

文章编号: 1000-0550(2012)01-0189-08

琼东南盆地崖城地区流体包裹体特征和油气 充注期次分析^①

贾元琴¹ 胡沛青^{1,2} 张铭杰¹ 张同伟¹ 陈克娜¹ 丛亚楠¹

(1. 兰州大学资源环境学院 石油天然气资源中心 兰州 730000;
2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室 西安 710054)

摘要 储层流体包裹体研究是油气充注期次分析的重要手段。对琼东南盆地崖城地区下第三系崖城组和陵水组砂岩储层5口钻井岩芯样品进行包裹体镜下显微观察、荧光分析和伴生盐水包裹体均一温度测量,表明该区下第三系主要发生过两期油气充注:第一期充注油气主要发淡黄色荧光,以液态烃包裹体和气液两相烃包裹体为主,伴生盐水包裹体的均一温度主要分布在130~160℃,根据区域埋藏热演化史推断油气充注时间为晚中新世—早上新世。第二期充注油气主要发淡蓝色荧光,以气态烃包裹体、气液两相烃包裹体和气液固三相烃包裹体为主,伴生盐水溶液包裹体的均一温度范围为160~190℃,充注时间应为第四纪。

关键词 流体包裹体 油气运移和充注期次 储层 琼东南盆地

第一作者简介 贾元琴 女 1986年出生 硕士研究生 地球化学 E-mail: xiayq08@lzu.cn

通讯作者 胡沛青 E-mail: hupq@lzu.edu.cn

中图分类号 TE122 **文献标识码** A

琼东南盆地是南海北部大陆边缘的新生代伸展型盆地,赋存有丰富的石油和天然气资源,是我国重要的海上油气资源基地之一。1983年以来在崖南凹陷构造带和松南—宝岛凹陷周缘区的集中油气勘探,现已在崖城地区发现了众多含油气构造,如崖南凹陷周缘的YC21-1和YC13-1构造、崖城凸起带的YC13-4和YC13-6构造等。油气具多期次充注的特点,且类型丰富^[1,2]。陈红汉等^[3]和胡忠良等^[4]通过YC13-1和YC21-1两个单井的流体包裹体分析了崖南凹陷油气充注期次。目前对整个崖城地区,特别是对崖城组和整个崖北凹陷油气充注期次及成藏时间方面缺乏系统的分析。

流体包裹体分析是沉积盆地储层油气充注期次研究的有效手段^[5~9]。储层砂岩成岩作用过程中胶结物、次生矿物及愈合裂隙形成时常将其周围的水、油和气等流体以包裹体的形式捕获^[10~12]。被捕获的流体包裹体保留了盆地演化过程中流体的化学组成、温度、压力及盐度等方面的重要信息,记录了盆地油气运移、充注和演化的历史,是油气成藏研究的原始样品^[13]。利用流体包裹体的颜色、大小、丰度、荧光

性质和热学参数等特征可分析油气的成分、运移规模、演化程度和充注的期次及时间^[14~19]。

本文采集了琼东南盆地崖城地区崖北凹陷、崖城凸起和崖南凹陷等含油气构造中不同位置崖城组和陵水组砂岩储层钻井岩芯样品,在岩相学和成岩作用分析的基础上,进行系统的流体包裹体类型、特征、荧光及均一温度分析,探讨了该区砂岩储层中油气充注的主要期次和特征,为该区油气藏分布、油气运移方向、成藏机制和勘探开发等提供依据。

1 油气地质背景

琼东南盆地位于南海北部大陆架的西缘,呈北东向展布,处于印度板块、欧亚板块和太平洋板块的结合部位,为典型的被动大陆边缘型断陷裂谷盆地,受三个板块相互作用的影响,构造复杂。西与莺歌海盆地相隔,北与海南隆起带相接,东北与珠江口盆地相邻。琼东南盆地主要包括乐东凹陷、崖南凹陷、崖北凹陷、崖城凸起和松涛凸起等诸多次级构造单元。崖城地区处在琼东南盆地的西南部,主要由崖南凹陷、崖城凸起和崖北凹陷3个次级构造单元组成(图1),

^①国家科技重大专项(编号:2008ZX05025-006)、国家自然科学基金项目(批准号:41072092)、西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室开放基金(编号:CHD2010JC145)和兰州大学萃英教授启动项目的资助。
收稿日期:2011-01-10;收修改稿日期:2011-04-18

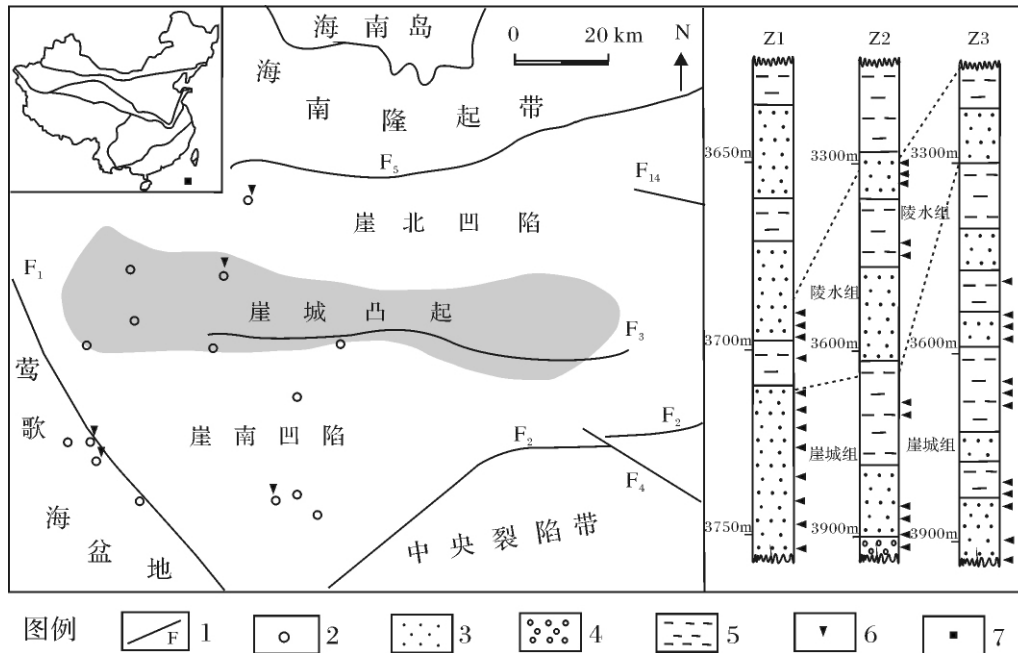


图1 琼东南盆地崖城地区区域构造位置和钻井岩相柱状图(据 Huang B J, *et al*^[23] 和赵必强^[24] 修改)
1. 断层; 2. 井位; 3 砂岩; 4. 砾岩; 5. 泥岩; 6. 取样钻井及采样位置; 7. 研究区

Fig. 1 A map showing the regional tectonic location and partial stratigraphic column for three drilling cores of Yacheng Area in Qiongdongnan Basin(modified from Huang B J, *et al*^[23] and Zhao Biqiang^[24])

南部以1号断裂与莺歌海盆地相邻,北边以5号断裂与海南隆起带相隔,东南以2号断裂带与中央裂陷带相接。

琼东南盆地基底由古近系火成岩、变质岩和沉积岩组成,之上依次沉积了始新统、渐新统崖城组和陵水组、中新统三亚组、梅山组和黄流组、上新统莺歌海组及第四系。始新统和渐新统是盆地在断陷及断拗期形成的,以断裂和不整合面为沟通地层间的主要构造;中新统及以上地层是盆地在拗陷阶段形成的,该阶段盆地以快速沉降为主,构造活动微弱,能向上切入中新统并沟通渐新统的断裂极少^[20-21]。崖城组为灰—深灰色砂岩与薄层深灰黑色泥岩不等厚互层,夹煤层和煤线;陵水组主要为灰白—浅灰色砾岩、砂岩与深灰色泥岩互层,局部见生物灰岩;梅山组以泥岩为主;黄流—莺歌海组为灰黑色泥岩与灰白色粉砂岩和细砂岩互层。

琼东南盆地崖南凹陷崖城组煤系泥岩为主要的烃源岩层,黑色泥岩富含有机质(TOC 为 1.5% ~ 5.0%),发育Ⅲ型干酪根;陵水组砂岩为主要储集层,孔隙度高(平均 15.1%),渗透性强($40 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$);梅山组泥岩层为直接的盖层,黄流—莺歌海组砂泥岩层构成区域盖层。崖南凹陷的

凹陷中心附近的大断裂和斜坡带的同沉积断裂,为油气向上运移提供了通道^[22]。

2 样品与分析方法

2.1 样品

本文系统采集了琼东南盆地崖城地区崖南凹陷 YC13-1 和 YC21-1 构造、崖城凸起 YC8-1 构造和崖北凹陷 YC8-2 构造 5 口典型钻井中陵水组和崖城组岩芯样品 37 件(图 1) 选取次生岩脉、次生矿物等发育的样品,进行岩石薄片、流体包裹体片切制及岩相学、成岩作用和流体包裹体类型、特征显微观察和流体包裹体均一温度测量分析。

岩相学分析表明,研究样品主要为粗—中砂岩和含砾砂岩,其次为细砂岩和泥岩。崖城组主要为灰白色粗—中砂岩和泥岩,其次为含砾砂岩和粉砂岩,碎屑颗粒以石英为主(70% ~ 80%),有少量长石、黑云母和其它岩屑,含黄铁矿和炭屑,粒间空隙被碳酸盐胶结物和粘土杂基充填,石英次生加大边发育,多被溶蚀成港湾状。陵水组主要为浅灰色粗粒长石砂岩,其次为粉砂岩和泥岩,石英次生加大和溶蚀作用较普遍。样品普遍经历了压实、胶结、溶蚀、重结晶和交代等成岩作用的影响,广泛发育有机质充注形成的细脉。

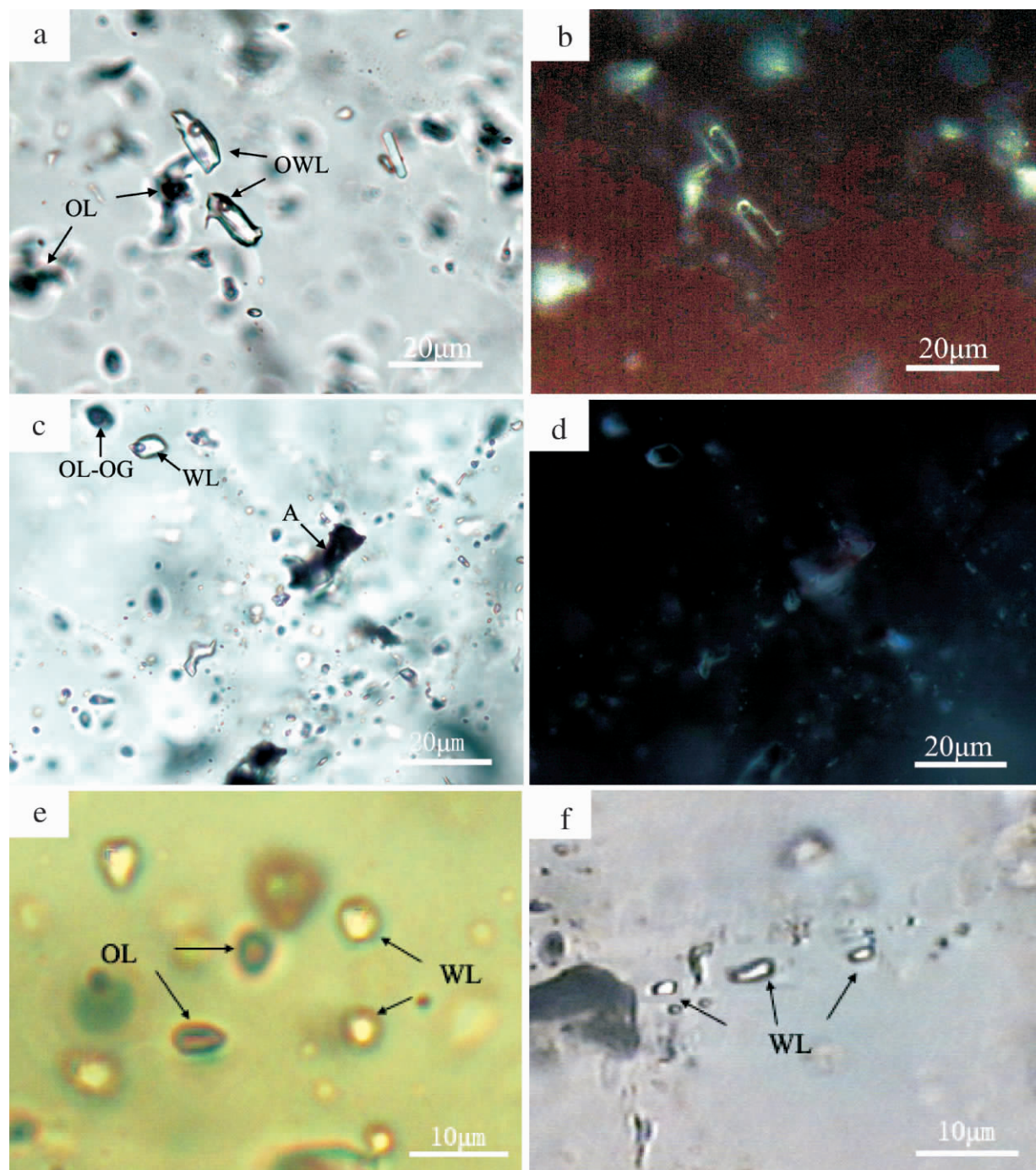


图 2 石英裂隙中的不同类型包裹体

a-b 崖南凹陷 YC13-4-A1 井 3 757 m (E_3^1y) 砂岩中含烃盐水溶液包裹体 (OWL) 和液态烃包裹体 (OL), 具黄绿色荧光, b 为荧光照片; c-d YC21-4-3 井 4 632 m (E_3^1l) 砂岩中盐水溶液包裹体 (WL)、气液两相烃包裹体 (OL-OG) 和沥青包裹体 (A), 具淡蓝色荧光, d 为荧光照片; e-f 崖北凹陷 YC8-2-4 井 3908m (E_3^1y) 崖南凹陷 YC13-4-A1 井 3757 m (E_3^1y) 砂岩中盐水溶液包裹体 (WL) 和烃类包裹体 (OL)。

Fig. 2 Different types of organic fluid inclusions trapped in cracks of detrital quartz

2.2 分析方法

根据储层砂岩中流体包裹体在显微镜下的分布特征, 选择石英颗粒次生裂隙中的包裹体进行分析。

包裹体的类型、特征观察采用 Olympus 包裹体分析显微镜, 遵循从低倍向高倍镜下观察的顺序, 先在低一中倍镜下观察, 发现在次生矿物或裂隙中规律性排列

的小黑点呈群体状或枝蔓状出现时,转换成高倍物镜进行详细观察。荧光分析采用 E400—Nikon 双通道荧光—透射光显微镜,配备 Lucia 微束($\geq 2 \text{ m}$) 荧光光谱分析仪,观测条件:激发波长为 H_{β} 420 ~ 490 nm, 双色反射镜 RKB510 nm,保护滤波器 515 nm,光源采用 100 W Hg 灯。流体包裹体均一温度的测定采用 Linkam THMS 600G 型冷热台完成,测定误差为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,均一温度测定时初始升温速率为 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,当包裹体临近均一状态时升温速率调整为 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$,观测物镜据流体包裹体的大小分别用 $L32 \times / 0.4\text{p}$ 、 $H50 \times / 0.5$ 和 $H100 \times / 0.75$ 长焦距物镜。流体包裹体显微特征的观察、荧光分析和均一温度在兰州大学石油天然气资源中心和中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成。

3 结果

3.1 流体包裹体的显微特征

崖城地区渐新统储层砂岩次生矿物中流体包裹体普遍较发育。流体包裹体形状多样,大小不一,呈串珠状分布于石英碎屑颗粒的次生裂隙愈合缝、加大边和重结晶的碳酸盐矿物及石英中,主要由盐水溶液包裹体、含烃盐水包裹体、气态烃包裹体、液态烃包裹体、气液两相烃包裹体、气液固三相烃包裹体和沥青包裹体等组成,透射光下呈深褐色及浅灰色,个别呈浅红褐色,具淡黄—黄绿色或蓝—蓝白色荧光(图2)。崖南凹陷、崖城凸起和崖北凹陷等次级构造单元不同时代的地层中流体包裹体的特征及类型组合略有差异(表1)。

崖南凹陷渐新统砂岩有机包裹体含量丰富,呈串珠状分布在石英颗粒的微裂隙或切穿石英颗粒的裂隙中,根据其在镜下产出状态和组合类型方面的差异可分为两类:第一类包裹体多为浅褐色,形状规则,个体一般在 $2 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间,由气液比为 $5\% \sim 15\%$ 的气液两相烃包裹体和液态烃包裹体组成,偶见气液固三相烃包裹体;第二类包裹体颜色较深,形状多样,呈近圆形、椭圆形或不规则状,大小在 $5 \sim 12 \mu\text{m}$ 之间,个别可达 $30 \mu\text{m}$,气液比变化较大,约在 $10\% \sim 60\%$ 之间,以含烃盐水溶液包裹体、气态烃包裹体、气液两相态烃包裹体和气液固三相烃包裹体为主,含少量沥青包裹体。

崖城凸起中陵水组有机包裹体含量较低,颜色较浅,多为浅褐色,呈串珠状分布在石英颗粒的微裂隙中,个体小而均匀,约为 $3 \mu\text{m}$,主要由气液比为 10% 左右的气液两相烃包裹体组成;崖城组有机包裹体丰度相对较高,除发育一类特征相似于陵水组包裹体外,还发育一类个体较大包裹体,多为红褐色或灰褐色,呈串珠状分布在切穿石英颗粒的裂隙或微裂隙中,主要由气液比为 $15\% \sim 60\%$ 的含烃盐水溶液包裹体、液态烃包裹体、气态烃包裹体、气液两相态烃包裹体和气液固三相烃包裹体组成,偶见沥青包裹体。

崖北凹陷崖城组发育相互穿插的两类包裹体。第一类包裹体呈椭圆形和长条状,以串珠状分布在石英颗粒的微裂隙或切穿石英颗粒的裂隙中,主要由气液比为 $10\% \sim 20\%$ 的液态烃包裹体和气液两相烃包裹体组成;第二类包裹体呈带状切穿第一类包裹体,呈近圆状、长条状或不规则状,主要由气液比为 30%

表1 琼东南盆地崖城地区流体包裹体特征

Table 1 Characteristics of fluid inclusions in Yacheng area of Qiongdongnan Basin

构造单元	层位	期次	相组成	有机包裹体特征				盐水包裹体均	
				气液比/%	颜色	荧光	统计量/个	丰度/%	一温度/ $^{\circ}\text{C}$
崖南 凹陷	E_3^{2l}	I	气液两相烃和液相烃为主,次为三相烃	10	浅褐色	淡黄色	120	20 ~ 30	113 ~ 150 140 ~ 160*
		II	气液两相烃为主,次为气态烃和沥青	15 ~ 65	褐色	蓝色		70 ~ 80	169 ~ 179 167 ~ 188*
	E_3^{1y}	I	气液两相烃和液相烃为主,次为三相烃	10 ~ 20	浅褐色	黄色	350	30 ~ 40	137 ~ 160
		II	气液两相烃为主,次为气相烃、三相烃和少量沥青包裹体	15 ~ 70	褐色	蓝绿色		60 ~ 70	164 ~ 179 178 ~ 184*
崖城 凸起	E_3^{2l}	I	气液两相烃为主	10 ~ 30	灰褐色	淡黄色	170	70 ~ 80	/
		II	气液两相烃为主,次为液相烃和三相烃	10	浅褐色	黄色	130	20 ~ 30	139 ~ 145
	E_3^{1y}	I	气液两相烃为主,次为气相烃、三相烃和少量沥青包裹体	10 ~ 65	褐色	浅蓝色		70 ~ 80	/
		II	气液两相烃和液相烃为主	10 ~ 20	灰褐色	/	100	25 ~ 30	125 ~ 157
崖北 凹陷	E_3^{1y}	II	气液两相烃和气相烃为主,次为沥青包裹体	30 ~ 60	褐色	/		70 ~ 75	/

* 数据来自文献^[24]

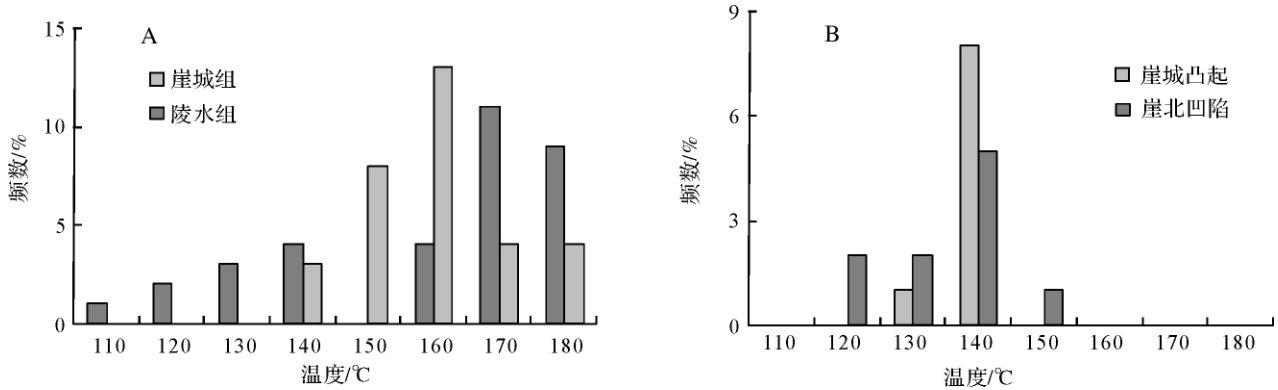


图 3 崖城地区渐新统流体包裹体均一温度直方图 A 崖南凹陷; B 崖城凸起和崖北凹陷
Fig. 3 Histogram of fluid inclusion homogenization temperatures of Oligocene reservoirs in Yacheng area

~60% 的气态烃包裹体和气液两相烃包裹体组成。

由上可知,崖城地区渐新统储层中流体包裹体比较发育。同一构造单元不同地层或同一地层不同深度处包裹体特征略有差异:陵水组地层中有机包裹体较崖城组个体小、丰度低,同一地层中随埋藏深度的减小有机包裹体的丰度降低。

3.2 流体包裹体的均一温度

储层中与烃类包裹体伴生的盐水溶液包裹体的均一温度可反映储层油气运移时的温度^[25~27]。崖城地区渐新统砂岩样品中与烃类包裹体伴生的盐水溶液包裹体的均一温度见表 1。均一温度主要集中在 113~188°C 之间。从南到北的构造单元中,与同期有机包裹体伴生的盐水包裹体的均一温度呈降低趋势,崖南凹陷崖城组和陵水组盐水包裹体均一温度分布于 130~190°C 和 110~190°C 之间,均存在 130~160°C 和 160~190°C 两组主峰。崖城凸起和崖北凹陷崖城组盐水包裹体均一温度的分布范围为 130~150°C 和 120~160°C,主峰为 130~160°C (图 3)。

4 讨论

4.1 油气充注期次与特征

崖城地区不同构造单元渐新统砂岩中有机包裹体广泛发育,其颜色、荧光特征、相组分以及均一温度各具特征,揭示油气演化的不同阶段。

崖南凹陷和崖城凸起渐新统砂岩中的有机包裹体显微特征、分布特征和组合类型可分为两大类,第一类有机包裹体较第二类颜色浅、气态烃包裹体和气液固三相烃包裹体含量少,伴生盐水包裹体均一温度低,分别为 130~160°C 和 160~190°C,分别具黄—黄绿色和淡蓝色荧光,说明第一类有机包裹体所含油气的演化程度明显低于第二类,与 R_o 揭示的结果一致

(两期油气的 R_o 分别为 0.8%~1.0% 和 1.53%~1.84%)。可能为来自崖南凹陷崖城组煤系烃源岩生成的油气经砂体、不整合面和断裂等疏导体系的作用进入储层,并在成岩作用过程中捕获于次生矿物,其所含油气属于正常成熟—过成熟的热成因煤型油气 ($\delta^{13}C_1$ 值主要分布在 -34‰~-39.9‰ 之间, $\delta^{13}C_2$ 组成为 -27‰~-20‰^[21])。表明崖南凹陷和崖城凸起渐新统地层储层两期不同演化程度的油气充注^[3,24]。

崖南凹陷 YC21-1-3 井陵水组以淡黄色和浅蓝色荧光的含烃盐水溶液包裹体为主,含少量沥青包裹体、液态烃包裹体和气态烃包裹体(图 2),表明在 YC21-1 构造陵水组储层存在两期油气充注运移,这与电测解释(含气水层)及古压力的模拟结果^[4]相符。

崖北凹陷崖城组储层不同深度砂岩中普遍存在呈穿插关系的两类有机包裹体,代表两期油气的充注,伴生盐水包裹体均一温度为 120~160°C,主峰为 130~160°C,揭示了一期油气充注。油气主要是通过伸向烃源岩层深部的砂体及断层运移,油气的热演化程度较低,属于陆源石蜡型油及油型伴生气(C_2+ 重烃含量高达 32.4%、干燥系数为 0.67)^[21]。

据上认为崖城地区渐新统砂岩储层中至少发生过两期油气的充注,第一期油气主要为淡黄—黄绿色荧光的油气,运移时的温度在 130~160°C 之间;第二期油气主要为淡蓝色—蓝白色荧光的油气,运移时的温度在 160~190°C 之间。

4.2 油气充注时间

含烃热流体注入储层形成油气藏过程中,驱替了

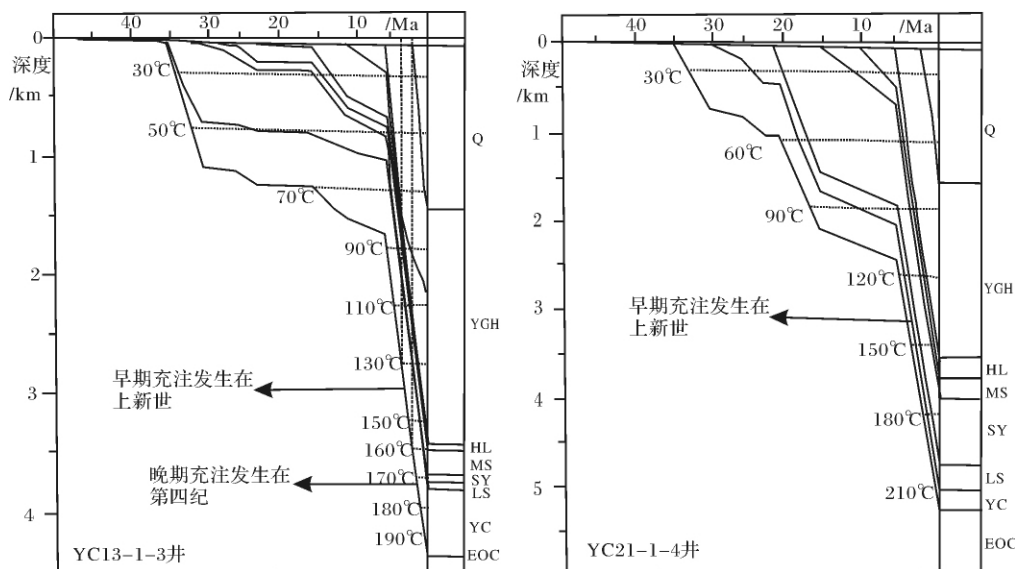


图4 崖城地区生烃史图(据文献^[24,41]修改)

Fig. 4 Hydrocarbon generation history of source rocks in Yacheng area (modified from others^[24,41])

原来的孔隙流体形成有机包裹体和盐水溶液包裹体,因此伴生的盐水溶液包裹体形成的时间可代表油气充注的时间,即油气成藏的时间^[28]。因此将与有机包裹体伴生的盐水包裹体的均一温度投影到附有古地温演化的埋藏热演化史图上,可推断油气充注的时间^[29~31]。根据琼东南盆地埋藏热演化史和测定的盐水包裹体均一温度可推算油气充注时间。

YC21-1-4井和YC13-1-3井热演化埋藏史^[4,24,32]可推断崖南凹陷渐新统地层中早期油气充注发生于4~3Ma,晚期油气充注的时间约为1.8Ma。崖城凸起与崖南凹陷属同一成藏体系^[24],运用崖南凹陷埋藏史推断出崖城凸起YC8-1-1井崖城组地层油气充注的时间约为3Ma(图4);结合崖北凹陷的埋藏史^[33]推断出YC8-2-1油气充注的时间为8~4Ma(晚中新世—早上新世)。

崖城地区第一期油气充注大约发生在晚中新世—早上新世(8~3Ma);第二期油气开始充注的时间为第四纪早期(1.8Ma)。不同构造单元中油气充注的时间略有差异,在崖南凹陷和崖城凸起油气充注发生在上新世—第四纪,崖北凹陷油气充注约发生在晚中新世—早上新世,具有北部早南部晚的特征。由于自中新世以来,琼东南盆地构造运动以快速沉降为主^[2],并且两期油气充注时间相近,两期油气的充注基本是连续的。

5 结论

(1) 琼东南盆地崖城地区渐新统主要存在两期流体包裹体。第一期有机包裹体以液态烃包裹体和气液两相烃包裹体为主,第二期有机包裹体以气态烃包裹体、气液两相烃包裹体和气液固三相烃包裹体为主,分别代表两期油气的充注。

(2) 第一期充注油气以黄色荧光包裹体为主,伴生盐水包裹体的均一温度主要分布在130~160°C;第二期以发浅蓝色荧光的包裹体为主,均一温度范围为160~190°C。

(3) 根据区域埋藏热演化史推断第一期油气充注发生在晚中新世—早上新世(距今8~3Ma),第二期油气充注的时间为第四纪早期(距今1.8Ma)。

致谢 中国科学院兰州地质所陈国俊和王琪研究员在研究过程中给予了全面指导与支持;中国海洋石油总公司张功成教授在样品采集和地质资料方面给予大力支持,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References)

- 1 何家雄,陈胜红,姚永坚,等. 南海北部边缘盆地油气主要成因类型及运聚分布特征[J]. 天然气地球科学,2008,19(1):34-40 [He Jiexiong, Chen Shenghong, Yao Yongjian, et al. Main genetic types of oil & gas and characteristics of their accumulation and distribution in North Marginal Basins, South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1):34-40]
- 2 李绪宣,李维新,张益明,等. 琼东南盆地天然气成藏特征及地震

- 识别技术[J]. 中国海上油气, 2006, 18(2): 79-86 [Li Xuxuan, Li Weixin, Zhang Yiming, *et al.* Gas accumulation characteristics and seismic identification techniques in Qiongdongnan basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(2): 79-86]
- 3 陈红汉, 张启明, 施继锡. 琼东南盆地含烃热流体活动的流体包裹体证据[J]. 中国科学 D 辑, 1997, 27(4): 343-348 [Chen Honghan, Zhang Qiming, Shi Jixi. Evidence of fluid inclusions of hydrocarbon thermal fluid activities in Qiongdongnan basin [J]. Science In China: Series D, 1997, 27(4): 343-348]
 - 4 胡忠良, 肖贤明, 黄保家. 储层包裹体古压力的求取及其与成藏关系研究——琼东南盆地崖 21-1 构造实例剖析[J]. 天然气工业, 2005, 25(6): 28-32 [Hu Zhongliang, Xiao Xianming, Huang Baojia. Acquisition of fluid inclusion paleopressure and its relation to reservoiring: Taking Ya21-1 structure in Qiongdongnan basin as an example [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(6): 28-32]
 - 5 Conliffe J, Blamey N F, Feely M, *et al.* Hydrocarbon migration in the Porcupine Basin, offshore Ireland: evidence from fluid inclusion studies [J]. Petroleum Geoscience, 2010, 16(1): 67-76
 - 6 Khaled R A, Jenden P D, Al-Hajji A A. Petroleum inclusions atop Unayzah gas condensate reservoir: Signpost for an undocumented chapter of the Arabian Basin filling history? [J]. Organic Chemistry, 2010, 41(7): 698-705
 - 7 Suchy V, Dobes P, Sykorova I, *et al.* Oil-bearing inclusions in vein quartz and calcite and bitumens in veins: Testament to multiple phases of hydrocarbon migration in the Barrandian basin (lower Palaeozoic), Czech Republic [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27: 285-297
 - 8 张霖, 邢永亮, 曾云, 等. 塔东地区寒武系白云岩的流体包裹体特征及生烃期次研究[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 694-695 [Zhang Nai, Xing Yongliang, Zeng Yun, *et al.* Characteristics of fluid inclusions of Cambrian dolomite and hydrocarbon-generation history in the Eastern Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5): 694-695]
 - 9 张义杰, 曹剑, 胡文璋. 准噶尔盆地油气成藏期次确定与成藏组合划分[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 257-262 [Zhang Yijie, Cao Jian, Hu Wenxuan. Timing of petroleum accumulation and the division of reservoir-forming assemblages, Junggar Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(3): 257-262]
 - 10 John P, David M, 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
 - 11 程本合, 汪集旻, 熊亮萍. 莺琼盆地流体包裹体对热液活动及油气运移的示踪作用[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 695-699 [Cheng Benhe, Wang Jiyang, Xiong Liangping. Fluid inclusion: a tracer of hydrocarbon and thermal fluid migration in Yingqiong basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 695-699]
 - 12 张铭杰, 唐俊红, 张同伟, 等. 流体包裹体在油气地质地球化学中的应用[J]. 地质论评, 2004, 50(4): 397-406 [Zhang Mingjie, Tang Junhong, Zhang Tongwei, *et al.* Applications of fluid inclusions to petroleum and natural gas geology and geochemistry [J]. Geological Review, 2004, 50(4): 397-406]
 - 13 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 等. 含油气盆地中流体包裹体类型及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 491-501 [Liu Dehan, Xiao Xianming, Tian Hui, *et al.* Fluid inclusion types and their geological significance in petroliferous basins [J]. Oil and Gas Geology, 2008, 29(4): 491-501]
 - 14 李兆奇, 陈红汉, 刘惠民, 等. 流体包裹体多参数综合划分东营凹沙三段油气充注期次及充注时期确定[J]. 地质科技情报, 2008, 27(4): 69-74 [Li Zhaoqi, Chen Honghan, Liu Huimin, *et al.* Division of hydrocarbon charges and charging date determination of Sha 3 Member, Dongying depression by various aspects of fluid inclusions [J]. Geological Science and Technology Information, 2008, 27(4): 69-74]
 - 15 米敬奎, 肖贤明, 刘德汉, 等. 利用包裹体信息研究鄂尔多斯地上古生界深盆气的运移规律[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 46-51 [Mi Jingkui, Xiao Xianming, Liu Dehan, *et al.* Study on Upper-Paleozoic deep basin gas migration in Ordos using inclusion information [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5): 46-51]
 - 16 Munz I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematic analytical methods and application [J]. Lithos, 2001, 55: 195-212
 - 17 Yong Feng, Honghan Chen, Sheng He, *et al.* Fluid inclusion evidence for a coupling response between hydrocarbon charging and structural movements in Yitong Basin, Northeast China [J]. Geochemical Exploration, 2010, 106: 84-89
 - 18 Ferket H, Guilhaumou N, Roure F, *et al.* Insights from fluid inclusions, thermal and PVT modeling for paleo-burial and thermal reconstruction of the Cordoba petroleum system (NE Mexico) [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27: 285-297
 - 19 Aiping Fan, Renchao Yang, Qiao Feng, *et al.* Application of Fluid Inclusions in the Study of Natural Gas Geology in Ordos Basin [J]. China University of Mining and Technology (English Edition), 2006, 16(4): 443-447
 - 20 黄保家. 琼东南盆地天然气潜力及有利勘探方向[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 33-39 [Huang Baojia. Gas potential and its favorable exploration areas in Qiongdongnan basin [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 33-39]
 - 21 何家雄, 夏斌, 孙东山, 等. 琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 53-58 [He Jiaxiong, Xia Bing, Sun Dongshan, *et al.* Hydrocarbon accumulation, migration and play targets in the Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 53-58]
 - 22 Xiao X M, Xiong M, Tian H, *et al.* Determination of the source area of the Ya13-1 gas pool in the Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37: 990-1025
 - 23 Baojia Huang, Xianming Xiao, Xuxuan Li. Geochemistry and origins of natural gases in the Yinggehai and Qiongdongnan basins, offshore South China Sea [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34: 1009-1025.
 - 24 赵必强. 琼东南盆地天然气运聚成藏规律研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006 [Zhao Biqiang. Migration and

- accumulation patterns of natural gases in the Qiongdongnan basin [D]. Guang Zhou: Guang Zhou Institute of Geochemistry, 2006]
- 25 Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems [J]. *Lithos*, 2001, 55: 159-193
- 26 Okubo S. Effects of thermal cracking of hydrocarbons on the homogenization temperature of fluid inclusions from the Niigata oil and gas fields, Japan [J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20: 255-260
- 27 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 四川盆地威远气田碳酸盐岩中有有机包裹体研究 [J]. *地质论评*, 2004, 50(2): 210-214 [Tang Junhong, Zhang Tongwei, Bao Zhengyu, *et al.* Study of organic inclusions in the carbonate reservoir bed of the Weiyuan gas field in the Sichuan basin [J]. *Geological Review*, 2004: 397-406]
- 28 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉. 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 Zufa, Liu Dehan. Applications of fluid inclusions in the reservoir to the studies of gas pool forming time [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 4(12): 957-960]
- 29 王建宝, 郭汝泰, 肖贤明, 等. 塔里木盆地轮南低隆起早古生代油气藏形成的期次与时间研究 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 320-326 [Wang Jianbao, Guo Rutai, Xiao Xianming, *et al.* Timing and phases of hydrocarbon migration and accumulation of the formation of oil and gas pools in Lunnan Low Uplift of Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 320-326]
- 30 赵靖舟, 戴金星. 库车油气系统油气成藏期与成藏史 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 314-319 [Zhao Jingzhou, Dai Jinxing. Accumulation timing and history of Kuche petroleum system, Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 314-319]
- 31 Changchun Pan, Jianqian Yang. Geochemical characteristics and implications of hydrocarbons in reservoir rocks of Junggar Basin, China [J]. *Chemical Geology*, 2000, 167: 321-335
- 32 陈红汉, 孙永传, 叶加仁, 等. 莺琼盆地的独特埋藏史 [J]. *中国海上油气: 地质*, 1994, 8(5): 329-335 [Chen Honghan, Sun Yongchuan, Ye Jiaren, *et al.* Unique burial history of Ying-Qiong basin [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 1994, 8(5): 329-336]
- 33 李雨梁, 杨光. 琼东南盆地崖北凹陷构造沉降和热演化历史 [J]. *中国海上油气: 地质*, 1989, 3(4): 11-16 [Li Yuliang, Yang Guang. Tectonic subsidence and thermal history of Yabei Depression in Qiongdongnan basin [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 1989, 3(4): 11-16]

Characteristics of Fluid Inclusions and Their Constraints on Timing of Hydrocarbon Filling in the Yacheng Area of Qiongdongnan Basin, South China

JIA Yuan-qin¹ HU Pei-qing^{1,2} ZHANG Ming-jie¹ ZHANG Tong-wei¹
CHEN Ke-na¹ CONG Ya-nan¹

(1. Center of Oil and Natural Gas Sciences, School of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;

2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054)

Abstract: The fluid inclusion of reservoir is one of important means to reveal the time of oil and natural gas charging. In present study the time of oil and natural gas charging in Yacheng and Lingshui Formation in Yacheng area of the Qiongdongnan Basin, southern China have been investigated by the analysis of type, distribution, fluorescence and homogenization temperature of fluid inclusions in samples of 5 Wells. The results indicated that the oil and natural gas bearing hydrothermal fluids have been charged twice into the sandstone reservoirs in the Paleogene reservoir. The first charge stage was characterized by condensate-gas with buff-yellow fluorescent light, its hydrocarbon fluid inclusions are dominated by liquid hydrocarbon inclusions and gas-liquid hydrocarbon inclusions, and the homogenization temperature (T_h) of coeval aqueous inclusions ranges from 130°C to 160°C. The time of first condensate-gas charging had been estimated at late Miocene to early Pliocene based on the regional burial thermal evolution history. The second charged stage was characterized by oil and natural gas with light blue fluorescence. Their hydrocarbon fluid inclusions were dominated by gas hydrocarbon inclusions, gas-liquid hydrocarbon inclusions and three-phase hydrocarbon inclusions, the T_h of coeval aqueous inclusions showed higher range from 160°C to 190°C than the 1st charged stage, and the charging time was estimated as Quaternary.

Key words: fluid inclusion; times of hydrocarbon charging and migration; reservoir; Qiongdongnan basin