

文章编号: 1000-0550(2003)03-0522-06

# 川西南碳酸盐岩储层流体包裹体气体地球化学研究<sup>①</sup>

杨荣生<sup>1</sup> 张铭杰<sup>2</sup> 张同伟<sup>1</sup> 李立武<sup>1</sup> 唐俊红<sup>1</sup>

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 兰州 730000)

2 (兰州大学资源环境学院地质系 兰州 730000)

**摘要** 采用真空磁力破碎包裹体与质谱计在线连接的方法,分析了四川盆地西南威远气田、资阳气田和隆昌气田不同时代碳酸盐岩储层中流体包裹体的化学成分和碳同位素组成,并结合储层地质特征,研究了储层流体的来源。研究表明:流体包裹体气体成分主要以CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>为主,不同时代的储层原岩流体包裹体的成分明显不同,同一时代储层原岩及次生脉体中气体的含量变化不一。二叠系储层原岩流体包裹体气体成分以甲烷为主,CH<sub>4</sub>含量一般在80%以上,而震旦系储层原岩则以CO<sub>2</sub>为主,CO<sub>2</sub>含量大于60%。震旦系储层沥青脉中的包裹体CH<sub>4</sub>含量最低,储层原岩包裹体CH<sub>4</sub>含量次之,次生白云岩及方解石脉体中的包裹体CH<sub>4</sub>的含量均大于前两者;而CO<sub>2</sub>的含量却刚好于此相反。依据储层原岩、次生矿物脉体和沥青脉中包裹体CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>碳同位素组成的变化,讨论了二叠系(P<sub>1</sub><sup>3A</sup>、P<sub>1</sub><sup>3B</sup>)和震旦系(Z<sub>4</sub>、Z<sub>3</sub>、Z<sub>2</sub>)不同层段储层中油气侵入的方式和过程。

**关键词** 川西南 碳酸盐岩储层 流体包裹体 化学组分 同位素组成 油气运移

**第一作者简介** 杨荣生 男 1976年出生 硕士研究生 地球化学

中图分类号 P593 文献标识码 A

## 1 引言

流体包裹体是矿物结晶生长过程中被捕获在矿物晶体缺陷、空穴、晶格空位、位错及微裂隙中的成岩成矿溶液,至今在主矿物中完好封存并与主矿物有着相的界限的封闭体系<sup>[1]</sup>。流体包裹体最初用于矿床学研究,通过盐水、气液包裹体测温、盐度和冰点等方面的研究来反演矿床的形成条件。

有机包裹体的认识较晚,到20世纪70年代末才开始在石油地质研究中得到应用。有机包裹体是由有机的液体、气体和固体所组成,液体如石油,气体如甲烷、乙烷,固体为沥青等<sup>[1]</sup>。Burruss(1987)称这种包裹体为碳氢流体包裹体或烃流体包裹体。烃类包裹体的研究,可指示含烃流体运移的物理化学条件,与其伴生流体包裹体均一温度结合地温梯度等资料可估算油气藏成藏时间,并推断成岩作用历史及成熟度<sup>[2]</sup>。储层流体包裹体代表成岩成藏的原始流体样品,是研究油气形成、演化和运移成藏的有效示踪工具<sup>[3]</sup>。近年来,用流体包裹体研究油气的形成、运移及充填期次,已成为一种可靠有效的研究方法。本文结合川西南碳酸盐岩储层地质背景,着重研究了代表不同成藏期次的原岩、次生矿物脉体及沥青脉中的流体包裹体气体组分,甲烷及二氧化碳碳同位素组成及油气侵入储层

的方式和过程。

四川盆地天然气聚集区按区域构造位置和气田地质特征,可以分为五个不同的气区,即川东气区、川南气区、川西南气区、川西气区和川中气区<sup>[4]</sup>。本文研究区位于川西南气区的威远气田,自贡气田和及川南气区的隆昌气田。为了对比,同时选择了资阳气区。川西南气区位于四川东部侏罗山式褶皱西界以西,龙泉山断裂以东,面积 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。川西南气区在中央的威远穹窿是四川盆地最大的穹窿,复合改造呈北东走向。威远气田主要储层为上震旦统灯影组浅海碳酸盐岩台地潮坪相沉积层,其中隐藻白云岩后生孔缝发育,是主要储层,属背斜圈闭内底水活跃的孔缝型气藏储层。其岩性以白云岩为主,其中溶孔洞、裂缝、晶洞及钟乳构造发育,且裂缝中多有沥青充填。这些构造特征反映出深部流体多期次的运移和充填。

川西南气区可简称为东西向古隆起复合北东向构造控制,上震旦统碳酸盐岩产出,背斜圈闭底水活跃的孔缝型,混合深成气的气聚集区。

川南气区位于川西南气区东南侧,川东气区西南侧,面积 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,主体山脉走向NNE,由二叠系,三叠系及更老地层组成狭窄背斜,有侏罗系和更新世地层组成平缓向斜。前震旦系为板溪群浅变质基底,古生代为古构造的拗陷区,中生代为隆起区,新生

① 国家自然科学基金(批准号:40072048)资助

代褶皱形成小型低陡低缓型背斜,断背斜和潜伏构造。

## 2 样品及实验

### 2.1 样品

研究样品为采自川西南的威远、自贡和隆昌气田震旦系及二叠系碳酸盐岩储层,以及资阳地区震旦系碳酸盐岩储层岩芯样品。所测样品为经挑选的溶洞方解石脉体、溶孔白云岩脉体、溶孔内石英晶体、裂缝灰岩、沥青脉及部分储层原岩样品。如取自威117井的S32样岩性为白云岩,其中晶洞、溶孔发育,其内又有沥青白云岩充填。还有S50样为一套兰灰色泥质云岩,被一期结晶较好的黄铁矿晶体脉穿插。这些都反映了该区流体活动的多期次性。在显微镜下观察储层原岩样品,一般都可发现有多期脉穿插。例如取自威99井的S31样在镜下可以观察到:岩石早期是碳酸岩脉,后被两期石英脉穿入,早期石英脉结晶较大,自形程度很高,并有代表多期次发育的生长纹;晚期脉主要成分为石英和金属矿物,一般沿早期石英脉的边缘分布,个别的可分布在石英和碳酸岩脉中。

### 2.2 实验

鉴于流体包裹体破坏性分析方法本身的局限性,本实验认为样品的选择和样品的处理是非常重要的环节。从所采的岩芯标本中选取特征明显流体包裹体分布相对较多的原岩、脉体及部分沥青作为主要的研究测试对象。称取所选样品10~15g,放入100ml烧杯中,再加入二氯甲烷(纯度99%)约50ml,置于超声振荡器,振荡5~10分钟,以清除污染在样品表面的有机物。样品自然风干后用于分析测试。

本文采用真空电磁破碎法<sup>[5]</sup>打开同期次群体包裹体,收集气体组分,采用MAT271质谱计进行成分测定;同时采用分子筛收集部分气体在GC-C-MAT252质谱计系统测定碳同位素组成。实验装置由真空电磁破碎、分子筛吸附管及MAT271质谱计组成。必须指出,这种对于群体包裹体成分的破坏性分析方法,不同期次包裹体成分的混合是不可避免的。但如果在样品选择时,精心选取同一期次形成的脉体或次生矿物进行分析,所获得的气体特征则基本可反映该期有机包裹体组成。也就是说,有机包裹体破坏性的群体分析方法,对于本文的主要研究对象——脉体和次生矿物应是有效的<sup>[6]</sup>。

在实验中,用镊子将处理过的样品放入真空电磁破碎器中,置铜垫圈于封口处,拧紧封口螺丝,密封磁力破碎器,打开真空电磁破碎器及气体吸附玻璃管上面的所有阀门抽真空5~8小时。同时,将分子筛吸附管真空加热活化。待真空度达 $1 \times 10^{-3}$ Pa时,关闭真

空电磁破碎器上的阀门,破碎样品至60目。打开磁力破碎器阀门,采用酒精液氮冷阱( $-80^{\circ}\text{C}$ )除去释放气体中的水。采用系统管线将样品释放出的气体分为两份:一份直接导入MAT271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,吸收气体在GC-C-MAT252质谱计系统测定碳同位素组成。测定结果将分述如下。

## 3 结果与讨论

### 3.1 流体包裹体气体组分特征

表1、2、3分别为隆昌气田二叠系灰岩储层、威远气田震旦系 $Z_3$ 、 $Z_4$ 段和资阳气田震旦系 $Z_2$ 段白云岩储层包裹体气体组分和碳同位素组成分析结果。由表可看出,流体包裹体气体成分以甲烷和二氧化碳为主,但不同时代储层中流体包裹体气体组成明显不同(图1),相同时代不同期次的流体包裹体气体组成亦有明显的不同。

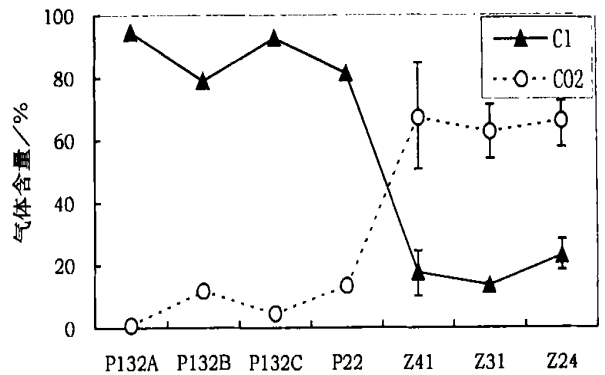


图1 川西南不同时代储层岩石中包裹体气体含量

Fig. 1 The gas contents of inclusions in reservoirs of different ages in southwest Sichuan Basin

#### 3.1.1 二叠系储层

如表1所示,昌2井( $P_1^{2A}$ )、镇1井( $P_1^{2B}$ )、威阳17井( $P_1^{2C}$ )和包10井( $P_2^2$ )包裹体气体组成以甲烷为主,相对含量在65%~95%,二氧化碳含量较低,在0.3%~20%。不同的层系中( $P_1^{2A}$ 、 $P_1^{2B}$ 、 $P_1^{2C}$ 、 $P_2^2$ )包裹体气体成分没有明显的差异(图2a、2b)。储层原岩、次生方解石脉体和沥青脉中流体包裹体气体组成亦没有显著的变化。

#### 3.1.2 $Z_3$ 、 $Z_4$ 储层(威远震旦系)

如表2和图3a、3b所示,相同井段(如威99井、威117井)储层原岩、次生白云石脉体及次生沥青脉体流体包裹体气体组成明显不同,次生白云石脉体包裹体气体成分以甲烷为主,甲烷含量在37%~68%,平均为56.8%,二氧化碳含量在25.6%~44.8%,平均为33.4%;白云岩(在此称储层原岩)则以 $\text{CO}_2$ 为主,含

表1 四川盆地二叠系储层流体包裹体气体化学组成和碳同位素组成

Table 1 The chemical and isotopic compositions of gas in fluid inclusions in Permian system reservoirs of Sichuan Basin

样品号	埋深/m	井号	岩性	层位	C <sub>1</sub> /%	C <sub>2</sub> /%	C <sub>3</sub> /%	CO <sub>2</sub> /%	N <sub>2</sub> /%	δ <sup>13</sup> C <sub>1</sub> /‰	δ <sup>13</sup> C <sub>CO<sub>2</sub></sub> /‰
S16-2	2372.43~5.77	昌2	灰岩	P <sub>12A</sub> <sup>3</sup>	65.64	0.89	0.00	17.43	13.21	-34.99	-15.51
S17-1	2357.09~0.22	昌2	灰岩	P <sub>12A</sub> <sup>3</sup>	94.58	2.69	0.00	0.84	1.39	-34.20	-20.90
S17-3	2357.09~0.22	昌2	黄铁矿	P <sub>12A</sub> <sup>3</sup>	76.01	2.01	0.52	9.94			
S54-1	2342	镇1井	白色方解石	P <sub>12B</sub> <sup>3</sup>	71.10	2.02	0.31	18.04	2.49	-36.12	-2.63
S54-2	2342	镇1井	灰色杂色脉	P <sub>12B</sub> <sup>3</sup>	71.57	1.13		20.07	5.04	-38.75	-5.08
S54-3	2342	镇1井	灰岩	P <sub>12B</sub> <sup>3</sup>	79.05	0.75	0.00	11.84	7.71	-31.76	-2.71
S20-1	1814.47~0.53	咸阳17	溶洞方解石	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	89.96	0.52	0.00	3.05	4.42	-31.27	-6.08
S20-2	1814.47~0.53	咸阳17	沥青脉	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	93.26	0.38	0.00	0.31	2.34		
21-1	1802.95~3.32	咸阳17	溶洞方解石	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	87.12	0.54	0.09	9.66	2.33		-4.48
S21-2	1802.95~3.32	咸阳17	碳质黄铁矿	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	84.42	2.19	0.56	9.02	3.19	-29.86	-6.49
S21-3	1802.95~3.32	咸阳17	灰岩	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	92.67	0.43	0.00	4.50	1.93	-31.80	
S21-4	1802.95~3.32	咸阳17	沥青	P <sub>12C</sub> <sup>3</sup>	77.33	1.10	0.00	9.62	8.17	-34.69	-11.87
S22-2	2783.30~0.51	包十井	生物灰岩	P <sub>2</sub> <sup>2</sup>	81.40	0.34	0.00	13.56	1.27	-33.51	-13.49
S23-1	2781.11~0.20	包十井	暗色生物灰岩	P <sub>2</sub> <sup>2</sup>	77.88	2.04	0.00	10.40	6.92	-23.26	

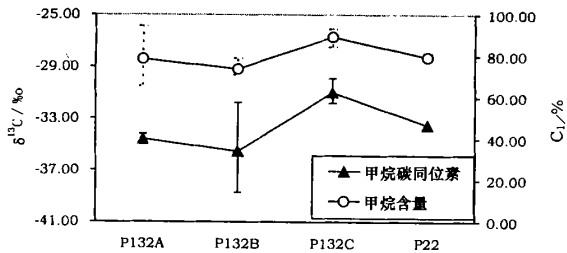
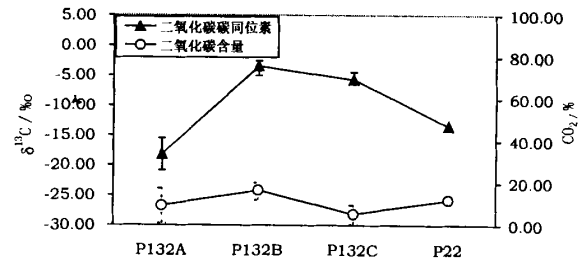
图2a 川西南二叠系储层包裹体中甲烷同位素及含量组成  
Fig. 2a The isotopic contents and percentage of CH<sub>4</sub> of fluid图2b 川西南二叠系储层包裹体中二氧化碳同位素及含量组成  
Fig. 2b The isotopic contents and percentage of CO<sub>2</sub> in fluid

表2 四川盆地威远地区震旦系储层流体包裹体气体化学组成和碳同位素组成

Table 2 The chemical and isotopic compositions of fluid inclusions in Sichuan Basin

样品号	埋深/m	井号	岩性	层位	C <sub>1</sub> /%	C <sub>2</sub> /%	C <sub>3</sub> /%	CO <sub>2</sub> /%	N <sub>2</sub> /%	δ <sup>13</sup> C <sub>1</sub> /‰	δ <sup>13</sup> C <sub>CO<sub>2</sub></sub> /‰
S24-2	2951.22~0.37	威99	含溶孔白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	21.9416	0.8569	0	55.3365	16.5807	-38.22	-13.92
S28-1	2903.00~0.14	威99	含溶孔白云岩脉体	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	62.0409	1.1062	0.2027	27.6223	7.791	-41.9	-9.76
S28-2	2903.00~	威99	含溶孔白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	12.6117	0.2758	0	84.6643	1.5885	-41.35	-14.85
S29-1	2933.60~0.65	威99	浅色白云岩脉体	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	58.8271	0.2686	0	33.2354	7.2016		
S29-2	2933.60~0.65	威99	浅色白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	21.5052	0.1879	0	69.0654	7.9923	-33.8	-7.53
S30	2939	威99	浅灰色溶孔白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	10.0856	0.2003	0	50.7569	31.5293	-39.44	-3.64
S31-1	3029.02~0.12	威99	灰白色云岩脉体	Z <sub>3</sub>	68.0094	0.0671	0	25.6366	5.7862	-38.72	-12.31
S32-1	3001.32	威117	沥青脉	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	2.1893	0.4969	0	1.8846	76.8914	-42.23	-14.93
S32-2	3001.32	威117	白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	24.5348	0.6321	0	70.5655	3.5747	-34.19	-7.09
36-1	3047.21	威117	溶孔白云岩脉体	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	37.2444	0.1202	0	44.7591	16.4395	-36.5	-9.4
36-2	3047.12	威117	溶孔白云岩	Z <sub>4</sub> <sup>1</sup>	15.636	0.186	0	72.7047	8.7534	-44.9	-5.96
39-1	3159.16~0.32	威117	溶孔白云岩脉体	Z <sub>3</sub> <sup>1</sup>	57.5524	0.0732	0	36.1454	5.5146	-34.99	-12.75
S39-2	3159.16~0.32	威117	溶孔白云岩	Z <sub>3</sub> <sup>1</sup>	14.0599	0.4596	0	54.1788	29.1873	-44.03	
S47-1	3391.87	威117	灰色云岩脉体	Z <sub>3</sub>	57.2419	0.0291	0	33.2048	8.554	-34.15	-18.34
S47-2	3391.87	威117	灰色白云岩	Z <sub>3</sub>	13.0672	0.0902	0	71.2953	13.7766		-14.45

量在 54.1%~84.7%，平均为 66.1%，而甲烷含量较低，在 10.1%~24.5%，均值为 16.6%。沥青脉中包裹体气体成分以氮气为主，含量约为 77%，而甲烷和二氧化碳含量都很低，分别为 2.2%和 1.9%。这里，储层原岩、次生白云石脉体和沥青脉分别代表了三期不同的流体侵入储层的过程。

### 3.1.3 Z<sub>2</sub> 储层(资阳震旦系)

如表 3 和图 4a、4b 所示，相同井段(如资 1 井、资 7 井和资 5 井)储层原岩、次生白云石脉体及次生沥青脉体流体包裹体气体组成明显不同，变化特征与 Z<sub>3</sub>、Z<sub>4</sub> 段相似。次生白云石脉体包裹体气体成分以甲烷为主，甲烷含量在 55.3%~74%，平均为 65%，二氧化碳

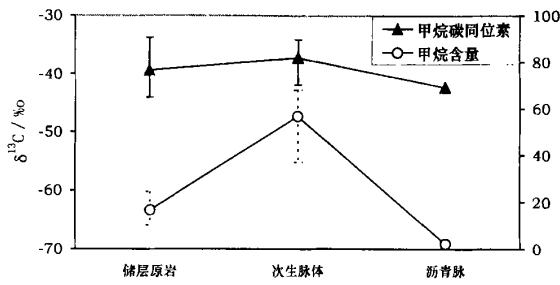


图 3a 威阳地区储层原岩、次生脉体及沥青脉中甲烷同位素及含量组成

Fig. 3a The isotopic contents and percentage of CH<sub>4</sub> in reservoir protoliths

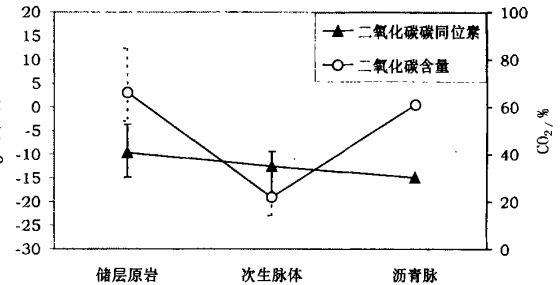


图 3b 威阳地区储层原岩、次生脉体及沥青脉中二氧化碳同位素及含量组成

Fig. 3b The isotopic contents and percentage of CO<sub>2</sub> in reservoir protoliths

表 3 四川盆资阳地区震旦系储层流体包裹体气体化学组成和碳同位素组成

Table 3 The chemical and isotopic compositions of fluid inclusions in Sinian system reservoirs in Ziyang region of Sichuan Basin

样品号	埋深/m	井号	岩性	层位	C <sub>1</sub> /%	C <sub>2</sub> /%	C <sub>3</sub> /%	CO <sub>2</sub> /%	N <sub>2</sub> /%	δ <sup>3</sup> C <sub>1</sub> /‰	δ <sup>3</sup> C <sub>2</sub> /‰	δ <sup>3</sup> C <sub>CO<sub>2</sub></sub> /‰
S07-1	4002.14~4002.5	资1	溶洞内白云石晶体	Z <sub>4</sub> <sup>3</sup>	62.2	0.5	0.0	34.6	2.1	-	-	-17.0
S07-2	4002.14~4002.5	资1	原岩	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	28.2	1.9	0.0	57.7	4.4	-41.5	-25.2	-24.2
S07-3	4002.14~4002.5	资1	含沥青脉	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	13.0	0.1	0.0	76.0	9.4	-39.2	-	-11.6
S08-1	4047.58	资1	溶孔内石英晶体	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	55.3	3.4	0.9	14.6	21.6	-42.1	-34.9	-6.7
S08-2	4047.58	资1	原岩	Z <sub>4</sub> <sup>2</sup>	18.5	0.5	0.0	72.4	21.6	-37.8	-	-18.2
S60-1	3936	资7	灰白色云岩脉体	Z <sub>2dh</sub> <sup>4</sup>	74.0	1.2	0.3	20.2	3.6	-40.4	-	-24.4
S60-3	3936	资7	沥青	Z <sub>2dh</sub> <sup>4</sup>	38.7	1.2	0.2	46.3	13.0	-	-	-
S56-1	3412.8	资5	黑灰色云岩脉体	Z <sub>2dh</sub> <sup>4</sup>	68.7	1.6	0.2	18.8	6.3	-40.5	-30.0	-16.6
S56-1	3412.8	资5	黑色云岩	Z <sub>2dh</sub> <sup>4</sup>	23.5	0.2	0.0	68.6	5.7	-40.4	-	-12.7

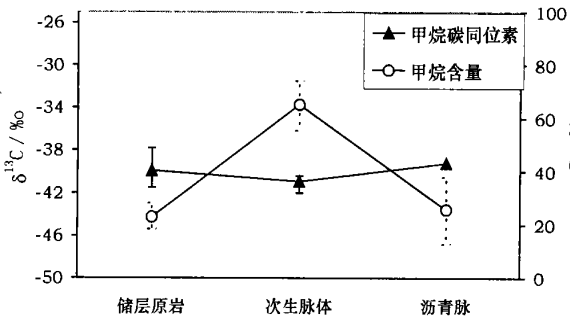


图 4a 资阳地区储层原岩、次生脉体及沥青中二氧化碳同位素及含量组成

Fig. 4a The isotopic contents and percentage of CH<sub>4</sub> in reservoir protoliths

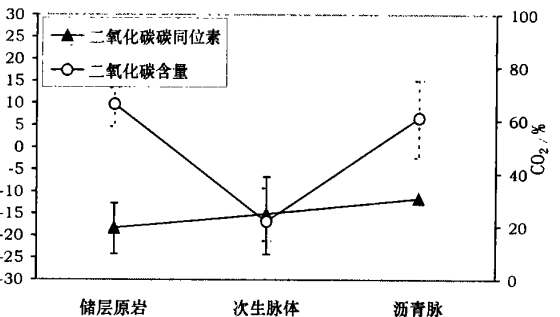


图 4b 资阳地区储层原岩、次生脉体及沥青中二氧化碳同位素及含量组成

Fig. 4b The isotopic contents and percentage of CO<sub>2</sub> in reservoir protoliths

含量在 14.6%~34.6%，平均为 22%；白云岩（储层原岩）则以 CO<sub>2</sub> 为主，含量在 57.7%~72.5%，平均为 66.2%，而甲烷含量较低，在 18.4%~26.2%，均值为 23%。沥青脉中包裹体气体成分以二氧化碳含量为主，含量在 46%~75%，平均为 61%，而甲烷含量最低，在 12.9%~38%，均值为 25.8%。

### 3.2 流体包裹体气体同位素组成特征

#### 3.2.1 甲烷碳同位素组成

##### 3.2.1.1 储层原岩甲烷碳同位素

图 5 是二叠系、震旦系不同层系储层原岩包裹体

甲烷碳同位素组成的特征。由图可看出：二叠系 4 个层段(P<sub>1</sub><sup>2A</sup>、P<sub>1</sub><sup>2B</sup>、P<sub>1</sub><sup>2C</sup>、P<sub>2</sub><sup>2</sup>) 甲烷碳同位素值(系列 1) 在 -31.8‰~-34.2‰，震旦系 Z<sub>4</sub>、Z<sub>3</sub>、Z<sub>2</sub> 段甲烷碳同位素均值分别为 -38‰、-44‰ 和 -39.9‰。二叠系储层原岩中包裹的甲烷具有较重的碳同位素组成，这可能反映了其来源相对单一，而震旦系储层原岩经受了多期的流体侵入和改造。

##### 3.2.1.2 次生脉体中甲烷碳同位素

由表 1 可看出，二叠系 4 个层段(P<sub>1</sub><sup>2A</sup>、P<sub>1</sub><sup>2B</sup>、P<sub>1</sub><sup>2C</sup>、P<sub>2</sub><sup>2</sup>) 除 P<sub>1</sub><sup>2B</sup> 层段储层原岩包裹体甲烷碳同位素

值(-31.3‰)与次生脉体的不等外,  $P_{12A}$ 和  $P_{12C}$ 层段二者几乎相等。震旦系  $Z_4$ 、 $Z_3$  层段储层原岩与次生白云石脉体包裹体甲烷碳同位素相近, 而与沥青脉体相比, 后者甲烷碳同位素值明显偏轻, 富集轻碳同位素(图 2a)。

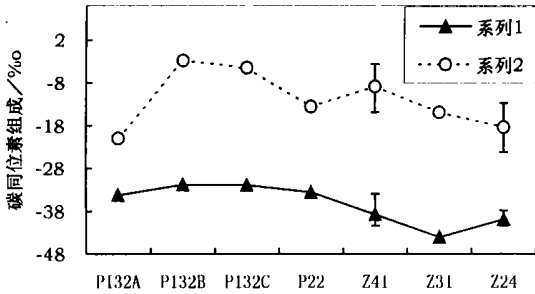


图 5 川西南二叠系、震旦系不同层系储层原岩包裹体甲烷碳同位素组成的特征

Fig. 5 The carbon isotope composition of CH<sub>4</sub> in inclusions from the Permian and Sinian reservoirs of southwestern Sichuan Basin

震旦系  $Z_2$  层段储层原岩、次生白云石脉体和沥青脉包裹体甲烷碳同位素很接近(图 3a)。

### 3.2.2 CO<sub>2</sub> 碳同位素

不同层段储层原岩包裹体中二氧化碳的碳同位素组成不同(图 5)。  $P_{12A}$ 、 $P_{22}$ 、 $Z_3$ 、 $Z_2$  层段二氧化碳的碳同位素值在 -13.5‰ ~ -20.9‰, 为有机成因的 CO<sub>2</sub>。而  $P_{12B}$ 、 $P_{12C}$  层段 CO<sub>2</sub> 碳同位素值分别为 -2.7‰ 和 -4.5‰, 表现为无机成因的特征<sup>[3]</sup>。

### 3.3 二叠系储层流体的可能来源

二叠系储层中, 流体包裹体气体成分以甲烷为主, 仅有极少量的乙烷等重烃组分, 另有很少量的水, 表现为干气的特点。甲烷碳同位素值在 -31.8‰ ~ -34.2‰, 这表明储层流体中的甲烷为有机质在高演化阶段的产物。与其共存的 CO<sub>2</sub> 气体在不同层段的碳同位素组成不同, 可能反映了流体侵入储层的方式不同。  $P_{12A}$  层段, 灰岩和次生方解石脉中包裹的 CO<sub>2</sub> 气体的碳同位素值在 -15.5‰ ~ -20.9‰, 为典型的有机成因的 CO<sub>2</sub>, 这可能反映了天然气主要以气相的方式侵入储层。  $P_{12B}$  层段, 灰岩和次生方解石脉中包裹的 CO<sub>2</sub> 气体的碳同位素值在 -2.7‰ ~ -5‰, 表现为明显的无机成因特征。关于 CO<sub>2</sub> 气体的来源, 我们认为碳酸盐岩在有水参与下的热分解可能为其来源之一。众所周知, CaCO<sub>3</sub> 开始分解时的温度不高于 425 °C<sup>[7]</sup>; 然而在有水参与的情况下, 一般在 70 ~ 220 °C 之间就可大量分解 CO<sub>2</sub>; 而我们所测定的该层段各期次的流体包裹体均一温度的范围为 181 ~ 220 °C, 经压力校正之后, 温度条件已满足有水参与时碳酸盐岩的分解条件<sup>[8]</sup>。

### 3.4 威远气田震旦系储层流体的可能来源

威远气田震旦系  $Z_4$ 、 $Z_3$  层段, 储层原岩、次生白云石脉体和沥青脉体中, 包裹体气体组成明显不同: 次生白云石脉以甲烷为主, 其碳同位素值在 -34‰ ~ -41.9‰; CO<sub>2</sub> 的碳同位素值在 -9.4‰ ~ -18.3‰, 表现为有机成因的特征; 沥青脉 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 含量很低, 主要成分为 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 的碳同位素值为 -14.9‰, 为有机成因; 储层原岩包裹体气体组成以 CO<sub>2</sub> 为主, 其碳同位素值在 -3.6‰ ~ -14.8‰。  $Z_4$ 、 $Z_3$  层段储层流体的演化至少经过了这样 3 个演化阶段: 含烃类气体的热流体侵入白云岩储层, 使白云岩发生热分解释放 CO<sub>2</sub>, 形成以 CO<sub>2</sub> 为主的储层原岩包裹体; 以气相为主的天然气运移进入储层, 该期与天然气的聚集关系密切; 最后一期则可能是后期富 N<sub>2</sub> 的地表水沿断层等下渗, 将油气氧化, 形成了富 N<sub>2</sub> 的沥青包裹体。

### 3.5 资阳气区震旦系储层流体的可能来源

资阳气区震旦系  $Z_2$  层段, 在储层原岩、次生白云石脉体和沥青脉体包裹体中, 气体组成的不同反映了流体进入储层的过程。次生白云石脉以甲烷为主, 其碳同位素值在 -40.4‰ ~ -42.0‰, 可能为油伴生气, 反映其烃源岩成熟度不高; CO<sub>2</sub> 的碳同位素值为 -15.1‰, 为有机成因。沥青脉以 CO<sub>2</sub> 为主, 其碳同位素值为 -11.6‰, 主要为有机成因。储层原岩包裹体气体组成以 CO<sub>2</sub> 为主, 其碳同位素值在 -12.7‰ ~ -24.2‰, 为典型的有机成因。这表明资阳气区震旦系  $Z_2$  层段储层流体经过了 2 个主要的演化阶段: 液态烃与其伴生的油溶气运移进入储层, 然后随着储层热演化的增加, 早期进入储层的烃类发生热裂解。

## 4 结论

1, 川西南区碳酸岩储层流体包裹体气体成分以甲烷和二氧化碳为主。二叠系和震旦系储层原岩包裹体气体成分明显不同, 二叠系以甲烷为主, 震旦系则以二氧化碳为主。

2, 威远气田震旦系  $Z_4$ 、 $Z_3$  层段, 储层原岩、次生白云石脉体和沥青脉体包裹体成分和同位素组成的不同, 反映了  $Z_4$ 、 $Z_3$  层段储层至少经历过三期流体的侵入活动。

3, 资阳气田震旦系  $Z_2$  层段, 不同期次储层流体包裹体气体组成特征, 揭示了该层段流体经历了 2 个主要的演化阶段, 即早期液态烃及伴生的油溶气运移进入储层, 后期又在储层中发生热裂解。

4, 二叠系  $P_{12A}$  层段和  $P_{12B}$  层段, 包裹体中 CO<sub>2</sub> 气体的碳同位素组成不同(分别在 -15.5‰ ~ -20.9‰ 和 -2.7‰ ~ -5‰), 可能反映了流体侵入储

层的方式不同。 $P_{12A}^3$ 层段,天然气主要以气相的方式侵入储层, $P_{12B}^3$ 层段,天然气伴较高温的热水溶液一同侵入储层。

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(References)

- 1 卢焕章,李秉伦,沈昆等.包裹体地球化学[M].北京:地质出版社,1990.6~21[Lu Huanzhang, Li Binglun, Shen Kun *et al.* Fluid inclusion geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 6~21]
- 2 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[Zhang Jinliang. Application of fluid inclusions to the study of oil reservoir filling history[J]. The Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1998, 13(4): 1~4]
- 3 戴金星.天然气地质和地球化学论文集[J].北京:石油工业出版社,2000.184~226[Dai Jinxing. Selected works of natural gas geology and geochemistry(V.2)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 184~226]
- 4 刘德良,宋岩等.四川盆地构造与天然气聚集区带综合研究[M].北京:石油工业出版社,2000.25~48[Liu Deliang, Song Yan, *et al.* The comprehensive research of tectonic and natural gas accumulation region of Sichuan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 25~48]
- 5 孙明良,陈践发.真空电磁破碎器粉碎盐岩颗粒及稀有气体同位素组成测量的实验研究[J].沉积学报,1998,16(1):103~106[Sun Mingliang, Chen Jianfa. Study on the salt deposit crushing by the vacuum electric magnetic breaker and measurement of noble gas isotope composition[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1): 103~106]
- 6 柳少波,顾家裕.流体包裹体成分研究方法及其在油气研究中的应用[J].石油勘探与开发,1997,28(1):48~50[Liu Shaobo, Gu Jiayu. The research methods of fluid inclusion composition and its application in the oil and gas research[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 16(1): 48~50]
- 7 朱岳年,吴新年.二氧化碳地质研究[M].兰州:兰州大学出版社,1994.1~12[Zhu Yuenian, Wu Xinnian. The geological study of carbon dioxide[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1994. 1~12]
- 8 刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999.119~141[Liu Bin, Shen Kun. Thermodynamics of fluid inclusions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 119~141]

## Gas Geochemistry of Fluid Inclusions in Carbonate Reservoirs of Southwestern Sichuan Basin

YANG Rong-sheng<sup>1</sup> ZHANG Ming-jie<sup>2</sup> ZHANG Tong-wei<sup>1</sup> LI Li-wu<sup>1</sup> TANG Jun-hong<sup>1</sup>

(State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences Lanzhou 730000);

2 (Geology Department, School of Natural Source and Environment Lanzhou University, Lanzhou 730000)

**Abstract** The chemical components and isotopic compositions of fluid inclusions in different carbonate reservoirs in Weiyuan, Ziyang and Longchang gas fields in the southwest of Sichuan Basin are measured by means of on-line mass spectrometry connected with magnetic force crushing equipment to break fluid inclusions under vacuum. Combining the geological characteristics of reservoirs, the sources of fluids of in the reservoirs are considered. Results are attained concerning that  $CH_4$  and  $CO_2$  are mainly gas compositions in the fluid inclusions; the components of fluid inclusions from reservoir protoliths in different ages are different and the gas contents vary differently in the reservoir protoliths and the secondary veins in the same geological strata.

$CH_4$  is the predominant gas composition in fluid inclusions trapped in reservoir protoliths of Permian System, which is generally higher than 80%; While in Sinian system,  $CO_2$  is the mainly gas composition, with the contents of above 60%. In the inclusions lying in asphalt veins in Sinian system, the contents of  $CH_4$  are the lowest ones and those in reservoir protoliths are the second lowest. The contents of  $CH_4$  in inclusions of the secondary dolomite veins are higher than both of the asphalt veins and reservoir protoliths, while the contents of  $CO_2$  in this series are just on the contrary. According to the diversity of carbon isotopic components of  $CH_4$  and  $CO_2$  in reservoir protoliths, secondary mineral veins and asphalt veins respectively, this paper sheds light onto the intrusion pattern and process of petroleum and natural gas in different strata of reservoirs in Permian system ( $P_{12A}^3$ ,  $P_{12B}^3$ ) and Sinian system ( $Z_4$ ,  $Z_3$ ,  $Z_2$ ).

**Key words** The southwestern Sichuan Basin, carbonate reservoir, fluid inclusions, chemical compositions, isotopic composition, migration of petroleum and natural gas