

# 川西南震旦系储集层有机包裹体在 油气运移研究中的应用

唐俊红<sup>1,2</sup>, 张同伟<sup>2</sup>, 鲍征宇<sup>1</sup>, 张铭杰<sup>3</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国科学院兰州地质所气体地球化学国家重点实验室, 甘肃兰州 730000

3. 兰州大学资源环境学院, 甘肃兰州 730000

**摘要:** 有机包裹体在油气成因、运移和演化研究中具有重要的意义。川西南震旦系灯影组储层中次生成因孔洞缝发育, 经历了多期白云石和硅质充填。对不同期次充填矿物中的有机包裹体特征及荧光进行了观察, 测定了各期盐水包裹体均一温度, 其主峰分布在 120~150 °C、160~190 °C 和 200~210 °C; 并采用真空破碎法对各期有机包裹体的化学成分及碳同位素组成进行了分析, 其化学成分以 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 为主, 各期中的  $\omega(\text{CH}_4)$  含量分别为 10.09%~22.08%、27.06%~40.40% 和 55.33%~74.01%, 相应的  $\omega(\text{CO}_2)/\omega(\text{CH}_4)$  值为 3.37~5.87, 1.20~2.20 和 0.26~0.63。CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的碳同位素组成分别为  $(-50.7\sim-28.4)\times 10^{-3}$  和  $(-18.3\sim-3.6)\times 10^{-3}$ 。据此追述了研究区油气的成因性质、油气的演化和运移。结果表明, 研究区震旦系灯影组储层的天然气为油型气; CO<sub>2</sub> 主要为有机成因, 有少量为无机成因; 研究区存在有 3 期以上的油气运移, 且各期油气演化程度不同。

**关键词:** 有机包裹体特征; 均一温度成分; 同位素; 油气演化和运聚; 天然气成因。

中图分类号: P593; P595

文章编号: 1000-2383(2005)02-0228-05

收稿日期: 2004-07-15

## Application of Organic Inclusion in Oil-Gas Migration of Sichuan Reservoir of Southwest Sichuan Basin

TANG Jun-hong<sup>1,2</sup>, ZHANG Tong-wei<sup>2</sup>, BAO Zheng-yu<sup>1</sup>, ZHANG Ming-jie<sup>3</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

3. College of Resource and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** Organic inclusion is of great importance to the study of development, migration and origin of oil and gas. In Southwest Sichuan basin there are many pores, holes and fractures in the Sinian Dengying reservoir. The pore spaces were filled by dolomites and quarters of different stages. This paper analyzes the characteristics, fluorescence, homogenization temperatures, and chemical and isotopic compositions of the organic inclusions in the filled minerals of different stages. The homogenization temperatures of the organic inclusions in different stages distribute between 120–150 °C, 160–190 °C and 200–210 °C. The chief chemical composition of the organic inclusions is CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> contents of different stages' inclusions are respectively 10.09%–22.08%, 27.06%–40.40%, 55.33%–74.01%, corresponding values of their CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> content being 3.37–5.87, 1.20–2.20, 0.26–0.63. On this basis, the authors analyze the stages of the origin, development, migration and accumulation of oil and gas. Results show that the natural gas is oil-generating. CO<sub>2</sub> is of organic origin and there is a little inorganic CO<sub>2</sub>. There are three stages of migration and accumulation of oil and gas in the Sinian Dengying reservoir, which are different in history of development.

**Key words:** organic inclusion characteristics; homogenization temperature composition; isotope; migration and accumulation; origin.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40072048).

作者简介: 唐俊红 (1964—), 女, 高级工程师, 博士研究生, 现主要从事气体地球化学、岩矿研究和测试分析工作。E-mail: Tang\_jjh@tom.com

有机包裹体广泛分布于油气盆地中与生物、有机质有关的各类岩石矿物中,它是成矿及油气流体保留至今的唯一原始样品。储集层孔洞缝充填矿物中的有机包裹体是储集层中烃类运聚时被捕获的有机质,它客观地记载了油气演化及运聚过程,是我们释译油气演化、运聚的重要“密码”(Roedder, 1963; Roedder, 1984)。

威远、资阳属于川西南气区(图1),它位于四川东部侏罗山式褶皱西界以西,龙泉山断裂以东,为四川盆地中部南段。威远穹隆是四川盆地最大的穹隆,其背斜主体呈东西走向,复合改造呈北东走向,资阳位于威远背斜北翼。该区主要储集层为上震旦统灯影组浅海碳酸盐台地潮坪沉积层,其中隐藻白云岩后生孔洞缝发育,是主要储集层。本文从包裹体类型、均一温度、成分及同位素等方面对威远、资阳地区震旦系灯影组储集层中孔洞缝充填矿物的有机包裹体进行了详细的研究,希望对该区天然气勘探有所裨益。

## 1 样品特征

研究区裂缝和后生孔溶洞是碳酸盐岩油气运移和聚集的主要通道,因此在野外采样和岩石薄片制片过程中除选取孔洞缝中最主要的充填矿物外,还注意在不同时期的孔洞缝系统中选取代表性样品,从6口钻井共采集震旦系灯影组样品52个。

通过野外及镜下观察表明:在不同时期孔洞缝系统中多充填有3期与含烃热流体活动有关的矿物或岩脉,从早到晚依次为:(1)细粉粒泥晶白云石Ⅰ期,常呈纤状垂直孔洞壁生长;(2)粗粒白云石Ⅱ期,多平行孔洞壁生长或呈脉状;(3)粗粒石英白云石Ⅲ期,呈脉状穿插于Ⅱ期脉中,偶见于孔洞中心(唐俊红等,2004)。

## 2 有机包裹体主要特征

### 2.1 有机包裹体特征和均一温度

不同性质的烃类及不同的油气演化阶段,有机包裹体组合类型不同(赵文智等,1998)。与其同期的盐水包裹体均一温度则反映了捕获包裹体时介质流体的温度(施继锡和余孝颖,1996;刘斌和沈昆,1999)。根据有机包裹体的显微特征、赋存状态和荧光特征等,将震旦系灯影组储集层中孔洞缝充填矿

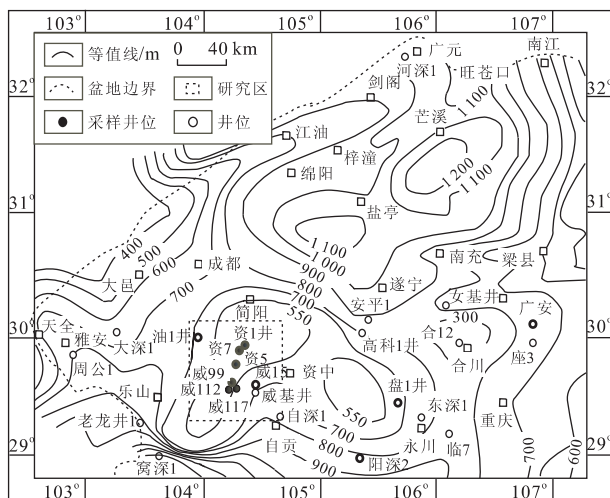


图1 四川盆地震旦系灯影组地层等厚线

Fig. 1 Stratigraphic isopachous map of Sinian Dengying Formation in Sichuan basin

物的有机包裹体分为液态烃包裹体(OL)、气态烃包裹体(OV)、气液两相烃包裹体(OL+OV)、炭质气态烃包裹体(AOV)、沥青包裹体(OA)和含气烃有机包裹体(OV+WL)。在这3期矿物中有机包裹体组合类型、特征、荧光及均一温度皆显示了明显的差异(表1),反映了它们当时各自的演化程度不同。从Ⅰ期到Ⅲ期有机包裹体含量明显增多,相互组成由油水为主的水、油、气三相→油、气两相→气、固相;气液两相烃包裹体的气液比增大;液态烃相颜色由淡紫→褐黄或灰→灰,且在荧光下呈暗黄色→暗蓝色→暗蓝或无色;与有机包裹体同期的盐水包裹体均一温度从Ⅰ期到Ⅲ期明显增高。从各期包裹体丰度特征来看,Ⅲ期中包裹体数量最多,空间分布最为广泛,占到了60%~70%,Ⅰ期包裹体数量最少。

### 2.2 有机包裹体化学成分和碳同位素组成特征

油气演化各阶段所捕获的有机包裹体的成分和同位素特征将反映油气演化的程度及其成因。烃源岩在不同演化阶段形成的油气经运移进入储集层,改变了储层的介质环境,在储层中同期形成的自生矿物中包裹封存下来。因而通过对储层中不同期次有机包裹体气态烃和液态烃化学组成及同位素分析,可有效的示踪其成因和来源(Jensenius and Burruss, 1990)。本次研究以不同时期孔洞缝系统中充填矿物的有机包裹体为研究对象,采用真空电磁破碎法收集包裹体气体,然后用质谱计测试其化学成分和碳同位素组成。

首先选择同期次矿物,将其破碎至20~60目,

表 1 威远、资阳地区 3 期矿物中包裹体类型组合和均一温度

Table 1 Association types of hydrocarbon inclusions and homogenization temperature in the filled minerals of three stages in Weiyuan and Ziyang

矿物期	形成的矿物	有机包裹体特征					丰度/%	盐水溶液包裹体均一温度/℃
		相组成	气液比/%	颜色	含量/%	荧光性质		
第 I 期	细粉粒泥晶白云石	由 OL 相组成		淡紫色	20	暗黄色		
		由 OL+OV 相组成	5~15	液相紫、气相灰	30	液相黄色、气相无色	10~20	120~150
第 II 期	粗粒白云岩	由 OV+WL 相组成	5~10	气相灰、盐水无色	5~10	无色		
		由 OV 相组成	15~60	灰—黑灰	35~40	无色		
		由 OL+OV 相组成		气相灰、液相褐黄或灰	30	液相暗蓝色、气相无色	20~30	160~190
		由 OA 相组成		黑或褐黑	5	暗蓝色		
第 III 期	石英和白云石	由 OV 相组成		灰—黑灰	60	无色		
		由 OL+OV 相组成	>60	液相灰、气相灰—黑灰	10	乳白色	60~70	200~210
		由 OA 相组成		黑或褐黑	10~15	蓝白色		
		由 OA+OV 相组成		炭质黑色、气相灰—黑灰	5	气相无色炭质 I 白色		

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 Leitzl350 冷台,测试数据 243 个.

表 2 威远、资阳地区三期矿物中包裹体主要化学成分和碳同位素组成

Table 2 Chief composition of chemistry and carbonic isotope of inclusions in the filled minerals of three stages in Weiyuan and Ziyang

井号	矿物赋存状态	期次	$w(\text{CH}_4)/\%$	$w(\text{C}_2\text{H}_6)/\%$	$w(\text{C}_3\text{H}_8)/\%$	$w(\text{N}_2)/\%$	$w(\text{CO}_2)/\%$	$w(\text{CO}_2)/w(\text{C}_1)$	$w(^{13}\text{C}_1)/10^{-3}$	$w(^{13}\text{C}_{\text{CO}_2})/10^{-3}$
威 99	溶洞白云石	III	62.04	1.11	0.20	7.79	27.62	0.45	-41.9	-9.8
威 99	裂缝白云石	III	58.83	0.27	0	7.20	33.24	0.57		
威 99	溶洞白云石	I	22.08	0.21	0	2.80	74.30	3.37	-34.4	-11.1
威 99	裂缝白云石	III	68.01	0.07	0	5.79	25.64	0.38	-38.7	-12.3
	溶洞白云石	I	10.09	0.20	0	31.53	50.76	5.03	-39.4	-3.6
威 112	裂缝白云石	III	64.52	0.05	0	5.52	27.12	0.42	-	-
	溶洞白云石	II	29.33	0.21	0	10.73	56.76	1.94	-29.9	-6.7
威 117	溶洞白云石	II	40.40	0.14	0	1.56	57.50	1.42		
威 117	裂缝白云石	II	37.24	0.12	0	16.44	44.76	1.20	-36.5	-9.4
威 117	裂缝白云石	III	57.55	0.07	0	5.51	36.14	0.63	-35.0	-12.8
威 117	裂缝石英	III	57.24	0.03	0	8.55	33.20	0.58	-34.5	-18.3
资 1	裂缝白云石	II	27.06	1.07	0	11.79	59.42	2.20	-50.7	-13.63
资 1	裂缝白云石	III	62.24	0.52	0	2.13	34.61	0.56		
资 1	裂缝白云石	III	55.33	3.44	0.86	21.65	14.58	0.26	-42.1	-6.7
资 1	裂缝石英	III	64.52	0.05	0	5.52	27.12	0.42		
资 1	溶洞白云石	I	12.95	0.07	0	9.37	75.96	5.87	-39.2	-11.6
资 5	裂缝白云石	III	69.19	0.57	0.19	2.71	27.05	0.39	-28.4	-14.4
资 5	裂缝白云石	III	68.70	1.61	0.19	6.31	18.82	0.27	-40.5	-16.6
资 7	裂缝石英	III	74.01	1.20	0.30	3.62	20.19	0.27	-40.4	-17.4
资 7	裂缝白云石	II	38.68	1.17	0.22	13.04	46.25	1.20		

化学成分测试采用美国 Finnig MAT271 质谱计,实验条件:高压 8 kV,发射电流 40/200  $\mu\text{A}$ ,分析精确度为 5%。碳同位素组成分析采用 MAT252 质谱计在线分析(GC-C-MS)测试系统,实验条件:高压 8 kV,发射电流 1.3 mA;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  填充柱,柱长 5 m,载气为高纯 He (99.99%),碳同位素分析精确度为  $1.5 \times 10^{-3}$ 。测试单位:中国科学院兰州地质所气体地球化学国家重点实验室。

浸泡在纯度 99% 二氯甲烷中,然后置于超声波振荡器内,振荡约 5~10 min,以清除污染在样品表面的有机物。待样品自然风干后,采用真空电磁破碎法打开包裹体,通过由石英分解管和冷阱组成的系统管

线将释放出的气体分为 2 份:一份直接导入 MAT 271 质谱计进行气体成分测定;另一份采用液氮冷阱冷冻—分子筛吸附封管法收集气体,用 GC-C-MAT 252 色谱—质谱计测定碳同位素组成(表 2)。

表 3 威远、资阳地区 3 期矿物中有机包裹体与油气演化阶段的关系

Table 3 Organic inclusion and their related organic maturity and evolution stages of oil-gas in the filled minerals of three stages in Weiyuan and Ziyang

油气演化阶段	有机质成熟度	包裹体类型	荧光性质	均一温度/℃	有机成分	$w(\text{CO}_2)/w(\text{CH}_4)$
石油大量形成	成熟	液烃、气液烃	暗黄	120~150	CO <sub>2</sub> 为主, 次为 CH <sub>4</sub>	3.37~5.87
凝析油—湿气阶段	高成熟	气烃、气液烃	暗蓝	160~190	主要为 CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>	1.20~2.20
干气阶段	过成熟	气烃、沥青	暗蓝或无	200~210	CH <sub>4</sub> 为主, 次为 CO <sub>2</sub>	0.26~0.63

从表 2 可以看出:(1)储集层孔洞缝中充填的 3 期矿物的有机包裹体气体成分以 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 为主。(2)孔洞缝同期充填矿物中的有机包裹体气体成分相近,反映了其油气演化程度相同。(3)不同期次充填矿物中的有机包裹体的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 气体含量存在着明显的差异。其  $w(\text{CH}_4)$  含量和  $w(\text{CO}_2)/w(\text{CH}_4)$  比值分别为: I 期 10.09%~22.08%, 3.37~5.87; II 期 27.06%~40.40%, 1.20~2.20; III 期 55.33%~74.01%, 比值 0.26~0.63, 皆低于 1。(4)储集层中有机包裹体 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 气体的碳同位素组成分别为  $(-50.7 \sim -28.4) \times 10^{-3}$  和  $(-18.3 \sim -3.6) \times 10^{-3}$ 。

### 3 有机包裹体研究结果在川西南气区中的应用探讨

#### 3.1 油气运移期次的确定

根据镜下观察以及均一温度、群体包裹体化学成分各项测试结果综合分析,推测研究区至少存在 3 次油气运移,其中以第 III 期油气运移为主。其主要依据为:(1)偏光、荧光显微镜下观察表明:震旦系灯影组储层不同时期孔洞缝系统中至少充填有 3 期与含烃热流体活动有关的矿物或岩脉,且不同期次矿物中所包含的有机包裹体的特征、组合类型及丰度明显不同,这表明该区至少经历了 3 次主要的油气运移。在第 III 期中包裹体丰度最高,说明此次油气运移为研究区最重要的一次运移;(2)包裹体显微测温结果显示:这 3 期矿物中的盐水包裹体均一温度分别为 120~150℃, 160~190℃ 和 200~210℃;(3)群体包裹体气体化学成分分析表明:群体包裹体气体成分中的 CH<sub>4</sub> 百分含量和  $w(\text{CO}_2)/w(\text{CH}_4)$  比值显示了储层中孔洞缝三期充填矿物中的包裹体成分含量明显不同。

综上所述,研究区主要经历了 3 次油气运移,其中以第 III 期油气运移为主。

#### 3.2 油气热演化程度评价

油气运移和聚集相态复杂,以多种相态组合为特征。含烃类气体、液体和沥青质固相不同运移阶段比例不一,反映了不同油气演化阶段的油气运聚特点。温度是引起油气演化的关键因素,而油气的演化又伴随着成分上的规律性变化。有机质在受到热作用时会裂解形成低碳数的烃类气体,且随着温度的升高,有机质向成熟阶段转化并呈指数形式释放出更多的烃类气体(Anderson, 1991)。因此形成于油气演化不同阶段的有机包裹体,其类型、相组成、均一温度及成分各具特征,反映了有机质的热演化特征(施继锡和余孝颖, 1996; Shi *et al.*, 1994)。根据研究区储集层孔洞缝中充填矿物的有机包裹体特征、均一温度、荧光及成分综合分析(表 3)可推断: I 期形成的包裹体反映了此时烃类热流体活动已进入成熟阶段,代表了生油高峰期石油的运移和聚集过程; II 期包裹体表明油气演化已进入高成熟阶段,为凝析油—湿气演化阶段的油气运聚; III 期包裹体显示油气演化已进入过成熟阶段,为干气阶段,标志着天然气的大规模运聚。

#### 3.3 天然气成因探讨

甲烷碳同位素组成是天然气最重要的地球化学指标,与成气母质类型和成熟度密切相关,所以用  $\delta^{13}\text{C}_1$  值和  $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$  值 2 个参数能很好的鉴别生物气、油型气和煤型气(于津生和李耀菘, 1997)。研究区震旦系灯影组储集层孔洞缝中充填各期矿物的有机包裹体  $\delta^{13}\text{C}_1$  值和  $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$  值主要分布在过成熟油型气区(V), 次为油型气区(III)和油型气与煤型气的混合区(IV), 仅有资 5 井和威 112 井中的 2 点落在过成熟油型气区(V)与煤型气区(VI)的边缘(图 2)。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九老洞组的海相沉积的碳酸盐岩(李国辉等, 2000), 且从有机包裹体分布特点、组合类型及均一温度可知,灯影组储层中的油气运移是以第 III 期过成熟干气阶段的油气运移为主,这与灯影组的  $\delta^{13}\text{C}_1$  和  $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$  值主要分布在过成

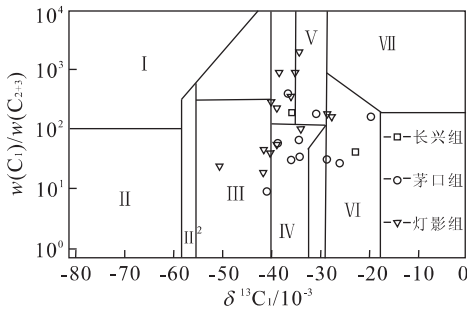


图 2 灯影组储层天然气的  $\delta^{13}C_1$  值和  $w(C_1)/w(C_{2+3})$  分布

Fig. 2 Distribution map of  $\delta^{13}C_1$  and  $w(C_1)/w(C_{2+3})$  of natural gas in Dengying reservoir

I. 生物气区; II 和 II<sup>2</sup> 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

熟油型气区(V)相吻合,因此分布在过成熟油型气区与煤型气区的边缘的 2 点应属于过成熟油型气区,即震旦系灯影组储集层的天然气为油型气成因。

天然气中  $\delta^{13}C_{CO_2}$  的特征是鉴别  $CO_2$  成因类型及来源的重要指标。 $\delta^{13}C_{CO_2}$  重于  $-8 \times 10^{-3}$  是无机成因气,轻于  $-10 \times 10^{-3}$  是有机成因气,当  $\delta^{13}C_{CO_2}$  在两者之间,可以是有机成因与无机成因的共存区或混合区(Dai *et al.*, 2000)。研究区有机包裹体中的  $\delta^{13}C_{CO_2}$  大多分布在  $(-17.4 \sim -11.8) \times 10^{-3}$ ,有 2 点分布在  $(-10 \sim -8) \times 10^{-3}$  之间,仅有 3 点重于  $-8 \times 10^{-3}$ ,因此灯影组储集层中的  $CO_2$  主要为有机成因,同时也存在少量的无机成因  $CO_2$ 。

## References

- Anderson, G. M., 1991. Organic maturation and ore precipitation in southeast Missouri. *Economic Geology*, 86(5): 909–926.
- 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, G. H., Li, X., Yang, X. N., 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, B., Shen, K., 1999. Thermodynamics of fluid inclusion. Geological Publishing House, Beijing, 171–206 (in Chinese).
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusion. *Mineralog. Soc. America Reviews in mineralogy*, 12: 330–335.
- Roedder, E., 1963. Studies of fluid inclusion II. Freezing data and their interpretation. *Econ. Geol.*, 58: 167–210.
- Shi, J. X., Yu, X. Y., 1996. Characteristics of organic matter in carbonate rock and unconventional evaluation of oil and gas. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(2): 103–108 (in Chinese with English abstract).
- Shi, J. Y., Lin, D. H., Shi, J. X., et al., 1994. Evolution of the petroleum source rock potential of samples from the Sichuan basin, China. *Organic Geochemistry*, 21(3/4): 343–350.
- Tang, J. H., Zhang, T. W., Bao, Z. Y., et al., 2004. Organic inclusion study in the carbonate reservoir bed of Weiyuan gas field, Sichuan basin. *Geological Review*, 50(2): 210–214.
- Yu, J. S., Li, Y. S., 1997. Study of isotopic geochemistry of China. Science Press, Beijing, 490–491 (in Chinese).
- Zhao, W. Z., Li, W., Zhang, Y., 1998. Exploration and study significance of process of oil reservoiring in Lukeqin, Turpan-Hami basin. *Petroleum Exploration and Development*, 25(2): 1–3 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 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, 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, 2004. 四川盆地威远气田碳酸盐岩中有机包裹研究. *地质论评*, 50(2): 210–214.
- 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, 490–491.
- 赵文智, 李伟, 张岩, 1998. 吐哈盆地鲁克沁稠油藏成藏过程初探与勘探意义. *石油勘探与开发*, 25(2): 1–3.