

多热源叠加的岩层有机质成熟度动态模拟方法*

吴冲龙,李 星

(中国地质大学,湖北武汉 430074)

摘要: $T-t-R_{o,m}$ 经验公式仅适用于单一热源条件下的岩层有机质成熟度模拟。对于多热源多阶段叠加变质作用的岩层有机质,其成熟度模拟可采用微积分学中的微元法思想,以 $T-t-R_{o,m}$ 经验公式为基础,求出给定时间段内的镜质组反射率的增量(ΔR),即可逐段模拟不同温度条件的镜质组反射率。镜质组反射率增量不仅与受热温度、时间有关,而且还受某一时刻镜质体反射率大小的影响。利用该方法对抚顺盆地的煤层进行了模拟,其结果与实际情况相符。

关键词: 多热源;有机质;成熟度;微元法;模拟

第一作者简介: 吴冲龙,男,55岁,教授(博士生导师),煤及油气地质、数学地质

中图分类号: TE135.2 **文献标识码:** A

1 $T-t-R_{o,m}$ 经验公式

研究者曾根据 Bostick 等^[1]的 $T-t-R_{o,m}$ 曲线和我国热史较为简单的松辽、鄂尔多斯、二连等盆地实测数据,采用双重回归的方法建立了 $T-t-R_{o,m}$ 经验公式^[2]:

$$R_{o,m} = \frac{0.492 t^{0.093}}{646.32 - \ln T} \quad (1)$$

式中 $R_{o,m}$ 为镜质组平均反射率(%), t 为岩层绝对年龄(Ma), T 为古地温温度(℃)。

公式(1)不仅是对 Bostick 曲线图表的简化,并且也可以看作是 Arrhenius 方程在煤变质作用方面的一种统计表达式,即煤变质作用热动力学经验公式。在已知古地温和有效受热时间的条件下,利用公式(1)可以模拟研究对象的煤化(变质)程度—— $R_{o,m}$ 值。例如,假设地层温度恒定,即 $T=20, 25, 30, 35, 40^{\circ}\text{C}$ 时,利用公式(1)可计算出各时刻 t 的 $R_{o,m}$ 值(图1)。

从图1可以看出,在相同受热时间内,当岩层温度较高时,相应的 $R_{o,m}$ 也较大,当岩层温度较低时,相应的 $R_{o,m}$ 也较小;在恒定温度条件下,当有效受热时间短或 $R_{o,m}$ 值较小时,则 $R_{o,m}$ 随时间的增长率较大,当有效受热时间长或 $R_{o,m}$ 值较大时,则 $R_{o,m}$ 随时间的增长率较小。古地热场随时间的延续而出现变化时,例如因为受到岩体侵入和断裂作

用的影响而出现叠加和扰动^[3,4],岩层古地温也将随之而升降,这时,即 $T=T(t)$ 时, $R_{o,m}$ 值不能简单地应用公式(1)计算。因为温度变化过程不同,即使有效受热时间相同, $R_{o,m}$ 变化结果也会有较大差异。

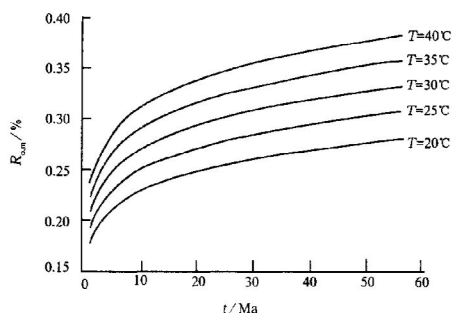


图1 恒定条件下的 $R_{o,m}-t$ 关系图

Fig.1 Relationship between $R_{o,m}$ and t under constant temperature

2 多热源叠加的 $R_{o,m}$ 计算原理

泥岩有机质和煤的多热源多阶段叠加变质作用是中国东部的普遍现象^[5,6],必然会引起成熟度和煤阶异常以及二次甚至多次成烃问题,对油气的成藏和煤种的分布影响极大。目前国内外还没有妥善的方法来描述和模拟这一过程。作者采用微积分学中的微元法思想,以公式(1)为基础,推导出一种新的 $R_{o,m}$ 数值计算公式。

为书写方便,以下将公式(1)简记为 $R=R(t, T)$ 。设给定时刻: $t_1 < t_2 < \dots < t_i (i=1, 2, \dots)$, 为有效受热时间。对应的温度分别为

$$T_1 = T(t_1), T_2 = T(t_2), \dots, T_i = T(t_i), \dots$$

* 国家自然科学基金“九五”重点项目(49732005)的成果之一

收稿日期:2000-06-09

又,假设相应时刻的镜质组反射率为

$$R_1 = R(t_1), R_2 = R(t_2), \dots, R_i = R(t_i), \dots$$

令 $\Delta R_i = R_{i+1} - R_i (i = 1, 2, \dots)$, 从而有

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + \Delta R_1, R_3 = R_2 + \Delta R_2, \dots, R_{i+1} \\ &= R_i + \Delta R_i, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

所以,只要已知 R_1 并求出 $\Delta R_i (i = 1, 2, \dots)$, 则根据(2)式可得到所有时刻的镜质组反射率 $R_i (i = 1, 2, \dots)$ 。

因为 t_1 一般较小,所以可令 $R_1 = R(t_1, T_1)$ 。

下面只须求出时间段 $[t_i, t_{i+1}]$ 内 R 的增量 ΔR_i 。研究表明, ΔR_i 不仅与受热温度 ($T_i \sim T_{i+1}$) 的高低、时间延续 ($\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$) 的长短有关,而且还与 t_i 时刻的镜质组反射率 (R_i) 的大小有关 (即当 R_i 较小时,如果再经过时间 Δt_i 及恒定温度 T_i 后,则增量 ΔR_i 较大;而当 R_i 较大时,如果再经过时间 Δt_i 及恒定温度 T_i 后,则增量 ΔR_i 较小)。

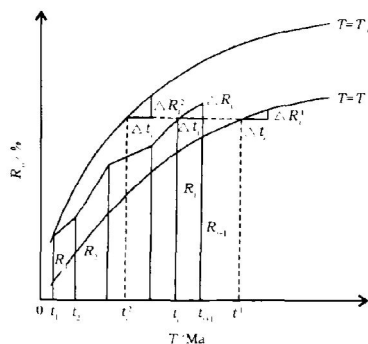


图2 求解镜质组反射率 $R_{o,m}$ 增量 ΔR_i 的定积分微元法示意图

Fig.2 Sketch map Showing differential element method of definite integral for calculating vitrinite reflectance $R_{o,m}$ and ΔR_i

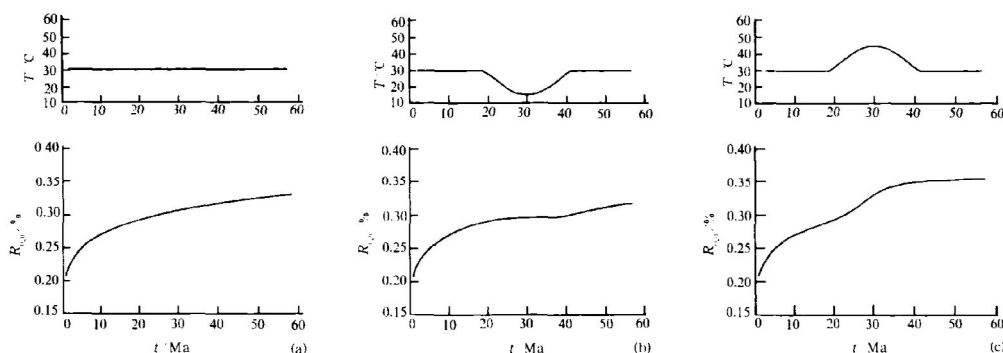


图3 3种不同温度变化的 $R_{o,m}$ 值变化过程模拟

Fig.3 Simulation on variation process of $R_{o,m}$ value in three different temperatures

$R_{o,m}$ 值与用公式(1)计算出的 $R_{o,m}$ 值完全一样 (见图1中的 $T = 30^\circ\text{C}$ 曲线)。显然,该方法可以用于

因为在时间段 $[t_i, t_{i+1}]$ 内的温度仍然是变化的,所以无法直接应用公式(1)进行计算。但由于 Δt_i 较小,从而温度 T_i 与 T_{i+1} 相差也较小,故可利用定积分微元法的思想求出部分量 ΔR_i 的近似值。令

$$R_i = R(t_i^1, T_i), R_i = R(t_i^2, T_{i+1})$$

即认为 R_i 是在恒温 T_i 下,经过有效受热时间 t_i^1 的结果;或认为 R_i 是在恒温 T_{i+1} 下,经过有效受热时间 t_i^2 的结果 (图2)。又令

$$\Delta R_i^1 = R_i(t_i^1 + \Delta t_i, T_i) - R(t_i^1, T_i)$$

$$\Delta R_i^2 = R_i(t_i^2 + \Delta t_i, T_{i+1}) - R(t_i^2, T_{i+1})$$

即认为 ΔR_i^1 是在恒温 T_i 下,时间从 t_i^1 到 $t_i^1 + \Delta t_i$ 时 R 的增量;而认为 ΔR_i^2 是在恒温 T_{i+1} 下,时间从 t_i^2 到 $t_i^2 + \Delta t_i$ 时 R 的增量。

因为 T_i, T_{i+1} 相差不大,所以 ΔR_i^1 与 ΔR_i^2 也较接近,尽管如此,我们仍取上述两个增量 ΔR_i^1 与 ΔR_i^2 的算术平均值为时间段 $[t_i, t_{i+1}]$ 内 R 的增量 ΔR_i , 即

$$\Delta R_i \approx \frac{\Delta R_i^1 + \Delta R_i^2}{2}$$

3 应用

根据以上计算公式编制出的计算机程序,对3种不同的温度变化情况,模拟相应的 $R_{o,m}$ 值变化过程。

在图3(b)中,由于时间段20~40 Ma内遇到一个降温事件,所以 $R_{o,m}$ 的增长速度较慢;在图3(c)中,由于时间段20~40 Ma内遇到一个升温事件,所以 $R_{o,m}$ 的增长速度较快;而在图3(a)中,由于温度是恒定的,所以应用该数值计算公式计算出的

模拟在正常地热场背景下,由岩浆热事件等所造成的岩层分散有机质和煤层的叠加变质作用。作者利用该方法对抚顺盆地遭受巨厚辉绿岩侵入影响

的4口井的煤层 $R_{o,m}$ 变化过程进行了模拟计算,得到了与实际相符合的结果(图4)。

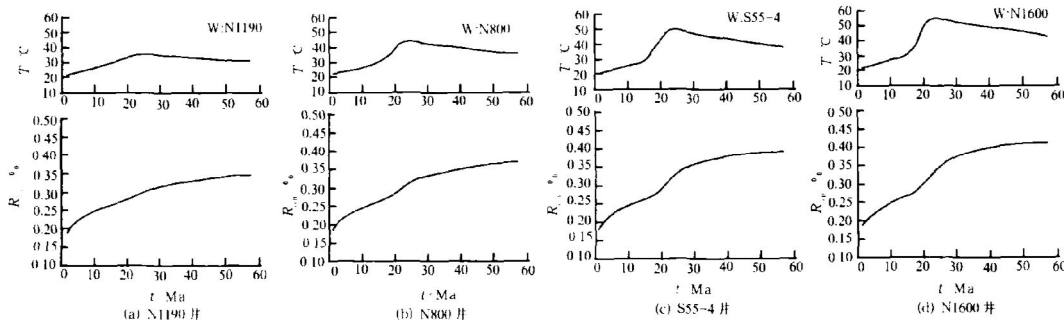


图4 遭受巨厚辉绿岩侵入影响的抚顺盆地煤层 $R_{o,m}$ 变化过程模拟结果

Fig.4 Simulation results for $R_{o,m}$ variation process of coal bed in Fushun Basin effected by thick intrusive diabase

4 结论

综上所述,在 $T-t-R_{o,m}$ 经验公式的基础上根据微积分学中微元法思想,推导出来的数值模拟方法,简单而有效地解决了岩层有机质和煤在多热源多阶段叠加作用下演化过程的描述问题,实现了岩层有机质成熟度和煤阶的动态模拟。该成果在盆地模拟、盆地油气资源评价和煤炭资源评价中可望得到广泛的应用。

参考文献

1 Bostick N H, Cashman S M, McCulloh T H, et al. Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Vradets

Basins, California [A]. In: Oltz D F, ed. Low temperature metamorphism of kerogen and clay Minerals [C]. Los Angeles: C A United States, 1979. 65 ~ 96

2 Wu Chonglong, Li Sitian, Cheng Shoutian. The statistical prediction of the vitrinite reflectance and study of ancient geothermal field in Songliao Basin, China [J]. Journal of China University of Geosciences, 1991, 2 (1): 91 ~ 101

3 吴冲龙,杨超,刘刚,等. 煤变质作用热动力学分析的原理与方法[J]. 煤炭学报, 1997, 22(3): 225 ~ 229

4 吴冲龙,李星,刘刚,等. 盆地地热场模拟的若干问题探讨[J]. 石油实验地质, 1999, 21(1): 1 ~ 6

5 杨超,吴冲龙,汤达权,等. 中国煤变质作用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(3): 311 ~ 319

6 Yang Qi, Wu Chonglong, Tang Dazhen, et al. The coal metamorphism in China [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(3): 311 ~ 319

A DYNAMIC SIMULATION METHOD FOR MATURITY OF ORGANIC MATTER IN SUPERPOSED ROCKS OF MULTIPLE THERMAL SOURCES

Wu Chonglong Li Xing

(China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract: The experimental expressions of $T-t-R_{o,m}$ (Wu Chonglong, 1991), which were established with double regression method, can not only predigest the Bostick (1979) chart, but also can be taken as statistic expressoin of Arrhenius equation on coal metamorphism. Both the experimental expressions and the Bostick chart can't directly describe multiple thermal source and multiple stage superimposed metamorphism of organic matter and coal. In order to solve this problem, a new dynamic simulation method for organic matter maturity is proposed in this paper by taking the experimental formulation as a base and using differential method of integral calculus. This method can be used to simulate dynamic coupling organic matter maturation and coal metamorphism under different thermal conditions and its development process.

WKey Words: multiple thermal sources; organic matter; maturity; differential element method; simulation