

# 川东北地区上二叠统油气储层中流体包裹体特征及成藏期研究

李保华<sup>1</sup>, 付绍洪<sup>2</sup>, 顾雪祥<sup>3</sup>, 徐仕海<sup>1</sup>, 黄增保<sup>1</sup>, 杨悦<sup>1</sup>

1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002;

3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083

**摘要:**川东北地区是中国重要的天然气勘探区之一。为了探讨该区上二叠统储层流体特征、天然气充注的时期,本文应用包裹体、同位素地球化学的原理和方法,对区内上二叠统长兴组和吴家坪组储层中流体包裹体产出特征、岩相学特征、包裹体成分和显微测温,以及裂缝充填方解石的 Sm-Nd 同位素年龄进行了研究。结果表明,上二叠统储层中存在三期油气包裹体,其组合依次为:少量液相烃包裹体→黄色、黄褐色液相烃包裹体+气液烃包裹体→气相烃包裹体+烃-水包裹体+沥青包裹体,测得与油气包裹体共生的气液水包裹体均一温度分别为 71~111℃、117~148℃和 149~217℃。根据气液水包裹体的均一温度,结合沉积盆地热演化史和储层埋藏史,确定上二叠统储层中三期油气充注时间分别为 202~185 Ma、182~169 Ma 和 167~120 Ma,第三期裂缝充填方解石的 Sm-Nd 等时线年龄为 126±11Ma。说明古油藏的油气充注始于燕山早期,燕山中晚期达到高峰,喜马拉雅期运动对早期形成的气藏起抬升、剥蚀破坏作用。

**关键词:**川东北地区; 流体包裹体; 成藏期; 上二叠统储层

中图分类号: P618.130.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2012)02-0105-09

## Fluid Inclusion Characteristics of the Later Permian Reservoir in the Northeastern Sichuan and Implications for Petroleum Accumulation

LI Bao-hua<sup>1</sup>, FU Shao-hong<sup>2</sup>, GU Xue-xiang<sup>3</sup>, XU Shi-hai<sup>1</sup>, HUANG Zeng-bao<sup>1</sup>, YANG Yue<sup>1</sup>

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

3. College of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**Abstract:** The northeastern Sichuan is one of important natural gas exploration areas in China. In order to reveal the fluid characteristics of later Permian reservoirs in the area and the charging time of natural gases, this paper studied occurrence, composition and petrographic characteristics of inclusions, micro-thermometric data, and Sm-Nd isotopes in calcites from Changxing and Wujiaping formations of northeastern Sichuan using isotope geochemistry principles and the methods. The result indicated that there are three episodes hydrocarbon inclusions in later Permian reservoirs of this area, that is liquid hydrocarbon inclusion, liquid hydrocarbon inclusion + gas-liquid hydrocarbon inclusion, and gas hydrocarbon inclusion + asphalt inclusion + hydrocarbon-H<sub>2</sub>O inclusion. The homogenization temperatures of the gas-liquid H<sub>2</sub>O inclusion, which coexist with the hydrocarbon inclusion in the three stages, are 71–111℃, 117–148℃ and 149–217℃, respectively. According to results of the homogenization temperature, the thermal evolution history of the sedimentary basin and the burial histories of the reservoir, three episodes hydrocarbon charges are determined as 202–185 Ma, 182–169 Ma and 167–120 Ma, respectively. The Sm-Nd age of calcite filling the fissures of the third stage is of 126±11 Ma. It is suggested that the hydrocarbon charge of the later Permian reservoir began at the early Yanshannian and reached peak at the intermediate-late Yanshannian and the Himalayan movement exerted lifting and corroding effects on the reservoir.

**Key words:** northeastern Sichuan; fluid inclusions; time of reservoir formation; later Permian reservoir

收稿日期: 2011-03-31 收到, 05-07 改回

基金项目: 四川省教育厅自然科学基金项目; 国家自然科学基金资助项目(40873036; 40772060; 40930423)

第一作者简介: 李保华(1960—), 男, 教授, 主要从事流体包裹体研究. E-mail: libaohua@cdu.edu.cn.

流体包裹体是矿物结晶生长过程中所捕获的成岩成矿流体组分,是封存于矿物晶穴或裂隙中的原始流体,也是流体运移聚集过程的原始记录。流体包裹体一般不会因后期继承性的叠加改造而发生变化,因而日益受到石油地质学家的重视,广泛用于油气化学组成、成熟度和来源<sup>[1~5]</sup>、划分油气运移充注(成藏)期次<sup>[6~10]</sup>、推断古地温和油气成藏时间<sup>[4,11]</sup>、探讨油气运移途径等方面的研究<sup>[12~13]</sup>,尤其是运用包裹体特征研究油气藏充注史已证明是研究油气成藏过程的一个有效途径和手段<sup>[8,10,14,15]</sup>。

川东北地区是一个以海相碳酸盐岩台地沉积和陆相盆地碎屑沉积叠合的大型含油气盆地,储集有丰富的天然气资源,通过近几十年的勘查,已发现罗家寨、普光、渡口河、铁山坡、滚子坪等大型和中型天然气田,展示了川东北地区天然气勘探的良好态势。许多学者对川东北油气藏的储层、构造和地球化学特征进行了较为系统的研究<sup>[16,17]</sup>,对四川盆地油气藏流体包裹体也做过一些研究<sup>[10,18~21]</sup>,但对油气藏成藏期研究仍然不够全面。本文通过对该区上二叠统吴家坪和长兴组储层流体包裹体的镜下观察、均一温度和单个包裹体成分测定以及 Sm-Nd 同位素的研究,结合盆地的沉积构造演化史和储层埋藏史,探讨了天然气的成藏期次,为该区油气成藏研究与油气勘探评价提供参考。

## 1 地质背景

四川盆地是在前震旦系变质岩基底之上发育古生代—中生代沉积盆地,其演化大致经历了震旦纪—中三叠世海相碳酸盐台地相发展阶段和晚三叠世—始新世陆相碎屑岩沉积盆地发展阶段,最终形成了大型复合含油气盆地。研究区位于四川盆地东北部,开江—梁平海槽东侧,上二叠统长兴组和吴家坪组分布区。上二叠统长兴组、吴家坪组是川东北地区的一个重要储层,尤其是长兴组储层具有产能较高、稳产期长、规模成藏的特点<sup>[10]</sup>。长兴组属碳酸盐台地—台地边缘相沉积,生物礁发育,礁体岩性为生物灰岩、生物碎屑灰岩、生屑粉-细晶白云岩等。按其所处的沉积相带可分为两类:位于碳酸盐岩缓坡和海槽过渡带上的台地边缘礁以及碳酸盐岩缓坡上的点礁,边缘礁相对于点礁具有礁体面积大、呈带状分布的特点,是最有利的储集岩和圈闭类型,目前发现的油气和沥青显示大多数产于长兴组边缘礁相中,如黄龙、普光、毛坝生物礁气藏,盘龙洞、羊鼓洞等生物礁古油藏(图1)。吴家坪组属碳酸盐台坪—台地边缘相沉积,岩性主要为褐灰色厚层—块状含燧石生物碎屑灰岩、含砂屑生物碎屑灰岩、厚层—块状生物碎屑灰岩等。上二叠统储层的区域性盖层为三叠系飞仙关组浅滩相碳酸盐岩沉积,也为区内重要的油气储层。

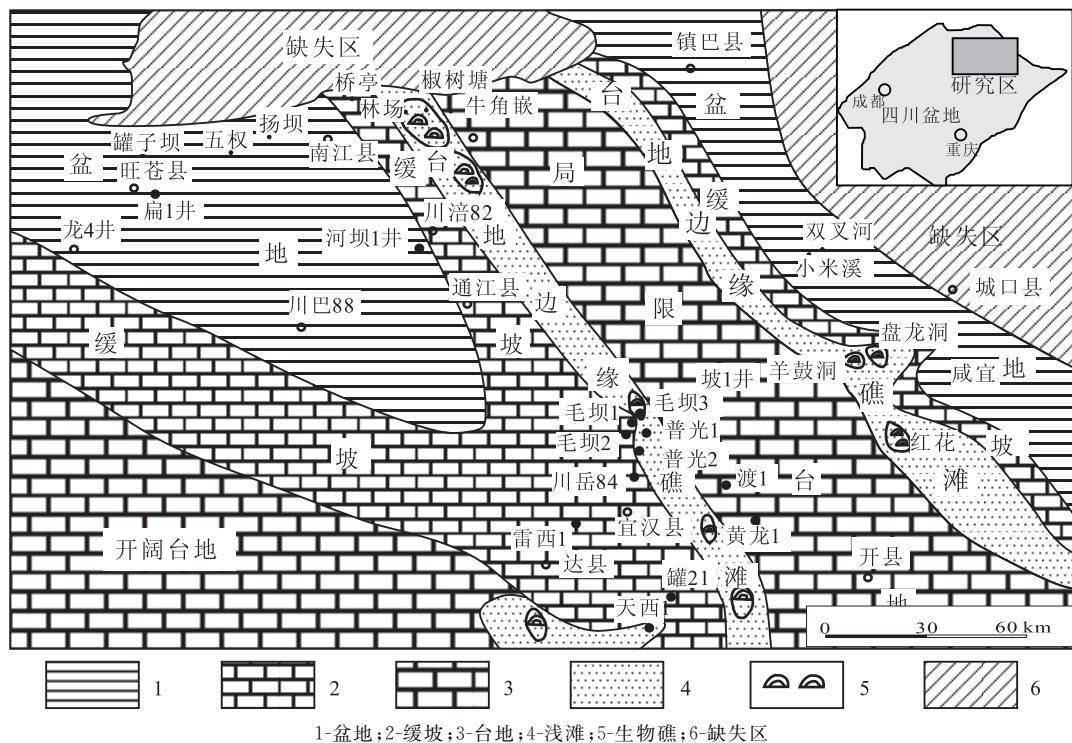


图1 川东北长兴组岩相古地理图(据文献[16]修改)

Fig. 1 The sedimentary facies and palaeogeographic map of the Changxing formation in northeastern Sichuan(modified from ref. [16])

## 2 样品采集与分析方法

采取普光、林场、盘龙洞、红花、桥亭等上二叠统古油藏储集岩中各成岩期次胶结物和脉体矿物。包裹体均一温度测定在成都理工大学资源勘查工程系包裹体实验室完成,使用 Linkam THMSG600 型冷热台,技术参数为:铂电阻传感器,测温范围 $-196\sim 600^{\circ}\text{C}$ ,温度显示 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,控制稳定温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ;仪器标定采用标准物质( $\text{KNO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{CrO}_3$ 、 $\text{CCl}_4$  以及人工配制的  $\text{NaCl}$  标准溶液)。仪器的标定和样品测试均在 7 mm 样品台及银盖恒温室中进行。 $400^{\circ}\text{C}$  时,相对于标准物质误差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $-22^{\circ}\text{C}$  时,误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。包裹体激光喇曼测试在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,所用仪器为 Renishaw Invia Reflex 型显微共焦激光喇曼光谱仪,其测试条件: $\text{Ar}^+$  激光器,激光波长为 514.5 nm,激光功率 20 mW,样品表面激光功率 7 mW,光栅 1800 grooves/mm,谱线分辨率 2 c/m,空间分辨率 1  $\mu\text{m}$  ( $\times 100$  物镜),扫描时间 60 s,扫描范围  $0\sim 4000$  c/m。气相成分的相对含量采用 Burke<sup>[22]</sup> 的方法计算获得。

对通江诺水河长兴组灰岩中第三期含沥青的裂缝充填方解石做 Sm-Nd 同位素分析,由核工业北京地质研究院分析测试研究中心同位素室完成,采用 ISOPROBE-T 热电离质谱计,三带, M+, 可调多法拉第接收器接收。钐钕质量分馏用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  校正,标准测量结果:SHINESTV 为  $0.512118 \pm 3$  (标准值为 0.512 110)。

## 3 结 果

### 3.1 包裹体岩相学特征

川东北地区上二叠统储层的流体包裹体数量少,多数产于溶孔和裂隙充填方解石中。包裹体个体小,一般为  $5\sim 20\ \mu\text{m}$ ,最小者  $< 3\ \mu\text{m}$ ,最大者达  $30\ \mu\text{m}$ 。包裹体有菱形、长方形等规则的包裹体,也有椭圆形、近圆形、蠕虫状等不规则的包裹体,还有经重结晶作用后形态发生次生变化的包裹体,如卡脖子包裹体。按室温 ( $25^{\circ}\text{C}$ ) 下的成分相态特征,包裹体类型可分为  $\text{H}_2\text{O}$  包裹体、烃类包裹体和烃- $\text{H}_2\text{O}$  包裹体三大类(图 2)。

$\text{H}_2\text{O}$  包裹体呈无色透明,室温下可分为液相水包裹体、气液水包裹体,前者只含水溶液相;后者含气相水和液相水,气相比(气体充填度)为  $2\%\sim 5\%$  左右。

烃类包裹体据相态的不同,分为液相烃包裹体、

气液烃包裹体、气相烃包裹体、含沥青液相烃包裹体、含沥青气液烃包裹体、含沥青气相烃包裹体和沥青包裹体等。在偏光显微镜下,气相烃多呈灰黑色,液相烃多为黄色、淡黄色,沥青呈黑色;在荧光显微镜下,液相烃发白色、蓝白色荧光,气相烃发微弱白色荧光或不发荧光,沥青则不发荧光。气液烃包裹体的气相比(气体充填度)为  $2\%\sim 5\%$ ,呈菱形、近菱形或不规则状,大小为  $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

烃- $\text{H}_2\text{O}$  包裹体主要分布于晚成岩期晚阶段形成的方解石等溶孔溶缝、裂隙充填物中,在室温下,气相呈灰黑色,气相比(气体充填度)为  $5\%\sim 80\%$ 。

根据储层流体包裹体的产状、分布及其与成岩作用和成岩演化的关系,将研究区储层流体包裹体组合划分为三期:第一期(I)包裹体主要产于储层碳酸盐岩的亮晶胶结物中,形成于浅埋藏环境的早期成岩阶段,以液相水包裹体和气液水包裹体为主,偶见液相烃包裹体;第二期(II)包裹体为晚成岩期早阶段产物,形成于中深埋藏成岩环境下,寄主矿物为溶孔或裂缝充填的方解石和白云石,充填胶结作用发生于烃类进入之前或近于同时,包裹体组合可分为两个世代,II<sub>1</sub> 主要为液相水包裹体和气液水包裹体;II<sub>2</sub> 包裹体为黄色、黄褐色液相烃包裹体和气液烃包裹体,沿方解石和白云石的解理、晶间缝隙或微裂隙呈线状分布;第三期(III)包裹体形成于深埋藏成岩环境下,为晚成岩期晚阶段的产物,寄主矿物为与大量沥青共生的溶孔、裂缝充填方解石、白云石,有少量石英、萤石等,以气相烃包裹体、烃-水包裹体、沥青包裹体为主,其次为气液水包裹体、液相水包裹体。

### 3.2 包裹体均一温度及盐度

对上二叠统储层中油气包裹体共生的气液水包裹体进行系统的均一温度测定,结果见表 1 和图 3。从图表中可以看出,上二叠统储层流体包裹体均一温度变化范围为  $55\sim 230^{\circ}\text{C}$ ,主要集中于  $101\sim 212^{\circ}\text{C}$  之间。不同期次形成的气液水包裹体均一温度明显不同,第一期(I)包裹体的均一温度较低,在  $55\sim 117^{\circ}\text{C}$  之间,样品均值为  $71\sim 111^{\circ}\text{C}$ ;第二期(II)包裹体的均一温度稍高,在  $89\sim 161^{\circ}\text{C}$  之间,样品均值为  $117\sim 148^{\circ}\text{C}$ ;第三期(III)包裹体的均一温度最高,在  $125\sim 230^{\circ}\text{C}$  之间,样品均值为  $149\sim 217^{\circ}\text{C}$ 。其中第三期包裹体均一温度出现的频率最高。可见从 I 期到 III 期,即从早期成岩阶段到晚期成岩的晚阶段,随着埋藏深度的加大,储层流体的温度相应升高。

利用冷冻温度测得冰晶最终熔化温度,根据 Potter 等<sup>[23]</sup> 的盐度计算公式获得古油藏含油气流体包裹体的盐度为  $5.41\%\sim 22.39\%$ ,I 期包裹体盐度较



A-液相水包裹体(普光6井,PG6-69);B-气液水包裹体(普光9井,PG9-23);C-含沥青液相烃包裹体(普光9井,PG9-22);  
D-含沥青气液烃包裹体(偏岩子,PY-11);E-气相烃包裹体(普光6井,PG6-69);F-烃-水包裹体(普光9井,PG9-24)  
A-liquid water inclusions; B-gas-liquid water inclusions; C-including asphalt liquid hydrocarbon inclusions; D-including  
asphalt gas-liquid hydrocarbon inclusions; E-gas phase hydrocarbon inclusions; F-hydrocarbon-water inclusions

图2 川东北上二叠统储层中常见的包裹体类型

Fig. 2 Typical fluid inclusions in the later Permian reservoir of northeastern Sichuan

高(9.60%~22.39%),集中在18.87%~22.39%之间,高于古海水盐度,代表原生地层水的初始盐度值;II、III期包裹体盐度变化较大,为5.41%~20.48%,可能是含油气流体在演化过程中有其他低盐度流体的混入。

### 3.3 包裹体激光喇曼成分

川东北油气藏上二叠统储层单个包裹体激光喇曼分析结果见表2。气相烃包裹体、气液烃包裹体及含沥青气相烃包裹体中成分主要为 $\text{CH}_4$ (其摩尔百分

数为78.6%~100%),含少量的 $\text{CO}_2$ (0~3.6%)及 $\text{H}_2\text{S}$ 气体(0~21.4%);烃-水包裹体中气体成分与烃类包裹体相似,只是 $\text{H}_2\text{S}$ 气体含量(摩尔百分数为0~56.9%)及 $\text{CO}_2$ 含量(摩尔百分数为0~39.1%)有所增加,而且 $\text{CH}_4$ 变化范围较大(42.4%~100%)。值得一提的是,包裹体成分中I期包裹体主要是 $\text{H}_2\text{O}$ (摩尔百分数为99%~100%),含少量的 $\text{CH}_4$ (0~1.0%);II期包裹体成分几乎全是 $\text{CH}_4$ ,而III期除了 $\text{CH}_4$ (其摩尔百分数为78.6%~100%),还含少量的

表 1 川东北油气藏上二叠统储层中气液水包裹体均一温度和盐度测定结果

Table 1 Homogenization temperatures and salinities of aqueous inclusions in the later Permian reservoir in northeastern Sichuan

采样地点	储层	期次	均一温度/℃, 包裹体个数	样品均一温度平均 值/℃,样品数	盐度(%)	
					平均值	样品数
偏岩子	吴家坪组	I	55~97,16	71~78,2	9.60	2
		II	95~150,4	125,1	20.29	1
鱼渡	吴家坪组	II	102~133,5	117,1	19.09	1
		III	125~198,4	152,1	7.58	1
庙坝	吴家坪组	I	61~96,9	72~84,3	22.39	1
		III	135~188,18	150~183,3	7.63	3
桥亭	长兴组	III	146~186,7	159,1	5.41	1
盘龙洞	长兴组	III	128~194,27	149~169,3	14.20	1
林场	长兴组	II	97~138,18	118~125,2	9.62	2
红花	长兴组	II	101~161,8	127,1		
		III	128~202,19	151~159,2	16.92	2
田坝	吴家坪组	II	89~149,4	126,1	6.59	1
		II	122~149,8	137,1	8.99	1
		III	172,1	172,1		
普光6井	长兴组	II	121~161,19	134~145,3	10.7	3
		III	133~204,47	158~185,6	12.37	7
		I	85~117,11	89~111,2	18.78	2
普光8井	长兴组	II	116~145,20	126~140,2	19.26	1
		III	133~212,46	154~201,6	8.33	4
普光9井	长兴组	II	130~152,12	140~148,4	15.92	2
		III	135~230,54	160~217,7	11.65	8

表 2 川东北地区上二叠统储层流体包裹体激光喇曼分析结果

Table 2 Laser Raman spectrometry analyses of fluid inclusions from the later Permian reservoir in northeastern Sichuan

采样地点	储层	主矿物	期次	包裹体类型 (测定包裹体数)	组分相对含量(摩尔百分数)变化范围%			
					CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
渔渡	P <sub>2</sub> w	Cal	III	气相烃包裹体(2)			100	
庙坝	P <sub>2</sub> w	Cal	III	气液烃包裹体(4)			100	
	P <sub>2</sub> w	Cal	III	气相烃包裹体(12)	0~3.6	0~13.3	86.7~100	
红花	P <sub>2</sub> c	Cal	III	气液烃包裹体(3)	0~0.7	0~6.4	92.9~100.0	
	P <sub>2</sub> c	Cal	III	气相烃包裹体(1)			100.0	
林场	P <sub>2</sub> c	Cal	II	烃-水包裹体(1)			100.0	
	P <sub>2</sub> c	Cal	III	烃-水包裹体(6)	0~39.1	0~56.9	42.4~100.0	
	P <sub>2</sub> c	Cal	II	气相烃包裹体(2)			100.0	
普光6井	P <sub>2</sub> c	Cal	III	气相烃包裹体(6)	0~1.7	0~18.5	83.6~100.0	
	P <sub>2</sub> c	Qz	III	烃-水包裹体(6)	0~1.0	6.7~18.4	80.5~93.3	
	P <sub>2</sub> c	Cal	III	含沥青气相烃包裹体(4)	0~2.2	0~10.9	88.0~100.0	
普光8井	P <sub>2</sub> c	Cal	III	气液烃包裹体(5)	0~1.0	0~21.4	78.6~100.0	
	P <sub>2</sub> c	Qz	III	烃-水包裹体(4)		0~17.5	82.5~100	
普光9井	P <sub>2</sub> c	Qz	III	气相烃包裹体(10)	0~2.0	6.0~19.9	80.1~92.2	
	P <sub>2</sub> c	Qz	III	烃-水包裹体(17)	0~1.5	0~33.2	66.8~100.0	
田坝	P <sub>2</sub> c	Fl	I	气液水包裹体(2)			0~1.0	99.0~100
	P <sub>2</sub> c	Cal	II	气相烃包裹体(1)			100.0	
	P <sub>2</sub> c	Cal	III	烃-水包裹体(1)			100.0	



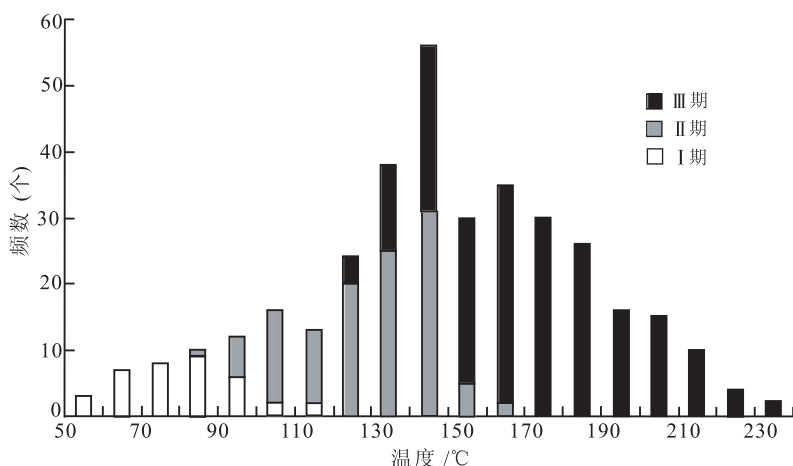


图3 川东北晚二叠统储层包裹体均一温度频数直方图  
Fig. 3 Histogram of homogenization temperatures of inclusions in the later Permian reservoir in northeastern Sichuan

CO<sub>2</sub> (摩尔百分数为 0~2.0%) 及 H<sub>2</sub>S 气体 (摩尔百分数为 0~21.4%); 反映了储层中古油气藏随时间推移、埋深增大、地温增高, 油气藏逐渐成熟, 晚期在有烃类参与的情况下发生高温硫酸盐热还原作用 (TSR), 产生 H<sub>2</sub>S 和 CO<sub>2</sub>, 使气藏含硫量和 CO<sub>2</sub> 含量增高。

## 4 油气成藏期分析

### 4.1 含油气流体充注期次的分析

川东北油气藏上二叠系储层中发育三期含油气包裹体组合, 表明该油气藏经历了三次油气充注成藏过程。第一期少量含液相烃包裹体, 成分主要为 H<sub>2</sub>O, 含少量的 CH<sub>4</sub>; 第二期大量黄色、黄褐色液相烃包裹体和气液烃包裹体, 成分为 CH<sub>4</sub>; 第三期主要为气相烃包裹体、烃-水包裹体、沥青包裹体, 含有 CH<sub>4</sub> 和少量的 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 气体。可见, 随着成岩作用的进行和有机质成熟度的增高, 包裹体成分由以液态烃类为主, 逐渐向气态烃类转变。

储层中与烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度一般无需压力校正便可代表两类包裹体的捕获温度<sup>[4]</sup>, 也接近于油气进入储集层时的温度。大量测温结果显示生油岩温度为 80~150°C, 液态烃包裹体大量出现在 100~140°C 范围内; 凝析油-湿气阶段的温度为 140~180°C; 而干气阶段温度主要集中在 160~250°C。施继锡等<sup>[24]</sup>认为我国碳酸盐岩的生油门槛温度约为 80°C, 生油最佳温度或高峰温度为 100~140°C。川东北上二叠统古油藏的充填温度变化较大 (55~230°C), 早期充填温度为 71~111°C, 温度刚过生油门槛; 中期充填温度稍高 89~

161°C, 均值为 117~148°C, 大体处于生油高峰或生油最佳的温度区间; 而晚期充填温度最高 125~230°C, 均值为 149~217°C, 在凝析油-湿气阶段至干气阶段温度范围内。

### 4.2 Sm-Nd 同位素年龄

通江诺水河长兴组灰岩中第三期含沥青的溶孔、裂缝充填方解石的 Sm-Nd 同位素分析结果见表 3, 5 个样品的分析数据拟合成一条相关系数为 0.9983 的等时线, 年龄为 126 ± 11 Ma, 初始 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.5114401, MSWD = 0.55 (图 4)。Sm-Nd 同位素等时线年龄对应的地质时代为早白垩世, 代表了第三期含油气流体的充注时间。

### 4.3 成藏期次与成藏演化讨论

根据含油气包裹体共生的盐水包裹体均一温

表 3 川东北长兴组储层中第三期溶孔-裂缝充填方解石 Sm-Nd 同位素组成

Table 3 Sm-Nd isotopes compositions of the fissure-filling calcite from the Changxing Formation in northeastern Sichuan

样号	Sm/ μg · g <sup>-1</sup>	Nd/ μg · g <sup>-1</sup>	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	2σ
N6-1	0.056	0.188	0.1796	0.511587	0.000031
N6-4	0.005	0.025	0.1292	0.511548	0.000139
N9	0.029	0.189	0.0932	0.511518	0.000027
N11	0.01	0.059	0.1037	0.511523	0.0003
N16	0.048	0.188	0.1541	0.511568	0.000026

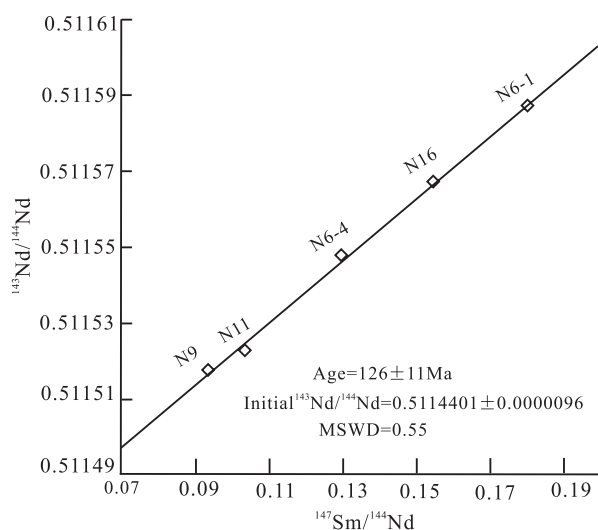


图 4 通江诺水河长兴组灰岩中第三期含沥青的溶孔-裂缝充填方解石的 Sm-Nd 等时线图

Fig. 4 Sm-Nd isochrone of the fissure-filling calcite from the ChangXing formation in northeastern Sichuan

度,结合沉积盆地热演化史(古地温梯度)和储层的埋藏史,即可确定包裹体形成时的地层埋深及对应的地质时代,据此可以确定油气藏的形成时间。这是目前研究油气成藏史最常见且较为有效的方法<sup>[4,10~12,14,15,25,26]</sup>。根据上二叠统储层中气液水包裹体的均一温度,结合沉积盆地热演化史(古地温梯度)和储层的埋藏史(图5),可以确定包裹体形成时的地层埋深及对应的地质时代,亦即确定油气藏的形成时间。研究表明,本区上二叠统储层中与第一期烃类包裹体共生的气液水包裹体的均一温度为71~111℃,对应的地质时代为202~185 Ma,相当于晚三叠世末—早侏罗世;与第二期烃类包裹体同期捕获的气液水包裹体均一温度主要变化于117~148℃,大致形成于182~169 Ma,相当于早侏罗世末—中侏罗世;与第三期烃类包裹体共生的气液水包裹体均一温度主要变化于149~217℃,对应的地质时代为167~120 Ma,大致相当于晚侏罗世末—早白垩世。其中第三期注入时间与本文所获得的Sm-Nd等时线年龄值(126±11 Ma,图4)大致相符。

根据上述含油包裹体的特征,结合区域沉积构

造和成岩演化历史,区内上二叠统储层的成藏历史可概括为三个主要的油气运移充注阶段:第一阶段为燕山运动早期,储层处于浅埋藏的早成岩阶段,烃源岩大多于晚三叠世末进入生油门限,早侏罗世开始成熟排烃,形成I期少量含沥青的液相烃包裹体;第二阶段为早侏罗世末—中侏罗世,烃源层达到生油高峰期,形成以黄色、黄褐色含沥青的液相烃包裹体和气液烃为主的II期包裹体;第三阶段为凝析油-湿气阶段至气藏阶段,发生在晚侏罗世—早白垩世,即燕山运动晚期,由于盆地持续沉降和古地温上升(149~217℃)使烃源岩进入气态窗,使前期形成的油藏因高温裂解转变为气藏并在储层孔隙中留下焦沥青,形成以气相烃包裹体、烃-水包裹体、沥青包裹体为主,含气液水包裹体、液相水包裹体的第III期包裹体。马永生<sup>[28]</sup>认为,川东北普光气田长兴组气藏烃源层于燕山早期进入原生油藏阶段,并于燕山中晚期,进入气藏阶段,这与本文得出的结论基本吻合。喜马拉雅运动本区发生了强烈的构造运动,使全区早期形成的气藏抬升而遭受剥蚀破坏作用,并使得油气再次分配聚集形成现今的面貌。

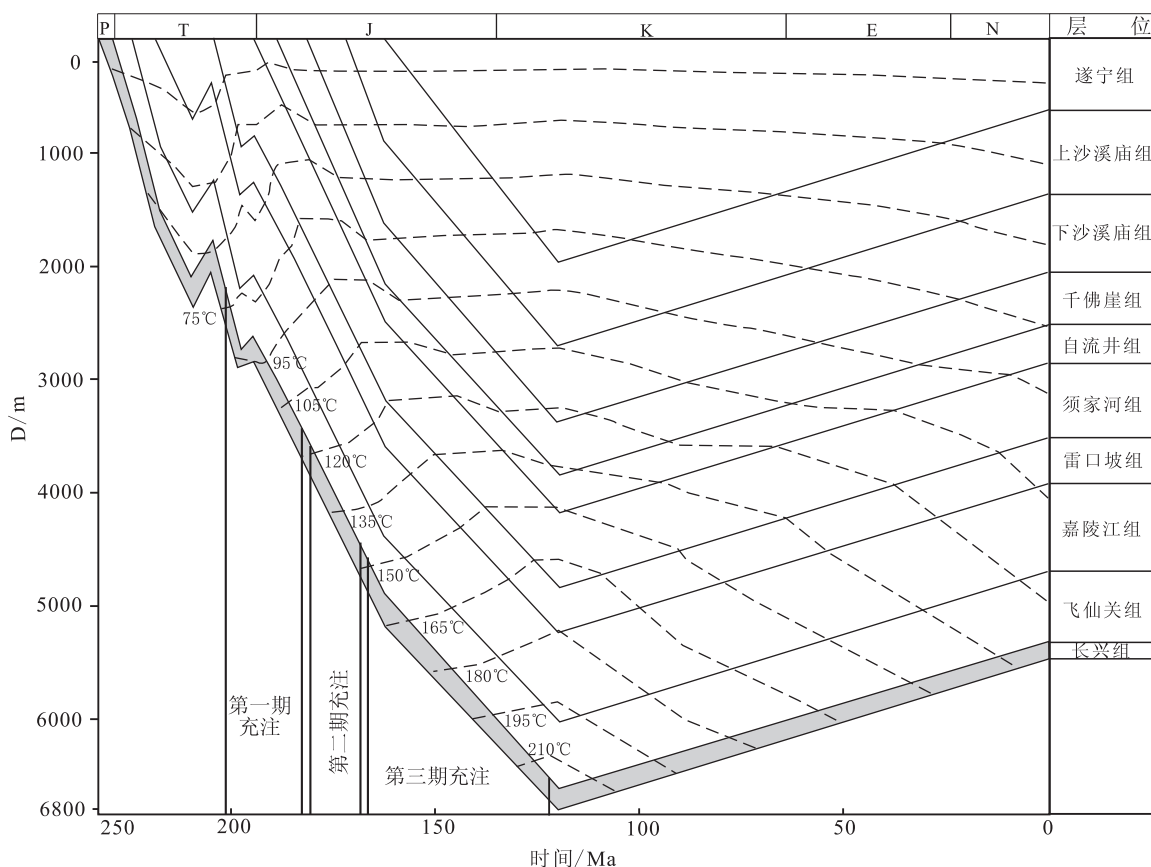


图5 川东北上二叠统油气成藏期次图(底图据文献[27]修改)

Fig. 5 Hydrocarbon charge stages of the later Permian reservoir in northeastern Sichuan(modified from ref. [27])

## 5 结 论

(1) 在川东北地区上二叠统长兴组和吴家坪组储层中流体包裹体的类型多,有 H<sub>2</sub>O 包裹体、烃类包裹体和烃-H<sub>2</sub>O 包裹体。烃类包裹体据相态的不同,分为液相烃包裹体、气液烃包裹体、气相烃包裹体、含沥青液相烃包裹体、含沥青气液烃包裹体、含沥青气相烃包裹体和沥青包裹体等。其中烃类包裹体以气相烃包裹体和固相体沥青包裹体为主,表明油气成熟度较高。

(2) 气液水包裹体均一温度变化范围为 55~230℃,主要集中于 101~212℃。不同期次形成的气液水包裹体均一温度明显不同,而且从早成岩阶段到晚成岩阶段,随着埋藏深度的加大,储层流体的温度相应升高。

(3) 本区单个气相烃包裹体、气液烃包裹体、含沥青气相烃包裹体及烃-水包裹体的气相成分主要为 CH<sub>4</sub>,含少量的 CO<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>S 气体。

(4) 在燕山运动早期,储层处于浅埋藏的早成岩阶段,烃源岩大多于晚三叠世末进入生油门限,早侏罗世开始成熟排烃,形成 I 期少量含沥青的液相烃包裹体;早侏罗世末-中侏罗世,烃源层达到生油高峰期,形成以黄色、黄褐色含沥青的液相烃包裹体和气液烃为主的 II 期包裹体;在晚侏罗世一早白垩世,即燕山运动晚期,由于盆地持续的沉降和古地温上升使烃源岩进入气态窗,使前期形成的油藏因高温裂解转变为气藏并在储层孔隙中留下焦沥青,形成以气相烃包裹体、烃-水包裹体、沥青包裹体为主,含气液水包裹体、液相水包裹体的第 III 期包裹体。

### 参考文献 (References):

- [1] Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, Macleod G, Swarbrick R E, Grunberger D. PVTX history of the North Sea's Judy oil-field[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, 60-70: 641-644.
- [2] Dutkiewicz A, Volk H, Ridley J, George S. Biomarkers, brines and oil in the Mesoproterozoic, Roper superbasin, Australia [J]. *Geology*, 2003, 31:981-984.
- [3] Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, *et al.* Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57:3641-1659.
- [4] Nedkvitne T, Karlsen D A, Bjørlykke K. Relationship between reservoir diagenetic evolution and petroleum emplacement in the Ula Field, North Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, 10: 255-270.
- [5] 张金亮,常象春,刘宝珺,刘凤鸣. 苏北盐城油气藏流体历史分析及其成藏机理[J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 254-260.
- [6] Zhang Jinliang, Chang Xiangchun, Liu Baojun, Liu Fengming. Fluid history analysis and formation mechanism of the Yancheng petroleum reservoir [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002,76(2): 254-260. (in Chinese with English abstract)
- [7] Burruss R C, Cercone K R, Harris P M. Fluid inclusion petrography and tectonic-burial history of the Al Ali No. 2 well: Evidence for the timing of diagenesis and oil migration, north Oman foredeep[J]. *Geology*, 1983, 11: 567-570.
- [8] 张金亮. 利用流体包裹体研究油藏注入史[J]. *西安石油学院学报*, 1998, 13(4):1-4.
- [9] Zhang Jinliang. Application of fluid inclusions to the study of oil reservoir filling history[J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 1998, 13(4):1-4.
- [10] 顾雪祥,李葆华,徐仕海. 贵州石头寨二叠系古油藏油气成藏期分析:流体包裹体与 Sm-Nd 同位素制约[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9):2279-2286.
- [11] Gu Xuexiang, Li Baohua, Xu Shihai. Analysis of the charge of the Shitouzhai Permian paleo-oil reservoir, Guizhou, SW-China: Fluid inclusion and Sm-Nd isotope constraints[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2279-2286. (in Chinese with English abstract)
- [12] 卢焕章,范宏瑞,倪培. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社, 2004:370-394.
- [13] Lu Huanchang, Fan Hongrui, Ni Pei. Fluid inclusions[M]. Beijing: Science Press, 2004:370-394. (in Chinese)
- [14] 谢增业,单秀琴,李剑. 川东北飞仙关组包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1): 49-54.
- [15] Xie Zengye, Shan Xiuqin, Li Jian. The characteristics of fluid inclusions in carbonate of the Feixianguan formation in north-eastern Sichuan basin and its application to identify gas reservoirs[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25(1): 49-54. (in Chinese with English abstract)
- [16] 肖贤明,刘祖发,刘德汉. 应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J]. *科学通报*, 2002, 47(12): 957-960.
- [17] Xiao Xianming, Liu Zufa, Liu Dehan. Study on reservoir-forming time of gas reservoir according to information of fluid inclusions[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002,47(12):957-960. (in Chinese with English abstract)
- [18] 潘立银,倪培,欧光习. 油气包裹体在油气地质研究中的应用——概念、分类、形成机制及研究意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1):19-28.
- [19] Pan Liyin, Ni Pei, Ou Guangxi. Application of organic inclusion study in petroleum geology-conception, classification, formation mechanism and significance[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006,25(1):19-28. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王飞宇,师玉雷,曾花森. 利用流体包裹体丰度识别古油藏和限定成藏方式[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1):12-18.



- Wang Feiyu, Shi Yulei, Zeng Huasen. To identify paleo-oil reservoir and to constrain petroleum charging model using the abundance of oil inclusions[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25(1):12-18. (in Chinese with English abstract)
- [14] 邱楠生, 金之钧, 胡文瑄. 东营凹陷油气充注历史的流体包裹体分析[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 2000, 24(4):95-99.
- Qiu Nansheng, Jin Zhijun, Hu Wenxuan. Study on the hydrocarbon charge history in Dongying depression by evidence from fluid inclusions [J]. *Journal of the University of Petroleum (Natural Science Edition)*, 2000, 24(4):95-99. (in Chinese with English abstract)
- [15] 高玉巧, 欧光习, 谭守强. 岐口凹陷西坡白水头构造-段下部油气成藏期次研究[J]. *岩石学报*, 2003, 19(2):359-365.
- Gao Yuqiao, Ou Guangxi, Tan Shouqiang. Research on the charge times and stages of oil and gas reservoir in lower Es1 of Baishuitou structure at west slope in Qikou depression[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(2):359-365. (in Chinese with English abstract)
- [16] 马永生, 牟传龙, 郭旭升. 四川盆地东北部长期沉积特征与沉积格局[J]. *地质论评*, 2006, 52(1):25-29.
- Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Xusheng. Characteristic and framework of the Changxingian sedimentation in the Northeastern Sichuan Basin[J]. *Geological Review*, 2006, 52(1):25-29. (in Chinese with English abstract)
- [17] 汪成泽, 赵文智, 张林. 四川盆地构造层次与天然气勘探[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- Wang Chengze, Zhao Wenzhi, Zhang Lin. Sichuan basin geological structure level and nature gas exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. (in Chinese)
- [18] 王一刚, 余晓锋, 杨雨. 流体包裹体在建立四川盆地古地温剖面研究中的应用[J]. *地球科学*, 1998, 23(3):285-288.
- Wang Yigang, Yu Xiaofeng, Yang Yu. Applications of fluid inclusions in the study of paleo-geotemperature in Sichuan basin[J]. *Earth Science*, 1998, 23(3):285-288. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陶士振, 张宝民, 赵长毅. 流体包裹体方法在油气源追踪对比中的应用-以四川盆地碳酸盐岩大型气田为例[J]. *岩石学报*, 2003, 19(2):327-336.
- Tao Shizhen, Zhang Baomin, Zhao Changyi. Application of fluid inclusion in oil-gas source trace[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(2):327-336. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陶士振, 邹才能, 张宝民. 川东北飞仙关鲕滩气藏储层流体包裹体与成藏特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1):42-48.
- Tao Shizhen, Zou Caineng, Zhang Baomin. The fluid inclusions and reservoir forming characteristics of the oolitic beach gas reservoirs in the Feixianguan formation of the northeastern Sichuan[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25(1):42-48. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘德汉, 肖贤明, 熊永强. 四川东部飞仙关组鲕滩气藏储层含自然硫不混溶包裹体及硫化氢成因研究[J]. *中国科学(D辑)*, 2006, 36(6):520-532.
- Liu Dehan, Xiao Xianming, Xiong Yongqiang. Natural sulfur-bearing immiscible inclusions and H<sub>2</sub>S genesis of the oolitic beach gas reservoirs in the Feixianguan formation of the Eastern Sichuan[J]. *Science in China (series D)*, 2006, 36(6):520-532. (in Chinese with English abstract)
- [22] Burke E A J. Raman microspectrometry of fluid inclusions [J]. *Lithos*, 2001, 55:139-158.
- [23] Potter R W I, Clyne M A, Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions[J]. *Economic Geology*, 1978, 83:284-285.
- [24] 施继锡, 余孝颖. 碳酸盐岩中包裹体有机质特征与非常规油气评价[J]. *矿物学报*, 1996, 16(2):103-108.
- Shi Jixi, Yu Xiaoying. Characteristics of inclusion organic matter in carbonate rocks and unconventional evaluation of oil and gas[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1996, 16(2):103-108. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王建宝, 郭汝泰, 肖贤明. 塔里木盆地轮南低隆起早古生代油气藏形成的期次与时间研究[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2):320-332.
- Wang Jianbao, Guo Rutai, Xiao Xianming. Timing and phases of hydrocarbon migration and accumulation of the formation of oil and gas pools in Lunnan low Uplift of Tarim basin [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 20(2):320-332. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘建明. 沉积盆地动力学与盆地流体成矿[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19(2):76-84.
- Liu Jianming. Dynamics of sedimentary basins and basin-fluid related ore-forming [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000, 19(2):76-84. (in Chinese with English abstract)
- [27] 郝芳, 朱扬明, 郑荣才. 宣汉-达县地区油气成藏动力学研究[R]. 中石化股份有限公司南方勘探开发分公司, 2006.
- Hao Fang, Zhu Yangming, Zheng Rongcai. Study on the Dynamics of oil and gas accumulation in Xuanhan-Daxian area [R]. Exploration and development of the South Branch of China Petroleum & Chemical Corporation, 2006. (in Chinese)
- [28] 马永生, 傅强, 郭彤楼. 川东北地区普光气田长兴飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(5):455-461.
- Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou. Pool forming pattern and process of the upper Permian-lower Triassic, the Puguang gas field, northeast Sichuan basin, China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(5):455-461. (in Chinese with English abstract)