

川东石炭系储层有机包裹体、储层沥青 与烃类运聚关系^①

王一刚¹ 刘志坚² 文应初²

¹ (四川石油管理局地质勘探开发研究院, 成都 610051)

² (西南石油学院, 南充 637001)

提 要 根据石炭系储层中自生矿物所含有有机包裹体类别、产状、分布及同期盐水流包裹捕获温度等特征, 将烃类在储层中的油气演化及运聚划分为: (1) 印支期的原油成熟阶段; (2) 燕山—喜山期前的原油高成熟—凝析油阶段; (3) 喜山期热裂解—甲烷气阶段。根据有机包裹体成分分析资料及储层沥青分布特征研究可将四川东部划分出开江—忠县—重庆区块、达县—广安区块和万县—云阳区块等具有不同烃类运聚史的三个地区。

关键词 四川 石炭系 有机包裹体 储层沥青

第一作者简介 王一刚 女 42岁 高级工程师 石油地质勘探 储层地质 沉积学

四川东部是我国最大的天然气生产和勘探基地之一。石炭系碳酸盐岩是区内的重要产层。为了更深入地探索研究储层的形成模式及气藏形成规律, 需要对石炭系储层中的有机包裹体及储层沥青进行深入研究。

储层的孔、洞、缝中充填的自生矿物(胶结物)中的有机包裹体是储层中烃类运聚时被捕获的有机质, 它记录了油气演化及运聚过程。因此可以通过对有机包裹体的研究来探索储层孔隙演化过程中烃类演化与运聚。

1 有机包裹体形成的地质温度

在有机包裹体中高分子的碳氢化合物和一定量的水共存, 往往成为不混溶流体包裹体, 对此类包裹体的均一温度测温数据的应用尚存在着很大的疑问。但与其同期的盐水溶液包裹体的均一温度, 可反映宿主矿物晶出过程中捕获包裹体时介质流体的温度^[2], 因此, 可根据与有机包裹体相伴生的同期盐水溶液流体包裹体的均一温度及含包裹体的宿主矿物的成岩序次来判定有机包裹体形成的温度。

据前人研究, 川东地区古地温梯度为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 取地表常年平均温度为 25°C , 本

^① 本研究课题系中国科学院广州地球化学研究所“有机地球化学国家重点开放实验室”科学基金资助项目(名称: 碳酸盐岩储集层成岩作用及烃类运移 编号 OGL-9037)

区有机包裹体形成的温度可划分为三个主要阶段, 100–130°C、130–160°C、160–220°C (表 1)。它们分别相当于印支期、燕山期—喜山期前、喜山期的产物。

表 1 有机包裹体特征及其演化阶段划分

Table 1 Characteristics and evolutionary stage division of organic inclusions

油气、演化阶段	包裹体相态类型	包裹体产状及分布方式	包裹体颜色及状态	包裹体荧光性质	同期盐水包裹体均一温度 (°C)	推测地质埋深 (m)
原油低成熟阶段 (液态烃运移)	纯液态烃包裹体, 含烃包裹体	极少, 主要分布在第三阶段充填孔、缝的方解石中或孤立出现或成串、成带出现。	灰褐色, 不规则, 壁厚	弱荧光或发蓝白色荧光	100–130	2500–2500
原油高成熟—凝析油阶段 (液态烃运移、聚集)	气、液两相烃类包裹体	大量多分布在第三阶段充填裂缝方解石中或孤立出现、或成串、成带出现。	浅褐色、灰黑色, 不规则、或管状, 壁厚	不发光	130–160	3500
热裂解—甲烷气阶段 (气态烃运移、聚集)	固体沥青包裹体	出现在第三、四阶段充填孔、缝的方解石及畸形白云石中。	黑色不规则状	不发光	130–150 160–200	3500–4500 4500–5800
	纯气态烃包裹体	多分布在第四阶段充填孔、缝方解石及少数石英中, 独立出现, 或成群成带分布。	灰、深灰色, 椭圆状或负晶形。	不发光	160–220	4500–5800

2 有机包裹体类型与油气演化、运聚的关系

有机包裹体的类型及丰度与油气演化程度和油气丰度有关。石炭系储层的各种自生矿物中的有机包裹体主要为气液两相烃类包裹体、固态沥青包裹体及气态烃包裹体。根据各成岩阶段中有机包裹体的类型、产状、分布等特征, 以及有机包裹体的形成温度和推算的埋深, 可将储层中的油气演化、运聚划分为三个阶段 (表 1), 即:

(1) 原油成熟阶段 储层中已有液烃运移, 矿物中可捕获到纯液态烃包裹体及含液烃包裹体。

(2) 原油高成熟阶段—凝析油阶段 储层中液烃大规模运移和聚集, 矿物中捕获大量气、液两相烃类包裹体。

(3) 热裂解—甲烷气阶段 储层中发生纯气态烃运移、聚集, 矿物捕获大量气态烃包裹体。换言之, 川东石炭系储层中的液烃运移期发生在埋深 2500–3500 m±, 大致为印支期。液烃热裂解高峰期发生在埋深 3500–4500 m±, 相当于燕山期—喜山期前。气态烃大规模运聚

发生在埋深 4500 m 以下, 属喜山期。

3 有机包裹体的成分特征及其油气演化

矿物中包裹体的成分直接反映了成矿流体的化学组成。油气演化各阶段所捕获的有机包裹体的成分特征将反映油气的演化程度。

3.1 有机包裹体气-液相色谱分析

对川东石炭系储层的 30 个包裹体岩样进行选矿、清洗后, 采用热爆法收集包裹体样品中的气、液物质送入气相色谱仪进行分析 (表 2)。从这些分析中可以看出:

表 2 空隙中不同期次充填矿物有机包裹体特征及荧光性质
Table 2 Characteristics and fluorescence properties of organic inclusions
in minerals filled in fissures at different time

井号	矿物赋存产状	CH ₄ (U/g)	总烃 (U/g)	CH ₄ 总烃 (%)	C ₂ H ₆ 总烃 (%)	包体均一 温度 (°C)	荧光 性质	备 注
广参 2	裂缝方解石	6.20	8.13	76.26	4.05	130	黄色	
铁山 4	溶洞方解石	8.748	9.236	64.72	3.68	120-160	无	
	溶洞方解石	10.19	12.149	81.59	3.98	160-184	无	
铁山 2	裂缝方解石	9.92	12.35	60.32	2.75	120-140	黄色	
邻北 3	溶洞石英	0.733	0.739	99.19	0.81	162-174	无	
七里 5	溶洞方解石	0.354	0.389	91.00	6.43	100-126	黄色	混有 170°C 次生包体
天西 1	裂缝方解石	0.241	0.271	88.92	7.38	100-138	黄色	
天东 7	裂缝方解石	2.217	2.298	96.47	1.83	125-135	黄色	
	溶洞方解石	3.264	3.597	90.74	4.00	143-190	无	
天东 9	溶洞方解石	1.549	1.587	97.61	1.07	120-142	暗蓝	
天东 15	裂缝方解石	1.302	1.749	74.44	14.92	130	黄色	混有 170°C 次生包体
天东 18	溶洞方解石	0.281	0.303	92.74	3.96	96-108	黄色	
天东 20	裂缝方解石	0.095	0.126	75.40	15.08	112-135	黄色	混有 170°C 次生包体
天东 21	溶洞方解石	0.718	0.789	91.00	2.92	100-110	黄色	
	溶洞石英	0.953	0.962	99.06	0.62	165-220	无	
梁 3 井	溶洞方解石	1.892	1.933	97.88	1.19	105-119	黄色	混有 175°C 次生包体
双龙 17	裂缝方解石	10.392	0.439	89.29	6.15	111-122	黄色	
云安 3	溶洞方解石	7.513	7.544	99.59	0.30	130-149	黄色	混有 170°C 次生包体
硃西 3	溶洞石英	1.543	1.552	99.42	0.45	195-211	无	
	裂缝方解石	1.869	1.899	98.42	0.89		无	

(1) 同一温度段中捕获的有机包裹体的 (CH₄ 总烃) 变化不一, 反映烃类演化程度有差异。这可能是构造运动造成埋深变化、地温变化以及储层中烃类多期次运移的结果。

(2) 溶洞中充填石英所含有有机包裹体的 (CH_4 总烃) 高达 99%, 而 (C_2H_6 总烃) 小于 1%, 同期盐水流体包裹体均一温度 160—229 $^{\circ}\text{C}$, 烃类包裹体均不发荧光。这些说明石英捕获这些包裹体时油气演化已达到甲烷气阶段, 是喜山运动期前的, 即石炭系储层中气烃运聚在喜山运动前已开始

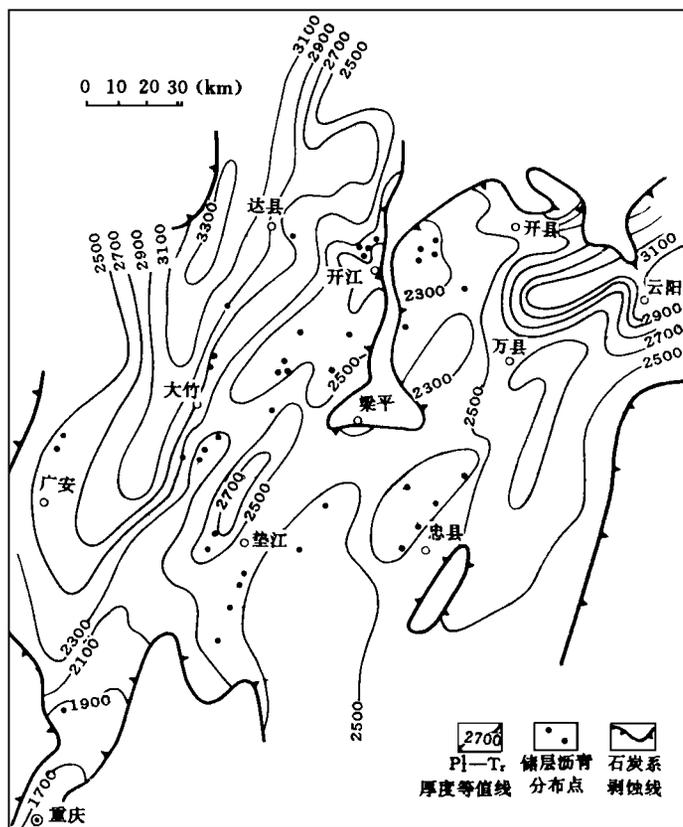


图 1 川东地区晚三叠世前石炭系顶面古起伏图 (Pi—Tr 等厚图)

Fig. 1 Map showing ancient uplifts of the top surface of the pre-Carboniferous System in Late Triassic in the East Sichuan area (Pi—Tr isopach)

(3) 由川东地区印支期的石炭系顶面古构造图上可以看出, 印支期古隆期上存在三个主要的古构造高带 (图 1), 这些地区石炭系储层中有机包裹体的 (CH_4 总烃) 及 (C_2H_6 总烃) 值的有规律变化, 据其可划分为三个区块, 中部开江—梁平—重庆区块 (CH_4 总烃) 值变化较大, 由 77.44%—99.19%, (C_2H_6 总烃) 值变化在 0.62%—15.08%。西部广安、达县区块 (CH_4 总烃) 值则小于 1%。 CH_4 含量西低东高的趋势与本区石炭系的志留系烃源岩的成熟度趋势一致 (图 2), 这反映了研究区内油气演化、运移上的差异

3.2 有机包裹体显微红外光谱分析

选择了 8 个石炭系储层溶洞、裂缝中充填自生矿物样品中的 36 个流体包裹体用作了显微红外光谱分析 (图 3), 从分析结果看有如下特点:

(1) 岩石显微镜下鉴定的大多数有机包裹体在显微红外光谱图谱上都出现了 $3330-3375\text{ cm}^{-1}$ 的红外吸收峰,表明这些有机包裹体中含有一定量的水

(2) 在 15 个有机包裹体样品中出现 $1735-1796\text{ cm}^{-1}$ 、 $2900-2965\text{ cm}^{-1}$ 等红外吸收峰,说明有甲基、亚甲基、羟基、羰基等官能团物质存在,表明在烃类运移时流体中存在有伴生的有机酸类物质,它们与川东石炭系储层埋藏溶解孔隙形成有密切关系^[1,3,4]。

(3) 包裹体显微红外光谱分析图谱中普遍出现 $1600-1659\text{ cm}^{-1}$ 、 $1927-1983\text{ cm}^{-1}$ 、 $2871-2982\text{ cm}^{-1}$ 等反映存在芳环的吸收峰。

4 储层运移沥青

区内石炭系储层孔隙中常见运移沥青。这些沥青多呈断续薄膜状沿孔分布或充填于微裂缝中。从石炭系的埋藏史看,这些沥青是进入储层孔隙内的液烃在逐渐深埋过程中因热演化而成的深成焦沥青。这些运移沥青的存在说明区内曾有过液烃运聚成藏过程,这对储层孔隙的保存和天然气成藏都有影响。通过对 20 余口井岩芯薄片观察表明在不同地区运移沥青产出特征与孔隙发情况有差别,且与有机包裹体成分变化相关。对此,可以划分出与有机包裹体成分变化规律相似的三个区块(图 1)。

(1) I 区: 开江—梁平—重庆印支期古隆起中部古构造高带及同期的重庆—大竹鼻状隆起区。该区储层埋藏溶蚀作用最强,常见到颗粒岩的骨架颗粒和岩溶角砾岩的角砾被溶蚀,有时几乎见不到成岩期的各种胶结构。运移沥青多附于溶孔壁上与溶蚀的颗粒、砾石或残余的前期胶结构接触。这些运移沥青主要分布在印支期

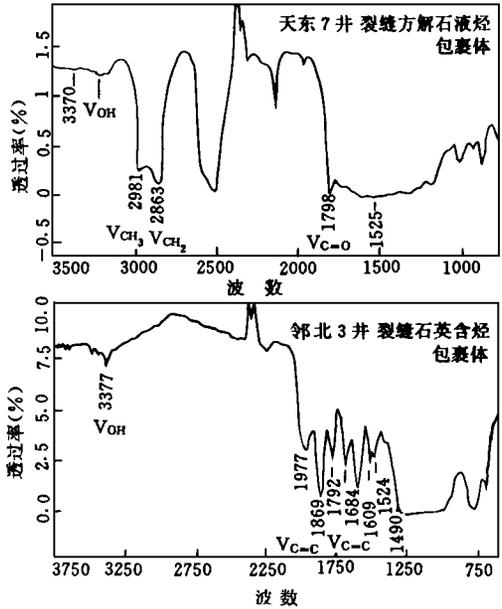


图 2 裂缝充填矿物方解石、石英中包裹体的显微红外光谱图

Fig. 2 Micro-infrared spectra of inclusions in calcite and quartz filled in fissures

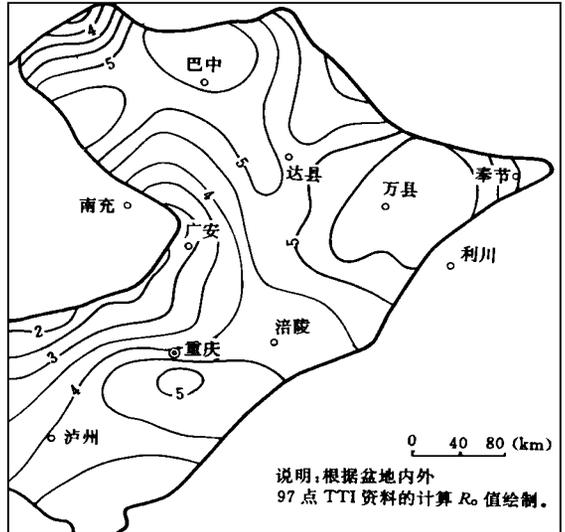


图 3 四川盆地东部志留系底面成熟度 (R_o) 趋势图 (引自宋家荣, 1994)

Fig. 3 Map Showing the maturity R_o of the Silurian bottom surface in the east of Sichuan Basin (after Song Jiarong, 1994)

古构造高处或斜坡带位置,它们是古油藏存在过的证据。该区有机包裹体组分分析(C_{1H_4} /总烃)值和(C_2H_6 /总烃)值变化范围很大,盐水溶液两相流体包裹体均一温度变化在 $98-220^{\circ}C$ 。这些反映了该区储层内烃类运移时间早、期次多、延续的时期长。该区内储层有效厚度大、溶蚀孔保存好可能与液烃的早期运聚、成藏有关。

(1) II区: 达县—广安地区。该区位于中部古隆起区西侧。其储层中运移沥青分布普遍,说明曾有古油藏形成。但该区埋藏溶蚀作用较I区弱,溶孔中的晚期胶结物不同程度保存,岩石骨架颗粒、砾石很少被溶蚀,运移沥青呈断续薄膜状附于各期胶结物溶蚀边缘。该区有机包裹体组分中 C_{1H_4} 含量占总烃量的 $65\%-80\%\pm$,油气演化程度略低。

(1) III区: 万县—云阳地区。该区位于中部古隆起区东侧。区内埋藏溶蚀作用有西强东弱的趋势,但溶孔仍较发育。储层中极少见到运移沥青。有机包裹体组分中 C_{1H_4} 含量相对较高,一般占总烃量的 98% 以上,这可能是埋藏溶解孔形成后气烃直接成藏的反映。

5 结 论

1) 根据研究区内石炭系储层中有机包裹体的特征及同期的盐水流体包裹体均一温度分布,可将储层中的油气演化及运聚在时间上可划分为印支期的原油成熟阶段、燕山—喜山期前的原油高成熟—凝析油阶段和喜山期热裂解—甲烷气阶段。

2) 运移沥青主要出现在研究区中部开江—忠县—重庆古隆起区及其以西的达县—广安地区的储层孔隙中,表明这些地区烃类运聚过程早于东部的万县—云阳地区。

3) 有机包裹体组分分析结果表明研究区内油气运聚过程中烃类热演化程度东部高,西部低,中部有高低,其演化程度与本区烃源岩成熟度趋势一致。说明本区石炭系储层中油气运移主要是垂向运移的结果。中部地区是印支期古隆起区最高部位,亦是当时东西两侧油气运移共同指向区。

参 考 文 献

- [1] 储层地球化学(译文集),梅博文主译,1994
- [2] 流体包裹体(译文),Edwin Rorrdor著,长沙:中南工业大学出版社,1986
- [3] Meshr I. D. Roles of organic Matter in Sediment Diagenesis, (SEPM), 1986, 38: 123-128.
- [4] Mazzullo S. J., Harris P. M., Mesogenetic Dissalution—It's Role in Porosity Development in Carbonate Reservoirs, AAPG, 1992, 76 (5): 607-602.

Organic inclusions and bitumen associated with hydrocarbon migration and accumulation in the reservoir bed, East Sichuan China

Wang Yigang¹ Liu Zhijian² and Wen Yingchu²

¹ (Institution of Geological Exploration and Development, Sichuan Bureau of Petroleum Administration, Chengdu, 610051)

² (Southwest College of Petroleum, Nanchong 637001)

Abstract

The migration and accumulation of hydrocarbons can be divided into three stages (1) the mature crude oil of the Indo- China movement stage; (2) high- mature to condensate oil of the Yanshan movement to the Himalayan movement stage; (3) pyrolysis of liquid hydrocarbons and methane gas of Himalayan movement stage by studies on the types, attitude and distribution in the cement and filling of the Carboniferous reservoir bed. According to the character of the composition of hydrocarbon inclusions and distribution of the reservoir bitumen, the studied area has three regional zones with different history of migration, accumulation and maturity, which are the Kaijiang- Zhongxian- Chongqin region, Daxian- Guangan region and Wanxian- Yunyang region.

Key word Sichuan Carboniferous organic inclusion reservoir bitumen