

文章编号: 1009-3850(2009)03-0063-08

鄂尔多斯盆地西北部盒 8 段流体包裹体特征与油气成藏研究

王春连, 侯中健, 刘丽红

(成都理工大学 沉积地质研究院 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 根据油气包裹体特征及含烃盐水包裹体均一温度, 结合埋藏史分析, 对盒 8 段油气藏进行了成藏期次综合研究。盒 8 段油气藏历经四期油气充注过程: 第一期发生在 219 ~ 209Ma(晚三叠世中期); 第二期发生在 191 ~ 183Ma(早侏罗世中期); 第三期发生在 145 ~ 130Ma(早白垩世早中期); 第四期发生在 122 ~ 115Ma(早白垩世晚期)。

关键词: 成岩序次; 流体包裹体; 盒 8 段; 均一温度; 油气成藏期次

中图分类号: TE133+.2

文献标识码: A

1 前言

矿物中的流体包裹体是油气在不同演化阶段所捕获的“原始样品”, 含有丰富的油气成藏信息, 从而得到广泛应用^[1]。流体包裹体为人们了解油气藏中的物理化学条件提供了宝贵的资料。矿物包裹体的研究在国外开展较早。19 世纪 70 年代末至 80 年代初, 一些远见卓识的岩石学家和石油地质学家开始将流体包裹体的研究方法引入石油地质勘探领域, 取得了显著成效^[2]。近年来, 流体包裹体已广泛应用于追踪盆地流体的运聚^[3]。流体包裹体作为地下岩石中古代流体信息的载体和一个相对封闭的地球化学体系, 保留了地下流体的许多重要信息, 如温度、压力、成分、介质环境等, 在盆地热演化、油气充注与性质以及油气成藏研究中正发挥着越来越重要的作用^[4~9]。20 世纪 80 年代末期之后, 特别是最近几年来, 流体包裹体分析在油气运移、成藏期次、油气成藏年代学和油气成藏史等研究中发挥了重要作用, 具有广泛的应用价值, 已成为油气地球化学领域的研究热点之一^[3, 10~13]。在此之前, 对油气藏成藏期次及时间的确定人们往往采用传统的方法, 如根据主要生、排烃期、圈闭形成时间等定性推

测。

2 样品采集

鄂尔多斯盆地处于华北地块的西缘, 横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区, 面积约 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是一个古生代地台及台缘拗陷与中生代台内拗陷叠合的克拉通盆地^[14]。研究区位于鄂尔多斯盆地的西北部(图 1), 北起伊盟隆起, 南至定边, 西起西缘冲断带, 东临 S1 井, 总面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

为了研究盒 8 段流体包裹体特征及与油气形成演化关系, 样品取自 10 口钻井, 平面上采样点尽可能覆盖研究区的范围, 控制深度为 3460 ~ 3810m。砂岩选择具有较明显石英次生加大边, 自生碳酸盐及沿构造裂隙分布的有机包裹体。分别做了镜下观察、显微测温、冰点测试, 并对部分石英砂岩胶结物作了电镜扫描分析。在测定成岩流体包裹体时, 优选最能反映成岩环境的石英颗粒次生加大边中的流体包裹体和与烃类包裹体共生的同期盐水包裹体, 且每块样品均尽量测全, 以获得各个期次的的数据。

3 成岩作用与成岩序次

鄂尔多斯盆地西北部地区上古生界盒 8 段储层

收稿日期: 2008-11-20 改回日期: 2009-06-08

作者简介: 王春连(1983-), 男, 硕士生, 主要从事沉积储层、成岩作用研究。E-mail: wangchunlian312@yahoo.com.cn

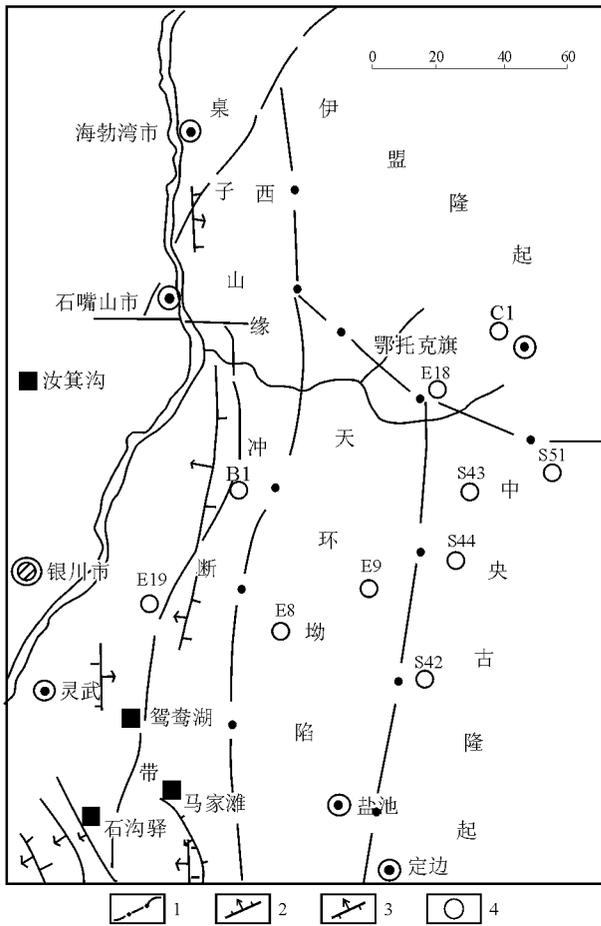


图 1 鄂尔多斯盆地西北部构造分区及采样井位图

1 构造分区线; 2 正断层; 3 逆断层; 4 采样井

Fig 1 Tectonic division and sampling well site in north-western Ordos Basin

1 = tectonic boundary 2 = normal fault 3 = thrust fault
4 = sampling well site

岩性主要为石英砂岩。成岩作用研究表明, 其经历的成岩作用主要有压实作用、胶结作用与自生作用、溶蚀溶解作用。压实作用为早期最主要的成岩作用, 胶结作用与自生作用贯穿于整个成岩过程, 其主要为硅质胶结、石英次生加大及钙质胶结, 每个样品中均可见到较为发育的微细晶方解石胶结物、石英或长石次生加大边、孔隙充填的连生方解石胶结物以及自生石英矿物。溶蚀溶解作用是本区最重要的一次区域性成岩事件, 研究表明可能与当时烃类的注入关系密切, 其形成的大量次生孔隙是本区最重要的储集空间。

在整个成岩作用过程中, 由于各阶段流体的温度、压力和成分不同, 胶结物与自生矿物的类型和沉淀顺序不同, 被其捕获的烃类包裹体的特征明显不同。因此, 胶结物与自生矿物形成序次的确定是用

流体包裹体研究油气成藏期次的基础。显微镜下观察表明, 研究区细砂岩储层中胶结物和自生矿物的形成序次为: 微细晶方解石→石英、长石次生加大→晚期孔隙充填方解石→自生石英。

4 流体包裹体特征

成岩期流体包裹体是在成岩作用中捕获的流体包裹体。可分为原生包裹体。鄂尔多斯盆地上古生界砂岩中发育丰富的流体包裹体(表 1)。成岩流体包裹体广泛发育于砂岩的石英晶体及其次生加大边中或(和)愈合缝之中, 而石英碎屑粒间自生方解石胶结物具有纯气液相、气液两相包裹体, 体积大小 $1 \sim 4 \mu\text{m}$, 此类包裹体数量较少。一种属成岩期后早期构造裂隙期气相包裹体, 在石英、方解石中受愈合裂隙控制线状分布(图 2 a), 包裹体大小 $2 \sim 26 \mu\text{m}$, 有机包裹体较多, 约占 $60\% \sim 80\%$, 指示着有机质过成熟。另一种沿晚期构造裂隙分布的晚期包裹体(图 2 b), 受愈合裂隙控制, 呈滴状 $2 \sim 5 \mu\text{m}$, 一般与油气形成运移无关。

根据流体包裹体物理状态、成因充填度, 划分下列类型: (1) 纯液体包裹体; (2) 纯气体包裹体; (3) 液体包裹体(图 2 c), 充填度大于 60% 。严格来说, 是指在室温下充填度较大(因而密度较大)、在加热时均一到液相的包裹体; (4) 气体包裹体(图 2 d), 是指在室温下含有一个较大气泡和少量液体(因而充填度小于 50%)、加热时均一到气相的包裹体。一般来说具有 60% 的气泡体积的包裹体才称得上是气体包裹体; (5) 含子矿物包裹体, 通常由气相、液相和子矿物组成。包裹体中最常见的子矿物有石盐、钾盐, 其次为硬石膏、赤铁矿、萤石、方解石和石英等, 偶见磁铁矿和硫化物。

4.1 流体包裹体均一温度

成岩流体包裹体显微测温、测盐使用的是 Linkam 公司的最新产品 THMSG600 型自动冷热台, 温度分辨率 0.1°C , 均一法测温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。均一温度测定时的升温速率为 $4 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$, 测定出包裹体冰点时的降温速率为 $6 \sim 8^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

上古生界砂岩自生矿物、石英加大边及充填于石英碎屑粒间方解石形成温度分四个阶段(图 3): $60 \sim 90^\circ\text{C}$, $90 \sim 120^\circ\text{C}$, $120 \sim 160^\circ\text{C}$, $160 \sim 200^\circ\text{C}$ 。石英次生加大边可分为四期, 其内包裹体均一温度由里向外相应升高。包裹体形态各异, 有近圆形、椭圆形、长条形、半圆形和不规则形态(图 2 e; 图 2 f), 绝大部分群体包裹体呈定向排列, 一般认为是由微裂

表1 砂岩成岩自生矿物包裹体特征

Table 1 Characteristics of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin

成岩阶段	成岩次生矿物	盐水包裹体	数量	有机包裹体	数量	
成岩期前	陆源碎屑石英	继承性包裹体, 1~4 μ m, 气液比 15%~30%	100	无	0	
成岩期	1	石英次生加大、方解石	液相包裹体, 1~7 μ m, 气液比 5%~15%	95	淡黄、淡褐色	5
	2	石英次生加大边	气液包裹体, 1~4 μ m, 气液比 5%~30%	45	浅褐色或褐色	55
	3	石英次生加大、方解石	气液包裹体, 1~5 μ m, 气液比 5%~40%	35	无色、淡褐色和深褐色	65
成岩期后	愈合裂隙及加大边	气液包裹体, 1~8 μ m, 气液比 10%~40%	95	灰黑色	5	

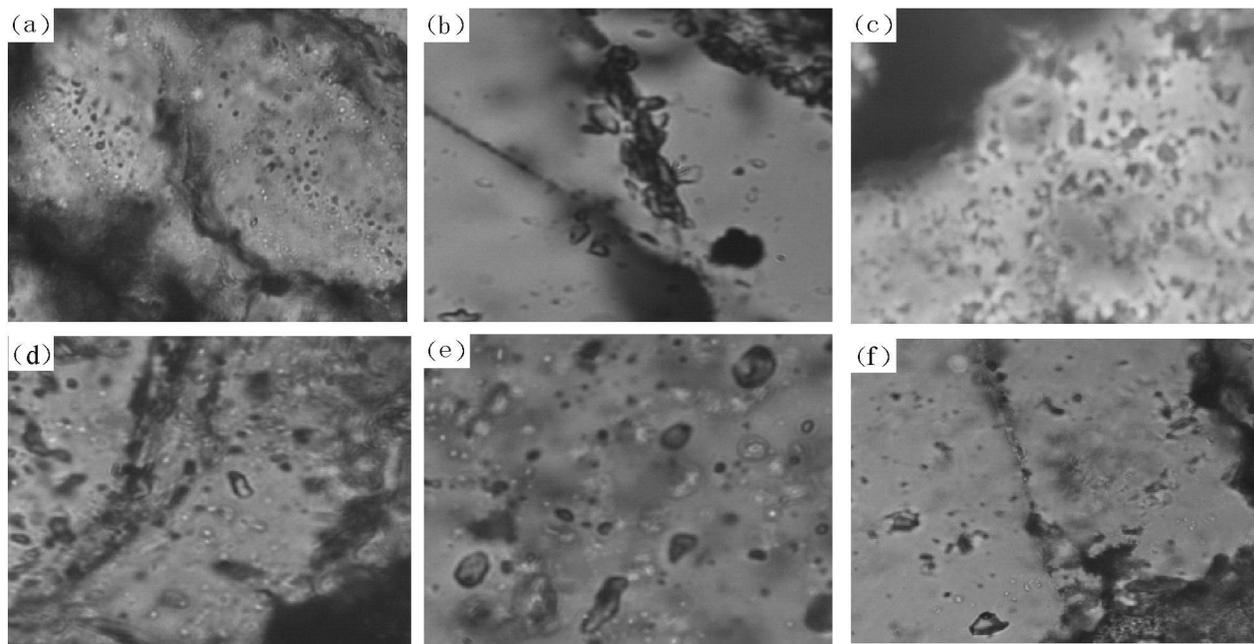


图2 鄂尔多斯盆地西北部上古生界流体包裹体显微照片

a 包裹体沿早期构造裂隙呈线状分布; b 包裹体沿晚期构造裂隙呈滴状分布; c 液体包裹体; d 气体包裹体; e 圆形、椭圆形的包裹体; f 不规则形状的包裹体

Fig 2 Microphotographs of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin

a Inclusions in a linear distribution along early structural fissures; b Inclusions in a drop like distribution along late structural fissures; c Fluid inclusions; d Gas inclusions; e Rounded/oval inclusions; f Irregular inclusions

隙和裂缝所致。

4.2 流体包裹体盐度和密度特征

由冷冻法测定包裹体的冰点温度(表2), 根据 Bondar(1993)^[15] 总结的盐度-冰点关系表可得到富液两相包裹体流体体系的盐度值。测定结果(表2), 二叠系石英砂岩自生矿物流体包裹体盐度为 3.23%~9.73%, 平均值为 5.96%, 峰值出现在 4%~7%(表2)。流体包裹体盐度偏低, 可能与上古生界地层埋藏相对较浅、大气降水影响较大有关。

通过盐度与温度关系图示可看出, 盐度也可分出四个区段, 3~4.5%, 4.5~6.5%, 6.5~

8%, 8~10%与其相对应四个温度区段为 60~90 $^{\circ}$ C, 90~120 $^{\circ}$ C, 140~160 $^{\circ}$ C, 160~200 $^{\circ}$ C。随着均一温度增高盐度也相应增大。二叠系石英砂岩自生矿物流体包裹体盐度比较稳定, 变化不大。反映从成岩早期至成岩晚期, 随着埋藏深度加大, 压力增加, 温度、盐度也逐渐增高(图4)。流体包裹体密度变化不, 为 0.944~1.065 g/cm³。随着温度升高密度有降低趋势。但包裹体均一温度升高, 盐度又有增大趋势, 导致密度增加。总体上密度没有太大变化。随着岩石埋深增加而盐度增高, 变化范围在 3.23%~9.73%, 反映该区成岩处于稳定的、持续下降的构造沉积环境。

表 2 上古生界砂岩自生矿物流体包裹体均一温度、盐度测定结果

Table 2 Determinations of the homogenization temperatures and salinity of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin

井号	深度 /m	寄主矿物	测试数目	大小 / μm	气液比 /%	$T_h/^\circ\text{C}$		$m_i/^\circ\text{C}$		盐度 wt/%	密度 g/cm^3				
						范围	均值	范围	均值						
S42	3595	80~3603	80	石英加大边、方解石	24	2~16	5~15	79.8~177.4	121.6	-5.7~-2.2	2~3	68.8	81~3	71	0.941~1.032
S43	3598	00~3641	50	石英加大边、方解石	30	3~15	5~20	82.6~180.6	120.5	-5.6~-2.0	3~5	54.8	68~3	39	0.935~1.036
S44	3569	20~3569	70	石英加大边、方解石	48	2~18	5~15	72.9~169.3	119.6	-5.4~-2.1	3~4	46.8	41~3	55	0.931~1.034
S51	3461	10		石英加大边、方解石	15	3~22	4~12	69.2~178.9	118.4	-5.2~-1.9	3~3	35.8	14~3	23	0.924~1.023
C1	3516	68~3595	95	石英加大边、方解石	45	2~14	5~10	70.2~174.5	122.5	-5.9~-2.2	3~3	78.9	08~3	71	0.952~1.033
Ej8	3646	11~3713	80	石英加大边、方解石	36	4~15	10~20	84.6~180.6	126.8	-6.0~-1.9	3~3	88.9	21~3	23	0.944~1.038
B1	3668	02~3806	39	石英加大边、方解石	21	2~26	5~20	87.6~185.9	128.9	-5.9~-2.8	3~3	96.9	08~4	65	0.955~1.039
E8	3669	20~3733	76	石英加大边、方解石	24	3~17	10~30	88.1~186.3	130.4	-6.2~-2.4	4~4	01.9	47~4	08	0.952~1.040
E9	3662	90~3729	91	石英加大边、方解石	18	3~26	10~35	88.2~186.3	132.4	-6.4~-2.1	4~4	35.9	73~3	55	0.935~1.041
Ej9	3648	41		石英加大边、方解石	12	2~20	5~35	89.6~197.3	135.2	-6.3~-2.3	4~4	54.9	60~3	87	0.977~1.042

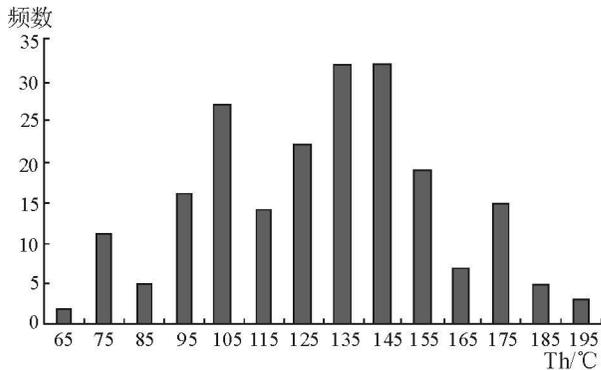


图 3 上古生界砂岩自生矿物流体包裹体均一温度直方图

Fig 3 Bar chart of the homogenization temperatures of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin

流体密度是包裹体测定和计算的重要数值之一。在重晶石流体包裹体均一温度和盐度测定基础上,根据刘斌(1999)^[16]推导的密度公式计算了流体包裹体的密度。结果显示,砂岩胶结物流体包裹体密度范围为 0.924~1.042 g/cm^3 ,平均值为 0.983 g/cm^3 。由公式推导的包裹体密度与 Bodnar(1983)的温度-盐度-密度相图上投点所得出的流体密度值十分相似(图 5)。由不同密度计算方法的相互印证,表明求取的砂岩胶结物流体包裹体密度值是可靠的。

5 油气成藏期次

5.1 根据油气包裹体与赋存矿物间关系确定油气成藏期次

储层成岩序次及油气包裹体的发育程度、类型、特征研究表明,盒 8 段油气的注入至少可分四期,其中第二、三期为主要成藏期。

第一期,油气注入发生在早期微细晶方解石胶结期间,至石英次生加大之前。这一阶段发育的石英加大边是沉积浅埋阶段的产物,与油气运移、充注

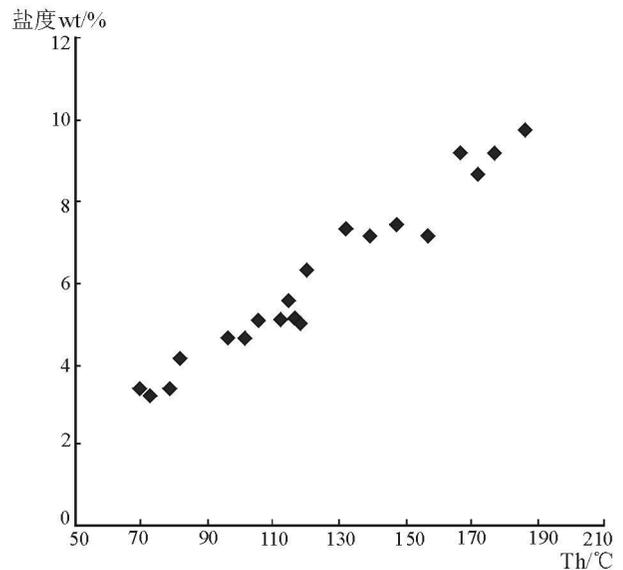


图 4 砂岩自生石英流体包裹体均一温度、盐度关系图

Fig 4 Homogenization temperature vs. salinity of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin

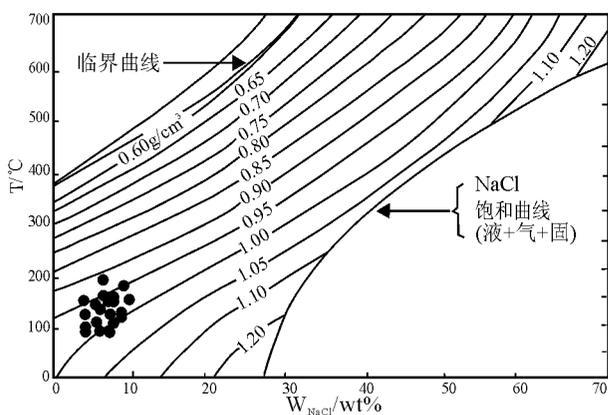


图5 砂岩自生矿物流体包裹体均一温度-盐度-密度相图(据 Bodnar, 1983)

Fig 5 Phase diagram of homogenization temperature-salinity-density of the fluid inclusions from the Upper Palaeozoic sandstones in the Ordos Basin (modified from Bodnar, 1983)

关系较小。该期主要发育少量气液两相盐水包裹体,个体较小,一般为 $1\sim 6\mu\text{m}$ 。油气包裹体发育程度较低,包裹体内均为液烃,呈灰褐色或黑褐色。均一温度低,小于 90°C 。早期胶结方解石中发育呈灰褐色或黑褐色的液烃包裹体,类似特征的液烃包裹体在石英、长石碎屑内的分布均限于未切过次生加大边的早期愈合微裂隙。总体上,这一期次反映早期低成熟的重稠油类型,运移规模较小。

第二期油气注入发生在石英次生加大期间至晚期方解石沉淀胶结之前,其主要证据为石英加大边的内、中、外带及中、晚期方解石胶结物中均发育中期的油气包裹体。该期包裹体以气液烃包裹体为主,其次为液烃包裹体和气烃包裹体。包裹体大小不一, $3\sim 15\mu\text{m}$,一般为 $5\mu\text{m}$ 。形态各异,有负晶形、长方形、不规则形等。均一温度为 $90\sim 120^\circ\text{C}$ 左右。此期包裹体发育程度较高,液烃呈灰褐黄色或灰黄色,结丝网状沥青附于包体壁上,气烃呈深灰色。包裹体特征表明油气成熟明显,从早期到晚期,油质具有变轻、气烃含量增高显著的趋势,而油气中沥青含量降低。此期成藏为深部成熟油气的大规模运移、聚集。

第三期油气注入发生在晚期方解石及自生石英、石英胶结物沉淀期间。此期油气包裹体发育程度高,主要为气液烃包裹体,其次为气烃包裹体,见极少量的液烃包裹体。包裹体均一温度相对较高,位于 $120\sim 160^\circ\text{C}$ 之间。包裹体中液烃呈淡黄色、透明无色,气烃呈灰色。上述特征表明此期是成熟、高

成熟油气的一个大规模运移期。

第四期油气注入发生于石英加大边,该期包裹体数量极少,个体大,颜色较浅,以无色或淡黄为主,沿碎屑石英粒间、加大边其愈合裂隙分布,它明显晚于前三期次生加大。均一温度很高,有的可达近 200°C 。这种特征的出现可能与后期构造运动有关。

5.2 根据埋藏史曲线及包裹体均一温度确定油气注入期次

油气的形成主要与温度和时间有关,温度是决定性因素。因为温度是以指数关系影响着沉积盆地热演化过程,时间因素则是线性的^[17~20]。一般情况下,干酪根的分解需要在 $60\sim 150^\circ\text{C}$ 范围内进行^[21]。根据 Quigley(1988)^[22]研究,生油温度在 $100\sim 150^\circ\text{C}$,当到达 $90\sim 130^\circ\text{C}$ 时,出现成熟度较低的油,有机包裹体含多种液态烃;当到达 $130\sim 155^\circ\text{C}$ 时,出现成熟度很高的油气,有机包裹体含气、液两相烃类,气液比为 $30\%\sim 40\%$;当到达 $155\sim 200^\circ\text{C}$ 时,出现成熟度过高的气,有机包裹体为单一相的气态烃包裹体;当均一温度继续上升至大于 200°C 时,油气遭到破坏,在岩石微裂隙中仅留下沥青残留物。据测试在沥青质周围分布的水溶液包裹体和气体有机包裹体(棕黑色),其均一温度高达 $180\sim 210^\circ\text{C}$ 。已经遭受破坏的油气,如果再次受到温度低于 180°C 的地质热流体作用,油气也不能复原,即油气的生成和演化是不可逆的。

基于上述油气形成的阶段及温度范围,通过镜质反射率 R_o 、磷灰石裂变径迹、伊利石矿物年龄测定^[17]及本文包裹体测温研究,借助于陕参1井沉降抬升史及热演化史来讨论研究区盒8段油气成藏期次与流体包裹体均一温度之间的关系(图6)。

根据磷灰石裂变径迹年龄测定资料^[23],早古生代鄂尔多斯盆地为面向秦岭大洋的宽广陆架,属被动边缘盆地,地温梯度为 $2.5\sim 3.0^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。晚古生代至中生代早期,本区早期属滨浅海盆地,后期转化为内克拉通盆地,盆地属前陆盆地性质,地温梯度较低,在 $2.2\sim 2.4^\circ\text{C}/100\text{m}$ 左右。中生代晚期,盆地及周围地区发生强烈燕山中期运动,古地温梯度升至 $3.3\sim 4.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。新生代以来,盆地不断抬升,地壳增厚,地温梯度降低到 $2.2\sim 3.2^\circ\text{C}/100\text{m}$,平均为 $2.8^\circ\text{C}/100\text{m}$ (图6)。23~20Ma以来,鄂尔多斯盆地整体快速抬升,引起冷却,地温梯度逐渐变小($2.93^\circ\text{C}/100\text{m}$)^[24],岩层埋深变浅,生烃作用逐渐停止,此时地温为 $40\sim 120^\circ\text{C}$,为构造晚期阶段。

按 Backer和 Pawlewicz (1986)^[25] 绝所对地温计算对应最大古地温为 65 ~ 108℃, 为未成熟-低成熟期。成岩晚期包裹体均一温度 100 ~ 160℃, 为油气大量形成时期。镜质反射率为 0.7% ~ 1.3%, 对应古地温度为 100 ~ 165℃, 有机包裹体百分含量约为 50%。均一温度大于 160℃, 油气进入高成熟-过成熟期, 油气遭受一定程度的破坏, 有机包裹体百分含量明显减少。

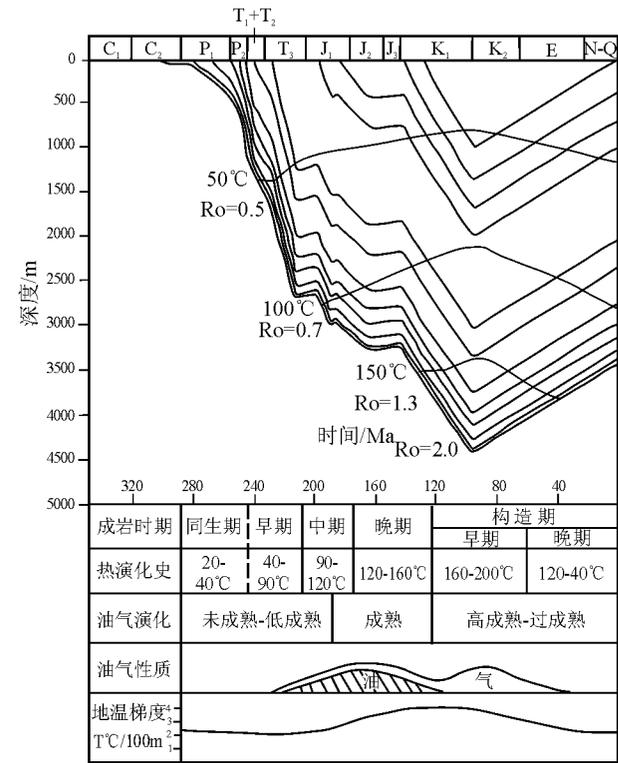


图 6 鄂尔多斯盆地陕参 1 井埋藏史和热演化史(陕参 1 井埋藏史、Ro 地温梯度等引自任战利, 2007)

Fig 6 Burial history and geothermal evolution of the Shancan-1 well in the Ordos Basin (burial history, Ro and geothermal gradients for the Shancan-1 well after Ren Zhānlì 2007)

盆地古生界烃源岩在三叠纪之前基本为未成熟阶段, 早侏罗世中期为生油高峰期, 侏罗纪晚期为油气兼生期, 早白垩纪以来已演化至湿气-干气阶段。包裹体均一温度的四个温度段与上述油气演化有较好的对应关系, 反映了盆地古生界在白垩纪经受过 200℃左右的高温。

古地温与油气生成、运移、聚集都有密切的关系。据 Quigley & Mackenzie (1988)^[26] 研究, 油和气的生成所需温度分别为 100 ~ 150℃和 150 ~ 220℃。鄂尔多斯盆地发育三套烃源岩, 即下古生界碳酸盐

岩、上古生界煤系地层及中生界三叠系延长组暗色泥岩。据盆地构造演化史研究, 鄂尔多斯盆地古生代及早中生代构造稳定, 属稳定大陆边缘及前陆盆地, 地温梯度较低, 推迟了生气时代, 有利于有机质保存。中生代晚期地温梯度升高, 地层达到最大古地温, 使奥陶系、石炭-二叠系进入生气范围, 三叠系延长组进入生油窗。因此中生代晚期高古地温场加速了生油、生气过程, 是主要的生油、生气期, 也是油气的主要运移期。新生代地温梯度逐渐减小, 盆地整体抬升, 遭受剥蚀, 生烃作用减弱或停止。从盆地热演化史来看, 主要生气高峰期晚, 加之后期整体抬升断裂不发育, 有利于大气田的保存。因此鄂尔多斯盆地热演化史在大气田形成中起着重要作用。

研究区盒 8 段包裹体的均一温度明显分为四个主峰区间: 70 ~ 80℃, 100 ~ 110℃, 130 ~ 150℃, 160 ~ 170℃。其中 100 ~ 110℃, 130 ~ 150℃这两个温度区间内的包裹体无论从丰度, 还是从含烃百分率来说, 都是最主要的。将这四个温度区间投影到储层埋藏史、古地温史上, 可以确定鄂尔多斯盆地西北部盒 8 段的油气成藏时间为四个时期: 第一期发生在距今 219 ~ 209Ma (晚三叠世中期); 第二期发生在 191 ~ 183Ma (早侏罗世中期); 第三期发生在 145 ~ 130Ma (早白垩世早中期); 第四期发生在 122 ~ 115Ma (早白垩世晚期)。其中早侏罗世中期是油藏形成的主要时期, 早白垩世早中期是气藏的主要形成期。

由此认为, 油气的充注是一个不连续的过程, 在不同的成岩矿物中检测到不等量油气包裹体发育, 表明不同时期的油气注入强度和规模有所差别。因此, 油气的注入用幕式过程来描述更为合理。

6 结 论

(1) 盒 8 段砂岩中发育丰富的流体包裹体, 主要分布在石英晶体或其加大边或 (和) 愈合缝及方解石胶结物中。包裹体以气态、液态为主, 气液比较高, 包裹体在偏光下呈无色、灰褐色、褐色、黑褐色/黑色。

(2) 砂岩中流体包裹体形成于四个不同的温度范围, 分别为 60 ~ 90℃, 90 ~ 120℃, 120 ~ 160℃, 160 ~ 200℃。

(3) 研究区盒 8 段包裹体的均一温度明显分为两个主峰区间: 100 ~ 110℃和 130 ~ 150℃, 结合古地温史和埋藏史, 盒 8 段的两个主成藏期分别为早侏罗世中期和早白垩世早中期。早侏罗世中期是油藏

形成的主要时期,早白垩世早中期是气藏的主要形成期。

(4)流体包裹体均一温度、有机包裹体丰度和颜色、相组分以及镜质体反射率对比表明,上述四个均一温度区段反映了鄂尔多斯油气田油气的未成熟—低成熟—成熟—高成熟—过成熟的演化过程。

参考文献:

- [1] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [2] 王汝成,翟建平,陈培荣,等. 地球科学现代测试技术[M]. 南京: 南京大学出版社, 1999.
- [3] 刘德汉. 包裹体研究—体追踪的有力工具[J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 149—154
- [4] NEDKVIINE T, KARLSEN D A, BJØRLYKKE K et al. Relation-ship between diagenetic evolution and petroleum emplacement in the Ula Field, North Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, 10: 225—270
- [5] 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—331.
- [6] APLIN A Ç, LARTIER S R, BIGGE M A et al. Confocal micros-copy of fluid inclusions reveals fluid-pressure history of sediments and an unexpected origin of gas condensate[J]. *Geology*, 2000, 28: 1047—1050
- [7] PARNELL J, MIDDLETON D, CHEN H H et al. The use of integrated fluid inclusion studies in constraining oil charge history and reservoir compartmentation: example from the Jeanne d'Arc basin, offshore Newfoundland[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18: 535—549.
- [8] 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等. 鄂尔多斯盆地上古生界储层中包裹体最小捕获压力的 PVT_{sim}模拟[J]. 地球化学, 2002, 1(4): 402—406.
- [9] 陈振岩,吴文柱. 辽河盆地东部凹陷模式成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 32—35.
- [10] 施继锡,李本超,傅家谟,等. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. 中国科学(B), 1987, 3(3): 318—325
- [11] 卢焕章,李秉伦,沈昆,等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990
- [12] KARLSEN D A, NEDKVIINE T, LARTIER S R et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57: 3641—3659.
- [13] 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.
- [14] 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(卷四)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- [15] BODNAR R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57: 683—684
- [16] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- [17] WAPLES D W. Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration[J]. *AAPG Bulletin*, 1980, 64: 916—926
- [18] TISSOT B P, WELTE D M. Petroleum formation and occurrence[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984, 699.
- [19] QUIGLEY T M et al. Kinetic theory of petroleum generation[A]. Doljcz B. Migration of Hydrocarbons in Sedimentary Basins[C]. Paris: Editions Technip, 1987, 649—666
- [20] 赵孟为. 鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确 定与勘探方向[J]. 石油实验地质, 1996, 18(4): 341—347.
- [21] 周中毅,潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1992, 58—66
- [22] QUIGLEY T M, MACKENZIE A S. The temperatures of oil and gas formation in the sub-surface[J]. *Nature*, 1988, 333: 549—552.
- [23] 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地 热史[J]. 地球物理学报, 1995, 38(37): 339—349
- [24] 任战利,张盛,等. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿 意义[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37: 23—32
- [25] BARCKER C F, PAWLEWICZ M T. The Correlation of Vitinite Re flectance with Maximum Temperature in Humic Organic Matter. *Paleo-geo-thermics Lecture Note in Earth Sciences*[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1986, 79—93

Fluid inclusions and hydrocarbon accumulation in the eighth member of the Lower Shihezi Formation in northwestern Ordos Basin

WANG Chun-lian, HOU Zhong-jian, LIU Li-hong

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The relationship between the fluid inclusions and hydrocarbon accumulation in the eighth member of the Lower Shihezi Formation in northwestern Ordos Basin is based on diagenetic sequences, homogenization temperatures, freezing point temperatures, salinity and density of the hydrocarbon inclusions and hydrocarbon-bearing salt water inclusions, in integration with structural features, burial history, vitrinite reflectance, apatite fission track dating. Four phases of hydrocarbon accumulation are identified for the study area, including: (1) 219—209 Ma (middle Late Triassic); (2) 191—183 Ma (middle Early Jurassic); (3) 145—130 Ma (early—middle Early Cretaceous), and (4) 122—115 Ma (late Early Cretaceous).

Key words: diagenetic sequence, fluid inclusion, eighth member of the Lower Shihezi Formation, homogenization temperature, hydrocarbon accumulation phase