

# 未熟—低熟油流体特征

## ——以济阳拗陷古近系为例

施继锡, 余孝颖

中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002

**摘 要:**对济阳拗陷古近系储层中流体包裹体的研究进一步证明,其油气属未熟—低熟油气。除了油藏埋深浅、地层时代新、为自生自储同生油藏外,还具下列特征:油气生成温度低,包裹体均一温度范围为 53~115℃;处于低演化阶段,储层中主要的包裹体类型是纯液态烃包裹体及纯液体盐水溶液包裹体。包裹体烃类成分中重烃及丁烷含量高,重烃平均占总烃的 52.14%,丁烷平均占总烃的 14.46%;流体压力高,估算的流体压力范围是 10.0~40.5 MPa;盐度较高;还原环境;古地温梯度高,为 3.830℃/100 m 等流体特征。研究结果为该拗陷油气成因及识别未熟—低熟油成油物理化学条件等提供了信息。

**关 键 词:**未熟—低熟油;流体包裹体;济阳拗陷

**中图分类号:**P618.130.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2003)04-0314-05

国外较早就有学者对未熟—低熟油进行过研究<sup>[1~5]</sup>,我国学者也有过若干研究,如刘文汇(2000)。然而,对未熟—低熟油的成因机制、聚集规律还知之甚少。未熟—低成熟油气在自然界客观存在,其大规模的工业聚集已被人们认识。不断完善其成因理论是当前油气研究的重要课题之一。我们对济阳拗陷储层中流体包裹体进行的研究,为该拗陷古近系的油气成因及未熟—低熟油气的流体特征、成油的物理化学条件等提供了若干信息。

### 1 地质简况

济阳拗陷位于山东北部,构造上处于渤海湾裂谷盆地的东南部。面积约 3 万 km<sup>2</sup>,为中、新生代内陆盆地。拗陷发育了新近系、古近系及古生界多套含油层系,是渤海盆地中含油气丰富的陆相湖盆之一。其中古近系已发现的油气储量占拗陷探明总储量的三分之二,为我国第二大产油基地。前人曾经作过有关油气地质研究<sup>[6~8]</sup>,然而有关古近系的油气成因、成藏过程等问题尚待进一步探讨。

研究区为济阳拗陷的惠民凹陷及东营等凹陷。样品采自东营凹陷的 10 个次一级构造上的 20 口钻井岩芯。地层时代主要是古近系沙河街组四段及三

段的储集层油砂及砂岩。

### 2 流体包裹体鉴定结果

#### 2.1 包裹体的类型及特征

包裹体的类型从成分上可分为盐水溶液包裹体及有机包裹体。

**2.1.1 盐水溶液包裹体类型及特征** 盐水溶液包裹体由盐水溶液组成,根据包裹体形成时气体溶解于水溶液中的比例,又可分为纯液体包裹体、液体包裹体及气体包裹体。纯液体包裹体在室温下仅见液相,是低温条件下的产物。液体包裹体在室温下可见有气、液两相,随着温度的升高气液比增大,当气液比大于 60% 时称为气体包裹体。实践证明,在未成熟原油阶段主要形成纯液体包裹体及少量液体包裹体,纯液体包裹体占 90%~100%。低成熟原油阶段以纯液体包裹体为主,有少量液体包裹体,纯液体包裹体占 60%~90%。济阳拗陷古近系储层中盐水溶液包裹体类型较简单,计有:纯液体包裹体:3μm 大小,个别 5~8 μm 无色或浅红色,椭圆形,占盐水溶液包裹体总数的 80% 以上;液体包裹体:3~8 μm,个别 5~10 μm,透明无色,占盐水溶液包裹体总数的 20% 以下。

收稿日期:2003-05-26 收到,07-16 改回

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KJ CX2-5W-NO. 3)资助

第一作者简介:施继锡(1933—),男(白族),云南鹤庆人,研究员,从事油气包裹体地球化学研究。

液体包裹体的气液比系指包裹体中气相占包裹体总体积的百分数。形成时流体的温度愈高,气液比愈大。一般在未成熟原油阶段气液比为5%以下。低成熟原油阶段多数为5%,少数为5%~10%。济阳拗陷古近系储层中液体包裹体的气液比大多数在5%以下,呈小黑点状。

在层段中,沙三段中纯液体包裹体多于沙四段,小气液比的更多,显示热演化程度低的特征。

**2.1.2 有机包裹体的类型及特征** 有机包裹体由有机的液相、气相、固相组成。由于包裹的是有机质转化成的各种烃类物质,因此对研究油气性质、数量、演化程度有重要意义。随演化程度的演进而形成不同类型的有机包裹体。未熟—低成熟原油阶段主要形成纯液态烃包裹体及气态烃很少的液态烃包裹体,成熟阶段形成液态烃包裹体,凝析油-湿气阶段形成气态烃包裹体。

本次所研究的济阳拗陷样品中主要是纯液态烃包裹体,以及少量液态烃包裹体。纯液态烃包裹体:椭圆形或不规则状,3~8 μm大小,浅黄—黄色,占有机包裹体总数的80%~90%;液态烃包裹体:椭圆、圆形,3~8 μm,褐黄色,气态烃相5%~10%,占有机包裹体总数的10%~20%。另见较多的不规则状、大小不等、褐黑色的胶质沥青。沙三段纯液态烃包裹体多于沙四段。其数量坨73、林15、单2-松2、牛5等井较多,沙三段多于沙四段。

有机包裹体中的环烷芳香烃多,则荧光强度大。演化程度低,荧光颜色偏红、黄;演化程度高则荧光颜色偏蓝、白色。拗陷中有机包裹体及胶质沥青都发黄绿色荧光但程度有所不同,沙三段主要发亮黄色荧光,而沙四段发黄绿色荧光。以上荧光特征反映出烃类处于低演化阶段。

## 2.2 包裹体的温度、盐度及压力测定结果

**2.2.1 均一温度** 包裹体的均一温度是成矿流体温度的下限,低温条件下接近真实温度。石油的生成和演化与温度有直接的关系,故古温度的研究有着重要的意义。本次所研究的样品大都为油砂,透明度差,颗粒裂纹中的包裹体细小,有的包裹体在高倍显微镜下能够观察到,但在冷热台内难以测定温度。因此测定的包裹体数量相对较少,有的只能供参考。测定结果列于表1。

从均一温度测定结果看出:(1)古近系储层中流体温度较低,为53~115℃,沙三段多在80℃以下;在埋深上大致有以下规律:埋深<1500 m,温度<

60℃;埋深1500~2000 m,温度为60~78℃;埋深2000~2500 m,温度为78~95℃;埋深2500~3000 m,温度为95~115℃;埋深>3000 m,温度115℃以上。(2)具有较高的古地温梯度。从滨648井SL-8样品(井深2026.2 m),到该井SL-10样品(井深2235.32 m),二者相差209 m,温差8℃(77~85℃),古地温梯度为3.83℃/100 m,高于地壳平均值(3.3℃/100 m)。在低温条件下具有较高的地温梯度,有利于有机质转化成油。

表1 包裹体均一温度

Table 1 Homogenization temperatures of fluid inclusions

样品号	钻井号	井深/m	时代	均一温度/℃
SL-4	滨635-1	1911.6~1912.0	Es <sub>3</sub>	75~78
SL-5	滨653	2819.5~2820	Es <sub>4</sub>	99
SL-6	滨623	1576.4	Es <sub>4</sub>	83
SL-7	滨622	1518	Es <sub>4</sub>	81
SL-8	滨648	2026.2	Es <sub>3</sub>	71~77
SL-9	滨648	2018.6	Es <sub>3</sub>	71~78
SL-10	滨648	2235.32	Es <sub>3</sub>	74~78
SL-11	新滨348	1322.5	Es <sub>3</sub> ?	54
SL-12	利112	3079.7	Es <sub>4</sub> ?	111~115
SL-13	利881	3005.15	Es <sub>4</sub>	106~110
SL-14	利88	3069.30	Es <sub>4</sub>	96~101
SL-16	单2-松2	1186.7	Es <sub>3</sub> ?	53~55
SL-18	单143	2233.68	Es <sub>4</sub> ?	81~88
SL-19	73坨	3314.0	Es <sub>4</sub>	106~112
SL-21	林15	1007.56~1008.66	Ng	54~58
SL-23	丰112	3110.1	Es <sub>3-4</sub> ?	112~115
SL-48	利88	3082.1	Es <sub>4</sub>	107~110
SL-62	永96	2252.91	Es <sub>3-4</sub> ?	82~88
SL-106	草古102	948.47	O	128
SL-107	面14-7-5	1223.35	Es <sub>4</sub>	75
SL-108	草古108	678.90	O	129
SL-111	牛5	2680.5	Es <sub>4</sub>	108
SL-2	滨245	2585.2		106~110

注:有问号者时代不准确

**2.2.2 盐度** 用包裹体冷冻法测定。本次研究的样品中包裹体细小,多数样品无法测定盐度,只获得利881井的盐度为3.3%、滨648井为3.1%、林15井为2.1%。可见,前两个样品的地层盐度较高,而最后一个样品的流体中明显有大气水加入。

2.2.3 压力估算 压力是油气生成及运移聚集的重要控制因素之一,流体矿产在形成过程中,温度与压力有密切的关系,因此测温及测压的精确性极为重要。但要精确测定压力十分困难,利用各种参数进行压力计算也只能是近似的。由于样品中未发现液体 CO<sub>2</sub> 包裹体,故不能用较为精确的 CO<sub>2</sub> 密度法测定,只能用部分样品中测得的盐度并用密度、温度法近似地估算。为与静水压力比较,将静水压力计算结果一并列于表 2。

从表 2 看出,林 15 井流体压力最低,接近正常压力。滨 648 井及利 881 井为异常高压。

2.3 包裹体成分测定结果

本次研究进行了包裹体烃类成分与主要气相成分的气相色谱分析和液相成分的离子色谱分析。分

表 2 流体压力

Table 2 Pressures of fluids

样品号	钻井号	井深 /m	均一温度 /°C	盐度 (%)	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	流体压力 /MPa	静水压力 /MPa
SL-21	林 15	1007.56	58	2.1	0.99	10.0	9.8
SL-9	滨 648	2018.60	85	3.1	0.98	32.0	19.8
SL-13	利 881	3005.15	110	3.3	0.96	40.5	29.5

析对象为储层岩石中盐水溶液包裹体与有机包裹体的混合群体。砂岩及油砂样品虽经有机试剂清洗,但难免有吸附烃未除尽;由于砂岩本身不生油,吸附的烃类与包裹体的烃类应是一致的,因此作为定性对比仍有一定的意义。

2.3.1 烃类成分分析 烃类分析结果见表 3。

表 3 包裹体烃类分析结果

Table 3 Analytical results of hydrocarbons in fluid inclusions

样品号	CH <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>		nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>		总 <sup>①</sup> 烃	重 <sup>②</sup> 类 烃	重 <sup>③</sup> 丁 <sup>④</sup> 烷	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
SL-8	3.31	57.50	0.41	7.23	0.55	9.57	0.04	0.70	1.21	21.04	0.21	3.65	0.02	0.35	5.74	9.46	42.44	21.74
SL-13	3.21	38.9	0.91	11.05	2.51	30.41	0.31	4.60	1.04	12.57	0.11	1.27	0.17	2.06	8.25	16.32	61.09	16.36
SL-16	11.55	37.76	11.33	37.04	4.71	15.4	0.39	1.21	1.97	6.45	0.21	0.69	0.43	1.39	30.59	23.69	62.24	7.72
SL-18	2.22	79.29	0.05	1.89	0.42	15.05	0.04	1.50	0.06	2.29					2.80	5.70	20.71	3.57
SL-19	13.36	59.54	2.08	12.48	3.35	14.43	0.55	2.45	2.22	9.87	0.39	1.74	0.51	2.27	22.44	29.86	40.46	12.34
SL-21	3.42	12.31	2.77	9.95	11.76	42.35	3.11	11.20	3.83	13.80	2.03	7.31	0.85	3.10	27.77	34.70	87.69	25.00

注:井深及地层时代同表 1;1 的单位为 μL/g,2 的单位为%;重烃为 C<sub>2</sub>%~C<sub>5</sub>%;①单位 μL/g;②为烃类占气体的百分含量(%);③重烃占烃类的百分含量(%);④丁烷占总烃的百分含量(%)

从表 3 看出:(1)重烃占总烃的比例大。最低 20.71%(单 143 井),最高 87.69%(林 15 井),平均 52.14%。重烃 4%以上者为低熟阶段,显然该区的演化程度很低。另浅部重烃含量高,如林 15(井深 1007.54 m)占总烃的 87.69%,坨 73(井深 3314.0 m)重烃占 40.46%,故愈浅油气演化程度愈低。(2)有丁烷存在且含量较高。演化程度高一般检测不到丁烷,本区最低为 3.57%(单 143 井),最高 25.0%(林 15 井),平均 14.46%,反映演化程度低。

2.3.2 主要气相成分 群体包裹体中既有烃类又有非烃,一次进样不可能同时分析有机气相与无机气相,因此表 4 只测定无机气相,而有机气相引自表 3,主要气相成分分析结果见表 4。

由表 4 看出,气体的还原参数都较高,最低为 2.29,最高为 6.65,表明为还原环境,且由浅到深渐

增。1000~3000 m 为 2.29~5.35;>3000 m 为 6.0~6.65,说明愈深愈趋还原环境。

2.3.3 液相成分 包裹体液相成分见表 5。

从表 5 可看出:(1)水溶液中的离子总数由馆陶组到沙四段逐渐增加,深度上由浅到深逐步增加,1000~2000 m 离子总数为 10.61~21.66 g/L;2000~3000 m 为 23.08~30.43 g/L。离子总数在一定程度上反映了矿化度或盐度,因此时代愈老、埋深愈大,矿化度或盐度愈大。(2)阴离子主要是 Cl<sup>-</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>;阳离子主要是 Na<sup>+</sup> 及 Ca<sup>2+</sup>。水化学类型在 1000~2000 m(Ng~Es<sub>3</sub>)为 NaHCO<sub>3</sub> 及 CaCl<sub>2</sub> 型;在 2000~3000 m(Es<sub>4</sub>)主要为 CaCl<sub>2</sub> 型,其次是 NaHCO<sub>3</sub> 型。(3)Cl 含量由浅到深增加,说明沙四段还原性更强。(4)Ca 含量随深度增加,说明水化学类型由 NaHCO<sub>3</sub>、CaCl<sub>2</sub> 型逐渐过渡到 CaCl<sub>2</sub> 型。

表 4 包裹体主要气相成分分析

Table 4 Measured results of main gaseous phases in inclusions

样品号	H <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		CO		H <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>		气体总量 /μL·g <sup>-1</sup>	总烃 /μL·g <sup>-1</sup>	还原参数
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
SL-8	1.93	4.72	1.84	3.13	4.32	7.34	30.92	68.73	14.96	3.24	59.53	5.74	3.88
SL-13	1.64	0.29	2.10	4.16	2.62	3.20	29.58	58.11	6.86	19.50	50.90	8.25	6.65
SL-16	1.35	1.05	47.28	36.53	1.08	0.84	36.75	28.47	12.05	9.33	129.10	30.59	5.33
SL-18	0.05	0.09	30.99	63.25			12.25	25.00	2.96	6.03	49.04	2.80	2.29
SL-19	0.24	0.33	0.19	26.97			24.50	33.10	7.18	9.70	73.98	22.44	6.00
SL-21	0.15	0.18	5.25	6.57	2.16	2.70	40.83	51.03	3.86	4.83	80.02	27.77	4.00

注:井深、地层时代见表 1;1 的单位为 μL/g,2 的单位为 %;还原参数 = H<sub>2</sub> + C<sub>1</sub> + CO 克分子数 / CO<sub>2</sub> 克分子数

表 5 包裹体液相成分分析结果

Table 5 Measured results of liquid phases in inclusions

样品号	钻井号	井深 /m	地层时代	F	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K	Na	Ca	Mg	离子总数	Cl(%)	Ca(%)
SL-21	林 15	1007.54	Ng	0.71	2.23	0.82	2.04	0.74	2.85	1.15	0.07	10.61	21.02	10.85
SL-16	单 2-松 2	1180.7	Es <sub>3</sub> ?	0.68	2.50	0.92	2.15	0.68	2.90	1.24	0.06	11.31	22.1	10.96
SL-8	滨 648	2026.2	Es <sub>4</sub>	0.36	5.09	0.40	5.25	2.26	6.73	3.32	0.25	21.66	23.50	19.94
SL-18	单 143	2233.8	Es <sub>3</sub> ?	0.27	6.22	1.11	3.43	1.24	6.53	4.51	0.37	23.08	26.94	17.98
SL-13	利 881	3005.15	Es <sub>4</sub>	0.95	8.63	3.01	4.02	1.15	6.02	6.52	0.13	30.43	28.38	21.43
SL-19	坨 73	3314.0	Es <sub>4</sub>	1.22	8.87	2.39	5.12	1.08	4.83	6.83	0.09	30.08	29.49	23.16

注:Cl、Ca 单位为 %,其余均为 g/L;有问号者地层时代不确切

### 3 未熟—低熟油气的流体特征

济阳拗陷古近系储层除了埋深浅(沙三段多数埋深不及 2000 m 以下,沙四段为 3000 m 左右)、地层时代新、为自生自储的同生油藏等反映未熟—低熟油藏的特征外,通过流体包裹体研究总结出以下流体特征。

(1) 油气生成温度低:未熟—低熟油的生油阶段温度相应于源岩镜质体反射率为 0.2%~0.7%,表明形成温度在 100℃ 以下。包裹体均一温度测得沙三段 53~78℃,沙四段 75~115℃,馆陶组 54~58℃。本次研究的样品中,盐水溶液包裹体中低温的纯液体包裹体在沙三段中占 80% 以上,沙四段中占 60%~80%,可作为上述油气生成温度低的佐证。

(2) 油气显低演化特征:未熟—低熟油的重要依据是母质成熟度低。研究表明,代表低演化程度的纯液态烃包裹体在沙四段中占 50%~70%,沙三段中占 80%~90%。沙三段有机包裹体的荧光显亮黄色,沙四段显亮黄—黄色;说明原油环烷烃中四环

和五环的环烷烃丰富,显未熟—低熟油的特点。

重烃(C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>)占的比例大,一般当重烃在 4% 以下时为高熟阶段。而所研究的样品重烃平均为 52.14%,故演化程度应相当低。此外,丁烷含量高,当演化处于湿气阶段则检测不到丁烷。而研究样品的丁烷平均占 14.46%,故只能是低熟阶段。

(3) 具有其它未熟—低熟油气生成有利的物化条件。流体压力高:包裹体压力估算结果表明,沙三、沙四段中流体压力为 10~40.5 MPa,高于静水压力。大压力可促使有机质聚集,使不饱和的化合物转化为饱和的化合物,也促使分解过程形成烃类。在低温条件下,由于压力高,油气能够早期形成并聚集在同期和早期形成的圈闭内;流体盐度较高:利 881 井及滨 648 井沙三段包裹体盐度测定结果大于 3%,呈现卤水性质。包裹体液相成分分析结果,水化学性质主要为 CaCl<sub>2</sub> 型及 NaHCO<sub>3</sub> 型。一般认为,含盐盆地有利于有机质快速转化,促使有机质脱氧还原形成原生石油分解加氢后变成烃类;还原环境:还原参数测定结果最低为 2.99,最高为 6.65,显

示还原环境。一般认为,还原环境可以抑制脂类进入干酪根结构,使在未成熟阶段岩石中的脂类和沥青质在极低温条件下形成富含胶质和沥青的石油;古地温梯度高:滨 648 井沙三段古地温梯度为 3.83℃/100 m, 显较高的地温梯度;这也是促使有机质早期成油的有利条件。

#### 4 结 语

济阳凹陷古近系储层中的油气具有埋深浅、地质时代新、为自生自储的同生油藏等特征。流体包裹体研究表明,地球化学上它们还具有油气生成温度低、演化程度低、流体压力高、盐度较大、处于还原环境等未熟—低熟油藏的流体特征。

未熟—低熟油能够形成大规模的工业聚集已是不争的事实。然而,从其成烃母质、沉积环境的多样性、原岩时代范围宽,还很难廓清未熟—低熟油的成因机制。利用包裹体研究未熟—低熟油尚为尝试伊始,上述所总结出的未熟—低熟油藏的流体特征还有待进一步充实完善。

#### 参考文献 (Reference):

[1] Alajbeg A, Molddowan J M, Demaison G J. Oil and source study of the East Drava and Slaroni-Srijem Depressions (Pan-nonian Basin)[A]. Organic Geochemistry. Advance and applications in the natural environment[M]. Manchester: Manchester University Press, 1991. 3-6.

- [2] Orton E. The origin and accumulation of petroleum and natural gas[R]. Report of the Geological Survey of Ohio, 1988, 6, chapter 2, 60-100.
- [3] Hedberg H D. Geologic aspects of origin of petroleum[J]. AAPG Bull., 1964, 48:1755-1803.
- [4] Weeks L G. Origin, migration, accumulation and occurrence of petroleum[A]. Petroleum exploration handbook, Charter 5 [M]. New York: McGraw-Hill 1961.
- [5] Smith P V. Studies on origin of petroleum; Occurrence of hydrocarbons in recent sediments[J]. AAPG, 1954, 38: 377-404.
- [6] 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 黄光辉, 包建平, 李庆贤. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京:石油工业出版社, 1995. 235. Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie, Huang Guanghui, Bao Jianping, Li Qingxian. The mechanism of formation and distribution of low-mature oil and gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 235. (in Chinese)
- [7] 张枝焕, 胡文焯, 曾溅辉, 于炳松, 陆现彩, 贾红育. 东营凹陷下第三系流体—岩石相互作用研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 560-565. Zhang Zhihuan, Hu Wenxuan, Zeng Jianhui, Yu Bingsong, Lu Xiancai, Jia Hongyu. Study on fluid/rock interactions in Eocene formations in the Dongying Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 560-565 (in Chinese with English abstract)
- [8] 胜利石油管理局地质科学研究所. 济阳坳陷下三叠系含油性[R]. 1999. 1-28. Institution of Geoscience, Shengli Petroleum Administrative Bureau. Oil-bearing potential of the Eocene of the Jiyang Depression, Sandong[R]. 1999. 1-38. (in Chinese)

### Characteristics of Immature to Low Mature Oil Fluids as Exemplified by the Lower Tertiary of the Jiyang Depression

SHI Ji-xi, YU Xiao-ying

Open Lab. of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

**Abstract:** Studies of fluid inclusions from the Lower Tertiary reservoir strata of the Jiyang Depression confirm that the oil and gas are immature to low mature. The Lower Tertiary reservoirs in the Jiyang Depression are characterized by shallow burial depth, young geological ages, and authogenesis—authopreservation—syngeneses in origin. The oil and gas have a low formation temperature(53-115℃)and are of low mature evolution. The fluid inclusions in the reservoirs are dominated by pure liquid hydrocarbons and pure saline solutions. Among the total hydrocarbons of fluid inclusions, hydrocarbon and butane constitute 52.14% and 14.46% on the average, respectively. The fluid has a high pressure(10.0~40.5MPa), relatively high salinity (3.3%) and is reduced in character. The paleogeothermal gradient is estimated to be 3.83℃/100m. This study has provided much information about the origin of oil and gas in the Jiyang Depression and the physical and chemical formation conditions of immature to low mature oils.

**Key words:** immature to low mature oil; fluid inclusion; Jiyang Depression