

# 塔北天然气组分特征及同位素组成

王国安 申建中 季美英

(中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 兰州 730000)

**提 要** 通过对塔北天然气 32 个样品的化学组分特征, 甲烷的碳、氢同位素组成及关系, 以及单烃碳同位素系列特征, 甲烷的碳同位素组成与烃类组分关系等方面的综合研究揭示了塔北不同油气区不同井位天然气的成因类型以及某些井位天然气的来源, 为塔北油气勘探提供了有价值的信息。

**关键词** 塔北 天然气组分特征 甲烷的碳、氢同位素 单烃碳同位素系列 烃类组分

**第一作者简介** 王国安 33岁 硕士 工程师 地球化学

塔里木盆地自 1984 年沙参 2 井取得重大油气突破以来, 经过“七五”、“八五”及“九五”最新科技攻关和勘探, 已在塔北、塔中相继发现了一批油气田(藏), 展示了巨大的油气远景。然而在关于油源、气源以及油气的成因类型等方面尚存在许多分歧和争论。本文试图通过对塔北天然气的气体组分特征, 甲烷的碳、氢同位素组成及关系, 以及单烃碳同位素系列组成, 甲烷的碳同位素与烃类组分特征的关系诸多方面来探讨塔北天然气成因。

## 1 样品采集与分析

塔北地区“八·五”期间我们共采集了 32 个气样, 代表着 31 口油气井, 其中在 Ln2-23-3 井的 T<sub>III</sub>、T<sub>II</sub> 产层各采了一个气样。气样采集使用的是双阀耐高压钢瓶, 采集时将钢瓶与现场分离器的喷气管连接, 打开瓶阀, 直接用喷出的高压气流冲洗钢瓶内腔数分钟, 然后关紧阀门取样。根据我所 MAT-271 质谱仪成分测定, 所有样品中的氧气含量均小于 0.005%, 因此说明采集时基本上不存在大气污染。

在本所气体地球化学重点实验室对样品进行了气相色谱全组分分析以及质谱仪成分测定, 甲烷的碳、氢同位素分析, 单烃碳同位素系列分析。气相色谱全组分分析在 HP5890-II 型气相色谱仪上进行, 分析精度为 5%±; 质谱成分测定是在 MAT-271 质谱仪上进行, 分析精度为 1%±; 甲烷的碳、氢同位素分析采用气相色谱分离、燃烧、收集的制备过程, 将气态烃中分离出来的 CH<sub>4</sub> 转化为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O、

H<sub>2</sub>O 在高温下被 Zn 粒还原成 H<sub>2</sub>, 然后将 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 分别通过 MAT-251 质谱仪测定, 获得 CH<sub>4</sub> 的碳、氢同位素数据, 碳、氢同位素分析精度分别为 0.5‰和小于 2‰; 天然气中单烃碳同位素系列数据的测定是利用 GC-C-MS 系统, 质谱计为 MAT-252, 分析精度 0.5‰±。碳、氢同位素标准分别为 PDB 和 SMOW。

## 2 结果与讨论

### 2.1 天然气组分特征

天然气组分是天然气与周围环境达到动态平衡的产物, 它们的特征可指示母源性质及运移效应等。塔北天然气具如下特征:

(1) 气态烃 CH<sub>4</sub> 的绝对含量除东河塘三口井, 即 DH4 井(C<sub>III</sub>)、DH11 井(C<sub>III</sub>)、DH1 井(C<sub>III</sub>)及英买力 YM2 井(O<sub>I</sub>)分别为 23.73%、41.15%、43.40%、44.88%外, 其余 28 个样 CH<sub>4</sub> 绝对含量均大于 70%, 其中在 CH<sub>4</sub> 大于 70%的所有样中, 仅吉拉克 JL107(C)井 CH<sub>4</sub> 含量为 96.44%, 其它都小于 95%。

(2) 塔北天然气中 N<sub>2</sub> 含量变化极大。据张子枢(1988)引述的 M. Л. ВАРВКННА 的分类方案, 即天然气组分中 N<sub>2</sub> 小于 5%为低氮气藏, 6%~15%为含氮气藏, 大于 15%的高含氮气藏。因此, 东河塘天然气及 YM2(O<sub>I</sub>)为高含氮气藏, Ln2-2-6(T<sub>I</sub>)、Ln2-23-3(T<sub>II</sub>)、Ln2-33-3(J)、Ln14(T<sub>3</sub>)、JF1-6-4(T<sub>1</sub>)、JF1-23-2(T<sub>2</sub>)、J109(T<sub>2</sub>)、S 参 2(O)、S7(C-1

O)、YM6(N<sub>ij</sub>)均为含氮气藏,塔北地区这次所研究的其余各井天然气为低含氮气藏。

(3)东河塘天然气不但N<sub>2</sub>含量高,为27.41%~36.20%,而且CO<sub>2</sub>含量也相当高,为15.97%~24.51%。另外根据我们同时对塔中天然气研究表明,塔中地区天然气中N<sub>2</sub>含量也相当高,一般在16%~20%之间,塔中10井甚至大于90%,但与东河塘不同的是塔中天然气中CO<sub>2</sub>含量十分低,一般在0.5%以下。这说明:东河塘、塔中天然气尽管都含相当高的N<sub>2</sub>,但天然气成因不同。

## 2.2 天然气单烃碳同位素组成

### 2.2.1 甲、乙烷碳同位素组成特征

近十年来我国许多学者对天然气成因分类进行了深入研究,并取得了良好的成果。认为 $\delta^3C_2$ 是判识天然气源岩有机质类型的良好标志。由于同位素的继承效应,腐泥型天然气的 $\delta^3C_2$ 较轻,腐殖型天然气的 $\delta^3C_2$ 较重,二者的界线为 $\delta^3C_2 = -29\%$ <sup>[1,2]</sup>。而 $\delta^3C_1$ 是判识天然气成气作用和有机质演化阶段的良好标志<sup>[3]</sup>。大部分学者用 $\delta^3C_1$ 为-55%作为区分生物气与热成气界线,即 $\delta^3C_1 < -55\%$ 为生物气,反之为热成气,而张洪年等<sup>[4]</sup>建议以 $\delta^3C_1$ 为-50%作为二者界线。至于有机质各演化阶段的 $\delta^3C_1$ 值分布范围更是众说纷纭。本文采用的是沈平、徐永昌<sup>[3]</sup>成因分类图版。图1清楚地表明:

(1)塔北天然气皆为热成气。

(2)提尔根S3井(E)、英买力YM7井(E)、YM6井(N<sub>ij</sub>)天然气的 $\delta^3C_2 > -29\%$ ,为腐殖型热成气。据刚文哲等<sup>[5]</sup>研究认为:库车腐殖型天然气成因系统包括库车凹陷及其南侧与其毗邻的塔北隆起北部英买力7号—牙哈—轮台—提尔根地带,该系统的气源岩主要为T—J沼泽相或湖相烃源岩。因此提尔根S3井(E)、英买力YM7井(E)、YM6井(N<sub>ij</sub>)天然气应归属于库车腐殖型天然气成因系统。

(3)塔北雅克拉S15(K)井、S参2井(O)及东河塘DH11井(C<sub>III</sub>)、DH1(C<sub>III</sub>)天然气的 $\delta^3C_1$ 值分别为-41.6‰、-47.7‰、-41.5‰、-41.3‰, $\delta^3C_2$ 均 $< -29\%$ 。按沈平、徐永昌等<sup>[3]</sup>的成因分类标准,即 $\delta^3C_1$ 为-48‰—40‰, $\delta^3C_2 < -29\%$ 为腐泥型原油伴生气,那么上述四个天然气样为腐泥型原油伴生气。

(4)DH4井(C<sub>III</sub>)、Ln33-1井(J)、Ln34-2井(J)、

Ln26(T<sub>I</sub>)、JF123(O)、Ln14井(T<sub>III</sub>)、S18井(C)、Ln22井(T<sub>III</sub>)、JF131井(T<sub>I</sub>)、JF100井(T<sub>II</sub>)、S22井(T<sub>III</sub>)、S36井(T<sub>2-3</sub>)、J109井(T<sub>II</sub>)它们的 $\delta^3C_1$ 、 $\delta^3C_2$ 值均落在腐泥型凝析气范围内,即 $\delta^3C_1$ 为-40‰—35‰, $\delta^3C_2 < -29\%$ ,因此为腐泥型凝析气(图1)。

### 2.2.2 单烃碳同位素系列组成

在塔北地区我们共分析了20口井气样的单烃碳系列同位素,其中有4个样仅获得了甲、乙、丙烷的碳同位素数据,其余的16个样获得了甲、乙、丙、丁烷碳同位素数据。塔北天然气单烃碳同位素系列组成有如下特征:

(1)据戴金星<sup>[6]</sup>研究的结果:“有机成因原生烷烃气的碳同位素系列是属正碳同位素系列,即 $\delta^3C_1 < \delta^3C_2 < \delta^3C_3 < \delta^3C_4$ 。当烷烃系的 $\delta^3C$ 值不按正碳同位素系列规律分布,排列出现混乱时,称为碳同位素系列倒转。碳同位素系列倒转是混合气或次生气引起的特征之一。”塔北:Ln22(T<sub>III</sub>)、S36(T<sub>2-3</sub>)、S3(E)、S参2(O)、YM7(E)、YM6(N<sub>ij</sub>)井的烷烃气碳同位素系列出现了倒转现象。

(2)同时我们也注意到这七口井单烃碳同位素系列尽管具倒转现象,但均为丙、丁烷碳同位素倒转,即 $\delta^3C_1 < \delta^3C_2 < \delta^3C_3 > \delta^3C_4$ 。如前所述,S3井(E)、YM7井(E)、YM6井(N<sub>ij</sub>)天然气为腐殖型气,源自于库车凹陷中生界T—J烃源岩。据周兴熙<sup>①</sup>(1997)认为:库车凹陷T—J系含有两种气源岩,一种以沼泽相为主,另一种以湖相为主。前者碳同位素偏重,后者偏轻,甚至还含有碳同位素更轻的湖相偏腐泥型有机质存在。由于腐殖型气中丁烷含量甚少( $< 1\%$ ),因而少量偏腐泥型气混入,就会使 $\delta^3C_4$ 偏轻。S3井(E)、YM7井(E)、YM6(N<sub>ij</sub>)丁烷偏轻,说明有少量偏腐泥气混入。至于其余具丙、丁烷碳同位素倒转的四口井气样,丁烷碳同位素偏轻的具体原因有待于进一步研究

## 2.3 烃类气体组成与甲烷碳同位素组成关系

气态烃 $\delta^3C_1$ 值能很好地反映天然气母质的成熟度,把气态烃组分与 $\delta^3C_1$ 值结合进行综合研究,无疑对气态烃的母质类型、演化程度和成因研究起重要作用<sup>[3]</sup>。我们应用判断烃类成因的C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>- $\delta^3C_1$ 关系图(图2),把我们的数据投入该图中,

① 周兴熙. 塔里木盆地天然气的混合和累积效应及气资源保存条件判断(塔里木内部简报)。

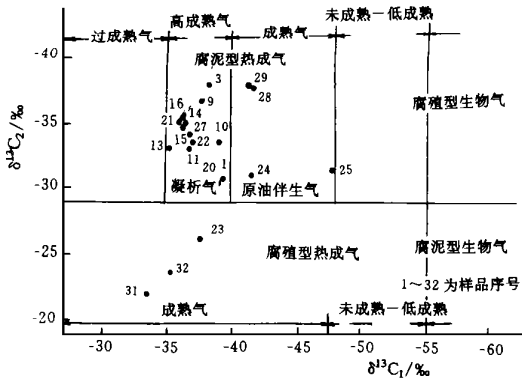


图1 塔北天然气甲、乙烷碳同位素组成关系图

Fig. 1  $\delta^{13}C_1$  vs  $\delta^{13}C_2$  diagram for natural gases classification

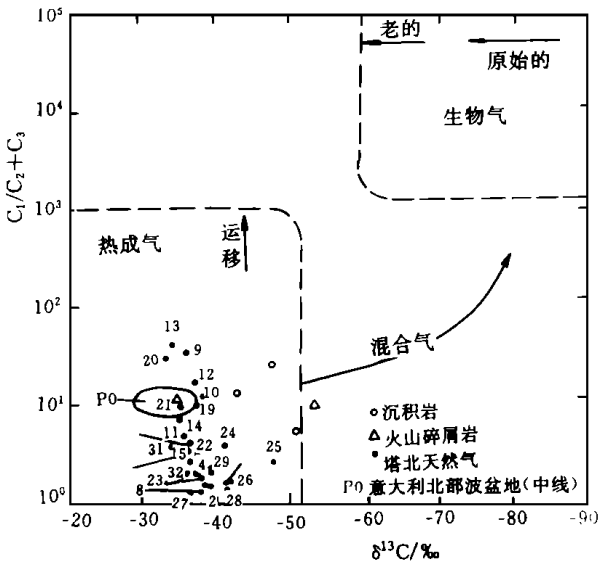


图2 天然气中 C₁/C₂+C₃-δ¹³C₁ 关系图

图中小圆圈为本文实测数据投影点

Fig. 2  $C_1/C_2+C_3$  vs  $\delta^{13}C_1$  diagram for natural gases

发现均落在热成气区内, 与前面研究结果一致, 无疑塔北天然气皆为热成气。

另外我们还应用了沈平等<sup>[3]</sup>  $C_1/\Sigma C_{1-5}-\delta^{13}C_1$  关系图版, 将我们的数据投到该图中(图 3a, 3b), 发现其结果与前面应用  $\delta^{13}C_1-\delta^{13}C_2$  关系判别天然气成因类型一致, 在此不必重述。不过有二个样值需额外说明, 一个是 JL107 井(C)气样, 尽管其  $\delta^{13}C_1$  值为  $-33.9\%$ ,  $CH_4$  含量为  $96.4\%$ ,  $C_2/C_3$  值为 15, 后二项值均高于塔北所有天然气样, 但对于它是否为热裂解气还是为腐殖型气需进一步研究。另外一个为 Ln34-2 井(J)气样, 它的  $CH_4$  绝对含量 MAT-271 质谱仪成分测定为  $70.07\%$ , 分析精度  $1\%$ ±,

而色谱全组分分析  $CH_4$  相对总烃 ( $\Sigma C_{1-5}$ ) 的含量仅为  $47.6\%$ , 即  $C_1/\Sigma C_{1-5}$  为  $0.476$ , 考虑到色谱精度较低, 因此我们认为它的  $C_1/\Sigma C_{1-5}$  至少应  $>0.5$ , 故它的实际投影位置应在图 3a 中更靠上的位置。

### 2.4 甲烷的碳、氢同位素组成关系

#### 2.4.1 甲烷的氢同位素组成

Schoe. Mill<sup>[7]</sup> 认为: 陆相淡水贫气, 海水富气, 海陆交互相介于二者之间, 所以陆相腐殖型气  $\delta_{CH_4}$  值在  $-230\%$ ±, 海相腐泥型气  $\delta_{CH_4}$  值在  $-190\%$ ± $-155\%$ 之间。就我们这次所获得的 13 个气样的甲烷氢同位素而言, 按照上述观点均应该为海相腐泥型气。除 YM7 井(E)与前面结果似乎矛盾外, 其余 12 个气样的结果均与前述结论一致。就 YM7 井(E)而言之所以有似乎矛盾的结果产生, 存在二个可能的原因: 1) 正如前述 YM7 井(E)天然气有少量

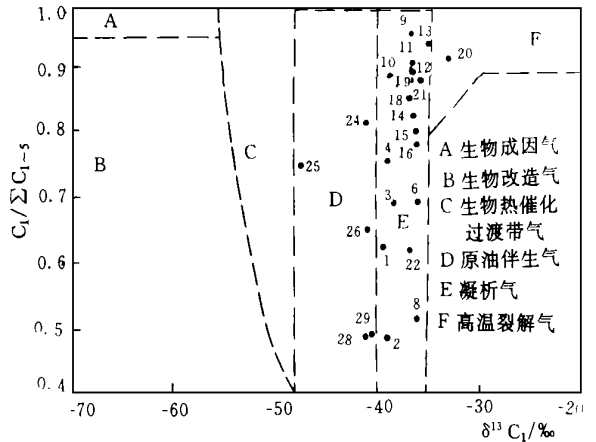


图 3a 腐泥型气  $\delta^{13}C_1-C_1/\Sigma C_{1-5}$  关系图

Fig. 3a  $\delta^{13}C_1$  vs  $C_1/\Sigma C_{1-5}$  diagram for sapropelic gases

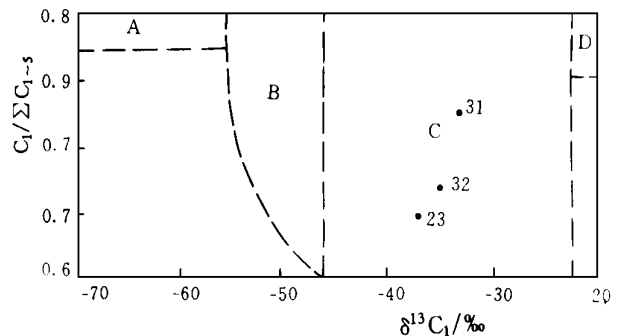


图 3b 腐殖型气  $\delta^{13}C_1-C_1/\Sigma C_{1-5}$  关系图

A. 生物气 B. 生物热催化过渡带气  
C. 热催化气 D. 高温裂解气

Fig. 3b  $\delta^{13}C_1$  vs  $C_1/\Sigma C_{1-5}$  diagram for humic gases

偏腐泥型加入,从而可导致  $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$  值变重;2)可能由实验误差引起。根据对某些样品反复多次的甲烷氢同位素分析表明,由于氢具极强的分馏效应,因此在制备和测试过程中均极易造成同位素分馏,从而严重地影响数据的可靠性。

#### 2.4.2 甲烷碳、氢同位素组成关系

沈平等<sup>[3]</sup>在准噶尔、陕甘宁、中原、华北、辽河、四川等17个含油气地区共采集了300多个天然气样,进行了甲烷的碳、氢同位素研究,将数据绘制成中国天然气成因分类图(图4)。图中 $\text{CH}_4$ 的C、H同位素点群分布具有相应集中的范围,结合各油区地质背景,他们将天然气划分6种成因类型,A.生物成因气;B.生物—热催化过渡带气;C.原油伴生气;D.凝析气;E.腐殖型气;F.海相腐泥型裂解气。我们将塔北有 $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ 数据的13个气样投影到该图中,发现:

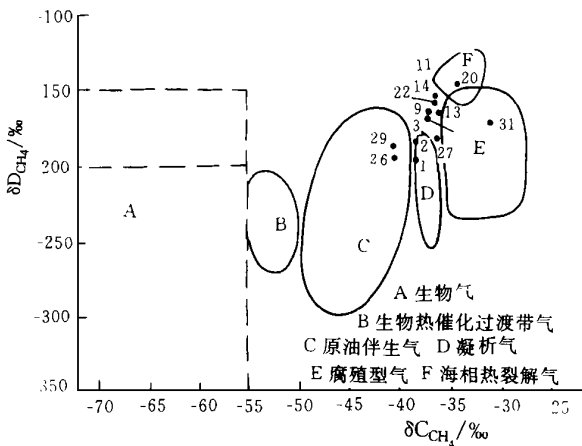


图4 中国天然气成因分类图<sup>[3]</sup>

图中的实线及虚线为各类型天然气的分界线

黑点为本文实测的数据投影点

Fig. 4 Genetic classification diagram for Chinese natural gases

S7井(∈-O)、DH1井(C<sub>III</sub>)落在C区,即为原油伴生气;DH4井(C<sub>III</sub>)、Ln33-1井(J)、Ln34-2井(J)、Ln26井(T<sub>I</sub>)落在D区边缘,再结合前面研究,应为凝析气;

英买力YM7井(E)落在E区内,为腐殖型气;

JL107井(C)落在F区,即腐泥型裂解气区,不过其成因类型仍有待进一步研究。

以上结果与前面研究的结果完全一致或基本一致。

JF123井(O)、Ln14井(T<sub>2</sub>)、Ln22井(T<sub>3</sub>)、

JF131井(T<sub>I</sub>)、JF100井(T<sub>II</sub>)的投影点落在D区,即凝析气区之外,按前面研究,它们应该属于凝析气。本人认为造成结果互相矛盾的原因可能主要是源岩沉积环境不同所致,因为沈平等人的分析的样品大多代表着陆相沉积环境,因此该分类图可能对陆相腐殖型天然气较适合。从图4中,我们还可以看出,除YM7井(E)(腐殖型气)外, $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ 值基本上随 $\delta^{13}\text{C}_1$ 增大而变重。这与沈平等<sup>[3]</sup>研究一致,即腐泥型气甲烷的碳、氢同位素有随成熟度增高而变重的趋势。

### 3 结论

通过对塔北天然气32个样品的气体组分特征、甲烷的碳、氢同位素组成及其关系,以及单烃碳同位素系列特征,甲烷的碳同位素与烃类组分特征关系等方面的讨论,获得如下认识:

(1)塔北天然气一般是以 $\text{CH}_4$ 为最主要成分,包含多种非烃气体组分,非烃气体 $\text{N}_2$ 含量在不同油气区差别极大。

(2)塔北天然气皆为热成气。

(3)提尔根S3井(E)、英买力YM7井(E)、YM6井(N<sub>ij</sub>)天然气为腐殖型热成气,源自于库车凹陷T-J湖相或沼泽相烃源岩,由于有少量湖相偏腐泥型气混入,使他们的单烃碳同位素系列出现了丙、丁烷倒转。

(4)雅克拉S15井(E)、S参2井(O)及东河塘DH11井(C<sub>III</sub>)、DH1(C<sub>III</sub>)天然气为腐泥型原油伴生气。

(5)DH4(C<sub>III</sub>)、Ln33-1(J)、Ln34-2井(J)、Ln26井(T<sub>I</sub>)、JF123井(O)、Ln14井(T<sub>III</sub>)、S18井(C)、Ln22井(T<sub>III</sub>)、JF131井(T<sub>I</sub>)、JF100井(T<sub>II</sub>)、S22井(T<sub>III</sub>)、S36井(T<sub>2-3</sub>)、J109(T<sub>II</sub>)天然气为腐泥型凝析气。

#### 参 考 文 献

- 1 张士亚,周瑾.石油与天然气地质文集.北京:地质出版社,1994.4:27~42
- 2 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.石油实验地质,1997,19(2):164~167
- 3 沈平,徐永昌,王先彬等.气源岩和天然气地球化学特征及成气机理研究.兰州:甘肃科学技术出版社,1991.39~44
- 4 张洪年,连莉文,顾蕴璇等.石油与天然气地质文集.北京:地质出版社,1994.4:130~150
- 5 刚文哲,高岗,郝石生等.塔里木含气系统的划分及特征.沉积

- 学报, 1997, 15(2): 40~44
- 6 戴金星. 概论有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因问题. 天然气工业, 1990, 10(6): 101~106
- 7 Schoell M. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1980, 44(5): 768~778

## Characters of Composition and Isotopic Composition of Natural Gases in Northern Tarim

Wang Guoan Shen Jianzhong Ji Meiyang

(State Key Laboratory of Gas-Geochemistry Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

### Abstract

By means of the study on the 32 sample's characters of composition, isotopes of carbon and hydrogen and serial isotopes of hydrocarbons, on the isotopic relationship of carbon and hydrogen, on the relationship between hydrocarbonic composition and isotopes of carbon from methane, the paper gets new knowleges about natural gases' genetic type of different wells in different oil and gases fields as well as the origin of some natural gas depositions in Northern Tarim, and supplies available information for exploration of oil and natural gases.

**Key words** Northern Tarim characters of composition in natural gases isotopes of carbon and hydrogen from methane serial isotopes of hydrocarbons hydrocarbonic components