

应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡 油气充注史

刘超英^{1,2}, 闫相宾¹, 徐旭辉¹, 周庆凡¹, 秦伟军¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:应用包裹体均一温度法及色谱-质谱分析法对济阳坳陷惠民凹陷南斜坡油气充注史进行研究,表明充注史差异是造成该区油气富集程度不同的原因之一。分析发现钱官屯地区油气为明化镇中期充注,而曲堤油田曲10井上下储层的油气包裹体质谱分析结果显示包裹体成分存在差异,是两期充注的结果造成,并进一步有针对性地阐述了包裹体测试方法的适用条件。

关键词:均一温度;成分分析;成藏期次;流体包裹体;惠民凹陷

中图分类号:TE112.1

文献标识码:A

Application of fluid inclusion to the study of hydrocarbon charge history of the south slope in the Huimin Sag

Liu Chaoying^{1,2}, Yan Xiangbin¹, Xu Xuhui¹, Zhou Qingfan¹, Qin Weijun¹

(1. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The analytical methods of homogenization-temperature and chromatogram-mass spectrum of inclusions are applied to the study of the hydrocarbon charge history of the south slope in Huimin sag. It is suggested that the difference in hydrocarbon charge history is one of the key factors for the differences in hydrocarbon abundance. According to the analysis, the hydrocarbons in Qianguantun were charged in the Mid-Minghuazhen period, while that in the upper and lower reservoirs of Qu-10 well in Quti oilfield were charged in two stages based on the mass spectrum analysis of hydrocarbon inclusions. The conditions of application of these inclusion-testing methods are also discussed in detail.

Key words: homogeneous temperature; analysis of components; episode of petroleum accumulation; fluid inclusion; Huimin Sag

油气作为热液流体在初次、二次运移过程中均会随晶体生长或裂隙愈合而被捕获形成有机包裹体^[1],其往往被封存于碳酸盐岩和碎屑岩中的方解石脉、石英脉、石英加大次生边、石英颗粒裂缝愈合处或同期形成的萤石、硬石膏等自生矿物中。近年来,随着激光拉曼、冷热台测温等包裹体研究、测试技术的发展,对有机包裹体研究成为含

油气盆地研究的重要手段之一,尤其是利用包裹体确定油气运移期次及充注时间的研究越来越得到地质学家的认同^[2~4]。本文利用包裹体对惠民凹陷南斜坡油气充注史进行了研究,进一步深入分析了包裹体均一温度法及成分分析法在油气充注时间及油气运移期次上的应用,并有针对性地阐述了包裹体测试方法的适用范围。

收稿日期:2008-06-28。

第一作者简介:刘超英(1980—),男,博士,石油地质专业。

基金项目:中国石油大学(华东)博士基金资助。

1 地质背景

惠民凹陷南斜坡系指惠民凹陷夏口断层以南的地区,属惠民凹陷缓坡带,发现了曲堤油田及钱官屯鼻状构造含油区(图1),二者的油气来自夏口断裂带以北的临南凹陷带的沙河街组三段、四段(E_s^3, E_s^4)烃源岩。1994年在曲堤地堑发现曲堤油田后,钱官屯鼻状构造带仅见部分地区油气显示,并无大的突破,为什么两者油气丰度存在着较大差异?据前人研究,临南凹陷沙河街组四段(沙四段)烃源岩有两期排烃(古近纪东营期和新近纪)^[5],东营期生成的原油为低熟油,资源量为 0.116×10^8 t,其间伴随东营运动深部热液上涌,由于断裂活动强、运移通道畅通,使原油能运移到较远地区^[6];馆陶组沉积后期至明化镇组沉积时期和第四纪,沙四段上亚段烃源岩进入成熟阶段,生成大量的成熟原油,资源量为 $0.773 2 \times 10^8$ t,但油气运移时构造运动弱,运移距离较短,只能大规模聚集在生烃中心部位^[7],进一步了解惠民南斜坡油气成藏时间及期次,就有利于明晰造成两者油气富集程度存在差异的原因,从而明确潜力目标。

2 钱官屯地区油气充注时间

钱官屯地区面积约为 430 km^2 ,整体上为一南抬北倾的大型鼻状构造背景上的宽缓斜坡,该区烃源岩不发育,泥岩主要以氧化沉积环境下的棕

红、紫红色泥岩为主,不具备生油能力,原油来自北部的临南洼陷,其主要含油层段为沙四上亚段,对该段(1 879 ~ 2 484 m)采集相关岩心样品,进行薄片观测和包裹体分析测试。在钱斜10、钱斜14、钱斜141、钱斜5、钱斜502等井沙四段(E_s^4)采集岩心样品12组(图2),镜下所观测的包裹体包括气液两相盐水包裹体、油-气两相包裹体和纯油相包裹体,它们分布于胶结物、自生矿物或石英次生加大边以及碎屑矿物(石英、长石等)解理或裂缝中,但丰度较低、形状大多为雨滴状或长条形,大小约为 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ (表1;图3)。

对有机包裹体同生的43组盐水包裹体进行均一温度测试,结果表明钱斜10井包裹体均一温度以 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ 为主峰(图4),钱斜5井以 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 为主峰,钱斜14井和钱斜141井以 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 为主峰,该区取样井的均一温度直方图多数为单峰值,据此可以判断该区油气主要为一期充注。

据埋藏史分析,钱官屯地区沙河街组沉积速率和沉积厚度较大;东营期为快速沉积,东营末期地层抬升遭受剥蚀,沉积速率变缓,导致馆陶期埋藏史曲线平缓;在明化镇期和第四纪,沉积速率又变大。因此,本区古近纪以来存在一个明显的构造抬升、地层剥蚀过程。

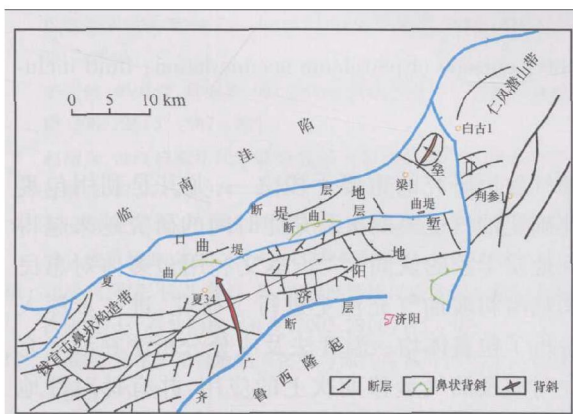


图1 惠民凹陷南斜坡构造纲要

Fig. 1 Structural outline map of the south slope in Huimin sag

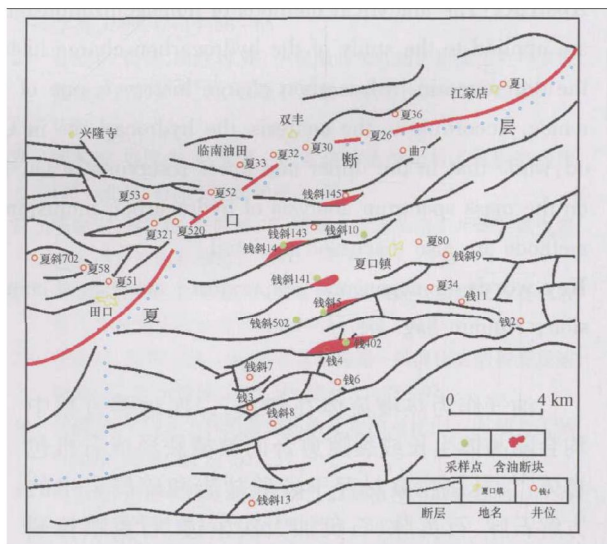


图2 钱官屯鼻状构造带包裹体采样点分布

Fig. 2 Map showing distribution of sample collection points of fluid inclusions in Qiantuan nose-like structure zone

(图中钱官屯地区为 T_8 构造图,田口-兴隆寺、江家店为 T_6 构造图。)

表 1 惠民凹陷南斜坡钱官屯地区流体包裹体特征及分布

Table 1 Features and distribution of fluid inclusions in Qianguantun area of Huimin sag

井号	层位	井深/m	寄主矿物	形态	大小/ μm	气液比, %	相态	平均均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
钱斜 502	Es^4	1 981 ~ 1 988	石英微裂隙	不规则	5	2	气液	90.3
			石英微裂隙	不规则	5	3	气液	124.6
			石英微裂隙	近椭圆	4	2	气液	113.2
			石英微裂隙	近圆	2	1	气液	124.6
钱斜 5	Es^4	1 910 ~ 1 918	长石微裂隙	不规则	8	5	气液	75.0
			长石微裂隙	近长条	10	5	气液	80.4
			长石微裂隙	长条	5	3	气液	73.8
钱斜 10	Es^4	2 452 ~ 2 460	石英加大边	近圆	2	3	气液	83.2
			石英加大边	近三角	3	2	气液	85.4
			石英加大边	近长条	3	3	气液	86.9
			加大边	近椭圆	3	3	气液	72.3
			加大边	近圆	1	1	气液	84.1

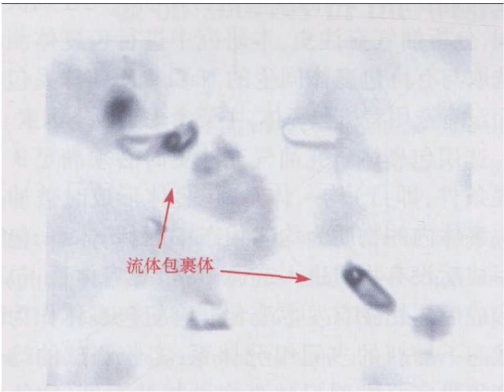


图 3 钱斜 10 井石英样品中的包裹体(2 455 m, Es^4 , 400 $\times$,透射光)

Fig. 3 Fluid inclusions in quartz samples from Qianxie-10 well

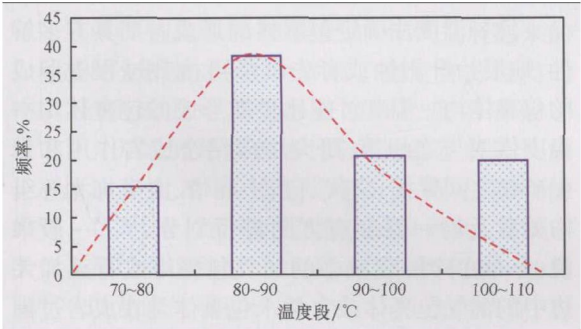


图 4 钱斜 10 井(2 452.91 ~ 2 460.59 m)包裹体均一温度频率

Fig. 4 Frequency diagram of homogenization temperature of inclusions in Qianxie-10 well

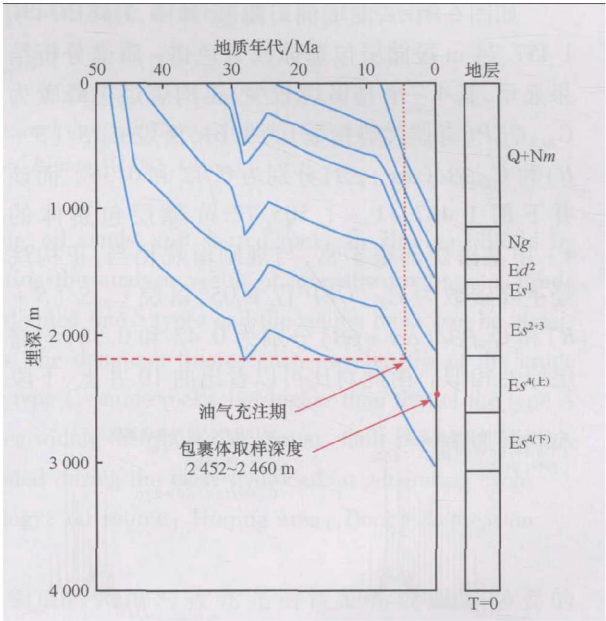


图 5 钱 10 井埋藏史

Fig. 5 Map showing burial history of Qianxie-10 well

钱斜 10 井 Es^4 样品所测试的盐水包裹体均分布于石英次生加大边中,均一温度在 83.2 ~ 110.6 $^{\circ}\text{C}$ 区间,平均均一温度为 89.3 $^{\circ}\text{C}$,结合该井的埋藏史(图 5)对该区油气充注时间进行分析,计算包裹体捕获时间约为 4.9 Ma(古地表温度为 14.5 $^{\circ}\text{C}$,每百米地温梯度为 3.26 ~ 3.73 $^{\circ}\text{C}$)^[8],表明该区的油气开始大量充注是在明化镇中期,证明了由于临南洼陷沙三下中段烃源岩在馆陶末期-明化

镇期进入大量生烃和排烃期,此时夏口断层西部沙三中段、下段封闭性差^[9],临南洼陷沙三段油气穿过夏口断裂带以连通的钱官屯地区沙四段砂体作为运移通道进行由北向南的侧向运移,在钱官屯地区形成了以钱斜145、钱斜14、钱斜141、钱斜5、钱4为主线的一系列“串珠状”含油区块(图2)。

3 曲堤油田油气充注期次

对曲堤油田曲10井段含油层进行采样,发现上部储层1451.74~1457.74 m段包裹体烃类较多,对其进行薄片观测和分析,由于岩心薄片遭受油污污染较为严重,无法进行包裹体均一温度的测试,只有采用包裹体成分分析法进行成藏期次的分析,实验按照潘长春破碎包裹体的方法进行^[10](图6)。

如图6所示,曲堤油田曲10井中,1451.74~1457.74 m段储层包裹体成分色谱-质谱分析结果显示,其4-甲基甾烷较少,正构烷烃主峰碳为 C_{29} , OEP (奇偶优势指数)为1.61,甾烷 $C_{29}S/(S+R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为0.42和0.36。而该井下部1497.41~1505.72 m储层包裹体的4-甲基甾烷却很丰富,与规则甾烷相当,正构烷烃主峰碳数为 C_{23} , OEP 仅1.05,甾烷 $C_{29}S/(S+R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为0.42和0.38,与储层原油相似。由此对比可以看出曲10井上、下段

包裹体成分存在较大差异,应该是两期油气充注所造成的。其主要原因可能是因为第一期油气充注成藏以后散失,第二次油气充注使储层的流体发生变化,第二期有机包裹体才得以形成。也有可能第一期石油较少仅充满圈闭上部储层,而第二期石油储集在储层下部,后一种观点与烃源岩在地质历史上可以发生多次排烃过程,在同一圈闭中,早期的原油常常占据上部储层,而晚期生成的石油占据下部储层的理论相吻合^[11],结合早期排烃史的分析结果^[5],曲堤地区油气充注为东营末-明化镇两期成藏,虽与钱官屯地区同处于惠民凹陷缓坡带,但其成藏期次存在较大差异。

4 包裹体研究注意事项

选定合适的包裹体进行测试才能准确利用包裹体成分分析、均一温度分析研究油气充注期次和时间,分析油气充注史,本研究中进行包裹体测温时选取与有机包裹体同生的 $NaCl-H_2O$ 体系包裹体而没有选用有机包裹体,主要考虑到以下因素。

选用包裹体研究油气充注史时必须满足3个前提条件,即:1)均一体系,包裹体形成时被捕获在包裹体内的物质为均匀相态;2)封闭体系,包裹体形成后没有物质进入或逸出;3)等容体系,包裹体形成后体积没有发生变化。有机包裹体作为混容状态下捕获的多元组分体系,实验测试的均一温度很难完全准确反映真实的捕获温度,往往需要复杂的相态计算,而作为均一相态下捕获的盐水包裹体可真实反应包裹体的捕获温度^[12],在实际应用中我们一般选取与有机包裹体伴生的同期盐水包裹体的均一温度作为研究古地温的依据。

均一温度法确定包裹体的形成时期具有多解性,地层抬升剥蚀或者先沉降再抬升过程中形成的包裹体均一温度可能比早期形成的包裹体均一温度低或与之相等,研究中应结合成岩作用和自生矿物之间穿插、交代、包裹、环带、次生加大等组构关系及均一温度直方图进行划分^[13]。一般来说,分布在碎屑颗粒中的油气包裹体或石英加大边中的油气包裹体或含盐水包裹体是在成岩过程中捕获的,切穿石英次生加大边愈合裂隙中的包裹体,则是在成岩作用之后流体运移过程中捕获的。

(下转第542页)

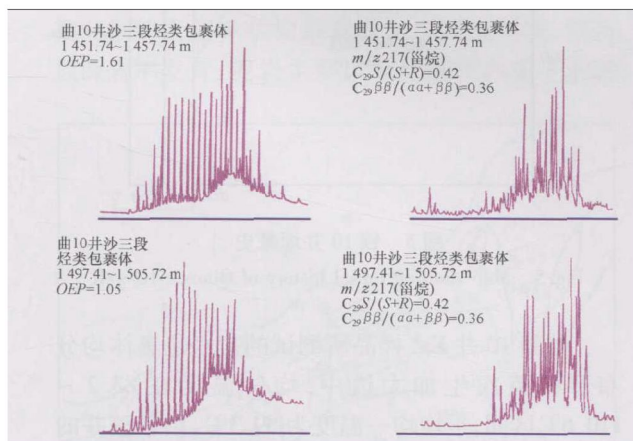


图6 曲堤油田曲10井沙三段两种不同期次包裹体成分对比

Fig. 6 Comparison of compositions between inclusions formed in different stages in the third member of Shahejie Formation in Qu-10 well, Quti oilfield

并且比较准确地反映油藏的构造、沉积、物性与含油性等方面特征。通过三维可视化模型可见:

1) 整体而言,研究区为一单斜构造,呈现西北高,东南低的特点;

2) 孔隙度表现为上好下差、西部好东部差、中部好边部差的特点,渗透率表现为上好下差、西部好东部差、中部好边部差的特点;

3) 含油饱和度表现为上好下差、西部好东部差、中部好边部差的特点。

利用储层随机建模技术对前面的基础地质工作进行了检验,并为后面的数值模拟打下基础。

参 考 文 献

- 1 张强. 富台潜山三重介质油藏地质建模[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(5): 50~52
- 2 尹志军, 鲁国永, 邹翔, 等. 陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 106~110, 117
- 3 尹艳树, 吴胜和. 储层随机建模研究进展[J]. 天然气地球科学, 2006, 27(2): 68~71
- 4 杨辉廷, 颜其彬, 李敏. 油藏描述中的储层建模技术[J]. 天然气勘探与开发, 2004, 27(3): 45~49
- 5 刘振峰, 郝天珧, 杨长春. 沉积模型和储层随机建模[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 519~523
- 6 胡向阳, 熊琦华, 吴胜和. 储层建模方法研究进展[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 107~112
- 7 杨少春, 王瑞丽. 不同开发时期砂岩油藏储层非均质二维模型特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 652~659
- 8 霍春亮, 古莉, 赵春明, 等. 基于地震、测井和地质综合一体化的储层精细建模[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 66~71
- 9 张成学, 肖荣阁, 师永民. 基于测井解释及单砂层约束条件下储层随机建模[J]. 新疆石油天然气, 2007, 3(3): 25~55
- 10 陈利. 平湖油气田花港组油藏储层三维模型建立[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(3): 22~24
- 11 程立华, 吴胜和, 杨海长, 等. 准噶尔盆地庄1井区J₁S₂砂组储层沉积模式及随机建模研究[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(1): 161~165
- 12 向瑜章. 克拉玛依油田530区P₂w₁砾岩油藏储层随机模拟[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 279~284
- 13 汤军, 宋树华, 徐论勋, 等. 储层随机建模方法在细分沉积相中的应用[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 89~92
- 14 林博, 戴俊生, 陆先亮, 等. 河流相储集层夹层的三维空间分布研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(4): 17~20

(编辑 董立)

(上接第510页)

5 结论

1) 钱官屯地区以明化镇期成藏为主, 此时由于构造运动弱, 夏口断层的侧向封堵性较强, 导致钱官屯鼻状构造带油源供给并不充足, 仅在局部构造聚集油气藏。

2) 由于曲堤油田经历了两次油气充注, 并以东营末期及馆陶早期充注为主, 此时夏口断裂带江家店段的断层封闭性差, 导致大量的油气通过夏口断裂向曲堤地堑运移, 是曲堤油田形成的关键。

参 考 文 献

- 1 潘长春, 周仲毅, 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
- 2 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): 143~150
- 3 Simon C G, Manzur A, Keyu L, et al. The analysis of oil trapped during secondary migration[J]. Organic Geochemistry, 2004(1): 1~20
- 4 李荣西, 席胜利, 邸领军. 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): 194~199
- 5 张小莉, 查明, 杨懿. 惠民凹陷沙河街组三段岩性油藏储层孔隙结构特征及油气意义[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 287~292
- 6 付金华, 刘玉亮, 刘金, 等. 临南地区断层输导体系与油气成藏模式[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(3): 55~58
- 7 李丕龙. 富油断陷盆地油气环状分布与惠民凹陷勘探方向[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 146~148
- 8 邱楠生, 李善鹏, 曾澹辉. 渤海湾盆地济阳坳陷热历史及构造-热演化特征[J]. 地质学报, 2004, 78(2): 263~269
- 9 高先志, 杜玉民, 张宝收. 夏口断层封闭性及对油气成藏的控制作用模式[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 76~78
- 10 潘长春, 杨坚强. 油气藏微观不均一性及其意义[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 98~104
- 11 张枝焕, 王铁冠. 油藏分隔性的地球化学研究[J]. 地质地球化学, 1998, 26(2): 53~61
- 12 刘超英, 周瑶琪, 杜玉民, 等. 碳酸盐岩流体包裹体(NaCl-H₂O)的合成及捕获机理分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(2): 25~29
- 13 李美俊, 王铁冠, 刘菊, 等. 由流体包裹体均一温度和埋藏史确定油气成藏时间的几个问题——以北部湾盆地福山凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 151~158

(编辑 董立)