

有机包裹体作为碳酸盐岩区油气 远景评价标志的初步研究

施继锡

(中国科学院地球化学研究所广州分部)

提要 通过对我国主要碳酸盐岩区储集层中有机包裹体的研究,建立了用有机包裹体的类型、特征、丰度、成分及同期盐水溶液包裹体的均一温度,作为工业油气藏远景评价的标志。并简要介绍了其在油气勘探中实际应用的结果。提出有机包裹体研究,是一种动态的综合性研究,是值得推广的有机地球化学新技术、新方法。

关键词 有机包裹体 石油与天然气 碳酸盐岩 有机地球化学

作者简介 施继锡 男 57岁 研究员 矿物包裹体及地球化学

碳酸盐岩油气田在世界范围内分布很广,地质时代上从澳大利亚的前寒武纪,到中东、北非一带的第三纪都有发现。海相碳酸盐岩中油气的储量约占世界总储量的四分之一。我国碳酸盐岩分布广泛,地质历史长,厚度大。然而,除四川等少数地区找到一批中小型油气田外,其它广大地区找油气问题尚未真正解决。在我国如何尽快在碳酸盐岩区找到更多的油气资源,特别是在非构造区、平缓构造区、高演化区找到新的靶区,是当前急待解决的问题。因此,在加强碳酸盐岩生油气理论研究的同时,加强勘探方法的研究有重要的意义。本文的目的是探索在少量钻井或露头样品的条件下,利用有机包裹体作为碳酸盐岩区油气远景评价的标志,为碳酸盐岩区油气勘探提供新的地球化学方法。

一、有机包裹体的研究意义

有机包裹体属于流体包裹体。它可以由有机的液体、气体、固体组成,有时还含有一定量的盐水溶液。国外又称为烃包裹体(Burruss,1981)。不论是烃类在原生运移阶段或是在次生运移阶段,沉积物只要发生结晶或重结晶作用,就能在晶体中形成流体包裹体。当成矿介质中存在有石油或天然气,矿物结晶时就捕获它们,形成有机包裹体。因此,它们是油气运移、演化及丰度的直接标志。包裹体形成之后,没有外来物质的加入,也没有本身物质的带出。由于包裹体十分细小,一般5-10 μm ,各个历史时期形成的包裹难以完全破坏,可以保留至今,因而地表露头样品中的包裹体,仍可作为成矿流体的原始样品进行研究,加之,样品不受有机质多少及演化程度的限制,为研究提供了极大的方便。

有机包裹体可以通过偏光显微镜、荧光显微镜、显微冷热台及成分分析等方法进行研究。有关这方面的资料见施继锡等(1987a)。

二、有机包裹体作为油气远景评价标志的研究

通过对主要碳酸盐岩区工业油气层、油气显示层,非油气层中的有机包裹体研究,初步

总结出工业油气藏远景评价的若干有机包裹体标志。

1. 有机包裹体类型及特征标志

成矿流体中烃类的本质特征, 如烃类的性质、演化程度等, 可以在包裹体的类型及特征上反映出来。工业油气层、油气显示层及非油气层, 具有不同的有机包裹体类型。有机包裹体类型的划分见施继锡等 (1987b)。有机包裹体的特征包括相组分、颜色、形态、荧光性质等。

(1) 工业油藏储层中有机包裹体类型以纯液态烃或液态烃加少量气态烃组成的包裹体为主。包裹体中液态烃占包裹体总体积的 60% 以上。包裹体中有时见少量沥青。气相为灰黑色、液相往往具黄、黄褐色, 不规则状或椭圆形。一般比同期盐水溶液包裹体大 2—3 倍, 冷冻时常要在 -140°C 以下才能冻结。在紫外光激发下都发荧光, 随演化程度不同, 荧光的强度与颜色不同, 如任油丘田碳酸岩中的包裹体发黄色荧光, 而苏北油田碳酸岩中的包裹体发褐黄色荧光。

(2) 工业气层中的有机包裹体类型, 以纯气态烃及气态烃包裹体为主。包裹体中气相占 90% 以上。气相呈云雾状, 灰黑至黑色, 近圆形或椭圆形。一般比同期盐水溶液包裹体大 2—4 倍, 冷冻法冷冻证明其成分主要是甲烷。此外, 尚见少量气态烃加液态烃组成的包裹体, 或由固体沥青组成的包裹体。液态烃部分发暗兰色荧光, 而气态烃不发荧光。

(3) 油显示层中的有机包裹体类型, 主要由液态烃加气态烃组成。气态烃相占体积的 10—14%。液态烃相为黄褐色, 显黄色荧光, 呈不规则状。而气显示层中有机包裹体类型, 主要由气态烃加液态烃组成, 气态烃相占体积的 60—80%。深褐色, 液态烃为褐黄色, 发暗褐色荧光, 椭圆形, 也见少量气态烃加盐水溶液、或加沥青的包裹体。

表 1 工业油气层中有机包裹体的类型及特征表

Table 1 Types and characteristics of organic inclusions in industrial oil / gas reservoir beds.

储层情况	有机包裹体类型	有机包裹体特征				
		气液比 (%)	颜色	形态	荧光	冷冻情况
工业油层	1. 全由液态烃组成	0	浅黄、黄、褐黄、无色	长条状, 不规则	亮黄、黄绿	-140°C 以下冻结
	2. 液态烃加少量气态烃	5—60	褐黄	椭圆, 不规则	褐黄、兰	
	3. 液态烃加气态烃加沥青	10—20	液相褐黄, 气相灰, 沥青黑	近圆形	褐黄	
	4. 液态烃加盐水		液态烃褐黄, 盐水无色	不规则	褐黄	
工业气层	1. 全由气态烃组成	100	灰、褐灰	圆、椭圆	无荧光	不冻结
	2. 气态烃加少量液态烃	95	气相灰黑, 液相褐黄	"	液相暗兰色	-140°C 以下冻结
	3. 气态烃加少量盐水	90—95	气相灰黑, 液相无色	"	无荧光	冻结
	4. 气态烃加少量沥青		气相灰黑, 沥青黑色	不规则	无荧光	不冻结

(4) 非油气层中的有机包裹体类型, 只见少数液态烃及气态烃包裹体。有时只见由固体沥青或以固体沥青为主加少量气态烃组成的包裹体, 有的根本没有有机包裹体。将工业油气层中有机包裹体的类型、特征列于表 1。

2. 有机包裹体的数量标志

储层中石油或天然气的丰度可以由液态烃或气态烃有机包裹体的数量较直观地反映出来。包裹体的绝对数量主要决定于晶体结晶时晶体表面缺陷的多少。然而, 在同一晶体表面有机包裹体与同期盐水溶液包裹体的相对数量, 主要决定于结晶时介质中油气含量的多少。如果矿物结晶时, 介质中液态烃占优势, 则必然是液态烃包裹体在数量上多于盐水溶液包裹体。因此, 我们可以用有机包裹体的数量来评价储层中石油、天然气的含量。对若干碳酸盐岩储层中的有机包裹体及盐水溶液包裹体的数量进行了统计, 结果列于表 2。从表 2 看出, 工业油气层中有机包裹体的数量, 多于油气显示层 2—3 倍, 多于非油气层 4 倍以上。

表 2 工业油气层中有机包裹体的数量

Table 2 Numbers of organic inclusions in industrial oil / gas reservoir beds.

储层油气情况	采样地点	时代	包裹体数量(%)			
			气态烃包裹体	盐水溶液包裹体	液态烃包裹体	盐水溶液包裹体
工业气层	川东福成崖某井	Tf	70	30		
	川东板东某井	P	80	20		
	川东铁山某井	C	90	10		
	川南威远某井	Z	85	15		
	黔北太和某井	S	80	20		
	黔北旺隆某井	P	75	25		
工业油层	华北油田	Z			90	10
	苏北油田	T			95	15
	川东某井	T			70	30
	新疆某井	T			85	15

3. 古温度标志

从生油岩中释放出烃类到聚集成为油气藏的过程, 是与温度及压力有直接关系的过程。温度升高, 有机质将转化为液态烃。温度再升高, 导致石油相变, 液态烃消失, 而变为气态烃。因而, 古温度也是评价能否形成工业油气藏的标志。对我国若干碳酸盐岩储层中与气态烃包裹体及液态烃包裹体伴生的盐水溶液包裹体, 进行了均一温度的测定, 测定结果列于表 3。以表 3 看出, 工业气层的古温度主要集中在 150—250℃; 工业油层主要集中在 97—161℃。其中未成熟油、低成熟油层主要集中在 61—110℃。

表3 若干储层中包裹体均一温度

Table 3 The homogenization temperature (Th) of inclusions from various reservoir beds

储层油气情况	采样地点及时代	包裹体均一温度 (℃)
油层	江汉第三系	61-110
	华北油田震旦系	120-145
	苏北油田三叠系	109-130
	新疆某井二叠系	122-137
气层	川西二叠系	190-260
	川东三叠 二叠 石炭系	150-255
	川南震旦系	158-320
	黔北二叠系 志留系	130-200

4. 包裹体的成分标志

包裹体的成分, 代表该包裹体形成时成矿流体的原始组成。实践证明, 原油从低成熟阶段演化到最终甲烷气阶段, 其中的有机与无机组成要发生变化。包裹体中的气体组成也发生一定规律的变化。例如: H_2O 、 CO_2 、 CH_4 这三种包裹体的主要气体成分, 低成熟原油阶段以 H_2O 、 CO_2 为主, 而最终甲烷气阶段则以 CH_4 为主。还原参数也发生有规律的变化。包裹体中的有机气体, 也随着石油向天然气转化而重组分减少, 轻组分增加, 表现在轻烃比值、湿度等参数也随之而变化。根据笔者对不同储层中有机包裹体及盐水溶液包裹体群的成分分析结果 (表 4、5), 结合林千子等 (1985)¹ 有关轻烃比值及气体组成三角图等资料, 以及上述的有机包裹体类型、特征、数量、同期盐水溶液包裹体的占温度等参数, 综合成工业油气藏远景评价的包裹体标志于表 6。

表4 包裹体气相成分分析结果

Table 4 Gas composition of inclusions

样品产地	油气情况	分析项目(ppm)							还原参数 ¹
		H_2O	CO_2	CH_4	H_2	O_2	N_2	CO	
江汉	油	380.0	12.5	0.65	0.19	微	0.37	微	0.53
华北	油	200.0	320.0	6.0	0.8	微	20.0	40.0	0.65
川东	气	425.0	110.2	84.6	微	微	52.0	微	2.11
川东	气	15.0	10.0	2.0	2.0	微	3.7	4.1	1.19

¹ 气态烃质量单位为 ml/g

¹ 林千子, 黎茂稳, 轻烃的地球化学研究 (1985)。

表 5 包裹体有机气体分析结果

Table 5 Organic gas composition of inclusions.

样品产状	油气情况	分析项目								湿度 (%)
		CH ₄		C ₂ H ₆		C ₃ H ₈		O ₄ H ₁₀		
		(1)	(2) %	(1)	(2) %	(1)	(2) %	(1)	(2) %	
川东三叠系	油	12.33	68.0	1.86	10.3	3.01	16.6	0.94	15.2	32
华北震旦系	油	12.45	69.5	0.89	5.0	4.85	25.6	1		30.5
川东石炭系	气	5.33	90.8	0.04	0.7	0.50	8.50	1		10.2
黔北二叠系	气	3.82	97.2	0.02	0.5	0.07	1.8	0.01	0.3	2.0

① 气态烃质量单位 ml · g⁻¹ ② 气态烃体积百分数

表 6 工业油气藏远景评价包裹体标志

Table 6 Inclusion indices for oil / gas potential assessment

油气储层情况	有机包裹体类型	有机包裹体与包裹体总数 (%)	同期盐水溶液包裹体的均一温度 (°C)	包裹体气相成分				
				轻烃比值	湿度 ^①	烃组成三角图		还原参数 ^②
				$\frac{C_1}{C_2} \frac{C_1}{C_3} \frac{C_1}{C_4}$	$\frac{C_2 - C_4}{C_1 - C_4}$	三角形顶点方向	联线位置	$\frac{CH_4 + CO + H_2}{CO_2}$
工业油层	纯液态烃包裹体及液态烃加少量气态烃组成的包裹体为主	> 60	60-160	2 2 2 1 1 1 10 14 21	> 20	向下	在椭圆内	0.5-1.0
工业气层	纯气态烃包裹体及由气态烃加少量液态烃或沥青组成的包裹体为主	> 60	150-250	10 14 21 1 1 1 35 82 200	< 10	向上	在椭圆内	> 1

① 还原参数系 CH₄、CO、H₂ 克分子数总和除以 CO₂ 的克分子数 ② 湿度系 C₂-C₄ / C₁-C₄ 的百分数

利用表 6 中的标志，对若干已知及未知地区或单井进行远景评价，证明基本是可行的

例如,对川东黄峡某井进行了天然气远景评价。该井下三叠系嘉陵江组碳酸岩盐储层中,有机包裹体的类型主要是纯气态烃包裹体及气态烃加少量液态烃组成的包裹体,其数量达60%,同期盐水溶液包裹体的均一温度为150—220℃, C_1/C_2 为2.2,还原参数为1.44。故认为该储层具工业气层的特征。但其有机包裹体的数量仅达60%,不如某些中型气藏高,故只能是小型气藏。又如对某井二叠系碳酸盐岩层进行评价,其中有机包裹体主要为液态烃加少量气态烃组成的包裹体,其数量占包裹体总数的60%,尚见30%的气态烃包裹体。液态烃包裹体发黄褐,褐色及兰色荧光。均一温度为146—161℃。 $C_1/C_2=3.1-5$, $C_1/C_3=7.5$ 。湿度为25,还原参数为0.53。包裹体烃气体组成三角图的顶点向下,AA'、BB' 连线相交于椭圆内,见图1。对比表6认为是以油为主的工业储层。上述结果与其它有机地化研究结果及实际测井结果是相符合的。

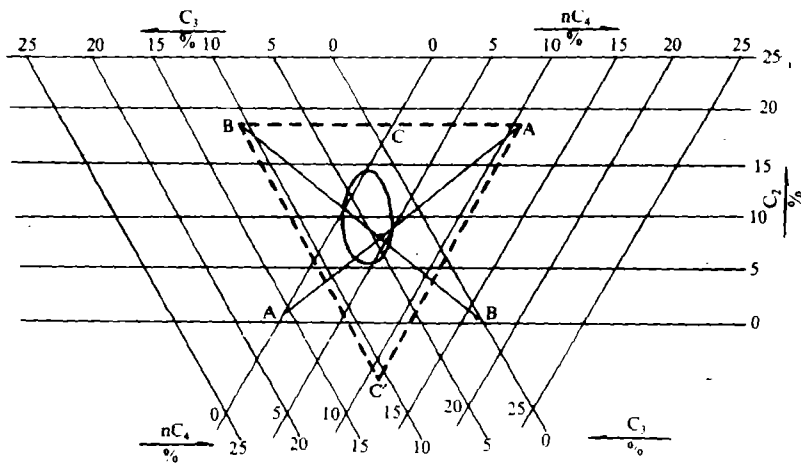


图1 包裹体气态烃组成三角图

Fig. 1 Trisngle diagram of constituents of gsa hydrocarbons from organic inclusions.

结 论

1. 有机包裹体的某些参数,可作为油气远景评价的有机地化标志;
2. 有机包裹体的研究,是一种动态的、综合性的研究,它与残烃的研究方法互为补充,使有机地化的方法更为完整;
3. 有机包裹体的研究,不受有机质多少、演化程度高低、岩心样或地表样的限制。是较直观、精确、经济、易于推广的新技术、新方法;
4. 该研究工作是探索性的,结果是初步的,有待于今后实践验证、补充修正。

本文是“七五”国家重点科技攻关研究的部份成果,研究工作得到傅家谟教授的指导,不少工作是与李本超同志共同完成的。四川石油研究所王一刚等提供了大量资料,特此致谢。

参 考 文 献

- (1) 施继锡、傅家谟、李本超、贾春芬, 1987, 沉积学报, 5卷, 期, 89-92页。
- (2) 施继锡、李本超、傅家谟、刘德汉、彭平安, 1987b, 中国科学 (B辑), 第3期318-326页。
- (3) Burruss.R.C.1981, Hydrocarbon Fluid Inclusion in Studies of Sedimentary Diagenesis, (Mineralogical Association of Canada.) Short Course in Fluid Inclusion; Application to Petrology, Calgary.

A Preliminary Study on Organic Inclusions as Indicators for Oil / Gas Potential Assessment in the Region of Carbonate Rocks

Shi Jixi

(Guangzhou Branch of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Either in the primary or the second migration stages, hydrocarbons could be trapped as organic inclusions, which are the direct indicators of abundance, evolution and migration of oil / gas, so long as crystallization or recrystallization takes place in the sediments.

Based on the comparative studies of organic inclusions in industrial reservoir beds, oil / gas show beds and non-oil / gas beds in carbonate rocks in China, many inclusion indices for oil / gas potential assessment are preliminarily concluded as follows:

Types and characteristics of organic inclusions: In industrial oil reservoir beds, pure liquid hydrocarbons or liquid hydrocarbons with minor gas hydrocarbons dominate in organic inclusions, liquid phase could be over 60% in inclusion volume, their colours are mostly yellow or yellowish brown with bright yellow, yellow or brownish yellow fluorescence. It must be under -140°C while cooling if they get frozen; while in industrial gas reservoir beds, pure gas hydrocarbons or gas hydrocarbons dominate the organic inclusions, and gas phase can be over 80% in inclusion volume, the inclusions are mostly near round with grey black colour. The main compositions are shown by cooling to be methane with no fluorescence or liquid hydrocarbons with dark blue fluorescence.

Numbers of organic inclusions: The relative abundance of organic inclusions and the saline water inclusions of the corresponding period may indicate the content of hydrocarbons in the ore-bearing fluids. According to the statistical results, the number of organic inclusion in industrial oil / gas reservoir beds are 2-3 times more than that in oil / gas show beds and over 4 times more than that in non-oil / gas beds.

Palaeotemperature of inclusions: The process in which hydrocarbons are released from oil-generating rocks and accumulated into the oil / gas reservoirs is related directly to the temperature. Based on the results from actual measurements, the palaeotemperature of industrial gas reservoir beds are mainly 150°C - 250°C , in comparison with 97 - 161°C in industrial oil-reservoir and 61 - 110°C in immature or low mature oil beds.

Composition of inclusions: The composition of inclusions may present the primary contents of

ore-bearing fluids. The main gas composition of inclusions, the contents, ratios, redox parameters or humidity etc. of organic gases are all excellent indices for their own peculiarity and characteristics. For instance, C_1 / C_2 of inclusions from industrial oil beds is 2-10, humidity is over 20, redox parameter is 0.5-1.0; while C_1 / C_2 of inclusions from industrial gas reservoir beds is 10-35, humidity is less than 10, and redox parameter is over 1.0.

The above-mentioned indices were used to assess the oil / gas potentials of the known or unknown areas and single-wells with satisfying results, which were consistent with the research results from other organic geochemical methods and the actual results of log-measurements. The practice confirms that organic inclusion is a new technique, which is precise, economic and easy to develop, although some aspects still need further investigations.