

文章编号: 0253-9985(2006)02-0194-06

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

李荣西¹, 席胜利², 邸领军²

(1 长安大学, 陕西 西安 710054 2 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710021)

摘要: 鄂尔多斯盆地陇东油田长 3 油层砂岩储层主要成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用和裂隙作用等, 成岩自生矿物以绿泥石、自生石英、方解石和石膏为主。根据油气包裹体寄主成岩矿物的形成时间序列, 识别出两期油气包裹体。第一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、次生加大边底部和早期裂隙中, 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。第二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。研究认为, 第一期油气包裹体代表了油气运移充注过程, 而第二期油气包裹体代表了油气大规模聚集成藏过程。应用不同期次油气包裹体形成温度与储层沉积热演化史地质分析方法, 确定本区油气充注运移时间约为 122 Ma (早白垩世), 而油气大规模聚集成藏时间约为 80 Ma (晚白垩世晚期)。

关键词: 油气包裹体; 岩相学; 成藏时间; 陇东油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.3 文献标识码: A

Oil/gas reservoiring phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs taking Longdong oilfield, Ordos basin, as an example

Li Rongxi¹, Xi Shengli², Di Lingjun²

(1 Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054 2 Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021)

Abstract The main diagenetic types of the sandstone reservoirs in Chang-3 reservoir in Longdong oilfield, Ordos basin, include compaction, cementation, corrosion and fracturing. The diagenetic authigenic minerals are dominated by chlorite, authigenetic quartz, calcite and gypsum. Two different phases of hydrocarbon inclusions have been identified according to the formation time series of the host diagenetic minerals. The hydrocarbon inclusions formed in the first phase would have been formed during the burial diagenesis in late early diagenetic stage, and are distributed in the dissolution pores and bottom of overgrowth edge of minerals, such as quartz and feldspar, as well as in earlier fractures. They are characterized by irregularity in shape and small in size, generally in the range of 3~8 μm , and are dominated by multiple phase hydrocarbon inclusions. The hydrocarbon inclusions formed in the second phase would have been formed during basin uplifting stage in late late diagenetic stage, and are distributed in the late-formed fractures, siliceous cement and sparry calcite cement. They generally contain saline water, and the boundaries of oil, gas and water are clear. It is believed that the former represents the process of hydrocarbon migration and charging, while the latter represents the process of large scale oil/gas accumulation and reservoiring. Based on the temperatures of hydrocarbon inclusion formed in various phases and analyses of the sedimentary and thermal evolution history of reservoirs, the time of hydrocarbon migration and charging is determined to be about 122 Ma (Early Cretaceous), while that of large-scale accumulation and reservoiring is about 80 Ma (late Late Cretaceous).

Key words hydrocarbon inclusion; petrography; time of reservoiring; Longdong oilfield; Ordos basin

收稿日期: 2006-01-10

第一作者简介: 李荣西 (1966-), 男, 副教授, 油气地质与勘探

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (G2003CB214600)

储层油气包裹体是在储集岩裂缝、孔、洞充填物和胶结物等结晶生长过程中捕获储层中油气流体而形成的。储层油气包裹体的形成必须同时具备两个条件:一是储层中有油气等烃类流体的运移或聚集活动;二是在油气等烃类流体运移或聚集的同时,储集岩发生了明显的成岩作用,成岩矿物在结晶生长过程中就有机会捕获油气流体而形成油气包裹体。通过对储层成岩作用和其中油气包裹体特征的研究,可以反演储层成岩历史时期的油气运移和成藏过程。成岩作用特性反映了储层当时的成岩环境、成岩时间和阶段,而油气包裹体特征反映了油气来源、成分和含油气饱和度(丰度)。近年来,油气包裹体被广泛用来研究油气成藏时间和期次,为油气勘探中一种重要研究手段,越来越得到石油地质学家的重视,并取得了大量研究成果^[1,2]。

目前在研究油气成藏期次时,主要根据油气包裹体均一温度、冰点或盐度和荧光特征等来划分油气包裹体期次,进而确定油气成藏期次;比较而言,对储层和包裹体的岩相学研究较少。实际上,油气包裹体的这些特征与包裹体期次或者油气成藏期次之间并没有直接的联系。均一温度、冰点或盐度只反映了包裹体形成时的环境条件,而包裹体的荧光成因复杂,难以根据这些特征确切地划分油气成藏期次。然而,通过沉积岩岩相学研究方法,可以清楚地确定成岩矿物的形成时间序列和期次,由此可以确定成岩矿物中包裹的油气包裹体的形成时间序列和期次,进而确定油气运移和聚集成藏期次。

鄂尔多斯盆地是我国重要的含油气盆地之一。三叠系延长组是一套以河流三角洲体系为主的含油气层。有关延长组成岩作用的研究很多,对成岩作用阶段划分、成岩作用序列、期次、类型和主要成岩矿物特征、孔隙演化、油气储集性等的研究取得了大量成果^[3~5]。但是,目前对延长组的油气成藏时间、期次等却有不同的看法^[6~8]。本文应用岩相学研究方法,在对鄂尔多斯盆地陇东油田延长组长 3 油层成岩作用研究的基础上,通过对不同期次成岩矿物和其包裹的油气包裹体特征的分析研究,来确定长 3 油藏的油气运移成藏期次。

心样品,通过显微镜下岩石薄片观察,最终选择了延长组长 3 油层岩心样较齐全的庄 27 井、镇 47 井和杨 1 井样品进行研究。首先在显微镜下通过岩石薄片观察,结合扫描电镜和粘土矿物 X-射线衍射分析,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。其次在偏光显微镜下和荧光显微镜下观察包裹体薄片,研究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,进而确定油气包裹体期次及其反映的油气成藏期次。应用英国 Linkam 科学仪器公司生产的 THM S600 型冷热台,分别测量不同期次流体包裹体的均一温度和冰点温度,再用 Bodnar 方程计算包裹体的盐度^[9]。

2 成岩作用与有机包裹体期次

成岩作用研究是油气包裹体研究的基础,只有确定了成岩作用特征和成岩自生矿物形成的相对时间序列,查明油气包裹体寄存的成岩矿物特征及其在成岩序列中的相对位置,才能确定油气包裹体期次及其反映的油气运移和成藏期次等方面的信息。

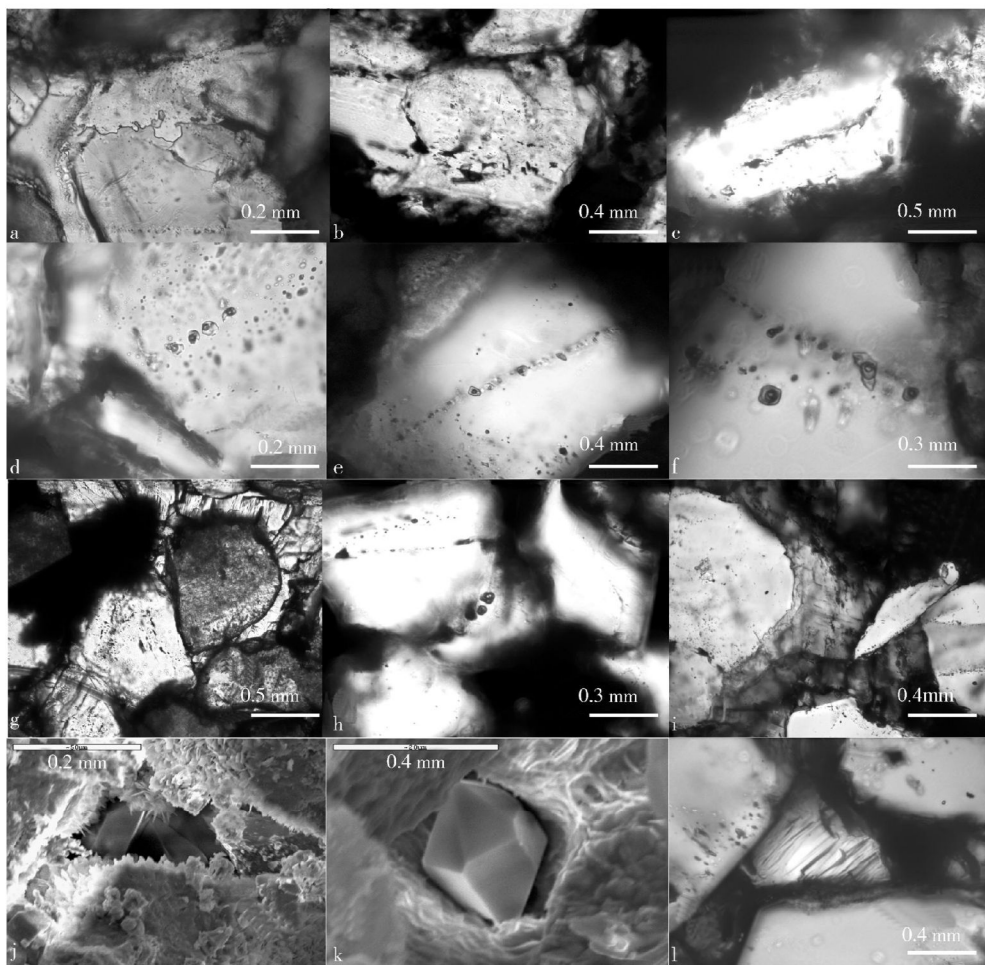
2.1 成岩阶段与成岩作用类型

长 3 油层砂岩储层主要为长石砂岩、岩屑长石砂岩和岩屑砂岩,以中细粒、细粒和粉砂结构为主,成岩作用复杂,类型多样。在前人对本区古地温研究的基础上^[3,4,10],结合本文包裹体测温资料和成岩矿物特征,推断陇东油田长 3 油层砂岩储层经历过早成岩阶段的未成熟和低成熟期,目前正处于晚成岩阶段的成熟期,局部地段处于表生成岩作用下。长 3 油层成岩作用特征见图 1 所示,其主要成岩作用如下。

1) 压实作用

在早成岩阶段早期浅埋藏阶段,成岩作用主要以机械压实作用为主,碎屑颗粒趋于最紧密堆积,颗粒由点接触变为线接触到凸凹接触。

2) 早期胶结作用



a 埋藏溶蚀作用形成的港湾状结构, 庄 27 井, 1 874.91 m; b 石英颗粒自生加大边, 加大边底部有油气包裹体和沥青包裹体, 杨 1 井, 1 282.81 m; c 石英碎屑早期裂隙中充填的油气和沥青包裹体, 庄 27 井, 1 637.64 m; d 石英碎屑早期裂隙中充填的串珠状气液两相油气包裹体, 杨 1 井, 1 262.34 m; e 晚期裂隙中分布的串珠状气液两相油气包裹体, 庄 27 井, 1 637.64 m; f 晚期裂隙中分布的串珠状气液两相油气包裹体, 杨 1 井, 1 262.34 m; g 长石碎屑边钠长石加大边, 庄 27 井, 1 874.91 m; h 晚期裂隙和晚期石英胶结物中分布的气液两相油气包裹体, 镇 47 井, 1 686.08 m; i 晚期方解石胶结物, 镇 47 井, 1 686.08 m; j 孔隙壁生长的叶片状绿泥石, 扫描电镜, 庄 27 井, 1 637.64 m; k 自形石英晶体, 右上部为“搭桥”状伊利石, 扫描电镜, 杨 1 井, 1 262.38 m; l 石膏胶结物, 庄 27 井, 1 874.91 m

图 1 陇东油田长 3 油层主要成岩矿物及包裹体形态与分布特征

Fig. 1 Main diagenetic minerals and shape and distribution of inclusions in Chang-3 oil reservoir in Longdong oilfield

3) 溶蚀作用和早期裂隙作用

溶蚀作用的特点是在镜下见石英、长石等颗粒边缘溶蚀成港湾状, 直接与胶结物接触, 几乎均被胶结物充填(图 1a)。长 3 油层的溶蚀作用实际上是埋藏溶蚀作用。由于在侏罗纪晚期—白垩纪早期(相当于早成岩阶段晚期)延长组随着埋藏深度加大达到生油门限深度以下, 烃源岩开始生烃和排烃, 地层流体中含有的油气等有机质(包括有机酸)对石英和长石等碎屑颗粒及前期碳酸盐胶结物溶蚀形成粒间溶孔、粒内溶孔和晶间(或晶内)溶孔。埋藏溶蚀作用与生油期匹配, 形成的溶蚀孔中充填有当时生成的油气, 部分可见沥青充

填, 在石英加大边底部发育沥青环带(图 1b), 证明溶蚀作用发生在石英自生加大之前。据研究^[48], 鄂尔多斯盆地东部在早、中侏罗世地层沉积后, 延长组埋深平均达 2 800 m, 热演化进入生油门限, 开始大量生油。

早期裂隙作用与埋藏溶蚀作用基本同时进行。早期裂隙的特征是没有穿过石英碎屑加大边(图 1c、d), 说明此类裂隙形成于石英次生加大边形成之前。因后期成岩作用的影响, 早期裂隙愈合, 其中分布着沥青或者串珠状的油气包裹体, 它们与埋藏溶蚀孔隙中的油气包裹体均属于早期油气包裹体(表 1)。

表 1 陇东油田长 3 油层成岩作用和油气包裹体分布特征

Table 1 Diagenesis and distribution of hydrocarbon inclusions in Chang-3 reservoir in Longdong oilfield

成岩阶段	早成岩阶段		晚成岩阶段	
	未成熟阶段	低成熟阶段	成熟阶段	高成熟阶段
	压实、胶结作用	溶蚀作用、裂隙作用	次生加大	胶结作用、裂隙
成岩作用	压实、硅质、泥晶方解石胶结、粘土矿物衬边	石英、长石等碎屑溶蚀, 早期裂隙作用	石英、长石颗粒次生加大, 浊沸石溶蚀孔隙形成	晚期裂隙, 硅质、亮晶方解石、石膏和绿泥石等胶结
油气包裹体	第一期油气包裹体		第二期油气包裹体	
油气运移	油气生成、运移		油气聚集成藏	

4) 石英次生加大作用

石英和长石等碎屑颗粒边缘次生加大边非常发育 (图 1a b d g), 在碎屑颗粒次生加大边底部分布有较多的沥青或油气包裹体, 形成一个明显的沥青环带 (图 1b)。在长石碎屑颗粒基础上, 次生加大形成了呈枳壳状的钠长石生长环带 (图 1g)。

5) 晚期胶结作用和晚期裂隙作用

晚期胶结作用表现为硅质胶结物、钠长石、亮晶方解石、白云石、石膏和自生高岭石、绿泥石等粘土矿物的胶结。晚期胶结物中见油气包裹体分布 (图 1h)。晚期裂隙的特点是切穿了整个碎屑颗粒, 其中分布有晚期油气包裹体和沥青侵染物 (图 1e f h), 亮晶方解石解理缝中有沥青侵染现象 (图 1i)。在扫描电镜下观察, 发现有大量叶片状自生绿泥石和石英自形晶分布在砂岩孔隙中 (图 1j k)。

2.2 成岩矿物序列

通过岩石学、扫描电镜和 X-射线衍射分析,

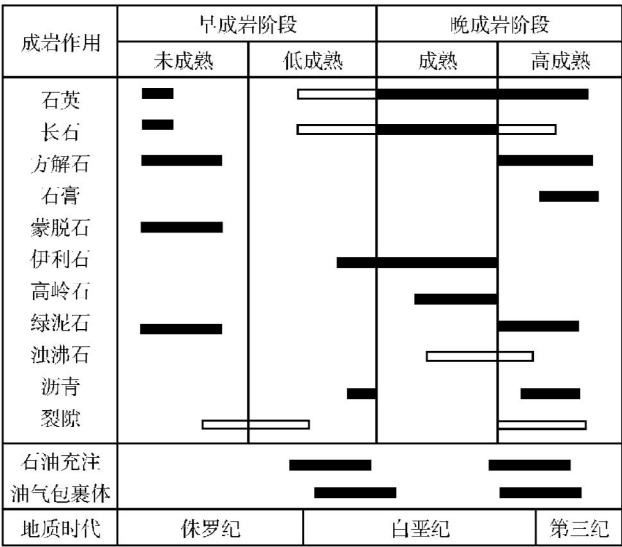


图 2 陇东长 3 油藏成岩矿物形成与溶蚀和石油充注序列

Fig 2 Formation and dissolution of diagenetic minerals and hydrocarbon charging sequence in Chang-3 reservoir in Longdong oilfield

油气充注进入储层后就停止生长^[4]。石英加大与自生现象较为普遍, 自生石英晶体完整 (图 1i)。

填的形式分布在粒间孔隙中。伊利石以片状或丝状分布在颗粒表面或呈“搭桥”状充填于孔隙中 (图 1k), 一般认为延长组伊利石多来源于伊/蒙混层的成岩演化, 形成于较晚成岩阶段^[3], 但是当

3.1 油气包裹体期次

由成岩作用与油气包裹体分布特征可以识别出两期油气包裹体。第一期油气包裹体形成于沉

积埋藏过程中,分布在早成岩阶段晚期埋藏作用形成的溶蚀孔隙和早期裂隙中,被石英和长石等后期次生加大边包裹起来,分布在次生加大边底部形成沥青环带状结构(图 1b)。早期裂隙没有切穿碎屑颗粒边界,其中有呈串珠状定向排列的油气包裹体(图 1c d),包裹体形态不规则,大小一般为 $3 \sim 8 \mu\text{m}$,气液比一般大于 20% 甚至更高;包裹体相态复杂,一般含盐水及气态和液态烃类,也可见到沥青,为多相有机包裹体。

第二期油气包裹体分布在晚成岩阶段的晚期裂隙(图 1e f)晚期硅质胶结物(图 1h)和亮晶方解石胶结物中(图 1i)。油气包裹体在晚期裂隙中呈串珠状定向分布,晚期裂隙切穿了颗粒边界,硅质胶结物中的油气包裹体呈椭圆形孤立分布,亮晶方解石胶结物中的油气或沥青包裹体沿解理分布或者呈沥青侵染状。第二期油气包裹体较大,普遍含盐水,包裹体油、气、水相态边界非常清楚。由于晚期裂隙、硅质胶结物和亮晶方解石胶结物是晚期构造抬升过程中的成岩矿物,因此第二期油气包裹体形成于晚期构造抬升过程中。

3.2 油气包裹体形成条件和流体特征

为了确切地测量不同期次包裹体的均一温度,首先在显微镜下区分清楚要分析包裹体的期次和类型,然后按照时间先后顺序分别测量不同期次包裹体的均一温度、统计不同期次包裹体均一温度的峰值,要求每个样品测量的包裹体个数不少于 25 个。图 3 为均一温度测量结果。可以看出,早期油气包裹体的均一温度峰值在 $110 \sim 120^\circ\text{C}$,晚期油气包裹体的均一温度峰值在 $140 \sim 150^\circ\text{C}$,它们分别代表了本区早期油气生成运移时

的流体温度和晚期油气运移聚集成藏时的温度。

通过冰点温度测量结果计算的流体包裹体盐度表明,长 3 油层油气包裹体盐度总体较高,两期包裹体的盐度变化都较大,二者盐度一般都在 $0.2\% \sim 12.5\%$,晚期包裹体的盐度(主要在 $8.0\% \sim 9.0\%$)一般高于早期包裹体的盐度(一般在 $4.0\% \sim 6.0\%$)。根据 R. H. Goldstein 的研究认为^[11],沉积盆地中盐度介于 $3.0\% \sim 23.0\%$ 的含烃类流体包裹体属于典型的来源于沉积盆地内的热演化油气流体。

4 油气成藏时间的确定

根据鄂尔多斯盆地的构造演化特征,陇东地区三叠系延长组沉积之后经历过多次抬升剥蚀作用和沉降埋藏作用。其中在晚三叠世末期—早侏罗世早期遭受构造抬升剥蚀,而后接受了早侏罗世晚期(相当于富县组)—中侏罗世(相当于延长组、直罗组和安定组)的沉积埋藏作用,晚侏罗世末期抬升剥蚀,在早白垩世沉降接受了志丹群沉积埋藏作用,之后鄂尔多斯盆地发生了区域性的构造抬升,遭受大规模的剥蚀作用。在晚侏罗世末期剥蚀的地层厚度达到 $1\ 200\text{ m}$,而晚白垩世末期剥蚀的地层厚度达 $1\ 520\text{ m}$ ^[10]。

根据鄂尔多斯盆地的古地温和构造演化史,以地层研究程度较高的陕参 1 井为参考,其中地层分层和剥蚀厚度根据长庆研究院的资料,地层剥蚀厚度和古地温梯度参考文献[9],将中生代古地温取值为 $40^\circ\text{C}/\text{km}$,其他时代古地温取值为 $30 \sim 40^\circ\text{C}/\text{km}$,建立了陇东地区三叠系构造热演化史曲线(图 4)。由于第一期油气包裹体形成于早

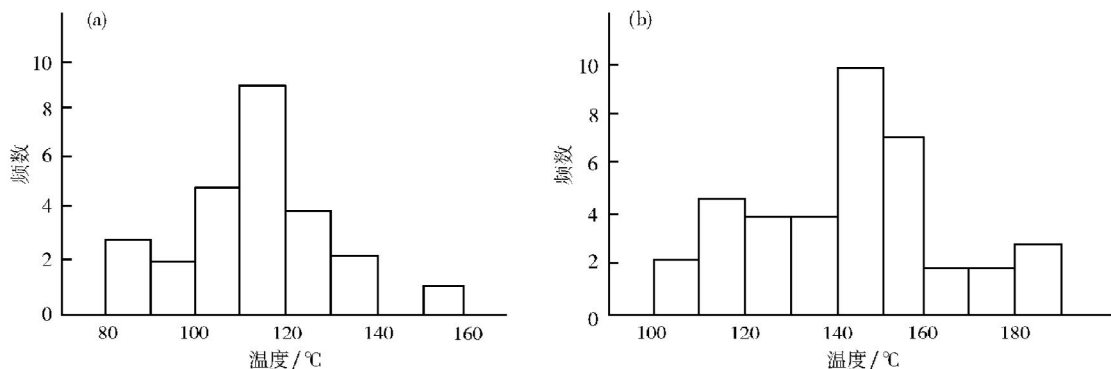
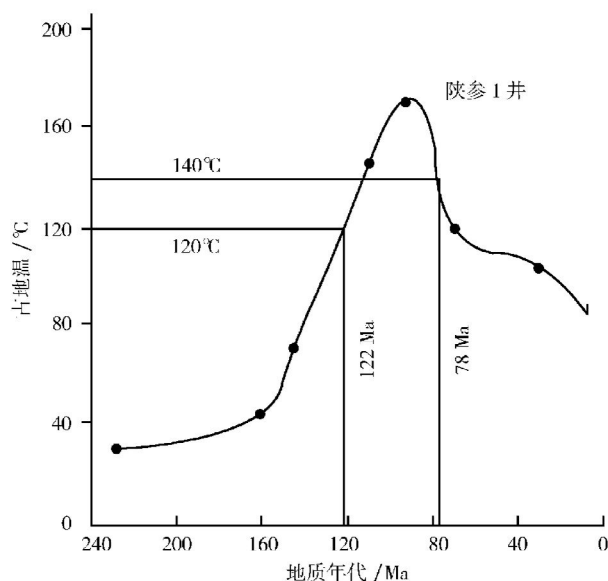


图 3 长 3 油层砂岩流体包裹体均一温度频率

Fig. 3 Homogenization temperature of fluid inclusion in Chang-3 oil reservoir sandstone in Longdong oilfield

(a) 第一期流体包裹体; (b) 第二期流体包裹体

图 4 用 $T-t$ 曲线法确定长 3 油气藏形成时间Fig. 4 Formation time of Chang-3 oil/gas reservoirs determined by using $T-t$ curve method

成岩阶段沉积埋藏过程中,其均一温度峰值 120°C 与 $T-t$ 曲线埋藏段的交点在 x 轴上所对应的时间约为 122 Ma (早白垩世),该时间即为第一期油气包裹体代表的早期油气形成和运移时间。而第二期油气包裹体形成于晚期构造抬升过程中,其均一温度峰值 140°C 与 $T-t$ 曲线抬升段的交点在 x 轴上所对应的时间约为 80 Ma (晚白垩世晚期),该时间即为第二期油气包裹体代表的油气运移聚集成藏时间,也就是陇东地区油气大规模成藏时间^[12]。

5 结论

油气成藏时间和期次是油气成藏研究的重点和热点问题。目前人们可以应用多种方法确定油气成藏的时间,如圈闭形成时间与生排烃历史分析法、油层砂岩次生含钾粘土矿物(如伊利石) $\text{K}-\text{Ar}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄分析方法、放射性同位素年龄测定方法等等。但是,由于制样和分析测试技术的限制,这些方法得出的结果不同程度地存在不确定性。比较而言,岩相学研究方法针对具体的油藏特点,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和可靠的方法。本文通过实例研究表明,鄂尔多斯盆地陇东长 3 油藏可以区分出两期油气包裹体,第一期油气包裹体代表了早白垩世(约为 122 Ma)油气形成和运移充注的过程,第二期油气包裹体代表了晚白垩世晚期(约为 80 Ma)油气大

规模聚集成藏的过程。

致谢: 本文于 2005 年在西北大学召开的“鄂尔多斯盆地多种能源矿产与环境效应”学术研讨会上进行了交流,刘池阳教授提出了宝贵的意见。作者受益匪浅,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 柳少波,顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 326~342
Liu Shaobo, Gu Jiayu. Application of fluid inclusions to petroleum geological study and discussion [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 326~342
- 赵靖舟. 油气成藏年代学研究进展及发展趋势 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 378~383
Zhao Jingzhou. Geochronology of petroleum accumulation: new advances and the future trend [J]. Advance In Earth Sciences, 2002, 17(3): 378~383
- 李凤杰,王多云,徐旭辉. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层特征及影响因素分析 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 355~370
Li Fengjie, Wang Duoyun, Xu Xuhui. The influential factors and characteristics of Triassic Yanchang Formation reservoir in Longdong area, Ordos basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(4): 355~370
- 柳益群,李文厚,冯乔. 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段 [J]. 地质学报, 1997, 71(1): 65~74
Liu Yiqun, Li Wenhui, Feng Qiao. Paleogeotemperatures and diagenetic stage of the Upper Triassic oil sandstones in the eastern Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(1): 65~74
- 王琪,史基安,王多云,等. 鄂尔多斯盆地西部三叠系长 2 油层组砂岩成岩演化特征 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 261~265
Wang Qi, Shi Jie'an, Wang Duoyun, et al. Characteristics of diagenetic evolution of Chang 2 sandstones in the western Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 261~265
- 赵孟为,汉斯·阿伦特,克劳斯·魏玛. 鄂尔多斯盆地伊利石 $\text{K}-\text{Ar}$ 等时线图解与年龄 [J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 148~151
Zhao Mengwei, Ahrendt H, Wenmer K. The K-Ar isochron diagram and ages of illites from the Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 148~151
- 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 126~132
Wang Tingbin. Gas pools in China have mainly been formed and finalized during tectonic movements since Neogene [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 126~132
- 贾承造,何登发,陆浩民. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 121~125

(下转第 217 页)

- 学学报 (自然科学版), 2004, 31(3): 273~279
- Huang Sijing, Xie Lianwen, Zhang Meng et al. Formation mechanism of authigenetic chlorite and relation to preservation of porosity in nonmarine Triassic reservoir sandstones, Ordos basin and Sichuan basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(3): 273~279
- 4 梅博文, 译. 储层地球化学 [M]. 西安: 西北大学出版社, 1992. 1~144
- Mei Bowen, translated. Reservoir geochemistry [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1992. 1~144
- 5 陈永峤, 于兴河, 周新桂, 等. 东营凹陷各构造区带下第三系成岩演化与次生孔隙发育规律研究 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 68~75
- Chen Yongqiao, Yu Xinghe, Zhou Xingui et al. Research on diagenetic evolutionary succession and occurrence of secondary porosity of Lower Tertiary in different structural belts of Dongying depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 68~75
- 6 Stoessell R K, Pittman E D. Secondary porosity revisited: the chemistry of feldspar dissolution by carboxylic acids and anions [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1795~1805
- 7 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化 [J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 89~92
- Liu Yiqun, Li Wenhui. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the eastern Shan-Gan-Ning basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 89~92
- 8 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳拗陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84~88
- Cai Jingong, Xie Zhonghui, Tian Fang et al. Diagenesis and pore evolution of deep sandstones in Jiyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 84~88
- 9 刘林玉, 柳益群, 李文厚, 等. 吐哈盆地台北凹陷三角洲沉积与成岩作用 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 402~405
- Liu Linyu, Liu Yiqun, Li Wenhui et al. Sedimentation and diagenesis of delta in Taipei sag of Turpan-Hami basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 402~405
- 10 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 274~280
- Li Yanxia, Liu Hongjun, Yuan Dongshan et al. Effect of oil charging on reservoir's diagenetic mineral evolution [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 274~280
- 11 蔡春芳, 顾家裕, 蔡洪美. 塔中地区志留系烃类侵入对成岩作用的影响 [J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 60~64
- Cai Chunfang, Gu Jiayu, Cai Hongmei. Effect of hydrocarbon emplacement on diagenesis of Silurian sandstone of central Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 60~64
- 12 李明诚. 对油气运聚过程中一些概念的再思考 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 13~16
- Li Mingcheng. Reconsideration on some concepts in research of hydrocarbon migration and accumulation [J]. Petroleum Exploration & Development, 2002, 29(2): 13~16
- 13 覃建雄, 田景春, 杨作升. 陕甘宁盆地中部马五 4 气层成岩相与有利储集区预测 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(1): 37~41
- Qin Jianxiong, Tian Jingchun, Yang Zuosheng. The study of diagenetic phases and prediction of prospective reservoirs in M 5_4^1 gas-bearing formation in the center of Ordos basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(1): 37~42
- 14 杨小萍, 陈丽华. 陕北斜坡延长统低渗透储集层成岩相研究 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 38~40
- Yang Xiaoping, Chen Lihua. Diagenesis and diagenetic facies studies for Yanchang Formation of the Triassic in Ordos basin [J]. Petroleum Exploration & Development, 2001, 28(4): 38~40

(编辑 李 军)

(上接第 199 页)

- Jia Chengzao, He Dengfa, Lu Hamin. Episodes and geodynamic setting of Himalayan movement in China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 121~125
- 9 Bodnar R J. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 683~684
- 10 任战利, 赵重远. 鄂尔多斯盆地与沁水盆地中生代晚期地温场对比研究 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 134~137
- Ren Zhanli, Zhao Chongyuan. Late Mesozoic comparative research on the geothermal field of the Ordos basin and Qinsui basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 134~137
- 11 Geolstein R H. Fluid inclusion in sedimentary and diagenetic systems [J]. Lithos, 2001, 55: 159~193
- 12 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉, 等. 应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间 [J]. 科学通报, 2002, 47(12): 957~960
- Xiao Xianming, Liu Zufu, Liu Dehan et al. Dating to gas pool formation using information of reservoir fluid inclusion [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957~960

(编辑 李 军)