

徐家围子断陷深层天然气的成因类型研究

冯子辉^{1,2} 刘伟²

(1. 吉林大学地球科学学院 2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院)

冯子辉等. 徐家围子断陷深层天然气的成因类型研究. 天然气工业, 2006, 26(6): 18-20.

摘要 松辽盆地深层砾岩和火山岩储层中的天然气地球化学分析表明, 气组分以烃类为主, 甲烷含量一般大于 84.9%, 最高达 98.63%, 表现为高—过成熟干气特征; 天然气烷烃碳同位素值变化大, 其中甲烷 $\delta^3\text{C}_1$ 为 $-15.49\text{‰} \sim -54.57\text{‰}$, 一般为 $-25\text{‰} \sim -28\text{‰}$, 乙烷 $\delta^3\text{C}_2$ 分布在 $-10.88\text{‰} \sim -44.17\text{‰}$, 一般为 $-24\text{‰} \sim -27\text{‰}$, 反映深层天然气成因类型复杂、但以煤型气为主的特征。天然气组分碳同位素系列除少部分为正常系列外, 大部分具有反转或倒转特征, 可能是多套源岩在不同成熟阶段生成的天然气的混合结果。根据天然气重烃分析和源岩吸附气重烃分析, 讨论了松辽盆地深层几套烃源岩对天然气成藏的贡献比例。

主题词 松辽盆地 北 天然气 成因 类型 气源对比 烷烃 碳同位素 来源 比例

松辽盆地北部深层一般指下白垩统泉头组二段以下地层。徐家围子断陷是松辽盆地北部深层的一个主要断陷, 区域上近南北展布, 面积约 3300 km^2 , 具有下断上坳的双层地质结构, 其中断陷期形成的地层自下而上依次为上侏罗统火石岭组、下白垩统沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组一、二段。深层重要的气源岩是一套以煤系地层沉积为主的暗色泥岩和煤层, 主要包括火石岭组二段、沙河子组、营城组二段、登娄库组等, 此外盆地基底的石炭—二叠系的浅变质泥、板岩对成烃的贡献也不可忽视。深层主要的含气层是营城组, 其次是火石岭组、登娄库组等。在营城组中有两种岩性储层, 一种是火山喷发形成的流纹岩和凝灰岩, 另一类是以辫状河或辫状三角洲沉积形成的砂砾岩, 这两类储层在空间上分布广、厚度大, 为天然气成藏提供了储集空间。

徐家围子断陷深层天然气埋深一般 $2800 \sim 4600\text{ m}$ 之间, 产层温度一般为 $122 \sim 158\text{ }^\circ\text{C}$, 压力一般为 $31 \sim 39.6\text{ MPa}$ 。笔者采用地质和地球化学相结合的方法, 对断陷各主要构造带(包括安达凹陷、宋站低隆起、徐中构造带、徐东斜坡带、徐西断坡带、丰乐低隆起)天然气成因特征进行了深入分析, 在此基础上定量计算了天然气来自不同气源岩的比例。

一、深层天然气的一般地球化学特征

1. 天然气组分

徐家围子断陷深层天然气烷烃以甲烷为主, 含

量变化大, 范围值 $2.83\% \sim 98.63\%$, 平均值为 84.9% , 乙烷和丙烷等重烃含量低, 一般占天然气总量的 5% 以下, 其中乙烷含量范围值 $0.01\% \sim 8.15\%$, 平均值为 1.17% , 丙烷含量范围值 $0.01\% \sim 2.62\%$, 平均值为 0.46% , 烃类气体中具有明显的干气特征, 反映天然气为有机质达到过成熟阶段的裂解产物。非烃气主要包括二氧化碳气、一氧化碳、氮气、氢气等, 其中二氧化碳气含量变化大, $0.01\% \sim 94.01\%$, 如芳深 9 井营城组二氧化碳含量达 83.34% , 芳深 701 井沙河子组二氧化碳含量达 93.24% 等, 反映深层天然气成因复杂, 来源多样。

2. 天然气碳同位素

深层天然气烷烃组分碳同位素分析结果(图 1), 甲烷碳同位素分布在 $-15.49\text{‰} \sim -50.49\text{‰}$, 乙烷碳同位素分布在 $-10.88\text{‰} \sim -44.17\text{‰}$, 分布范围宽泛, 反映天然气成因类型多样。其中甲烷 $\delta^3\text{C}_1$ 值以 $-25\text{‰} \sim -28\text{‰}$ 为主频, $\delta^3\text{C}_2$ 值以 $-24\text{‰} \sim -27\text{‰}$ 为主频, $\delta^3\text{C}_3$ 值以 $-26\text{‰} \sim -29\text{‰}$ 为主频, $\delta^3\text{C}_4$ 值以 $-28\text{‰} \sim -31\text{‰}$ 为主频, 反映天然气的丙烷和丁烷总体具有倒转的特征。二氧化碳碳同位素范围值 $-1.11\text{‰} \sim -20.62\text{‰}$, 表明二氧化碳气具有有机成因和碳酸盐岩热分解、幔源岩浆成因等多种来源^[1]。

烷烃组分碳同位素系列在不同地区存在差异, 徐中构造带甲烷碳同位素一般为 $-18.36\text{‰} \sim -32.22\text{‰}$, 烷烃组分碳同位素一般为正碳系列 $\delta^3\text{C}_1$

作者简介: 冯子辉, 1964 年生, 硕士, 教授级高级工程师; 1985 年毕业于大庆石油学院石油地质专业, 一直从事石油地质研究和油气勘探生产工作, 现任大庆油田有限责任公司勘探开发研究院副总地质师。地址: (163712) 黑龙江省大庆市让胡路区勘探开发研究院。电话: (0459) 5590926。E-mail: fengzihu@petrochina.com.cn

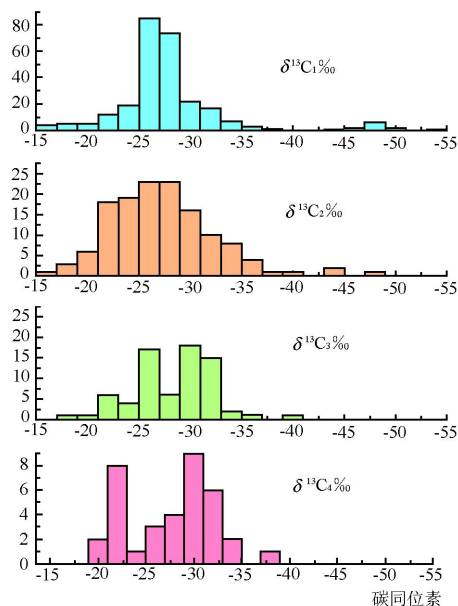


图1 徐家围子断陷深层天然气组分碳同位素分布图

$<\delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$, 部分天然气碳同位素为倒转系列 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 > \delta^{13}C_3 > \delta^{13}C_4$; 徐西断坡带甲烷碳同位素一般为 $-15.49\text{‰} \sim -28.63\text{‰}$, 组分碳同位素主要为反转系列 $\delta^{13}C_1 > \delta^{13}C_2 > \delta^{13}C_3 > \delta^{13}C_4$, 部分天然气碳同位素为正碳系列; 徐东斜坡带甲烷碳同位素一般为 $-25.18\text{‰} \sim -37.14\text{‰}$, 组分碳同位素值系列包括正常、倒转和反转系列。

二、深层天然气的类型特征

1. 天然气类型划分

根据戴金星(2000)的研究^[2], 有机油型气和煤型气有不同的碳同位素值, 其中煤型气的 $\delta^{13}C_1 > -43\text{‰}$, $\delta^{13}C_2 > -25.1\text{‰}$, $\delta^{13}C_3 > -23.2\text{‰}$, 而油型气的 $\delta^{13}C_1 > -55\text{‰}$, $\delta^{13}C_2$ 和 $\delta^{13}C_3$ 分别小于 -28.8‰ 和 -25.5‰ 。与上述标志对比, 徐家围子断陷深层天然气甲烷和乙烷碳同位素呈现煤型气特征, 而丙烷和丁烷碳同位素显示高温裂解油型气的特征。利用天然气甲烷碳同位素与气组分关系划分天然气类型表明(图2), 深层天然气类型以煤型气为主, 其次为油型气、深源气以及他们与煤型气的混合气。其中煤型气甲烷碳同位值最小为 -29.83‰ , 最大为 -24.8‰ , 乙烷碳同位素最小为 -29.61‰ , 最大为 -21.87‰ ; 油型气甲烷碳同位素值最小为 -50.49‰ , 最大为 -37.45‰ , 乙烷碳同位素最小为 -33.60‰ , 最大为 -27.37‰ ; 深源气组分单一, 一般甲烷碳同位素大于 -20‰ 。混合气碳同位素变化

大, 一般甲烷碳同位素值在 $-20\text{‰} \sim -28\text{‰}$ 之间, 乙烷在 $-29\text{‰} \sim 34\text{‰}$ 之间。

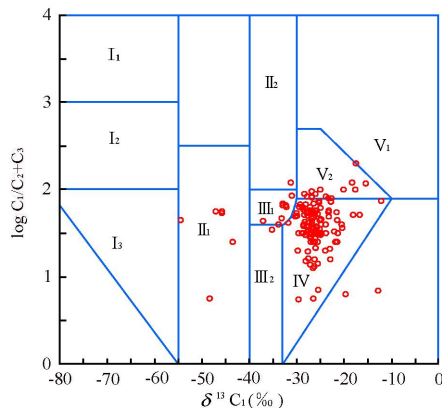


图2 徐家围子断陷深层天然气类型划分图

2. 烷烃组分碳同位素倒转分析

徐家围子断陷深层天然气以煤型气为主, 但大部分天然气烷烃组分碳同位素系列出现倒转特征, 表明天然气除受母质类型和成熟度的影响外, 运移过程和成藏后的次生变化可能对天然气产生了重要影响。根据文献报道, 导致碳同位素系列倒转的原因有几种: ①有机烷烃气与无机烷烃气的混合混合、油型气与煤型气的混合或同源不同期天然气的混合^[3]; ②天然气不同组分运移扩散作用的差异性以及盖层的微渗漏作用^[4]; ③有机质的高成熟作用^[3]。从松辽盆地深层天然气成因类型分析看, 混合作用可能是影响天然气性质造成组分碳同位素倒转的主要因素。混合作用可以包括深源气与煤型气的混合, 油型气与煤型气的混合, 同一母源在不同演化阶段形成的天然气混合等。由于同一圈闭可以聚集不同成因、不同时期来源的天然气, 因此气藏内不同成分的混合是一个普遍现象, 是造成天然气同位素倒转的重要原因。其他因素, 如有机质高成熟作用, 由于不能解释部分天然气存在正碳系列的原因, 因此对天然气组分碳同位素系列倒转产生的影响可能相对较小。

3. 不同区带天然气类型分布

根据大量的天然气组分碳同位素分析, 徐家围子断陷登娄库组天然气主要为煤型气。此外, 在汪家屯地区基底地层, 徐西、宋站地区的火石岭组和沙河子组, 徐中、丰乐地区的营城组分布一定数量的煤型气。油型气主要分布在升平、宋站低隆起的沙河子组和登娄库组, 徐西和徐中地区的芳深6、徐深602等井营城组天然气显示出油型气特征。深源气主要分布于徐西地区的登娄库组, 徐中地区的徐深401井、升平地区的升深1井登娄库组也有发现。

煤型气与深源气的混合气在徐家围子断陷营城

组广泛分布,此外,在汪家屯地区基底、徐西地区的沙河子组、登娄库组和安达断陷的登娄库组也有分布;煤型气与油型气混合气大多都分布于宋站、升平地区;油型气与深源气在断陷内发现较少,仅芳深801井登娄库组的天然气有此特征。

三、天然气与源岩的亲缘关系

1. 单源天然气来源分析

已有大量的实验和研究表明^[5],油型气和煤型气的烷烃碳同位素与生气母质的热降解程度有关。高瑞祺等(1997)对松辽盆地不同类型有机质的生气模拟实验^[6],建立了天然气甲烷碳同位素 $\delta^3\text{C}_1$ 和对应源岩镜质体反射率(R_o)的关系式,其中煤成气 $\delta^3\text{C}_1 - R_o$ 回归方程: $\delta^3\text{C}_1 = 11.92\lg R_o - 29.54$;油型气 $\delta^3\text{C}_1 - R_o$ 回归方程: $\delta^3\text{C}_1 = 24.33\lg R_o - 41.85$ 。根据深层煤型气一般甲烷碳同位值 $-29.83\text{‰} \sim -24.8\text{‰}$ 范围,由上述方程计算的源岩 R_o 为 $0.94\% \sim 2.49\%$,这个成熟度值与徐家围子凹陷内主要煤系烃源岩火石岭组、沙河子组、登娄库组的成熟度基本吻合。根据深层油型气一般甲烷碳同位素值 $-50.49\text{‰} \sim -37.45\text{‰}$ 计算,源岩 R_o 为 $0.44\% \sim 1.52\%$,由于该成熟度值与徐家围子凹陷内主要烃源层 R_o 不符,因此油型气不是由泥质烃源岩直接生成,可能的地质解释是这些油型气来自于深层原油的热裂解^[7],并使天然气碳同位素显著偏轻。

深源气主要指松辽盆地来自于基底浅变质板岩和千枚岩的天然气^[6],这类岩石的热模拟实验证实,模拟气的甲烷碳同位素一般大于 -22.26‰ ,与目前发现的深源气有较好的亲缘关系。

2. 混合天然气来源比例分析

松辽盆地深层大部分天然气表现为混合特征,可能的气源岩包括登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组以及石炭—二叠系,那一套地层作为主要气源岩一直没有定论。研究的难点是地下难以找到由单一气源岩生成的天然气,标定这套源岩生成的天然气特征。为此,以各套源岩吸附气近似作为单一来源的天然气,根据 $\text{C}_5 \sim \text{C}_7$ 重烃化合物组成指标^[8],分析了深层混合气的来源特征。

具体研究过程是:①选取深层潜在源岩样品,利用专利技术制备源岩吸附气;②采用低温富集技术,制备吸附气和天然气中的重烃;③对吸附气重烃组成开展分析,选取化学结构相似、沸点相近的化合物比值作为指纹参数,明确不同烃源岩生成天然气的差异;④利用神经网络法,以固定比例为步长,依次改变每个单层气的比例,得到多种已知混合比例的天然气^[9],建立天然气混合比例的计算模板;⑤分析

松辽盆地深层气藏中天然气重烃组分,计算天然气指纹参数,通过模板计算天然气来源比例。

根据21口井30层天然气分析研究,徐家围子断陷登娄库组、营城组天然气来源特征是:沙河子组和火石岭组是深层天然气的主要贡献者,天然气来源比例 $2.54\% \sim 100\%$,平均贡献比例 62.79% ;营城组是深层天然气的次要贡献者,天然气来源比例 $0.00 \sim 81.94\%$,平均贡献比例 18.83% ;石炭—二叠系对深层天然气的贡献变小,天然气来源比例 $0.00 \sim 85.25\%$,平均贡献比例 13.27% ;登娄库组对深层天然气的贡献最小,天然气来源比例 $0.00 \sim 42.08\%$,平均贡献比例 5.08% 。

四、结 论

(1)松辽盆地深层天然气组分以烷烃气为主,碳同位素变化大,成因类型多样,包括煤型气、油型气和深源气,以煤型气为主。

(2)天然气组分碳同位素普遍具有倒转或反转的特征,不同类型天然气混合是碳同位素系列发生变化的主要原因。

(3)煤型气主要来自深层煤系烃源岩,油型气与原油的裂解有关。其中沙河子组和火石岭组是深层天然气的主要贡献者,其次是营城组和石炭—二叠系,登娄库组对深层天然气的贡献较小。

参 考 文

- [1] 徐永昌,等.天然气成因理论及应用[M].北京:科学出版社,1994.
- [2] 戴金星.天然气地质和地球化学论文集(卷二)[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [3] 戴金星,夏新宇,等.中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因[J].石油与天然气地质,2003,24(1):1-11.
- [4] 黄海平,杨玉峰,等.徐家围子断陷深层天然气的形成[J].地质前缘,2000,7(4):515-522.
- [5] 侯读杰,张林晔.实用油气地球化学图鉴[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [6] 高瑞祺,蔡希源,等.松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [7] 冯子辉,迟元林,等.原油在储层介质中的加水裂解生气模拟实验[J].沉积学报,2002,20(3):505-510.
- [8] 张居和,李景坤,等.徐深1井深层天然气地球化学特征与各类气源岩的贡献[J].石油与天然气地质,2005,26(4):501-504.
- [9] 李景坤,刘伟,等.天然气混合比例研究新方法及其应用[J].天然气工业,2005,25(3):14-16.

(收稿日期 2005-09-19 编辑 黄君权)