

# 五大连池地幔成因的天然气<sup>①</sup>

戴金星 文亨范 宋岩

(北京石油勘探开发科学研究院 100083) (大庆石油勘探开发研究院 163712)

本文主要对五大连池天然气的成因进行探讨。作者根据该区天然气组份和岩浆包裹体气组份以及某些元素同位素组成进行分析研究,说明五大连池的天然气为地幔成因。

**关键词** 二氧化碳 地幔成因 五大连池

**第一作者简介** 戴金星 男 56岁 高级工程师 天然气地质与地球化学

黑龙江省五大连池的火山群是我国最年轻的火山群之一,其中老黑山和火烧山是1719~1721年火山喷发后形成的。据当地地震台站监测,微震频繁。由此,成为地幔排气的有利地区。

## 一、地质背景

五大连池火山区属于新华夏系松辽沉降带北缘,发育有一系列北北东向构造断裂(主断裂)和两组北东、北西向共轭剪切裂隙。这些断裂控制着本区火山活动及其分布。

五大连池及其邻区地层发育极不完全,前震旦世为一套黑云母片岩地层。古生界泥盆系主要为泥质粉砂岩、泥质板岩、千枚岩及中酸性火山岩;石炭二叠系为变质长石砂岩、碳质页岩;中生界主要为酸性、中酸性火山岩建造,夹有页岩和砂岩;新生界第三系为松散的砂岩、泥岩、页岩;第四系为砂砾、粘土冲积、残积坡积层,并发育由两大期火山活动形成的大陆型的富钾玄武岩类(夏林圪,1990),每期都有多次喷发。据K-Ar同位素年龄研究(刘嘉麒,1987;胡世玲等,1983),第一期火山活动在中更新世(0.56~0.27Ma)形成12座由火山集块岩和火山砾等构成的火山;第二期火山活动在全新世(近代),老黑山和火烧山两座火山在此期形成,由其活动结果形成了面积达65km<sup>2</sup>的玄武岩质“石龙熔岩”。五大连池火山是欧亚大陆板块内部深断裂活动的产物(夏林圪,1990)。

区内已发现矿泉至少有11个,均为冷泉。矿泉一般出露于石龙熔岩之边缘或其附近的沼泽化低地内,底部有气体呈连续或断续逸出,其中主要有科研泉、南泉、北泉和翻花泉。

## 二、天然气的产状

我们对科研泉、翻花泉、南泉和北泉的含气性进行了调查,由于南泉和北泉在主泉眼部位装置了利用泉水设施,增加了取气样难度,故仅取了前3个泉的气样。

① 国家自然科学基金和中国石油天然气总公司科技发展部联合资助项目

科研泉在火烧山东南,处于下白垩统嫩江组和石龙熔岩交界边缘的沼泽地上,整体含水的主泉面积约 $3\text{m}^2$ ,其周围为大小不一棱角状玄武质火山砾。主泉约有7%面积( $0.21\text{m}^2$ )冒气,大量气泡从泉中出来,泉水呈开锅似的滚滚沸腾,在 $2\sim 3\text{m}$ 外可听到嗤嗤声响,大的气泡直径达 $3\text{cm}$ ,一般在 $1\text{cm}$ 左右。在主泉外火山砾间的水处,也可见到有气泡发出吱吱声。据初步估测,科研泉每天出气量大致为 $279.3\text{m}^3$ 。如果以火烧山的火山最后停喷于1721年开始计算科研泉冒气,至今已出气269年,该主泉共计出气 $2742.3\times 10^4\text{m}^3$ 。

翻花泉在药泉山之东约 $1\text{km}$ 沼泽低地内,具有多种医疗效能,主泉区有两个石条砌边的 $100\text{m}^2$ 以上医浴池,有连续或断续气泡从池水中冒出。为了防止由于医浴对水质及气的可能污染,我们选择距医浴池西北 $30\text{m}$ 左右一个 $5\times 4\text{m}$ 近圆形A小池中两个直径为 $5\text{cm}$ 和 $4\text{cm}$ 连续冒气点,分别进行取样。A池之北有一个 $\text{N}10^\circ\text{E}$ 走向 $137\times 67\text{cm}$ 的C水坑,水清深不足 $20\text{cm}$ ,在东北边有一直径约 $2\text{cm}$ 连续冒气点,也进行了取样。

南泉位于药泉山东南约 $1.5\text{km}$ 的石龙熔岩边缘的药泉河畔,主泉部位由于装置了利用泉水设施无法取样,故在其附近水沟取气样3瓶。上述气组份分析资料列于表1。

表1 五大连池及我国一些高含二氧化碳天然气的组份、碳、氢同位素对比表

取 样 地 点	样 品 号	气的主要组份(%)							$\text{CO}_2$ $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	氢同位素		
		$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{H}_2\text{S}$	Ar	He		$3\text{Hc}/4\text{Hu}$	$R/\text{Ra}$	
黑 龙 江 省 五 大 连 池	科研泉	科2	2.430	97.224	0.000	0.000	0.000	0.301	0.045	-3.83		
		科4	2.340	97.409	0.000	0.000	0.000	0.184	0.067	-3.96	$(4.17\pm 0.12)$ $\times 10^{-6}$	2.98
	翻花泉	翻A-4	0.240	99.446	0.021	0.000	0.000	0.236	0.057	-5.39	$(4.43\pm 0.12)$ $\times 10^{-6}$	3.16
		翻C-2	6.000	93.790	0.005	0.000	0.000	0.156	0.049	-3.87		
	南泉	南3	15.434	84.225	0.142	0.000	0.000	0.147	0.052	-6.87		
广 东 省 平 远 县 鹤 塘 镇	C-1	1.546	97.886	0.000	0.000	0.000	0.041	0.014	-4.15			
	E-3	2.210	97.675	0.000	0.000	0.000	0.088	0.003	-3.39	$(3.09\pm 0.09)$ $\times 10^{-6}$	2.21	
四 川 省 什 邛 县 梅 坝 镇	江泉-2	2.200	94.530	3.160	0.000	0.000	0.035	0.008	-2.46			
云 南 省 腾 冲 县 保 塘 河	I号气点	2.610	96.00	0.396	0.000	0.000	0.060	0.004	-6.3			
	II号气点	2.540	96.810	0.354	0.000	0.000	0.072	0.005	-1.9			
云 南 省 禄 劝 县 利 乌 场		1.878	97.725	0.319	0.000	0.000	0.050	0.028	-1.2			

### 三、天然气的组份、同位素组成和成因

五大连池天然气的组份(表1),明显具有以下特点:(1)二氧化碳含量极高,为 $84.225\%$ 至 $99.446\%$ ,属于二氧化碳天然气;(2)烃类气微量或无,没有重烃气。这两个特征与该区更新世至近代火山岩包裹体气组份(表2)十分相似,稍有差异的是泉中天然气甲烷含量较低,二氧化碳含量略高,不含硫化氢。与我国一些已知火山-岩浆源等无机成因气也很相似(表

1)。例如:云南省腾冲县澡塘河(戴金星,1988)和云南省禄丰县利乌场(戴金星,1986)、广东省平远县鹧鸪窿(戴金星,1990)的天然气。这些均说明五大连池天然气是无机成因。

表2 五大连池火山岩橄榄石内岩浆包裹体收缩气泡中气组份(mol%)

样 品	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>
药泉山中更新世早期富钾玄武质浮岩橄榄石中岩浆包裹体	76.7	3.3	7.6	—	6.2	6.2
笔架山中更新世晚期气孔状富钾玄武岩橄榄石中岩浆包裹体	92.9	0.7	2.6	2.6	1.2	—
全新世早期石龙熔岩流玻质外壳橄榄石中岩浆包裹体	95.7	0.4	2.0	1.4	0.5	—
1719~1721石龙熔岩流玻质外壳橄榄石中岩浆包裹体	96.6	1.0	1.4	—	0.7	—

五大连池天然气的主要组份二氧化碳的碳同位素( $\delta^{13}\text{C}$ )很重,大致为 $-3.83\%$ 至 $-6.87\%$ (表1)。该值在腾冲县澡塘河、禄丰县利乌场、平远县鹧鸪窿、甘孜县拖坝镇(表1)等无机二氧化碳  $\delta^{13}\text{C}$  的区间值内(戴金星,1988、1986、1990),也在北京房山花岗岩体里各类闪长岩内的石英气液包裹体中  $\delta^{13}\text{C}$  值 $-3.84\%$ 至 $-7.86\%$ 的数域值内(郑斯成等,1987)。而与有机成因的  $\delta^{13}\text{C}$  值 $-10\%$ 至 $-30\%$ (戴金星,1989)明显有别。说明五大连池的二氧化碳是无机成因的。

无机二氧化碳气有岩石化学和幔源-岩浆两类成因。(1)岩石化学成因又分两种:其一,碳酸盐岩在高温作用下热分解或变质作用形成的二氧化碳,例如我国三水盆地和冀中坳陷大王庄东潜山一些二氧化碳,CO<sub>2</sub>含量为35~99%, $\delta^{13}\text{C}$ 值 $-2.83\%$ 至 $-6.12\%$ ;其二,碳酸盐岩或碳酸盐矿物水解或被地下水中酸类溶解生成的二氧化碳,例如黄骅坳陷一些二氧化碳(港49),CO<sub>2</sub>含量一般低为1~1.5%, $\delta^{13}\text{C}$ 值 $-1.63\%$ 至 $-2.81\%$ 。(2)幔源-岩浆成因:这种二氧化碳或者主要来自幔源,或者来自壳源的岩浆,或者两种兼有之。以上两类无机成因二氧化碳的碳同位素值很重,通常重叠在一个数域内( $-1\%$ ~ $-8\%$ )难于区分,但从五大连池地质背景可知,在此没有碳酸盐岩地层发育,因此,可以确定五大连池的二氧化碳属于幔源-岩浆成因之列。

五大连池天然气到底是来自幔源的无机气或来自壳源的无机气?根据氦同位素组成特征可得到解答和旁证。氦的两个稳定同位素具有不同的成因,<sup>3</sup>He是原始的,是地球形成时从宇宙星云中捕获的,是元素形成核聚变反应产生的产物,目前地球上主要赋存在地幔中,即地幔氦是地球上<sup>3</sup>He的主要来源;<sup>4</sup>He是放射性成因的,是铀和钍蜕变形成,主要来自壳源含铀、钍的岩石和矿物。根据<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比值的高低即反映其成因,低值与大陆地壳放射性成因的氦有关,高值则同地幔氦有关。即利用<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值和R/Ra值(Ra是大气的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值为 $1.40 \times 10^{-6}$ ,R为某氮气的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)就可确定其成因。根据普通海洋火山岩和亏损地幔源有关的岩石确定的“地幔气”的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He正常值为 $1.2 \times 10^{-5}$ ,或在 $(1.1 \sim 1.4) \times 10^{-5}$ (王先彬,1989),南非金刚石中氮的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值高达 $3.2 \times 10^{-4}$ (Ozama等,1983)。陆地所有主要类型岩石中放射性成因氮的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值为 $2 \times 10^{-8}$ (王先彬,1989)。海洋玄武岩中R/Ra平均为9(王先彬,1989),或大洋中脊玄武岩弧中R/Ra在3.5~6左右(Jeffrey等,1988),即海洋玄武岩类中氮的R/Ra值一般在3.5~9,代表了上地幔氮特征比值;陆地岩石中R/Ra在0.06~0.35左右,地壳中的R/Ra约为0.01~0.025(Jeffrey等,1988)。由表1可知,五大连池天然气中<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值为 $(4.17 \pm 0.12) \times 10^{-6}$ (科4)至 $(4.43 \pm 0.12) \times 10^{-6}$ (翻A-4),比陆地岩石的

放射性成因氦的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值高得多;五大连池天然气的 $R/Ra$ 值为2.98~3.16,接近海洋玄武岩类代表上地幔氦 $R/Ra$ 的低值3.5,并比黄石公园破火山口边界幔源氦的 $R/Ra$ 值2.8为高,由此,可以认为五大连池天然气中的氦主要是幔源氦。五大连池天然气的氦 $R/Ra$ 值比海洋玄武岩类的低,是因为在海洋区域地壳薄,有地幔柱穿插,具有相对低的铀和钍浓度,放射性成因 $^4\text{He}$ 的量极小,对来自地幔氦的稀释作用小,而五大连池地区陆壳厚(约33km),众所周知,陆壳比洋壳具有相对高铀和钍浓度,故放射性成因 $^4\text{He}$ 的量,并在此幔源气经历比海洋区域更长路程才到达地面,所以受 $^4\text{He}$ 稀释作用大,故导致 $R/Ra$ 值比海洋区域的低。

综上所述,五大连池天然气中二氧化碳是幔源成因的,同时氦也是幔源成因的。上述根据天然气和岩浆包裹体气组分对比说明天然气来自岩浆源,前人指出五大连池火山岩浆由于S低含量(<600ppm)及其Sr、O、Nd、Pb同位素研究结果表明源自上地幔(张明,1985;邱家骥等,1988),由此得出五大连池天然气是来自地幔的无机气。

(收稿日期,1990年12月29日)

### 参 考 文 献

- [1]夏林圻. 岩石学报,1990,(1):13~29
- [2]刘嘉麒. 岩石学报,1987,(4):21~31
- [3]胡世玲等. 岩石学研究,地质出版社,1983,22~31
- [4]戴金星. 科学通报,1988,33(15):1168~1170
- [5]戴金星等. 地球化学,1986,(1):42~49
- [6]戴金星等. 石油与天然气地质,1990,11(2):205~208
- [7]郑斯成等. 岩石学报,1987,(3):13~22
- [8]戴金星等. 天然气地质学概论,1989:41~42
- [9]王先彬. 稀有气体同位素地球化学和宇宙化学,1989:119,142,157~159
- [10]Ozina M, Zashu S. *Science*, 1983;219(4588):1067~1068
- [11]Jeffrey A W A, et al. *Chem. Geol.*, 1988;71(1/3):237~255
- [12]张明. 岩石矿物及测试,1985,4(3):193~202
- [13]邱家骥等. 岩石矿物学杂志,1988,(2):97~108

## NATURAL GAS OF THE MANTLE ORIGIN IN WUDALIANCHI

Dai Jinxing

(Beijing Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

Wen Hengfan

(Daping Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

Song Yan

(Beijing Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

### Abstract

The geochemical characteristics and origin of the natural gas in the area of Wudalianchi are discussed in this paper. The authors account for a mantle origin for the natural gas in the area, on the basis of the components of the gas and the magma inclusions, as well as a correlation of isotopic constitutions S, Sr, Nd, Pb, etc.