

崖南凹陷烃源岩生烃及碳同位素动力学应用^{*}李绪深^{1,2} 肖贤明³ 黄保家² 李里²

(1.中国地质大学·武汉 2.中国海洋石油有限公司湛江分公司 3.中国科学院广州地球化学研究所)

李绪深等.崖南凹陷烃源岩生烃及碳同位素动力学应用.天然气工业,2005;25(8):9~11

摘要 针对目前琼东南盆地崖南凹陷天然气系统勘探存在的地球化学问题,采用近几年发展起来的生烃动力学及碳同位素动力学研究方法,以崖城组烃源岩干酪根热解生烃实验获得的气体产率和碳同位素数据为基础,建立了生烃动力学和碳同位素动力学模型,初步圈定崖13-1气田天然气主要来自崖南凹陷斜坡带崖城组含煤地层,烃源岩埋深在4300~6000 m之间,目前正处在主生气阶段;崖城组热解气碳同位素动力学研究表明,崖13-1气田天然气成藏时间较晚,属于“累积”集集成藏,成熟度在1.5%~2.3%之间,显然为烃源岩气窗阶段充注,因此有利于气藏形成与保存。

关键词 模拟实验 生烃动力学 碳同位素动力学 烃源岩 崖南凹陷 气藏形成

近几年,烃源岩生烃动力学及碳同位素动力学方法在油气地球化学领域取得了重大进展,并有效地指导油气勘探^[1,2,5]。本文通过实验研究了崖南凹陷烃源岩生烃情况及油气分布。

一、热模拟实验

实验样品采自琼东南盆地崖城组,TOC为0.78%,有机质类型Ⅲ型, $R_o=0.65\%$ 。将约20 mg干酪根样,在氩气保护下封入黄金管(长40 mm,内径4.5 mm),然后置黄金管于高压釜内,使压力保持在50 MPa,黄金管在水压的作用下产生变形,从而对样品施压。高压釜置于热解炉中,分别以20 °C/h和2 °C/h的升温速率从200 °C加热到事先设定的温度点300~650 °C。在不同的温度点取出相应的高压釜,将黄金管从高压釜中取出,在真空系统中收集气体,经测量体积后再进行气体成分和碳同位素(误差小于 $\pm 0.3\%$,PDB)的定量分析,热解残渣样进行 R_o 测定。

二、实验结果及动力学参数计算

1. 实验结果

图1分别展示了琼东南盆地崖城组烃源岩干酪根样品在两种不同升温速率(20 °C/h、2 °C/h)条件下热解生成甲烷和C₂~C₅气态烃产率的实验结果。

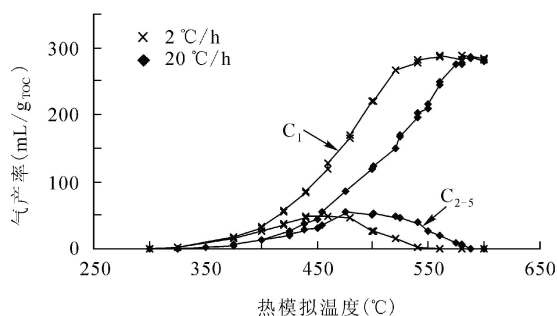


图1 崖城组泥岩干酪根热模拟气产率

热解生成气体甲烷、乙烷和丙烷碳同位素值与热解温度、升温速率比较复杂。以2 °C/h的实验结果为例,在热解温度300~380 °C之间,生成的气体特别是甲烷碳同位素值随温度升高变轻,380 °C以后生成的气体,碳同位素变重。这与国外学者所报道的甲烷碳同位素变化规律^[2]基本一致。300~380 °C范围生成的气体同位素变轻可用两种不同基团生成的气体混合在一起来解释:第一基团在低温(小于380 °C)生成的气体富含 $\delta^{13}C$;高温条件下主要是第二基团生气^[3]。

2. 动力学参数计算

为了定量地表征烃类气体的生成行为,我们应

^{*} 本文为国家“十五”科技攻关课题“海上隐蔽油气藏勘探技术研究”(课题编号:2004BA616A-07)的部分成果。

作者简介:李绪深,1960年生,高级工程师;1982年毕业于山东海洋学院,中国地质大学博士研究生,现任中海石油(中国)有限公司湛江分公司技术部总地质师,从事油气勘探综合研究。地址:(524057)广东省湛江市中海石油有限公司湛江分公司技术部。电话:(0759)3909956,13560533856。E-mail:lixush@cnooc.com.cn

用美国 Stanford 大学 Lawrence Livermore 国家实验室编制的 Kinetics 专用软件进行数据处理与动力学模拟计算,获取的琼东南盆地崖城 8-2-1 井崖城组泥岩样品生烃动力学参数。

根据 Tang 等(2000)分馏模型,应用美国加州理工学院开发的 Carbon isotopic kinetics (2002 第一版)软件求取,这里只计算了最常用的甲烷同位素动力学参数(表 1)。

表 1 崖城组烃源岩样品热解生成甲烷碳同位素动力学参数

样品号	组分	α	β (cal/mol)	β_1 (cal/mol)	E_0 (cal/mol)	σ (cal/mol)	γ
Y8-2-1 崖城	C ₁	1.020	23.08	55.77	55086	2.77	0.01094

三、实际应用

1. 崖 13-1 气田气源区圈定

综合相关的成果与认识,崖 13-1 气田主要地质地球化学特征如下:①主力气源岩是崖城组煤系泥岩,气源区主要是崖南凹陷;②圈闭形成于中新世,盖层形成中中新世梅山组沉积期(崖城凸起上的崖 13-6 和崖 13-4 气田的盖层形成晚中新统);③天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 平均 -36‰ , $\delta^3\text{C}_1$ 范围 $-34.75\text{‰} \sim -39.88\text{‰}$ 。④根据崖 13-1 气田陵水组砂岩与气态烃包裹体共生的盐水包裹体均一温度 $160 \sim 190^\circ\text{C}$ 和埋藏史与受热史,推算出天然气成藏时间在距今 2 Ma—现今(肖贤明等,2002)。下面选择过崖南凹陷沉积中心横剖面的 3 个点(图 2)进行生烃史及 C₁ 碳同位素动力学模拟。

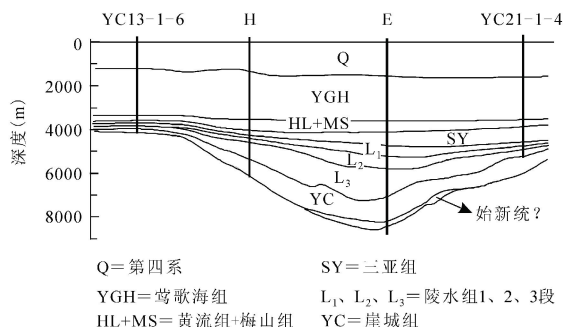


图 2 过崖南凹陷中心地质横剖面图

(1)崖南凹陷沉积中心(E 点)崖城组烃源岩现埋深 6472~7691 m,在 -0.5 Ma 达生气下限,主生气期出现在 $-4 \sim -2$ Ma 之间,从地质角度,YC13-1 构造可聚集 $-4 \sim -2$ Ma 以后的天然气。但按

此模型形成的天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 应在 -26‰ 以上,比 YC13-1 气藏天然气重得多,目前在崖城隆起发现了天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 最重为 -33.6‰ (YC13-6-1 井)。由此可见,崖南凹陷中心崖城组烃源岩不是崖 13-1 构造及崖城隆起其它气藏主要气源区。

(2)斜坡带点 H,现埋深 6000 m,对应最高地温 232°C , R_0 为 2.20% 。天然气在 -2 Ma 进入生气门限,主生气阶段出现在 -1.5 Ma 以后,目前天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 转化率为 0.72,生成天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 为 -32‰ ,比崖 13-1 天然气略重。但考虑到斜坡带上部较低成熟度天然气混合,该点天然气应是有效气源区,可作为有效气源岩的最深部(图 3)。

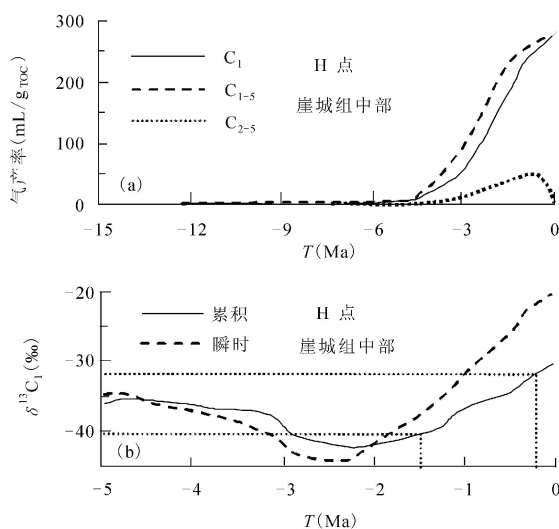


图 3 崖城组烃源岩生烃动力学模型(a)和碳同位素动力学模型(b)

(3)YC13-1-6 井位于崖 13-1 构造的南坡,崖城组泥岩最大埋深 4350 m,对应 $R_0 = 1.38\%$,在 -0.25 Ma 进入生气门限,目前 C₁ 转化率只有 0.13%,生成的天然气 $\delta^3\text{C}_1 = -42.5\text{‰}$,明显轻于 Ya13-1 天然气。从地质背景角度考虑,该点最近储层生成的天然气可向 Ya13-1 构造运聚,该点是有效气源区。

综上所述,崖 13-1 气田天然气主要气源区范围是从 YC13-1-6 井至模拟点 H(图 2)埋深从 4300~6000 m 分布范围的崖城组,烃源岩成熟度范围 R_0 介于 $1.20\% \sim 2.2\%$ 。这套烃源岩目前正处在主生气阶段,有大量天然气补给,对气藏形成与保存非常有利。

2. 崖 13-1 气田天然气成藏方式与成熟度评价

国内外学者(Stahl 等,1975、1988;戴金星等,1985;徐永昌等,1994 等)基于不同地区烃源岩的统

计分析,建立了各自的天然气 $\delta^3\text{C}_1-R_0$ 关系式。因为上述学者提出的一些方程是针对特定的地质条件而建立的,所以不应简单套用。究其原因可能是影响天然气碳同位素的因素较多,除受烃源岩的母质类型和成熟度影响外,还与天然气藏运聚条件和成藏过程等有关^[2]。一般来说,早期生成的天然气碳同位素较轻,晚期生成的天然气碳同位素较重;累积效应使后期产生的气体与早期产生的气体相混合,碳同位素变轻。传统的方法未能全面地考虑这些因素。

笔者对崖13-1气田主要气源区——崖南凹陷斜坡上H点崖城烃源岩中部进行碳同位素动力学模拟,计算了地质条件下生成天然气的“瞬时”和“累积”甲烷碳同位素随 R_0 和时间的演化(图4和图3b)。可以看出,在 R_0 1.25% 或 2 Ma 之后生成天然气的“瞬时”甲烷碳同位素明显比“累积”甲烷碳同位素重。可见,应用 $\delta^3\text{C}_1$ 确定天然气成熟度在很大程度上受天然气聚集效率的影响。如图4所示,对应 $R_0=2.2\%$,“瞬时”聚集的天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 为 -22% ,而“累积”天然气 $\delta^3\text{C}_1$ 值为 -32% ,较前者轻 10% 。因此,在评价天然气的成熟度时,首先必须搞清楚气田天然气成藏方式。应该说,天然气聚集成藏是一个长期累积过程,崖13-1气田天然气碳同位素不重也说明了为累积气的特点。另一方面,肖贤明等(2002)对崖13-1气田陵水组砂岩储层流体包裹体进行了研究,统计结果表明与气态烃包裹体共生的盐水包裹体均一温度 $160\sim 190\text{ }^\circ\text{C}$,结合该区埋藏史与受热史,据此推算出天然气成藏时间在 2 Ma 到现今,结合崖13-1天然气碳同位素值 $= -34\%$ ~ -39.9% ,将这些数据点在图3b,同样说明该气田天然气属于“累积”成藏。于是按照“累积”气的碳同位素动力学模型,可以确定崖13-1气田天然气的成熟度在 $1.5\%\sim 2.3\%$ 之间(图4),显然为崖城组烃源岩气窗峰期聚集成藏,时间在 2 Ma 以后。

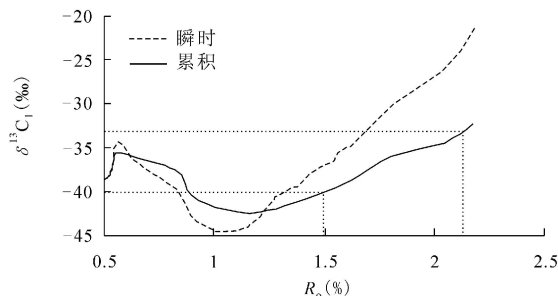


图4 地质条件下崖城组源岩生成的“瞬时”和“累积”甲烷碳同位素组成与 R_0 的关系

综上所述,崖13-1气田天然气充注成藏具有3个特点:一是有效气源区位于凹陷斜坡带,有利于天然气就近运移,避免长距离运移造成天然气大量散失;二是气源区烃源岩正处在大量生气阶段,聚集效率高;三是成藏时间较晚且累积集气,有利于天然气的保存。

四、结 论

(1) 崖南凹陷崖城组烃源岩生烃动力学及碳同位素动力学研究结果表明,崖13-1气田天然气主要来自崖南凹陷斜坡带,天然气为烃源岩气窗阶段的产物,成藏时间较晚且“累积”集气,非常有利气藏形成与保存,这与地质条件相吻合。

(2) 生烃动力学及碳同位素动力学研究方法为模拟实验数据应用于地质条件下的有效气源岩评价、资源量预测和成藏方式研究提供了一种全新而合理的途径,与传统单一的模拟实验方法相比,其结果更加接近真实地质条件。

参 考 文 献

- 1 Berner U *et al.* Kinetic models of carbon isotope variations in methane, ethane, and propane in comparison with field data of Europe. AAPG, 1993; 77(9):1607
- 2 Tang Y, Perry J K, Jenden P D, Schoell M. Mathematical modeling of stable carbon isotope ratios in natural gases. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000; 64(15): 2673-2687
- 3 Berner U, Faber E, Scheeder G, Panten D. Primary cracking of algal and land plant kerogens: Kinetic modeling of kerogen and oil cracking. Chem Geol, 1995; 126: 233-245
- 4 戴金星,戚厚发.我国煤成气的 $\delta^3\text{C}-R_0$ 关系.科学通报, 1989; 34(9):690~692
- 5 刘金钟,唐永春.用干酪根生烃动力学方法预测甲烷生成量.科学通报,1998; 43(11):1187~1191
- 6 肖贤明,刘祖发,刘德汉等.应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间.科学通报,2002; 47(12):957~960

(收稿日期 2005-06-19 编辑 黄君权)