

利用干酪根热解动力学模拟实验研究 塔里木盆地地下古生界古地温

解启来^{1,2}, 周中毅²

(1. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640)

摘要: 通过热解动力学模拟实验, 对塔里木盆地塔参1井奥陶系干酪根的热演化过程进行了模拟, 在此基础上利用 KINETICS 软件求取干酪根镜质体反射率(R_o)的生成动力学参数, 并结合塔参1井的沉积埋藏史, 计算塔参1井寒武—奥陶系的古地温, 这对于研究塔里木盆地地下古生界高过成熟烃源岩的古地温是一种新方法。

关键词: 干酪根; 热解动力学; 模拟实验; 古地温; 塔里木盆地。

中图分类号: P618.130 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)06-0767-03

作者简介: 解启来(1964—), 男, 副研究员, 现在石油大学(北京)博士后流动站工作, 主要从事油气地球化学、沉积盆地热史及石油地质学方面的研究。

沉积盆地的热演化史与油气形成有密切关系, 对其评价将直接影响到油气勘探。重建盆地热史, 不仅可以重塑盆地的形成与演化特征, 而且可以揭示烃源岩的生烃过程。塔里木盆地地下古生界海相寒武—奥陶系烃源岩已达到高过成熟阶段, 影响了某些古地温计的应用, 盆地的古地温史仍未得到根本解决。近些年来, 国际上采用干酪根热解动力学方法研究沉积盆地热史。这是当前石油地质学的前沿研究领域。此项技术已成功应用于美国、加拿大、澳大利亚、印尼和中国南海等地油气田的石油地质学研究及油气勘探^[1]。本文应用干酪根热解动力学模拟实验方法, 研究塔中地区寒武—奥陶系的古地温。

1 方法原理

干酪根在漫长的地质时期受到温度和压力的作用生成油气, 温度和有效受热时间呈互补关系, 符合化学反应动力学。因此, 可在实验室条件下对烃源岩进行快速高温热解实验, 以获得干酪根的化学动力学参数。

干酪根热演化过程基本遵循化学动力学一级反应^[2~4], 可表述为:

$$X(t) = \sum X_i(t). \quad (1)$$

对于第 i 个热演化过程, 则有:

$$X_i(t) = X_{i0}(1 - \exp(-k_it)), \quad (2)$$

以及

$$k_i = A_i \exp(-E_i/RT). \quad (3)$$

式中: X 为时间 t 时干酪根总的热演化程度(即镜质体反射率 R_o); X_i 为第 i 个热演化过程在时间 t 时干酪根的热演化程度; X_{i0} 为第 i 个干酪根的最大热演化程度; k_i 为反应速率常数; t 为时间; E_i 为活化能; A_i 为频率因子; R 为气体常数; T 为热力学温度。其中, E_i 和 A_i 均为常数, 可通过实验获得。

由实验求取的干酪根动力学参数可以外推至地质时间尺度^[3], 因此, 将干酪根热解动力学参数代入以上(1)~(3)式, 即可计算出地质时间 t 时样品所在地层经历的古地温。

对于含有多套地层的沉积盆地, 可根据盆地演化过程中发生重大热事件的次数, 将多套地层分割为有限个时间单元, 使这些时间单元具有近似线性的古地温分布, 然后从现今地温出发, 利用数学模型反演古地温, 从最上面地层开始, 向下伏地层逐步展开, 从而得到每个时间段地层的古地温分布特征, 再利用正演数学模型计算出不同地质时期与盆地热史演化相联系的镜质体反射率(R_o)的理论值, 并与样

品的实测 R_o 值比较,反复调整古地温,直至计算的 R_o 理论值与实测值非常吻合。

2 样品与实验过程

样品采自塔里木盆地塔中隆起上的塔参 1 井,层位为奥陶系,埋深 4 029 m,岩性为灰岩, R_o 为 1.00%,实验前用盐酸和氢氟酸将样品处理成干酪根。

将 70~80 mg 干酪根装入金管内,并在氩气保护下密封金管,再将金管放入高压釜内进行实验。热解过程中使用高压泵向高压釜充水(即加压),所有高压釜采用压力并联,以确保每个高压釜的压力一致,根据样品的埋深,将模拟实验压力保持在 50 MPa,压力误差范围为 ± 3 MPa。

实验分别以 20 °C/h 及 2 °C/h 的升温速率进行升温,从 390 °C 升至 580 °C,每条升温曲线设置 13 个温度点,温度采用专用控温仪控制,温度误差范围为 ± 1 °C。当温度达到设定值时,取出高压釜,迅速冷却至室温。实验结束后,取出金管,并测定各个温度点热解后干酪根的 R_o 值。

3 实验结果与讨论

利用美国加州大学 Lawrence Livermore 实验室的 KINETICS 软件,计算干酪根 R_o 的生成动力学参数。在计算之前,按照刘金钟等^[1]的方法,先将实测的 R_o 转换为“镜质体反射率转换指数 VCI”:

$$VCI = (R_o - R_{o,\min}) / (R_{o,\max} - R_{o,\min}) \quad (4)$$

式中: R_o 为各温度点残留干酪根的实测镜质体反射率; $R_{o,\min}$ 为未热解样品的镜质体反射率,本样品为 1.00%; $R_{o,\max}$ 为干酪根在本次实验中可能达到的最高反射率。由于实验未进行彻底,无法得到 $R_{o,\max}$ 值,可假设 $R_{o,\max}$, 并将其代入 KINETICS 软件,计算在 2 °C/h 和 20 °C/h 时 2 条升温曲线中实验点与理论曲线之间的误差,当误差最小时,可认为假设的 $R_{o,\max}$ 值正确。然后根据此 $R_{o,\max}$ 值计算出各温度点的 R_o 转换指数(VCI),再利用上述(1)~(3)式,通过 KINETICS 软件即可计算出 R_o 的活化能及频率因子。本次实验 $R_{o,\max}$ 值取 4.0%。表 1 为 2 条不同升温速率的干酪根镜质体反射率(R_o) 实测值,图 1 表示 R_o 的增长与热解温度之间的关系。

在 KINETICS 软件上求得干酪根 R_o 增长的活

表 1 每个热解温度点干酪根的实测镜质体反射率(R_o)

Table 1 Vitrinite reflectance (R_o) of each heating temperature point

温度/°C	390	400	410	420	440	460	480
20 °C/h	1.15	1.20	1.26	1.34	1.50	1.64	1.79
2 °C/h	1.40	1.50	1.63	1.76	1.98	2.18	2.38
温度/°C	500	510	520	540	560	580	
20 °C/h	1.96	2.05	2.17	2.35	2.53	2.73	
2 °C/h	2.59	2.68	2.81	2.94	3.08	3.22	

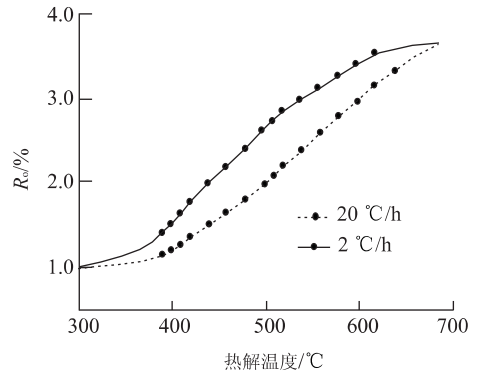


图 1 镜质体反射率(R_o)的增长与热解温度之间的关系
Fig. 1 Relationship between heating temperature and increase of vitrinite reflectance

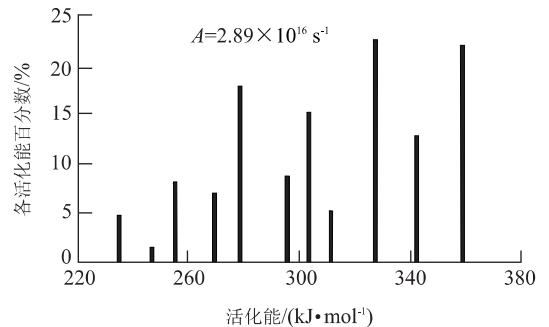


图 2 R_o 增长的活化能(E)分布和频率因子(A)
Fig. 2 Activation energy distribution (E) and frequency factor (A) of R_o

活化能及频率因子之后,再结合塔参 1 井的沉积埋藏史拟合计算该样品(4 029 m)经受的古地温,并将此古地温值代入 KINETICS,计算相应的 R_o 值,并与实测 R_o 值进行对比,不断调整古地温值,使计算的 R_o 值与实测的 R_o 值逐步逼近,这样就得到了样品经历的古地温,再以此古地温为基础,采用同样方法计算该样品以下层位的古地温。图 2 为 R_o 增长的活化能分布和频率因子,表 2 为计算的塔参 1 井寒武—奥陶系经历的古地温。

表 2 塔参 1 井寒武—奥陶系经受的最高古地温

Table 2 The highest paleotemperature of Cambrian-Ordovician system in well Tacan 1

深度/ m	层位	最高古地 温/℃	开始受热 时间/Ma	持续受热 时间/Ma	实测 R_o / %	计算 R_o / %
4 029.00	O ₂₊₃	119	10	1.0	1.00	0.90
4 231.40	O ₂₊₃	105	17	1.5	1.04	1.12
4 468.10	O ₁	107	13	2.0	1.10	1.01
4 767.60	O ₁	128	21	1.5	1.11	0.97
6 000.50	O ₁	156	241	2.5	1.52	1.64
6 415.00	€	168	259	2.0	1.70	1.63

从表 2 可以看出,塔参 1 井寒武系的最高古地温为 168 ℃,受热时间距今 259 Ma,时代为二叠纪;奥陶系底部(6 000.50 m)的最高古地温为 156 ℃,受热时间距今 241 Ma,时代为二叠纪晚期;奥陶系的其余 4 个样品经历的最高古地温为 105~128 ℃,受热时间距今 13~21 Ma,时代为第三纪。

对于拟合计算的最高古地温,可通过相应的流体包裹体的均一温度加以旁证,如 4 029 m 样品的最高古地温为 119 ℃,而该样品流体包裹体的均一温度为 97~110 ℃,二者比较接近,流体包裹体很可能就是在最高古地温期间形成的。其他样品未测得流体包裹体的均一温度。由表 2 可见,利用 KINETICS 软件计算的样品 R_o 值与实测的 R_o 值相差不大,绝对误差为 0.1%左右,反映出拟合结果与实际情况比较吻合,这说明干酪根热解动力学模拟实验,

对于研究塔里木盆地地下古生界高过成熟的寒武—奥陶系烃源岩古地温是一种有效的方法。

在模拟实验和镜质体反射率测试过程中,得到了刘金钟研究员、邹艳荣研究员、申家贵高工的帮助,刘金钟研究员指导了干酪根热解动力学参数和古地温的拟合计算,在此诚表谢意。

参考文献:

- [1] 刘金钟,唐永春.用干酪根生烃动力学方法预测甲烷生成量之一例[J].科学通报,1998,43(11):1187-1191. LIU J Z, TANG Y C. Using kerogen hydrocarbon-generating kinetics to predict methane-generating quantity [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(11): 1187-1191.
- [2] Ungerer P. State of the art of research in kinetic modeling of oil formation and expulsion [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1-3): 1-25.
- [3] Tang Y, Stauffer M. Multiple cold trap pyrolysis gas chromatography: a new technique for modeling hydrocarbon generation [J]. Organic Geochemistry, 1994, 22(3-5): 863-872.
- [4] Behar F, Tang Y, Liu J. Comparison of rate constants for some molecular tracers generated during artificial maturation of kerogens: influence of kerogen type [J]. Organic Geochemistry, 1997, 26: 281-287.

Kerogen Pyrolysis Kinetics Simulating Experiment Used to Study Low Paleozoic Paleotemperature in Tarim Basin

XIE Qi-lai^{1,2}, ZHOU Zhong-yi²

(1. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper simulates thermal evolution of Ordovician kerogen selected from well Tacan 1 in Tarim basin by pyrolysis kinetics simulating experiment. Based on the experiment, this research calculates kinetic parameters of kerogen vitrinite reflectance (R_o) through KINETICS software, and then calculates Cambrian-Ordovician paleotemperature of the well Tacan 1 combined with burial history. Kerogen pyrolysis kinetics simulating experiment is a new method to study the paleotemperature of Low Paleozoic over-high maturity source rocks in Tarim basin.

Key words: kerogen; pyrolysis kinetics; simulating experiment; paleotemperature; Tarim basin.