

文章编号: 1000-0550(2001)01-0141-04

塔里木盆地东部地区天然气 地球化学特征及成因探讨(之二)^①

陈践发¹ 徐永昌¹ 黄第藩²

1(中国科学院兰州地质所气体地球化学国家重点实验室 兰州 730000)

2(石油天然气集团公司勘探开发研究院 北京 100083)

摘要 天然气的组分和碳、氢同位素组成特征研究表明塔里木盆地已发现的天然气均为热解气。通过气源对比可知,该盆地东部地区的天然气主要有两种类型:1)是来自震旦纪到下古生界海相腐泥型母质的油型气,其甲烷、乙烷、丙烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值,分别为 $-44.5\text{‰} \sim -33.8\text{‰}$ 、 $-42\text{‰} \sim -28.1\text{‰}$ 和 $-35.4\text{‰} \sim -28.4\text{‰}$,其甲烷的氢同位素组成大于 -200‰ ;2)是产自中生代陆相腐殖型源岩的煤型气,其甲烷、乙烷、丙烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 $-40.5\text{‰} \sim -33.1\text{‰}$ 、 $-29.7\text{‰} \sim -21.3\text{‰}$ 和 $-26.3\text{‰} \sim -20.3\text{‰}$,其甲烷的氢同位素组成小于 -200‰ 。将天然气的地化特征与地质背景相结合判断可知,在塔北隆起地区一些天然气藏是由成熟(高成熟)阶段的油型气与过成熟阶段的油型气混合形成,另一些天然气藏是由成熟阶段的油型气和成熟阶段的煤型气混合形成。

关键词 塔里木盆地 天然气 碳同位素 氢同位素

第一作者简介 陈践发 研究员 男 1961年出生 石油天然气地质 地球化学 同位素地球化学

中图分类号 P593 TE122.1+1 **文献标识码** A

1 天然气重烃碳同位素组成特征和天然气类型划分

塔里木盆地天然气乙烷、丙烷碳同位素组成如图1所示。从图中可以看出产自吉拉克、桑塔木、轮南和塔中地区的天然气乙、丙烷相对富集轻碳同位素,而产自英买力—提尔根的天然气乙、丙烷明显富集重碳同位素。张士亚等^[1]和陈践发等^[2]通过对天然气重烃碳同位素研究认为,天然气的重烃碳同位素虽然受热演化程度的影响,但主要受源岩母质碳同位素的控制。通常由腐泥型有机质生成的天然气,其 $\delta^{13}\text{C}_2 < -28\text{‰}$,而由腐殖型有机质生成的天然气,其乙烷 $\delta^{13}\text{C}_2 > -28\text{‰}$ 。在塔里木盆地下古生界寒武—奥陶系、上古生界石炭—二叠系和中生界三叠—侏罗系三套烃源岩的有机质碳同位素具有明显的差异。其中下古生界源岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-32.5\text{‰} \sim -27.0\text{‰}$,平均为 -30.2‰ ;上古生界石炭系源岩干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-29.5\text{‰} \sim -20.5\text{‰}$,平均为 -24.1‰ ;中生界三叠系源岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-28.5\text{‰} \sim -23.0\text{‰}$,平均 -25.7 ,侏罗系源岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-25.2\text{‰} \sim -21.5\text{‰}$,平均为 -23.8‰ (图2)。因此,可以利用天然气中重烃(C_2 、

C_3)碳同位素组成特征来判识其源岩。从图1可知,产自塔北隆起和塔中地区的天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值明显小于 -28‰ ,应属于油型气,结合烃源岩的干酪根碳同位素组成特征可知,其源岩应为满加尔拗陷下古生界源岩。而产自英买力—提尔根地区中生界储层的天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 明显大于 -28‰ ,应属于煤型气,它们主要来自库车拗陷,三叠—侏罗系的陆相地层。需要指出的是塔中地区天然气的乙烷碳同位素异常偏轻, $\delta^{13}\text{C}_2$ 为 $-43.1\text{‰} \sim -39.1\text{‰}$,与甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值十分接近($\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-44.5\text{‰} \sim -42.5\text{‰}$)。相对其它成熟阶段的天然气,它们明显地富集轻碳同位素。天然气的这种碳同位素组成特征,可能是(1)因为下古生界烃源岩有机母质主要为藻类有机质,所以由下古生界成熟阶段烃源岩生成的天然气具有较轻的碳同位素组成。Jenden P D.等^[3]报道在美国 Appalachian 盆地由奥陶系源岩生成的天然气,也具有较轻的 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值,其 $\delta^{13}\text{C}_2$ 为 $-40.9\text{‰} \sim -38\text{‰}$ (2)这一特征也可能说明塔中地区的天然气经受了如水洗或微生物改造等次生改造作用。研究表明现今塔中地区地下水作用非常强烈,其矿化度明显偏低。在该区石炭系地层中广泛分布着沥青砂岩也说明该区的油、气藏经受过次生改造作用。

^① 该研究成果获国家'973'项目 G1999043306 课题经费支持

2 烃类系列的 $\delta^{13}C$ 值分布特征与天然气的混合成因探讨及气源对比

由于有机成因的天然气是由干酪根或高分子液态烃分解而成。因而天然气的甲烷及其同系物的碳同位素组成特征受热力学分馏控制,也就是说富集轻碳同位素的基团优先分解成为小分子组分。因此,由同一源岩在相同阶段形成的天然气其碳同位素分布特征为

$\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$,也就是说随着碳数的增加逐渐富集重碳同位素^[4,5~7]。另一方面,随着热演化程度的增加天然气将逐渐富集重碳同位素,同时天然气中甲烷、乙烷、丙烷之间的同位素差值也将减小^[8,9]。因而不同成因类型、或同一源岩不同热演化阶段生成的天然气混合而形成的天然气藏,将改变 $C_1 \sim C_4$ 的碳同位素分布特征,甚至发生碳同位素倒转^[10]。例如在德国北部、美国的 Appalachion 盆地等地区就发现由于不同来源的天然气混合形成的天然气,其 $C_1 \sim C_4$ 同位素组成受到明显改造或发生同位素倒转^[10,11,3]。

图 3 为塔里木盆地 $\delta^{13}C_1$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 差值关系图。从图中可知塔里木盆地东部地区天然气的可分为 5 类。其中 I 类天然气来自吉拉克、解放渠、桑塔、轮南地区,该类型天然气甲烷碳同位素偏重($\delta^{13}C_1$ 为 $-30\text{‰} \sim -33\text{‰}$);其 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 的差值小于 2‰ ,部分天然气的甲、乙烷碳同位素组成发现倒转。从前面的讨论可知这些天然气主要来源于满加尔拗陷的下古生界高成熟—过成熟烃源岩。一些天然气如储层为三叠系的轮南 24、204、58 井,储层为奥陶系的轮 17、14、10 井的天然气,其甲烷、乙烷碳同位素分布发生倒转,即甲烷的碳同位素比乙烷更重。笔者认为这主要是由于较高成熟的天然气与相对较低成熟的天然气混合所致。这一解释也与该区的地质背景相吻合。在该区下古生界烃源岩的热演化程度很高,且分布于拗陷深部的烃源岩,其热演化程度比分布于隆起区的烃源岩明显偏高,其次该区较发育的断裂为深部烃源

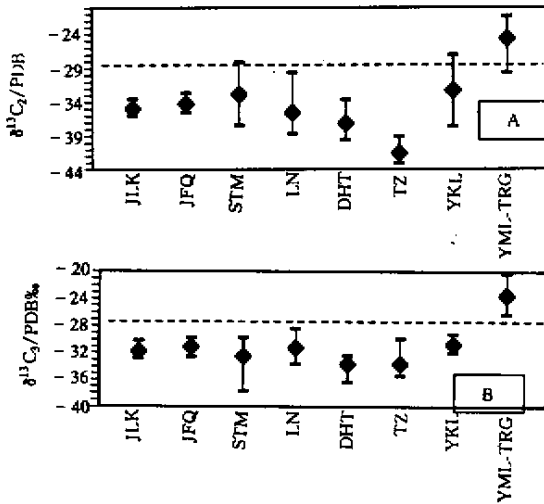


图 1 塔里木盆地东部地区天然气 $\delta^{13}C_2$ 和 $\delta^{13}C_3$ 值分布图
Fig.1 Variation of $\delta^{13}C_2$ and $\delta^{13}C_3$ of natural gases from the eastern portion of Tarim basin

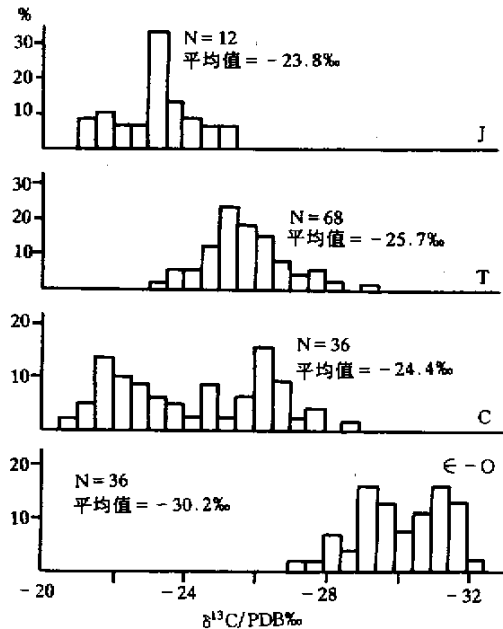


图 2 塔里木盆地烃源岩干酪根碳同位素分布图
Fig.2 Frequency of diagram of $\delta^{13}C$ ratios of kerogen from Tarim basin

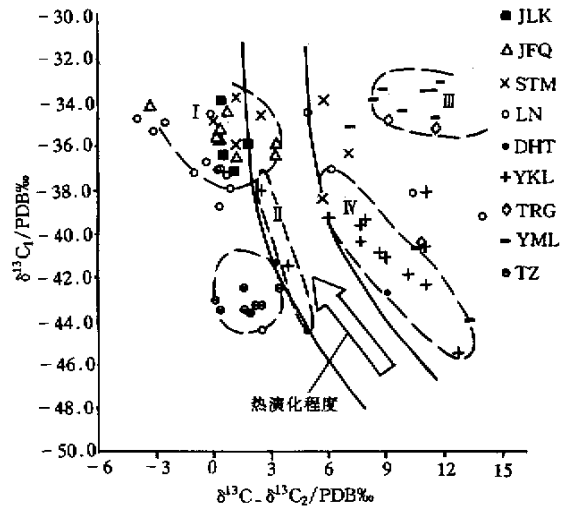


图 3 塔里木盆地天然气 $\delta^{13}C_1$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 差值关系图
Fig.3 Plot of $\delta^{13}C_1$ vs. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ of natural gases from the eastern portion of Tarim basin

岩生成的天然气运移到上部聚集成藏提供了有利的运移通道。

第 II 类天然气包括东河塘石炭系储层的天然气和雅克拉地区的沙 5 井和沙 9 井奥陶系的天然气。该类天然气的甲烷 $\delta^{13}C_1$ 值随着 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 而变重, $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 差值在 2‰ ~ 5‰ 左右, 甲烷相对富集轻碳同位素, 其 $\delta^{13}C_1$ 分布为 -45‰ ~ -38‰。这一结果与下古生界成熟阶段烃源岩相吻合, 因而说明这类天然气可能是较典型的下古生界成熟阶段烃源岩生成天然气。

第 III 类天然气主要包括产自轮台、英买力—提尔根地区中生界储层的天然气, 其甲烷碳同位素组成 $\delta^{13}C_1$ 值为 -38‰ ~ -32‰, 乙烷较明显地富集重碳同位素, $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 差值较大。该类天然气为中生界腐殖型有机质形成的天然气。

第 IV 类天然气包括雅克拉寒武系、奥陶系—中生界产层和东河塘 11 井侏罗系储层的天然气。从图 3 可以看出, 该类天然气的甲烷碳同位素组成与典型的下古生界天然气(第 II 类天然气)基本相似。但该类天然气的乙烷碳同位素则相对第 II 类偏重。笔者认为该类天然气是由下古生界烃源岩生成天然气与中生界陆相腐殖型有机质形成的天然气混合而成。这一解释与该区的地质背景相符。因为雅克拉构造古生界储层和东河塘 11 井气藏侏罗系储层的接触关系是中生界三叠系—侏罗系地层直接覆盖于古生界地层之上(图 4)。另外, 这两套地层的液态烃地球化学研究表明下古生界海相源岩生成的油也有明显的陆相源岩形成液态烃的混入。下文将要讨论的天然气中氢同位素组成特征也表明这类天然具陆相源岩生成的天然气的混入。这也就是说第 IV 类天然气应是下古生界烃源岩生成的天然气与中生界陆相源岩生成的天然气混合形成的。

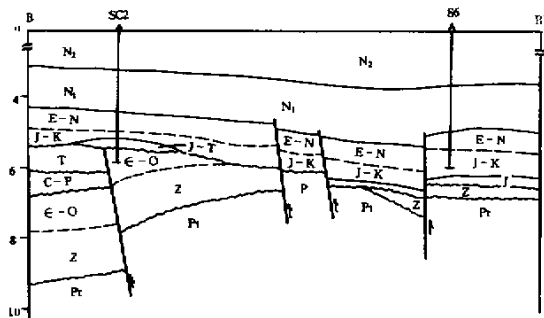


图 4 塔北地区雅克拉油气藏横剖面图

Fig.4 The general section of Yakela oil and gas field in Tabei uplift

第 V 天然气产自塔中地区, 其主要特征是天然气甲烷、乙烷碳同位素都相对富集轻碳同位素, 同时 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 差值较小。对于这类天然气成因前面已有讨论, 它们可能是下古生界源岩生成的天然气或者是由于该天然气受到后期次生改造作用。

3 天然气的氢同位素组成特征

天然气的氢同位素主要受源岩沉积环境水介质的影响。Schoell M.^[12]报道由海相源岩生成的天然气比陆相源岩生成的天然气明显地富集重同位素。沈平等^[13]依据对我国主要沉积盆地天然气氢同位素组成特征的研究, 认为来自海相(或咸水湖泊相)源岩生成的天然气, 其甲烷的 δD 值大于 -190‰, 而陆相淡水环境生成的天然气其甲烷的 δD 值常小于 -190‰。图 5 为塔里木盆地东部地区天然气甲烷 δD_{CH_4} 分布图。从图中可知天然气甲烷 δD_{CH_4} 的分布范围为 -221‰ ~ -150‰。其中来自英买力—提尔根的天然气其 δD_{CH_4} 值小于 -190‰, 说明它们应属于陆相源岩生成的天然气, 这一结果与碳同位素组成特征解释及地质背景相一致。而来自吉拉克、解放渠、桑塔木和东河塘地区的天然气甲烷的 δD 值大于 -190‰, 表明它们应为海相源岩生成的天然气, 这一结果与碳同位素组成特征解释及地质背景一致。来自雅克拉地区的天然气其 δD 值为 -195‰ ~ -189‰, 介于陆相源岩和海相源岩生成的天然气之间, 这表明这些天然气既不是典型的陆相成因天然气, 也不是典型的海相源岩成因的天然气, 它们应是混合成因的天然气。

4 结论

(1) 一系列的地质、地球化学资料表明塔里木盆地东部地区现已发现的天然气均为热解气, 其主要源岩为震旦—下古生界的海相源岩和三叠—侏罗系的陆

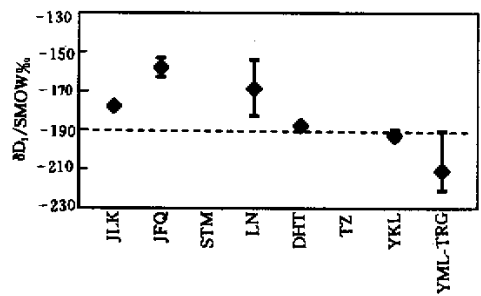


图 5 塔里木盆地东部地区天然气氢同位素 δD_{CH_4} 分布图

Fig.5 Variation of δD_{CH_4} of natural gases from the eastern portion of Tarim basin

相源岩,其中吉拉克、解放渠、桑塔木、轮南、塔中地区的天然气主要为震旦—下古生界海相源岩生成,而英买力、提尔根地区的天然气主要来自三叠—侏罗系陆相源岩。

(2) 基于天然气地球化学特征和地质背景分析可知塔北隆起东部吉拉克、解放渠、桑塔木、轮南的一些天然气藏是成熟阶段的油型气与过成熟(高成熟)阶段的油型气混合而成,而雅克拉、东河 11 井区的一些天然气则是成熟阶段的油型气与成熟阶段的煤型气混合而成。

(3) 塔北隆起的吉拉克、解放渠、桑塔木、轮南地区油气藏中的气态烃和液态烃大部分可能为同源但不同期产物,即该区的液态烃大都为成熟或高成熟的产物,而气态烃大都为高成熟到过成熟阶段的产物。

参 考 文 献

- 1 张士亚,郗建军,蒋泰然. 利用甲、乙烷碳同位素判识天然气类型的一种新方法 [A]. 石油与天然气地质文集(第一集) - 中国煤成气研究 [C]. 北京:地质出版社,1988. 48 ~ 58
- 2 陈践发,李春园,应光国,沈平. 煤型气烃类组分的稳定碳、氢同位素组成研究 [J]. 沉积学报,1995,13(2): 59 ~ 69
- 3 Jenden P D, Drazan D J, Kaplan I R. Mixing of thermogenic natural gases in Northern Appalachian basin [J]. Am. Assoc. Geol. Bull. 1993, 77: 980 ~

- 998.
- 4 Galimov E. Source and mechanisms of formation of gaseous hydrocarbons in sedimentary rock [J]. Chemical Geology, 1988, 1/3: 77 ~ 95
- 5 Mc Carty H B, Felbeck G T Jr. High temperature simulation of petroleum formation - IV. Stable carbon isotope studies of gaseous hydrocarbons [J]. Organic Geochemistry, 1986, 9, 183 ~ 192
- 6 Chung H M, Gornly J R., Squires R M. Origin of gaseous hydrocarbons in subsurface environment: Theoretical considerations of carbon isotope distribution [J]. Chemical Geology, 1988, 1/3: 97 ~ 104
- 7 Des Marais D J, Donchin J L, Truesdell A H. Molecular carbon isotopic evidence for the origin of geothermal hydrocarbons [J]. Nature, 1981, 292: 826 ~ 828
- 8 James A T. Correlation of natural gas by use of carbon isotopic distribution between hydrocarbon components [J]. Am. Assoc. Geol. Bull., 1983, 67: 1176 ~ 1191
- 9 Sundberg K R, Bennett C R. Carbon isotope paleothermometry of natural gas [A]. In: Bjoroy M, Albrecht P, Cornford C, et al, eds. Advances in organic geochemistry-1981 [C]. Chichester, England, John Wiley and Son, 1983. 769 ~ 774
- 10 Fuex A N. The use of stable carbon isotopes in hydrocarbon exploration [J]. J. Geochem. Explor., 1977, 7: 155 ~ 188
- 11 Schoell M. Genetic characterization of natural gases [J]. AAPG Bulletin 1983, 67(12): 2225 ~ 2238
- 12 Schoell M. Multiple origin of methane in the earth [J]. Chemical Geology, 1988, 1/3: 1 ~ 10
- 13 Shen Ping, Characteristics of carbon and hydrogen isotopic compositions of light hydrocarbons [J]. Science in China (Series B) 1995, 38(2): 211 ~ 220

Geochemical Characteristics and Origin of Natural Gas in East Portion of Tarim Basin (II)

CHEN Jian-fa¹ XU Yong-chang¹ HUANG Di-fan²

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

2 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

Abstract

Research on chemical components and isotope composition of carbon and hydrogen of natural gases from the Tarim basin shows that all discovered gases in this basin are thermogenic. With respect to source organic matter there are two types of gases: 1) the oil-type gas, which generated from Sinian to lower Palaeozoic marine source rocks with the sapropelic organic matter, with $-44.5\% \sim -33.8\%$ of $\delta^{13}\text{C}_1$, $-42.0\% \sim -28.1\%$ of $\delta^{13}\text{C}_2$, $-35.4\% \sim -28.4\%$ of $\delta^{13}\text{C}_3$, and heavier than -200% of δD_1 ; 2) the coal-type gas, which generated from Mesozoic terrestrial source rocks with the humic organic matter, with $-40.5\% \sim -33.1\%$ of $\delta^{13}\text{C}_1$, $-29.7\% \sim -21.3\%$ of $\delta^{13}\text{C}_2$, $-26.3\% \sim -20.3\%$ of $\delta^{13}\text{C}_3$, and lighter than -200% of δD_1 .

Based on the geochemical characters and geological setting, Tabei uplift region is regarded as having some reservoired gas pools formed by mixed mature oil-type gas with post matured oil-type gas. Some reservoired gas pools are formed by mixed mature oil-type gas with mature coal-type gas.

Key words Tarim basin natural gas carbon isotopic composition hydrogen isotopic composition source rock