

地质热历史的追溯与研究

郭洪英 · 郭士伦 · 王玉兰 · 李 · 丽 孙镇城 · 邱楠生

摘要 · · 提出一种新的由矿物中封闭径迹长度分布求解地质热历史的反演模拟计算方法,由该方法可得到地质热历史的唯一解。这种方法计算的结果与烟雾运流模型计算的结果基本一致。两种反演方法计算的结果都由正演方法证明是正确的。

关键词 · · 裂变径迹长度,地质热历史,反演模拟,正演模拟,烟雾运流模型

Thermal history retracement of geologic bodies

GUO Hongying · GUO Shilun · WANG Yulan · LI Li
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

SUN Zhencheng · QIU Nansheng
(China Petroleum University, Beijing)

Abstract · A new inverse method for geothermal history calculation has been suggested. Differing from other methods this one can give an unique solution. The results of the new inverse method are consistent with those of smoke convection model. Both inverse models are proved to be correct by forward modeling calculation

Key words · · Fission track length, Geothermal history, Inverse modeling, Forward · modeling, Smoke convection method

· 所有岩石和矿物中都含有 ^{238}U 自发裂变径迹,裂变径迹记录了地球和天体经历的各种事件的信息。由裂变径迹长度分布推算古地质热历史,这一过程称为反演模拟。Lutz和Omar^[1]以及其他研究者对此作了研究,但所采用的计算方法不能得到唯一解。最近,Chambaudet等^[2]提出用烟雾运流模型来解决反演模拟问题;Igli等^[3]和Miellou等^[4]对此模型做了更深入的研究,得到地质热历史的唯一解。本文提出一种新的反演模拟计算方法,并与烟雾运流模型计算结果进行了比较,两者互相一致,并都得到正演模拟的证明。

1 · 理论计算

· · 由单激活能等温退火方程^[5]：

$$l=l_0 \exp\{-\alpha_0 \Delta \tau \exp[-E_0/(k \theta)]\}$$

(1)

可以得到

$$\theta = E_0 / \{k \ln[\alpha_0 \Delta \tau / \ln(l_s/l)]\}$$

(2)

式中, l_s 为裂变径迹在等温退火开始时的长度, l 为裂变径迹在等温退火终了时的长度, $\Delta \tau$ 为等温退火时间长度, θ 为等温退火温度, E_0 为裂变径迹退火激活能, α_0 为裂变径迹退火系数, k 为玻耳兹曼常数。

· · 在反演中, 由测量得到的矿物中的裂变径迹长度分布是已知的。为了进行反演模拟, 首先把径迹长度分布

区间划分成许多子区间, 当划分的子区间数目足够多时, 可以认为在某一子区间内温度变化近似为等温过程, 这样小的子区间相应的时间长度可用下式计算

$$d\tau = \omega(l)dl/b(\tau)$$

(3)

式中, $d\tau$ 为 $\Delta \tau$ 的微分形式; dl 为 Δl 的微分形式, $\Delta l = l_s - l$, 为子区间的长度; $\omega(l)$ 为在径迹长度 l 的子区间的径迹密度; $b(\tau)$ 为 ^{238}U 自发裂变径迹在 τ 时刻的有效产生率。

· · $b(\tau)$ 可用下式计算

$$\int_0^T b(\tau) d\tau = \int_0^\infty \omega(l) dl$$

(4)

式中, T 为矿物可以保留 ^{238}U 自发裂变径迹的年龄。

· · 采用 (2) · (3) · (4) 式可以求得每一子区间的温度以及这一子区间的时间坐标, 从而解出地质热历史。

· · 同时, 我们采用 Chambaudet 等^[2] 的烟雾运流方程的如下逆方程及其解作了反演模拟决定。

$$dt/dl = -\omega(l)/b(t)$$

(5)

式中, t 为时间,由初始条件

$$t(l_0)=0$$

(6)

· · · 温度函数

$$\theta(t)=E_0/\{k\ln[\alpha_0 l \omega(l)/b(t)]\}$$

(7)

通过求解满足(6)式、(5)式以及(7)式,同样能得到地质热历史。

· · 对于任意假定的地质热历史 $\theta(t)$,可以由正演方法计算裂变径迹长度分布。我们以正演计算的径迹长度分布作为已知径迹长度分布,分别采用以上两种反演方法计算地质热历史,计算结果示于图1。

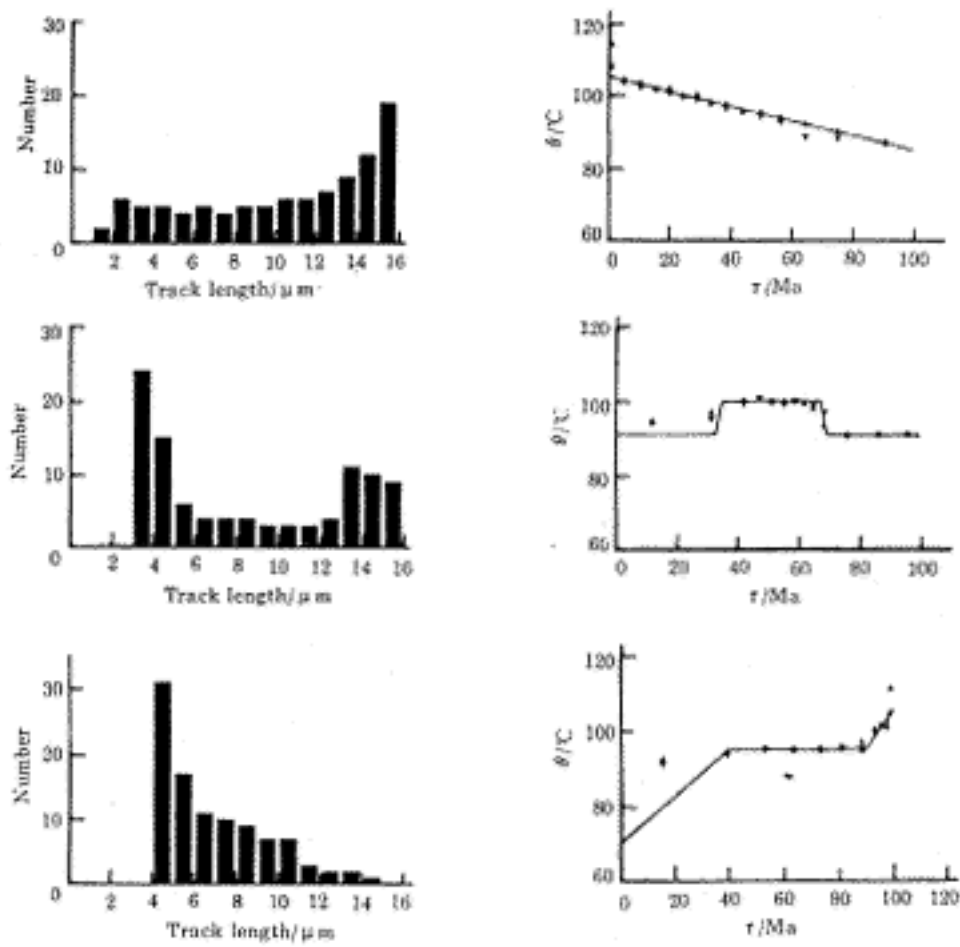


图1 · · 地质热历史计算实例

Fig.1 Calculated examples of geological thermal histories

· · 图1左侧是三种不同的径迹长度分布图,右侧各点是由左侧对应的径迹长度分布用两种方法计算的各年代的地质温度值。由图1可见,两种反演方法得到的结果基本一致。实际上,在正演过程中,图1左侧的径迹长度分布是由图1右侧的温度-时间曲线(实线)经正演计算出来的。由图1可以看出,反演计算的地质温度值与最初假设的温度-时间曲线也基本符合,反演结果与正演时的假设条件相一致,从而说明两种反演方法都是正确的。

2 · 结论

· · 我们提出的这种新的反演地质热历史的方法能得到地质热历史的唯一解。把该方法与Chambaudet等的烟雾运流模型进行了对比,两者计算结果基本一致。用正演方法对两种反演方法进行了检验,检验结果说明,所提出的反演方法与烟雾运流模型方法都是正确的。

致谢 · 感谢中国原子能科学研究院HI-13串列加速器和重水反应堆运行人员的帮助。

* 国家自然科学基金(19575070)和核工业科学基金(J95F01033)资助项目

作者单位: 郭洪英 · 郭士伦 · 王玉兰 · 李 · 丽 中国原子能科学研究院 · 北京
· 102413; 孙镇城邱楠生 中国石油大学 · 北京

参考文献

- 1 Lutz T M, Omar G. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104:181-195
- 2 Chambaudet A, Miellou J C, Igli H, et al. Nucl Tracks Radiat Meas, 1993, · 22:763-772
- 3 Igli H, Miellou J C, Chambaudet A, et al. Appl Radiat Isot, 1995, 46:507-508
- 4 Miellou J C, Igli H, Chambaudet A, et al. Nucl Tracks Radiat Meas, 1997, · 28:549-553
- 5 M^ärk E, Pahl M, Purtscheller F, et al. Tscherma's Mineral Petrlogr Mitt, 1973, · 20:131-154