

华北地区煤成气碳同位素资料初析

周 兴 太

(华北石油地质局地质研究大队)

在利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值判断天然气的成因类型时, 必须考虑具体地质情况。华北地区的天然气: 若 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值小于 -55% , 既可能是生物气, 也可能是煤田气; 若 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值在 -35% 至 -45% 之间, 则属沙河街组生成的气的可能性较大; 若 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值大于 -40% , 则有属石炭二叠纪煤系气的可能。

一、控制油气 $\delta^{13}\text{C}$ 值的因素

1. 母质类型和演化程度是控制碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值的基本因素。

根据 W. J. Stahl (1977) 和 M. Schoell (1980) 的研究¹⁾, 不论是腐泥型母质还是腐殖型母质, 所生甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值都随演化程度加深而增重; 但在同一演化阶段, 腐殖型母质生成的甲烷比腐泥型母质富集 ^{13}C , $\delta^{13}\text{C}_1$ 值约相差 14% 。

另据 E. T. Degens (1969) 和 D. H. Welte (1975) 等人的研究²⁾, 石油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值正好与天然气相反, 有大体上随时代变老(可看成是随演化程度加深)而逐渐变轻的趋势; 若处于同一演化阶段, 则腐泥型母质生成的石油比腐殖型富集 ^{13}C 。但国内外均有一些人(如廖永胜, 1982)认为, 随着演化程度加深, 石油应逐渐富集 ^{13}C 。前一种看法可能比较符合实际。

2. CH_4 和 CO_2 之间的碳同位素交换, 使得煤田气(由煤层本身所生成的气)的碳同位素一般比煤系气(由煤系中的煤和分散有机质所生成的气)轻。

D. Rigby (1981) 等指出, 澳大利亚库珀盆地煤层瓦斯的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值比煤系气轻 30% 。我国四川须家河组煤系气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -34.8% 至 -36.0% , 而同层瓦斯的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -45% 。苏联冷谷矿和祖耶夫矿瘦煤、半无烟煤瓦斯的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值分别为 -55.9% 和 -52.1% , 显然也偏轻。J. W. Smith (1979)、戚厚发和陈文正(1984)等认为, 上述现象可能主要是煤层瓦斯的主要成分 CH_4 和 CO_2 之间碳同位素交换的结果。由于 $^{13}\text{CH}_4 + ^{12}\text{CO}_2 = ^{12}\text{CH}_4 + ^{13}\text{CO}_2$, 结果 CH_4 富集了 ^{12}C , CO_2 富集了 ^{13}C 。

也有人认为, 对于埋藏较浅的煤层来说, 微生物再次进行生化作用, 也可使甲烷的碳同位素变轻。但笔者认为, 前一种解释较为合理。

3. 碳同位素的次生分馏也是一种不可忽视的控制因素。

天然气经过运移, 其 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值可能变小, 也可能没有变化, 经过细菌氧化的甲烷, 其

本文 1985 年 6 月 19 日收到, 1986 年 2 月 14 日改回。

1, 2) 引自张子枢等同志的译文和《石油成因译文集》(《石油勘探与开发》增刊)。

$\delta^{13}\text{C}$ 值将增重。据 Lebedew (1969) 的模拟实验, 生物降解可使甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高 2—5%。另外, 不同源气体的混合, 也可使 $\delta^{13}\text{C}$ 值发生不同程度的次生变化。

二、华北地区煤成气碳同位素资料初析

1. 阳泉地区

该地区位于沁水盆地东北隅, 石炭二叠系已出露地表, 最大厚度 >900m。其中, 下

变质程度相比, 碳同位素显得偏轻, 这很可能是煤层本身所生成的气占有较大比例的缘故。阳泉地区煤层瓦斯含量高, 涌出普遍而且量多, 说明其生气能力是较大的。

2. 开平盆地

开平盆地位于燕山褶皱带南缘, 是一个主要由石炭二叠系和部分三叠系组成的北东向向斜盆地, 面积约 1000 km²。石炭系一下三叠统沉积厚度达 1800 m 以上, 在印支晚期开始遭受剥蚀。至新生代晚期, 该区又接受了不厚的上第三系和第四系沉积, 石炭二叠系底板现今最大埋深为 2000—2500m。

本区二叠系唐家庄组以下为暗色含煤岩系, 总厚约 500 m。其中煤层 20 余层, 累计厚 10—30 m, R_o 为 0.89—0.97%, 属气肥煤。暗色泥质岩较少, 一般厚约 50 m, 有机碳含量为 0.81—2.42%。

本区西翼岭子背斜北倾没端已有数口井见工业气流, 发现了王家河气藏, 其产层为唐家庄组和古冶组, 气体的碳同位素偏轻 ($\delta^{13}\text{C}_1$ 为 -65.6‰ 至 -69.49‰, 表 1)。本区唐山矿的煤层瓦斯含量也较高, 目前其抽放瓦斯量约为每分钟 1.8m³ (据开滦矿务局资料); $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -56.7‰ 至 -60.0‰, 虽比井中喷出的要重, 但仍显得偏轻。

本区除石炭二叠系外, 也无其他油气源岩, 故气体亦应来自石炭二叠纪煤系。有人根据碳同位素较轻这一事实, 认为这种气是成煤前期的生物成因气。但是笔者认为, 开平盆地目前所见气流的碳同位素偏轻除与变质程度较低有关外, 可能主要是由于气源岩为煤层本身所致。从开平盆地石炭二叠系中分散有机质与煤层的比例来看, 显然前者的生气量是微不足道的。至于唐家庄、古冶组所产气的碳同位素较抽放瓦斯气还要轻, 则可能是运移分馏的结果。因为唐家庄组和古冶组本身不具备好的生气条件, 所产的

表1 开平盆地气样分析数据*

取样地点	层位	深度 (m)	天然气成分(%)						$\delta^{13}\text{C}_1$ (‰) PDB
			CH_4	C_2H_6	C_3H_8	O_2	N_2	CO_2	
唐1井	唐家庄(下石盒子)组上部	370—410.7	83.69			0.92	14.80		-69.49
唐2井	唐家庄组下部	439—466.3	87.105			0.176	12.718	微	-69.8
岳55井	古冶(上石盒子)组下部	366.99	81.62	痕量	痕量		18.09	0.29	-66.9
岳56井	唐家庄组下部	479.71	82.53	痕量	痕量		17.26	0.21	-65.6
2641 瓦斯抽放孔	大苗庄(山西)组煤层	693	91.85	痕量	痕量		7.60	0.55	-60.0
2642 瓦斯抽放孔	大苗庄(山西)组煤层	693	93.45	痕量	痕量		6.15	0.39	-57.4
唐山 瓦斯泵站			91.15	痕量	痕量		8.32	0.53	-56.7

* 唐2井天然气成分由我队实验室分析,唐1井数据及唐2井 $\delta^{13}\text{C}_1$ 数据由石油地质中心实验室提供,其他样品数据引自戚厚发资料。

气应来自下伏煤层。

3. 东明凹陷^{[3],1)}

东明凹陷位于华北地区中部。印支运动前,石炭二叠系埋深已达3500 m,煤化程度已达气肥煤阶段($R_o=0.8\%$)。印支运动使该区上升遭受剥蚀。喜山运动又使该区大幅度沉降(新生代沉积最大厚度大于7000 m),导致煤化程度进一步加深(最高煤阶为贫煤—无烟煤),并发生第二次生气过程。

东明凹陷面积5300 km²,石炭二叠系分布面积约4420 km²。现今埋深大于3500 m而煤阶高于气肥煤的范围约2880 km²,残留厚度700—1000 m。其中煤层累计厚5—25 m;暗色泥岩厚100—150 m,有机碳含量为2.55—3.33%。

东明凹陷石炭二叠系煤层较阳泉、开平地区薄,而暗色泥岩的厚度和有机碳含量较高,因此其分散有机质在生气过程中有较大的作用,所生成的气应属煤系气。

东明凹陷油气资源十分丰富,已发现十多个油气藏及含油气构造。已发现的工业气藏主要分布在中央隆起带沙二、沙三和沙四段这3个层位。朱家蔚、戚厚发(1983)等人将东明凹陷的气按其来源分为3类:Ⅰ类为来自沙河街组的油型气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为-38.62至-45.4‰,平均为-41.89‰,产于沙三盐间或盐上地层,埋深1840.8—3956.0 m;Ⅱ类为石炭二叠系生成的煤成气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为-27.1至-30.3‰,平均为-28.75‰,产于沙四段;埋深2813.2—4424 m;Ⅲ类为二者的混合气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为-32.10至-36.6‰,产层为沙四—沙一段,埋深2600—3805 m。但是,笔者觉得东明凹陷天然气的成因类型,还需要进一步探讨。

(1) 文留气藏是一个纯气藏,产层为盐下的沙四段,气体为干气(CH_4 占95%以上,只有少量 C_2 — C_5 重烃、 N_2 及 CO_2), $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为-27.1‰至-30.3‰。由于文留气藏的碳同位素最重,氩同位素 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 最高,加之其烃类组成等与其他地区、甚至与相邻的文东气藏都有较大差别,因此属于来自石炭二叠系的煤成气应无多大疑问,但应指

1) 戚厚发等,1983,东明凹陷煤成气藏依据、形成条件、资源评价。

出，文留气藏气的碳同位素较阳泉地区的煤成气还重，比开平盆地的煤成气重得更多，这很可能是由于分散有机质生有大量的气以及母质演化程度较高这两个因素叠加的结果。文留气藏的气体中有少量重烃，也说明分散有机质在成气过程中起了较大作用。如果认为文留气藏的气主要来自煤层，是难以令人信服的。

(2) 东明凹陷下第三系沙河街组有良好的自生自储条件，因此在已发现的油气藏中有一大部分属沙河街组本身所生之气形成（即所谓的Ⅰ类），也是不容怀疑的。这类气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值比Ⅱ类轻也是很自然的，因为它们的母质为腐殖-腐泥或腐泥-腐殖型，且变质程度较低 ($R_o=0.8-1.2\%$)。

(3) 利用碳同位素来划分天然气的成因类型，应与其母质类型相对应。东明凹陷的石炭二叠纪煤系和华北其他几个地区的一样，有机质为腐殖型，故其所生的气为煤成气，属Ⅱ类。但东明凹陷沙河街组的有机质为腐泥腐殖混合型，严格地说，其所生的气本身就应叫混合型气或者叫过渡型气。若把煤成气与混合型气的混合物也叫做“混合型气”，就会造成混乱。更重要的是，影响 $\delta^{13}\text{C}$ 值的因素是多方面的，在东明凹陷的不同部位，母质类型、演化程度以及运移的影响等都不完全相同，尽管其气源岩相同， $\delta^{13}\text{C}_1$ 值仍可在一定程度上不同。事实上，尽管东明凹陷 $\delta^{13}\text{C}$ 的最小值和最大值相差较大（相差 18.3‰），Ⅰ、Ⅱ类间也有较大差别（相差 11.5—15.2‰），但若将Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类气的 $\delta^{13}\text{C}$ 值从重到轻排成一个系列，似乎又是逐渐过渡的，有的气（如开 33 井和马 11 井的气，其 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 -31.43‰ 和 -32.40‰）划在Ⅲ类也可，划在Ⅱ类也行。这些事实说明，如果我们能对东明凹陷所谓Ⅱ型气藏的形成条件逐个深入具体地进行分析，就有可能得出更正确的划分意见。例如开 33 井的气，就很可能来自石炭二叠系的煤成气。当然，也可能确有少数来自石炭二叠系和沙河街组两个层位的混合气，但最好不称作“煤型”和“油型”的混合气。

4. 冀中凹陷¹⁾

冀中拗陷和东明凹陷一样，有较好而又相似的煤成气形成条件。石炭二叠纪煤系主要分布于拗陷东侧和南部的深县地区，残留面积 7570 km²。其中暗色泥岩总厚一般为 200—308 m，文安地区最厚，达 330—358 m。煤层北厚南薄，北区 35—55 m，南区 6.5—25 m。由于暗色泥质岩和煤层都比东明凹陷厚，故生气物质基础更好。

经过多年的石油普查勘探工作，现在冀中拗陷已发现一批产于下第三系（如别古庄、岔河集）或古潜山（如任丘、河间、留路）的油气藏。这批油气藏周围没有石炭二叠系分布，其气为石油伴生气，碳同位素较轻（ $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -42.8‰ 至 -48.6‰），无疑是下第三系生成的（母质为腐殖-腐泥型）。另外，现在冀中拗陷还发现了一批分布于石炭二叠系展布区的古潜山气藏，如苏桥、信安镇、顾辛庄、深县西、刘其营等。除苏 20 井、文 23 井的产层属石炭二叠系外，其他井的产层均为奥陶系。这些气藏大多伴有凝析油，气体以 CH_4 为主， C_2-C_4 重烃约 10%， $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -36.4‰ 至 -39.3‰。可能是由于和东明凹陷对比，唐秉琦等(1984)也将其划为来自下第三系和石炭二叠系的混合气。但值得注意的是，冀中拗陷的石炭二叠系无论是第一次成气时或第二次成气时都较东明

1) 唐秉琦等，1984，冀中拗陷石炭二叠系煤成气藏远景评价。

坳陷埋得浅, 热演化程度比较低 ($R_o=0.6-1.4\%$, 正值油气兼生期), 这很可能是造成这些气藏重烃较多、碳同位素偏轻、并伴有凝析油的主因。考虑到具体的地质条件, 这些所谓“混合型”气完全有纯属石炭二叠系煤成气的可能, 至少有一部分 (如苏20井, $\delta^{13}C_1$ 为 -36.9%) 纯属煤成气。

冀中坳陷柳泉的泉2井于沙三段1135—1149 m 产出的气, CH_4 占 99.04% , N_2 占 0.93% , $\delta^{13}C_1$ 值为 -59.1% 。由于处于未成熟的深度, 且碳同位素较轻, 前人定为生物成因气是合适的。

三、小 结

1. 母质类型及其演化程度是控制油气 $\delta^{13}C$ 值的两大基本因素。在比较简单情况下, $\delta^{13}C$ 值是研究天然气成因类型、追溯油气源岩的一种既简便又较有效的指标。但现今油气的 $\delta^{13}C$ 值是多种因素在漫长地质历史时期综合作用的结果, 在利用碳同位素资料分析问题, 必须考虑具体地质情况和其他资料, 才能取得较正确的认识。

2. 华北地区除早已发现的来自下第三系的油气外, 还有来自石炭二叠系的煤成气及浅层生物成因气。大体上可以说: 若 $\delta^{13}C_1$ 值小于 -55% , 既可能是未熟阶段的生物气, 也可能是低熟阶段的煤田气; 若 $\delta^{13}C_1$ 值分布于 -35% 至 -45% 之间, 则属沙河街组生成的气的可能性较大; 若 $\delta^{13}C_1$ 大于 -40% , 则有属石炭二叠纪煤系气的可能。在此基础上, 再结合具体地质情况的深入分析, 最后即可综合确定它究竟属于何种成因类型。但是, 对某些地区来说, 还存在几种资料互相矛盾而不能最后确定的情况。

参 考 文 献

- [1] 戚厚发、陈文正, 1984, 煤成气甲烷碳同位素特征。天然气工业, 第2期。
- [2] 王涵云、杨天宇, 1983, 原油热演化程度与碳同位素组成变化关系。石油学报, 第2期。
- [3] 朱家蔚、戚厚发等, 1983, 文留煤成气藏的发现及其对华北盆地找气的意义。石油勘探与开发, 第1期。

PRELIMINARY APPROACH OF CARBON ISOTOPE DATA OF COAL-FORMED GAS IN NORTH CHINA

Zhou Xingtai

(Research Institute of Geology, Huabei Bureau of Petroleum Geology)

Abstract

A preliminary approach is made on the genetic types of the gases in North China based on the carbon isotope data and geological data. It is suggested that natural gas with $\delta^{13}C$ -value less than -55% is generally biogenic gas or gas generated from coal seam; the one with $\delta^{13}C$ -value ranging from -35% to -45% is generally derived from humic-sapropelic kerogens of the Tertiary; while the one whose $\delta^{13}C$ -value is greater than -40% is mainly generated from coal measures (including coal seams and carbonaceous shales) of the Permo-Carboniferous.