

# 中国南方红土中石英颗粒的 E' 心寿命\*

夏 应 菲

(南京师范大学地理系, 南京 210097)

杨 浩

(中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放实验室, 南京 210008)

**摘 要** 利用石英颗粒进行电子自旋共振 (ESR) 年代学研究, 其 E' 心的寿命必须大于样品可能沉积年龄一个数量级以上。本文绘制了南方红土中石英颗粒的等时退火曲线, 选择出合适的等温退火温度。根据实验结果, 拟合出石英颗粒的 E' 心的寿命温度曲线, 推导出常温 (293K) 下 E' 心的年龄为  $3.09 \times 10^8$  年, 证明了就 E' 心的寿命而言, 石英颗粒完全可以用来对中国南方红土剖面进行 ESR 断代。

**关键词** E' 心年龄, 石英颗粒, 红土, ESR 测年

**中图分类号** S152.1

对于年轻地质体, 有较多的测年方法<sup>[1]</sup>。相对于第四纪常用测年方法, 电子自旋共振法 (ESR) 是近二十年来发展起来的新方法, 具有较多的优点, 并已初步应用于南方红土的断代<sup>[2,3]</sup>。但应用 ESR 方法有一些前提条件, 其中较重要的一条是为测年所采用的 ESR 信号除了要满足强度随吸收剂量的增加而增长外, ESR 信号必须足够稳定, 即顺磁中心寿命必须足够长, 至少要比样品的可能年龄大一个数量级<sup>[4,5]</sup>。顺磁中心有低温杂质心 (如 Al 心, Ge 心) 和常温 E' 心两类。石英颗粒的常温 E' 心与硅氧四面体中部分硅氧键的断裂有关<sup>[6]</sup>, 在 ESR 年代学研究中应用较为普遍。孙建中、金嗣昭对黄土中的石英进行了等时、等温退火实验, 结果发现黄土中石英颗粒 E' 心的寿命在  $10^8$ — $10^{10}$  年之间, 远大于样品的实际年龄<sup>[6,7]</sup>。为了在中国南方热带亚热带地区应用 ESR 方法确定沉积物的沉积时代, 本文根据等时、等温退火实验结果推算了红土中石英颗粒的 E' 心寿命。

## 1 样品与测试方法

测试样品选自安徽宣城第四纪红土剖面中均质红土, 采样层位距剖面顶部 2.2 米, 时代为中更新世晚期<sup>[3]</sup>。

根据文献 [3] 处理程序处理样品, 将处理好的纯石英样品分成 46 份, 每份 200 毫克。

\* 中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放实验室资金资助

收稿日期: 1997-08-06; 收到修改稿日期: 1998-03-26

取 16 份进行等时退火实验。从室温到 723K 各个不同的温度下将样品一律加热退火 10 分钟,然后分别在室温下测量各自的 ESR 谱,作出等时退火曲线,并据此选择适当的等温退火温度;取 30 份样品,在选定的温度下加热退火不同的时间,室温下测量其 ESR 谱。

样品的前处理过程在南京土壤研究所土壤圈物质循环实验室土壤年代研究室完成;ESR 谱测量在南京现代分析测试中心顺磁共振实验室完成。测试仪器为德国 12200-D-SRC 型波谱仪。

## 2 结果与讨论

图 1 是根据实验结果绘制的石英颗粒等时退火曲线。可以看出,曲线分为三段,室温

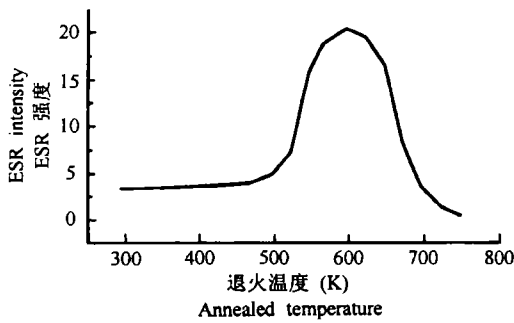


图1 石英颗粒等时退火曲线

Fig.1 Curve of ESR intensity of quartz particles annealed at the equitime

到 500K, ESR 信号基本不变或缓慢增长,说明 500K 以下样品的 ESR 信号基本稳定;500 到 600K 温度段 E' 心的信号迅速增长,说明有其它缺陷的电子扩散到 E' 心中;600 到 748K 温度段 E' 心的强度迅速下降,表明在热作用下 E' 心产生衰变。由此缺陷可以选择石英颗粒样品合适的退火温度。从 623K 开始选择了 5 个温度作样品的等温退火实验,分别为 623, 648, 673, 698, 723K, 得到每个温度下样品的 E' 心的 ESR 强度值,数据列于表 1。

表1 石英颗粒等温退火实验数据

Table 1 ESR intensity of quartz particles isothermal annealed

退火温度 Annealing temperature (K)	ESR信号 <i>I</i> 与退火时间 <i>t</i> (分钟)的对应关系 ESR intensity <i>I</i> versus annealing time <i>t</i>						
623	<i>t</i>	0	5	25	45	65	85
	<i>I</i>	9.11	8.92	7.79	7.11	6.31	5.97
648	<i>t</i>	0	5	10	15	25	30
	<i>I</i>	8.94	8.01	7.91	6.79	5.43	5.36
673	<i>t</i>	0	4	8	12	16	20
	<i>I</i>	8.17	6.99	6.66	5.52	5.11	4.21
698	<i>t</i>	0	3	6	9	12	15
	<i>I</i>	7.24	6.23	5.01	4.02	3.78	2.89
723	<i>t</i>	0	2	4	6	8	10
	<i>I</i>	7.03	4.92	3.29	2.01	1.63	0.96

顺磁中心在一定温度下的衰减规律为:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

式中,  $N_t$  是退火时间为  $t$  时的不配对电子数;  $N_0$  为初始时刻 ( $t = 0$ ) 的不配对电子数;  $\lambda$  是衰

减常数。τ = 1/λ 为顺磁中心在该温度下的平均寿命。

由于 ESR 强度 I 在一定温度下的衰减规律与不配对电子的衰减规律相同, 即:

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t} \tag{2}$$

式中, I<sub>t</sub> 为退火时间为 t 时的 ESR 信号强度, I<sub>0</sub> 为初始时刻的 ESR 信号强度。则:

$$\text{Ln}I_t = \text{Ln}I_0 - \lambda t \tag{3}$$

(3) 式为一线形方程。表 2 是按此关系得到的拟合结果。

表2 等温退火实验数据拟合方程

Table 2 Fitting functions of mean life versus isothermal annealing temperature

温度(K)	拟合方程	判决系数(R <sup>2</sup> )	平均寿命 τ <sup>1)</sup> (min)
Temperature	Fitting function	Coefficient of correlation	Mean life (min)
623	LnI = 2.1876 - 0.0050t	0.9885	200.00
648	LnI = 2.1952 - 0.0182t	0.9704	54.95
673	LnI = 2.1037 - 0.0317t	0.9804	31.55
698	LnI = 1.9846 - 0.0601t	0.9854	16.64
723	LnI = 1.9630 - 0.1966t	0.9929	5.087

1) τ = 1/λ

利用热力学陷阱活化能公式:

$$\tau^{-1} = \nu_0 e^{-E/\kappa T} \tag{4}$$

式中, E 是陷阱电子活化能; ν<sub>0</sub> 是企图逃逸电子频率; κ 是玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。则可作如下推导:

$$\text{Ln}\tau = E / (\kappa T) - \text{Ln}\nu_0 \tag{5}$$

(5) 式表明 Lnτ 和 1/T 为线性关系。

图 2 为寿命温度曲线。以 Lnτ 为纵坐标, 1000/T 为横坐标, 其拟合方程为:

$$\text{Ln}\tau = -19.265 + 15.232 \times (1000/T) \tag{6}$$

则据 (6) 式可以计算出常温 (T = 293K) 下 E' 心的寿命为 3.09 × 10<sup>8</sup> 年。

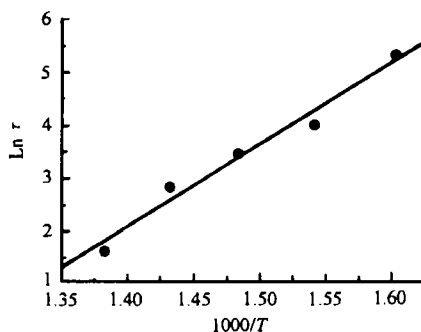


图2 石英颗粒寿命温度曲线

Fig.2 Fitting curve of E' center's mean life versus the annealing temperature

### 3 结 论

石英颗粒的等时、等温退火石英推导出中国南方红土剖面中石英颗粒的 E' 心的寿命为 3.09 × 10<sup>8</sup> 年, 远大于样品的沉积年龄。因此就 E' 心的寿命而言, 石英颗粒完全可以用来对南方红土进行 ESR 年代学研究, 划定红土系列的期次, 建立中国热带亚热带地区红土系列的时间标尺。同时可以确定第四纪以来发生的数次红土的北侵和黄土的南进事件, 为地区性的古地理, 古环境的重建作出重要贡献。

## 参 考 文 献

1. 陈文奇, 彭 贵. 年轻地质体系的年代测定. 北京: 地震出版社, 1991
2. 赵其国, 杨 浩. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究. 第四纪研究, 1995, (2): 107—115
3. 杨 浩, 赵其国, 李小平, 夏应非. 安徽宣城风成-红土系列剖面 ESR 年代学研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 293—300
4. Henning G T, Grun R. ESR dating in Quaternary Geology. Quaternary Science Reviews, 1983, 2: 157
5. Yoko Yama Y. ESR dating of quartz from Quaternary sediments, First attempt. Nucl. Track, 1985, 10: 921—928
6. 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991, 27—38
7. 金嗣昭, 彭子成. 洛川黄土的 ESR 研究. 科学通报, 1988, (14): 1092—1095

## THE E' CENTER'S MEAN LIFE OF QUARTZ IN THE RED EARTH OF SOUTH CHINA

Xia Ying-fei

*(Department of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)*

Yang Hao

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)*

### Summary

This paper deals with the E' center's mean life of quartz in the Quaternary red earth developed largely in South China. According to the results of annealing experiments at equitime (ten minutes), the curve of equitime-annealing of the quartz particles was drawn successfully. The curves showed that the E' center of quartz declined quickly from the temperature of 600K to 748K, based on the curve the probable temperatures of isothermal annealing experiments were selected as following: 623, 648, 673, 698 as well as 723K. After each sample's being annealed at the selected temperatures, the ESR intensity was measured at the room temperature respectively. Considering the fitting function of ESR intensity versus the annealing time (minutes), each sample's E' center's mean life at corresponding temperature was acquired. Consequently, from the fitting line of E' center's mean life versus temperatures, we assumed that the E' center's mean life at room temperature would be  $3.09 \times 10^8$  years. This study demonstrates that the quartz particle in the red earth of south China is fully suitable to be selected as the specimen for ESR dating.

**Key words** E' center's mean life, Quartz particle, Red earth, ESR dating