照片;
c-1—点缺陷型模式包裹体, c-2—对应 c-1 的荧光照片; d-1—体缺陷型模式包裹体, d-2—对应 d-1 的荧光照片。

4 烃类包裹体捕获机制分析

储层流体包裹体的形成过程实际上就是含油气条件下矿物晶体生长的过程,晶体与环境溶液之间(或者说地层水与岩石之间)的相互作用机理从根本上决定了流体包裹体的形成模式^[16]。从宏观角度来看,流体包裹体的形成过程就是晶体缺陷被愈合的过程,晶体生长过程是晶体-环境相(溶液)界面向环境相中不断推移的过程,也就是由包含组成晶体单元的母相从低秩序相向高度有序晶相的转变过程^[14]。由于4种类型的晶体缺陷在尺

度上存在较大差异,这就造成母液中的晶体单元汇聚到晶体表面,促使晶体生长以致缺陷愈合的难易程度肯定是不一样的。本次人工合成烃类包裹体实验研究表明,矿物晶体可能产生的4种缺陷均可在含油气条件下形成烃类包裹体。实验结果显示线缺陷型烃类包裹体数量较多,这暗示了晶体线缺陷容易在晶体生长过程中愈合形成包裹体(次生包裹体类型)。究其原因,可能是因为在线缺陷位置上溶液中的矿物晶体母源容易达到局部过饱和而促使晶体

生长,微裂隙两侧晶体生长愈合裂隙就形成了包裹体。这个成因同样可以解释砂岩储层的天然石英矿物中常见大量流体包裹体主要沿微裂隙分布的现象。另外一种常见的包裹体机制就是点缺陷型,由于环境溶液存在较多的其他杂质(如盐类、烃类分子等),矿物晶体在生长过程中就容易形成点缺陷,由于缺陷尺寸小,随着晶体生长,点缺陷又很容易被愈合(封闭)起来,这样就形成了包裹体。一般点缺陷型包裹体的数量较多,但是由于包裹体体积较小而导致不容易分析。由于晶体生长晶面缺陷愈合而形成的包裹体一般较薄,甚至在包裹体附近的晶面上可以看到因为面缺陷而留下的晶体生长台阶。而矿物晶体中的体缺陷在三维空间上都存在一定尺度的空缺,一般难以愈合,即便能够愈合也需要较长的时间,所以人工合成的烃类流体包裹体中很少见到此类型模式形成的包裹体,根据笔者的经验,在天然样品中也是很少见到此类形成模式的包裹体。

在这4种晶体缺陷类型中,由于晶体线缺陷容易在构造运动的应力作用下产生,如果后期具备晶体生长条件或者裂隙局部可以达到过饱和产生沉淀,就可以形成包裹体,如常见的碎屑岩中石英微裂隙中的成岩流体包裹体就属于这种类型。另外3种类型包裹体一般是在晶体生长过程中形成,在自然环境中常形成原生包裹体类型;但是如果条件允许,晶体继续生长,仍然可以形成次生包裹体,如石英加大边中流体包裹体与晶体生长有关。从流体包裹体捕获的本质来看,不管是原生包裹体还是次生流体包裹体,都是由于晶体缺陷的愈合而形成,只是因为时间关系和成因关系,在研究时应当仔细区分。

5 认识

人工合成烃类包裹体实验研究表明,与无机流体包裹体一样,可以通过矿物晶体缺陷的愈合而形成烃类包裹体。通过对含油气条件下的晶体生长特征和烃类包裹体捕获类型分析,得到以下几点认识。

(1) 在油水比小于3:7的含油气条件下,碳酸盐岩中方解石晶体可以在局部微裂隙愈合或晶体生长并捕获流体形成包裹体。

(2) 根据矿物晶体缺陷类型可以把烃类包裹体的捕获模式分为4种:点缺陷型、线缺陷型、面缺陷型和体缺陷型。点缺陷型和线缺陷型包裹体容易形成,数量较多,面缺陷型包裹体厚度较薄,体缺陷型包裹体数量极少。结合天然样品对比,线缺陷型包裹体常见,也是分析中遇到最多的。

(3) 不论是原生包裹体还是次生包裹体,其形成过程都是因为晶体生长愈合晶体缺陷而形成的,其形成机理是一致的,对其分类只是时间上存在差

异。需要强调的是,在实际地质样品研究中,原生包裹体和次生包裹体代表的地质意义是完全不同的,一定要注意区分。此外,储层成岩条件对矿物晶体缺陷愈合的制约作用还有待于进一步深入研究。

6 参考文献

- [1] 刘鑫,杨传忠. 碳酸盐岩矿物流体包裹体的主要研究方法及其应用[J]. 石油实验地质,1991,13(4):399-406.
- [2] 李纯泉,陈红汉,张希明,陈汉林. 塔河油田奥陶系储层流体包裹体研究[J]. 石油学报,2005,26(1):42-46.
- [3] 刘新社,周立发,侯云东. 运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏[J]. 石油学报,2007,28(6):37-42.
- [4] 陈勇,葛云锦. 人工合成烃类包裹体研究进展[J]. 地质论评,2008,54(6):731-737.
- [5] 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.
- [6] 张志坚,张文淮. 碎屑岩储层中有机包裹体的形成机制研究[J]. 地质科技情报,1994,13(1):53-59.
- [7] 卢焕章,范宏瑞,倪培. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004:137-143,374-377.
- [8] Tim E R, Simon C G, Mark L, Robinson A Q. Organic compounds trapped in aqueous fluid inclusions [J]. *Organic Geochemistry*, 1998,29(1-3):195-205.
- [9] 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.
- [10] 刘超英,周瑶琪,陈勇,郭建卿. 人工合成碳酸盐岩流体包裹体实验与定量分析[J]. 岩矿测试,2004,23(3):161-167.
- [11] Bourdet J, Pironon J. Strain response and re-equilibration of CH₄-rich synthetic aqueous fluid inclusions in calcite during pressure drops[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008,72:2946-2959.
- [12] 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.
- [13] Zhang Wenhui, Zhang Zhijian, Ming Houli, Wu Gang, Ye Song. A study on organic inclusions in elastic reservoir rocks and their application to the assessment of oil and gas accumulations [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1996,153:249-257.
- [14] 郝保红,黄俊华. 晶体生长机理的研究综述[J]. 北京石油化工学院学报,2006,14(2):58-64.
- [15] Roedder E, Kopp O C. A check on the validity of the pressure correction in inclusion geothermometry, using hydrothermally grown quartz [J]. *Fortschr Mineral*, 1975,52:431-446.
- [16] Balitsky V S, Prokofev V Y, Balitskaya L V. Experimental study of the interaction of mineral-forming hydrothermal solutions with oil and their joint migration [J]. *Petrology*, 2007,15(3):211-223.