

文章编号:1673-5005(2011)04-0041-06

# 油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因及其石油地质意义

曲希玉<sup>1,2</sup>, 刘立<sup>2</sup>, 杨会东<sup>3</sup>, 刘娜<sup>2</sup>, 张立东<sup>4</sup>, 王卫学<sup>5</sup>

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;  
3. 中国石油吉林油田公司, 吉林 松原 138000; 4. 中石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083;  
5. 大庆油田有限责任公司 第四采油厂, 黑龙江 大庆 163512)

**摘要:**以松辽盆地南部油伴生 CO<sub>2</sub> 气为研究对象,通过组分分析及碳、氧及氦同位素分析,结合中国已有伴生 CO<sub>2</sub> 气的含量及同位素数据,研究油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因及其意义。结果表明:中国油伴生气中 CO<sub>2</sub> 的含量为 0~99.53%,大部分在 5% 以下;油伴生 CO<sub>2</sub> 气的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值为  $-15.91\text{‰} \sim +6.49\text{‰}$ ,集中分布于  $-13\text{‰} \sim -4\text{‰}$ ,以无机成因气为主;松辽盆地南部油伴生 CO<sub>2</sub> 气的含量为 1.43%~54.22%,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值为  $-5.32\text{‰} \sim -6.76\text{‰}$ ,为幔源-岩浆成因;幔源-岩浆成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气与气藏中的 CO<sub>2</sub> 气成因一致,注入时间一般晚于油气大规模充注时间,CO<sub>2</sub> 充注驱油普遍存在;在幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 与油气混合成藏地区(如松辽盆地南部)寻找幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 充注驱油成因的次生油气藏将是一个新的勘探思路。

**关键词:**伴生气;幔源-岩浆 CO<sub>2</sub>;驱油;松辽盆地南部

**中图分类号:**TE 133 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2011.04.007

## Genesis of oil-associated CO<sub>2</sub> and its significance in petroleum geology

QU Xi-yu<sup>1,2</sup>, LIU Li<sup>2</sup>, YANG Hui-dong<sup>3</sup>, LIU Na<sup>2</sup>, ZHANG Li-dong<sup>4</sup>, WANG Wei-xue<sup>5</sup>

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

3. Jilin Oilfield Company, PetroChina, Songyuan 138000, China;

4. International Petroleum Exploration and Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083, China;

5. 4th Oil Production Plant of Daqing Oilfield Company Limited, Daqing 163512, China)

**Abstract:** Taking the oil-associated CO<sub>2</sub> samples from southern Songliao Basin as the research object, the genesis and significance of the oil-associated CO<sub>2</sub> were studied through component analysis, carbon, oxygen and helium isotopic analysis and combining with the existent oil-associated CO<sub>2</sub> content and isotopic data in China. The results show that the CO<sub>2</sub> content of oil-associated gas in China is 0–99.53%, most of which is less than 5%. Carbon stable isotopic value for CO<sub>2</sub> ranges from  $-15.91\text{‰}$  to  $6.49\text{‰}$ , which mainly distributes in the section of  $-13\text{‰}$  to  $-4\text{‰}$ , indicates that most of CO<sub>2</sub> has an inorganic origin. The content and the carbon stable isotopic value for the oil-associated CO<sub>2</sub> in southern Songliao Basin range from 1.43% to 54.22% and  $-5.23\text{‰}$  to  $-6.76\text{‰}$ , respectively, suggesting a mantle-magmatic origin. As the oil-associated CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in gas reservoir had the same origin, and the injected-time for oil-associated CO<sub>2</sub> was later than the large scale oil and gas generation. The CO<sub>2</sub> flooding was common in geologic history. In the mixed-reservoir contained mantle-magmatic CO<sub>2</sub> and oil, such as the southern Songliao Basin, secondary oil and gas reservoirs could be found with the function of the displacement of CO<sub>2</sub>.

**Key words:** oil-associated gas; mantle-magmatic CO<sub>2</sub>; oil displacement; southern Songliao Basin

收稿日期:2010-12-21

基金项目:国家自然科学基金项目(40672074);教育部博士点基金项目(20070183137,20090061120043);吉林大学基本科研业务费项目(200903024)

作者简介:曲希玉(1977-),男(汉族),内蒙古扎兰屯人,副教授,博士,主要从事流体-岩石相互作用、储层及沉积方面的研究。

油伴生气是在成油过程中伴生形成或者后期进入油藏的天然气,这些天然气是与油藏分布有密切关系的气顶气、油溶气以及油藏之间或油藏上、下方的气藏气。油伴生气中  $\text{CO}_2$  的含量主体在 5% 以下<sup>[1-7]</sup>,近年来,随着油田开发的不断深入,伴生气中  $\text{CO}_2$  的含量迅速上升<sup>[7]</sup>,给油田的勘探、生产带来了新的挑战和机遇。油伴生  $\text{CO}_2$  气的成因分为有机成因和无机成因,无机成因伴生  $\text{CO}_2$  气来自于幔源-岩浆<sup>[2]</sup>和海相碳酸盐及储层方解石胶结物的热分解<sup>[5-7]</sup>,其中幔源-岩浆  $\text{CO}_2$  气的气源充足、注入量大。这些无机  $\text{CO}_2$  气的混入必然会对油气动态成藏产生影响,使原来油气藏中的油气重新组合和分配,形成新的油气藏、含气油藏和含油气藏<sup>[2]</sup>。笔者以松辽盆地南部油伴生气为研究对象,研究油伴生  $\text{CO}_2$  气的含量及其碳同位素特征,确定油伴生  $\text{CO}_2$  气的成因,探讨幔源-岩浆  $\text{CO}_2$  充注驱油的条件及其在油气二次成藏方面的贡献。

## 1 样品采集与分析

油伴生气样品采自松辽盆地南部长岭断陷红岗油田红 73 井的 1.8928 ~ 1.8960 km 井段,以及乾安油田乾 199 井的 2.2644 ~ 2.2684 km 和 2.3760 ~ 2.3826 km 井段,层位均为下白垩统泉头组四段。油伴生气样品均用双阀耐高压钢瓶在生产井口采集,具体过程为:首先连接钢瓶与井场分离器的出气管,打开钢瓶两侧阀门,用伴生气冲洗钢瓶 2 ~ 3 次,以最大限度降低空气污染;然后关闭与空气联通一侧的阀门,开始收集气体,待压力达 3 ~ 5 MPa 后关

闭另一侧阀门;最后通过阀门将气样装入天然气的袋子,并用石蜡密封。研究中共采集油伴生气样品 6 件。

对所采集的油伴生气样品进行组分及碳、氧同位素分析,测试单位为中石化勘探开发研究院无锡石油地质研究所实验研究中心。伴生气组分用 Varian CP-3800 型气相色谱仪检测,依据为 GB/T13610-2003;碳、氧同位素用 C033 MAT253 型质谱仪检测,依据为 GB/T18340.2-2001。由于分析过程中有氧化物存在, $\text{CO}_2$  中的氧可能发生同位素分流,故氧同位素数据研究价值不大。

## 2 油伴生气的特点

油伴生气的组成包括烃类气体 ( $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{C}_4\text{H}_{10}$ 、 $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )、非烃类气体 ( $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2$ ),还包括 He、Ar 等稀有气体。油伴生气的成分以烃类气  $\text{CH}_4$  为主,含量为 26.42% ~ 98.20%;  $\text{C}_2\text{H}_6$  的含量为 1.31% ~ 22.40%;  $\text{C}_3\text{H}_8$  的含量为 0.07% ~ 18.00%;  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  和  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  的含量大部分小于 5%<sup>[1]</sup>;油伴生气中  $\text{CO}_2$  的含量为 0 ~ 99.53%,主体小于 5%,仅个别地区在 10% 以上<sup>[1-7]</sup>。松辽盆地南部长岭断陷油伴生气的组成为  $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{C}_4\text{H}_{10}$ 、 $\text{C}_5\text{H}_{12}$ 、 $\text{N}_2$  和  $\text{CO}_2$ (表 1),其中  $\text{CH}_4$  含量最高,为 31.75% ~ 68.60%;  $\text{C}_3\text{H}_8$  含量为 3.26% ~ 7.02%;  $\text{N}_2$  含量为 2.50% ~ 6.34%;  $\text{CO}_2$  含量为 1.57% ~ 54.22%,大部分在 20% 以上;其余组分含量均在 5% 以下。

表 1 松辽盆地南部油伴生气组分

Table 1 Components of oil-associated  $\text{CO}_2$  in southern Songliao Basin

样号	深度 H/km	$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	$i\text{C}_5\text{H}_{12}$	$n\text{C}_5\text{H}_{12}$	%
红 73-1		2.50	46.55	37.54	5.65	3.53	0.65	1.57	0.39	0.72	
红 73-2	1.8928 ~ 1.8960	2.50	54.22	31.75	4.98	3.26	0.53	1.44	0.34	0.66	
红 73-3		5.24	1.57	68.60	10.70	7.02	1.09	3.07	0.68	1.43	
乾 199-1	2.2644 ~ 2.2684	4.96	19.06	55.65	5.11	6.30	1.17	4.56	0.88	2.28	
乾 199-2		4.35	29.22	48.69	4.41	5.37	1.03	4.07	0.78	2.08	
乾 199-3	2.3760 ~ 2.3826	4.67	24.74	51.73	4.65	5.69	1.09	4.34	0.84	2.24	

油伴生气中烃类气体的碳同位素特征比较明显, $\delta^{13}\text{C}$  值均随烷烃分子中碳数的增加而增大,具有正碳同位素系列 ( $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ ) 的特点。在松辽盆地大庆长垣,油伴生气中的  $\delta^{13}\text{C}_1$  为 -59.10‰ ~ -50.13‰,  $\delta^{13}\text{C}_2$  为 -49.12‰ ~ -38.65‰,  $\delta^{13}\text{C}_3$  为 -35.35‰ ~ -32.43‰,  $\delta^{13}\text{C}_4$  为

-30.72‰<sup>[5,7]</sup>;在松辽盆地南部长岭断陷,油伴生气中的烃类气体同样具有正碳同位素系列的特点(表 2),  $\delta^{13}\text{C}_1$  为 -50.16‰ ~ -42.46‰,  $\delta^{13}\text{C}_2$  为 -38.89‰ ~ -35.49‰,  $\delta^{13}\text{C}_3$  为 -34.49‰ ~ -32.09‰,  $\delta^{13}\text{C}_4$  为 -32.22‰ ~ -30.92‰,油伴生气中的烃类气为有机成因的油型气。

表 2 松辽盆地南部油伴生气碳同位素组成

Table 2 Carbon stable isotopes of oil-associated gas in southern Songliao Basin

样品号	深度 H/km	碳同位素丰度 δ <sup>13</sup> C <sub>PDB</sub> /‰					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
红 73-1		-5.32	-43.01	-35.49	-32.22	-31.89	-30.92
红 73-2	1.8928 ~ 1.8960	-5.38	-42.46	-36.01	-32.09	-32.13	-30.94
红 73-3		-5.80	-44.64	-36.00	-32.66	-32.59	-31.26
乾 199-1	2.2644 ~ 2.2684	-6.76	-50.16	-39.00	-34.49	-33.29	-32.12
乾 199-2		-6.09	-50.16	-38.89	-34.44	-33.24	-32.22
乾 199-3	2.3760 ~ 2.3826	-5.57	-50.06	-38.85	-34.20	-34.20	-31.86

### 3 油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因

通过对松辽盆地南部伴生 CO<sub>2</sub> 气的含量及碳同位素数据测定(表 3),综合中国国内油伴生气中 CO<sub>2</sub> 的含量及其碳同位素数据<sup>[2-7]</sup>,得到油伴生气中 CO<sub>2</sub> 的含量为 0.10% ~ 99.53%<sup>[2]</sup>,大部分在 5% 以下,平均为 15.38%;油伴生 CO<sub>2</sub> 气的同位素 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -15.91‰ ~ +6.49‰,集中分布于 -13‰ ~ -4‰。将数据投点至有机和无机成因二氧化碳判别图版中,得到油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因判别图版(图 1)。结果显示油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因类型多样,有机成因气、无机成因气和有机与无机共存气均有,以无机成因气为主,且当伴生 CO<sub>2</sub> 气的含量在 10% 以上时均为无机成因气。国内有机成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气分布于珠江口盆地<sup>[2]</sup>,黄骅拗陷孔店南区<sup>[3]</sup>,济阳拗陷孤岛油田<sup>[4]</sup>和塔里木盆地哈德逊油田<sup>[6]</sup>;无机成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气分布于南海北部边缘盆地<sup>[2]</sup>、济阳拗陷孤岛油田<sup>[4]</sup>、塔里木盆地哈德逊油田<sup>[6]</sup>、松辽盆地大庆长垣<sup>[5,7]</sup>和松辽盆地南部长岭断陷。

表 3 松辽盆地南部油伴生 CO<sub>2</sub> 气的含量及其碳同位素数据

Table 3 Data of carbon isotopes and content of oil-associated CO<sub>2</sub> in southern Songliao Basin

样品号	深度 H/km	CO <sub>2</sub> 含量	
		φ <sub>CO<sub>2</sub></sub> /%	δ <sup>13</sup> C <sub>CO<sub>2</sub></sub> /‰
红 73-1		46.55	-5.32
红 73-2	1.8928 ~ 1.8960	54.22	-5.38
红 73-3		1.57	-5.80
乾 199-1	2.2644 ~ 2.2684	19.06	-6.76
乾 199-2	2.3760 ~ 2.3826	29.22	-6.09
乾 199-3		24.74	-5.57

在油伴生气中,无机成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气含量高、分布范围广,对油气藏的开发和次生油气藏的形成具有重要影响。在含无机成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气的盆地中,伴生 CO<sub>2</sub> 气的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 特征如下:南海北部边缘盆地的油伴生 CO<sub>2</sub> 气的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -15.91‰

~-3.60‰,既有有机成因,又有无机成因,以无机成因为主(图 1),且无机油伴生 CO<sub>2</sub> 气为火山幔源型<sup>[2]</sup>。济阳拗陷孤岛油田油伴生 CO<sub>2</sub> 气的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -11.2‰ ~ -0.3‰,以无机 CO<sub>2</sub> 和有机与无机 CO<sub>2</sub> 共存气为主,无机油伴生 CO<sub>2</sub> 气为碳酸盐岩变质成因<sup>[4]</sup>。塔里木盆地哈德逊油田哈德 4 圈闭油伴生 CO<sub>2</sub> 气的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -7.5‰ ~ -7.0‰,属无机成因,其 φ(<sup>3</sup>He)/φ(<sup>4</sup>He) 值在 10<sup>-8</sup> 数量级,具有典型的沉积壳源特征,油伴生 CO<sub>2</sub> 气由不同类型碳酸盐岩热分解形成;其余各圈闭的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -12.3‰ ~ -8‰,为有机成因和无机成因共存气<sup>[6]</sup>。大庆长垣油伴生 CO<sub>2</sub> 气的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 +3.65‰ ~ +6.49‰,高于碳酸盐岩受热分解的特征值((0±3)‰),其 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值偏高的原因是 CO<sub>2</sub> 被细菌还原<sup>[5]</sup>,因此大庆长垣伴生 CO<sub>2</sub> 气同样为碳酸盐岩热变质成因。松辽盆地南部长岭断陷油伴生 CO<sub>2</sub> 气含量为 1.43% ~ 54.22%,碳同位素为 -5.32‰ ~ -6.76‰,δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值符合火山岩浆成因和幔源成因的范围((-6±2)‰),为幔源-岩浆成因。

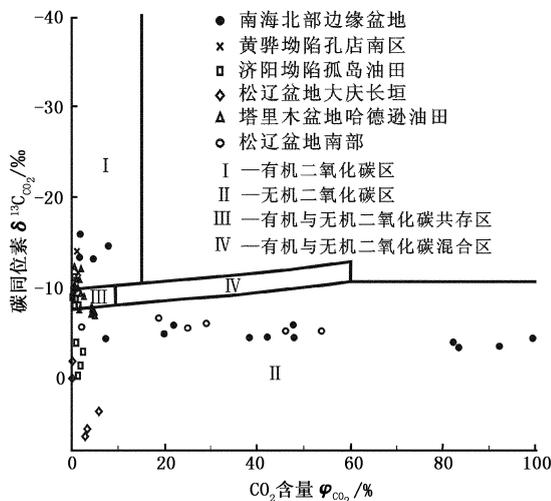


图 1 中国油伴生 CO<sub>2</sub> 气成因类型图版

Fig. 1 Chart of organic types of oil-associated CO<sub>2</sub> in China

## 4 幔源-岩浆成因油伴生 CO<sub>2</sub> 气的石油地质意义

CO<sub>2</sub> 是一种易于达到超临界状态(当温度高于 31.26 ℃,压力大于 7.2 MPa)的气体,在超临界状态下 CO<sub>2</sub> 的密度近于液体的,黏度近于气体的,扩散系数为液体的 100 倍,具有较大的溶解能力,CO<sub>2</sub> 在原油中的溶解度比在纯水中高 30 倍。当原油中溶有 CO<sub>2</sub> 时,超临界 CO<sub>2</sub> 会使原油的性质发生变化:①降低油水界面张力,进而减小残余油饱和度;②降低原油的黏度,可降低到原黏度的 63.3%<sup>[8]</sup>,最高约为原来的 1/10,原油初始黏度越高,降低后的黏度差越大;③使原油的体积膨胀,在一定压力下将 CO<sub>2</sub> 注入原油,可使原油体积膨胀 28%~50%;④萃取和汽化原油中的轻质组分<sup>[9]</sup>,形成 CO<sub>2</sub> 富气相,从而减小注入气与原油之间的界面张力;⑤发生 CO<sub>2</sub> 与原油的混相效应,形成 CO<sub>2</sub> 和轻质烃的混合油带。CO<sub>2</sub> 溶于原油并使其性质发生变化后,原油的流动性将增大,此时油藏中的原油将被 CO<sub>2</sub> 部分(形成含 CO<sub>2</sub> 油藏或含油 CO<sub>2</sub> 气藏)或者全部(形成纯 CO<sub>2</sub> 气藏)驱替出圈闭,形成次生油气藏。CO<sub>2</sub> 将油藏中的原油驱替出圈闭还需具备的地质条件为:① CO<sub>2</sub> 气源充足,能够形成足够的驱替动力;② CO<sub>2</sub> 的注入时间晚于油气成藏时间。

第一个条件的核心是油伴生 CO<sub>2</sub> 气和 CO<sub>2</sub> 气藏中 CO<sub>2</sub> 的成因问题。目前,中国东部已发现 35 个 CO<sub>2</sub> 气田(藏),这些气田主体为无机成因,其中具有商业价值的无机 CO<sub>2</sub> 气田都属于幔源-岩浆成因,如松辽盆地南部万金塔 CO<sub>2</sub> 气藏、松辽盆地北部昌德东气藏、渤海湾盆地济阳拗陷平方王 CO<sub>2</sub> 气藏、苏北盆地的黄桥 CO<sub>2</sub> 气藏和三水盆地 CO<sub>2</sub> 气藏等。

油伴生气中幔源-岩浆成因 CO<sub>2</sub> 占有很大比例(图 1),其成因一般与 CO<sub>2</sub> 气藏中的 CO<sub>2</sub> 成因一致,如南海北部边缘盆地和松辽盆地南部长岭断陷。在南海北部边缘盆地的琼东南盆地和珠江口盆地西部 CO<sub>2</sub> 气藏及高含 CO<sub>2</sub> 油气藏中,CO<sub>2</sub> 含量多在 80% 以上,δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值和 φ(<sup>3</sup>He)/φ(<sup>4</sup>He) 值偏高,R/R<sub>a</sub> 值(气样的 φ(<sup>3</sup>He)/φ(<sup>4</sup>He)与大气的 φ(<sup>3</sup>He)/φ(<sup>4</sup>He)之比)一般大于 2.0<sup>[10-12]</sup>,属于火山幔源成因,与该区油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因基本一致;松辽盆地南部长岭断陷高含 CO<sub>2</sub> 气藏的 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值为 -8.44‰~-3.37‰,伴生氦同位素 φ(<sup>3</sup>He)/φ(<sup>4</sup>He)

值为 2.65×10<sup>-6</sup>~4.53×10<sup>-6</sup>,为无机幔源成因<sup>[13-14]</sup>,与该区油伴生 CO<sub>2</sub> 气的成因相同。综上,油伴生气中幔源-岩浆成因 CO<sub>2</sub> 与高含量 CO<sub>2</sub> 气藏中的 CO<sub>2</sub> 成因基本相同,与中国东部已发现 CO<sub>2</sub> 气田(藏)中 CO<sub>2</sub> 的成因主体一致。

第二个条件的核心是幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 注入时间和油气充实时间的先后。目前,确定油气充注期次和时间的技术已日臻完善,但还没有定量测定 CO<sub>2</sub> 充注时间的方法,主要是根据 CO<sub>2</sub> 充注与火山岩之间的关系和 CO<sub>2</sub> 充注与油气之间的关系进行半定量的研究。现有研究成果显示,中国东部幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 气藏的成藏期较晚<sup>[13,15]</sup>,幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 注入时间一般晚于油气大规模充注时间<sup>[16-17]</sup>。高玉巧等<sup>[16]</sup>通过薄片鉴定、扫描电镜观察、流体包裹体分析、伊利石 K-Ar 测年及岩浆岩 U-Pb 定年确定了海拉尔盆地乌尔逊凹陷油气与无机 CO<sub>2</sub> 的充注时间,乌尔逊凹陷油气注入是一个连续的过程,于 120 Ma 开始至 105~90 Ma 达到充注高峰;CO<sub>2</sub> 注入时间相对较晚,可能为 46.2±2.1 Ma 或者更晚,晚于油气大规模充注时间。松辽盆地南部长岭断陷 CO<sub>2</sub> 气藏于晚新生代以后成藏(<65 Ma)<sup>[13,15]</sup>,晚于松辽盆地南部油气大规模充注时间(85~65 Ma)<sup>[18]</sup>。松辽盆地南部德惠断陷同样是烃类气藏先期形成,CO<sub>2</sub> 气藏后期形成<sup>[30]</sup>。

幔源-岩浆 CO<sub>2</sub> 充注对油气聚集的重要作用已得到石油界的普遍认同。王振峰等<sup>[2]</sup>基于南海北部边缘盆地含 CO<sub>2</sub> 油藏、含油 CO<sub>2</sub> 气藏和纯 CO<sub>2</sub> 气藏的研究,提出“依据 CO<sub>2</sub> 充注驱替原油的线索、迹象和路径,可以预测附近可能存在油藏的空间位置和范围”的观点。通过对 CO<sub>2</sub> 气田中烃类组分的分析及与美国麦卡伦 CO<sub>2</sub> 油气田的类比,殷红<sup>[19]</sup>推断黄桥 CO<sub>2</sub> 气藏可能是一个带油环的 CO<sub>2</sub> 凝析气藏,建议在构造低部位寻找油环。周荔青等<sup>[20]</sup>根据幔源 CO<sub>2</sub> 与油气的空间分布,将松辽盆地长岭断陷划分为无机与有机混合成藏有利区带、有机成藏组合为主的区带和无机成藏组合为主的区带。杨会东等<sup>[14]</sup>认为,研究 CO<sub>2</sub> 的分布规律对寻找二次聚集的石油烃类具有不可替代的借鉴意义。

目前松辽盆地南部已发现 CO<sub>2</sub> 含量超过 60% 的钻井 37 口、CO<sub>2</sub> 气藏 10 个,CO<sub>2</sub> 地质储量占整个松辽盆地的 92%,且气藏中的 CO<sub>2</sub> 为幔源岩浆成因;CO<sub>2</sub> 气藏呈点状或狭长条带状分布于深大断裂及火山岩发育区附近,分布层位为登娄库组、沙河子组、营城组、泉三、四段、青山口组及姚一段,与主要

含油层位一致。在松辽盆地南部德惠断陷和长岭断陷,CO<sub>2</sub>气藏形成时间晚于油气大规模充注时间<sup>[13,15,17-18]</sup>。松辽盆地南部具备幔源-岩浆CO<sub>2</sub>充注驱油的地质条件,寻找幔源-岩浆CO<sub>2</sub>充注驱油成因的次生油气藏是一个新的勘探思路。

## 5 结 论

(1)油伴生气的成分以烃类气CH<sub>4</sub>为主,CO<sub>2</sub>含量主体在5%以下,烃类气体具有正碳同位素系列( $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$ )的特点。松辽盆地南部油伴生气中CO<sub>2</sub>的含量大部分在20%以上,伴生烃类气具有正碳同位素系列的特点,为有机成因的油型气。

(2)国内油伴生气中CO<sub>2</sub>的含量为0.10%~99.53%,大部分小于5%,平均为15.38%;油伴生CO<sub>2</sub>气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值为-15.91‰~+6.49‰,集中分布于-13‰~-4‰,其成因类型多样,以无机幔源-岩浆成因气为主。松辽盆地南部油伴生CO<sub>2</sub>气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值为-5.32‰~-6.76‰,属于幔源-岩浆成因气。

(3)幔源-岩浆成因油伴生CO<sub>2</sub>气与气藏中的CO<sub>2</sub>气成因基本一致,注入时间一般晚于油气大规模充注时间,CO<sub>2</sub>充注驱油普遍存在。在幔源-岩浆CO<sub>2</sub>与油气混合成藏地区(如松辽盆地南部),寻找幔源-岩浆CO<sub>2</sub>充注驱油成因的次生油气藏是一个新的勘探思路。

## 参考文献:

[1] 杜乐天. 国外天然气地球科学研究成果介绍与分析[J]. 天然气地球科学, 2007,18(1):1-18.  
DU Le-tian. Introduction and analysis of foreign natural gas geoscience studies based on sokolov's data[J]. Natural Gas Geoscience, 2007,18(1):1-18.

[2] 王振峰,何家雄,张树林,等. 南海北部边缘盆地CO<sub>2</sub>成因及充注驱油的石油地质意义[J]. 石油学报, 2004,25(5):48-53.  
WANG Zhen-feng, HE Jia-xiong, ZHANG Shu-lin, et al. Genesis of carbon dioxide and geological significance for carbon dioxide infilling and oil displacement in the northern marginal basin of South China sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004,25(5):48-53.

[3] 王万春,任军虎,张小军,等. 黄骅坳陷孔店南区低熟油伴生气地球化学特征与成因[J]. 天然气地球科学, 2006,17(2):153-156.  
WANG Wan-chun, REN Jun-hu, ZHANG Xiao-jun, et

al. Geochemical characteristics and origin of low-mature oil-associated gases from Soutu region of Kongdian Huanghua depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2006,17(2):153-156.

- [4] 王万春,李钜源,唐洪三,等. 济阳坳陷孤岛油田微生物降解原油伴生气成因特征[J]. 石油与天然气地质, 2007,28(3):427-432.  
WANG Wan-chun, LI Ju-yuan, TANG Hong-san, et al. Genetic characteristics of associated gases from crude oil biodegradation in Gudao Oilfield, Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2007,28(3):427-432.
- [5] 杨春,刘全有,米敬奎,等. 松辽盆地大庆长垣伴生气中二氧化碳成因讨论[J]. 天然气地球科学, 2008,19(2):244-249.  
YANG Chun, LIU Quan-you, MI Jing-kui, et al. Discussion about the CO<sub>2</sub> origin in associated gas from Daqing Placanticline, Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008,19(2):244-249.
- [6] 徐汉林,江同文,顾乔元,等. 塔里木盆地哈得逊油田东河砂岩油藏原油伴生气二氧化碳的碳同位素组成特征及成因初探[J]. 海相油气地质, 2008,13(2):22-26.  
XU Han-lin, JIANG Tong-wen, GU Qiao-yuan, et al. Carbon isotopic composition and origin of carbon dioxide within the associated gas from lower carboniferous Donghe sandstone reservoirs in Hadexun Oilfield, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008,13(2):22-26.
- [7] 王连生,郭占谦,马志红,等. 大庆长垣伴生气中二氧化碳含量的变化及原因[J]. 新疆石油地质, 2005,26(6):612-613.  
WANG Lian-sheng, GUO Zhan-qian, MA Zhi-hong, et al. The changing and origin of the carbon dioxide in associated gas of Daqing Placanticline[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005,26(6):612-613.
- [8] 李振泉. 油藏条件下溶解CO<sub>2</sub>的稀油相特性实验研究[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2004,28(3):43-48.  
LI Zhen-quan. Phase behaviors of light oil with dissolution of CO<sub>2</sub> under reservoir condition[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004,28(3):43-48.
- [9] 鞠斌山,栾志安,郝永卯,等. CO<sub>2</sub>吞吐效果的影响因素分析[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2002,26(1):43-45.  
JU Bin-shan, LUAN Zhi-an, HAO Yong-mao, et al. Analysis of major influencing factors on efficiency of CO<sub>2</sub> huff and puff[J]. Journal of the University of Petroleum,

- China (Edition of Natural Science), 2002, 26(1): 43-45.
- [10] 王振峰, 何家雄, 裴秋波. 莺-琼盆地和珠江口盆地西部 CO<sub>2</sub> 成因及运聚分布特征[J]. 中国海上油气: 地质, 2003, 17(5): 293-297.
- WANG Zhen-feng, HE Jia-xiong, PEI Qiu-bo. The origin and migration-accumulation features of CO<sub>2</sub> in Ying-Qiong Basin and the western Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(5): 293-297.
- [11] 何家雄, 刘全稳. 南海北部大陆架边缘盆地 CO<sub>2</sub> 成因和运聚规律的分析与预测[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 12-19.
- HE Jia-xiong, LIU Quan-wen. The analysis and discussion to the characters on generative cause, migration and distribution of CO<sub>2</sub> in Ying-Qiong Basins in the north of the South China sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 12-19.
- [12] 何家雄, 祝有海, 崔莎莎, 等. 南海北部边缘盆地 CO<sub>2</sub> 成因及运聚规律与资源化利用思路[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(4): 488-496.
- HE Jia-xiong, ZHU You-hai, CUI Sha-sha, et al. Origin, Migration and accumulation of CO<sub>2</sub> and its resource utilization in Marginal Basin, Northern South China sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(4): 488-496.
- [13] 米敬奎, 张水昌, 陶士振, 等. 松辽盆地南部长岭断陷 CO<sub>2</sub> 成因与成藏期研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(4): 452-456.
- MI Jing-kui, ZHANG Shui-chang, TAO Shi-zhen, et al. Genesis and accumulation period of the CO<sub>2</sub> in Changling fault depression of Songliao Basin, Northeastern China [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(4): 452-456.
- [14] 杨会东, 姚萍, 张旭, 等. 松辽盆地南部无机成因 CO<sub>2</sub> 成藏机制研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 634-638.
- YANG Hui-dong, YAO Ping, ZHANG Xu, et al. Distribution of inorganic carbon dioxide in southern Songliao Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 634-638.
- [15] 王颖, 李锡瑞, 曹跃, 等. 松辽盆地南部长岭断陷二氧化碳成藏期次[J]. 石油地质, 2009(4): 21-25.
- WANG Ying, LI Xi-rui, CAO Yue, et al. Study on CO<sub>2</sub> reservoir-forming periods in Changling fault depression of southern Songliao Basin [J]. Petroleum Geology, 2009(4): 21-25.
- [16] 高玉巧, 刘立. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷无机 CO<sub>2</sub> 与油气充注的时间记录[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 574-582.
- GAO Yu-qiao, LIU Li. Time recording of inorganic CO<sub>2</sub> and petroleum infilling in Wuershun depression, Hailaer Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 574-582.
- [17] 杨光, 赵占银, 邵明礼. 德惠断陷有机烃类气与无机 CO<sub>2</sub> 气成藏期研究[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 14-16.
- YANG Guang, ZHAO Zhan-yin, SHAO Ming-li. A study on accumulation period of organic hydrocarbon gas and inorganic CO<sub>2</sub> gas in the Dehui fault depression [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(1): 14-16.
- [18] 邹才能, 陶士振, 张有瑜. 松辽南部岩性地层油气成藏年代研究及其勘探意义[J]. 科学通报, 2007, 52(19): 2319-2329.
- ZOU Cai-neng, TAO Shi-zhen, ZHANG You-yu. Research on accumulation period and exploration significance of lithostratigraphic reservoirs in south Songliao Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(19): 2319-2329.
- [19] 殷红. 下扬子区黄桥 CO<sub>2</sub> 气田流体特征分析[J]. 内蒙古石油化工, 2005(5): 135-137.
- YIN Hong. The analysis of Huang qiao CO<sub>2</sub> reservoir in lower Yangze area [J]. Inner Mongolian Petrochemical Industry, 2005(5): 135-137.
- [20] 周荔青, 雷一心, 王红燕. 松辽盆地长岭断陷无机与有机油气共生组合类型及分布规律[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 324-328.
- ZHOU Li-qing, LEI Yi-xin, WANG Hong-yan. Play types and distribution features of coexistence of organic and abiogenic hydrocarbon in the Changling faulted depression of Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 324-328.

(编辑 徐会永)