

天然气同位素特征及作用

黄海平 许晓宏

(中国地质大学, 北京 100083)

利用天然气同位素组成在油气扩散和对流中的差异、碳氢同位素组成与原来所作断块图的对比、天然气在储层内混合的同位素组成平衡原理和天然气成因与同位素变化之间的制约关系等特征, 能有效地判识砂体连通性划分储集流体单元; 可确定油气水界面和压力系统, 使断块划分更加准确, 进一步完善断块图, 进行油藏精细描述; 能确定不同源岩层所作的贡献, 进而对混层开采进行配产, 并能为下伏油藏的存在提供快速的判识。

关键词 天然气 储层地球化学 同位素指纹 流体单元 配产 油藏预测

第一作者简介 黄海平 男 34岁 副教授 石油地质及有机地球化学

长期以来天然气同位素分析一直应用于石油勘探领域。由于光合作用对各种生态环境中生物作用程度的差异, 其同位素组成存在内在的差异, 腐殖型有机质生成的甲烷碳同位素比腐泥型有机质生成的甲烷重14‰, 这种差异不受盆地性质和年代的限制, 而与原始有机质的结构不同和有机分子内部 ^{13}C 分布悬殊有关。因此, 根据同位素组成可以有效地划分有机质类型。天然气成因与其形成过程中的同位素变化有关, 其原因是 $^{12}\text{C}-^{12}\text{C}$ 键能比 $^{13}\text{C}-^{12}\text{C}$ (或 $^{13}\text{C}-^{13}\text{C}$) 键能低得多, 浅处低温条件下形成的生物气最富 ^{12}C , 其 $\delta^{13}\text{C}_1$ 很低, 为 $-55\text{‰} \sim -100\text{‰}$; 随热演化程度的增高, 天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 不断增大, 其成因类型由生物气向石油伴生气进而向干气转化^[1~3]。

天然气由于其分子结构小, 进入储层的混合作用比原油快得多, 它很容易趋于均质化, 因此天然气的组分和同位素变化能直接反映气藏的分隔特征。利用这些变化能有效地识别油气储集单元, 验证用地震和地质资料所作的断块图, 为混层开采进行配产, 进而为合理开发油气田提供科学依据。

1 确定砂体连通特征, 划分储集流体单元

油气的生成是一个连续的过程, 但又表现出了明显的阶段性, 不同阶段形成的产物在总体组成、分子组成和同位素组成上都存在明显的差异, 导致油气运移的幕式过程。油气向储层的注入是一个非常复杂的过程, 任何一个看起来并不重要的因素都能完全改变这个过程的进程。目前尚不具备研究油气运移过程的条件, 但有一点是可想而知的, 即不同组成的油气进入储层后要发生混合作用。对于原油进入储层后的混合作用机理, England^[4]曾作过探讨。重力分异、密度驱动混合和扩散作用是其混合过程的主要动力, 由于储层本身的非均质性使得大部分原油在地质历史过程中难以彻底混合, 从而至今仍保持明显的组分差异。对天然气而言, 扩

散和对流很容易使连通储层内气体组成达到均一化，因此，天然气同位素指纹能有效地判别气藏的连通性，划分储集流体单元。

准噶尔盆地西北缘红山嘴气田三叠系气藏，其天然气的同位素组成显示出较大的差异，研究表明^[5]，该区存在2套气源岩，石炭系Ⅰ型有机质在高成熟到过成熟阶段形成了同位素较重的一类天然气；二叠系Ⅰ型和Ⅱ型有机质在高成熟阶段形成了同位素相对较轻的一类天然气。这些不同时期、不同母岩形成的天然气进入三叠系储层后必然发生混合作用。从表1的分析结

表1 红山嘴气田天然气甲烷碳氢同位素组成

井号	层位	$\delta^{13}C_1/\%$	$\delta D/\%$	井号	层位	$\delta^{13}C_1/\%$	$\delta D/\%$
红29	T	-30.5	-181	红113	T	-40.5	-213
红43	T	-31.5	-160	红42	T	-40.0	-200
红221	T	-34.1	-191	红116	T	-42.0	-215
红24	T	-38.9	-201	红72	T	-44.9	-244

果可以看出，本区三叠系储层至少可分为3个独立的流体储集单元，它们之间或是有分隔性断层存在，或是有致密非渗透层发育。红29井和红43井天然气的同位素最重，且组成一致，表明该二井之间有较好的连通性。红221井的天然气的成因类型与红29井和红43井相同，但同位素略轻，表明天然气之间未经彻底混合，反映出连通性较差，有低渗透隔层存在。红24、红113、红42井的天然气同位素比红29井和红43井轻得多，明显属于另一种成因类型，其碳、氢同位素都比较接近，表明它们处于同一连通气藏内。红72井自成体系，其天然气成因类型与红24井相同，但同位素组成更轻，表明该气藏距源岩较远，或注入了较多早期形成的产物。根据气体同位素分析所划分的储层流体单元与地质解释和工程成果相吻合。

2 完善断块图，进行油藏精细描述

断块的划分主要依据地球物理资料和钻井资料，这种图件有时可能模棱两可，因为有些断层在地震剖面上难以识别。用天然气同位素分析来完善所作的断块图，首先对不同断块的天然气样进行碳、氢同位素分析，分析天然气的成因类型与分区，如果气体的同位素组成与原来所作的断块图不匹配，原来位于同一断块而同位素分析存在明显差异的两井之间必然有隔层存在，这一隔层可能为沉积相变形成的非渗透层，也可能有一条断距不大的断层没有解释出来。因为，同一断块不仅有相同的油、气、水界面和相似的压力体系，而且有相似的气体同位素指纹，因此根据天然气的同位素分析，可使断块划分更加准确。以渤海湾盆地某油田一小块断块为例(图1-a)，断块油气藏中天然气同位素分析结果显示出较大的变化(图1-b)，并且气体

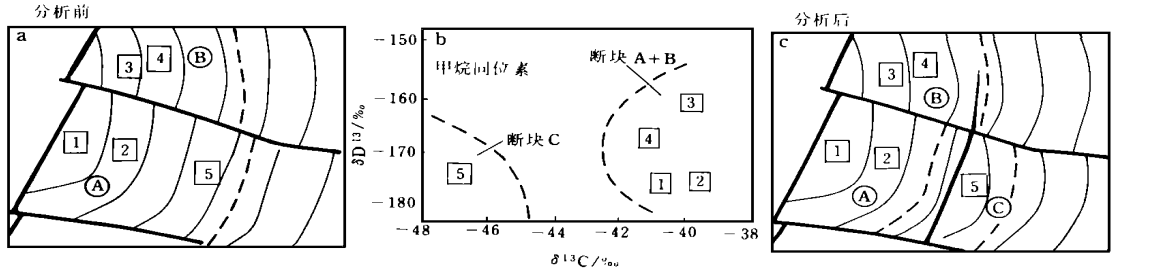


图1 天然气同位素分析用以完善断块图

的同位素组成与断块划分不匹配,即5号样品与1和2号样品为明显不同的气体。对三维地震资料重新解释后发现一条对油气藏分隔性影响较大的小断层,进而确认了断块C的存在,原来确定的油水边界也有相应的变化,用重新解释的三维地震资料并结合新的钻井资料重作的断块图,与地球化学分析结果相吻合(图1-c)。

断块的划分关系到油田开发方案的设计。生产过程经常遇到一些无法解释的现象,这些现象的出现可能是由断块划分引起的,地球化学分析能迅速有效地判别断块图正确与否,并能提供断层或隔层可能出现的位置,通过地震资料重新处理、解释,并结合新的钻井资料,能使断块划分不断趋于完善准确,进而达到合理开发的目的。

3 确定不同源岩层所作的贡献,对混层开采进行配产

不同成因、不同时期形成的气体,在储层内的混合作用是一个十分普遍的现象,从盆地范围到具体油气藏都存在。如鄂尔多斯中部气田,其气源岩有石炭-二叠系海陆交互的含煤地层和下古生界海相碳酸盐岩两套,对于两套源岩所作的贡献长期以来一直有争议,实际上这种争议是不可避免的,因为不同构造带上气体的混合比并不相同,只有对全系统分析作出平面变化趋势图后,才能较准确地评价各套源岩的贡献。

天然气在储层内的混合遵循同位素物质平衡原理^[6],存在两个气源的情况下,通过分析混合气和各气源气的同位素组成,就能计算出不同气源所作的贡献,其计算公式为:

$$M_1\delta_1 + M_2\delta_2 = \delta_m(M_1 + M_2)$$

式中 M_1 为气源1提供甲烷的质量或体积; δ_1 为气源1甲烷的同位素组成; M_2 为气源2提供甲烷的质量或体积; δ_2 为气源2的甲烷同位素组成; δ_m 为混合气的甲烷同位素组成。

根据这种平衡关系就很容易计算两个端元气体的混合比:

$$M_1 / (M_1 + M_2) = [(\delta_m - \delta_2) / (\delta_1 - \delta_2)] \times 100\%$$

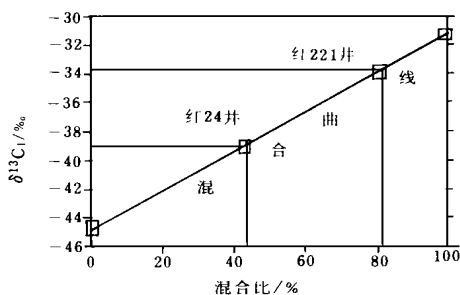


图2 红山嘴气田不同成因气体混合比的确定

仍以准噶尔盆地红山嘴气田为例,来源于石炭系气源岩的红43井天然气 $\delta^{13}C_1$ 为-31.5‰,来源于二叠系气源岩的红72井天然气 $\delta^{13}C_1$ 为-44.9‰,以这两井的同位素组成分别代表这两套源岩的特征,其它气体为这两种气体在储层内混合后的产物。红221井天然气 $\delta^{13}C_1$ 为-34.12‰,根据以上计算公式,石炭系源岩的贡献是80.5%,二叠系源岩的贡献是19.5%;红24井天然气的 $\delta^{13}C_1$ 为-38.9‰,石炭系源岩贡献是44%,二叠系源岩的贡献是56%。在混合曲线上能获得不同气源的混合比(图2),计算的关键是正确确定端元气

体的同位素组成,在资料有限时只能以所分析样品中差异最大的两个样品为准,同时应考虑热演化程度对气体同位素组成的影响。在有些情况下,同位素组成差异是气体形成阶段的不同所致,这时所得的混合比是不同成熟度的气体的混合。

混合生产中,如果各气藏中气体同位素特征存在差异的话,同位素分析就可用来分析各砂层的贡献。首先通过钻井测试或中途测试获取单层气体的同位素信息,然后计算混层开采中各层所作的贡献,其原理与计算不同源岩形成天然气存在储层内的混合比相同,只要测定混合样品的同位素,在混合曲线上便很容易确定每个层所作的贡献。乙烷、丙烷、正丁烷和异丁

烷的同位素也可作为确定混合比的辅助资料。通过这种分析能对油气生产进行动态监测, 对各产层进行合理配产, 从而为开发方案的调整提供依据, 达到油藏最佳管理的目的。

4 油气藏预测

天然气中甲烷组成主要受其形成过程的控制, 不同成熟阶段形成了不同的天然气, 主要类型有生物气、与油伴生的热成因气和原油裂解的热成因气(过成熟气)。各种类型的气体在碳、氢同位素组成上有一定的范围, 因此, 可以利用同位素组成对天然气进行成因分类。油气藏预测就是利用天然气成因与同位素变化之间的制约关系, 根据游离气顶气的同位素分析推测油藏的存在^[7]。这一预测在钻井过程中特别有用, 通过分析钻井泥浆中析出的气体, 能为下伏油藏的存在提供快速有效的判识, 为在钻井过程中及时采取相应的技术措施提供依据。

实际勘探中遇到的问题比理论预测要复杂得多。气体的运移能力很强, 它可从气顶运移出来形成纯气藏, 而其成因标记却是与油有关的伴生气。不同成因的天然气可在同一储层内混合形成混合成因标记, 如过成熟干气与生物气的混合就能出现成熟气的标记。尽管如此, 成熟气下面出现油藏的概率要比其它类型天然气下面出现油藏的概率大得多。因此, 可靠的预测必须在对区域资料深刻了解的基础上进行。

参 考 文 献

- 1 James A T. Correlation of natural gas by wet of carbon isotopic distribution between hydrocarbon components. A APG Bulletin, 1983, 67: 1 176 ~ 1 191
- 2 Schoell M. Recent advance in petroleum isotope geochemistry. Org Geochem, 1984, 6(2): 645 ~ 663
- 3 Schoell M. Multiple origins of methane in the earth. Chem Geol, 1988, 71: 1 ~ 10
- 4 England E A. The organic geochemistry of reservoirs. Org Geochem, 1990, 16(1~3): 415 ~ 425
- 5 惠荣耀, 张继忠, 孟仟 详等. 准噶尔盆地油气形成的地质地球化学特征. 见: 中国科学院地学部, 新疆石油管理局编著. 准噶尔盆地油气生成与分布. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991. 220 ~ 235
- 6 Schoell M. Isotope analysis of gas in gas field and gas storage operations. SPE Production Engineering, 1993, 8(4): 337 ~ 344
- 7 廖永胜. 罐装岩屑轻烃和碳同位素在油气勘探中的应用. 石油技术, 1989, 11(5): 35 ~ 53

ISOTOPIC PROPERTIES OF NATURAL GAS AND ITS EFFECT

Huang Haiping Xu Xiaohong
(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

The variation of isotopic properties of gas within a continuous reservoir is generally small but can be significant between fault blocks of one reservoir or between unconnected but closely stacked reservoirs. Thus isotopic analysis of gas could be used to identify the continuity of reservoir, define faults and derive more accurately reservoir description. The isotopic analyses in commingled production could be used to allocate contributions of individual sands and distinguish underlying oil reservoirs.