

文章编号: 1001- 6112(2005)04- 0409- 05

有机包裹体技术在油气运移 与聚集中的应用研究

侯建国^{1,2}, 任丽华¹, 董春梅¹

(1. 石油大学 地球资源信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石化 江苏油田, 江苏 扬州 225009)

摘要: 储层岩石中的气液包裹体是被成岩作用胶结物所捕获, 包裹在矿物晶格的缺陷或窝穴内的成岩成矿流体。有机包裹体对于油气的运移、聚集与成藏具有示踪作用。该文利用有机包裹体分析技术, 对高邮凹陷北斜坡阜宁组储层岩石中的烃类包裹体的均一温度及烃类组成进行了详细的分析, 发现北斜坡原始生烃母质以低等水生藻类和高等植物蜡质为主, 沉积环境介质盐度相对较高, 以缺氧环境为主, 油气注入储层前业已成熟。通过烃类包裹体和烃源岩的生物标志化合物参数的对比发现, 油气主要来自阜二段烃源岩。有机包裹体在油气运聚中的应用研究表明, 北斜坡地区油气运移主要发生在早第三纪始新世晚期至晚第三纪, 其中以始新世晚期为主, 这与研究区区域的构造运动相吻合。

关键词: 有机包裹体; 均一温度; 生物标志物; 油气运移与聚集; 阜宁组; 高邮凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

有机包裹体是被成岩作用胶结物所捕获, 包裹在矿物晶格的缺陷或窝穴内的成岩成矿流体。其形成之后由于没有外来物质的加入和自身物质的流出, 因而可提供原始的成矿流体的许多地质信息, 对成矿流体的运移聚集具有重要的示踪作用^[1]。运用包裹体特征研究油气藏注入史已证明是研究油气藏成藏过程的一个有效途径和手段^[2]。在油气地球化学研究中, 人们最为关注的是包裹体的温度和烃类组成。通过对包裹体中烃类组成直接的地球化学测试, 还可以研究储层包裹体中烃类的母质特征及其成熟度, 进而认识油气来源及油气运移的方向。利用流体包裹体的显微测温技术, 可以精确地测量流体的均一温度, 结合地层的时间—温度埋藏史曲线, 就可以估算自生矿物中流体包裹体形成的温度、时间和持续时间及流体运移的温度和时间^[3-6]。本文以苏北盆地高邮凹陷北斜坡为例, 运用有机包裹体技术, 对其第三系阜宁组储层中的油气运移和聚集进行了研究。

1 区域地质特征概况

高邮凹陷位于苏北盆地南部东台拗陷中部, 南

为通扬隆起, 北接柘垛低凸起与建湖隆起相连, 东起白驹凹陷, 东南靠吴堡低凸起与溱潼凹陷相连, 西接菱塘桥低凸起与金湖凹陷相隔, 东西长约 100 km, 南北宽约 25~ 30 km, 面积达 2 670 km²

呈北东向长条形分布, 沉积厚达 7 000 m 的新生界地层, 也是苏北盆地沉降最深的一个凹陷。其总体结构呈现南断北超的单断断槽特征, 南部为断阶带, 向北依次为深凹带、斜坡带。研究区位于高邮凹陷斜坡带, 面积约 780 km², 主要包括沙埝、发财庄、卸甲庄、韦庄、码头庄和陈堡地区。其南部边界为汉留断层, 北部与柘垛低凸起相连, 二者之间没有明显的规模较大的断层作为构造单元的划分界线(图 1)。

在盆地演化过程中, 新生代早第三纪发生了吴堡运动、真武运动和三垛运动, 尤其是三垛运动为本区油气的生成、运移和聚集及储层孔隙的形成演化、有机包裹体的发育和赋存提供了有利条件。汉留断层作为一条重要的油源断层, 在 E₂d、E₂s 组沉积期活动最为强烈, 这为油气纵、侧向运移提供了有利的条件。

高邮凹陷北斜坡阜宁组自下而上划分为 4 个亚段, 分别为阜一段、阜二段、阜三段和阜四段。其中,

收稿日期: 2004- 06- 05; 修订日期: 2005- 04- 08。

作者简介: 侯建国(1964—), 男(汉族), 湖北安陆人, 博士生、教授级高级工程师, 主要从事石油地质勘探研究工作。

基金项目: 山东省自然科学基金资助课题(Y2001F01)。

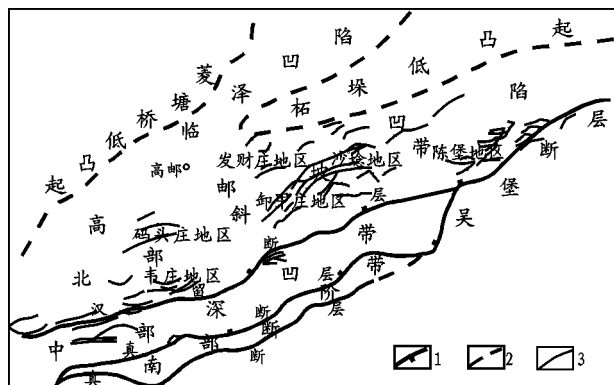


图 1 高邮凹陷地质构造简图

1. 一、二级断层; 2. 构造单元分界线; 3. 三、四级断层

Fig. 1 Geological structural map of the Gaoyou Depression

阜二段和阜四段是主要的烃源岩。

2 烃类包裹体特征

2.1 有机包裹体的一般特征

本区第三系阜宁组储层主要为粉砂岩和细砂岩,成岩作用类型多,交代作用和溶蚀作用发育,成岩演化主要处于早成岩 B 亚期至晚成岩 A 亚期。油气包裹体主要发现于石英次生加大边和自生石英、石英愈合裂缝以及蚀变的长石颗粒内部。按照成岩序列,早期的石英次生加大边是储层早成岩期 B 亚期形成的,晚期的石英次生加大边及蚀变的长石颗粒是晚成岩期 A 亚期形成的,石英愈合裂缝是晚成岩期 B 亚期形成的。因此,可以认为该区阜宁组储层包裹体从整体上看是由 3 个不同时期形成的,但因所处构造位置不同,又有差别(表 1)。

2.2 有机包裹体均一温度

高邮凹陷北斜坡第三系阜宁组不同地区储层内与油气包裹体共生的盐水包裹体的测温结果(表 2)表明,同一样品不同包裹体、不同部位包裹体的均一温度差异较大,这说明这些包裹体是在不同时期形成的。总体而言,高邮凹陷北斜坡除陈堡地区和码头庄地区包裹体均一温度存在 2 个变化范围,显示出 2 期包裹体的形成过程外,多数地区与油气包裹体共生的盐水包裹体的均一温度明显存在 3 个变化区间,其温度的变化与成岩演化呈正相关,表明至少存在 3 期包裹体的形成过程,也即有 3 期主要的油气运移发生。

从表 2 中还可以看出,沙埝地区和韦庄地区包裹体均一温度较其它地区高,变化范围大,这与这 2 个地区距离高邮凹陷深凹带成熟烃源岩区较近及断层活动较为发育有关。

2.3 有机包裹体的烃类组成

流体包裹体是矿物结晶生长时、被包裹在矿物晶格的缺陷或窝穴内的那部分成矿流体,通俗的讲是指发育在储层岩石中的自生矿物包裹及赋存于其中微量的束缚状态的流体物质。流体包裹体记录了烃类流体和孔隙水的性质、组分、物化条件及地球动力学条件,而且由于其形成以后没有外来物质的加入和自身物质的流出,因而可作为原始的成矿流体研究,具有可靠的原生性。

测试流体包裹体的具体方法与条件如下:对于砂岩储集岩,首先将砂岩碎至单个砂粒,筛选粒径 0.25~0.1 mm 的砂岩颗粒 100 g,用二氯甲烷、甲醇混合溶剂抽提,除去颗粒表面的自由态油、气组

表 1 高邮凹陷北斜坡第三系阜宁组储层油气包裹体镜下特征

Table 1 Characteristics of oil-gas inclusions preserved in E_{2f}, the northern slope of Gaoyou Depression

地区	岩性	镜下特征		
		大小/ μm	形态	分布
北斜坡西部	韦庄地区 码头庄地区	5~25	椭圆形和 不规则状	韦庄地区主要分布于石英加大边和微晶石英晶体中,码头庄地区油气包裹体则主要分布于石英加大边与愈合的石英裂缝中
	沙埝地区	5~30	多为椭圆形 和圆形,次 为不规则状, 伸长状	多数分布于石英加大边,部分分布于微晶石英或愈合的石英裂缝中,少许分布于蚀变的长石颗粒中
北斜坡中部	发财庄地区 卸甲庄地区	5~30, 个别较大者 可达 50	多为椭圆形 和不规则状, 亦见圆形,伸长状	多数分布于石英加大边和愈合的石英裂缝中,部分见于蚀变的长石颗粒中
	陈堡地区	5~25	椭圆形和 不规则状	分布不均匀,主要分布于愈合的石英裂缝内和次生加大边以及碎屑颗粒的接触界面中

表2 北斜坡不同地区阜宁组盐包裹体均一温度测温结果

Table 2 Homogenization temperature of intergrowth water inclusions in E_2f from different areas of the northern slope of the Gaoyou Depression

地区	包裹体分布	均一温度/℃
西部	早期石英加大边	76~ 78
	晚期石英加大边 粒间方解石晶体中	81~ 95
	晚期微晶石英晶体内	108~ 125
	愈合的石英裂缝	76~ 76.5
中部	石英加大边	84~ 86
	石英早期加大边	80~ 90
	晚期石英加大边 蚀变的长石颗粒内部	90~ 100
	微晶石英晶体内	100~ 120
东部	愈合的石英裂缝	72~ 78
	石英加大边 粒间方解石晶体内 蚀变的长石颗粒内	81.8~ 86.8
	愈合的石英裂缝	84~ 87
	愈合的石英裂缝	90.5~ 94.5
陈堡地区	早期石英加大边	76.7
	石英加大边	85~ 86
	愈合的石英裂缝中	85~ 86

分,然后用盐酸处理样品1d,一方面除去颗粒表面碳酸盐胶结物,另一方面部分残留吸附烃在酸性介质中能够从颗粒表面脱附,从而可被抽提出来。样品经清洗、干燥后,用二氯甲烷、甲醇抽提,抽提物即为束缚态油、气组分。抽提后的样品进一步用浓硫酸、重铬酸钾处理24h,使残留的油、气组分氧化。如残留的油、气组分含量高时,氧化处理后还会遗留一些难以氧化的组分,因此再用二氯甲烷、甲醇抽提,清除这些组分。最后将样品尽可能磨细,使颗粒中的油、气包裹体释放出来,再用二氯甲烷、甲醇抽提,得到颗粒中油、气包裹成分。

2.3.1 饱和烃组成特征

通过分析油气包裹体中饱和烃气相色谱图形态及正烷烃奇偶优势(OEP),碳优势指数(CPI),异戊间二烯型烷烃与正构烷烃比值(Pr/Ph)等参数,可以研究其母质来源,成熟度及沉积环境。高邮凹陷北斜坡气相色谱中碳数分布相对较宽,但不同地区色谱形态不同,其对应的参数亦有所差异。西部地区样品色谱均呈以 C_{17} 为主峰碳的单峰态,低碳数烷烃丰度占优势,说明包裹体形成时油气成熟度较高,且基本为同期形成;OEP介于1.07~1.08之间,CPI介于1.12~1.13之间。东部地区样品色谱

均呈以 C_{17} 、 C_{27} 为主峰碳的双峰态,高碳数峰群含量占优势,说明包裹体的组成存在不同烃类的混合,特别是不同成熟度油气相混合的特征,反映了油气有多期注入;OEP介于0.99~1.02之间,CPI介于1.02~1.04。中部地区介于两者之间,单峰、双峰型态均存在,其OEP介于0.97~1.04,CPI介于1.00~1.10,反映了本区自西向东原始母源输入以中低等水生藻类为主到以中低等水生藻类和高等植物蜡质为主、源岩演化程度有逐渐增高的趋势。

全区从整体上来看,异戊间二烯型烷烃丰度均非常低,植烷系列较姥鲨烷系列具丰度优势, Ph/Pr 均大于1.2,反映了沉积水体介质以还原性为主。另外,在中部沙埝、发财庄及卸甲庄地区,样品中检测到 β -胡萝卜烷及与之伴生的 γ -胡萝卜烷。 β -胡萝卜烷是一种全饱和的 C_{40} 双环烷烃,其存在主要归功于缺氧的、含盐湖相沉积中的藻类有机质,它的出现一般用于作为湖相还原环境的标志。

2.3.2 藿烷系列化合物

在高邮凹陷北斜坡油气包裹体中检测到的 C_{27} — C_{33} 藿烷系列,具有 C_{30}^+ 升藿烷随碳数升高丰度依次下降的特征。新藿烷系列丰度较低,重排藿烷系列丰度极低,莫烷系列丰度中等,而伽玛蜡烷丰度较高,表明以高等植物生源贡献比重较水生藻类生物贡献要多,沉积环境介质盐度相对较高以缺氧环境为主。成熟度参数 $C_{31}HS/(S+R)$ 介于0.56~0.61,达到热平衡状态,反映出其成熟演化处于成熟阶段,油气注入储层前业已成熟。

2.3.3 甾烷类化合物

高邮凹陷北斜坡油气包裹体中均检测到了丰度较高的 C_{27} — C_{30} 规则及重排甾烷系列化合物, C_{21} — C_{22} 孕甾烷与升孕甾烷系列丰度极低。样品中 $\alpha\alpha\alpha$ -20RC $_{27}$ 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷组成分布呈不对称“V”字型或反“L”型, $\alpha\alpha\alpha$ -20RC $_{27}/C_{29}$ 介于0.51~0.79, $\alpha\alpha\alpha$ -20RC $_{28}/C_{29}$ 介于0.74~0.82,表明生源输入中有高等植物与低等藻类生物的双重贡献,但以前者占据优势。

在 C_{29} 甾 $S/(S+R)$ 与 C_{29} 甾 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 关系图中(图2),横纵坐标均反映成熟度。该相关图在描述源岩或原油成熟度方面特别有效。

可以看出,不同地区,其成熟度变化存在差异,主要表现在码头庄、发财庄—韦庄、陈堡—沙埝、卸甲庄成熟度依次增加,这不但反映出一种油气运移方向,同时也说明了其离源岩的远近及烃类发生运移时间的早晚。成熟度低的离源岩相对较远,而成熟度高的离源岩相对较近,特别是沙埝地区样品中

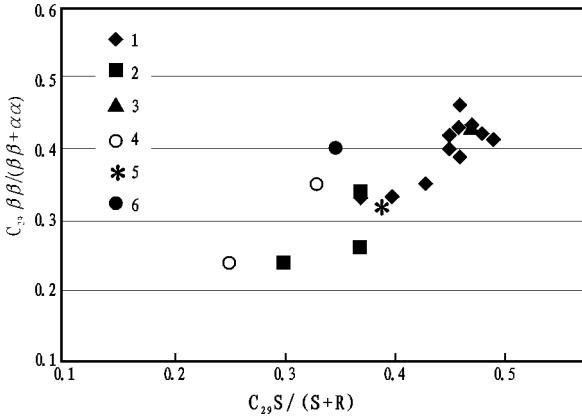


图 2 油气包裹体 $C_{29}S/(S+R)$ 与 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 关系图
1. 沙埕; 2. 发财庄; 3. 卸甲庄; 4. 码头庄; 5. 韦庄; 6. 陈庄

Fig. 2 The relation of $C_{29}S/(S+R)$ and $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ of oil-gas inclusions in the northern slope of the Gaoyou Depression

也存在成熟度变化, 这说明其存在多期油气的充注。随着源岩的不断成熟和排烃的连续进行, 早期注入的油气成熟度低, 后期注入的油气成熟度相对较高。这种同一地区成熟度的差异现象在发财庄、码头庄地区也同样存在, 也即高邮凹陷北斜坡多数地区存在多期油气充注过程, 这一点与前面有机包裹体均一温度的变化相映证。

通过对研究区油气包裹体烃类组成及生物标志物参数的分析, 可以看出, 研究区样品中均检测到相对丰富的藿烷系列化合物和甾烷类化合物, Ph/Pr 值均大于 1.2, 强植烷优势, 甾烷相对丰富, 而且在沙埕地区、发财庄及卸甲庄地区样品中均检测到 β -胡萝卜素。由此可见, 它们总体上与阜二段源岩具相似的特点(表 3)。部分样品显示出阜二段、阜四段源岩均有的特征。

表 3 苏北盆地三种陆相来源油参数值表

Table 3 Parameters of three kinds oil from continental source rocks in the North Jiangsu Basin

源岩	Pr/Ph	PhN/PrN	三芳甾/ 甲基三芳甾	β -胡 萝卜烷	H/S (a)
E_1f^4	0.6~1.3	0.9~1.6	1~1.3	贫	高
E_1f^2	0.1~0.6	1.7~6	1.3~2.2		
K_2l^2	0.5~1	1~1.4	0.5~0.6	富	低

3 有机包裹体在油气运移与聚集中的应用

流体包裹体分析在油气地质领域的重要用途之一就是研究油气运移路径、注入储层时间的推测、计算和判断。根据流体包裹体均一温度、盆地的古地温模式和储集层埋藏历史能够确定包裹体形成时的地层埋深及对应的地质时代, 应用此方法就可以确定油气藏的形成时间^[7~9]。

结合单井埋藏史图, 可确定烃类运移的时间。根据包裹体测温资料, 可以看出, 北斜坡地区油气注入时间较长, 主要发生在始新世—早第三纪, 但在不同地区, 油气注入期次不同。如卸甲庄地区阜宁组储层油气注入最早, 发生在早第三纪古新统沉积时期。最靠近深凹带的韦庄地区和沙埕地区阜宁组储层中与油气包裹体共生的盐水包裹体的均一温度对应的地质时间主要存在 3 期: 分别是早第三纪始新世戴南组沉积时期、三垛组沉积时期及晚第三纪上新—中新世盐城组沉积时期, 且石油大量运移聚集发生在始新世晚期。码头庄、发财庄和陈堡地区油气注入主要存在 2 期: 主要发生在早第三纪始新世

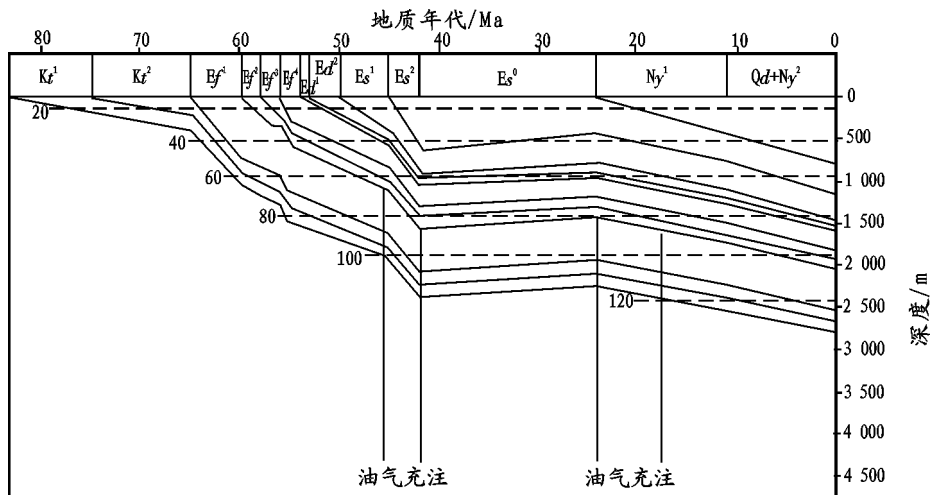


图 3 发财庄地区时—温埋藏史图

Fig. 3 Time-temperature burial history curve of the Facaizhuang area, the Gaoyou Depression

晚期和晚第三纪(如图3)。从均一温度所反映的地质时间来看,该区油气运移聚集高峰时期主要发生在早第三纪始新世戴南、三垛组沉积时期。而该时期高邮凹陷经历了三垛运动,北斜坡的边界断层——汉留断层活动十分剧烈,为油气的侧向运移提供了路径。显然,与油气包裹体共生的盐水包裹体均一温度所反映的地质时间与苏北盆地高邮凹陷所发生的构造运动是吻合的。

4 结论

1) 高邮凹陷北斜坡储层中油气包裹体与成岩演化序列具有正相关性。

2) 根据北斜坡油气储层中包裹体均一温度的测定,并结合单井的时-温埋藏史曲线,确定了该区烃类运移的时间。北斜坡地区油气运移时间较长,主要发生在早第三纪始新世晚期—晚第三纪,且以前者为主,与该区区域的构造运动相吻合。

3) 油气包裹体中生物标志物剖析表明,油气原始母源输入以低等水生藻类和高等植物蜡质为主;沉积环境以还原性占优势,沉积环境介质盐度相对较高,以缺氧环境为主;油气注入储层前业已成熟。

4) 码头庄、发财庄—韦庄、陈堡—沙埝、卸甲庄油气包裹体的成熟度依次增加,这不但反映出一种

油气运移方向,同时也说明了其离源岩的远近、油气充注期的早晚。成熟度低的离源岩相对较远,而成熟度高的离源岩相对较近。

5) 油气包裹体和烃源岩层油气的生物标志物参数的对比发现,油气主要来自阜二段烃源岩层。

参考文献:

- 倪师军, 滕彦国, 张成江等. 成矿流体活动的地球化学示踪研究综述[J]. 地球科学进展. 1999, 14(4): 346~352
- 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辑), 1987, (3): 318~325
- 邱楠生. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 403~407
- 马红强. 盐水包裹体在成岩作用研究中的应用——以塔河油田下奥陶统碳酸盐岩为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增刊): 601~606
- 许建华. 羌塘盆地流体包裹体特征及其在储层成岩研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 81~86
- Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 3641~3659
- 赵文智, 何登发. 石油地质综合研究导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 348~349
- 谈彩萍. 利用流体包裹体确定古地温梯度的探讨——以苏北盆地为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增刊): 610~613
- 刘小平. 有机包裹体在油气运聚研究中的应用——以苏北盆地高邮凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 94~99

APPLICATION OF ORGANIC INCLUSIONS TECHNOLOGY TO THE STUDY OF OIL-GAS MIGRATION AND ACCUMULATION

Hou Jianguo^{1,2}, Ren Lihua¹, Dong Chunmei¹

(1. College of Earth's Resources and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China;

2. Jiangsu Oilfield company, SIN OPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: In this paper an advanced organic inclusion analysis technique was used to study the homogenization temperature and organic components of hydrocarbon inclusion in E₂f of the northern slope of Gaoyou depression. The results indicate that the source inputs mainly come from lower aquatic algae and higher plants waxiness. The sedimentary environment was reducing and the salinity of the water medium was high. The hydrocarbons had been mature before they entered into the reservoirs. Contrasting with biomarker parameters of hydrocarbon inclusions and source rocks, it can be found that the hydrocarbons of the E₂f mainly come from the E₂f². Application of organic inclusions to oil-gas migration and accumulation shows that hydrocarbons migration of the study area mainly occur from later Eocene of early Tertiary to late Tertiary and the former one is most significant. It is consistent with regional structural movement in Gaoyou depression.

Key words: organic inclusion; homogenization temperature; biomarker; oil-gas migration and accumulation; Funing Formation; the northern slope of the Gaoyou Depression; the North Jiangsu Basin