

文章编号:1001-6112(2012)01-0053-04

# 松辽盆地红岗地区浅层气地球化学特征研究

景成杰<sup>1,2</sup>,牛世忠<sup>2</sup>,黄玉欣<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院,武汉 430074; 2. 吉林油田分公司,吉林 松原 138001)

**摘要:**根据红岗地区7件明水组浅层气和13件嫩江组浅层气样品的组分和同位素分析,表明明水组浅层气甲烷含量、重烃含量、干燥系数、 $\delta^{13}\text{C}_1$  均值分别为92.74%,1.77%,0.981,-56.7‰,而嫩江组浅层气甲烷含量、重烃含量、干燥系数、 $\delta^{13}\text{C}_1$  均值分别为90.38%,5.57%,0.942,-52.1‰。明水组浅层气主要为生物气,而嫩江组浅层气属于生物—热催化过渡带气,都属于低熟油型气。

**关键词:**地球化学特征;浅层气;红岗地区;松辽盆地

中图分类号:TE133. +1

文献标识码:A

## Geochemical characteristics of shallow gas in Honggang region, Songliao Basin

Jing Chengjie<sup>1,2</sup>, Niu Shizhong<sup>2</sup>, Huang Yuxin<sup>2</sup>

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138001, China)

**Abstract:** The chemical and stable carbon isotopic compositions of 7 shallow gas samples from the Mingshui Formation and 13 shallow gas samples from the Nenjiang Formation in Honggang region have been tested. Results have indicated that the average values of  $\text{CH}_4$  content,  $\text{C}_{2+}$  content, dry coefficient and  $\delta^{13}\text{C}_1$  of the Mingshui Formation are 92.74%, 1.77%, 0.981 and -56.7‰, respectively, while those of the Nenjiang Formation are 90.38%, 5.57%, 0.942 and -52.1‰, respectively. The shallow gas from the Mingshui Formation is biogas and that from the Nenjiang Formation is bio-thermocatalytic transitional gas. Both of them belong to low-mature oil-type gas.

**Key words:** geochemical characteristics; shallow gas; Honggang region; Songliao Basin

浅层气一般是指埋深浅于1 500 m的各类天然气资源<sup>[1]</sup>。究其来源,可能来自于低温条件下通过厌氧微生物分解有机物而生成的,以甲烷为主,含部分二氧化碳及少量氮气和其它微量气体组分的生物气;抑或来自于沉积有机质在超过生化甲烷形成阶段但还没有达到干酪根大量热解生烃程度( $R_o < 0.8\%$ )时形成的低熟气;此外,还可能来自下部油气藏的气顶气和油层伴生气,沿断裂运移至浅层,聚集而形成浅层气藏。目前在前苏联、加拿大、德国、意大利、日本、美国等数十个国家都发现了具工业价值的浅层低熟气、生物成因气藏。浅层气分布广泛、埋藏深度较浅、地质上易预测、勘探开发成本低等诸多有利因素,具有较高的勘探开发经济效益<sup>[1-2]</sup>。松辽盆地浅层气藏是指上部含油气组合的含气层,主要包括嫩江组三、四、五段和明水组含气层<sup>[3]</sup>。目前松辽盆地南部浅层气研究较弱,开展松辽盆地浅层气研究有着重要的理论、现

实和经济意义。通过研究松辽盆地南部红岗地区明水组和嫩江组产出的20件浅层气样品的组分和稳定碳同位素分析资料(图1),揭示出研究区内浅层气的地球化学特征,为研究区浅层气的勘探开发提供地质—地球化学依据。

### 1 浅层气的组分特征

天然气从未成熟→成熟→过成熟阶段,甲烷含量由高→低→高,重烃含量则由低→高→低<sup>[4]</sup>。从表1可知,红岗地区浅层气中甲烷含量分布在85.83%~95.58%之间,均值为91.21%,且明水组天然气其甲烷含量比嫩江组各段天然气中的甲烷含量要高,这与重烃含量变化规律相反。在红岗地区产出的浅层气中,重烃气体( $\text{C}_2-\text{C}_5$ )的含量分布在0.3%~9.81%之间,平均值为4.24%,但明水组天然气中重烃含量仅为1.77%,而嫩江组的均值达到了5.57%。干燥系数( $\text{C}_1/\text{C}_{1-5}$ )可以很好的反

收稿日期:2011-03-01;修订日期:2011-12-11。

作者简介:景成杰(1966—),男,博士生,高级工程师,从事科技管理工作。E-mail: jing-cj@163.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40173023)。

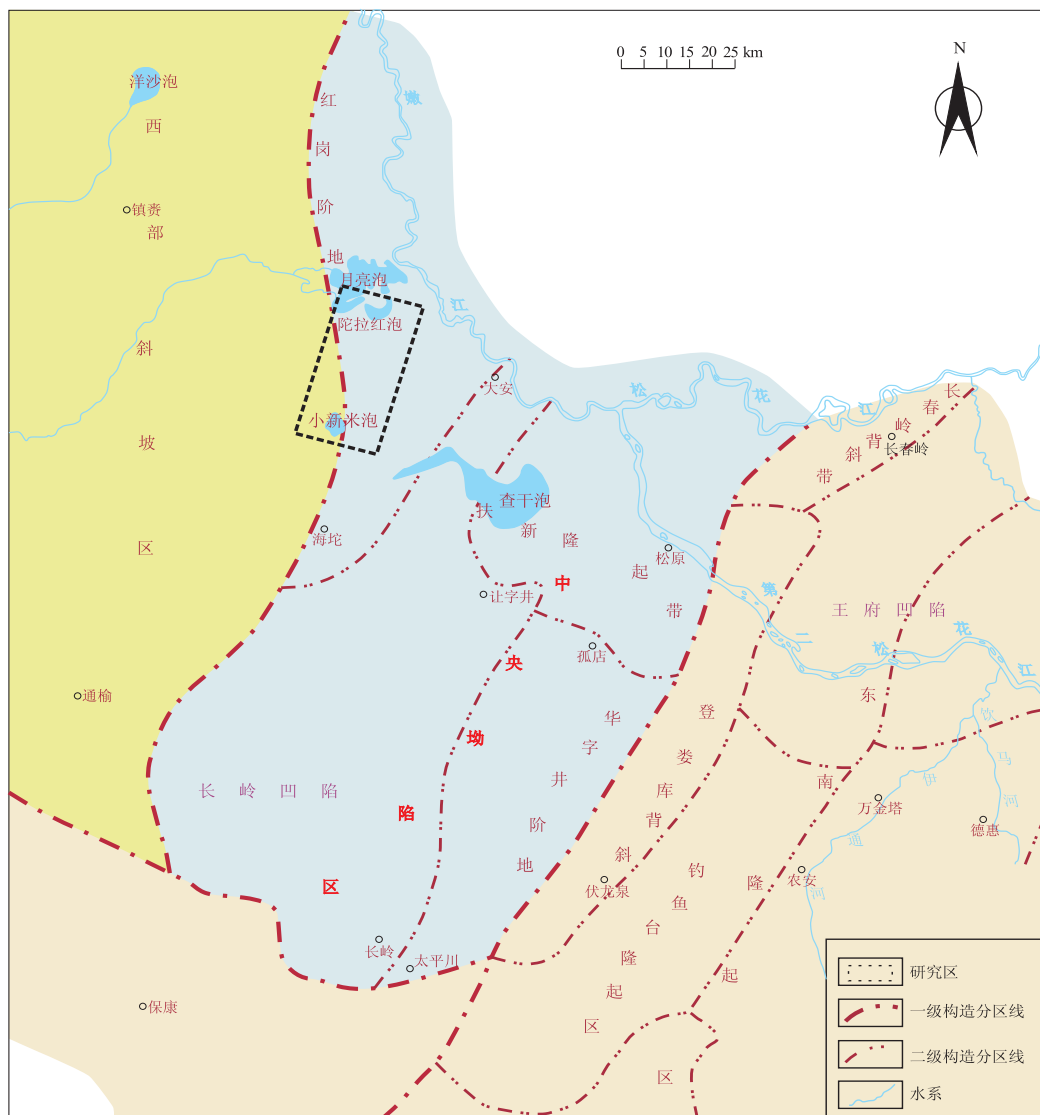


图1 松辽盆地南部构造分区

Fig. 1 Tectonic division in southern Songliao Basin

映出天然气中重烃与甲烷的相互关系。总的来看,红岗地区浅层气干燥系数较大,分布在0.898~0.997之间,平均值达到了0.956,明水组天然气干燥系数均值达到了0.981,该层产出天然气均为干气,而嫩江组干燥系数均值为0.942,大部分为湿气,这与甲烷和重烃反映的规律一致。天然气非烃组分中,氮气含量和甲烷含量有着类似的变化规律,在明水组中氮气含量均值为5.13%,而嫩江组中氮气含量为3.39%。二氧化碳的含量在浅层中的含量变化不大,均值为1.21%。

## 2 甲烷及其同系物碳同位素组成特征

甲烷同系物碳同位素对天然气成因类型、成熟度演化、气—气对比和气—源岩对比提供了关键的科学依据。研究表明,煤系有机质相对于腐泥型有

机质常富集 $^{13}\text{C}$ ,煤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体在 $-24\text{‰}\pm 1\text{‰}$ 之间,煤系分散有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般都大于 $-26\text{‰}\sim -27\text{‰}$ ;而腐泥型有机质则一般富集 $^{12}\text{C}$ , $\delta^{13}\text{C}$ 值多小于 $-28\text{‰}$ 。研究相同演化阶段的煤型气和油型气对应的甲烷系列的碳同位素组成,就会发现油型气较煤型气明显地富集 $^{12}\text{C}$ 。因此,乙烷的碳同位素广泛被作为有机成因气两大亚类的划分依据。红岗地区浅层天然气的甲烷碳同位素分布在 $-59.7\text{‰}\sim -49.5\text{‰}$ ,均值为 $-53.7\text{‰}$ ,主频在 $-49\text{‰}\sim -55\text{‰}$ 之间,占样品总数的75%(图2)。7件明水组浅层气甲烷碳同位素均值为 $-56.9\text{‰}$ ,而13件嫩江组浅层气甲烷碳同位素均值为 $-52.1\text{‰}$ ,表现出嫩江组和明水组产出的天然气成因的差别,特别是嫩三段及嫩四段浅层气,甲烷碳同位素分布在 $-54.6\text{‰}\sim -51.8\text{‰}$ 之间,且绝大多数分布在 $-52\text{‰}$ 左右。唯一1件嫩

表 1 松辽盆地红岗地区浅层气组分和碳同位素分析数据

Table 1 Chemical and stable carbon isotopic compositions of shallow gas from Honggang region, Songliao Basin

井号	深度/m	层位	碳同位素(PDB)/‰				组分/%				C <sub>1</sub> / C <sub>1-5</sub>	R <sub>o</sub> / % <sup>[6]</sup>
			δ <sup>13</sup> C <sub>1</sub>	δ <sup>13</sup> C <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C <sub>3</sub>	δ <sup>13</sup> C <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2+</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		
气 1	383.2	K <sub>2</sub> m	-54.1	-33.8	-	-	94.55	1.96	2.05	1.43	0.980	0.32
气 5	379.4	K <sub>2</sub> m	-59.7	-36.0	-	-	89.15	2.84	7.94	-	0.969	0.18
气 16	387.6	K <sub>2</sub> m	-57.8	-36.8	-	-	90.75	1.87	7.38	-	0.980	0.22
气 20	381~384.2	K <sub>2</sub> m	-56.9	-34.3	-26.3	-	93.36	0.30	5.32	0.86	0.997	0.24
红 3	382.0	K <sub>2</sub> m	-59.1	-36.0	-	-	90.64	2.54	6.82	-	0.973	0.19
红 MP1	490.0	K <sub>2</sub> m	-54.8	-34.0	-	-	95.58	1.42	3.00	-	0.985	0.30
红 MP2	489.0	K <sub>2</sub> m	-55.8	-35.2	-	-	95.16	1.45	3.40	-	0.985	0.27
红 H104	667.0	K <sub>2</sub> n <sup>5</sup>	-54.7	-33.7	-	-	95.52	1.45	2.76	0.27	0.985	0.30
红 12-04	893.0	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-50.7	-36.7	-31.4	-30.5	85.83	7.93	1.94	4.02	0.915	0.46
红 144	807.4	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-52.1	-36.6	-32.4	-31.1	88.77	8.35	2.78	-	0.914	0.40
红 HP1	1054.0	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-52.3	-36.3	-31.6	-30.6	89.78	7.39	2.75	-	0.924	0.39
红 HP3	1027.9	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-50.6	-36.0	-25.8	-30.3	93.17	1.22	5.45	0.02	0.987	0.47
红 HP4	975.0	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-50.8	-37.2	-20.1	-29.8	93.09	1.13	5.57	0.04	0.988	0.46
红 HP5	1124.0	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-49.5	-37.4	-32.4	-31.2	93.75	1.79	4.26	0.09	0.981	0.52
红 H101	885.8	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-52.1	-36.5	-32.4	-31.2	86.58	9.81	3.52	-	0.898	0.40
红 H102	843.6	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-54.6	-35.5	-23.8	-	88.68	5.99	5.32	-	0.937	0.31
红 H106	885.4	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-52.6	-36.6	-30.5	-30.0	87.19	8.8	3.91	-	0.908	0.38
G+5-41	901.0	K <sub>2</sub> n <sup>4</sup>	-51.7	-36.1	-31.8	-30.9	89.25	8.35	2.34	-	0.914	0.42
红 8	880.4~885.4	K <sub>2</sub> n <sup>3</sup>	-52.9	-33.3	-31.5	-30.7	93.86	2.27	1.00	2.97	0.976	0.37
红 HP2	1090.0	K <sub>2</sub> n <sup>3</sup>	-52.1	-36.6	-31.8	-31.1	89.53	7.94	2.42	-	0.919	0.40

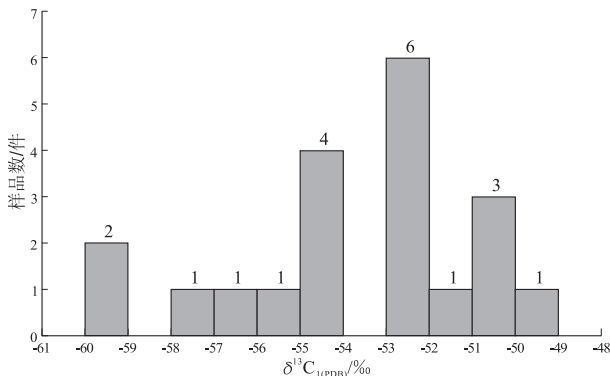


图 2 松辽盆地红岗地区浅层气甲烷碳同位素分布直方图

Fig. 2 Stable carbon isotopic compositions of methane in shallow gas from Honggang region, Songliao Basin

五段浅层气甲烷碳同位素为-54.7‰,表现出与明水组浅层气类似的特征。明水组和嫩江组浅层气都表现出乙烷碳同位素较轻的特征,其分布区间为-37.4‰~-33.3‰,均值为-35.7‰。嫩江组浅层气的丙烷及丁烷碳同位素也表现出较轻的特点。

### 3 天然气的成熟度

天然气中烷烃气的碳同位素组成特征主要受控于成气母质的同位素组成和在此基础上地质历史上生物、化学、物理作用所造成的同位素分

馏<sup>[5]</sup>。前人提出过很多根据 δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub> 与 R<sub>o</sub> 之间的数学模式来探讨天然气成熟度的例子。结合红岗地区浅层天然气的实际情况,选取了徐永昌提出的低演化油型气公式(δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub> = 22.0 lgR<sub>o</sub> - 43.3) 计算得出天然气成熟度<sup>[6]</sup>。结果显示,该区浅层天然气成熟度不高,所有样品 R<sub>o</sub> 均小于 0.6%,均值为 0.35%。其中 R<sub>o</sub> < 0.4% 的样品占到了总数的 75%,属于典型的低熟气。就各个层位而言,明水组天然气较嫩江组天然气成熟度低,R<sub>o</sub> 的平均值仅 0.25%。

### 4 天然气的成因分类

有机成因的天然气根据其成气母质的特点可以分为油型气和煤型气,而根据成气母质的演化程度和成气的地球化学机制等外生营力进一步划分为生物成因气(生物气)、生物—热催化过渡带气、热解气和高温裂解气。生物—热催化过渡带气分布在地层剖面上介于生物作用带与热催化作用带之间,气源岩埋藏在 1 000 ~ 2 500 m 的层段,相应的 R<sub>o</sub> 为 0.3% ~ 0.6% 之间,研究表明此类气体在生物化学作用显著减弱、液态烃未大量生成的过渡层段,有机质在成岩作用过程相对低的湿度、压力和矿物的微催化作用下形成<sup>[7]</sup>。它与生物气的成熟度都偏低,属于低熟气范畴。

碳同位素是鉴别天然气成因的重要指标,生物气以富含 $^{12}\text{C}$ 为重要特征之一,因此,生物成因 $\text{CH}_4$ 碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值较低,分布范围为 $-55\text{‰} \sim -100\text{‰}$ ,多数在 $-60\text{‰} \sim -80\text{‰}$ 。生物成因 $\text{CH}_4$ 碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值判别指标定为 $-55\text{‰}$ ,已获得多数科学家的认可<sup>[8-10]</sup>,而且 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值可以很好地判别出天然气的演化阶段<sup>[11]</sup>。由于重烃的碳同位素组成受母质控制明显,因此 $\delta^{13}\text{C}_2$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3$ 是区别油型气和煤型气的重要标志之一。戴金星在“七五”期间通过研究 $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2-\delta^{13}\text{C}_3$ 之间的关系,认为煤成气 $\delta^{13}\text{C}_2 > -25.1\text{‰}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_3 > -23.2\text{‰}$ ,油型气 $\delta^{13}\text{C}_2 < -28.8\text{‰}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_3 < -25.5\text{‰}$ <sup>[4]</sup>;而张士亚<sup>[12]</sup>和刚文哲等<sup>[13]</sup>通过研究认为区分煤型气和油型气的界限为 $\delta^{13}\text{C}_2 = -29\text{‰}$ ,即 $\delta^{13}\text{C}_2 > -25.1\text{‰}$ 为煤型气, $\delta^{13}\text{C}_2 < -29\text{‰}$ 为油型气。因此,根据 $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$ 的相关关系图版可以对红岗地区浅层气进行成因分类。从图3可以看出红岗地区浅层气都属于油型气,从演化阶段上看,明水组7件浅层气样品中有5件落于生物气区,说明该层位产出天然气主要属于生物气;而嫩江组13件浅层气样品均落于生

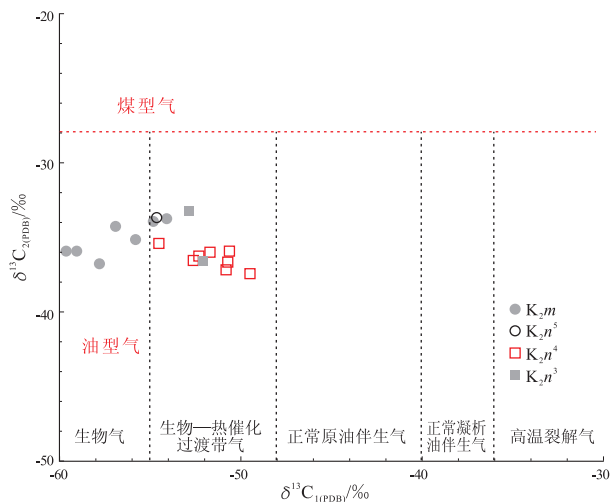


图3 松辽盆地红岗地区浅层气 $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$ 相关图版

Fig. 3  $\delta^{13}\text{C}_1$  vs.  $\delta^{13}\text{C}_2$  in shallow gas from Honggang region, Songliao Basin

物—热催化过渡带气区,说明该层位产出天然气主要属于生物—热催化过渡带气。

## 5 结论

1) 红岗地区浅层气主要产自嫩江组三段到明水组地层中,深度在380~1 100 m之间。

2) 嫩江组和明水组产出的浅层气不论是组分还是碳同位素组成特征都显示出了差异性,主要表现在明水组浅层气相对于嫩江组浅层气具有较轻的甲烷碳同位素,组成上具有较高的甲烷含量、较低的非烃气体含量和较大的干燥系数。

3) 红岗地区浅层气成熟度均较低,属于低熟气。在成因类型上,明水组浅层气主要为生物气,而嫩江组主要为生物—热催化过渡带气。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 汪立君,郝芳,陈红汉,等. 中国浅层油气藏的特征及其资源潜力分析[J]. 地质通报,2006,25(9/10):1079-1087.
- [3] 许运新. 松辽盆地浅层气藏地质特征与勘探前景[J]. 天然气工业,1995,15(1):13-17.
- [4] 戴金星,裴锡古,戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社,1992.
- [5] 包茨. 中国天然气地质学[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [6] 徐永昌. 天然气地球化学研究及有关问题探讨[J]. 天然气地球科学,1999,10(3/4):20-28.
- [7] 徐永昌,沈平,刘文汇,等. 一种新的天然气成因类型:生物—热催化过渡带气[J]. 中国科学B辑,1990(9):975-980.
- [8] 张义纲,陈焕疆. 论生物气的生成和聚集[J]. 石油与天然气地质,1983,4(2):160-170.
- [9] 陈英,戴金星,戚厚发. 关于生物气研究中几个理论及方法问题的研究[J]. 石油实验地质,1994,16(3):209-218.
- [10] 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):36-41.
- [11] 徐永昌. 天然气成因理论及应用[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [12] 张士亚,周瑾. 我国天然气的成因分类[C]//石油与天然气地质文集. 北京:地质出版社,1994.
- [13] 刚文哲,高岗,郝石生,等. 论乙烷碳同位素在天然气成因类型研究中的应用[J]. 石油实验地质,1997,19(2):164-167.

(编辑 徐文明)