

# 珠三坳陷成岩作用与油气聚集

江文荣 周雯雯

(海洋石油勘探开发研究中心 河北高碑店 074010)

**摘要** 采用岩石学、矿物学、X射线衍射分析技术、有机包裹体以及地球化学等方法对珠三坳陷成岩作用与油气聚集规律进行研究,认为珠三坳陷的成岩作用阶段处于早成岩期和晚成岩期 A、B 亚期,坳陷内两个主力成油(气)凹陷具有不同的成岩史,其次生孔隙发育带的形成机理也不同,油气的分布与伊蒙泥层粘土矿物转化带关系密切。珠海组砂岩石英次生加大边的形成对坳陷内油气聚集起控制作用。

**关键词** 珠三坳陷 成岩作用 油气聚集 粘土矿物 有机包裹体

**第一作者简介** 江文荣 男 35岁 高级地质师 从事海洋石油地质研究

## 1 区域地质背景

珠三坳陷位于珠江口盆地西部,面积 1.1 万平方公里,为第三系发育的裂谷型盆地。古新世至中渐新世为裂谷充填阶段,发育了一套粗—细—粗的陆相沉积,包括神狐组、文昌组及恩平组;晚渐新世至第四纪为裂后阶段,发育了一套由海湾相—半封闭浅海相—开阔浅海相组成的海相沉积,包括珠海组、珠江组及其以上地层<sup>①</sup>。

文昌 A、B 两个次级构造单元是珠三坳陷内重要的成油(气)凹陷,十多年的勘探结果证实,油气主要来自恩平组、文昌组两套烃源岩,珠海组是该区重要的油气储集层。

## 2 珠海组砂岩的沉积环境和岩性特征

晚渐新世珠海组沉积期间正好是湖泊向开阔海演化的过渡期间,主要为海湾相沉积,并以发育的潮汐砂体为特征,处于热带—亚热带海洋性气候。<sup>②</sup>

珠海组砂岩的岩石类型以长石石英砂岩为主,部分为岩屑长石砂岩、长石砂岩、石英砂岩、杂砂岩及泥质砂岩。主要的自生矿物有海绿石、黄铁矿、高岭石,珠海组下部见较多的自生矿物绿泥石和伊利石。砂岩粒度由细—粗粒,局部含砾石,分选中—好,次圆—次棱角状。钾长石主要为正长石,岩屑为变质岩和酸性喷发岩。该组砂岩分布广泛,厚度稳定,为区域性的主要储集层,对其成岩作用和油气聚集规律的研究无疑对珠三坳陷油气的勘探和开发起

着重要的作用。

## 3 文昌 A、B 两个成油(气)凹陷的成岩作用与油气聚集的关系

### 3.1 两个凹陷的成岩事件和成岩序列对比

成岩事件是指在成岩过程中发生的具有独立特点的作用。这些事件的发生有早有晚,可按成岩历史排列起来构成成岩序列<sup>[1]</sup>。

根据岩石学及成岩演化特征的研究结果,文昌 A、B 两凹陷所经历的主要成岩事件有:压实作用、胶结作用、粘土矿物的转化作用、交代作用、溶蚀作用和压溶作用。

文昌 A 凹陷早期较明显的成岩事件是压实作用,后期为压溶作用,胶结作用贯穿始终。其胶结顺序为:泥质胶结→石英次生加大→粘土质胶结与局部碳酸盐泥晶、方解石自形晶胶结→铁方解石、菱铁矿、石英次生加大胶结→铁方解石、白云石、菱铁矿、石英胶结→铁方解石、铁白云石、石英胶结。粘土矿物的转化作用、溶蚀作用、交代作用穿插其中,而前二者又与油气的聚集有着密切的关系。

文昌 B 凹陷早期较明显的成岩事件除了压实作用外,尚有由大气淡水淋滤作用产生的溶蚀作用,后期为硅质胶结强烈的胶结作用。整个成岩作用期间胶结顺序为:泥质或碳酸盐泥晶胶结→石英次生加大→氧化铁、高岭石胶结→碳酸盐、石英次生加大→铁质、泥质、高岭石、石英胶结→残余铁质、泥质以

① 朱伟林. 珠三坳陷勘探和研究工作建议. 1995. 1

② 朱伟林. 珠三坳陷成藏模式与勘探目标的综合分析. 1994. 1

收稿日期: 1997-09-025 收修改稿日期: 1998-03-23

及自生硅质胶结→硅质胶结。

### 3.2 两个凹陷具有不同的成岩史

运用岩石学、X射线衍射分析、地球化学、流体包裹体等多种方法研究珠三坳陷砂岩储集层的矿物学特点和地球化学等特征,进而了解该区的成岩作用,提高预测多孔隙砂岩分布状况的能力。成岩作用阶段的划分可以掌握在埋藏成岩过程中,处于不同成岩阶段储层的成岩强度、物性成熟度、孔隙流体的介质变化等特征。成岩作用阶段划分的依据采用1989年12月中国石油天然气总公司全国油气储层协调小组在南充召开的“成岩作用研讨会”上所通过的含油气区碎屑岩成岩阶段划分标准及主要标志<sup>[2]</sup>。

文昌A凹陷成岩作用经历了早成岩期 and 晚成岩期A亚期(图1),在WC9-2-1井为早成岩期和晚成岩期A、B亚期。早成岩期和晚成岩期A亚期早期发生在珠江组时期,伊蒙混层粘土矿物转化带处

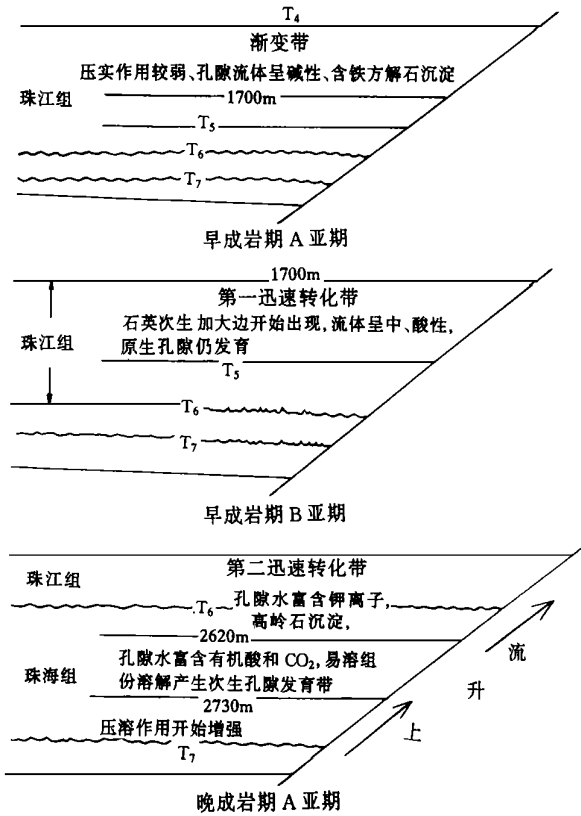


图1 文昌A凹陷WC8-3-1井砂岩成岩历史的解释  
Fig. 1 Interpretation of diagenetic history of sandstone in the well WC8-3-1 of the Wenchang A Sag

于渐变带与第一、二迅速转化带,孔隙流体由碱性逐

渐转为中、酸性;晚成岩期A亚期晚期和B亚期发生在珠海组时期,伊蒙混层转化带为第二迅速转化带和第三转化带,孔隙水富含有机酸和CO<sub>2</sub>,易溶组份溶解产生次生孔隙发育带。

文昌B凹陷同样经历了早成岩期和晚成岩期A亚期(图2)。但早成岩期A亚期和B亚期早期发生在珠海组时期,伊蒙混层粘土矿物转化带处于蒙皂石带和渐变带,见早期碳酸盐沉淀,并受到大气淡水淋滤作用,孔隙流体呈碱、中性;早成岩期B亚期晚期发生在珠海组时期,伊蒙混层转化带为渐变带,虽受到大气淡水淋滤作用的影响,但孔隙流体呈酸性,发育次生孔隙;晚成岩期A亚期发生在恩平组时期,处于第一、二迅速转化带,因高岭石沉淀,孔隙流体为氧化硅-水体系,造成硅质胶结强烈,致使孔隙被堵塞。

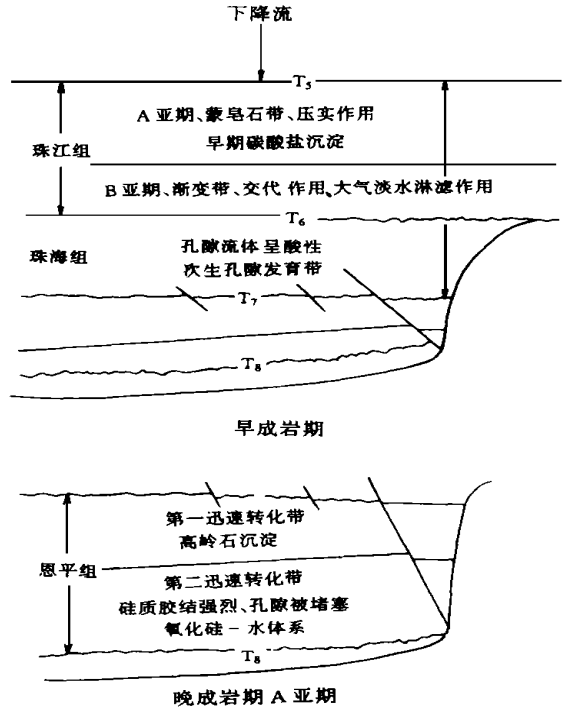


图2 文昌B凹陷WC19-1构造砂岩成岩历史的解释  
Fig. 2 Interpretation of diagenetic history of sandstone in the WC19-1 structure of the Wenchang B Sag

上述分析表明两个凹陷的成岩强度虽然相似,但成岩时期却不相同,并且各成岩时期的成岩演化过程也不相同,具有不同的成岩演化史。

### 3.3 两个凹陷的次生孔隙发育带均出现在珠海组,但形成机理不同

如前所述,文昌A凹陷珠海组孔隙水中富含有机

机酸和 CO<sub>2</sub>, 这可由珠海组砂岩中长石普遍遭受溶蚀, 基本未见长石次生加大, 有机包裹体激光拉曼成分测试中(表 1)除含烃类组分外, 尚见大量 CO<sub>2</sub> 所证实。因为长石次生加大要在较高的成岩温度和弱

碱性溶液中发生<sup>[3]</sup>, 说明流体介质呈酸性。地层水中有机酸主要来自干酪根和原油的热解。由于干酪根是沉积有机质的主体, 因此由干酪根生成的低分子量水溶性有机酸可占地层水中总量的 70%以上,

表 1 有机包裹体激光拉曼探针成分测试结果

Table 1 Composition of organic inclusion by Laser Raman Microprobe

井号	液相(mol%)										
	测点	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
WC8-3-1	1	39.0	30.1	9.2		5.0				6.4	3.5
	2	43.8	25.1		5.4		4.0				5.7
	3	34.2	14.5	4.1		4.6	5.3	16.4	9.8		5.0
WC9-2-1	4	18.6	24.0	6.3	7.2	11.5	4.1	9.4			
	5	21.7	53.7		8.6		4.6		11.4		
	6	15.6	71.2						6.2		
WC9-2-2	7	46.0	21.4	10.2		9.1			9.2	4.1	
	8	38.0	19.4		15.4		6.5		11.5		
	9	56.0	35.4	5.9			2.7				
	10	32.0	30.1		11.5				10.1		
	11	25.7	40.4	11.7			6.8				
	12	34.5	43.9						12.0	4.4	
	13	21.0	56.2					13.0			
WC10-1-1	14	23.9	43.7		12.0		6.3				
WC10-1-1	15	47.2	25.0	6.1		5.5				6.3	3.5

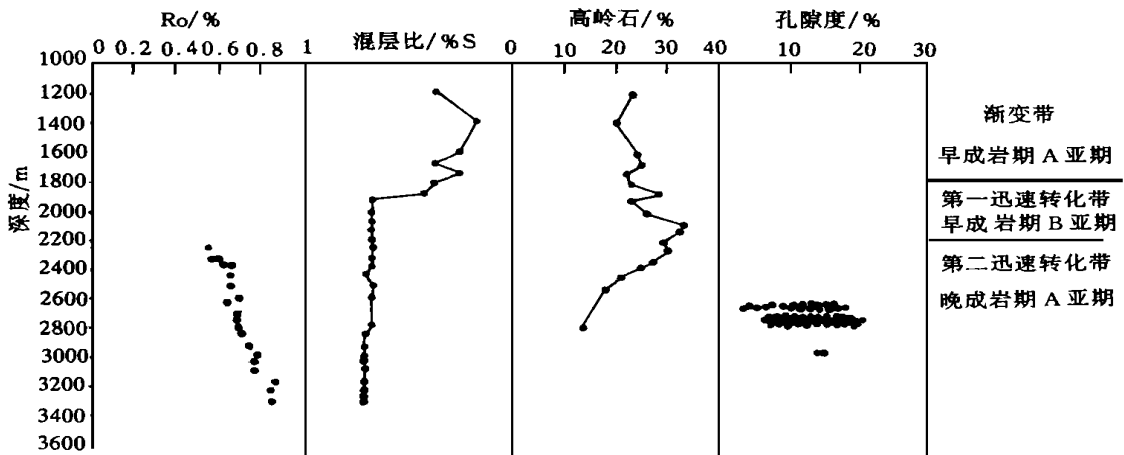


图 3 WC8-3-1 井成熟度、粘土矿物和孔隙度关系图

Fig. 3 Relationship of maturity, clay mineral and porosity in the well WC8-3-1

而原油热解产生的有机酸一般仅在 10% ~ 30% 之间, 有关干酪根结构和组成的资料表明, 干酪根在成岩期间可生产大量的水溶性有机酸和酚类<sup>[2]</sup>。根

据珠三坳陷烃源岩有机地化相的研究, 文昌 A 凹陷恩平组湖沼、河沼相陆源母质的干酪根类型属 II 型, 而 II 型干酪根往往在成熟过程中可以生成更多的酚

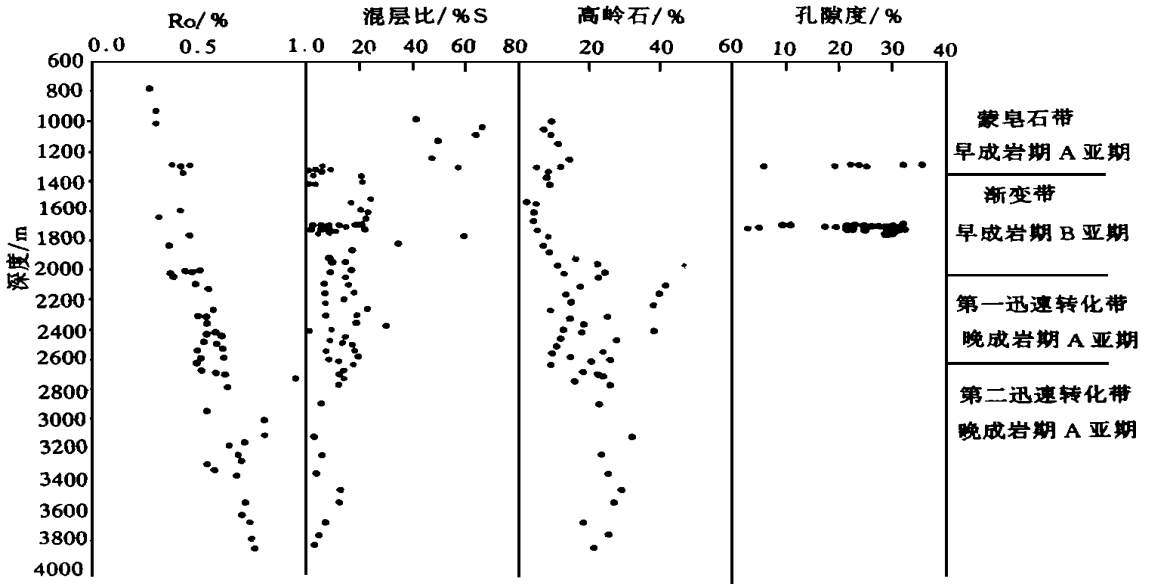


图 4 WC19-1 构造成熟度、粘土矿物和孔隙度关系图

Fig. 4 Relationship of maturity, clay mineral and porosity in the WC19-1 structure

类化合物<sup>①</sup>。据前人研究, 极少量的邻苯二酚就足以产生大量的次生孔隙。因此, 作者推断, 文昌 A 凹陷次生孔隙的形成是由于干酪根热演化过程中产生的有机酸和 CO<sub>2</sub> 使孔隙流体呈酸性, 从而对易溶组分造成溶蚀所产生的。

一般来讲, 高岭石的出现是酸性成岩环境的标志, 为促成溶解, 在成岩环境中必须有酸性介质的不断补充。因此, 高岭石含量偏高带对应着溶蚀带, 也即次生孔隙发育带。但在文昌 A 凹陷的 WC8-3-1 井却并不如此, 高岭石含量偏高带位于次生孔隙发育带的上方(图 3)。分析认为这是因为该区流体上升造成的, 断层为上升流的运移通道。由于上升流的作用, 在 WC8-3-1 井 2 620 m 以下地层中伴随溶蚀而产生的高岭石被带到 2 620 m 以上的浅部, 从而导致 WC8-3-1 井高岭石含量偏高带与溶蚀带存在一定深度偏差, 但其物化条件相近, 所以, 这个部位也是寻找成岩圈闭的有利场所。

文昌 B 凹陷次生孔隙发育带的形成, 除由于干酪根热解生成有机酸和 CO<sub>2</sub> 使孔隙流体变为酸性外, 一大部分原因是由于大气淡水淋滤作用产生高溶孔发育带而形成。

文昌 B 凹陷高岭石含量偏高带与溶蚀带不匹配, 出现在次生孔隙发育带的下方(图 4), 这是该区流体向下运移的缘故。大气水通过渗透性单元向下

表 2 伊蒙混层转化带分布表

Table 2 Distribution of illite/smectite mixed layer clay mineral conversion zone

转化带顶界 / m	文昌 A 凹陷				文昌 B 凹陷	
	WC8 -3-1	WC9 -2-1	WC10 -1-1	YJ36 -1-1	WC19 -1-1	WC19 -1-2
蒙皂石带						
渐变带			2 200 珠江组	1 500 珠江组	1 300 珠江组	1 300 珠江组
第一迅速转化带	1 700 珠江组	2 100 珠江组	2 600 珠江组	2 000 珠江组	2 100 珠海组	1 800 恩平组
第二迅速转化带	2 100 珠江组	2 900 珠江组	3 000 珠江组	2 500 珠海组	2 700 恩平组	2 400 恩平组
第三转化带		4 000 珠海组	4 200 珠海组			

运移, 这种下降流常在较浅的部位形成淋滤次生孔隙发育带, 而伴随产生的高岭石被流体带到稍深的部位沉淀下来, 从而造成高岭石含量偏高带位于溶蚀带下部的现象。渗滤的地下水还能溶解 SiO<sub>2</sub>, 导

① 黄正吉、胡桂馨、赵玉玲等, 珠三坳陷烃源岩有机地化相研究, 1994. 11

致溶液过饱和使  $\text{SiO}_2$  再次沉淀, 如图 2 所示, 在第二迅速转化带硅质胶结相当强烈就是这种原因造成的。这些部位也是寻找成岩圈闭的重点区域。

### 3.4 伊蒙混层粘土矿物转化带的分布与油气的关系

依据粘土矿物混层比的变化及自生矿物、岩石物性、有机质成熟度和成岩阶段的关系对文昌 A、B 两凹陷粘土矿物转化带进行了划分(图 3、4), 并研究其分布特点(表 2)。文昌 A、B 凹陷各转化带均具有跨层位、在埋藏深处及浅处均有分布的特征, 说明转化带不受地层年代新老及埋藏深浅的控制。

表 3 油气与伊蒙混层转化带的关系

Table 3 Relationship between hydrocarbon and

illite/smectite mixed layer clay mineral conversion zone

地区	井号	第一迅速转化带 顶界/m	第二迅速转化带 顶界/m	油气显示井段 /m	油气显示与转化带关系
文昌 A 凹陷	WC8-3-1	1 700	2 100	1 747~1 757 2 614~2 635 2 690~2 742	第一和第二两个转化带之间以及第二转化带之下
	WC9-2-1	2 100	2 900	3 568~3 600 3 834~3 850	第二和第三转化带之间
文昌 B 凹陷	WC19-1-1	2 100	2 700	1 210~2 032	在第一迅速转化带之上
	WC19-1-2	1 800	2 400	1 320~3 160	在第一转化带之上, 第一、二转化带之间及第三转化带之下。

根据珠三坳陷地温梯度  $3.69\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$  推算出文昌 A 凹陷伊蒙混层各转化带的温度: 渐变带顶界温度  $70\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ ; 第一迅速转化带顶界温度  $80\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ ; 第二迅速转化带顶界温度  $100\sim 130\text{ }^\circ\text{C}$ ; 第三转化带顶界温度  $160\sim 170\text{ }^\circ\text{C}$ 。文昌 B 凹陷各转化带温度: 渐变带顶界温度  $60\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ ; 第一迅速转化带顶界温度  $75\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ ; 第二迅速转化带顶界温度  $110\sim 120\text{ }^\circ\text{C}$ 。温度是伊蒙混层转化带分布的受控因素之一, 只有当这些泥岩达到一定温度时, 蒙皂石才开始转变并脱水, 第一和第二迅速转化带的顶界分别代表了两次层间水的脱出<sup>[4]</sup>。另一受控因素是富钾的水介质环境, 钾的富集程度对蒙皂石的

转化有明显的影

响。从油气与转化带分布的关系(表 3)来看, 油气的分布均靠近各转化带, 尤其集中在第一和第二迅速转化带。蒙皂石经混层向伊利石转化过程中的两个迅速转化带, 正是代表了两次主要脱水排烃过程<sup>[4]</sup>。因而随着烃类生成、排出, 油气也在转化带附近的圈闭中聚集, 次生孔隙在纵向上的分布亦与泥岩中混层粘土矿物的转化和脱水过程中层间水的脱出时期有关, 因文昌 A、B 两凹陷具有不同的成岩史, 次生孔隙发育带的形成机制也不相同, 其油气聚集分布也就不同。文昌 A 凹陷油气聚集集中分布在第一和第二迅速转化带, 而文昌 B 凹陷的油气多分布在第一迅速转化带以上, 这与该凹次生孔隙发育带位于第一迅速转化带之上有关(图 2)。

## 4 有机包裹体的研究结果

伴随石油的运移, 在运载层或储集层中若发生矿物的结晶和重结晶作用形成自生矿物, 运移流体(包括石油和水介质)将被捕获于自生矿物的晶体缺陷中。因此, 在含油岩系中, 一般说来, 成岩自生矿物中流体包裹体的有机组分代表矿物形成时石油的组分, 包裹体中盐水溶液的组分代表水介质的性质。各期成岩自生矿物中有机包裹体的类型、分布、含量和组分等特征不同, 反映出石油生成和运移的不同阶段。由流体包裹体所获得的物化信息反映各阶段石油运移的物理化学条件<sup>[5]</sup>。

珠三坳陷见有六种类型的流体包裹体: 含液态烃包裹体、纯液态烃包裹体、含烃三相不混溶包裹体、含气态烃包裹体、气态烃包裹体以及含多种子晶的三相包裹体(热液型包裹体)<sup>[6]</sup>。其中文昌 A 凹陷见有少量液态烃包裹体和一些含烃三相不混溶包裹体, 主要分布气态烃和含气态烃包裹体, 这些包裹体不发荧光, 说明油气演化已进入高成熟-过成熟的凝析油、甲烷气阶段; 文昌 B 凹陷则以纯液态烃和含烃三相不混溶包裹体为主, 这些包裹体大多发暗黄色荧光, 偶见亮黄色荧光, 表明油气演化进入成熟的原油阶段。

包裹体的均一温度代表包裹体被捕获时的温度, 也代表包裹体形成时所在储层的温度。因而有机包裹体的温度代表了烃类运移进入储层时的温度, 其温度的高峰值代表油气运移的高峰期<sup>[6]</sup>。有机包裹体的均一温度据与有机包裹体同期的盐水包裹体的均一温度测得。文昌 A 凹陷有机包裹体的

均一温度有两个峰值: 118 ~ 134 °C, 145 ~ 168 °C; 并测得两期石英次生加大边中的均一温度。第一期石英次生加大边较发育, 加大边宽或沿石英晶形生长, 说明当时原生孔隙发育, 具有充足的孔隙空间使石英次生加大边得以生长并堵塞部分孔隙, 加大边中盐水包裹体的均一温度为 133.2 ~ 142.3 °C; 第二期石英次生加大边不甚发育, 加大边窄, 多呈不规则形状, 表明此时孔隙空间较小, 石英次生加大边难以形成, 加大边形成时的均一温度为 199 ~ 201.9 °C。上述特征表明珠海组砂岩中至少经历了两期石英次生加大, 并且早期石英增生较强烈。从显微镜下的观察结果来看: 文昌 A 凹陷经历了两个油气运移阶段。第一次油气运移时的温度为 118 ~ 134 °C, 这期油气运移始于第一期石英次生加大边形成之前, 有机包裹体的个体均较小, 以淡红色液态烃为主, 数量不多; 第二次油气运移时的温度为 145 ~ 168 °C, 这期油气运移发生于第一期石英次生加大之后、第二期石英次生加大之前, 有机包裹体数量多, 个体较前期大得多, 且以气态烃包裹体为主, 大多数包裹体以裂隙型产出, 并多穿过第一期石英次生加大边。第二期石英次生加大边有呈镶嵌状堵塞孔隙的, 表明油气在进入储层后, 孔隙度降低, 油气被封堵在储层内。由此可见, 第二次油气运移是文昌 A 凹陷油气聚集的主期。

文昌 B 凹陷有机包裹体均一温度的测试结果证实该区只经历了一次油气运移, 运移时的温度为 120 ~ 140 °C。同样测得两期石英次生加大边中盐水包裹体的均一温度分别为: 92.1 ~ 109.3 °C 和 162.9 ~ 166.5 °C。这两期石英加大边除形成温度低于文昌 A 凹陷外, 其余特征与其相似。有机包裹体以液态烃包裹体为主, 多呈溶蚀状的裂隙型, 大多穿过第一期石英次生加大边, 形成于第二期石英次生加大之前。

上述研究结果表明, 这两期石英次生加大边对珠三拗陷烃类的运移和聚集起控制作用, 在石英胶结作用的早期阶段, 储层中基本上还没有油气(文昌 A 凹陷进入少量液态烃), 第一期石英次生加大边形

成之后, 油气开始大量进入储层, 但油气进入储层后也没有完全抑制硅质胶结物的继续沉淀, 而导致第二期石英次生加大边的形成。因此, 虽然第二期石英次生加大使孔隙度大大降低, 但并没有对油气聚集造成多大的影响, 相反封堵了储层, 阻止油气的继续逸散, 为成岩圈闭的形成创造了条件。

## 5 结论

对珠三拗陷的成岩作用与油气聚集的研究成果表明, 珠海组砂岩为区域性的重要储集层, 文昌 A、B 两凹是拗陷内主要的成油(气)凹陷, 且具有不同的成岩埋藏史, 经历了不同的成岩作用, 其二次生孔隙发育带的形成机制也不尽相同。各凹陷内伊蒙混层转化带与油气分布有着密切的关系: 文昌 A 凹陷油气分布集中在第一和第二迅速转化带, 文昌 B 凹陷则集中于第一迅速转化带之上, 这与两个凹陷二次生孔隙发育带在纵向上的分布差异有关。

由珠三拗陷有机包裹体的研究结果表明, 文昌 A 凹陷油气演化已进入高成熟—过成熟的凝析油、甲烷气阶段, 文昌 B 凹陷进入成熟的原油阶段。珠海组砂岩石英次生加大边的形成对珠三拗陷烃类的运移和聚集起控制作用, 油气的大量运移发生在第一期与第二期石英次生加大边形成之间。

## 参 考 文 献

- 1 刘孟慧, 赵澄林. 碎屑岩储层成岩演化模式. 山东: 石油大学出版社, 1996. 31
- 2 林王子, 张金亮, 陆相储层沉积学进展. 北京: 石油工业出版社, 1996. 5 ~ 104
- 3 Parker A, Sellwood B W. Eds. Sediment Diagenesis. D. Reidel Publishing Company, 1981. 141
- 4 林西生, 应凤祥, 郑乃莹等. X 射线衍射分析技术及其地质应用. 北京: 石油出版社, 1990. 123 ~ 128
- 5 麦碧娴, 汪本善, 张丽洁等. 泌阳凹陷下第三系流体包裹体特征及其应用—II. 泌阳凹陷石油运移初探. 地球化学, 1993, (4): 337 ~ 345
- 6 周雯雯, 郭乃燕. 珠江口盆地珠三拗陷有机包裹体初步研究. 中国海上油气, 1997, 11(4): 233 ~ 239

## Diagenesis and Hydrocarbon Accumulation in Zhu III Depression, Pearl River Mouth Basin

Jiang Wenrong Zhou Wenwen

(Offshore Oil Exploration & Development Research Center, Hebei Gaobeidian 074010)

### Abstract

The diagenesis and hydrocarbon accumulation was studied by ways of petrology, mineralogy, X-ray diffraction analysis, organic inclusion and geochemistry in Zhu III Depression, Pearl River Mouth Basin. It is suggested that the diagenetic stages are the early diagenesis and subphase A, B of late diagenesis. There are different diagenetic history and genetic mechanism of secondary pore development zone in two major source sags of the depression. The hydrocarbon distribution is correlated with the illite/smectite mixed layer clay mineral conversion zone. The hydrocarbon accumulation of Wenchang A Sag is in the first and second clay mineral conversion zone, and over the first clay mineral conversion zone in Wenchang B Sag. The organic inclusions were formed in the diagenetic process, which contained rich information such as the generation, evolution and migration of oil/gas as well as reservoir and so on. By studying the organic inclusions in Zhu III Depression, it was learned about the type, distribution, homogenization temperature, the number of times oil/gas migration and composition in the inclusions as well as the organic inclusion is correlated with the diagenesis. There are two migrations of oil and gas in Wenchang A Sag. The second time is the main period of oil and gas migration. There is only one peak of oil and gas migration in Wenchang B Sag. The secondary quartz in the sandstone from Zhuhai Formation controls the hydrocarbon accumulation.

**Key words** Zhu III Depression diagenesis hydrocarbon accumulation clay mineral organic inclusion