中 国 科 学
1987 年 6 月　　B 辑　　第 6 期

气态烃同位素组成特征及煤型气判识

沈 平　申歧祥　王先彬　徐永昌
（中国科学院兰州地质研究所）

摘　　要

本文以烃类气体的碳、氢同位素组成为主，探讨了煤型气、油型气的判识．文中综合利用甲烷碳、氢同位素组成，把我国不同地区的天然气较好地分为几个区间，即生物气、瓦斯气、油型气和煤型气．在煤型气和油型气之间有一个混合气区，有较为复杂的形成条件，过成熟的油型气在分布上与煤型气重叠．根据对我国四川、鄂尔多斯油气区的研究，认为这些盆地的煤型气具有相对较轻的碳同位素组成，其 $\delta^{13}C_1$ 与 R_o 的数学表达式 $\delta^{13}C_1‰ = 8.641, \lg R_o - 32.8$．它代表一种连续沉降盆内形成的煤型气模式．本文还探讨了中原油田最近发现的深层气（大于 4000m）的母质类型，有机相和成熟度．

一、引　　言

气态烃的碳、氢同位素组成特征是天然气地球化学研究的重要内容．由于气态烃碳、氢同位素组成特征可以给出形成油气母质的类型，热演化程度以及有机相等重要信息，因而它是天然气类型划分的重要依据．在油、气勘探开发中，基于气态烃碳、氢同位素组成的资料，可以进行气层与气层的对比，油、气层与源岩的对比和了解勘探区油气的成熟度等．显然，这对于油气勘探布署、资源量估算等等都是极为珍贵的信息．

1. 研究目的和样品分布　　样品来自东濮凹陷、四川盆地和鄂尔多斯等盆地．这些盆地都具有油气盆地和聚煤盆地在纵向剖面上相互叠合的特征．地质研究认为，在这些盆地中不仅有石油形成过程所形成的油型气工业气藏，而且有煤系地层在成煤过程所形成的煤型气的工业气藏．这些煤型气的储集方式即有储集于煤系地层本身的，也有储聚于煤系地层之外的．在这些盆地内，正确的判别所揭示的天然气是煤型气或油型气，从而有针对性的进行勘探部署就不仅具有理论意义，而且是天然气勘探开发非常重要的经济信息．研究气态烃碳、氢同位素特征是达到上述目的最直接、最有效的方法．

2. 样品制备和质谱测量　　气态烃的碳、氢同位素组成不仅与母质类型、热演化阶段和有机相特征密切相关．而且在一般情况下，随着气态烃碳数增大，气态烃的碳、氢同位素组成也相应变重，因此，只有对气态烃分离成 C_1-C_4 的单组份，所获资料才具有科学价值，才与国际上的资料有可比性．

本文 1986 年 5 月 15 日收到，1986 年 9 月 10 日收到修改稿．

兰州地质研究所在 1983 年建立了体积法分离甲烷制备碳同位素的系统. 1985 年, 在有关方面的协助下,建立了国内第一套气相色谱分离,制备 C_1—C_4 单组份的碳、氢同位素制备系统,把天然气地球化学的研究工作向前推进了一步. 有关方法将另文报道.

碳、氢同位素分析是在 MAT-251 质谱仪上进行的,测量结果以 $\delta^{13}C$ 和 δD 表示:

$$\delta() = \frac{R_y - R_b}{R_b} \times 1000‰.$$

式中 R 相应为 $^{13}C/^{12}C$ 和 D/H 的比值, R_y 为样品的 R 值, R_b 为标准的 R 值,为进行国际间对比,测量结果均以相对于国际标准的值来表示. $\delta^{13}C_{PDB}$ 是以美国卡罗莱纳州的白垩系 Peedee 组美洲拟箭石的 $\delta^{13}C$ 值为零时样品相应的值. 氢同位素是换算到相对于 SMOW 的值,以 δD_{SMOW} 表示. SMOW 是表示标准平均太平洋海水,规定其 δD 为零. 测定结果为负值表示样品相对于标准富集轻同位素 ^{12}C 或 H,为正值时则表示相对于标准富集重同位素 ^{13}C 或 D.

二、几个含油气盆地剖析

1. 中原油气区

中原油气区位于豫北、鲁西、在构造单元上亦称之为东濮凹陷. 就地质背景而言,这里可能存在以第三系沙河街组为源岩和储层的自生自储油型气,和以石炭—二叠煤系地层为气源岩,但储集于第三系的古生新储的煤型气. 为了研究该区天然气地球化学特征,对中原油气区 32 个天然气样品进行了甲烷碳、氢同位素分析. 现将 δD_{CH_4} 和 $\delta^{13}C_1$ 的数据绘制于图 1 中. 从图中可见:

(1) 中原油气区天然气中甲烷碳、氢同位素组成具正相关性. 即甲烷碳同位素组成向富集 ^{13}C 的方向变化时,甲烷氢亦向富集 D 的方向变化. 其趋势如图中箭形符号所示. 它代表了从油型气—混合气—煤型气的方向.

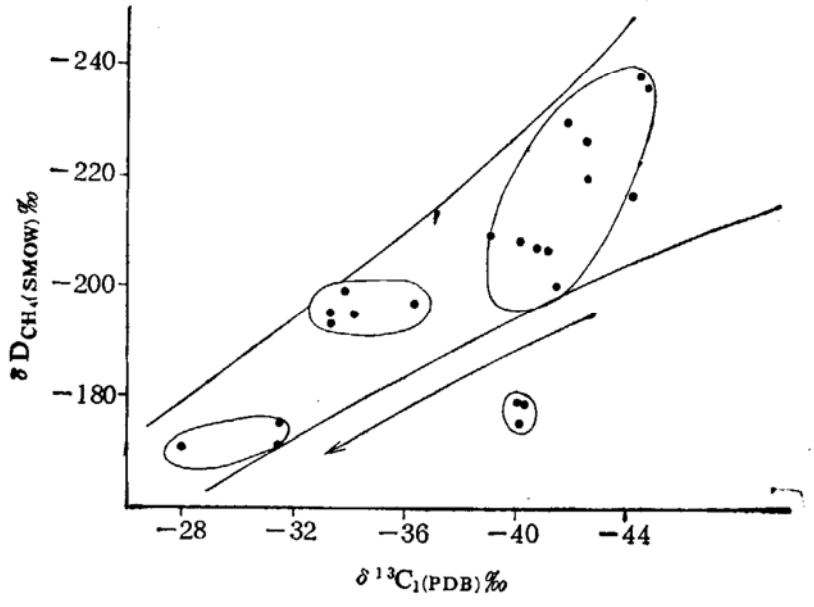

图 1 中原地区天然气甲烷 $\delta^{13}C_1$ 和 δD_{CH_4} 关系图

（2）在箭形符号所表示的总趋势的同时，甲烷的碳、氢同位素组成在箭形符号的区间可以分为三个区．尾部群点具有轻的碳同位素组成（−39——45‰）和轻的氢同位素组成（−200——240‰）．它们代表了湖相有机物所生成的气态烃类的特征，即湖相成油母质形成的甲烷显著地富集氘．如果以 Schoell[1] 所提出的油型气（海相 II 型干酪根）的 $\delta^{13}C_1$-δD_{CH_4} 关系：$\delta D_{CH_4} = 3.2\delta^{13}C_1 - 25‰$ 进行计算，则中原油气区湖相环境中形成的甲烷较海相油型气甲烷富集氘 50—70‰．

（3）箭形符号的头部是中原油气区几个煤型气的点，包括文 31，开 33 和卫 102 井．它们分布于 $\delta^{13}C_1 > -32‰$，$\delta D_{CH_4} > -175‰$ 的区间．对中原油气区，这些气态烃无论从母质的角度，或是成熟度，应在全区气态烃中具有最重的甲烷碳、氢同位素组成．图 1 的图景与这种规律是相符合的．同样以甲烷的 $\delta^{13}C_1$ 为基础，根据 Schoell 煤型气 $\delta^{13}C_1$-δD_{CH_4} 的关系作对比，则中原油气区煤型气氢的同位素组成与 Schoell 提出的公式 $\delta D_{CH_4} = 3.8\delta^{13}C_1 - 40‰$ 相近，但富集氘 15‰ 左右．

（4）相当于混合气的甲烷，在图中分布于箭形符号中部．

（5）上述图景一方面说明根据甲烷的碳、氢同位素可以把中原油气区三种成因的天然气区分开来，而且体现了不同成因的甲烷的碳、氢同位素组成受制约于有机母质的类型和成熟度．同时我们也注意到湖相环境成油母质生成的甲烷比海相生油母质生成的甲烷其氢同位素组成明显地富集氘．

（6）中原油气区不同成因的天然气根据 $\delta^{13}C_1$ 与 $C_1/(C_2 + C_3)$ 的关系也可以较好地区分开来．对中原油气区而言，该区煤型气为二次成气的产物．热演化程度也高，母质又为腐殖质，故煤型气分布于高 $\delta^{13}C_1$ 和高 $C_1/(C_2 + C_3)$ 比的区间，而油型气则相反，这一结果较好地反应在图 2 中．

（7）$\delta^{13}C_1$ 与 R_0 的关系，是用以判识煤型气和油型气的主要依据．在中原油气区由于存在两种类型气源混合产生的混合气，从而在确定一个气井 $\delta^{13}C_1$ 值相应的 R_0 时发生较大困难．

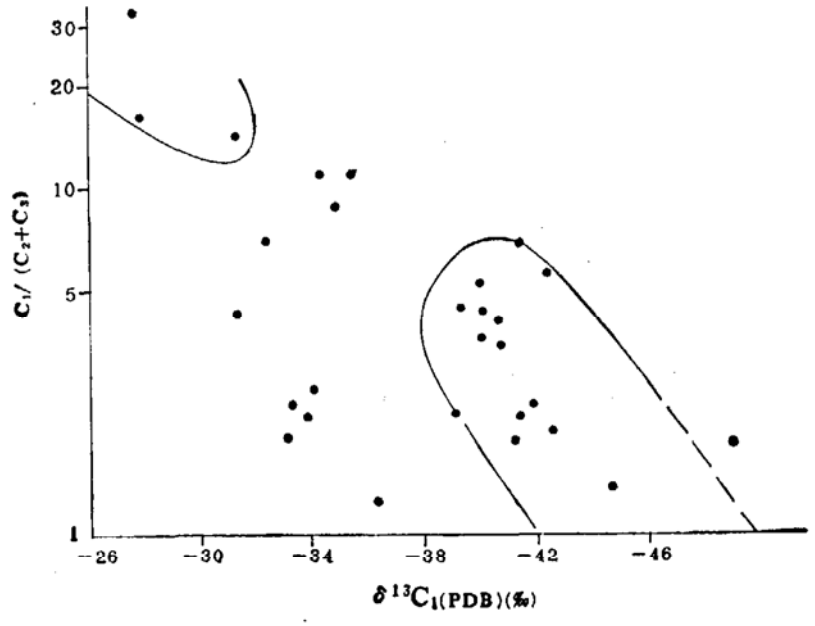

图 2　中原油气区天然气 $\delta^{13}C_1$ 与 $C_1/(C_2 + C_3)$ 关系图

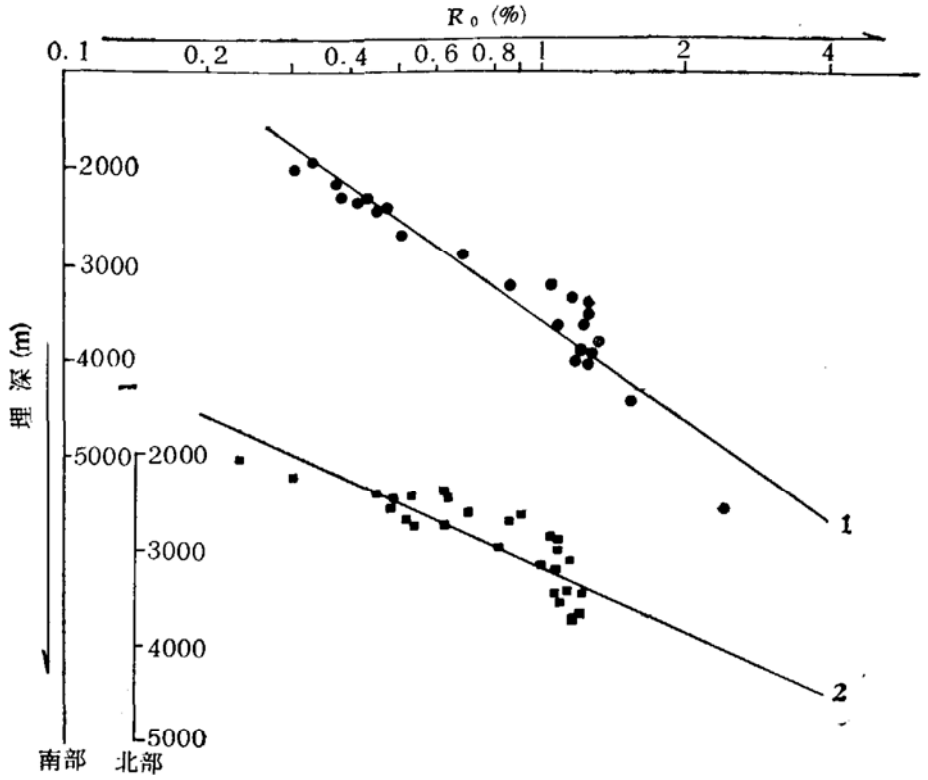

图 3 中原油气区 R_0 与地层埋深表系图
(1——混合气, 2——煤型气)

加之 R_0 的资料也不全，因此，我们只能参照几个方法的数据作合理的选择：① 凡气井有可参照的 R_0 资料者则采用相应的 R_0 值；② 根据程克明提供的下第三系 R_0 值的资料分别绘制了东濮凹陷南、北两区 R_0 与地层埋深关系图(图 3)．对油型气可以根据此图从气样产层深度查出相应的 R_0 值；③参照 Stahl 油型气[2]，煤型气 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 关系，从 $\delta^{13}C_1$ 求出相应的 R_0 值；④ 煤型气参照气井相邻深度的石炭、二叠系 R_0 值．基于上述资料绘制成 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 关系图 (图 4)．图 4 中也绘入了四川盆地和陕甘宁盆地煤型气的点．

从图 4 中可以看出：①根据 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 的关系可以较好地把煤型气和油型气分为两个不同的系列；② 和 Stahl[2] 的模式相比中原煤型气与 Stahl 的模式线相近而略轻．油型气相似而略重，这和中原油气区的具体地质情况有关．如 Stahl 的煤型气模式是二次成气的煤型式．中原地区也为二次成气作用，但散失的组份可能略有差异．但与我国其它油气区相比这种差异就比较大．

(8) 中原油气区天然气中 $\delta^{13}C_1$ 与 δD_{CH_4}，$\delta^{13}C_1$ 与 $C_1/(C_2+C_3)$，$\delta^{13}C_1$ 与 R_0 以及 $\delta^{13}C_1$ 与 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 的互相关系均充分证明根据天然气甲烷的碳、氢同位素组成，可以将该区天然气划分为两个不同的成因类型—煤型气和油型气．混合气的出现主要由于中原油气区下第三系文 23 盐相变的结果．

2. 陕甘宁油气区

在地理位置上处陕西、甘肃、宁夏和内蒙古四省区的相邻部分．过去称为鄂尔多斯盆地．这里有工业价值的天然气有两种类型．一为与三叠—侏罗系石油形成相关的油型气，另一种为与石炭—二叠煤系有关的煤型气．但由于地质构造因素的影响，不同类型的天然气却可以

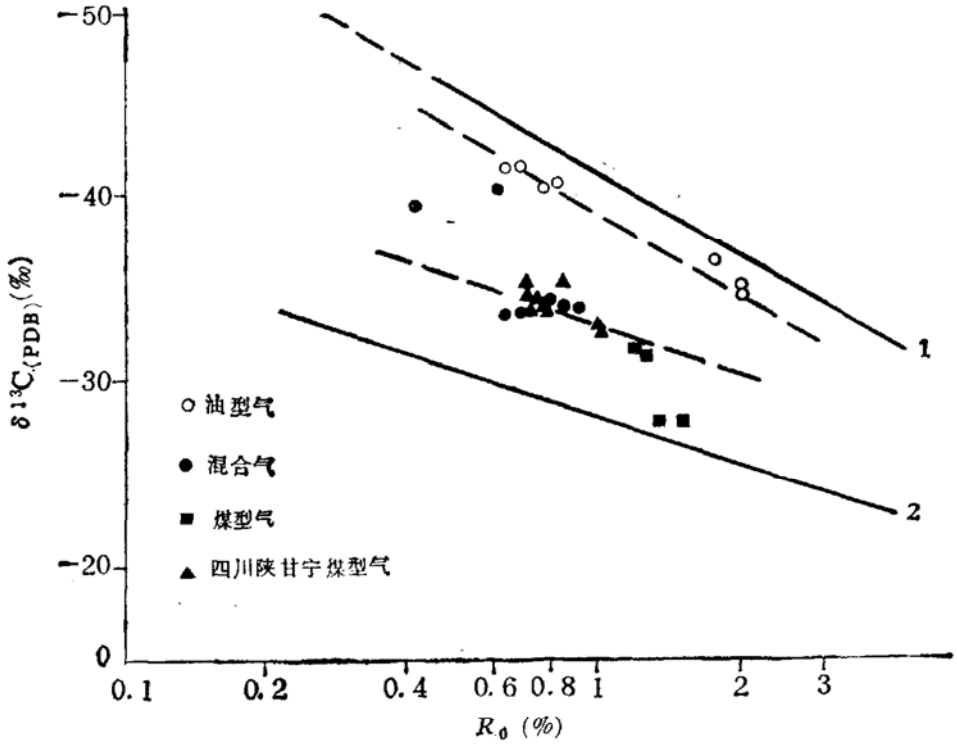

图 4　中原油气区天然气 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 关系图
(1——油型气，2——煤型气)

表 1　陕甘宁盆地天然气甲烷碳、氢同位素组成

井　位	层　位	$\delta^{13}C_1$‰	δD_{CH_4}‰	备　注
摆10排-8	J	−35.52	−155.1	与煤型气有关的天然气
任　6	P	−34.68	−167.1	
任　4	P	−33.39	−162.1	
11 排-32	J	−47.42	−196.2	
401	T	−48.05	−185.8	
阳　13	T	−46.51	−234.2	
刘庆 1	C−P	−45.76	−190.6	

储集于相同的储层．为更有根据地进行油气的勘探工作，进行油、气层对比，追索油气源岩及其成熟度是极重要的任务．为此分析了盆地中部和西北缘有代表意义的六口天然气井甲烷碳．氢同位素组成(表 1)．

根据表 1 所列数据，甲烷的碳、氢同位素组成显然可以分为两组．一组具有重的碳、氢同位素组成，同位素值的分布区间 $\delta^{13}C_1$ 值为 −33.4——35.5‰，δD_{CH_4} 为 −155——167‰，另一组同位素明显富集轻同位素，$\delta^{13}C_1$ 为 −45.8——48‰，δD_{CH_4} 为 −186——196‰．

如前所述，通常油型气甲烷碳、氢同位素组成较轻而煤型气较重．检验陕甘宁盆地的两组天然气的产出特征，与上述意见基本吻合．任 6 井、任 4 井属于重同位素的一组，其储层为石

盒子组，属下生上储的煤型气．盆地内储于中生界的油藏伴生气(401 井和 11 排-32 井)，属于轻同位素一组．因此，根据甲烷碳、氢同位素组成可以把煤型气和油型气区分开来．另外，从表 1 数据也可见到一些值得进一步认识的问题．如摆 10 排-8 井，储层为侏罗系，按理属油型气，应具轻的同位素组成．但其甲烷相对富集 ^{13}C 和 D．而刘庆 1 井的天然气藏是储于石炭一二叠的含煤地层中，长期认为属煤型气．但甲烷碳、氢同位素组成却明显富集轻同位素组成．这种情况我们认为是天然气运移至生气层系之外储集的结果．摆 10 排-8 井属古生新储，而后者属新生古储，这种认识和盆地西北缘的地质构造特征是吻合的．该区断层系统的分布，完全可以使古生界形成的煤成气运移储集于中生界，也可使中生界形成的油型气运移储集于古生界含煤岩系中．

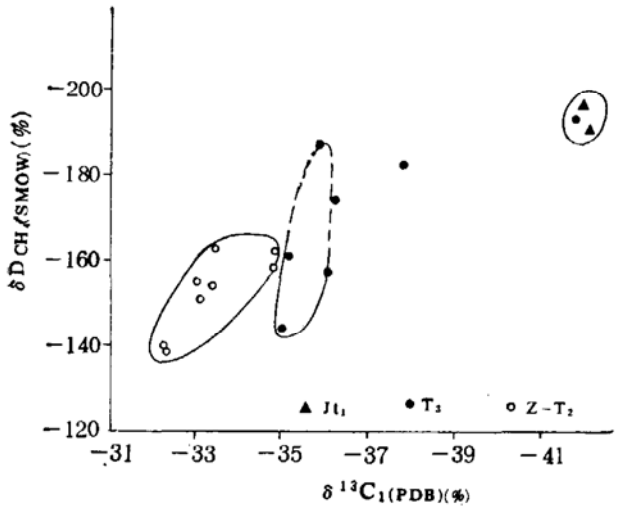

图 5 四川盆地天然气 $\delta^{13}C_1$ 与 δD_{CH_4} 关系图

3. 四川油气区

在四川油气区共采集分析了 20 口气井的样品，甲烷 $\delta^{13}C_1$ 与 δD_{CH_4} 的关系绘于图 5 中．

从图 5 可以看出，根据甲烷的 $\delta^{13}C$ 和 δD 值，四川盆地的天然气大致可以分为三组：

第一组　甲烷的 $\delta^{13}C$ 和 δD 均较大，即富集了 ^{13}C 和 D．其大致范围为 $\delta^{13}C$ −32——35‰，δD_{CH_4} −140—— 165‰，这组气体的产层从中三叠统到震旦系，它们是一组与海相腐泥质相关的过成熟气．由于甲烷的碳、氢同位素组成均随成熟度增加而富集 ^{13}C 和 D，故这组气体具有全区最高的 $\delta^{13}C$ 和 δD 值．

第二组　是与须家河组地层相关的气体，也就是四川盆地的煤型气，它们具有较第一组稍轻的碳、氢同位素组成．$\delta^{13}C_1$ 大致分布在 − 35—— 37‰．δD_{CH_4} 分布范围较宽，约为 − 145—— 187‰．从母质类型来说，它们似应较第一组具有较重的碳、氢同位素组成．但由于成熟度远低于第一组（R_0 约 0.84—0.86‰），故它们的同位素组成较第一组略轻是正常的，这是气态烃对有机母质热演化反映敏感的原因．

第三组　共有三个气井，它们具有全区最轻的甲烷碳、氢同位素组成，$\delta^{13}C_1$ 基本为 −43‰，δD_{CH_4} 为 − 190—— 195‰．$\delta^{13}C$ 和 δD 的分布区间均非常集中，与其它地区油型气的值基本一致．这些气然气主要采自川中地区侏罗系大安寨组，是目前四川产小量原油的地区和地层，所以第三组属于油型气的特征与地质背景是吻合的．

这样，根据天然气甲烷碳同位素组成可以把四川盆地所存在的油型气、煤型气和演化到高成熟阶段的过成熟气较好地区分开来．其中，第一、第二组由于母质和成熟度交错影响，同位素组成较相似．但由于成熟度的差异很大，成熟度对第一组气体的同位素产生了较深刻的改造或者说同位素的分馏效应很大，造成了母质为腐泥型的天然气比母质为腐殖型为主的天然气具有更重的碳、氢同位素组成．这就是说用天然气碳、氢同位素组成来判识天然气的成因类型时，除母质的因素外成熟度是一个必须充分注意的因子．

三、东濮凹陷实例讨论

东濮凹陷天然气勘探工作中取得重要成果之一，是在深部（大于 4000m）获得了一些工业气井．文 242 和桥 20 井是其中的两个．我们对两口井的天然气碳、氢、氩同位素组成进行了详尽的分析（表 2）．

表 2　文 242 井和桥 20 井天然气同位素组成数据表

井　号	层　位	深　度 (m)	样品类型	$\delta^{13}C‰$ (PDB)	$\delta D‰$ (SMOM)	$^{40}Ar/^{36}Ar$
桥　20	E_{s_4}	4649—4580	CH_4	−40.03	−179.23	608
			C_2H_6	−26.65	−124.08	
			C_3H_8	−24.08	−115.99	
文 242	E_{s_4}	4426.5—4374.1	CH_4	−40.09	−178.36	959
			C_2H_6	−26.09	−126.30	
			C_3H_8	−24.13	—	

从表列数据可见：

（1）两口井气态烃的同位素组成十分相近，在方法误差范围内可以认为二者是相同的，故讨论气态烃的碳、氢同位素组成时不予分别论述．

（2）甲烷碳、氢同位素组成与区域内现已知各井的情况均不相同．按甲烷碳同位素的值均为 −40‰ 应与区域内油型气相当．据此，其气源岩有机质成熟度 R_0 值约为 1.1% 左右．但是根据甲烷的氢同位素组成为 −176——178‰ 则显然与区域内煤型气相同，它代表滨海相或沼泽相．如果借用 Schoell 的甲烷碳、氢同位素组成的天然气成因分类图(图 6)，文 242 和桥 20 井的天然气属于海相腐泥型热催化成因天然气．

（3）James[3] 近年通过分析甲、乙、丙、丁烷的碳同位素来确定天然气源岩有机质成熟度的

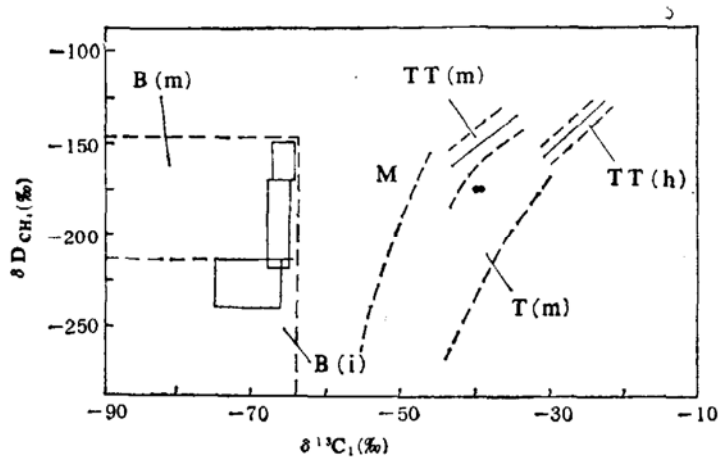

图 6　天然气成因分类图

(B(m)——腐泥质生物气，B(i)——泥炭化阶段生物气，M——混合气，T(m)——腐泥型热催化成因气，TT(m)——腐泥型热解气，TT(h)——腐殖型热解气)

方法，其基础是如果 $C_1—C_5$ 组份为单一气源的情况，则它们的碳同位素组成渐次富集 ^{13}C，而且随着成熟度的增加 $C_1—C_5$ 的 $\delta^{13}C$ 值同步增加，这样就可能利用 $C_1—C_5$ 之间 $\delta^{13}C$ 的差值来寻求天然气源岩相应的成熟度，在各组份差值中，James 强调乙、丙烷 $\delta^{13}C$ 的差值具有决定意义．我们根据文 242 和桥 20 井甲、乙、丙烷 $\delta^{13}C$ 的测定结果来探讨气源岩的成熟度，结果如图 7 所示．

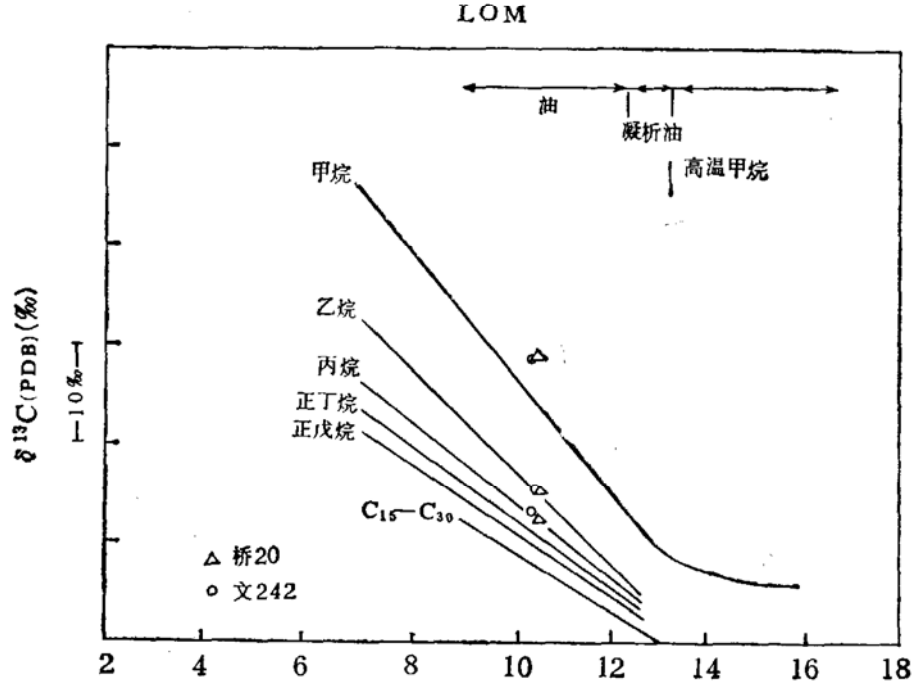

图 7 气态烃组份的 $\delta^{13}C$ 差值与有机母质成熟度关系图

在 James 的图解中，有机质成熟度是用 LOM 表示的．其意义是沉积有机质的变质程度．LOM 和我们常用的成熟度指标 R_0 在 LOM 为 7—19 阶段与 $R_0 = 0.6—4.0\%$ 有较好的对应关系．根据文 242，桥 20 两口井甲、乙、丙烷 $\delta^{13}C$ 差值，在 James 图的相应位置上 LOM 为 10.7，位于成油窗的范围．对应的 R_0 值为 1%，所获结果与甲烷碳同位素的结果基本一致．

(4) 文 242 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 的分析结果为 959，是相当典型的石炭一二叠系气源岩的数值[4,5]．桥 20 井的 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 比值为 608．如果数据无误差的话，它应相当于区域内混合气的类型．

综上所述，以文 242 井为代表，综合各种地球化学指标，它的气源岩应为海相石炭一二叠系沉积物，但其母质不是煤系的腐殖质，而应为腐泥型．其成熟度，据同位素资料推论，R_0 约为 1.0—1.1%，应处于石油窗的范围．但根据本区地层埋深与 R_0 的关系，其 R_0 达 1.6—1.8% 远大于石油窗下限值，按现有的石油演化模式，这些气体应属最终甲烷阶段的产物．我们承认两种资料按现有一般理论是有矛盾的．但也应看到地质实际的复杂性，石油演化也受时间、温度、压力……等多因素的制约．如 1984 年意大利就在 Nowara 附近发现一个油田．产层深度 6212m．日产原油 650t，天然气 $1 \times 10^5 m^3$，用现有理论也难于解释．所以我们在承认这些矛盾的同时，根据气体的组份特征和同位素组成特点，认为以文 242 井为代表的深层气是从石炭一二叠系运移而来，其源岩的有机母质不是腐殖型而是腐泥型．它们的热演化程度处于成油窗阶段．因此在东濮地区深层气的气源不仅有煤型气而且有来自石炭一二叠系的油型气．

还可能发现相当于原油的液态烃.

根据濮深一井岩屑的热解分析，以 S_2/S_3 为主要指标，在石炭一二叠系煤系中有相当于II型干酪根的层段. 对庆古一井二叠系煤岩分析也显示煤中似含有水生生物的组份. 这类有机母质性质值得引起重视，有待今后深入研究.

四、结　论

根据我国几个含油气区甲烷碳、氢同位素的研究结果，我们可以得到如下认识：

1. 综合利用甲烷的碳、氢同位素组成，可以更好地判识天然气的各种成因类型　我国各含油气区的 $\delta^{13}C_1$ 和 δD_{CH_4} 值绘入图 8. 图中也绘入了柴达木的生物气和河南鹤壁煤矿瓦斯气的分析结果，后两者虽然数量少，但它们的测量值是有典型意义的.

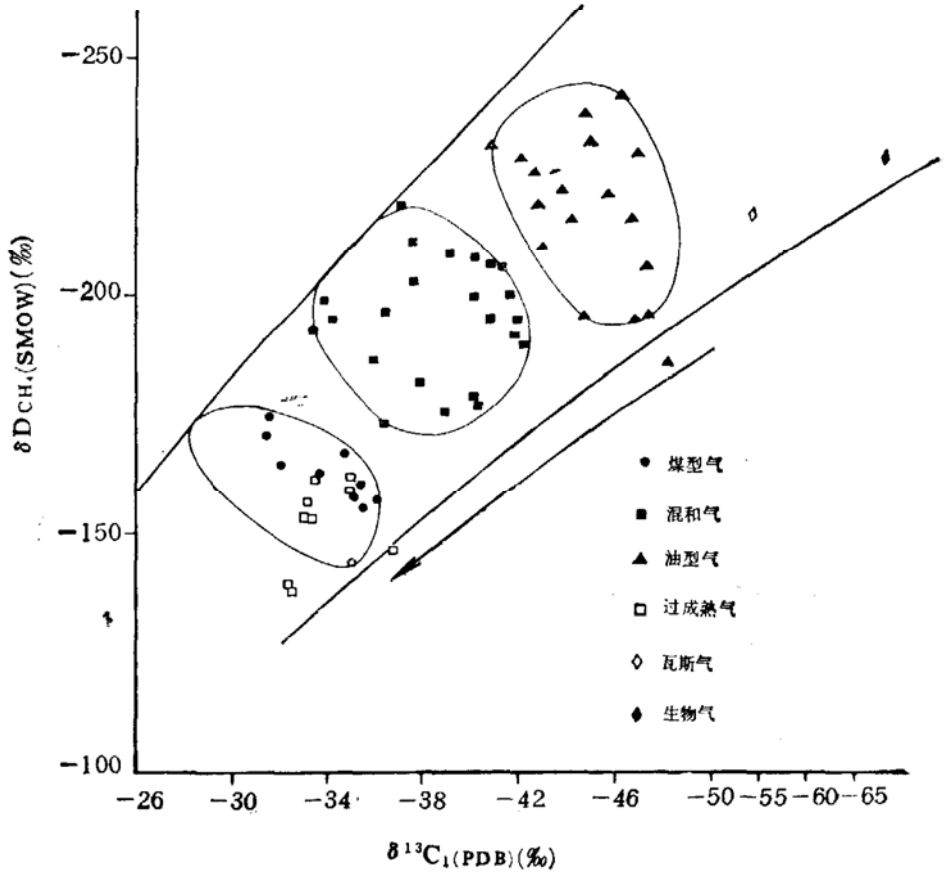

图 8　不同地区甲烷碳、氢同位素关系图

从图 8 可以看出甲烷碳、氢同位素组成，把我国不同地区的天然气较好地分为几个区间，即生物气、瓦斯气、油型气和煤型气. 在油型气和煤型气之间有一个较大的混合气区间，它们有较为复杂的形成条件，包括油型气和煤型气的混合，生气母质为 II—III 型干酪根，以及成熟度不同的气体. 另外，油型气过成熟阶段的甲烷，其碳、氢同位素组成也落入煤型气的区间.

2. 我国几个含油气区的煤型气 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 的关系和德国北部煤型气有较明显的差别，和 Stahl 提出的煤型气 $\delta^{13}C_1$-R_0 的数学模式相比较，除中原油气区的煤型气较为吻合，四川、陕甘宁油气区的 $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 关系显然向富集 ^{12}C 的方向偏移. 其原因可能与德国北部煤型气气田的地质特征有关. 由于该区含煤地层在煤化过程形成天然气后，曾被抬升，剥蚀以致使早期

形成的气体散失. 目前开发的气藏是上石炭系煤系再次下沉，第二次成气作用的产物. 因此仅保存第二次形成的组份较干，同位素组成较重的气体. 中原油气区与德国北部有相似的地质历史. 故与 Stahl 的模式相近似. 四川、陕甘宁盆地煤型气形成过程体现为一个连续沉降，没有大的抬升剥蚀作用的聚煤盆地和 Stahl 模式相较理应有稍轻的同位素组成. $\delta^{13}C_1$ 与 R_0 的关系如图 4 所示，它的表达式应为: $\delta^{13}C‰ = 8.641 \lg R_0 - 32.8$. 这一数学模式对于基本为连续沉积的聚煤盆地所形成的煤型气也许更具有代表性.

(3) 甲烷的碳、氢同位素组成与母质类型和成熟度关系密切 图 8 箭形符号所表示的演化方向即包括了母质类型的影响，也包括了成熟度的影响，对生物气和瓦斯气还涉及天然气形成的营力和 CH_4-CO_2 同位素交换效应. 但我们要强调的是油型气和煤型气这两大类型的气体划分，主要是以母质类型的不同而提出的. 但是，由于气态烃，特别是甲烷的同位素组成，对母质成熟度的反映很敏感，在某些情况下，热成熟度可以使母质类型特征被掩盖. 如我国四川盆地的情况. 这说明只有充分考虑地质背景和其它地球化学指标才能对有关天然气的成因得出较为正确的解释.

(4) 煤矿游离瓦斯普遍具有非常轻的碳同位素组成 其成因众说不一. 但是，它和煤型气不应混为一谈，根据对煤系有机质，煤和碳质页岩热模拟气态烃产物甲烷碳同位素分析结果，$\delta^{13}C_1$ 都显示富集 ^{13}C. 最轻同位素组成不大于 −34‰，一般均大于 −30‰. 同时我们还测定了六个煤样解析气的甲烷碳同位素组成，煤种从褐煤到贫煤，结果煤中解析气的 $\delta^{13}C_1$ 全部大于 −30‰. 这些结果说明，无论是煤层本身，或煤系中的分散有机质，它们的热模拟产物和煤层中的吸附烃都具有重的碳同位素组成.

5. 甲烷的氢同位素组成明显与成熟度有关 随着成熟度的增加甲烷中氢同位素随 $\delta^{13}C_1$ 值的增大而加重，氢同位素组成在指示环境上也有明显的意义. 根据现有资料，湖相环境沉积的有机质形成的甲烷比海相形成的甲烷明显地富集氘. 从我国各油气区甲烷氢同位素的研究结果，我们认为: 成熟度、环境、母质类型都影响着甲烷的氢同位素组成. 对于非海相环境，湖相和沼泽相宜分别讨论，简单地用陆相一词不能恰当地表达相应环境的地球化学特征.

6. 甲烷碳、氢同位素的综合研究对天然气的成因判识提供了更多的信息 在一些特殊情况下，综合利用其它指标，例如对中原油气区深层成因的探讨，我们综合利用了甲烷 $\delta^{13}C_1$ 与 δD_{CH_4}，$\delta^{13}C_1$ 与 R_0，C_1-C_3 的 $\delta^{13}C$ 差值与 LOM 等的关系以及天然气中 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 的丰度比. 这样多因子，多地化体系去剖析疑难问题，可以获得较为科学的解释.

参 考 文 献

[1] Schoell, M., *Geochim. of Cosmochim. Acta*, 44(1984), 5: 649—661.
[2] Stahl, W., *Chemical Geology*, 20(1977).
[3] James, T., *APEA*, 67(1983), 1176—1191.
[4] 朱家蔚、徐永昌等，科学通报，29(1984)，1: 41—44.
[5] 徐永昌、沈平，沉积学报，3(1985)，2 期.