

文章编号: 0253-9985(2007)04-0441-08

对大庆油田深层气田气源的讨论

郭占谦¹, 刘俊峰², 李贵顺¹

(1. 中国石油大庆油田有限公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 大庆油区三肇凹陷发现了不少中小型气田, 分析其来源有无机成因与有机成因两大类; 分析其组成也有烷烃气与非烃气两大类。在非烃气中有二氧化碳、氢气、氮气等常规非烃气体, 也有号称惰性气体的稀有气体。在稀有气体中除有常见的氦、氩气体外, 还发现有罕见的氖气。根据“稀有气体、稀土元素与某些元素的同位素, 可以追踪油气与金属矿床的物质来源、运移机制与富集规律”的原理, 分析烃气、非烃气及稀有气体的同位素后发现, 烃气与非烃气的来源大多数为地球深部的无机成因气。不仅在勘探区内有所发现, 在已开发的大庆油田内近几年来也发现非烃气随伴生气的增加而增加, 其同位素地球化学特征也反映为无机成因, 与原油的成因完全不同。

关键词: 天然气; 气源; 无机成因; 大庆油田

中图分类号: TE112 322 **文献标识码:** A

A discussion on gas sources in deep gas fields Daqing oil field

Guo Zhanqian¹, Liu Junfeng², Li Guishun¹

(1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Daqing Oil Company, Daqing, Heilongjiang 163712

2. China University of Geosciences Beijing 100083)

Abstract Sanzhao sag in Daqing oil region is found to contain many small- to middle-sized gas fields. Analysis shows that there are gas of both inorganic and organic origins and the natural gas is composed of both alkane and non-hydrocarbon gases. The later contains not only conventional non-hydrocarbon gases like carbon dioxide, hydrogen, nitrogen, and etc, but also rare gases such as helium, argon, and even neon. Rare gases, rare-earth elements, and isotopes of some elements can be used to determine the sources, migration mechanisms, and enrichment patterns of hydrocarbons and metal deposits. By applying this principle to the analysis of hydrocarbon gases, non-hydrocarbon gases and the isotopes of rare gases, both the hydrocarbon gases and non-hydrocarbon gases are determined to be mainly inorganic gases sourced from the deep of the earth. They occur both in the exploration area and in the developed oilfields. In recent years, Daqing Oilfield has witnessed an increase of non-hydrocarbon gases with higher production of associated gas. In addition, the geochemical behaviors of these gases also indicate an inorganic origin, quite different from that of crude.

Key words natural gas; source; inorganic origin; Daqing oil region

在石油及天然气地质学界长期以来都认为: 所有石油、天然气以及煤炭等化石燃料都是来自生物遗体变质后形成的“有机质”经“热演化”生成的。20 世纪 70 年代蒂索 (Tissot B. P.) 及威尔特 (Welte D. H.) 等人通过对生油岩的热解实验, 发现在 350℃条件下, 由生物遗体形成的干酪

根逐渐裂解成烃, 建立了“干酪根晚期降解生烃说”, 油气勘探的战略和方法均以这种理论为基础, 资源预测通常严格局限于由这种理论导出的思想方法来进行 (Gold 1984)^[1]。

其实, 客观世界事物的发展规律是复杂的, 在蒂索 (Tissot B. P.) 及威尔特 (Welte D. H.) 的专

著《石油形成和分布》一书的序言中,普林斯顿大学名誉教授霍利斯(Hollis D.)就明确地说:“油气的成因问题,……仍然方兴未艾,还有很多令人困惑不解的未知数和不确定性。”^[2]

1 有机与无机成因天然气的标志

涂光炽院士(1986, 1995, 1997)不止一次地指出:“稀有气体与微量元素、稀土元素、某些同位素类似,可以追踪油气与金属矿床的物质来源、运移机制与富集规律”^[3]。

1.1 烷烃气同位素

1.1.1 不同成因甲烷气碳同位素特征

由于成因的不同,天然气中 CH_4 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围很大,根据 CH_4 的碳同位素组成可将其划分为生物成因气、油型气、煤型气和无机成因气等若干成因类型。宇宙物质中的碳一般比 PDB 标样更富 ^{13}C 同位素, $\delta^{13}\text{C}$ 值为正值。对世界 1 699 个天然气甲烷碳同位素组成统计结果表明, 97.6% 有机成因天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ 轻于 -25 ‰, 而无机成因甲烷的 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ 值几乎都重于 -25 ‰, 如东太平洋海隆(EPR21°N)热液流体中甲烷的 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ 值介于 -17.6 ‰~ -15.0 ‰, 被认为是幔源无机成因的地球原始组分^[4]。中国云南腾冲火山区温泉气中甲烷的 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ 值分布在 -21.4 ‰~ -6.6 ‰ 的范围内, 被认为是来自地球深部的无机成因甲烷。

表 1 世界上某些无机成因甲烷的碳同位素组成^[5]

Table 1 Carbon isotopic compositions in some methanes of inorganic origin in the world

地 点	$\delta^{13}\text{C}_1$ (‰, PDB)
中国云南省腾冲县硫磺塘澡塘河	$-29.3 \sim -19.9$
中国四川省甘孜县拖坝热气泉	$-26.6 \sim -23.8$
加拿大安大略省萨德伯里 N3640 等 5 个气样	$-28.4 \sim -25.0$
前苏联希比尼地块岩浆岩	-3.2
前苏联勘察加热水天然气	$-32.6 \sim -21.4$
美国加利福尼亚州索尔顿湖区深部高温(T)井	-26.0
美国黄石公园	$-28.4 \sim -10.4$
东太平洋中脊热液喷出口	$-17.6 \sim -15.0$
新西兰提科植物雷地热区	$-29.5 \sim -27.3$
新西兰布罗兹兹地热区	$-26.9 \sim -25.6$

科拉半岛和南格陵兰流体包裹体中甲烷的 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ 值变化在 -18 ‰~ -1 ‰(表 1), 因此 $\delta^{13}\text{C}_1$ ‰ > -25 ‰或 -20 ‰ 被视为判识无机成因甲烷的重要指标。

1.1.2 不同成因烷烃气碳同位素组成特征

依照量子学说有机成因天然气与无机成因天然气由于形成机制的差异, 它们的烷烃气的碳同位素组成特征不同。

有机成因天然气显碳同位素的“正序”组成, 即: $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ 。

无机成因天然气显碳同位素的“反序”组成, 即 $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ 。

1.2 非烃气同位素

在非烃天然气的同位素地球化学特征中研究较多的只有 CO_2 气。有机成因的 CO_2 由于形成时极易被水溶解, 因此其质量分数一般不会超过 20%; 无机成因 CO_2 气的成因包括碳酸盐分解、幔源岩浆析出等, 其质量分数常大于 80%。

有机成因 CO_2 碳同位素比较轻, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值一般小于 10‰, 无机成因 CO_2 碳同位素较重, 其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值主要在 -8 ‰~ -4 ‰之间(图 1), 海相碳酸盐分解产生的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值在 -3.7 ‰~ $+3.7$ ‰之间。松辽盆地徐家围子地区芳深 9 井天然气中 CO_2 的质量分数为 89.73%, 碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 -5.46 ‰~ -4.06 ‰, 芳深 6 井碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 -6.61 ‰, 表明该地区的 CO_2 主要属无机成因。

2 天然气类型

大庆油区所在的松辽盆地自 20 世纪 60 年代

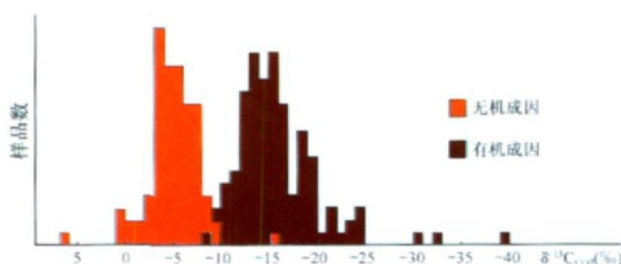


图 1 中国有机和无机成因二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 频率^[6]

Fig. 1 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ frequency diagram of organic and inorganic origins in China

在大庆油田以西的西部斜坡的太康隆起上发现了阿拉欣油气田之后, 又于 70 年代发现了白音诺勒气田, 在 80 年代以来又于大庆油田以东三肇凹陷的古中央隆起上发现了汪家屯、升平、昌德、肇州西及羊草等中小型气藏。2005 年又于三肇凹陷古中央隆起以东的徐家围子断陷中发现了徐深 1 井及徐深 8 井等 6 个气藏组成的庆深气田, 探明天然气地质储量达 $1\,018 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 2)。

这些气田由烷烃气, 非烃 N_2 , CO_2 气及稀有气体组成。在已探明的昌德东气藏中就见有非烃 CO_2 气, 其含量随气层埋深的增加而增加, 在构造高部位的芳深 6 井含 7.53% 的 CO_2 气、在构造部位较低的芳深 7 井含 32.9% 的 CO_2 气、在构造低

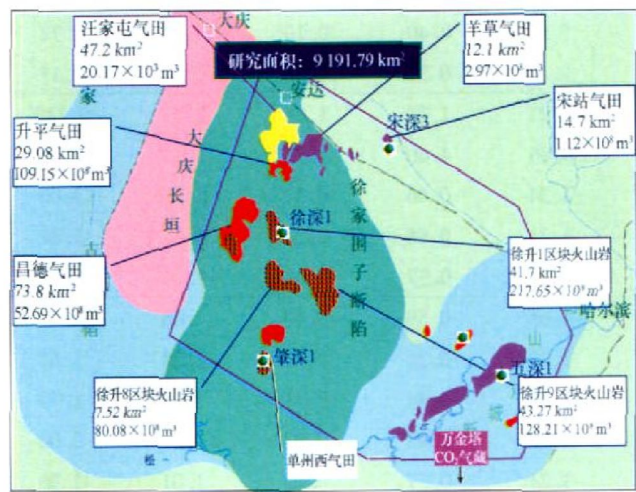


图 2 松辽盆地徐家围子断陷天然气藏的分布示意
Fig. 2 Distribution of natural gas reservoirs in Xujiawazi fault depression of Songliao basin

部位的芳深 9 井含 CO_2 气高达 93.1% (图 3)。

松辽盆地在大庆油田以西的古龙凹陷英 101 井的上白垩系四方台组含气层中见含 18.71% 的 N_2 气和 3.66% 的 CO_2 气; 在大庆油田以东的三肇凹陷徐家围子断陷东侧的三深 1 井侏罗系含气层中见有 63.40% 的 N_2 气。目前发现 N_2 气含量大于 10% 的井详见表 2。

近 20 年来, 大庆油田的伴生气中非烃 CO_2 气含量逐渐增加, 2002 年也发现有 H_2S 气并腐蚀油气传输管道。大庆油田 1985—1986 年间伴生气的组成情况是 CO_2 气含量均小于 1% (V/V), 多数在 0.2% ~ 0.3% 之间, H_2S 含量为 0 (表 3)。进入二十一世纪以后 CO_2 和 H_2S 的含量迅速上升 (表 4), CO_2 含量最高的喇嘛甸油田其含量已超过 3%, 杏南油田 H_2S 的含量高达 246.1 mg/m^3 , N_2 含量与 20 世纪 80 年代中期相比变化不明显。

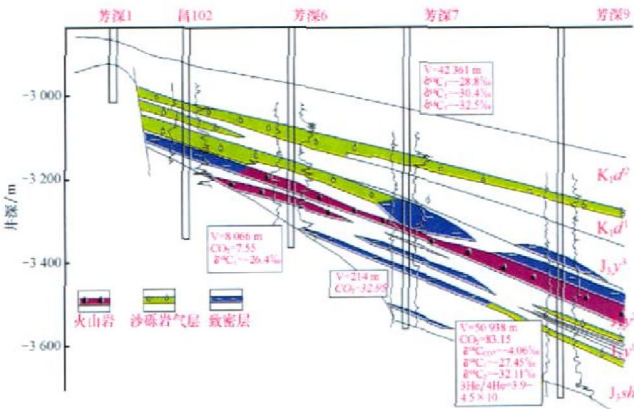


图 3 昌德东气藏剖面
Fig. 3 Profile of gas reservoir in Changdedong
表 2 松辽盆地天然气中含 N_2 气超过 10% 的井

Table 2 Statistics showing gas wells with N_2 content over 10% in Songliao basin				
地 区	井 号	层 位	井段 /m	N_2 气含量, %
太康隆起	杜 11	萨尔图油层组	627.5~ 636.0	16.67
	杜 4	高台子油层组	1 071.0~ 1 127.0	13.36
安广	安 5	葡萄花油层组	374.0~ 377.8	23.03
	白 5	萨尔图油层组	323.5~ 339.9	12.18
杏树岗	杏 56	萨 + 葡油层组	880.4~ 1 064.4	28.89
	同 16	黑帝庙油层组		13.00
葡萄花	同 13	黑帝庙油层组		29.90
	葡 5	扶余油层组	1 576.6~ 1 645.6	10.10
扶余	雅 1	扶余油层组	447.5~ 488.5	18.67
	扶 44	扶余油层组		29.95
登娄库	登 111	扶、杨油层组	989.0~ 1 020.0	26.80

表 3 20 世纪 80 年代中期大庆油田伴生气组成 (据《天然气利用手册》2002. 1)

Table 3 Composition of associated gas produced during the mid 1980s

地 区	烃类组分含量, %							非烃组分含量, %	
	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄ + nC ₄	iC ₅ + nC ₅	C ₆	C ₇ ⁺	CO ₂	N ₂
萨南	76.6	5.93	6.59	4.47	1.54	1.21	0.95	0.26	2.28
萨中	85.88	3.34	4.45	2.66	1.16	0.36	0.16	0.9	1.0
杏南	68.26	10.58	11.2	5.96	1.91	0.66	0.36	0.20	0.55

表 4 2000 年以后大庆油田伴生气组分变化情况

Table 4 Composition changes of associated gas produced after the year of 2000

地 区	取样时间 / 年·月	烃类组分含量, %							非烃组分含量, %	
		C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄ + nC ₄	iC ₅ + nC ₅	C ₆	C ₇ ⁺	N ₂	CO ₂
喇嘛甸油田	2000. 2	87.08	1.69	3.27	3.20	1.14	0.36	0.08	0.51	2.35
	2001. 1	87.56	1.57	2.87	2.79	1.43	0.50	0.13	0.59	2.51
	2002. 1	88.61	1.38	2.63	2.52	1.71	0.33	0.20	0.52	2.54
	2003. 1	86.93	1.71	3.21	2.94	1.37	0.40	0.10	0.57	2.72
	2004. 1	87.97	1.58	2.79	2.47	1.10	0.29	0.17	0.51	3.11
萨南油田	2000. 2	67.41	6.55	9.70	7.25	3.23	1.20	1.04	1.43	2.143
	2001. 1	56.31	5.25	9.59	11.22	8.96	4.40	1.55	1.14	1.51
	2002. 1	84.89	2.88	3.97	2.94	1.34	0.46	0.37	1.203	2.00
	2003. 1	71.37	5.53	8.40	7.33	3.21	0.85	0.20	1.27	1.81
	2004. 1	85.11	3.05	4.12	2.85	1.21	0.37	0.08	1.01	2.20
萨中油田	2000. 2	82.81	3.30	5.00	3.72	1.65	0.59	0.40	1.08	1.40
	2001. 1	84.15	3.19	4.53	3.46	1.30	0.25	0.16	1.24	1.67
	2002. 1	84.89	2.88	3.97	2.94	1.34	0.46	0.37	1.34	1.73
	2003. 1	83.14	3.32	4.65	3.44	1.56	0.48	0.32	1.07	2.00
	2004. 1	85.11	3.05	4.12	2.85	1.21	0.37	0.08	1.01	2.20
杏南油田	2000. 2	66.16	8.04	10.85	7.26	2.89	0.90	0.63	1.85	1.32
	2001. 1	64.54	7.90	11.40	8.18	3.49	0.87	0.49	1.65	1.41
	2002. 1	66.79	7.56	10.48	7.82	3.15	0.59	0.17	1.68	1.64
	2003. 1	67.18	7.67	10.35	7.26	3.11	0.82	0.15	1.61	1.81
	2004. 1	68.96	7.26	9.91	6.95	2.60	0.52	0.23	1.54	2.03

表 5 含有 CO 和 H₂ 等非烃气体的统计数据Table 5 Statistics of CO, H₂, and other non-hydrocarbon gases in different wells

地 区	井 号	层 位	井段 /m	CO 气含量, %	H ₂ 气含量, %
喇嘛甸	喇 63 井	萨 + 葡油层组	921.4~ 1 087.4	0.06	
萨尔图	气 3 井	萨尔图油层组			0.10
杏树岗	杏 26 井	葡萄花油层组	1 074.6~ 1 099.6	0.31	
	杏 27 井	葡萄花油层组	991.8~ 996.6	0.47	
葡萄花	同 13 井	黑帝庙油层组		3.50	0.80
	葡 20 井	葡萄花油层组	905.1~ 957.3		1.99
朝阳沟	朝 1 井	扶余油层组	925.0~ 1 014.5		0.07
	雅 1 井	扶余油层组	447.5~ 488.5	0.17	
扶余	扶 12	扶余油层组			0.30
	扶 44	扶余油层组			0.49

在松辽盆地的天然气中还发现有 CO 和 H₂ 等非烃气体 (表 5)。

在松辽盆地的天然气中还发现有稀有气体 He Ar Ne...等的存在, 如大庆油田以西、西斜坡区太康隆起上的塔 301 井于 1 243. 6~ 1 360. 2 m 的含气层中见含 He 气、塔 43- 15 井于 1 311. 4~ 1 334. 2 m 的含气层中见含 He 气; 于大庆油田西侧的喇 6- 209 井在 935. 2~ 1 202. 0 m 中见含 He 气、喇 9- 213 井在 952. 6~ 1 192. 8 m 中见含 He 气; 在大庆油田以东、三肇凹陷东侧朝阳沟油田朝 57 井于 643. 4~ 646. 6 m 井段中也见含 He 气。

在松辽盆地的天然气中除见有 He 气外, 还见有 Ar 气, 在大庆油田西侧的喇 6- 209 井在 935. 2~ 1 202. 0 m 井段中见含 Ar 气、杏 5- 试 3- 2 井 900. 0~ 1 200. 0 m 井段见含 Ar 气、在杏 5- 试 3- 4 井 900. 0~ 1 000. 0 m 井段见含 Ar 气; 在太康隆起东缘的塔 43- 15 井 1 311. 4~ 1 334. 2 m 井段中见含 Ar 气; 在三肇凹陷古中央隆起升平气田的升 58 井中见含 Ar 气、在芳深 4 井 2 825. 5~ 2 869. 0 m 井段中见含 Ar 气; 在朝阳沟油田的朝 57 井于 643. 4~

646. 6 m 井段中也见含 Ar 气。
在大庆油田上的一些井中也见含有稀有气体 He Ar (表 6)。此外, 还在一些井中还见含有稀有气体 Ne。

3 天然气的同位素特征

3.1 烷烃气同位素组成特征

松辽盆地自 1994 年发现天然气碳同位素反序排列以来, 至 2005 年徐家围子庆深气田上的探井徐 1 井见有众多碳同位素反序排列的天然气 (表 7)。

上述资料表明, 松辽盆地碳同位素反序排列的天然气不是个别现象, 而是普遍现象, 是由甲烷合成的无机成因天然气特征, He Ar Ne...等稀有气体不存在有机成因的可能, 它们的成因只有两种, 一为幔源地球原始成分; 二为放射性元素蜕变产物。而这两种成因均属无机地球化学范畴, 也佐证了无机成因烷烃天然气在松辽盆地深部普遍存在。

表 6 大庆油田稀有气体统计数据
Table 6 Statistics of rare gases in Daqing oilfield

井 号	层 位	井段 /m	He %	Ar %
塔 301	姚家组	1 243. 6~ 1 360. 2	微量	
塔 43- 15	姚家组	1 311. 4~ 1 334. 2	微量	
喇 6- 209	姚家组	935. 2~ 1 202. 0		微量
喇 9- 213		952. 6~ 1 192. 8	微量	
朝 57		643. 4~ 646. 6	微量	微量
杏 5- 试 3- 4		900. 0~ 1 000. 0		微量
萨 8	姚家组	1 141. 0~ 1 150. 8	0. 017	0. 560
萨 214	姚家组	1 012. 5~ 1 020. 5	0. 009	0. 158
萨南 1- 14	姚家组	742. 6~ 854. 0	0. 022	0. 294
萨南 1- 46	姚家组		0. 018	0. 258
萨 4- 13	姚家组		0. 004	0. 312
萨 4- 14	姚家组		0. 006	0. 232
萨 6- 23	姚家组	990. 0~ 1 000. 0	0. 010	0. 283
松基 3	姚家组		0. 014	0. 317
葡 20	姚家组		0. 005	0. 192
敖 26	姚家组		0. 017	0. 258
杜 6	萨尔图层	737. 0~ 746. 0	0. 070	0. 309
杜 11	萨尔图层	627. 5~ 636. 8	0. 131	0. 996
扶 1- 2	泉 4 段	330	0. 019	0. 259
雅 27	泉 4 段	400	0. 031	0. 316

表 7 松辽盆地无机成因烷烃气碳同位素组成特征

Table 7 Carbon isotopic composition of alkane of inorganic origin in Songliao basin

井 号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰, PDB)			
	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta^{13}\text{C}_2$	$\delta^{13}\text{C}_3$	$\delta^{13}\text{C}_4$
昌 103	- 22. 77	- 26. 17	- 28. 20	- 28. 78
芳深 1	- 18. 70	- 22. 40	- 24. 10	- 28. 20
芳深 2	- 16. 70	- 19. 20	- 24. 30	
芳深 9	- 27. 11	- 30. 05	- 30. 5	- 32. 98
汪 903	- 25. 96	- 27. 31	- 28. 02	
肇深 5	- 28. 42	- 38. 7	- 39. 64	
肇深 6	- 25. 9	- 28. 98	- 32. 0	
朝深 6	- 26. 38	- 34. 96	- 35. 47	
肇 132	- 18. 9	- 23. 3	- 30. 0	
宋深 3	- 20. 9	- 28. 4	- 29. 4	- 23. 7
五 210	- 26. 4	- 28. 7	- 29. 9	- 30. 7
五深 1	- 27. 0	- 28. 9	- 32. 7	
四深 6	- 26. 4	- 35. 0	- 35. 5	
四深 1	- 28. 0	- 34. 0	- 39. 1	
升深 3	- 25. 3	- 26. 0	- 26. 4	- 30. 4
升深 4	- 30. 5	- 36. 5	- 36. 7	- 38. 5
升 201	- 22. 7	- 28. 0	- 32. 1	- 35. 2
升 502	- 29. 3	- 30. 3	- 30. 9	
徐深 1	- 27. 9	- 32. 8	- 33. 7	- 35. 0

3.2 非烃 CO₂ 气碳同位素特征

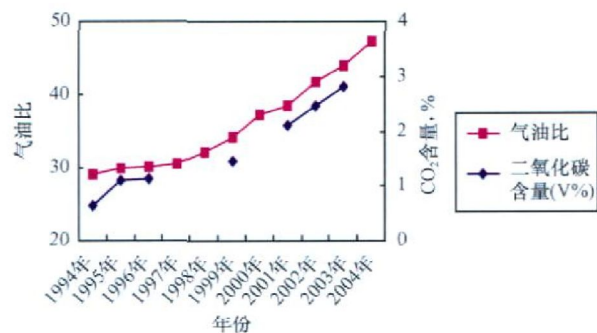
松辽盆地南部的万金塔 CO₂ 气藏, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 3.0‰, 按照图 1 所示非烃 CO₂ 气成因划分原则应为幔源无机成因的 CO₂ 气; 图 3 所示昌德东气藏, 烷烃气碳同位素组成显“反序”特征, 应为无机成因的烷烃气, 与之共生的 CO₂ 气的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 - 4.06‰, 按照图 1 所示非烃 CO₂ 气成因划分原则应为幔源无机成因的 CO₂ 气。

如前所述, 近 20 年来大庆油田伴生气中的 CO₂ 含量增加约 10 倍, 而 H₂S 气则是从无到有。这些非烃天然气组份含量的增多反映了油田深部正在发生着某种变化。为寻找 CO₂ 和 H₂S 的来源, 对长垣北部伴生气的同位素进行了分析, 样品分别取自喇嘛甸油田和萨南油田 (表 8)。样品中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 的值均很高, 按照戴金星对 CO₂ 成因的分类, 该 CO₂ 应属无机成因。CO₂ 的无机成因又分为幔源和碳酸盐岩热化学分解两种, 幔源 CO₂

表 8 大庆油田伴生气中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 分析结果Table 8 Analysis of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ in associated gas from Daqing oilfield

样品号	取样日期	分析日期	取样位置	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值, ‰
1	2004 11. 5	2004 11. 27	喇嘛甸压气站入口	5. 66
2			喇二原稳站	3. 65
3			萨南站浅冷入口	6. 49
4	2006 6 3	2006 6 19	北 2- 5- 21 井	9. 37
5			高 145- 32 井	3. 69
6			东 5- 新 102 井	4. 11
7			南 4- 4- 26 井	11. 81
8			南 7- 2- 26 井	4. 83
9			杏 4- 丁 4- 28 井	8. 43
10			杏 7- 丁 2- 133 井	11. 45
11			杏 3- 500 井站入口	9. 39

注: 分析工作由中国新星石油公司无锡实验地质研究所实验室完成

图 4 气油比和 CO_2 组份含量变化趋势对比Fig. 4 Correlation between trends of gas/oil ratio and CO_2 content

的 $\delta^{13}\text{C}$ 值多在 $-6 \pm 2\%$, 碳酸岩热化学分解产生的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值多在 $+3\%$ 左右。表 8 中 11 个样品的 CO_2 $\delta^{13}\text{C}$ 值均在 $+3\%$ 以上, 表明该 CO_2 为碳酸岩变质成因的可能性较大。

表 8 中两次取样的分析数据都落在了“+”值区, 可以说明, 大庆油田投入开发 38 年后的 1998 年, 随着石油产量明显下降, 伴生气量明显增加, 增加的伴生气以 CO_2 气为主 (图 4)。增加的 CO_2 气的来源, 碳同位素分析资料显示为无机成因的 CO_2 气, 与有机成因的石油显然不是同源的。

4 无机成因气分布广泛的地壳结构原因

上述资料表明: 大庆油区有烷烃气、非烃气、稀有气体等多种天然气资源。为什么松辽盆地天然气中的烷烃气与非烃气多为无机成因来源?

1) 松辽盆地恰置地壳上、中层圈中出现了“低密度”、“低速度”、“低电阻-高电导”、“高热流”等地球物理参数的异常, 而这些异常反映的是上、中地壳间存在“岩浆房” (图 5)^[6]; 2) 松辽盆地正置地球深部软流圈层的上涌区 (图 6)。这样的地壳结构与地球深部状况加上深大断裂发育, 正是地球深部物质外泄的全部条件。

因此, 松辽盆地来自地球深部的各种资源都很丰富, 无机成因天然气仅仅是一个代表。正如刘若新 (1996) 在《21 世纪初科学发展趋势》一书中指出的: “地幔岩石矿物中流体包裹体的研究表明, 地幔实际上是 CO_2 , H_2O , CH_4 , H_2 , H_2S , SO_2 , F , Cl 等以及 K , Na , REE 及其它不相容元素组成的地

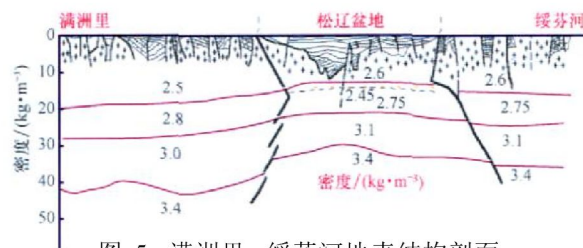


图 5 满洲里-绥芬河地壳结构剖面

Fig. 5 Crustal structure in Songliao

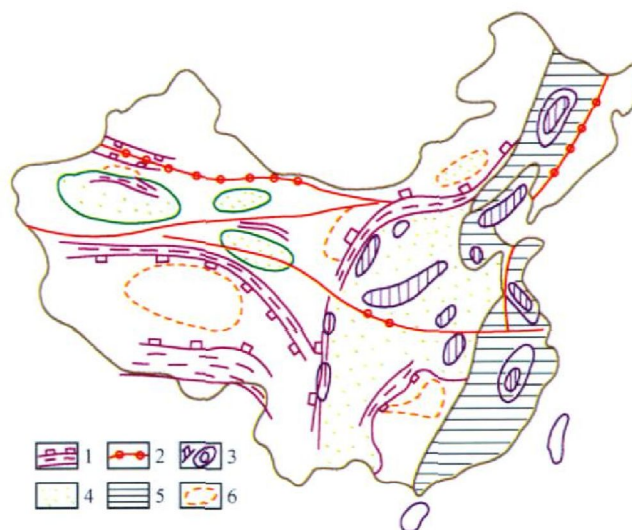


图 6 岩石圈-软流圈特征区带

1. 陆内俯冲带 2. 软流圈上涌带 3. 软流圈上涌区 4. 地台区
5. 拉张区 6. 岩石圈上地幔增厚区

Fig. 6 Characteristic zones of lithosphere-aesthenosphere

幔流体的巨大储库, 这种深部流体除了参与多种幔、壳地质作用和成矿作用外, 还为天然气矿产资源的形成提供了‘取之不尽’的物质基础”。Dickinson^[7] 1993 年指出: “发现和掌握油气的分布取决于能否认识和判断盆地的动力因素”; 1997 年又指出: “沉积盆地是壳-幔系统应力应变耦合的标志”^[8]。

5 无机成因天然气将成为大庆油田持续发展的物质基础之一

油气有机生成理论认为: 生成油气的有机质是有限的一次性物质, 因此, 油气资源是不可持续发展的。

长期以来人们习惯于将天然气与石油混为一谈, 并把天然气置于石油副产品的地位, 从而阻滞了天然气工业的发展。一讲天然气就理解为烃气, 或称之为可燃气。其实天然气的组成成分很

广,除 CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_3H_6 , ... 之外,还有 H_2 , CO , CO_2 , H_2S , N_2 , He , Ar , Kr , Xe , Ne ...等,都是天然气家族的成员。其经济价值 (CO_2 , H_2S , N_2 , H_2 , CO , He ...等)都高于可燃天然气,它们的工业用途也相当广泛。

5.1 CO , CO_2 , H_2 可以合成汽油

一氧化碳与氢合成生烃的理论与技术由德国化学家弗朗兹·费希尔和汉斯·托罗普奇在 20 世纪 20 年代合成出烃类物质。在第二次世界大战期间德国利用费-托合成理论与技术,每年生产烃类物质 $60 \times 10^4 \text{ t}^{[9]}$ 。

5.2 CO_2 是提高油田采收率的最佳单相驱油介质

CO_2 在原油中的溶解能力超过甲烷,而且 CO_2 的溶解对降低原油的粘度有显著效果。 CO_2 溶于原油后还能使原油的体积膨胀,在高压下 CO_2 的密度也远比天然气的密度高,有利于减缓驱替过程中的重力指进现象。这些特性都有利于提高原油的采收率。它包括非混相驱与混相驱。非混相驱是靠 CO_2 在原油中的溶解,使原油体积膨胀和降低原油粘度来实现驱油的;而混相驱是在地层高压条件下,油中的轻质烃类分子被 CO_2 提取到气中来,形成富含烃类的气相和溶解了 CO_2 的原油的液相两种状态,当压力足够高时, CO_2 把原油中的轻质和中间组分提取后,原油溶解沥青、石蜡的能力下降,这些重质成分将会从原油中析出留在原地,使原油粘度大大降低,从而达到混相驱的目的。混相驱的驱油效率很高,条件允许时可使排驱剂所到之处的原油 100% 的采出,但混相驱要求的混相压力很高,一般地层压力很难达到。对埋藏深、油质轻、原始地饱压差大的油田可用 CO_2 混相驱;非混相驱多用于低渗透油田的常规稠油,对于吸水能力低、注水导压能力差或储层敏感性强而不宜注水开发的低渗透油田,注 CO_2 可避免水敏作用^[10~13]。美国近十几年采用 CO_2 混相驱,产量逐年上升,1986 年为 $142 \times 10^4 \text{ t}$;1996 年上升为 $855 \times 10^4 \text{ t}$ 仅次于注蒸汽热采。我国利用 CO_2 提高采收率的工作进展不大,主要原因是缺乏 CO_2 资源, CO_2 资源主要来自 CO_2 气田,近年来勘探发现了不少 CO_2 气,改变了人们的认识^[14]。

5.3 注氮气开发是高含水油区的上佳选择

注氮气开发油田是 20 世纪 70 年代发展起来

的新的油田开发技术。美国和加拿大处于世界领先地位。我国于 20 世纪 90 年代初,开始了注氮气开发油田的实验。

氮气与蒸汽同时进入地层,提高了地层压力,当油井开抽,氮气体积膨胀,注入地层中的氮气反向流入井内,从而增加了油井产量并延长了有效期。辽河油田的曙 1-47-30 井注入氮气 $11.7 \times 10^4 \text{ km}^3$,注入蒸汽 800 m^3 。井口压力由 1.5 MPa 上升到 7.0 MPa 产液量由原来的 $2.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 增加到 $20.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 同时油井含水量大幅度下降,为油田带来了可观的经济效益,受到采油厂的欢迎^[15]。

综合上述,无机成因天然气是能使我国油气资源持续发展的重要物质基础之一,将是大庆油田持续发展的基础。

参 考 文 献

- 1 Gold T. 对地壳甲烷和其它烃类非生物成因理论的贡献 [A]. 第 27 届国际地质会议石油地质论文集 [C]. 北京:石油工业出版社, 1985
- 2 李庆忠. 打破思想禁锢,重新审视生油理论 [J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 75~83
- 3 徐永昌,沈平,刘文汇,等. 天然气中稀有气体地球化学 [M]. 北京:科学出版社, 1995
- 4 郭占谦,王先彬. 松辽盆地非生物成因气的探讨 [J]. 中国科学 (B), 1994, 24(3): 303~309
- 5 戴金星,宋岩,戴春森,等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件 [M]. 北京:科学出版社, 1995
- 6 郭占谦,王先彬,刘文龙. 松辽盆地非生物成因气的成藏特征 [J]. 中国科学 (D), 1997, 27(2): 143~148
- 7 陈书平,汤良杰,张一伟. 前陆、前陆盆地和前陆盆地系统,油气盆地研究新进展 [M]. 北京:石油工业出版社, 2002, 68
- 8 李思田,王华,路凤香. 盆地动力学——基本思路与若干研究方法 [M]. 北京:中国地质大学出版社, 1999, 17
- 9 朱起煌. 国外天然气转化液烃新技术 [J]. 石油知识, 1999, 5: 19~20
- 10 周荔青,雷一心. 松辽盆地断陷层系大、中型油气田形成条件及勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 820~826
- 11 张玉明,李明,李瑞磊. 松辽盆地南部深层系天然气成藏规律 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 841~848
- 12 刘文汇,张殿伟,高波,等. 天然气来源的多种途径及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 393~401
- 13 周荔青,吴聿元,张淮. 松辽盆地断陷层系油气藏的分区特征 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 7~12
- 14 邵创国,邹文选. CO_2 驱油技术简介 [J]. 石油知识, 1999, 5: 40
- 15 李和田. 注氮技术在辽河油田的应用 [J]. 石油知识, 2000, 2: 25

(编辑 武新民)