

羌塘盆地流体包裹体特征及其 在储层成岩研究中的应用

许建华¹, 候中昊¹, 王金友², 伍泰荣³, 周李军³, 王思文³

(1. 胜利油田地质科学研究所, 山东 东营 257015; 2. 石油大学
地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 3. 胜利油田临盘采油厂, 山东 临邑 251507)

摘要: 该文根据羌塘盆地流体包裹体观察测试资料, 对流体包裹体的主要类型和特征进行了综合论述。作者在成岩作用研究的基础上, 重点讨论了流体包裹体技术在储层成岩研究中的应用, 建立了羌塘盆地三叠系—侏罗系成岩演化序列, 分析了成岩作用与油气运移的关系, 对流体包裹体技术应用于储层研究进行了初步探讨。

关键词: 流体包裹体; 成岩作用; 羌塘盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

流体包裹体是矿物形成过程中被捕获的成矿介质, 被称为成矿流体的样品。它相当完整地记录了矿物形成的条件和历史, 是矿物最重要的标志特征之一^[1]。自 90 年代以来, 该方法在油气地质和沉积学中被广泛应用, 为油气生成、运移、聚集提供了许多有用的信息^[2-4]。本文从羌塘盆地流体包裹体的成分、特征入手, 重点讨论流体包裹体资料在成岩作用研究中的应用。

1 地质概况

羌塘盆地位于西藏自治区和青海省西南部, 南北宽 400km, 东西长 1 850km, 面积 $16 \times 10^4 \text{km}^2$ 。盆地内呈明显的三分格局, 即中央隆起带、北羌塘坳陷和南羌塘坳陷。地层由下向上依次发育前泥盆系、泥盆系、石炭系、二叠系(P)、三叠系(T)、侏罗系(J)、白垩系(K)和第三系。侏罗系分为上统、中统、下统。侏罗系中统自下而上分为雀莫错组(J_2q)、布曲组(J_2b)和夏里组(J_2x); 侏罗系上统分为索瓦组(J_3s)和雪山组(J_3x)。羌塘盆地从老地层到新地层基本上经历了由海相到陆相的演化过程。泥盆系—下侏罗统是一套滨海、浅海相沉积; 中、上侏罗统为河流相、海陆交互相和海相沉积; 白垩系、第三系为陆相沉积。自 1994 年以来, 中国石油天然气总公司

多次派野外地质考察队对羌塘盆地进行地质普查。研究初步表明, 对油气储集具有重要意义的地层主要为二叠系、三叠系和侏罗系。本次研究资料来源主要是野外地质剖面 and 室内化验分析数据。

2 流体包裹体的类型及特征

羌塘盆地储层经历的地质时期长, 构造运动多, 沉积环境复杂, 导致出现多种类型的包裹体。参考前人研究的经验^[5], 根据镜下包裹体的特征和室温下的相态, 本区包裹体可划分为盐水溶液包裹体和有机包裹体两大类。

2.1 盐水溶液包裹体

盐水溶液包裹体是由盐水溶液组成, 室温下见气-液两相或纯液相, 气液比[也叫充填度, 指在常温下包体内气相与液相的百分比, 即气体体积/(气体体积+液体体积)^[6]]小于 30%, 不存在独立的有机相, 在单偏光镜下是无色透明的, 或与主矿物色调一致, 在正交偏光镜下亦与主矿物光性变化一致。盐水溶液包裹体均为规则形状, 成群或孤立状分布, 大小在 0.002 0~ 0.030 0mm 之间。

2.2 有机包裹体

有机包裹体是由有机液体、气体及固体所组成的。少部分有机包裹体除烃类之外还含有一定量的

盐水溶液, 烃与盐水溶液不互溶而各自成为独立的相存在, 在两相界面处, 液烃一般呈凸的球形相界面, 而盐水溶液则呈凹球形相界面。有机包裹体与盐水溶液包裹体不同, 在单偏光镜下有机包裹体颜色多样, 这主要与以下几方面原因有关: a) 不同成熟类型的油气; b) 有机包裹体保存的时间, 保存时间长的有机包裹体由于液烃裂解, 使包裹体壁上附有沥青而颜色加深; c) 包裹体的厚度, 正交偏光镜下有机包裹体与主矿物的光性是不一致的。

2.2.1 有机包裹体发育类型、丰度

羌塘盆地有机包裹体分析研究样品 77 个, 分别对砂岩胶结物、砂岩石英颗粒、方解石脉、灰岩、白云岩内晶粒(胶结物)、鲕粒内晶粒、生物碎屑内晶粒等都进行了有机包裹体分析。有机包裹体分布形式多样, 成群、成带、线状和孤立状分布, 大小差异较大, 范围在 0.001 0~ 0.035 0mm 之间; 有机包裹体主要呈褐灰色、灰色、褐色及褐黄色, 少部分呈无色; 包裹体形状多样。根据包裹体内有机相的相态组成和在研究中的意义, 分为以下 4 个亚类:

a) 液态烃包裹体: 有机相主要由液态烃组成, 部分含少量沥青附于包裹体壁, 不存在独立相的气态烃。此类包裹体在同一样品中胶结物、鲕粒内或生物体内晶粒占总有机包裹体数的比例, 往往大于方解石脉体内占总有机包裹体体积的比例。

b) 气- 液态烃包裹体: 包裹体有机相主要由气态烃和液态烃组成, 气态烃含量为 5% ~ 90%。气态烃呈圆球形位于液烃相内, 气相壁较厚, 中心透光较强。这一类包裹体占总有机包裹体数的比例, 在同一件样品中的胶结物、鲕内晶粒、生物体内晶粒小

于方解石脉内的比例。

c) 沥青包裹体: 主要由沥青和少量液态烃组成, 透光性差, 形状极不规则, 封闭性一般较差。包裹体颜色较深, 呈深褐色或褐黑色。

d) 气态烃包裹体: 包裹体有机相主要由气态烃组成, 液态烃含量在 0~ 10%。包裹体呈灰色及深灰色, 中心透光较强。

分析发现, 羌塘盆地有机包裹体主要有以下特征(表 1): a) 有机包裹体不是以单一的形态存在的, 而一般为 2~ 3 个亚类的组合体; b) 包裹体类型与时代有关, 随着地层变老, 气态烃包裹体逐渐增多; c) 沥青包裹体普遍发育; d) 包裹体丰度一般较高, 分布形式大多成群、成带分布。从有机包裹体特征来看, 油气生成是很普遍的, 而且是丰富的。

2.2.2 有机包裹体荧光特征

通过有机包裹体荧光薄片观察, 各个样品均具荧光显示。有机包裹体荧光强度的强弱随油气成熟程度而变化。中、低成熟度的原油发荧光较强, 而成熟度高的轻质油及凝析油发弱荧光或不发荧光, 高成熟至过成熟油气则荧光反而增强。从分析的有机包裹体荧光来看, 白垩系和二叠系样品有机包裹体普遍发弱-中等强度的荧光, 颜色为弱黄色-黄色, 有机包裹体的棱角清晰; 侏罗系和三叠系的所有样品有机包裹体则发弱荧光或不发荧光, 包裹体荧光图像模糊, 但是所有的沥青包裹体则发强荧光(亮黄色)。这表明白垩系生成的油气类型属中轻质油气; 侏罗系和三叠系生成的油气成熟度高, 属轻质油-凝析油范围; 而二叠系油气成熟度范围为高熟至过成熟阶段, 其有机包裹体发荧光是由于包裹体壁上

表 1 羌塘盆地成岩自生矿物有机包裹体发育特征表

Table 1 Developing characteristics of organic inclusions in the diagenetic authigenic mineral of the Qiangtang Basin

层位	矿物	组合类型	丰度	气态烃含量/ %	分布
J _{3s}	溶洞充填物	a	较高	5~ 20	成群
	鲕内、鲕间胶结物	a	低	未见	成群
	方解石脉	a: b: c: d= 5: 3: 1: 1	较高	5~ 100	多样
J _{2x}	方解石脉	a: b: c: d= 5: 3: 1: 1	极高	5~ 60	多样
	胶结物	a: b: c= 6: 3: 1	高	5~ 70	成群
J _{2b}	方解石脉	a: b: c= 5: 3: 2	高	5~ 50	多样
	溶洞方解石	a: b= 3: 2	较高	5~ 60	成群、成带
	方解石脉	a: b: c= 6: 3: 1	高	5~ 50	多样
T _{3x}	鲕粒晶粒	a: b= 4: 1	极高	5~ 100	成群
	灰岩晶粒	a: c= 7: 3		5~ 40	成群、成带
	方解石脉	a: b: c= 3: 1: 1	较高	5~ 100	多样
	胶结物	a: b: c: d= 5: 3: 1: 1	一般	5~ 80	成群、成带
P	灰岩晶粒	a: b: c= 5: 2: 3	高	5~ 50	成群
	方解石脉	a: b: c: d= 3: 3: 2: 2	极高	5~ 100	成群
	灰岩晶粒	a: b: c: d= 3: 3: 2: 2	高	5~ 100	成群

普遍附有一层油气降解裂解残余的重质组分所致。

2.2.3 有机包裹体烃类有机气相成分

包裹体有机气相成分分析表明,羌塘盆地有机包裹体总烃含量为 0.69%~4.84μL/g,其中甲烷含量为 52%~71%,大多大于 60%,干度(干度= C₁/总烃×100%^[7])大多在 59.38%~71.28%,反映为气多油少或以气为主的油气类型。

2.3 包裹体均一温度的测定

矿物流体包体在形成时所携带的流体是均匀体系,随着温度、压力的下降,包体内流体收缩、分离而成气、液两相。室内通过显微镜下的加热台对包体加温到均一相,恢复到形成时的温度,这时的温度就叫均一温度,一般可视为成矿温度的下限值。因此包体的均一温度是充填矿物形成温度的反映^[8]。羌塘盆地各时代地层的均一温度见表 2,各时代地层包裹体均一温度范围为 83~170℃,其中地层从新到老温度逐渐增加,从 100℃逐渐增至 160℃左右。三叠系均一温度较侏罗系低,这是由于样品取自中央隆起带附近、三叠系埋藏较浅的原因。若从石油的主要生成和存在温度在 70~150℃分析,羌塘盆地从侏罗系至三叠系的有机质主要处于中等成熟—高成熟阶段,二叠系有机质则处于高成熟及过成熟阶段。

3 包裹体分析在成岩作用研究中的应用

有机包裹体由于它保存的是有机质转化成的各种烃类物质,特别是形状规则的有机包裹体是没有内部物质的渗出和后期外部物质的加入改造的,因

此在油气研究中有十分重要的意义。有机包裹体类型是判别有机质的成熟度和油气类型的可靠标志^[9],有机包裹体发育程度或丰度是评价某一地区或某一层位油气生成、运移、富集程度的可靠标志^[10]。

目前,包裹体分析技术被广泛应用于判断油气运移过程。但仅知道油气运移的时间,对储层评价研究是不够的。储层在成岩演化过程中,经历了多种成岩作用,对储层产生很大的改造。成岩作用研究一般是利用显微镜在镜下观察,结合阴极发光、扫描电镜等分析手段,建立成岩演化序列^[11,12]。如果将包裹体分析技术引入到成岩研究中来,建立起成岩各阶段的流体包裹体特征^[13],则有助于确定胶结作用、石英次生加大等成岩作用的时期;结合油气显示,则可建立起各类成岩作用与油气充填的先后关系,说明油气运移与孔隙充填的先后关系。只有在油气运移前,未被充填的孔隙(储集空间)才是有效的。那些形成于运移之后的孔隙却是无效孔隙。因此,研究成岩历史、指出储集空间对油气运移的有效性是十分重要的。

为此,我们利用包裹体分析资料和埋藏史演化曲线,结合镜下的油气显示,对油气运移的相对时间进行了较为细致的研究。

3.1 上三叠统肖茶卡组

以羌塘盆地西部吓先错地区为例,该区储层岩性主要为泥晶灰岩,显微镜下观察到的成岩作用主要有早、晚两期裂缝。早期裂缝较细,晚期裂缝较粗大,晚期裂缝切割早期裂缝。早晚裂缝均被方解石充填,其中晚期裂缝中充填两期方解石胶结物,二世代粗大方解石胶结物晶间见沥青质,呈“菱形”分布。通过镜下观察,该储层的成岩序列为早期裂缝—裂缝充填—晚期裂缝—裂缝—一代栉壳状胶结物—裂缝—二世代胶结物—油气充填。由包裹体分析,二世代方解石胶结物包裹体测温为 120°,折算深度 4 396 m,对应时代为上侏罗统索瓦组沉积时期。从而,该剖面成岩演化与油气充填的顺序为: a) 早期,形成微裂缝,方解石充填; b) 之后,形成晚期裂缝。在索瓦组沉积初期,裂缝开始充填,首先为一世代栉壳状胶结物,之后为二世代粗大方解石胶结物。裂缝充填末期,残余晶间孔及晶间缝时,油气开始运移,进入残存孔隙空间。由此推断,油气进入肖茶卡组储层的时间大约在索瓦组沉积时,即上侏罗世早期(图 1)。由于油气进入储层的时期晚于胶结作用,因此对油气储集不利。

3.2 中侏罗统雀莫错组

表 2 羌塘盆地流体包裹体均一温度测定表

Table 2 Measured homogenization temperature of fluid inclusions in the Qiangtang Basin

层位	矿物	均一温度/℃		
		测点	范围	平均
K	方解石脉	12	83~113	97
J _{3x}	胶结物	6	102~119	111
J _{3s}	溶洞充填物	7	107~136	124
	方解石脉	22	112~144	131
J _{2x}	生物碎屑内晶粒	8	108~154	133
J _{2b}	方解石脉	12	124~159	140
	溶洞充填物	5	128~157	142
T _{3x}	方解石脉	7	112~144	130
	晶粒	13	104~125	115
	胶结物	6	120~143	131
P	方解石脉	5	132~174	156
	晶粒	7	146~170	157

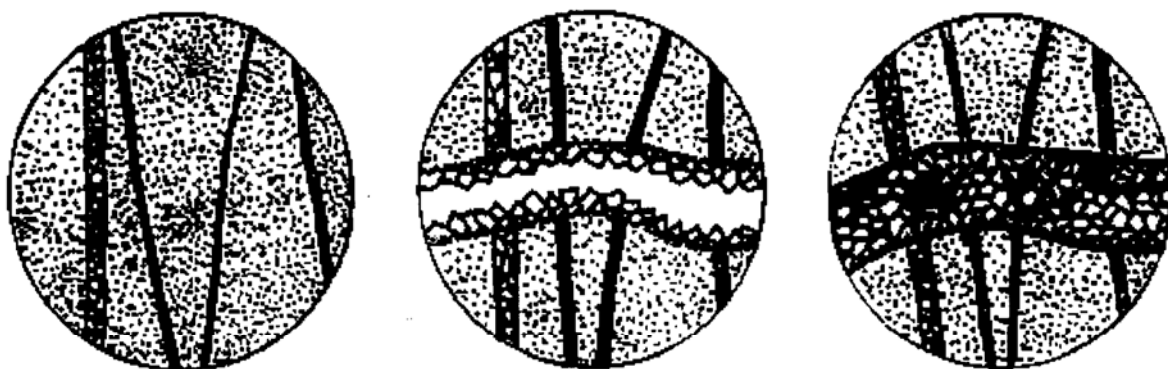


图 1 上三叠统肖茶卡组储层成岩演化与油气充填示意图

Fig. 1 Schematic map showing the diagenetic evolution and hydrocarbon infilling of reservoirs in the Xiaochaka Formation of the Upper Triassic



图 2 中侏罗统雀莫错组储层成岩演化与油气充填示意图

Fig. 2 Schematic map showing the diagenetic evolution and hydrocarbon infilling of reservoirs in the Quemocuo Formation of the Middle Jurassic

以盆地中部色哇松可尔地区为例, 该区储层岩性主要为岩屑砂岩, 经历的主要成岩作用有压实作用、压溶作用和胶结作用, 镜下未见油气显示。该储层的成岩顺序为压实作用—压溶作用—胶结作用。包裹体主要有两类, 一类为石英次生加大边内包裹体, 一类为方解石胶结物内包裹体。石英次生加大包体测温 134° , 折算深度 $4\ 908\text{m}$, 对应时代为白垩纪末或第三纪早期; 方解石胶结物内包体测温 141° , 折算深度 $5\ 165\text{m}$, 对应时代为第三纪晚期。综合分析认为, 该区成岩演化与油气充填的顺序为: a) 压实作用, 由于该区储层含大量岩屑, 故早期易受压实, 原始粒间孔隙丧失较多; b) 白垩纪末石英发生次生加大, 使孔隙进一步减少; c) 第三纪又发生方解石胶结作用, 堵塞了剩余的孔隙空间, 使孔隙空间丧失殆尽。油气运移的主要时期为第三纪末, 但此时已无储集空间, 故油气无法储集(图 2)。

3.3 中侏罗统布曲组

以盆地西部野牛沟地区为例, 该区储层岩性主要为颗粒灰岩, 颗粒主要为内碎屑、鲕粒, 成岩作用主要发生胶结作用, 包括两个世代的胶结物, 粒间及裂缝

中均发现油气显示。包裹体主要发育于粒间方解石胶结物及裂缝方解石胶结物中。粒间方解石胶结物包裹体测温 95° , 折算深度 $3\ 480\text{m}$, 对应时代为上侏罗统索瓦组沉积末期; 裂缝方解石胶结物中包体测温 145° , 折算深度 $5\ 311\text{m}$, 对应时代为上侏罗统雪山组末期。该区成岩演化与油气充填的顺序为: a) 索瓦组沉积末期, 灰岩发生胶结作用, 主要为粒间的世代胶结, 首先沿颗粒边缘形成一代壳状方解石胶结物; b) 之后, 二代粒间粗晶胶结物开始充填孔隙空间, 同时油气开始运移, 充填残余的晶间孔及晶间缝(图 3)。在油气运移的同时, 岩石发生破裂作用, 产生裂缝, 油气进入裂缝, 但未充填完全。雪山组沉积末期, 剩余空间由方解石胶结物充填。

3.4 上侏罗统索瓦组

以盆地西部白龙冰河地区为例, 该区储层岩性主要为颗粒灰岩, 颗粒主要为鲕粒、内碎屑, 成岩作用主要为胶结作用, 鲕粒间具有有机质。包裹体发育于粒间方解石胶结物中, 包体测温 128° , 折算深度 $4\ 689\text{m}$, 对应时代为第三纪晚期。该区成岩演化与油气充填的顺序为: a) 早期灰岩颗粒沉积, 残余大量的原生孔

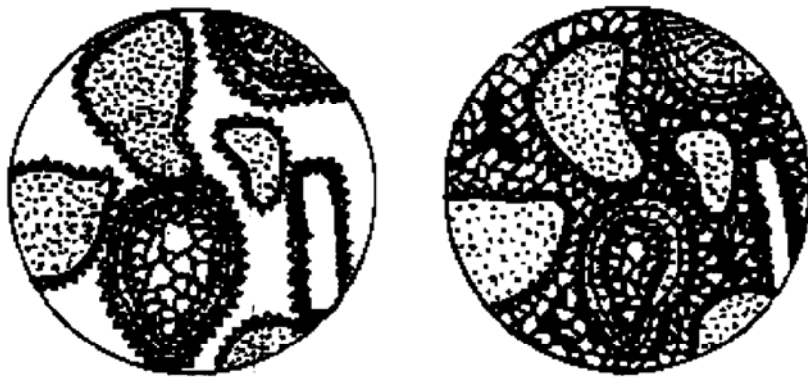


图 3 中侏罗统布曲组储层成岩演化与油气充填示意图

Fig. 3 Schematic map showing the diagenetic evolution and hydrocarbon infilling of reservoirs in the Buqu Formation of the Middle Jurassic



图 4 上侏罗统索瓦组储层成岩演化与油气充填示意图

Fig. 4 Schematic map showing the diagenetic evolution and hydrocarbon infilling of reservoirs in the Suowa Formation of the Upper Jurassic



图 5 上侏罗统雪山组储层成岩演化与油气充填示意图

Fig. 5 Schematic map showing the diagenetic evolution and hydrocarbon infilling of reservoirs in the Xueshan Formation of the Upper Jurassic

隙; b) 之后, 油气开始运移, 进入储集空间; c) 第三纪末, 发生胶结作用, 充填剩余的孔隙空间(图 4)。同时, 裂缝边缘充填沥青, 内充填方解石, 说明石油充填裂缝时期早于裂缝充填作用, 大约在第三纪初期。该区油气运移的时期早于胶结作用和裂缝充填的时期, 故孔隙空间对油气储集是有效的。

3.5 上侏罗统雪山组

以盆地中部多格错仁地区为例, 该区储层岩性主要为岩屑砂岩, 经历的主要成岩作用有压实作用、

压溶作用、胶结作用和溶蚀作用, 粒间具沥青质。包裹体主要有两类, 一类为石英次生加大边内包裹体, 另一类为粒间方解石胶结物内包裹体。石英次生加大包裹体测温 138° , 折算深度 5 055m, 对应时代为第三纪早期; 粒间方解石胶结物内包裹体测温 169° , 折算深度 6 190m, 对应时代为第三纪中期。该区成岩演化与油气充填的顺序为: a) 早期发生压实作用, 受压实程度不大, 碎屑颗粒大多点接触。第三纪初, 石英普遍具次生加大; b) 第三纪中期, 发生胶结作

用, 占据粒间孔隙; c) 第三纪末, 方解石胶结物及岩屑发生溶蚀, 形成粒间溶孔及超大孔, 后油气充填溶蚀孔隙(图5)。

4 结语

传统的储层成岩作用研究一般是利用显微镜在镜下观察, 结合阴极发光、扫描电镜等分析手段, 建立成岩演化序列。这是一个各类成岩作用的相对先后关系。将包裹体分析技术应用于储层成岩作用研究中, 则可测定自生矿物形成的时期, 确定各类胶结作用、次生加大等的绝对形成时期; 与油气主要运移期相结合, 可判定不同成岩作用对储层的贡献。本文仅对包裹体技术在储层成岩作用中的应用进行了初步探讨。相信随着研究工作的不断深入, 它必将在储层研究中得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] Shepherd T J, Rankin A H, Malderton D H. A practical guide to fluid inclusion studies [M]. Blackie & Son limited, 1985. 1 - 13.
- [2] 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, 17(3): 318- 326.
- [3] 孙 楠, 谢鸿森, 郭 捷, 等. 含油气沉积盆地流体包裹体及应用[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(1): 42- 45.
- [4] 黄志龙, 董雪梅, 柳广弟. 吐玉克油田储层流体历史分析及油气成藏过程研究[J]. 石油实验地质, 1999, 21(3): 237- 241.
- [5] 杨惠民. 包裹体类型和成分特征在油气运移研究和油气储层评价中的应用——以赤水气田为例[J]. 海相油气地质, 1997, 2(3): 16- 21.
- [6] 刘 鑫. 碳酸盐岩矿流体包裹体主要特征和类型及其与成岩作用关系探讨[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(增刊): 42- 49.
- [7] 谢弈汉, 范宏瑞, 王英兰. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. 地质科技情报, 1998, 17(增刊): 100- 104.
- [8] 姜振学, 庞雄奇, 黄志龙. 吐哈盆地鄯善油田油气运聚期次及成藏过程研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 104- 107.
- [9] 王正允. 谢家湾构造流体包裹体及油气运移期[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 152- 156.
- [10] 陶士振, 刘德良, 杨晓勇, 等. 塔里木盆地叶城凹陷成岩包裹体及其油气意义[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 38- 45.
- [11] 郑浚茂, 庞 明. 碎屑岩储集岩的成岩作用研究[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989. 53- 86.
- [12] 刘孟慧, 赵澄林. 碎屑岩储层成岩演化模式[M]. 东营: 石油大学出版社, 1993. 31- 39.
- [13] 刘 斌. 广西十万大山盆地流体包裹体特征及其在石油地质上的应用[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 387- 390.

CHARACTERISTICS OF FLUID INCLUSIONS IN THE QIANGTANG BASIN AND THEIR APPLICATION TO THE STUDY OF RESERVOIR DIAGENESIS

XU Jian-hua¹, HOU Zhong-hao¹, WANG Jir-you²,
WU Tai-rong³, ZHOU Li-jun³, WANG Si-wen³

- (1. *Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257015, China;*
2. *Earth Resources and Information College, Petroleum University, Dongying, Shandong 257061, China;*
3. *Linpan Production Factory, Shengli Oilfield, Linyi, Shandong 251507, China*)

Abstract: According to the observed and measured data of fluid inclusions in the Qiangtang Basin in this paper, the main types and characteristics of fluid inclusions were studied comprehensively. Based on the study of diagenesis, the authors emphatically discussed the application of the fluid inclusion technology to the study of reservoir diagenesis. The succession of the Triassic-Jurassic diagenetic evolution in the Qiangtang Basin was established, and the relationship of diagenesis to hydrocarbon migration was analysed. This made a preliminary approach to the application of the fluid inclusion technology to reservoir research.

Key words: fluid inclusion; diagenesis; the Qiangtang Basin