

文章编号:0253-9985(2011)05-0659-12

## 松辽盆地北部生物降解成因气及其成藏特征

帅燕华<sup>1</sup>, 宋娜娜<sup>1,2</sup>, 张水昌<sup>1</sup>, 冯子辉<sup>3</sup>, 朱光有<sup>1</sup>, 王雪<sup>3</sup>, 黄海平<sup>4</sup>(1. 中国石油勘探开发研究院 油气地球化学重点实验室, 北京 100083; 2. 长江大学, 湖北 荆州 434023;  
3. 中国石油大庆油田研究院, 黑龙江 大庆 166500; 4. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**松辽盆地具有与北美盛产生物气的白垩纪诸盆地最为接近的地质条件, 无论维度上还是源岩质量均可以进行类比。目前, 松辽盆地已探明 17 个具生物气特征的气藏: 干燥系数大 ( $C_1/\Sigma C_{1+}$  大于 0.95); 甲烷稳定碳同位素较轻 ( $\delta^{13}C_1$  分布在  $-60\%$  ~  $-50\%$ )。因此, 对这个地区的生物气潜力一直给与了极大的期望, 这些气藏的赋存条件研究也成了找寻该区生物气聚集的主要立足点。然而综合分析认为, 该区目前探明的“生物气藏”以次生型生物改造气藏为主, 是热成因油气遭受生物降解产生的次生物气与残留热成因甲烷混合而成。主要证据如下: ①生物降解导致异构烷烃含量增加、丙烷含量明显减少; ②湿气组分的稳定碳同位素特征具有生物降解痕迹; ③天然气中氮气含量越高, 反映生物活动有关的特征越明显; ④生物气藏伴生液态烃均发生过明显的生物降解作用。微生物降解程度、保存条件以及后期热成因天然气有否补充是造成生物降解气特征复杂的重要原因。而目前尚未探明原生型生物气的赋存, 主要原因是松辽盆地自晚白垩纪—古近纪以来长期处于抬升降温状态, 不利于原生生物气的持续形成, 更加不利于构造部位原生生物气的保存; 只有在稳定性相对较好的区块发育的岩性圈闭中, 才可能有原生生物气藏的赋存。最后, 总结了次生生物气藏的判别方法和标志, 以为同类地区浅层生物气勘探提供参考。

**关键词:** 稳定碳同位素; 生物降解; 生物气; 天然气; 松辽盆地

**中图分类号:** TE122      **文献标识码:** A

## Gas of biodegradation origin and their pooling characteristics in northern Songliao Basin

Shuai Yanhua<sup>1</sup>, Song Na<sup>1,2</sup>, Zhang Shuichang<sup>1</sup>, Feng Zihui<sup>3</sup>, Zhu Guangyou<sup>1</sup>, Wang Xue<sup>3</sup> and Huang Haiping<sup>4</sup>(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;  
2. Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 166500, China;  
4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Songliao Basin has similar favorable geological conditions for biogenic gas accumulation as the Cretaceous basins in North America, including the both dimension and high quality of source rocks. At present, 17 gas reservoirs in the Songliao Basin have been discovered to have the features biogenetic gas such as high dryness coefficient ( $C_1/\Sigma C_{1+} > 0.95$ ) and light stable carbon isotope ( $\delta^{13}C_1$  ranging from  $-60\%$  to  $-50\%$ ). Therefore, much attention has been paid to the biogenic gas potential in this area and study of their occurrence. However, comprehensive analysis demonstrates that the discovered biogenic gas reservoirs are dominated by secondary biologic modification gas reservoirs with mixed secondary biogenic gas from biodegradation of thermal oil/gas and residual thermal gas. The following evidences were obtained from detailed geochemical character analysis: signifi-

收稿日期: 2011-07-05。

第一作者简介: 帅燕华(1971—), 女, 高级工程师, 油气地质和地球化学。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40603015, 40803176); 中国石油创新基金项目(2009D-5006-01-01)。

cant increase of isoparaffin content and significant decrease of propane due to biodegradation; biodegradation trace of stable carbon isotope ratios of heavy gaseous hydrocarbons; features reflecting biodegradation getting prominent along with the increasing  $N_2$  content; significant biodegradation of liquid hydrocarbons associated with biogenetic gas reservoirs. Biodegradation degree, preservation conditions and the replenishment of thermal gas at later stage are the factors that complicate the characteristics of biodegradation gas. No primary biogenic gas reservoirs have been discovered so far. It is mainly caused by that the Songliao Basin has been in uplifting and cooling since the Late Cretaceous, unfavorable for the sustained generation and preservation of primary biogenic gas. Primary biogenic gas reservoirs possibly occur in lithologic traps in relatively stable blocks. Methods and marks for identification of secondary biogenic gas reservoirs are summarized to guide exploration of shallow biogenetic gases in other areas with similar background.

**Key words:** stable carbon isotope, biodegradation, biogenic gas, natural gas, Songliao Basin

快速沉积背景、丰富的有机质含量( $TOC$ , 大于0.5%)、成熟度低、具有一定的孔隙空间、沉积时代新(白垩纪以来)等是形成商业性生物气田的地质条件<sup>[1-2]</sup>。对之, Clayton作了进一步的补充, 认为200~1 000 m/Ma的沉积速率、20~40 °C/km的地温梯度、相对较浅的埋藏深度(4 000~6 500 ft)对生物气的形成极为有利<sup>[2]</sup>。松辽盆地具有较为接近的地质背景, 白垩系地层沉积速率较高, 源岩段沉积时期沉积速率大于50 m/Ma; 有机质丰度高,  $TOC$ 分布在1%~6%; 暗色泥岩厚度大, 沉积凹陷区近600 m; 有机质类型好, 以I-II型为主; 未-低熟暗色泥岩埋藏深度浅, 分布范围广, 厚度大。这些条件说明, 该区符合生物气形成所需要的地质条件<sup>[3-5]</sup>。

目前, 该盆地在浅层发现了几十个小型游离气藏。部分游离气藏中天然气与中部组合原油伴生气的组成特征具有明显区别, 前人在大量分析的基础上认为与生物活动具有较大关系<sup>[6-7]</sup>。迄今为止, 探明与生物活动有关的浅层天然气储量200多亿方。

然而, 生物气依据生成主要时间可分为原生生物气和次生(后生型)生物气两种类型<sup>[8]</sup>, 两种类型生物气的组成、分布、主控因素、气藏规模、聚集规律、勘探方法和策略均有较大区别<sup>[8-9]</sup>。

确定研究区与生物活动有关的天然气的成因类型、成藏与分布机制, 对于本区天然气勘探具有现实意义。同时, 查明松辽盆地“生物气”的形成成藏机制, 可为同类地区天然气勘探提供借鉴和参考。

## 1 背景

### 1.1 地质背景

松辽盆地沉积盖层主要由中、新生代碎屑沉积岩系组成, 最大厚度逾万米。中生代地层自下而上发育有白垩纪火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组, 古近纪依安组, 新近系大安组、泰康组, 及更新统一全新统地层<sup>[10]</sup>。源岩和储层主要为白垩系。白垩系覆盖全区, 为陆相碎屑岩夹油页岩建造, 地层最大厚度约5 500 m。多旋回、多套粗-细相带间互沉积是松辽盆地纵向演化的基本特征, 构成了上、中、下多套生储盖组合<sup>[11]</sup>。

源岩主要为青山口组和嫩江组。青山口组烃源岩未熟-低熟(镜质体反射率 $R_o$ 小于0.7%)的区域广、范围大, 除了盆地中央凹陷区以外, 周边构造带多数处于未熟-低熟阶段; 嫩江组除个别凹陷处于成熟阶段, 盆地的广大区域皆为未熟-低熟阶段。青(青山口组)一段到嫩(嫩江组)四段都有较好烃源岩分布, 尤以青一段和嫩一段有机质丰度高, 有机质类型以I-II型为主, 部分II型、III型; 除了青一段地层在沉积凹陷区达到成熟阶段( $R_o$ 为0.8%~1.2%), 其他地区均处于低熟-未熟阶段, 而上部地层成熟度更低, 除个别地区步入成熟阶段以外, 普遍处于未熟阶段。

### 1.2 浅层气勘探状况

浅层气指主力储层埋藏深度不超过1 500 m

的气藏<sup>[12]</sup>。目前,在松辽盆地发现浅层气藏共30余个,其中有近10余个确定为热成因天然气;与生物活动相关的浅层气藏有17个,包括阿拉新、平洋、二站、龙南、喇嘛甸、敖南、蒲浅浅层、新站、四站、五站等气藏,这类浅层气环盆地边缘及构造带边缘分布,其中80%以上位于盆地中西部(图1)。

## 2 天然气地球化学特征与成因

不同气藏中气体普遍表现为烃类组分干燥系数大, $C_1/\Sigma C_{1+}$ 几乎全在95%以上。湿气组分整体上随着埋藏深度增加而逐渐增加(图2)。除松辽西斜坡几个浅层气藏以外,其他气田几乎均含有少量的 $C_3$ 以上的湿气组分。非烃组分以 $N_2$ 气为主,同时含有 $CO_2$ 气,部分样品含有微量 $H_2$ 气

(表1)。 $N_2$ 含量分布在0.3%~15%,多数在2%~10%。从盆地西北部往东南部形成了一个浅层高氮环带区,即塔拉红-白音诺勒区、英23区、古109井区、古62井区及葡34井区,高含氮区跟生物气产区相吻合。 $CO_2$ 含量分布在0~51.9%,高值区为蒲浅浅层,其他普遍在1%以下。

甲烷稳定碳同位素分布在 $-47.91\text{‰}$ ~ $-73.90\text{‰}$ ,随着储层埋藏深度增加而逐渐变重(图2)。最轻的甲烷稳定碳同位素出现在松辽西斜坡最西部的稠油区,该区生物气显示较好,但没能聚集成藏。其他气藏甲烷稳定碳同位素主要分布在 $-50.00\text{‰}$ ~ $-60.00\text{‰}$ ,乙烷分布在 $-28.61\text{‰}$ ~ $-52.73\text{‰}$ ,丙烷分布在 $-20.06\text{‰}$ ~ $-42.77\text{‰}$ 。 $CO_2$ 稳定碳同位素分布范围极宽,轻可至 $-21.55\text{‰}$ ,出现在西部稠油分布区;而重则达到 $8.37\text{‰}$ ,主要出现在大庆长垣南部蒲浅浅层等气藏。

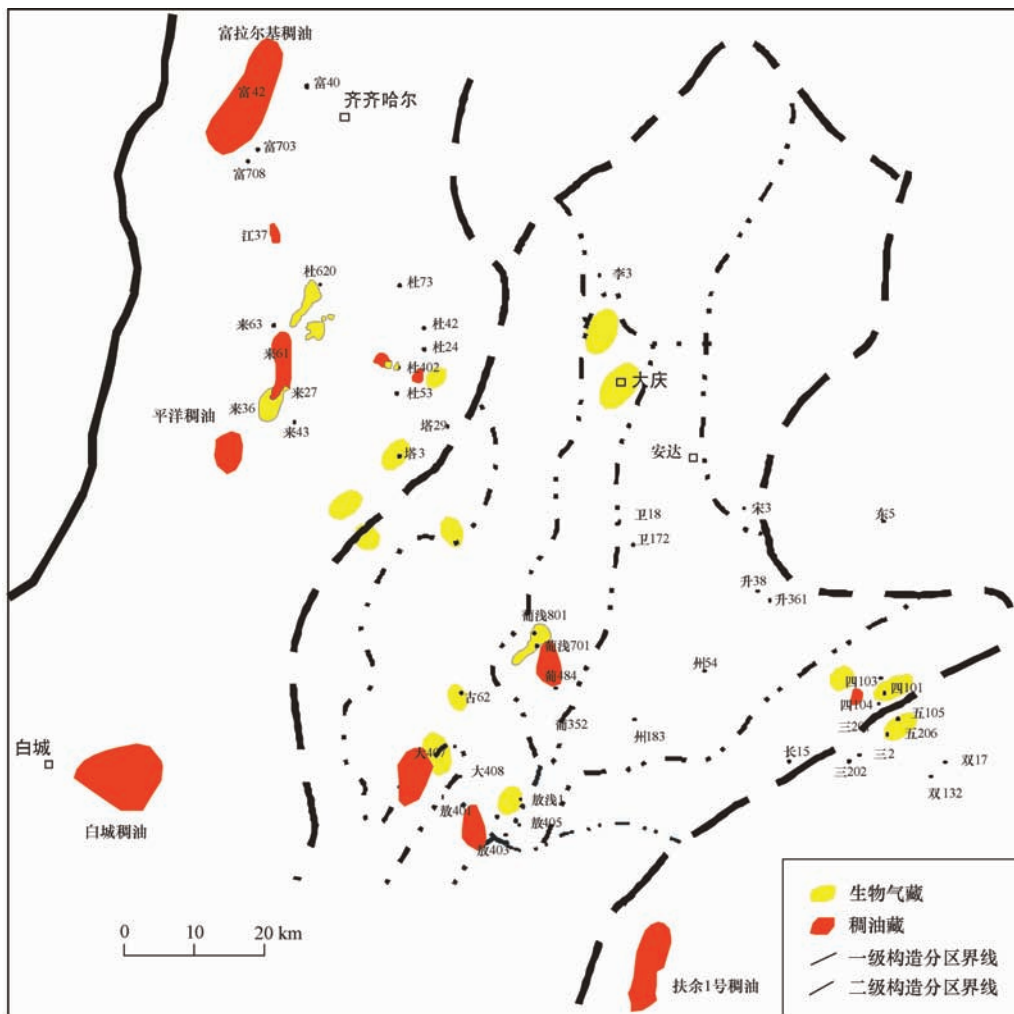


图1 松辽盆地北部稠油与似生物气藏(井)分布

Fig. 1 Distribution map of heavy oil reservoirs and biogenic gas reservoirs(wells) in the northern Songliao Basin

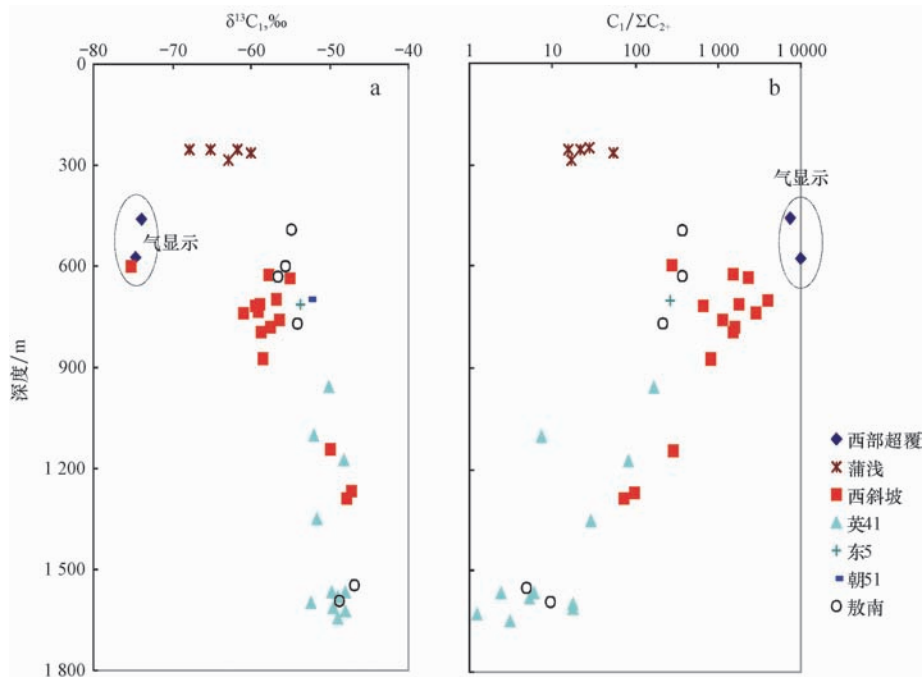


图 2 松辽盆地浅层气甲烷稳定碳同位素值(a)和干燥系数(b)随深度变化趋势

Fig. 2 Change of methane stable carbon isotope(a) and drying coefficient(b) of shallow gas with burial depth in the Songliao Basin

表 1 松辽盆地受生物活动影响的部分气藏天然气地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of some gas reservoirs affected by bioactivity in the Songliao Basin

区域	井号	埋深/m	组分含量, %					$\delta^{13}\text{C}$ , ‰				
			$\text{CH}_4$	$\Sigma\text{C}_{2+}$	$\text{H}_2$	$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{CO}_2$	
西斜坡	江 372	600.60 ~ 607.00	86.013	0.310	0.003	13.387	0.274	-75.33	-53.73	-36.45	-21.55	
	来 27	637.00 ~ 638.00	94.395	0.040		5.383	0.181	-55.10	-41.08			
	杜 II-2	761.70 ~ 783.90	94.397	0.080	0.001	5.405	0.059	-56.32	-44.18		-2.69	
	杜 402	1 144.10 ~ 1 203.90	96.842	0.330		2.598	0.193	-49.89	-37.20	-30.71	0.28	
	杜 V-3	781.20 ~ 792.40	93.926	0.060		5.898	0.062	-57.55	-46.19		0.82	
	杜 602	714.90 ~ 721.50	91.143	0.050	0.007	8.665	0.072	-58.93	-47.59		0.95	
	杜 603	872.30 ~ 972.50	91.660	0.110		8.031	0.115	-58.45	-51.34		-3.87	
	杜 610	796.30 ~ 814.70	91.257	0.060	0.020	8.511	0.087	-58.75	-47.35		-6.90	
	昌 N8-1	700.00 ~ 750.00	93.846	0.020		6.016	0.115	-56.83	-45.61			
	塔 3	1 287.30 ~ 1 294.50	96.357	1.340		1.445	0.841	-47.74	-33.05	-30.39	7.58	
英 41 区块	塔 59-10	1 266.90 ~ 1 287.70	96.955	1.010		1.296	0.731	-47.15	-33.32	-26.63	7.36	
	古 62	1 090.00 ~ 1 120.00						-57.60				
	龙南 16-23	1 214.20 ~ 1 225.60	95.527	1.830		2.434	0.161	-52.00	-39.00	-30.00		
	大 422	1 351.00 ~ 1 368.60	92.874	3.190		3.704	0.100	-51.67	-32.24	-30.21		
	大 72-88	1 596.15 ~ 1 609.80	91.878	5.280		2.728	0.105	-52.40	-33.71	-30.59		
	大 84-94	1 612.60 ~ 1 636.40	92.677	5.170	0.003	1.292	0.826	-49.48	-35.93	-31.96		
	大 88-102	1 173.15 ~ 1 183.45	97.896	1.170	0.011	0.345	0.478	-48.21	-28.61	-30.61	7.91	
	英 41	955.45 ~ 974.35	97.940	0.580	0.007	1.293	0.140	-50.07	-32.29	-20.06	8.37	
	敖南区块	茂 702	630.20 ~ 644.20	96.768	0.260		2.855	0.047	-56.50	-42.16	-27.22	
		敖 7	491.80 ~ 496.20	97.205	0.270		2.399	0.047	-54.78	-38.70		
敖浅 1		769.60 ~ 774.80	97.369	0.440		2.034	0.077	-54.18	-37.28	-30.17		
蒲浅区块	蒲浅 3-6	254.20 ~ 261.80	85.721	4.000	0.024	1.131	9.057	-67.90	-34.52	-29.72	3.71	
	蒲浅 3-更 31	284.50 ~ 291.10	59.924	3.520	0.226	0.901	35.261	-62.77	-34.77	-29.77	4.31	
	蒲浅 4-更 41	255.55 ~ 264.45	65.206	4.190		1.190	29.102	-65.05	-34.76	-30.01	4.63	
	蒲浅 5-61	251.30 ~ 260.30	45.000	1.620	0.152	1.227	51.898	-61.74	-35.58	-30.10	3.16	
四站区块	蒲浅 6-更 61	264.20 ~ 275.20	63.796	1.160	0.352	3.273	31.361	-60.03	-37.42	-31.21	2.74	
东 5 区块	四 101	568.10 ~ 572.10	93.433	0.390		6.079		-55.74	-52.73	-42.77	-11.51	
	四气 1	557.30 ~ 563.10	93.533	0.410		5.928	0.038	-53.89	-49.69	-40.38	-11.06	
朝 51 区块	东 5	714.00 ~ 720.00	78.570		0.090	18.720	0.007	-53.68	-32.08	-25.00	-15.80	
	朝 51	700.00 ~ 703.80	97.610	0.370	0.003	1.845	0.134	-52.55	-48.98	-35.05		

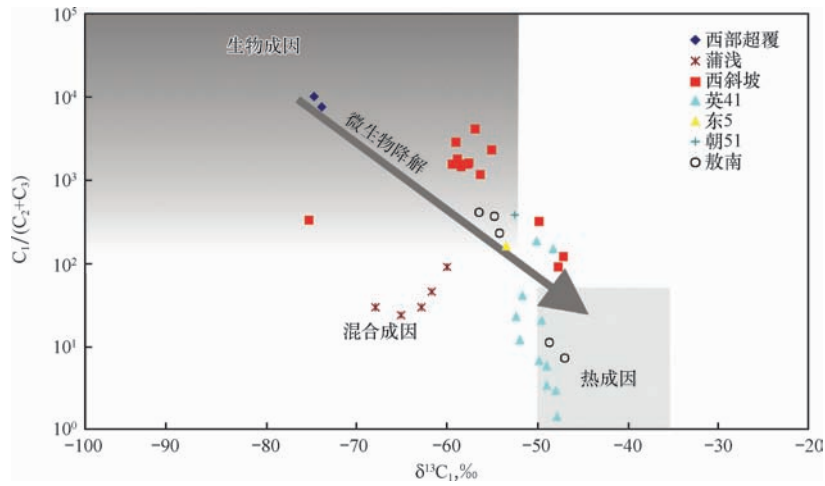


图 3 松辽盆地浅层气甲烷稳定碳同位素与  $C_1/(C_2 + C_3)$  的关系

Fig. 3 Methane stable carbon isotope vs.  $C_1/(C_2 + C_3)$  of shallow gas in Songliao Basin

由天然气干燥系数与甲烷稳定碳同位素关系可见,除了西斜坡有部分属于纯生物气范畴外,其他气田的天然气几乎均属于生物成因气与热成因气的混合<sup>[13-15]</sup>(图 3);甲烷稳定碳同位素与  $CO_2$  稳定碳同位素耦合关系同样体现了天然气的混合成因机制(图 4)。

而天然气中湿气组分特征表明,其主要为热成因来源,但普遍遭受了强烈的生物降解作用:①从天然气中不同碳数湿气组分的相对丰度来看,跟正常原油伴生气相比,多数样品中湿气组分因发生不同程度的生物降解作用而导致该趋势发生明显改变,表现为丙烷含量降低、异构丁烷含量相对较高(图 5a),比较明显的是东 5、朝 51、英 41、塔 69

等井;仅蒲浅区块的天然气中湿气组分呈现正常分布趋势。②湿气组分中异构烷烃含量明显增加(图 6),除了蒲浅区块、英 41 区块相对较深层位(深度大于 1 500 m)的天然气以外,其他气样几乎均表现为异构烷烃/正构烷烃比值大于 1,说明这些样品湿气组分发生过明显的生物降解作用<sup>[16-18]</sup>。气体的干燥程度( $C_1/C_{2+3}$ )随着该比值( $iC_4/nC_4$ )的增加而有明显增加;但是甲烷稳定碳同位素与该比值并没有明显的正相关关系。这种不协调正说明生物改造气的复杂性。生物降解作用在消耗降解湿气组分的过程中,湿气组分的大规模减少总会导致天然气干燥程度增加。然而,湿气组分降解的同时,热成因甲烷残留下来与生物甲烷一起蕴藏在气藏中,不同气藏残留热成因甲烷的保存程度不同就会导致气藏中生物成因气所占比例不同,这势必影响其中的甲烷稳定碳同位素值。③生物降解作用导致湿气组分碳同位素明显变重,而随着生物甲烷的不断产生,甲烷稳定碳同位素会相应变轻<sup>[16,19]</sup>。与正常原油伴生气相比,甲烷稳定碳同位素明显变轻;湿气组分更多显示变重趋势,尤其是丙烷的碳同位素明显偏重(图 5b)。这是由于细菌选择性降解造成的结果<sup>[19-21]</sup>。如英 41 井、东 5 井、茂 702 井以及蒲浅区块的浅层气就是如此。同时,也有气藏中乙烷、丙烷碳同位素明显变轻,显示生物来源的特征,如西斜坡、朝 51、四站等区块。④这些浅层气藏的分布几乎毫无例外与稠油分布具有一定伴生关系。松辽盆地北部稠油主要分布在西部斜坡区富拉尔

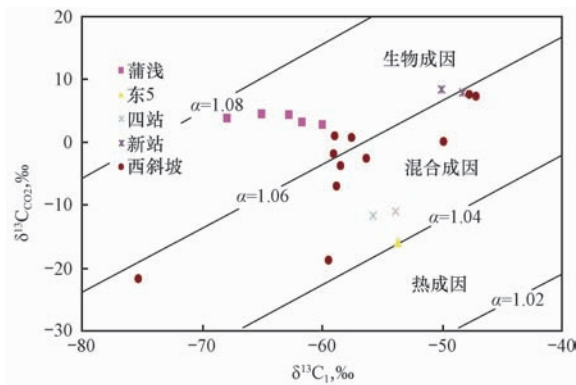


图 4 松辽盆地浅层气  $\delta^{13}C_1$  与  $\delta^{13}C_{CO_2}$  的关系

Fig. 4 The relationship between  $\delta^{13}C_1$  and  $\delta^{13}C_{CO_2}$  of shallow gas in Songliao Basin  
( $\alpha$  为  $\delta^{13}C_1$  与  $\delta^{13}C_{CO_2}$  之间的分馏系数)



基、阿拉新、江桥和敖古拉一带,大庆长垣南部大安、蒲浅一带和喇 33 井,龙虎泡阶地的龙 17 井区,朝阳沟阶地的朝 51 井和长 31 井区,以及三肇凹陷树 20、升 52 井区。这也就意味着在松辽盆地,一定规模的浅层气藏总是与稠油具有一定的共生关系(图 1)。而据前人研究成果,松辽盆地的重质油主要为原油成藏后的厌氧生物降解所导致<sup>[22]</sup>。类似的稠油降解气的例子很多<sup>[23]</sup>,如北海的 Frigg 油田<sup>[21]</sup>、吐哈的巴卡油田<sup>[24]</sup>和济阳坳陷沾化凹陷的许多新近系油田<sup>[25]</sup>。这说明原油厌氧降解过程与这些浅层气藏具有很好的共生关系。

### 3 成藏过程

综上所述,松辽盆地浅层主要为生物降解气,其特征非常复杂,甲烷稳定碳同位素值域范围广、 $C_{2+}$  含量变化范围大、湿气组分稳定碳同位素值跨度范围广。有的天然气呈现典型生物成因特征,如西斜坡富拉尔基的气显示,几乎以甲烷为主,甲烷、乙烷等稳定碳同位素非常轻。但绝大多数气田中甲烷与湿气组分来源机制不一致:如朝 51 区块甲烷稳定碳同位素相对较重 ( $-52.55\%$ ),具有多来源特征,但乙烷稳定碳同位素相对较轻

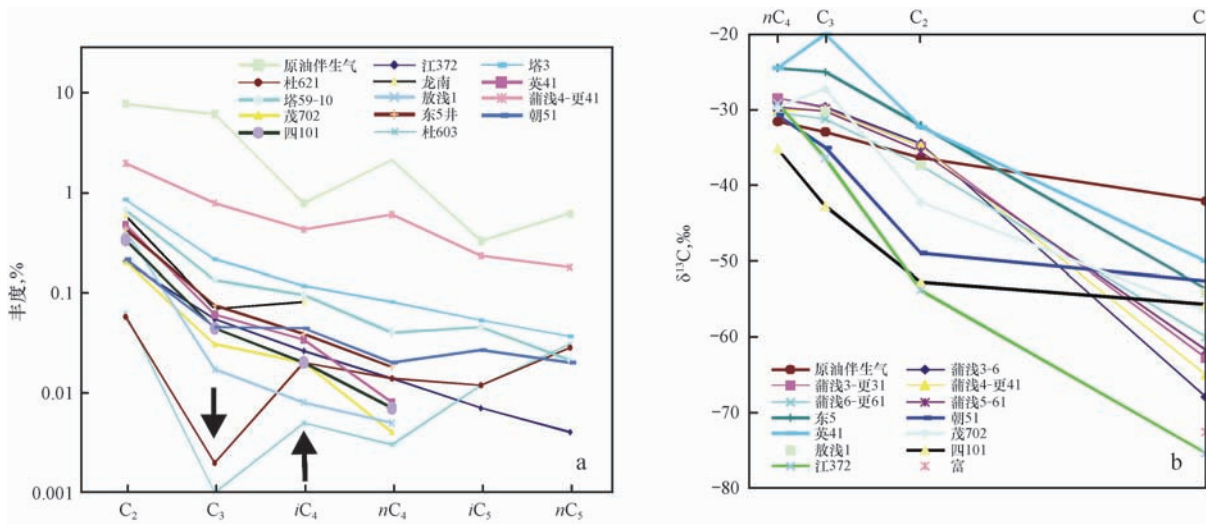


图 5 松辽盆地浅层气中湿气组分含量变化(a)与稳定碳同位素变化趋势(b)

Fig. 5 The relative changes of single-component abundance of  $C_{2+}$  and stable carbonate isotope of shallow gas in Songliao Basin

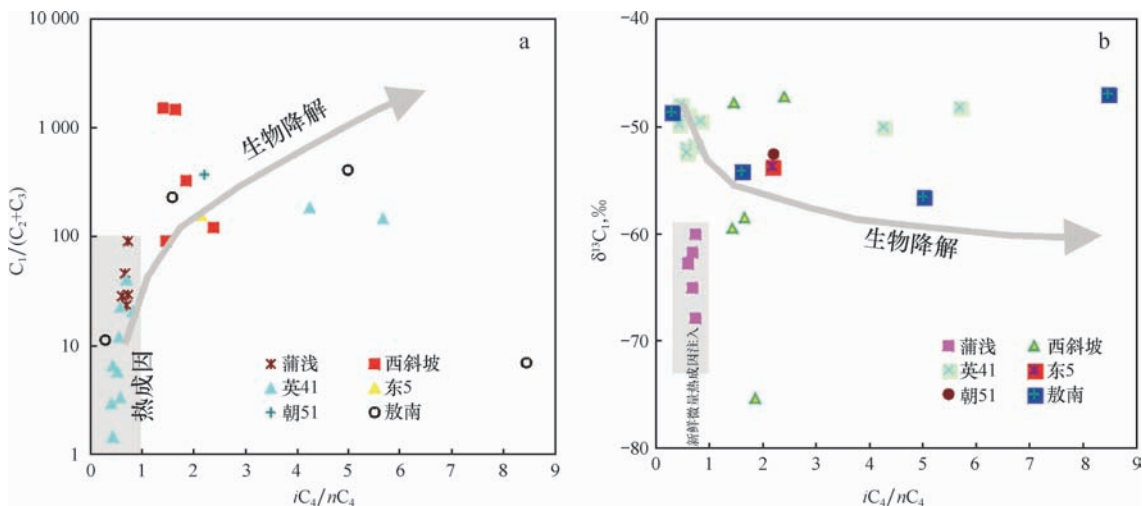


图 6 松辽盆地浅层气  $iC_4/nC_4$  比值与气体干燥系数(a)及  $\delta^{13}C_1$ (b)的关系

Fig. 6 The relationships between  $iC_4/nC_4$  and drying coefficient(a) and  $\delta^{13}C_1$ (b) of shallow gas in Songliao Basin

(-48.98%), 呈现生物成因特征; 蒲浅区块甲烷稳定碳同位素值为-62‰, 但乙烷、丙烷为正常原油伴生气特征标志。

天然气的复杂多变性反映了生物降解气来源的复杂性, 可反映气藏成藏条件及成藏过程。厌氧环境下, 生物降解气藏中的天然气具多来源性: 生物改造热成因湿气组分的同时, 热成因甲烷由于其稳定性基本被保留下来, 同时产生一些次生生物甲烷。因此, 湿气组分更能够反映改造程度: 生物降解越强烈, 湿气组分被破坏越剧烈, 导致稳定碳同位素变重, 异构组分含量增加 ( $iC_4/nC_4$  比值增加), 天然气干燥程度明显增加; 在热成因乙烷等湿气组分遭受完全降解后, 稠油在微生物的持续攻击下也会产生微量生物成因乙烷或丙烷, 从而呈现生物来源的特征。大气的融入、长期持续的营养供给是生物降解作用得以进行的基础, 这个过程往往导致  $N_2$  的逐步富集。浅层气特征与  $N_2$  含量关系可看出生物降解程度的作用,  $N_2$  含量与天然气的生物改造程度具有正相关关系, 随着  $N_2$  含量的增加, 天然气的干燥系数明显增加, 而甲烷稳定碳同位素组成明显变轻(图7)。

生物降解气特征同时反映了气藏的保存条件。即使遭受严重生物降解, 湿气组分被完全破坏, 使  $C_1/\Sigma C_{1+}$  非常大, 但在保存条件较好的地区, 热成因甲烷得以保存下来, 与次生生物甲烷混合, 从而使气藏中甲烷稳定碳同位素仍然呈现较重的现象。在保存条件相对较差的地区, 原始热成因天然气绝大多数在气藏中难以停留, 气藏中的天然气大多数为生成时代较晚的生物成因气,

从而呈现比较典型的生物特征。西斜坡就是一个典型例子: 从西部盆地边缘向东的沉积凹陷区, 地层水矿化度越来越高, 反映气藏保存条件越来越好。生物降解程度逐渐增加导致伴生原油稠化程度增加, 伴生天然气的特征发生系统变化。西斜坡富拉尔基地处盆地边缘, 原始热成因天然气几乎全部逃逸, 目前并未成藏, 而仅是气显示, 这些与稠油伴生的天然气是一些近期形成的未来得及逃逸的降解生物气, 显示纯生物成因特征; 越往盆地内部,  $C_1/\Sigma C_{1+}$  变化不大, 但  $\delta^{13}C_1$  明显变重, 说明热成因残留甲烷比例在增加。根据该区典型油藏伴生气、纯生物气的组分特征, 可获得各气藏主力产层热成因气与生物气的混合比例。松辽西斜坡富拉尔基稠油藏伴生气为纯生物成因; 位于西斜坡的阿拉新、平洋、二站等气藏, 残余热成因甲烷占 20% ~ 50%, 而热成因的湿气组分基本降解, 气藏中现存的乙烷等湿气组分主要为生物所成。其他类似气藏还包括敖南浅层、朝 51、四站、五站等; 而在西斜坡的深层、龙南、敖南深层、新站(英 41)、东 5 井等气藏, 50% ~ 80% 以上为热成因甲烷。

#### 4 降解气形成地质条件

从上述分析可见, 次生生物甲烷和热成因甲烷的混合成藏是绝大多数生物降解气成藏的特征。而顺断层成藏的热成因气是松辽盆地浅层生物改造气成藏的基础和前提。在松辽盆地, 除了西斜坡以外, 浅层生物气藏均为断层沟通了热

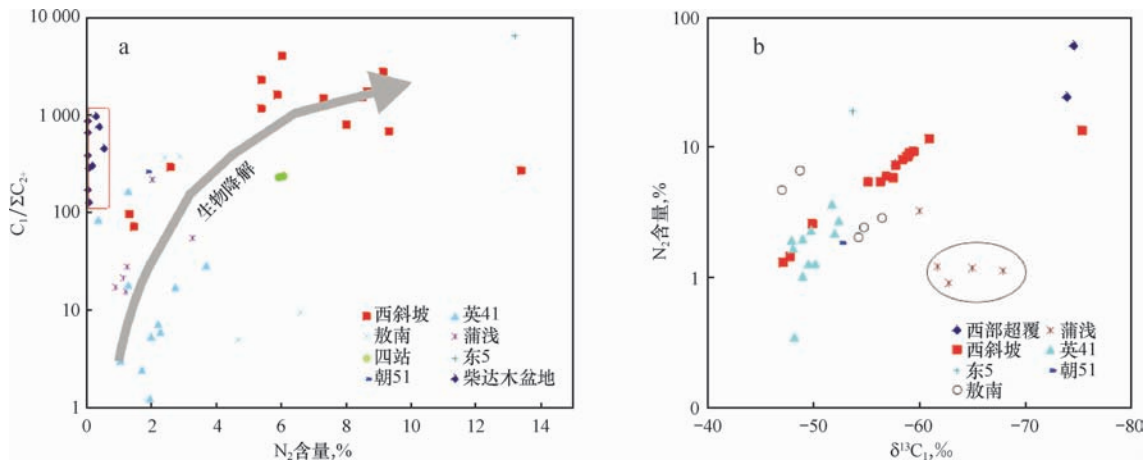


图7 松辽盆地浅层气中  $N_2$  含量与天然气干燥系数(a)及  $\delta^{13}C_1$  (b)具有正相关关系

Fig. 7 A positive correlation of  $N_2$  content with dry coefficient of natural gas(a) and with  $\delta^{13}C_1$  (b) of shallow gas in Songliao Basin

成因油气资源的结果<sup>[5]</sup>。大庆长垣浅层次生物气藏发育,浅层气藏主要位于气顶油藏上部,如喇嘛甸、萨尔图气顶油藏,由于断层作用,在上部组合(如蒲浅 1 井)和浅部组合发育次生物降解气藏。朝阳沟-长春岭背斜带是另一次生生物气发育区,四站、五站及朝 51 区位于其上。该区为早期继承性、中期强烈褶皱形成的披覆背斜构造带,被一系列断层复杂化,沟通了下部热成因油气资源<sup>[5]</sup>。该区与生物活动有关气藏均为这种成藏方式。松辽盆地是中国最大的油气资源产区,在主力产油层中富含大规模的伴生型热成因气,仅大庆长垣,就探明原油伴生气约 2000 多亿方,一旦有断层疏导促使这些热成因气溢出并聚集,在微生物改造下,就可产生少量生物气混合成藏。

地下水渗流背景下的相对稳定区是生物改造气的可能富集区。地表淡水渗流是微生物重新活跃的重要条件,但是地下水活跃带因与外界沟通因而给油气的保存带来挑战,其得以聚集一般发生在地下水渗流背景下的相对稳定区。如松辽盆地西斜坡区,因缺乏区域性盖层,地层水非常活跃,所生成的天然气容易散失,仅在局部盖层遮挡下,以断层或砂体作为运移通道,形成岩性-构造气藏。松辽盆地生物降解气往往分布在地层水矿化度低值背景中的相对高值区域(图 8)。由于外界大气水主要沿盆地周边及构造边缘渗入,因此生物降解气也往往发生在盆地周边及构造带边缘等。

成藏时代晚、多期成藏是本区生物气成藏的特点。蒲浅区块是一个非常好的实例。蒲浅区块的浅层天然气甲烷稳定碳同位素值小于  $-60\%$ ,显示典型生物成因气特征;与天然气同层产出的稠油降解程度厉害,达到 7~8 的降解级别<sup>[26]</sup>。然而,与之不符的是天然气中同时伴生有一定丰度的湿气组分,湿气组分呈现正常原油伴生气特征,说明尚未遭受生物降解作用(图 5)。这些特征表明,该区浅层气存在至少两期充注:早期充注的油气资源,通过伴生稠油的组分特征可以明显看出发生过严重生物降解,原始热成因气几乎被降解殆尽,导致残余部分表现出典型生物气特征;而后期又有一期热成因气充注补充,该次充注发生时间非常晚,尚未来得及遭受生物降解。通过数值模拟,原始生物降解气与后期充注热成因气之间的比例约为 1:2。这说明后期充注对蒲浅区块浅层气藏起着非常关键的作用。

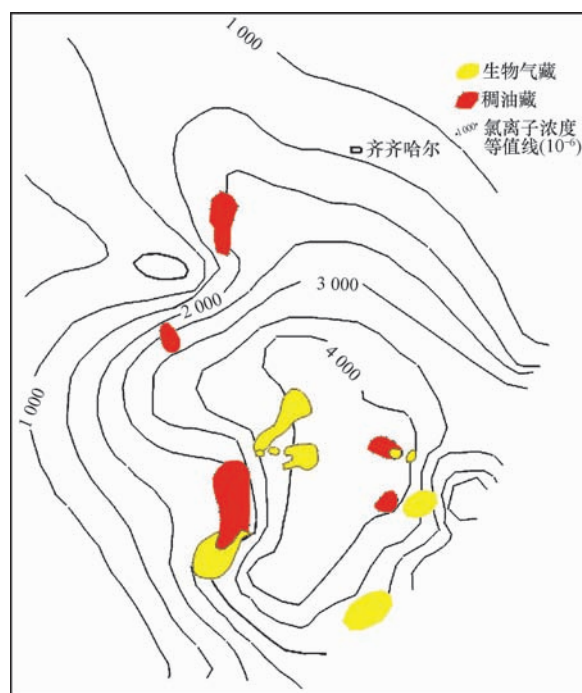


图 8 松辽盆地西斜坡似生物气藏分布与地下水性质的关系  
Fig. 8 The relationship between the distribution of biogenic gas reservoirs and properties of groundwater on the west slope of Songliao Basin

松辽盆地浅层具备晚期成藏、后期持续充注的地质条件。该区新构造运动比较强烈,断层活动性较强。据统计,大庆地区自 1971—1991 年的 20 年间共发生地震 12 次,而 1991—2005 年间共发生地震 18 次。2009 年 4 月份,大庆长垣地区还发生过里氏 4.5 级的地震;另外,由于该区油气勘探程度非常高,钻井活动也会导致人为通道,为浅层气藏注入提供条件。

## 5 原生生物气成藏可能性及勘探前景

总之,松辽盆地浅层与生物活动有关的天然气主要为次生型生物改造气,甚少原生型生物气的富集。这跟该区未熟-低熟源岩相对发育的事实不吻合。通过类比可知,西西伯利亚盆地、西加拿大盆地白垩纪地层均蕴藏着丰富的原生生物气资源<sup>[1,27]</sup>。

然而,松辽盆地地质背景决定原生生物气形成时期非常早,主生气期主要集中在古近纪之前。松辽盆地自白垩纪以来,除在局部地区沉积了薄层第三系和第四系外,绝大部分地区均发生了长



期的强烈抬升剥蚀作用,白垩系剥蚀总厚度达 500 ~ 1 500 m<sup>[28]</sup>;同时,由于热事件的影响,地温梯度也由源岩沉积时的 50°C/km 降为现今的 35°C/km<sup>[5]</sup>。因此,白垩系源岩自第三纪以来发生了强烈的降温作用,有机质弱成岩演化趋于停止。这对于需要依靠弱成岩演化过程释放小分子有机质及 H<sub>2</sub> 等可挥发性物质的原生生物气的形成是相对不利的<sup>[29-30]</sup>,供给源的停止导致原生生物气形成过程和阶段逐渐趋于停止。

原生生物气自主生气期以来处于停止阶段,早期产生的原生生物气能否成藏主要取决于后期保存条件。生物气形成层位浅,能够大规模成藏的地质背景往往是构造相对比较稳定的地区,如柴达木盆地三湖地区<sup>[31-32]</sup>、西加拿大盆地中南部<sup>[24]</sup>和西西伯利亚盆地<sup>[1,33-34]</sup>等。而松辽盆地自白垩纪以来发生了构造反转,经历了长期的抬升剥蚀作用,构造稳定性相对较差,多期次断层广泛发育,尤其是在白垩系主力源岩沉积之后浅层张性断层发育于嫩江组以上地层中<sup>[5]</sup>,导致在构造发育区浅层原生生物气扩散散失强烈,使同沉积产生的原生生物气很难保存下来。然而,西加拿大盆地原生生物气主要以岩性圈闭为主,产出在构造稳定性较强的区域。松辽盆地白垩系广泛发育岩性圈闭,在构造相对稳定的盆地内部,应该保留一些以岩性圈闭为主要赋存形式的生物气。后期的勘探应该集中于这类生物气的勘探。

## 6 原生生物气藏与次生生物气藏的判识标准

综合上述分析结果,松辽盆地北部可判断为典型原油降解型次生生物气藏。为了对其他地区生物气勘探有所借鉴,结合前人大量研究结果,将两类生物气藏的判识方法和标准讨论如下。

次生生物气是地层水中的微生物通过降解赋存大分子有机质等营养底物,由被降解有机质、地层水及微生物共同参与和作用下形成的产物。因此,厌氧环境发生微生物降解产生次生生物气过程会在许多方面留下痕迹和证据(表2)。

次生生物气归根结底是成分来源非单一性的混合物(图3),受混合比例、热成因气生物改造程度、后期保存条件等因素影响,次生生物气特征极端复杂。甲烷稳定碳同位素值可以在 -45‰ ~ -75‰之间,当热成因气混入比例很低甚至为零时,次生生物气具有典型原生生物气的特征,如松辽盆地西斜坡边缘未能成藏的气显示区,富拉尔基生物气具有  $\delta^{13}C_1$  小于 -70‰,  $C_1/\Sigma C_{1+}$  大于 0.999 的典型生物成因特征;如果被降解热成因气比例较高,则甲烷稳定碳同位素往往较重,如美国密执安盆地的泥盆系页岩气, $\delta^{13}C_1$  可重达 -45‰,  $C_1/\Sigma C_{1+}$  比值在 0.99 ~ 0.95 之间。而伴生湿气组分的地球化学特征往往可作为次生生物气的判别

表2 次生生物气(藏)的鉴别

Table 2 Identification of secondary biogenic gas(reservoirs)

项目	指标	内容	备注
天然气	组成	$C_1/(C_2 + C_3) \uparrow$	湿气组分被降解
		$C_2/C_3 \uparrow$	
		$iC_n/nC_n \uparrow$	
天然气	同位素	$\delta^{13}C_1 \downarrow$	降解过程同位素分馏
		$\delta^{13}C_2 \uparrow$ (可能 $\downarrow$ )	
		$\delta^{13}C_3 \uparrow$	
		$\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3 \uparrow$	
同生地层水	年龄	混有年轻来源的碳	极可能检测到放射性 <sup>14</sup> C
	年龄	<sup>129</sup> I/ <sup>36</sup> Cl, T $\downarrow$	与储层和区域地层水相比均年轻
	化学组成	矿化度、Cl <sup>-</sup> 含量、水型	显示开启型环境
	溶解无机碳	同位素变重	同位素强分馏造成
	微生物	可检测到本源微生物	
储层	生物标志化合物	发生生物降解	储层有机质被明显降解
	次生碳酸盐矿物	稳定碳同位素、包裹体	稳定碳同位素变重

注:  $\uparrow$  和  $\downarrow$  分别表述该参数随着生物降解程度增加而增加或减少。

标志。因热成因气的混入,次生型生物气中湿气组分含量相对较高,但往往小5%,湿气组分发生明显的厌氧降解作用,导致组分中异构烷烃/正构烷烃比值有明显增加;稳定碳同位素变重,为-10%~-50%。伴生乙烷在降解程度不大的地区具有热成因的特征,发生强烈降解后 $\delta^{13}\text{C}_2$ 变重很多;丙烷稳定碳同位素值为-10%~-30%,具有更为明显的变重趋势。次生生物气同时具有非烃含量增加、 $\text{N}_2$ 含量高、 $\text{CO}_2$ 稳定碳同位素相对较重等特征。

次生生物气产生区储层有机质的强烈生物降解往往是判别次生生物气的重要依据之一。比较天然气类小分子物质,大分子有机化合物更容易遭受微生物的攻击,导致伴生原油/或抽提物普遍遭受程度不等的生物降解作用。原油降解型次生生物气往往伴生稠油或明显遭受过生物降解作用的原油而分布,根据生物标志化合物被降解程度可以判断生物降解程度<sup>[35]</sup>。美国密执安盆地(Michigan)泥盆系安特里姆(Antrim)页岩抽提物饱和烃遭受严重生物降解作用,与不含次生页岩气区的正常分布模式有明显区别<sup>[36]</sup>;而美国犹他盆地第三系盛产以次生生物气为主的煤层气,煤中饱和烃发生了严重的生物降解作用。

同生地层水的地球化学特征与年龄往往是确定次生生物气的最直接手段和标志。产甲烷菌生成生物气过程中需要从同生水中摄取氢,因此生物气与同生水之间存在氢同位素平衡关系<sup>[37]</sup>。高碱性特征和新鲜地层水是次生生物气伴生水的共有特点<sup>[38-39]</sup>。跟原始沉积水相比,次生生物气发生区同生水水型表示开启环境,以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 型、 $\text{NaHCO}_3$ 型相对较多,也有部分为 $\text{CaCl}_2$ 型地层水。受大气淡水影响,该类同生水矿化度较低,氯离子含量、各种金属元素组成等普遍较低。高碱性地层水的分布往往跟次生生物气发生区相吻合,因为产甲烷菌利用 $\text{H}_2$ 还原 $\text{CO}_2$ 生成生物甲烷,地层水中因此溶解有大量的无机碳,使地层水呈现高碱性<sup>[39]</sup>;同时,由于同位素分馏的影响,导致溶解无机碳同位素变重。McIntosh等<sup>[40]</sup>在Antrim页岩中观察到与甲烷共生 $\text{CO}_2$ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高达22%,地层水中溶解无机碳(DIC)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高达28%,而且与溶解无机碳浓度呈现良好的正相关关系。许多自生方解石是 $\text{CO}_2$ 矿化的产

物,由甲烷厌氧氧化形成 $\text{CO}_2$ 再矿化为方解石时,其同位素组成非常特殊。廊固凹陷目前探明的次生生物气藏(新泉2、固13、泉24、泉241、泉67等)均位于低矿化度异常区<sup>[41]</sup>;松辽西斜坡自西向东,地层水矿化度在增加,生物降解程度和生物气特征逐渐降低。地层水的年龄目前可借助于蕴含的放射性元素含量确定,如 $^{36}\text{Cl}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{14}\text{C}$ 等。次生生物气发生区后期因受外界大气水渗入影响,往往要比区域地层水和沉积物年轻很多。如美国密执安盆地上泥盆统页岩气,同生水却为更新世冰川融水,生物气是在冰川融水进入由裂缝造成的通道系统时生成的,而且现在仍在继续生成之中<sup>[36]</sup>。地层水中微生物的活性特征也可以作为一个辅助手段。往往在发生次生生物气的沉积物或地层水内,无论其年代如何,均能够检测到活体微生物菌落<sup>[42-43]</sup>。

## 7 结论

1) 松辽盆地浅层生物气主要为次生调整型生物改造气,是由热成因气在被改造的同时产生的生物成因天然气与残留热成因气(主要为甲烷)混合而成。

2) 生物改造气的特征复杂多样,主要跟气藏的保存条件、生物改造程度等有关,利用其可以反映成藏信息。地下水活跃背景下的相对稳定区是次生生物气易于成藏聚集的区域。

3) 松辽盆地自白垩系以来发生长期抬升剥蚀作用,源岩经历降温作用,原生生物气形成趋于停滞,而早期产生的原生生物气由于相对发育的断层系统很难保存下来。

4) 次生生物气无论在天然气组成、储层内有机质被降解程度、同生地层水性质和年龄等方面均具有非常明显的标志,可很好确定和判别。

### 参 考 文 献

- [1] Rice D D, Claypool G E. Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(1): 5-25.
- [2] Clayton C J. Source volumetrics of biogenic gas generation [M]// Vially R, ed. Bacterial Gas. Paris: Edition Technip, 1992: 191-204.
- [3] 王跃文, 卢双舫, 惠荣耀, 等. 松辽盆地滨北地区生物气资源量预测[J]. 天然气工业, 2006, 26(7): 18-21.

- Wang Yuewen, Lu Shuangfang, Hui Rongyao, et al. Estimation of biogas resources in Binbei area in the Songliao Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(7): 18-21.
- [4] 王雪, 冯子辉, 宋兰斌, 等. 松辽盆地北部生物气成藏特征和资源潜力[J]. *地质科学*, 2009, 44(2): 444-456.  
Wang Xue, Feng Zihui, Song Lanbin, et al. Accumulation characteristics and resource potentials of biogas in the northern Songliao Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2009, 44(2): 444-456.
- [5] 高瑞琪, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-321.  
Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. The formation conditions and distribution of oil and gas pools of Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-321.
- [6] 王雪, 冯子辉, 宋兰斌. 松辽盆地北部生物气特征及其成因[J]. *天然气工业*, 2006, 26(4): 5-7.  
Wang Xue, Feng Zihui, Song Lanbin. Characteristics and origin of biogas in the north Songliao Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(4): 5-7.
- [7] 张顺, 冯志强, 林春明, 等. 松辽盆地新生界生物气聚集及成藏条件[J]. *石油学报*, 2004, 25(3): 18-22.  
Zhang Shun, Feng Zhiqiang, Lin Chunming, et al. Biogenic gas accumulation conditions in the Cenozoic of Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(3): 18-22.
- [8] Schoell M. Formation and occurrence of bacterial gas [Z]. Abstract of AAPG Annual Meeting, 2002.
- [9] 张水昌, 赵文智, 李先奇, 等. 生物气研究新进展与勘探策略[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 90-96.  
Zhang Shuichang, Zhao Wenzhi, Li Xianqi, et al. Advances in biogenic gas studies and play strategies [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 90-96.
- [10] 米敬奎, 张水昌, 王晓梅, 等. 松辽盆地高含CO<sub>2</sub>气藏储层包裹体气体的地球化学特征[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(1): 68-72.  
Mi Jingkui, Zhang Shuichang, Wang Xiaomei, et al. Geochemical behaviors of gases from inclusions in high-CO<sub>2</sub> reservoirs, the Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(1): 68-72.
- [11] 邓宏文, 吴海波, 王宁, 等. 河流相层序地层划分方法——以松辽盆地地下白垩统扶余油层为例[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 621-627.  
Deng Hongwen, Wu Haibo, Wang Ning, et al. Division of fluvial sequence stratigraphy—an example from the Lower Cretaceous Fuyu oil-bearing layer, the Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(5): 621-627.
- [12] 丁国生, 田信义. 中国浅层天然气资源及开发前景[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(3): 226-231.  
Ding Guosheng, Tian Xinyi. China's shallow gas resources and exploration prospects [J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(3): 226-231.
- [13] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别 [J]. *中国科学(B辑: 化学)*, 1992, 22(2): 185-193.
- Dai Jinxing. Identification of the various alkane gases [J]. *Science in China (Series B: Chemistry)*, 1992, 22(2): 185-193.
- [14] 徐永昌. 天然气成因理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 50-61.  
Xu Yongchang. The theory of natural gas generating and its application [M]. Beijing: Science Press, 1994: 50-61.
- [15] 宋岩, 徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 24-29.  
Song Yan, Xu Yongchang. Origin and identification of natural gases [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 24-29.
- [16] Stahl W. Carbon isotope fractionation in natural gases [J]. *Nature*, 1974, 251: 134-135.
- [17] Coleman D D, Risatti J B, Schoell M. Fractionation of carbon isotopes by methane oxidizing bacteria [J]. *Geochem et Cosmochemica Acta*, 1981, 45: 1033-1037.
- [18] 戴金星. 概论有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因问题 [J]. *天然气工业*, 1990, 10(6): 15-20.  
Dai Jinxing. A brief discussion on the problem of the geneses of the carbon isotopic series reversal in organogenic alkane gases [J]. *Natural Gas Industry*, 1990, 10(6): 15-20.
- [19] James A T, Burns B J. Microbial alteration of subsurface natural gas accumulation [J]. *AAPG Bulletin*, 1984, 68: 957-960.
- [20] Zyakun A M, Bondar V A, Namsaraev B B. Fractionation of stable carbon isotopes of methane in process of microbiological oxidation [J]. *Geokhimiya*, 1979, 2(6): 291-297.
- [21] Larter S R, Head I M, Huang H, et al. Biodegradation, gas destruction and methane generation in deep subsurface petroleum reservoirs: an overview [J]. *Geological Society, London, Petroleum Geology Conference Series*, 2005, 6: 633-639.
- [22] 张维琴, 杨玉峰. 松辽盆地西部斜坡油气来源与运移研究 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(1): 18-23.  
Zhang Weiqin, Yang Yufeng. Oil and gas source and migration on West Slope of Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(1): 18-23.
- [23] Jones D M, Head I M, Gray N D, et al. Crude-oil biodegradation via methanogenesis in subsurface petroleum reservoirs [J]. *Nature*, 2008, 451(7175): 176-180.
- [24] Li M, Bao J, Lin R, et al. Revised models for hydrocarbon generation, migration and accumulation in Jurassic coal measures of the Turpan basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32(9): 1127-1151.
- [25] Zhu G, Zhang S, Jin Q, et al. Origin of the Neogene shallow gas accumulations in the Jiyang Superdepression, Bohai Bay Basin [J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(12): 1650-1663.
- [26] Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship be-

- tween petroleum composition and depositional environmental source rocks [J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69: 1255–1268.
- [27] Shurr G W, Ridgley J L. Unconventional shallow biogenic gas systems [J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1939–1969.
- [28] 卢双舫, 刘新颖, 王振平, 等. 松辽盆地深层剥蚀量探讨及其意义[J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(1): 20–22.
- Lu Shuangfang, Liu Xinying, Wang Zhenping, et al. Denudation thickness and its significance in the deep part of Songliao basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(1): 20–22.
- [29] Horsfield B, Schenk H J, Zink K, et al. Living microbial ecosystems within the active zone of catagenesis: implications for feeding the deep biosphere [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 246(1–2): 55–69.
- [30] Shuai Y H, Zhang S C, Chen J P, et al. Source of nutrient substrates for microbes in deep bio-sphere and characteristics of biogenic gas source rock [J]. *Science China Earth Sciences*, 2010, 53: 1163–1168.
- [31] Dang Y, Zhao W, Su A, et al. Biogenic gas systems in eastern Qaidam Basin [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2008, 25(4–5): 344–356.
- [32] Pang X, Zhao W, Su A, et al. Geochemistry and origin of the giant Quaternary shallow gas accumulations in the eastern Qaidam Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(12): 1636–1649.
- [33] Schoell M. Multiple origins of methane in the Earth [J]. *Chemical Geology*, 1988, 71(1–3): 1–10.
- [34] Rice D D. Biogenic gas: controls, habitats, and resource potential [M] // Howell D G, ed. *The future of energy gases*. United States Geological Survey, Professional Paper, 1993, 1570: 583–606.
- [35] Larter S, Wilhelms A, Head I, et al. The controls on the composition of biodegraded oils in the deep subsurface—part 1: biodegradation rates in petroleum reservoirs [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(4): 601–613.
- [36] Formolo M J, Salacup J M, Petsch S T. A new model linking atmospheric methane sources to Pleistocene glaciation via methanogenesis in sedimentary basins [J]. *Geological Society of America*, 2008, 36(2): 139–142.
- [37] Schoell M. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44(5): 649–661.
- [38] Carothers W W, Kharaka Y K. Stable carbon isotopes of  $\text{HCO}_3^-$  in oil-field waters—implications for the origin of  $\text{CO}_2$  [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44(2): 323–332.
- [39] McIntosh J C, Walter L M, Martini A M. Extensive microbial modification of formation water geochemistry: case study from a midcontinent sedimentary basin, United States [J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 2004, 116(5–6): 743.
- [40] McIntosh J C, Walter L M, Martini A M. Pleistocene recharge to midcontinent basins: effects on salinity structure and microbial gas generation [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(10): 1681–1700.
- [41] 降栓奇, 杨桂茹, 淡伟宁, 等. 廊固凹陷浅层天然气成因类型及机制[J]. *天然气工业*, 2001, 21(1): 5–8.
- Jiang Shuanqi, Yang Guiru, Dan Weining, et al. Genetic types and mechanisms of shallow gas in Langgu sag [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(1): 5–8.
- [42] 高玲, 宋进. 云南保山盆地生物气生成模拟实验及生物气资源预测[J]. *成都理工学院学报*, 1998, 25(4): 487–494.
- Gao Ling, Song Jin. Modeling lab and resource evaluation of biogenic gas in Baoshan Basin, Yunnan Province [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1998, 25(4): 487–494.
- [43] 刘洪林, 李景明, 王红岩, 等. 浅议我国低煤阶地区的煤层气勘探思路[J]. *煤炭学报*, 2006, 31(1): 50–53.
- Liu Honglin, Li Jingming, Wang Hongyan, et al. Discussion on finding coalbed methane in low rank coal in China [J]. *Journal of China Coal Society*, 2006, 31(1): 50–53.

(编辑 李 军)

## 《石油与天然气地质》2012 年报道计划

2012 年,计划出版《石油与天然气地质》期刊 6 期,主要有 3 个专题:“致密砂岩储层与成藏”、“页岩油气赋存机理、资源评价与勘探开发”和“海域油气勘探与开发”。

欢迎广大作者不吝赐稿。

《石油与天然气地质》编辑部