

四川盆地西南部储层有机包裹体组成和 碳同位素特征及其对油气来源的指示

唐俊红^{1,2)}, 张同伟¹⁾, 鲍征宇²⁾, 张铭杰³⁾

1) 中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 730000

2) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074; 3) 兰州大学资源环境学院, 730000

内容提要:本文对四川盆地西南部气区震旦系灯影组和二叠系茅口组、长兴组碳酸盐岩储层的有机包裹体特征、组成、碳同位素进行了研究, 追索了研究区油气的演化、运移及油气的成因。结果表明, 在震旦系灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中, 皆存在有三期以上的油气运移。不同储层中, 相应各期的油气运聚特点及演化程度略有不同, 灯影组中各期有机质的成熟度及油气演化程度均略高于二叠系; 同储层中, 各期油气运聚的特点及演化程度存在明显的差异, 可划分为三个阶段: 石油成熟阶段、高成熟凝析油-湿气阶段、过成熟干气阶段。研究区灯影组储层的天然气成因类型为油型气, 二叠系的为多成因; 各储层中的 CO₂ 主要为有机成因气, 少量为无机成因气。

关键词:有机包裹体; 成分; 碳同位素; 油气演化和运聚; 天然气成因

有机包裹体记载了油气从生成、运移、聚集到成藏的整个过程, 提供了大量的油气生成、运聚和温压等物化条件以及油气成分与演化等信息。因此, 有机包裹体研究在油气成藏史研究中具有不可替代的作用。目前, 包裹体油藏地球化学在国内外已广泛地应用于储层成岩作用分析 (Macpherson, 1992; Abid et al., 1999)、油气运聚 (Xiao et al., 1996; Volk et al., 2000; Liu et al., 2003) 和油气地质勘探 (杨惠民, 1997) 等, 并取得了许多成果, 为有机包裹体分析开辟了新道路。然而, 由于地质作用的复杂性以及测试仪器及方法的局限性, 使有机包裹体的应用也受到了一定的限制 (曾治平等, 2002; 赵厚银等, 2003; 张铭杰等, 2004)。本文结合川西南气田碳酸盐岩储层地质背景, 着重针对不同成藏期次次生矿物脉体中的有机包裹体特征、组合类型、均一温度和盐度进行了研究, 并采用激光拉曼光谱法、真空电磁破碎与质谱连用法分析了单个有机包裹体成分和群体包裹体的碳同位素组成, 以探讨该区油气的演化和运聚过程, 从而为在四川盆地西南部寻找油气的有利聚集空间提供帮助。

1 基本地质概况

四川盆地西南部气区位于龙泉山深断裂以东, 华蓥山深断裂以西, 属于川中地块西南段发育的中—低型断褶区, 构造走向以北东向及北北东向为主。震旦系到中三叠统以海相沉积的碳酸盐岩为主。经钻探证实该区地层剥蚀较多, 二叠系直接覆盖于寒武系及震旦系之上。由于该区发育的两组北东—北东东向隐伏断层将二叠系以下断层切成断阶带, 在致密岩层内发育了众多的构造裂隙及其伴生的溶蚀孔洞系统, 形成了许多高产气藏。本研究样品为钻井岩心, 采自四川盆地西南部气区10口钻井 (图1) 中的上震旦统灯影组、下二叠统茅口组和上二叠统长兴组的碳酸盐岩储层。在样品选择时, 精心选取同一期次形成的脉体或次生矿物进行分析, 基本可反映该期次有机包裹体的特点。

2 有机包裹体组成特征

有机包裹体是指主要由液态烃、气态烃或固体沥青组成的包裹体。无论是在生油岩中烃类生成后的初次运移阶段, 还是油气在储层运移聚集的次生运移阶段, 只要沉积岩中发生结晶或重结晶作用, 就

注: 本文为国家自然科学基金项目 (编号 40072048) 资助成果。

收稿日期: 2004-03-29; 改回日期: 2004-07-19; 责任编辑: 周健。

作者简介: 唐俊红, 女, 1964年生, 高级工程师, 博士研究生。主要从事岩矿、地球化学研究和测试工作。通讯地址: 730000, 兰州东岗西路324号, 中国科学院兰州地质研究所; Email: Tang_jh@tom.com。

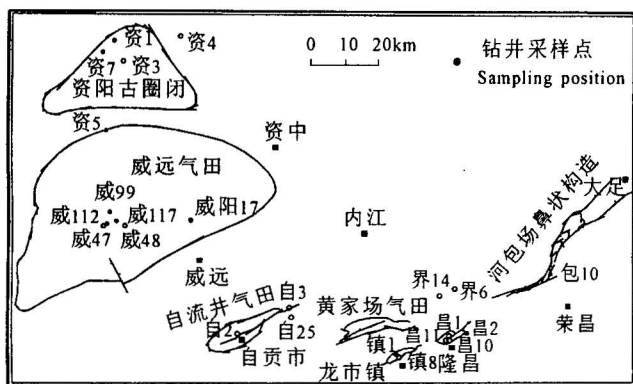


图1 四川盆地西南部取样位置图

Fig. 1 Map of sampling sites in southwest Sichuan Basin
可以捕获油或气而形成有机包裹体(施继锡等, 1987; Pironon et al., 1990)。

通过镜下鉴定,四川盆地西南部气区碳酸盐岩储层有机包裹体可分为:纯液态烃包裹体、纯气态烃包裹体、气液两相烃包裹体、碳质气态烃包裹体、沥青包裹体和含烃有机包裹体(唐俊红等, 2003)。灯影组储层中的有机包裹体特征及组合类型与二叠系茅口组和长兴组储层略有差异(表1)。

灯影组样品采自威远和资阳两气田6口钻井中,见有三期有机包裹体,第Ⅰ期主要分布在溶孔中的细粉粒泥晶白云石中,由气液比为5%~15%的气液两相烃和纯液态烃组成,个体一般为2~8 μm ;第Ⅱ期分布在平行孔洞壁生长的粗粒白云石或脉状粗粒白云石中,由气液比15%~60%的气液两相烃和少

量纯气态烃组成,个体略大,但小于12 μm ;第Ⅲ期分布在粗粒白云石石英脉中,以气态烃为主,个体小,1~4 μm ;次为气液比大于60%的气液两相烃和沥青包裹体,个体较气态烃大,一般在5~15 μm 之间,该期有机包裹体在灯影组三期有机包裹体中数量最多,占60%~70%。

二叠系茅口组和长兴组样品采自威阳17井、昌2井、镇1井和包10井,也见有三期有机包裹体。第Ⅰ期以纯液态烃为主,次为气液两相烃,气液比小于10%,个体小于5 μm ,分布在溶孔方解石中;第Ⅱ期主要为气液两相烃包裹体,气液比10%~35%,一般2~8 μm ,分布在石英方解石脉中,脉中还可可见黄铁矿,说明其为成岩期后热液活动时期的产物;第Ⅲ期以气液比大于30%的气液两相烃有机包裹体为主,次为纯气态烃,含少量沥青包裹体,个体多在5~10 μm ,主要分布在石英方解石脉的次生裂隙或胶结物中,可见其切穿第Ⅱ期包裹体,该期包裹体数量多,占这三期有机包裹体的近50%。

由上可知:研究区灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中,皆存在三期有机包裹体。在不同储层中,相应各期的有机包裹体特征、组合类型略有不同,总体来看,灯影组有机包裹体的成熟度较二叠系高;同储层中,不同期次有机包裹体特征、组合类型明显不同,从Ⅰ期到Ⅲ期,有机包裹体的成熟度明显增高。

3 储层流体包裹体均一温度和盐度

均一温度为包裹体形成时的温度,与有机包裹

表1 四川盆地西南部碳酸盐岩主要产层和储层有机包裹体特征

Table 1 Characteristics of the organic inclusions in the carbonate rocks from southwestern Sichuan Basin

层位	期次	寄主矿物	有机包裹体					盐水溶液包裹体			
			组成特征	气液比(%)	颜色	荧光	数量	组成特征	气液比(%)	均一温度(℃)	盐度(%)
茅口组 长兴组	Ⅲ	石英方解石的裂隙或胶结物	气液两相烃为主	>30	黑褐	暗蓝或无	多	气液包裹体	10~20	170~190	10.5
			次为纯气态烃		灰色	无					
			少量沥青包裹体	黑色	蓝色						
	Ⅱ	石英方解石	气液两相烃为主	10~35	褐色	暗蓝	少	气液包裹体	5~10	120~160	8.1
			纯液、气态烃少		灰色						
	Ⅰ	方解石	纯液态烃为主		液相	暗黄	少	气液包裹体	<5	100~110	6.0
			次为气液两相烃	<10	浅黄	暗黄					
灯影组	Ⅲ	粗粒石英白云石	纯气态烃为主		褐—灰	无	多	气液包裹体	10~25	190~220	10.9
			次为气液两相烃	>60	灰色	暗蓝					
			少量沥青包裹体		黑色	蓝色					
	Ⅱ	粗粒白云石	气液两相烃	15~60	褐色	暗蓝	少	气液包裹体	10~20	160~190	15.0
			少量纯气态烃			无					
	Ⅰ	细粒白云石	纯液态烃		液相	暗黄	少	气液包裹体、 纯液包裹体	5~15	120~150	12.0
			气液两相烃	5~15	浅紫	暗黄					

注:均一温度测试单位:中国地质大学(武汉)和廊坊石油天然气研究所;测试仪器:Linkam TH600 and Leitz 1350冷热台。测试数据316

个。荧光的激发条件:激发光和荧光光谱区域分别为350~550 nm、420~650 nm。

体同期的盐水包裹体均一温度可反映捕获包裹体时介质流体的温度和盐度(施继锡等, 1996; 刘斌等, 1999)。对研究区灯影组和二叠系茅口组、长兴组的包裹体作了均一温度(图2)和盐度(表1)测定。由图2可见: 灯影组包裹体的均一温度存在3个明显的峰值区: 120~150℃、160~190℃及200~210℃, 平均盐度分别为12.0%、15.0%和10.9%。其中120~150℃的包裹体大多赋存于Ⅰ期细粉粒泥晶白云石中, 160~190℃的包裹体赋存于Ⅱ期粗粒白云石中, 而200~210℃的包裹体群体赋存于Ⅲ期粗粒石英或白云石中。在二叠系茅口组和长兴组中, 与Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期有机包裹体同期的盐水包裹体均一温度分别分布在100~110℃、120~160℃和170~190℃, 平均盐度分别为6.0%、8.1%和10.5%, 分别分布在溶孔方解石、石英方解石脉及石英方解石脉的次生裂隙和胶结物中。

由上可见, 包裹体均一温度分布特征也显示了在上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中皆存在三期有机包裹体, 且上震旦统灯影组各期包裹体的均一温度皆高于二叠系相应各期, 整个灯影组盐水溶液包裹体的盐度也高于二叠系。

4 有机包裹体成分分析

有机包裹体的成分代表了它被捕获时所在的岩石中孔隙流体的组分。烃类演化过程是不断加氢的过程, 即 CO_2 和 H_2O 迅速减少, 轻烃组分不断增加, CH_4 含量上升, 最后以 CH_4 为主的过程。因此不同的油气运移期次, 其包裹体有机组分及有机组分含量的差别是判断油气运移期次的依据(陈建平等, 2000)。

本研究采用激光拉曼光谱分别对上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中不同期次的单个

气液两相烃有机包裹体进行了分析(表2)。根据 CH_4 含量、总烃含量(ΣC)和 $\text{CH}_4/(\text{CH}_4+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ 值(A)(表2)可以看出: 灯影组中Ⅰ、Ⅱ两期有机包裹体总烃的含量分别与二叠系Ⅰ、Ⅱ两期的相近, 但Ⅲ期的高于二叠系, 这可能是由于在威99样品中选择了纯气态烃有机包裹体分析而使有机成分偏高所造成; 总的看来, 灯影组中各期有机包裹体的有机成分含量与二叠系相应各期相差不明显。灯影组中各期有机包裹体甲烷的含量及 $\text{CH}_4/(\text{CH}_4+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ 值均略高于二叠系相应各期, 显示了灯影组有机包裹体有机成分的成熟度均略高于二叠系相应各期。在同一储层中, 从Ⅰ到Ⅲ期有机包裹体总烃含量、 CH_4 含量及 $\text{CH}_4/(\text{CH}_4+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ 值明显不同且呈增高趋势, 进一步证实了在上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中皆存在有三期有机包裹体, 且有机包裹体的有机成分含量及有机成分的成熟度从Ⅰ到Ⅲ期呈明显增高趋势, 该规律在灯影组表现尤为明显。

5 有机包裹体碳同位素组成分析

本研究采用真空电磁破碎法与质谱计联机分别对灯影组、茅口组和长兴组储层中不同期次有机包裹体气体组分和碳同位素组成进行了分析, 该项分析是在中国科学院兰州地质所气体地球化学国家重点实验室测试。气体组分分析精确度为5%, 碳同位素分析精确度为1.5‰。

灯影组、茅口组和长兴组中包裹体的 CH_4 同位素及干燥系数($\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$)特征如表3和图3(于津生等, 1997)所示。由此可知: 灯影组中各期有机包裹体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 和 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 值分布在过成熟油型气区(V)的居多、次为油型气区(Ⅲ), 仅有两点分布在靠近油型气区(Ⅲ)的油型气与煤型气混合区(Ⅳ)的边界及边

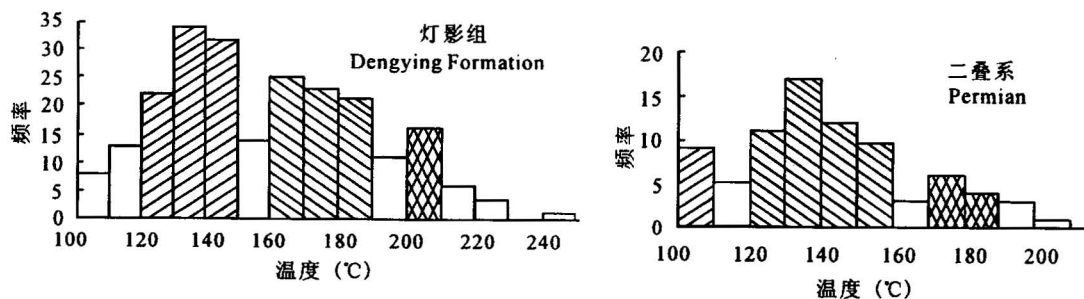


图2 四川盆地西南部碳酸盐岩中流体包裹体均一温度直方图

Fig. 2 The homogenization temperatures distribution of fluid inclusions in the carbonate rocks from southwestern Sichuan Basin

表 2 有机包裹体气相激光拉曼光谱分析主要成分相对百分含量(%, 以 mol 为单位)

Table 2 Gas composition (% , in mol) of organic inclusions determined by laser Raman microprobe

层位	期次	井号	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₆	C ₆ H ₆	ΣC	CO ₂	H ₂ O	A	CH ₄ 平均值	ΣC 平均值	A 平均值
长兴组茅口组	Ⅲ	包10	25.0							25.0	43.1		0.37	25.0	25.0	0.37
		镇1	20.4			3				23.4	63.0		0.24			
		镇1	7.4							7.4	23.8		0.24	13.6	19.6	0.23
		威阳17	13.1				8.7		6.3	28.1	48.6		0.21			
	I	镇1	9.9	2.8						12.7	40.7		0.20			
		包10	7.1						4.3	11.4	29.0		0.20			
		昌2						5.5	5.9	11.4	46.5	36.0	0	4.2	14.4	0.10
		镇1		13.8			9.1			21.9	68.6		0			
		威99	46.3	29.9			23.8			100			1			
		威99	32.4	3.6						36.0	46.3		0.41			
		威117	22.2	2.9	5.5				3.0	33.6	47.8	18.6	0.25	28.4	47.5	0.45
		威112	18.6		1.9	3.7				24.2	42.0		0.31			
		威117	22.7		11.5		6.2	3.1		43.5	56.5		0.29			
灯影组	Ⅲ	资1	18.8						9.2	28.0	72.0		0.21			
		资5	17.5							17.5	20.0		0.47			
		资7	13.5			8.1		5.3	5.5	32.4	50.4		0.21	14.0	21.8	0.28
		资1	6.2						3.0	9.2	20.9		0.23			
		威112	8.9						7.6	16.5	62.5		0.12			
	I	威117	4.8							4.8	42.3		0.10			
		威99	5.3		5.1					10.4	85.2		0.06			
		威99	6.7	4.7						11.4	47.1		0.12	7.03	11.8	0.11
		威117	16.5					4.3		20.8	61.8		0.21			
		威117		7.0						7.0	65.2		0			

注: $A = n(\text{CH}_4) / [n(\text{CH}_4) + n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O})]$ 。表中仅列出了有机包裹体气相激光拉曼光谱分析主要成分的相对百分含量(以 mol 为单位)。成分测试采用法国 J-Y 公司 Ramanor-U 1000 型激光拉曼探针。实验条件 Ar^+ 激光波长 514.5 μm; 激光功率 600 MW, 双单色器狭缝 450 μm, 色散率 9.2 cm⁻¹/mm, 光电倍增管高压 1530 V, 光谱范围 11000~32000 cm⁻¹, 精度 1 cm⁻¹ 左右, 重复性 0.1 cm⁻¹ 左右。测试单位: 国土资源部西安地质矿产研究所测试中心。灯影组数据引自唐俊红等(2004)。

表 3 各储层包裹体的 δ¹³C_{CH₄}、δ¹³C_{CO₂} 和 C₁/C₂₊₃ 值Table 3 δ¹³C_{CH₄}, δ¹³C_{CO₂} and C₁/C₂₊₃ of inclusions in the reservoirs

层位	上震旦统灯影组													
井号	威99	威99	威99	威99	威112	威117	威117	威117	威117	资1	资1	资5	资5	资7
C ₁ /C ₂₊₃	55.9	105.1	971.6	50.4	139.7	310.3	822.1	1908.0	23.6	4.7	185.0	91.0	38.2	49.3
δ ¹³ C _{CH₄}	-41.9	-34.4	-38.7	-39.4	-29.9	-36.5	-35.0	-34.5	-50.7	-42.1	-39.2	-28.4	-40.5	-40.4
δ ¹³ C _{CO₂}	-9.8	-11.1	-12.3	-3.6	-6.7	-9.4	-12.8	-18.3	-13.6	-6.7	-11.6	-14.4	-16.6	-17.4
层位	下二叠统茅口组												下二叠统长兴组	
井号	昌2	昌2	昌2	威阳17	威阳17	威阳17	威阳17	威阳17	威阳17	镇1井	镇1井	镇1井	包10井	包10井
C ₁ /C ₂₊₃	35.1	89.7	30.0	392.2	173.1	139.9	30.6	217.7	70.1	8.6	30.6	63.2	38.2	156.3
δ ¹³ C _{CH₄}	-34.2	-29.8	-26.4	-36.8	-31.3	-20.2	-29.9	-31.8	-34.7	-41.4	-36.1	-38.8	-23.3	-35.7
δ ¹³ C _{CO₂}	-20.9	-15.6	-11.0	-20.7	-6.1	-4.5	-6.5	-25.2	-11.8	-26.0	-2.6	-5.1		-5.8

缘; 二叠系茅口组和长兴组中, 各期有机包裹体 CH₄ 的 δ¹³C_{CH₄} 和 C₁/C₂₊₃ 值在上述四区皆分布。各储层有机包裹体中 CO₂ 的 δ¹³C_{CO₂} 也不同, 灯影组的 δ¹³C_{CO₂} 主要分布在 -18.3‰~-11.1‰, 两点介于 -10.0‰~-8.0‰ 之间 (-9.4‰、-9.8‰), 大于 -8‰ 的有三点 (-6.7‰、-6.7‰、-3.6‰); 二叠系茅口组、长兴组的 δ¹³C_{CO₂} 变化范围比较大, 从

-20.9‰~-2.6‰(表3)。

6 讨论和结论

6.1 油气的运移期次和演化程度

根据有机包裹体的特征、组合类型、均一温度以及激光拉曼光谱测试结果综合分析, 推测在研究区上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中, 皆存在三次以上的油气运移。不同储层中, 相应各期

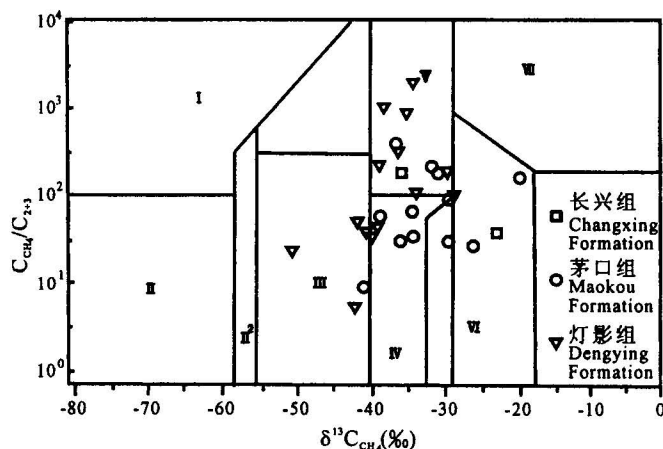


图 3 各储层天然气的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 值和 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 分布图

Fig. 3 Distribution map of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ and $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$

of natural gas in the reservoirs

I—生物气区；II、II²—混合气区；III—油型气区；IV—油型气和煤型气的混合区；V—过成熟油型气区；VI—煤型气区；VII—无机气区

I—Bio-generating gas; II, II²—mixed gas; III—oil-generating gas; IV—oil-generating and coal-generating gas; V—overmature oil-generating gas; VI—coal-generating gas; VII—inorganic gas

的油气运聚特点和演化程度略有不同,从整体上看,上震旦统灯影组中各期有机质的成熟度及热演化程度均略高于二叠系;同储层中,不同油气运聚期次的特点及演化程度则存在明显的差异,根据有机包裹体特征、组合类型、数量、均一温度以及化学组成,可将上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层的油气演化和运聚划分为三个阶段,即:

(1) 石油成熟阶段:储层中液态烃大规模运移和聚集,少量液态烃开始裂解,矿物中捕获了纯液态烃和气液两相烃类有机包裹体,有机质已达到成熟阶段,形成大量的石油。

(2) 高成熟凝析油-湿气阶段:储层中气态烃、液态烃大规模运移和聚集,液态烃进一步裂解,矿物中捕获了大量气液两相烃和部分气态烃包裹体,有机质已达到高成熟阶段。

(3) 过成熟干气阶段:储层中液态烃已基本全部裂解,气态烃开始大规模运移和聚集,矿物中捕获了大量纯气态烃和高气液比的气液两相烃有机包裹体,并含有热裂解作用形成的残留物——沥青包裹体。此时在高温作用下,液态烃已裂解形成干气,有机质达到过成熟阶段。

6.2 天然气成因分析

油气演化各阶段所捕获的有机包裹体其同位素

特征将反映油气演化的程度及其成因,因而通过对储层中不同期次有机包裹体气态烃和液态烃同位素分析,可有效的示踪其成因和来源(Jensenius et al., 1990)。

上震旦统灯影组有机包裹体甲烷碳同位素结果显示: $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 和 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 值主要分布在过成熟油型气区,其次为油型气区,仅有两点分布在靠近油型气区(III)的油型气与煤型气混合区(IV)的边界及边缘。从地质背景上分析,威远、资阳地区其气源主要来自灯影组气藏的盖层寒武系九老洞组的海相沉积的碳酸盐岩(陈文正,1992;戴金星,2003),结合有机包裹体特征、分布特点、组合类型、均一温度及有机成分可知,灯影组中高成熟—过成熟的气态烃和高气液比有机包裹体数量最多,这与其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 和 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 值主要分布在过成熟油型气区(V)相吻合。因此灯影组储层的天然气成因应为油型气,且成熟度很高,分布在油型气与煤型气混合区边缘的两点应归属为油型气。

二叠系茅口组、长兴组中,有机包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 和 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 值在 III、IV、V、VI 四区皆分布,显示出储层天然气为多成因的混合气。从地质构造发育史和演化史来看,研究区发育有多套烃源岩,乐山-龙女寺古隆起在加里东运动定型之后,经历了印支期、燕山期、喜马拉雅期多构造旋回改造,使致密岩层内发育了众多的构造裂隙及其伴生的溶蚀孔洞系统(李国辉等,2000),这些构造裂隙及溶蚀孔洞可以沟通不同的烃源岩和储层,使多期天然气混合,这种混合作用可能是造成二叠系天然气多成因的重要原因。

天然气中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 的特征是鉴别 CO_2 成因类型及来源的重要指标。国内外大量的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 研究得出:无机成因的二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 大于 -8‰ ,有机成因的二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 小于 -10‰ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 介于 $-10\text{‰} \sim -8\text{‰}$ 之间为有机成因与无机成因的共存区或混合区(戴金星等,1997;Dai et al., 2000)。灯影组有机包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 主要分布在 $-18.3\text{‰} \sim -11.1\text{‰}$,两点介于 $-10.0\text{‰} \sim -8.0\text{‰}$ 之间,三点大于 -8‰ ;二叠系茅口组、长兴组的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 变化范围比较大,从 $-20.9\text{‰} \sim -2.6\text{‰}$ 。前人对四川盆地天然气中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 研究结果表明(戴金星等,2001),四川盆地天然气中的 CO_2 为有机成因。从上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组中有机包裹体二氧化碳的碳同位素分析结果可见:各储集层中有机包裹体的 CO_2 主要为有机成因,同时也存在无机成因的 CO_2 ,后者可能是由于研究区碳酸盐岩储层受到多期天然

气运移和充注(李国辉等,2000),使碳酸盐岩发生热分解释放出 CO_2 并被包裹在有机包裹体中所致。因此研究区上震旦统灯影组和二叠系茅口组、长兴组储层中的有机包裹体的 CO_2 主要为有机成因气,但也包含有部分无机成因气。

致谢: 本研究在样品采集过程中,得到川西南气矿吕宗刚总地质师及其同事的大力支持和指导,在此致以衷心地感谢!

参 考 文 献

- 陈建平,查明,周瑶琪. 2000. 有机包裹体在油气运移研究中的应用综述. 地质科技情报, 19(1): 61~64.
- 陈文正. 1992. 再论四川盆地威远震旦系气藏的气源. 天然气工业, 12(6): 28~32.
- 戴金星. 2003. 威远气田成藏期及气源. 石油实验地质, 25(5): 473~480.
- 戴金星, 李先奇, 宋岩. 1997. 论中国东部和大陆架二氧化碳气田(藏)及其气的成因类型. 天然气地质研究新进展. 北京: 石油工业出版社, 183~203.
- 戴金星, 夏新宇, 卫延召, 陶士振. 2001. 四川盆地天然气的碳同位素特征. 石油实验地质, 23(2): 115~132.
- 李国辉, 李翔, 杨西南. 2000. 四川盆地加里东古隆起震旦系气藏成藏控制因素. 石油与天然气地质, 21(1): 80~83.
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学. 北京: 地质出版社, 171~206.
- 施继锡, 李本超, 傅家谟, 等. 1987. 有机包裹体及其与油气的关系. 中国科学(B辑), (3): 318~325.
- 施继锡, 余孝颖. 1996. 碳酸盐岩中包裹体有机质特征与非常规油气评价. 矿物学报, 16(2): 103~108.
- 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 2003. 四川盆地川西南部流体包裹体特征及其在石油地质上的应用. 地质科技情报, 22(4): 60~64.
- 唐俊红, 张同伟, 鲍征宇, 等. 2004. 四川盆地威远气田碳酸盐岩中有有机包裹体研究. 地质论评, 50(2): 210~214.
- 杨惠民. 1997. 包裹体类型和成分特征在油气运移和油气储层评价中的应用. 海相油气地质, 2(3): 16~21.
- 于津生, 李耀崧. 1997. 中国同位素地球化学研究. 北京: 科学出版社, 490.
- 张铭杰, 唐俊红, 张同伟, 等. 2004. 流体包裹体在油气地质地球化学中的应用. 地质论评, 50(4): 397~406.
- 赵厚银, 王延斌, 邵龙义. 2003. 有机包裹体的研究现状及发展趋势. 辽宁工程技术大学学报, 22(5): 603~605.
- 曾治平, 王敏芳, 倪建华. 2002. 油气成藏期次研究中有有机包裹体方法存在问题探讨. 天然气地球科学, 13(3~4): 55~59.

References

- Abid G. B., Dag A K., Kristian Backer-Owe, et al. 1999. Dating reservoir filling — a case history from the North Sea. Marine and Petroleum Geology, 16: 581~603.
- Chen J P., Zha M., Zhou Y Q. 2000. Application of organic inclusion in oil-gas migration. Geological Science and Technology Information, 19(1): 61~64 (in Chinese with English abstract).
- Chen W Z. 1992. Discussing gas sources of Wei yuan gas field in Sichuan Basin again. Natural Industry, 12(6): 28~32.
- Dai Jinxing. 2003. Pool-forming periods and gas sources of Wei yuan Gas Field. Petroleum Geology & Experiment, 25(5): 473~480 (in Chinese with English abstract).
- Dai Jinxing, Li Xianqi, Song Yan. 1997. Origin Types on CO_2 Gas Pools and Their Gas in the Eastern China and Continental Shelf. New Development of Research on Geology of Natural Gas. Beijing: Petroleum Industrial Press, 183~203 (in Chinese).
- Dai Jinxing, Xia Xinyu, Wei Yanzhao, Tao Shizhen. 2001. Carbon isotope characteristics of natural gas in Sichuan Basin, China. Petroleum Geology & Experiment, 23(2): 115~132 (in Chinese with English abstract).
- Jensenius J., Burruss R C. 1990. Hydrocarbon-water interactions during brine migration: evidence from hydrocarbon inclusions in calcite cements from Danish North Sea oil fields. Geochim. Cosmochim. Acta, 54(3): 707~713.
- Li Guohui, Li Xiang, Yang Xinan. 2000. Controlling factors of Sinian gas pools in Caledonian paleouplift, Sichuan Basin. Oil & Gas Geology, 21(1): 80~83 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bing, Shen Kun. 1999. Thermodynamics of Fluid Inclusion. Beijing: Geological Publishing House, 171~206 (in Chinese).
- Liu D H., Xiao X M., Mi J K., et al. 2003. Determination of trapping pressure of temperature of petroleum inclusions using PVT simulation software—— A case study of Lower Ordovician carbonates from the Lunnan low uplift, Tarim Basin. Marine and Petroleum Geology, 20: 29~43 (in Chinese with English abstract).
- Macpherson G L. 1992. Regional Variations information water chemistry: major minor elements, Frio Formation fluids, Texas. AAPG Bulletin, 76: 740~757.
- Pironon J., Barres Q. 1990. Semi-quantitative FI.-IR microanalysis limits: Evidence from synthetic hydrocarbon fluid inclusions in sylvite. Geochim. Cosmochim. Acta, 54: 509~518.
- Shi Jixi, Li Benchao, Fu Jiamo. 1987. Organic inclusions and the relation of organic inclusions and oil/gas. Science in China (Series D), (3): 318~325 (in Chinese with English abstract).
- Shi Jixi, Yu Xiaoying. 1996. Characteristics of organic matter in carbonate rocks and unconventional evaluation of oil and gas. Acta Mineralogica Sinica, 16(2): 103~108 (in Chinese with English abstract).
- Tang Junhong, Zhang Tongwei, Bao Zhengyu, et al. 2003. Fluid inclusions study and its application in oil geology of southwest Sichuan Basin. Geological Science and Technology Information, 22(4): 60~64 (in Chinese with English abstract).
- Tang Junhong, Zhang Tongwei, Bao Zhengyu, et al. 2004. Organic inclusion study in the carbonate reservoir bed of Wei yuan gas field, Sichuan Basin. Geological Review, 50(2): 210~214 (in Chinese with English abstract).
- Volk H., Mann U., Burde O., et al. 2000. Petroleum inclusions and residual oils: constraints for deciphering petroleum migration. Journal of Geochemical Exploration, 69~70: 595~599.
- Xiao Xianming, Liu Denan, Fu Jiamo. 1996. Multiple phases of hydrocarbon generation and migration in the Tazhong petroleum system of the Tarim Basin, People's Republic of China. Organic Geochemistry, 25(3~4): 191~197.
- Yang H M. 1997. Types and characteristics of component of inclusions and their application in migration of oil-gas and assessment about reservoir. China Offshore Oil & Gas, 2(3): 16~21 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinsheng, Li Yaosong. 1997. Study of isotopic geochemistry of China. Beijing: Science Press, 490.

- Zhang Mingjie, Tang Junhong, Zhang Tongwei, et al. 2004. Applications of the fluid inclusions in petroleum and natural gas geology and geochemistry. *Geological Review*, 50(4): 397~406 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Houying, Wang Yanbing, Shao Lunyi. 2003. Present situation and developing tendency of organic inclusion. *Journal of Liaoning Technical University*, 22(5): 603~605 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Zhiping, Wang Mingfang, Ni Jianhua. 2002. Discussion on existent problem in study of hydrocarbon accumulation period. *Natural Gas Geoscience*, 13(3~4): 55~59 (in Chinese with English abstract).

Component and Carbon Isotope Characteristics of Organic Inclusions in Reservoirs and Their Hydrocarbons as Tracers of Oil and Gas

TANG Junhong^{1,2)}, ZHANG Tongwei¹⁾, BAO Zhengyu²⁾, ZHANG Mingjie³⁾

1) State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Science, Lanzhou, 730000

2) Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, 430074

3) Department of Geology, College of Resource and Environmental science, Lanzhou University, Lanzhou, 730000

Abstract

Organic inclusions are primal fluid samples in oil and gas pool formation and can serve as an effective tool for studying the formation, evolutionary history, migration and accumulation of oil and gas. According to characteristics, homogenization temperatures, chemical and isotopic compositions of the organic inclusions in the Sinian Dengying Formation, and Permian Maokou and Changxing Formations, we analyze the stages of migration and accumulation, evolution and origin of oil and gas in the southwest Sichuan Basin. The results show that the oil and gas have three stages of migration and accumulation either in the Dengying Formation or the Maokou and Changxing Formations. The characteristics of migration, accumulation and evolutionary history of oil and gas in corresponding stages are slightly varied in different reservoirs and the maturity degree of organic matter and the degree of evolution of oil and gas in the Dengying reservoirs are slight higher than those in the Permian reservoirs. Such Characteristics are different obviously in different oil-gas migration and accumulation stages in the same reservoir. Natural gas in the Dengying reservoir is oil-generating in origin, but that in the Permian reservoirs is of multi-origin. The CO₂ is primarily of organic origin while secondarily of inorganic origin.

Key words: organic inclusion; homogenization temperature; chemical and isotopic composition; migration and oil-gas accumulation; origin of natural gas