

# 江苏高邮凹陷永安气藏烃类流体包裹体特征和天然气成藏条件

常象春<sup>1,2</sup>, 郭海花<sup>2</sup>, 张金亮<sup>3</sup>, 毛凤鸣<sup>4</sup>

(1.山东省油气勘探开发工程技术研究中心,山东 青岛 266510 2.山东科技大学,山东 泰安 271019;  
3.中国海洋大学,山东 青岛 266003 4.中国石化江苏油田分公司,江苏 扬州 225009)

**摘要:**利用先进的流体包裹体测试技术,对永安油气包裹体进行了剖析。油气地球化学特征表明,母源输入中以高等植物蜡贡献为主,沉积水体环境介质以缺氧还原性占优势,油气注入储层前处于成熟演化状态,多因素生物标志物参数组合气源对比反映出永安天然气与阜宁组四段源岩具很好的相关性。成藏条件分析表明,永安气藏气源岩生烃早,与储集接触好,油气注入从距今 45 Ma 开始几乎持续至今,充注时间长;一些鼻状构造或断鼻、断块构造圈闭的形成略早于或同步于油气的注入,利于油气聚集;处在沉凹带的气藏,上部有 20 m 厚的泥质岩,在断层对盘为阜宁组四段泥岩,而且后期辉绿岩的侵入也成为其有效的盖层,水动力条件以水体交替缓慢带和停滞带为主,具有良好的封盖条件,油气成藏为典型的下生上储模式。

**关键词:**江苏;高邮凹陷;天然气藏;烃类包裹体;多因素生物标志物参数组合;油气充注;成藏条件

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

文章编号:1671-255X(2003)12-0808-06

永安构造位于高邮凹陷汉留断层的西侧,东邻富民构造,西接联盟庄构造,北为卸甲庄构造,向南伸至高邮深凹中,面积约 900 km<sup>2</sup>。作为高邮凹陷内控制沉积的一条 II 级断层和北斜坡与深洼带的分界,在汉留断层的影响下,其断层下降盘在永安地区形成多条次级断层,以走滑断层共生的模式出现。汉留断层下降盘为宽缓的鼻状隆起,向西、东、南倾伏,上升盘总体上呈现出与下降盘相对的宽缓鼻状构造,两盘共同构成了永安地区断裂背斜构造背景。永安气藏主要分布于永 7 断块始新世戴南组一段下部,其中永 7 井在戴一段 2995.4~3029.4 m 井段试获工业气流,用 5 mm 油咀放喷,日产油 2.6 t,产气 20700 m<sup>3</sup>,气油比为 8000 m<sup>3</sup>/t。永安油气富集层位主要集中在戴一段(E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>1</sup>、E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>2</sup>、E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>3</sup>),上部的 E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>1</sup>、E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>2</sup> 2 个砂组主要分布油藏,天然气以溶解形式存在,油藏无统一油水界面,单砂体油水分布受构造及岩性控制。E<sub>2</sub>d<sub>1</sub><sup>3</sup> 砂组油气分布较为复杂,一般来讲其下部主要为油藏,天然气主要分布于其上部。为了进一步深入认识永安气

藏的形成及分布规律,我们采用了目前成藏研究中的新技术——流体包裹体测试法。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<sup>[1]</sup>,分析储集岩成岩矿物中流体包裹体的形态、大小、颜色、含量、分布、相态等,可用来判断烃类注入期次、有机质的热演化程度、油气运移通道等,而均一温度结合时温埋藏史可以推测烃类大量运移和成藏时期,包裹体中烃类组分的色谱、色谱-质谱或同位素质谱分析更能揭示许多有关母源的信息。由于该方法将宏观与微观、静态与动态、定性与定量、流体与固体研究密切相结合,故能够更为科学地、深层地认识成藏机理。

## 1 烃类流体包裹体特征

### 1.1 样品分析方法与条件

先将样品碎至单个砂粒,筛选 0.1~0.3 mm 粒级砂粒 100~150 g,用二氯甲烷:甲醇(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>OH=93:7,体积比)抽提 48 小时,初步除去砂粒表面吸附的

油气组分。用HCl处理抽提过的样品(1天)除去碳酸盐矿物(胶结物)将样品清洗干净、烘干。用浓硫酸-重铬酸钾(强氧化剂)处理样品24小时,将砂粒表面残留的油气组分氧化,再将样品清洗干净、烘干。用二氯甲烷:甲醇混合剂抽提样品,使未完全氧化的有机物抽提掉。最后将样品磨细,使砂粒中的油气包裹体尽可能释放出来,用二氯甲烷:甲醇抽提样品,将油气包裹体提取出来,通过硅胶/氧化铝柱层析,分离出饱和烃组分,进行气相色谱及色谱/质谱分析。

### 1.2 烃类流体包裹体均一温度

永安天然气储层样品中包裹体分布非常丰富,主要以油气包裹体为主,呈油相+气相(表1)。包裹体样品均一温度变化范围较宽,介于72.4~113℃,永7-2井4个不同深度样品的均一温度表现出明显的变化,结合成岩作用序列及包裹体的分布,可以划分出3个变化段来,即分布于石英自生加大边或自生钠长石中的均一温度略低,介于72.4~87.5℃;分布于自生石英微晶内的均一温度最高,介于89.6~113℃;而分布于石英强加大边的均一温度介于前二者之间,为81.2~94.6℃。由此表明,随着成岩矿物的演化发育,包裹体均一温度也随之升高,烃类在不断成熟演化,同时也在不断向储层中注入,根据均一温度的分段性,可见至少存在3期烃类流体包裹体的形成过程,也反映出至少有3期主要的油气注入过程。

### 1.3 烃类流体包裹体地球化学特征

烃类流体包裹体形成之后,由于没有与外界进行物质交换,因而可提供原始成矿流体的许多原生地质地球化学信息。流体包裹体测试技术对包裹体烃类的地球化学测试,特别是对包裹体中烃类成分直接的色谱、色谱质谱分析,可反映油气母质特征、进入储层时的热演化程度、成烃时沉积水体的环境等原始特征,进而能研究油气成藏充注史。

#### 1.3.1 正构烷烃与异戊间二烯烃组成特征

永安天然气储层烃类流体包裹体样品碳数分

布范围非常广,介于 $nC_{13}$ ~ $nC_{38}$ ,均表现出双峰态但以后峰为主的色谱外貌,主峰碳数较高,分别为 $nC_{27}$ 、 $nC_{28}$ 或 $nC_{29}$ ,次主峰碳为 $nC_{17}$ 或 $nC_{18}$ ,高碳数烷烃类组分含量占绝对优势(图1),低碳数峰群虽也略呈现前峰态,但峰形较弱,优势不明显,表明其母源输入中以水生藻类生物和高等植物蜡的双重贡献为主,但以后者为大。CPI介于1.04~1.05, OEP介于1.04~1.07,显示出微弱的奇偶优势,表明处于成熟或临界成熟状态。 $C_{21}+C_{22}/C_{28}+C_{29}$ 比值介于0.12~0.71,也说明在其母源中富含陆源有机质。异戊间二烯烷烃含量较低,仅以植烷系列为主,异构烷烃与相邻正构烷的比值较小,永安样品中Pr/Ph介于0.72~1.06, Pr/ $nC_{17}$ 介于0.13~0.20, Ph/ $nC_{18}$ 介于0.16~0.22,表明有机质成烃时沉积环境水体介质以还原性为主。在Pr/Ph、Pr/ $nC_{17}$ 、Ph/ $nC_{18}$ 相对组成三角图中(图1),永安样品分布较为集中,显示Pr/Ph端元优势,按照王铁冠等<sup>[2]</sup>对不同环境下样品在Pr/Ph、Pr/ $nC_{17}$ 、Ph/ $nC_{18}$ 三角图中的分类标准,永安样品Pr/Ph介于71.55%~73.91%, Ph/ $nC_{18}$ 介于13.21%~15.55%,处于淡水—半咸水环境。

#### 1.3.2 藿烷系列化合物

在永安包裹体中检测到了 $C_{27}$ — $C_{35}$ 藿烷系列化合物,具有 $C_{31}$ 化合物含量逐渐降低, $C_{30}$ 重排藿烷含量相对较低,伽马蜡烷含量相对丰富, $C_{30}$ 藿烷呈现绝对优势的特点(图2)。从反映母源和沉积环境的参数来看(表2),伽马蜡烷指数较低,介于0.24~0.29,但伽马蜡烷含量与相邻 $C_{31}$ 藿烷接近,较为丰富,表明其生源中水生生源要低于高等植物生源输入,沉积环境具有一定盐度。 $(H+M)C_{29}/C_{30}$ 介于0.33~0.43, $C_{30}17(\alpha)$ -重排藿烷/ $18(\alpha)$ -30-降新藿烷( $C_{29}Ts$ )比值在0.46~0.50之间,反映出一种缺氧的沉积环境介质。反映成熟度的藿烷不同构型转化系数 $C_{31}HS/S+R$ ,在永安样品中介于0.58~0.62,已达到热平衡状态,表明其处于成熟阶段。上述分析表明,永安油气

表1 永7-2井油气包裹体均一温度测温结果

Table 1 Homogenization temperatures of hydrocarbon inclusions obtained from well Y7-2

井号	深度/m	包裹体分布	均一温度范围/℃	均一温度测点/℃
Y1	3015.2	油气包裹体较多	85~94.6	85, 86, 88, 94.6
Y2	3017.0	油气包裹体较多	81.2~93.5	81.2, 84.6, 88.7, 92.4, 93.5
Y3	3019.4	油气包裹体较多	72.4~108	72.4, 74.6, 84.2, 87.5, 99.5, 108
Y4	3035.8	油气包裹体多	89.6~113	92, 96, 102, 89.6, 98.6, 105, 102, 113

主要源于陆相有机质(高等植物蜡),原始沉积成烃时环境介质以缺氧还原性为主,并在注入储层时已经处于成熟状态。

### 1.3.3 甾烷系列化合物

永安包裹体中均检测到有C<sub>21</sub>、C<sub>22</sub>孕甾烷系列及丰富的C<sub>27</sub>—C<sub>30</sub>甾烷系列,重排甾烷含量相对较低,规则甾烷占据优势。nC<sub>27</sub>、nC<sub>28</sub>、nC<sub>29</sub>规则甾烷内组成分布呈典型V形(图2),其中C<sub>29</sub>正规甾烷含量具有绝对优势,在C<sub>27</sub>—C<sub>28</sub>—C<sub>29</sub>甾烷内组成中,永安样品分布非常集中,C<sub>29</sub>甾烷含量普遍在40%以上,占有绝对主体地位,也说明其母源中高等植物贡献比较多。从沉积环境参数 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}/C_{29}$ 甾烷来看,其值介于0.41~0.48,支持了上述结论。成熟度参数C<sub>29</sub>甾烷(S/S+R)介于0.36~0.41,明显处于未达热平衡状态,C<sub>29</sub>甾烷( $\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ )介于0.44~0.49,也没有达到构型转化平衡态,显示出成熟早期特征(表2)。可见永安的油气在进入储层前成熟度相对较低,处于低成熟—成熟状态。

## 2 永安油气包裹体母源及注入史

### 2.1 烃类包裹体母源分析

王文军等(1994)通过地球化学对比认为,高邮凹陷深凹带油气的来源主要是阜宁组四段,北斜坡的油气主要来源于阜二段源岩。且阜二段与阜四段源岩异戊间二烯烷烃的组成具有不同特征,阜四段Pr/Ph介于0.5~1.0,Ph/nC<sub>18</sub>小于1.0,而阜二段Pr/Ph小于0.5,Ph/nC<sub>18</sub>大于1.0。对比表2,不难看出,永安烃类包裹体具有与阜四段源岩相似的类型异戊间二烯烷烃分布特征。研究实践证明,天然气中确实存在着极微量的重烃组分,包括烃源岩和原油中常见的一些特征生物标志物,它携带着大量原始烃类形

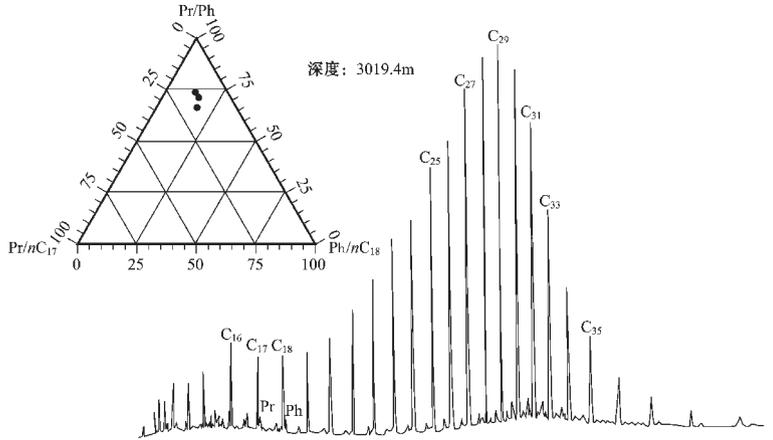


图1 永7-2井烃类包裹体饱和烃气相色谱  
Fig. 1 Gas chromatogram of saturated hydrocarbons in hydrocarbon inclusions from well Y7-2

成时的信息,可以很好地应用于气源岩追溯对比<sup>[31]</sup>,考虑到影响生物标志物因素的复杂性,用于气源或油源对比时应选择反映母源性质、沉积环境、热成熟度的综合参数<sup>[4]</sup>。我们对永安天然气样品选择4个反映成熟度的参数:T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub>、C<sub>31</sub>藿S/S+R、C<sub>29</sub>甾S/S+R、C<sub>29</sub>甾 $\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta$ ,1个反映母源类型的参数:G/C<sub>30</sub>H,2个反映沉积环境的参数:C<sub>29</sub>T<sub>s</sub>/C<sub>29</sub>H、C<sub>30</sub>D/C<sub>29</sub>T<sub>s</sub>来对比永安烃类流体包裹体与阜四段源岩的生物标志物(图3)。由这些多因素生标参数组合对比曲线可以看出,这些能够反映源母质类型、沉积成烃环境及成熟度等生标参数组合分布曲线吻合良好,7个参数值差别甚小,反映永安油气包裹体与下伏阜四段源岩具有成因上的亲缘关系,源于同一有机相。

### 2.2 油气注入时间及期次

我们利用BASIMS系统恢复了永7-2井的热埋藏史,主要是采用地球热力学与地球化学相结合,根据现今地温梯度、R<sub>o</sub>随深度变化关系来模拟的。永安地区自第三纪以来基本上处于稳定下降状态,始新世末三垛运动使其强烈抬升遭受剥蚀,然后继续

表2 永7-2井包裹体生物标志物参数  
Table 2 Biomarker parameters of hydrocarbon inclusions in well Y7-2

样品	T <sub>s</sub> /T <sub>m</sub>	C <sub>29</sub> T <sub>s</sub> /C <sub>29</sub> H	C <sub>30</sub> D/C <sub>29</sub> T <sub>s</sub>	G/C <sub>30</sub> H	藿烷 (H+M)		甾烷	甾烷 C <sub>29</sub> $\beta\beta$ / (C <sub>29</sub> $\beta\beta$ + $\alpha\alpha$ )	$\alpha\alpha\alpha$ 20RC <sub>28</sub> /C <sub>29</sub>	Pr/Ph	Ph/nC <sub>18</sub>
					C <sub>31</sub> S/(S+R)	C <sub>29</sub> /C <sub>30</sub>					
Y1	0.96	0.39	0.46	0.29	0.58	0.36	0.36	0.45	0.47	0.83	0.18
Y2	0.90	0.40	0.50	0.26	0.62	0.33	0.39	0.44	0.45	0.72	0.16
Y3	0.74	0.37	0.49	0.26	0.59	0.43	0.41	0.46	0.48	1.02	0.18
Y4	0.65	0.37	0.50	0.28	0.62	0.44	0.41	0.49	0.41	0.84	0.22

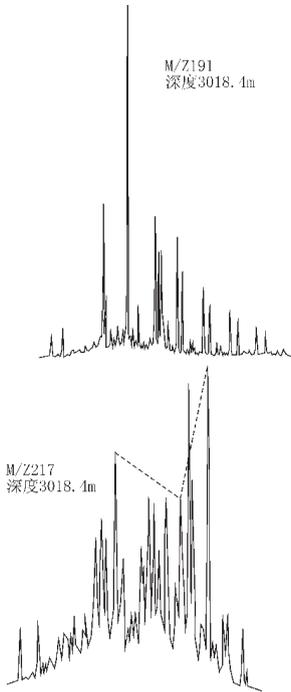


图2 永7-2井包裹体烃类质量色谱图

Fig. 2 Mass chromatograms of hydrocarbon inclusions obtained from well Y7-2

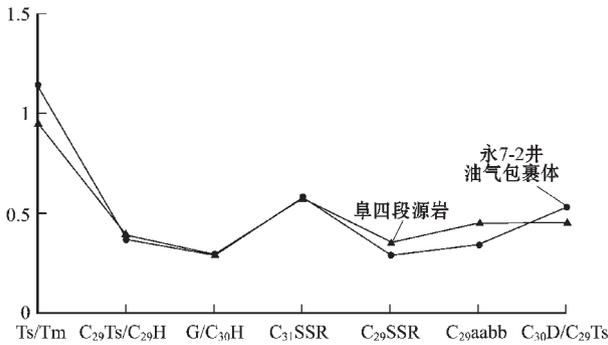


图3 永7-2井油气包裹体与阜四段源岩生物标志物参数对比

Fig. 3 Correlation of biomarker parameters of hydrocarbon inclusions in well Y7-2 with those of the source rocks—mudstone of the fourth member of the Funing Formation

下降。根据包裹体测温结果,永7-2井E<sub>1</sub>d<sub>1</sub>储层中油气注入温度为72.4~113℃,对应于永7-2井时温埋藏史图中可以看出,该层位地温为72.4~113℃深度的相应地质时间约为45Ma至现今(图4),即古近纪晚期以来持续充注。该井4个不同深度段样品均一温度可明显分为3段,72.4~87.5℃、81.2~94.6℃、89.6~113℃,说明距今45Ma以来,永7-2井E<sub>1</sub>d<sub>1</sub>储层中发生

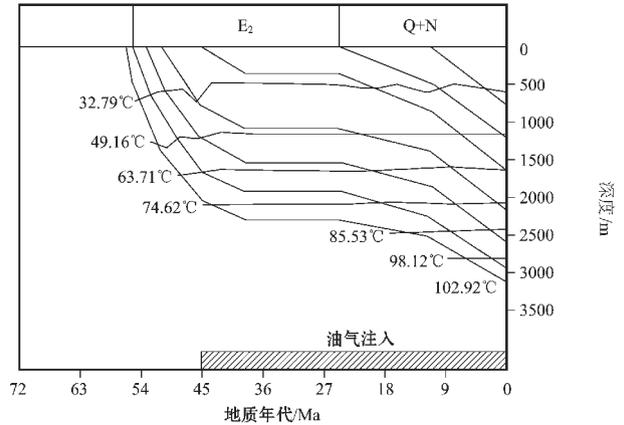


图4 永7-2井时温埋藏史图

Fig. 4 Time-thermal burial history of well Y7-2

过3期重要的大规模的油气注入过程,但注入过程持续未间断,整体注入时间从距今45Ma(晚始新世中期)起持续至今,延续时间特别长。

### 3 永安天然气成藏条件分析

#### 3.1 永安天然气源岩

永安天然气储层样品中丰富的油+气相包裹体的存在表明天然气是伴生的,是油型气。油气包裹体烃类组成特征分析结果显示,母质输入中有高等植物蜡生源的贡献,在注入戴一段储层时普遍处于临界成熟—成熟状态,部分处于低成熟,少部分进入高成熟状态。结合永7-2井热埋藏史曲线,在距今45Ma时,戴一段下部阜四段地层R<sub>o</sub>大于0.65%,与戴一段储层包裹体中油气成熟度一致或相近,比较源岩与包裹体烃类中异戊间二烯烷烃特征可知,永安天然气与阜四段源岩有较好的相关性,而多因素生标参数组合对比更反映出永安天然气,特别是永7断块天然气主要源于下部阜四段源岩。阜宁组下部其他地层在距今45Ma时早已进入高成熟或过成熟演化阶段,故不可能形成戴一段储层包裹体中低成熟—成熟的油气。在永7-2井4个不同深度段的包裹体样品中iC<sub>4</sub>/nC<sub>4</sub>介于0.78~1.06, iC<sub>5</sub>/nC<sub>5</sub>介于1.08~1.24,伽马蜡烷/C<sub>30</sub>藿烷介于0.26~0.29, C<sub>29</sub>甾烷(ββ/ββ+αα)介于0.44~0.49,这些能受运移效应影响的参数不仅没有显示出随深度的变化规律,而且比值的幅度很小,这一点也表明永安天然气不是长距离运移而来的。中国科学院广州地球化学研究所提出了一种更有效运移参数ΔR<sub>3</sub>, ΔR<sub>3</sub>受母质影响大为减

小,随着运移距离增加  $R_3$  不断增加  $R_4$  不断减小,  $\Delta R_3$  增大的幅度加大(一般相差1.0左右),更能反映运移的变化。但从永7-2井不同深度样品的  $\Delta R_3$  值来看,运移参数  $\Delta R_3$  介于1.31~1.75,变化幅度甚小,同样反映出垂向运移距离较短。

### 3.2 永安天然气储集条件

永安含气储层主要是戴南组一段底部中细砂岩,具有单层厚度较大、胶结疏松、物性较好的特点,单层厚度可达14 m,孔隙度大于25%,渗透率达  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,储集性能较好。戴一段储层与阜四段源岩分布广泛,而且紧密相邻,油气充注程度较高。

在  $E_d$ 、 $E_s$  期(东吴运动前后),形成的汉留断层是永安地区最大的一条断层,它不仅控制着永安地区的沉积,而且影响着该区的构造发展变化。在其下降盘  $E_d$ 、 $E_s$  地层形成的永①、永②、永③、永④断层与汉留断层共生且呈雁列式排列。而在其上盘永⑤或一些小断层基本与之平行呈连续或断续出现。同时汉留断层下降盘地层由南向北抬升,在近东西向上,即永2、永4一带地层隆起较高,向东、向西倾伏,形成宽缓的鼻状构造;汉留断层上升盘在近东西向上也有宽缓隆起的现象,但由于地层被一些近于平行汉留断层的小断层切割,从而形成一些断鼻或断块构造。从包裹体分析永安油气注入史可知,油气注入从距今45Ma开始几乎持续至今,而这些鼻状构造或断鼻、断块构造圈闭的形成略早于或同步于油气的注入,是有效圈闭,有利于油气聚集。

### 3.3 永安天然气生成、运移与聚集

通过剖析永安储层流体包裹体、进行天然气源岩对比判别,认为永安(戴一段)天然气主要源于高等植物蜡质贡献,气源岩以下伏阜四段源岩为主。包裹体定量研究表明,主要的油气注入时间发生在距今45Ma起几乎持续至今,显示出油气注入期长、成藏较晚的特征。阜四段源岩在45Ma时  $R_o$  大于0.65%,按照王铁冠等<sup>[2]</sup>的研究结果,高等植物蜡质在  $R_o$  达0.3%时进入门限,开始生烃,当  $R_o$  达0.3%~0.6%时开始大量生成油气,表明阜四段早已开始生烃并于45 Ma左右进入生烃高峰期,油气大量生成。后期辉绿岩的侵入使源岩进一步受到热作用影响,有利于后期成熟演化生烃。阜四段生成的油气先在源岩内部聚集,随着生成气量的增加,在压实

作用和膨胀作用产生的压差驱动下,排出源岩,并在与之相邻的戴一段储层接触面上形成聚集,通过断层和不整合面作垂向运移至戴一段底部中细砂岩储层,也可能会通过断层向浅层运移,运移过程中遇到断块、断鼻构造便聚集成藏,具有典型的下生上储模式。

### 3.4 永安天然气藏的改造及保存

高邮凹陷虽然在  $N_{y1}$  未发生盐城事件,断裂活动必然使下部的油气向上运移,同时对已形成的油气藏进行破坏或调整。但在永安地区断裂活动影响较小,作为主控断层的汉留断裂活动发生在戴南和三垛期,对于永安天然气的晚期成藏几乎没有破坏。在  $E_{2s2}$  沉积后发生过辉绿岩侵入,该后期辉绿岩的侵入对浅层的气藏、处于鼻状构造高部位的气藏产生破坏,使其未能保存下来,而在远离辉绿岩且构造背景较低部位的油气藏得以保存。处在沉凹带的气藏,由于戴一段上部有厚达20 m的泥质岩,在断层对盘为阜四段泥质岩,形成良好的封盖条件,而且后期辉绿岩的侵入对其影响较小反而成为其有效的盖层而得以保存。

地下水活动对气藏的保存具有重要意义,不同的水文地质开启程度对油气藏的保存产生不同的影响<sup>[5]</sup>。高邮凹陷  $E_{1f4}$ — $E_{2d}$  (!) 油气系统中,  $E_{2d_1}$  储层水型、总矿化度分布具有西好东差的特点,永安地区以  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{CaCl}_2$  两种水型为主,属于水动力交替停滞带或交替缓慢带,地下水与地表水联系较差,含水层没有泄水区或泄水不畅,水文地质开启程度低,有利于天然气藏的保存。

## 4 结 论

(1) 永安天然气储层样品中有丰富的油气包裹体,其均一温度介于72.4~113℃,结合成岩作用演化序列,可以划分出3个变化段来,分布于石英自生加大边或自生钠长石中的均一温度最低,介于72.4~87.5℃;分布于自生石英微晶内的均一温度最高,介于89.6~113℃;而分布于石英强加大边的均一温度介于前二者之间,为81.2~94.6℃。反映至少存在3期烃类流体包裹体的形成过程,也即至少有3期主要的油气注入过程。

(2) 利用先进的流体包裹体测试技术,剖析了包裹体烃类油气地球化学特征,表明母源输入中高等植物输入要略高于水生生源,沉积水体环境介质以

缺氧还原性占优势,油气注入储层前处于成熟演化状态,多因素生标参数组合气源对比反映永安天然气与阜四段源岩具很好的相关性。

(3)天然气成藏条件分析表明,永安气藏气源岩成熟生烃时间较早;源岩与储集大范围相邻接触;油气注入从距今45Ma开始几乎持续至今,充注时间长,充注程度高;汉留断层活动形成的一些鼻状构造或断鼻、断块构造圈闭,略早于或同步于油气的注入,利于油气聚集;处在深凹带的气藏,上部有20m厚的泥质岩,在断层对盘为阜四段泥岩,而且后期辉绿岩的侵入不仅有利地促进了烃类的进一步生成,而且成为其有效的盖层;水动力环境以水体交替缓慢带和停滞带为主,水文地质开启程度低,

具有良好的保存条件。油气成藏为典型的下生上储模式。

#### 参考文献:

- [1] 张厚福,方朝亮,高先志,等.石油地质学[M]北京:石油工业出版社,1999.
- [2] 王铁冠,钟宁宁,侯读杰,等.低熟油气的形成机理与分布[M]北京:石油工业出版社,1995.
- [3] 李振西,程克明,崔明中,等.生物标志化合物在碳酸盐岩气—源对比中的应用[A]见:宋岩等著.天然气地质研究及应用[C]北京:石油工业出版社,2000.
- [4] 张枝焕,关强.新疆三塘湖盆地二叠系油源分析[J]石油实验地质,1998,20(2):174~181.
- [5] 刘方槐,颜婉荪.油气田水文地质学原理[M]北京:石油工业出版社,1991.

## Characteristics of hydrocarbon inclusions and formation conditions of the Yong'an gas accumulation in the Gaoyou Sag, Jiangsu

CHANG Xiangchun<sup>1,2</sup>, GUO Haihua<sup>2</sup>, ZHANG Jinliang<sup>3</sup>, MAO Fengming<sup>4</sup>

(1. Shandong Research Center of Engineering & Technology of Petroleum Exploration and Development, Qingdao 266510, Shandong, China 2. Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019, Shandong; 3. Ocean University of China Qingdao 266003, Shandong 4. Jiangsu Branch, SINOPEC Yangzhou 225009, Jiangsu)

**Abstract:** The characteristics of hydrocarbon inclusions in the Yong'an gas accumulation were analyzed using the advanced fluid inclusion analysis technique. The geochemistry of hydrocarbon inclusions indicates that source inputs mainly came from the contribution of wax in higher plants, that the sedimentary water medium was dominated by anoxic-reducing water, and that hydrocarbons were in a mature state before their input into the reservoir. Gas/source correlation of the assemblage of multi-factor biomarker parameters shows that there is a good correlation between the natural gas of the Yong'an gas accumulation and its source rock—the fourth member of the Funing Formation. The source rocks of the Yong'an gas accumulation is characterized by early hydrocarbon generation and good contact with the reservoir. The hydrocarbon input lasted long: it began at 45 Ma BP and has almost continued up to present. Traps of nose structure, fault-nose structure or block structure formed slightly earlier than or synchronously with the hydrocarbon input, which is favorable to hydrocarbon accumulation. The gas accumulation situated in a subsidence belt has 20 m thick mudstone on its top and the hanging wall of the fault is mudstone of the fourth member of the Funing Formation, and in addition, diabase intruded in the late stage also acted as its effective cap rocks. The hydrodynamic conditions are characterized by slow and stagnant water exchange zones; so the gas accumulation has good sealing conditions. The hydrocarbon accumulation shows a typical model of source in the lower and reservoir in the upper.

**Key words:** Jiangsu; Gaoyou Sag; gas accumulation; hydrocarbon inclusion; assemblage of multi-factors biomarker parameters; hydrocarbon charging; accumulation-forming conditions