

北京猿人遗址第四层裂变径迹法年代测定

郭士伦 刘顺生* 孙盛芬 张 峰** 周书华
郝秀红 胡瑞英** 孟 武 张鹏发 刘京发**

(中国原子能科学研究院,北京 102413)

(*中国科学院大地构造研究所,长沙 410013)

(**中国科学院地球化学研究所,贵阳 550002)

关键词 裂变径迹年龄测定;北京猿人遗址;古代灰烬;楣石;延续时间

内 容 提 要

用裂变径迹法测定了北京猿人遗址第四层的年代,测定工作采用北京猿人遗址第四层的灰烬,从中分选出楣石,利用北京猿人用火时已充分退火的楣石进行年代测定,得到的结果为 29.9 ± 5.5 万年。这一结果与热释光法和铀系法测定的第四层的年代结果一致。由裂变径迹法推知,北京猿人遗址第十层与第四层之间的延续时间为15.3万年。

一、引 言

北京猿人遗址是世界发现的直立人阶段人类遗址中材料最丰富、最全面的一个地点。对北京猿人遗址的研究,已经为人类起源和发展的研究提供了宝贵资料。测定北京猿人生活的年代,是研究北京猿人以及人类进化的重要内容。

古人类学、古生物学和考古年代学研究说明,北京猿人在遗址中经历了漫长的岁月;为了比较遗址中各层位的时间差异,最好采用同一种年代学方法测定不同层位的年代,以便消除不同方法可能存在的方向不同的系统偏差对计算时间差异造成的影响。

在以前的研究中,我们已经用裂变径迹法对北京猿人遗址第十层的年代进行了测定(郭士伦等,1980a),如果能用裂变径迹法测定出其它层位的年代,对详细说明北京猿人遗址的绝对年代和不同层位之间的延续时间是有意义的。

裂变径迹法是用矿物或岩石中记录的 ^{238}U 自发裂变径迹测定地质年代的方法。各种矿物或岩石都含有微量铀杂质,在长久地质时间内, ^{238}U 原子核以一定速率产生自发裂变,每一自发裂变放出的两个碎片在矿物或岩石中产生一条连续的辐射损伤径迹,这种径迹可用化学蚀刻法显示出来。自发裂变径迹密度与矿物或岩石的铀含量和生成以来经过的时间(年龄)有关,测定自发裂变径迹密度和铀含量,可以求得矿物或岩石的年龄。

在常温下,矿物中的自发裂变辐射损伤径迹可长期保留,但在高温下,这种径迹逐渐消失(退火)。当受热停止和温度下降后,新产生的 ^{238}U 自发裂变又会留下辐射损伤径迹,利用后来记录的自发裂变径迹,可以测定考古年代。

北京猿人遗址第四层由厚约六米的灰烬层组成。根据以前用裂变径迹法测定第十层年代的经验,第四层年代也应当可以用裂变径迹法进行测定。因此,我们用裂变径迹法进一步测定了北京猿人遗址第四层的年代。

二、测量过程

1. 灰烬样品采集和矿物分选

为了测定北京猿人遗址第四层的年代,我们从第四层采集了大约五公斤北京猿人遗留的灰烬,从中分选出矿物——楣石。由于灰烬中含有的矿物颗粒很少,采用了以下步骤进行矿物分选:灰烬样品→人工脱泥→磁选→重液分离→电磁选→介电分离→双目镜挑选。楣石为单斜晶系、透明或半透明、蜜黄色矿物,粒度 0.05—0.30mm。经过以上步骤分选后,共挑选出几百个楣石颗粒,最后抽样经 X 粉晶鉴定,证明挑选的矿物为楣石。用此楣石进行年代测定。

2. 矿物样品制备、蚀刻和照射

将楣石颗粒固定在环氧树脂中,依次用 M_{20} 、 M_7 和 $M_{3.5}$ 金刚砂磨出楣石内表面(与原表面距离大于裂变碎片射程的平面),并用氧化铬抛光成光学平面。然后,对自发裂变径迹进行蚀刻,蚀刻条件是: 37% HCl、80°C、80 分钟。蚀刻后,依次用自来水、蒸馏水和去离子水洗净,在无尘环境中晾干,用新劈开的铀含量极低的白云母片(外探测器)盖在楣石抛光面上,压紧,用高纯铝箔把它们与测量中子通量用的钴片包在一起,装入铝罐中,放入中国原子能科学研究院重水反应堆进行照射,热中子引起 ^{235}U 裂变,用外探测器白云母片记录 ^{235}U 诱发裂变径迹,用钴片记录照射在楣石上的中子积分通量。照射后,将样品取出,对楣石抛光面上已蚀刻出来的自发裂变径迹进行退火鉴定和径迹测量。

3. 退火程度鉴定和自发裂变径迹测量

从灰烬中分选的楣石颗粒,在北京猿人用火时,有的受热温度较高,时间较长,可以充分退火;有的可能受热温度较低,时间较短,不能充分退火;有的是在火熄灭后落入的,没有退火。这些情况都可能发生。用裂变径迹法测定考古年代,必须选用古代人类用火时充分退火的矿物,如果使用的矿物未经充分退火,有可能把用火前矿物中记录的自发裂变径迹计入,使计算的年龄偏大。我们分选的楣石的退火程度可用楣石抛光面上自发裂变径迹的形状和密度加以判别。从径迹形状看,退火程度增大,会使径迹长度变短,直至消失。从径迹密度看,如果北京猿人烧火时,未使楣石退火,这种楣石抛光面上的径迹密度,应当比几十万年前北京猿人退火充分的楣石大几百倍以上;随着退火程度增大,抛光面上径迹密度减少,但在某一烧火前产生的径迹附近,必然会有一批密度相当大而长度变短的径迹存在,这是退火不充分的显著标志。如果楣石抛光面上看不到这批径迹,只在光洁的抛光面上看到偶然可遇的罕见的极少数径迹存在,说明楣石退火是充分的。

根据以上判别标准,用光学显微镜(油浸物镜, 100×10 , $n = 1.515$)对每一楣石颗粒进行了退火鉴定,在几百个楣石颗粒中,选出了 29 粒北京猿人用火时充分退火的楣石

进行年代测定。用同上显微镜条件读出了这些榴石抛光面上的自发裂变径迹数目。

4. 诱发裂变径迹蚀刻和测量

把反应堆照射时盖在榴石抛光面上的白云母取下,对白云母中记录的 ^{235}U 诱发裂变径迹进行蚀刻显影,蚀刻条件是:40% HF、25℃、20分钟。然后,用显微镜测量与已充分退火的榴石抛光面对应的白云母平面上的诱发裂变径迹数目。

三、测量结果

用第四层灰烬中北京猿人充分退火的29粒榴石进行了年代测定。在这些榴石的抛光面上,共发现39条自发裂变径迹;样品在反应堆中照射的中子积分通量为 $(5.67 \pm 0.28) \times 10^{15} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$;在外探测器白云母上记录的诱发裂变径迹数目为41438条。用如下公式计算年代 T :

$$T = \frac{C_{235}}{C_{238}} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\lambda_f} \cdot \phi_0 \cdot \frac{N_f}{N'_i} \cdot \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \quad (1)$$

式中: C_{235} —— ^{235}U 同位素相对丰度

C_{238} —— ^{238}U 同位素相对丰度

$\hat{\sigma}$ —— ^{235}U 热中子诱发裂变的有效截面

ϕ_0 ——等效于2200米/秒的中子积分通量

λ_f —— ^{238}U 自发裂变衰变常数

N_f —— ^{238}U 自发裂变径迹数目

N'_i —— ^{235}U 诱发裂变径迹数目

ε' ——白云母外探测器记录矿物表面一个裂变碎片射程厚度内发生的诱发裂变的效率

ε ——矿物内表面记录两侧各为一个裂变碎片射程厚度内发生的自发裂变的效率之和

把前面测量的结果 N_f 、 N'_i 和 ϕ_0 的值代入公式(1)中,利用常数 $C_{235}/C_{238} = 7.235 \times 10^{-3}$ (Cowan and Adler, 1976), $\lambda_f = (7.03 \pm 0.21) \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ (刘顺生、张峰,1990),与反应堆中子能谱有关的常数 $\hat{\sigma} = \sigma_0 \left(g + r \sqrt{\frac{T_n}{T_0}} \cdot S_0 \right) = 562$ 靶和以前刻度的 $\varepsilon'/\varepsilon = 0.970 \pm 0.067$ (郭士伦等,1980b),求得北京猿人遗址第四层年代为:

$$T = 29.9 \pm 5.5 \text{ 万年}$$

前面的 $\sigma_0 = 582$ 靶,为2200米/秒中子引起 ^{235}U 裂变的截面, g 、 r 、 $\sqrt{\frac{T_n}{T_0}}$ 和 S_0 为与反应堆有关的常数。年代结果中的误差只包括裂变径迹计数的统计误差($\pm 16\%$)、中子通量测量的误差($\pm 5\%$)和探测效率(ε'/ε)刻度的误差($\pm 6.9\%$);白云母的铀含量很低,白云母中 ^{235}U 诱发裂变对测量结果带来的影响可以忽略;由于严格检查北京猿人用火时榴石的退火程度,只测量退火充分的榴石中的自发裂变径迹数目,把未充分退火的榴石的

自发裂变计入的可能性很小,由此造成的影响可以忽略。

四、讨 论

用裂变径迹法测定了北京猿人遗址等四层的年代,得到的结果为 29.9 ± 5.5 万年。这一结果与用热释光法测定的年代 29.2 ± 2.6 万年和 31.2 ± 2.8 万年(裴静娴, 1985)以及铀系法测定的年代 30.0^{+4}_{-3} 万年(原思训等,待发表)结果在实验误差范围内吻合。这表明,北京猿人遗址第四层的年代大约为 30 万年左右。

由裂变径迹法测定的第十层年代(45.2 ± 4.4)万年*和第四层年代(29.9 ± 5.5)万年(本文),可以看出:北京猿人遗址第十层至第四层的延续时间约为 15.3 万年。

作者对中国科学院古脊椎动物与古人类研究所黄慰文和袁振新、北京三所朱荆富、地球化学所周正和耿建民,中国原子能科学研究院张存贤、曹宜铮和张鹏飞同志给予的帮助表示谢意;在工作进行中,贾兰坡先生、吴汝康先生、李寿枏、黄胜年、欧阳自远和王道德同志给予关心和指导,作者一并表示谢意。

(1990年4月8日收稿)

参 考 文 献

- 刘顺生、张峰,1990。 ^{238}U 自发裂变常数 (λ_f) 的测定。中国科学, B 辑,(8): 886—893。
 原思训等,周口店遗址的铀系骨化石年代研究。待发表。
 郭士伦等,1980a。裂变径迹法测定北京猿人的年代。科学通报,25(24): 1137—1139。
 郭士伦等,1980b。用裂变径迹法测定北京猿人年代。原子核物理,2(2): 183—188。
 裴静娴,1985。北京猿人洞穴堆积及其它洞穴堆积的热发光年龄。《北京猿人遗址综合研究》。科学出版社,北京, 256—260页。
 Cowan, G. A. and H. H. Adler, 1976. The variability of the natural abundance of ^{235}U , *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40: 1487—1490。

* 原来按老常数: $C_{235}/C_{238} = 7.26 \times 10^{-3}$, $\lambda_f = 6.9 \times 10^{-17} \text{a}^{-1}$ 计算的年龄为(46.2±4.5)万年(郭士伦等,1980a),现按新的常数值(正文)计算结果为(45.2±4.4)万年。

FISSION TRACK DATING OF 4TH LAYER OF THE PEKING MAN SITE

Guo Shilun Liu Shunsheng* Sun Shengfen Zhang Feng** Zhou Shuhua Hao Xiuhong
Hu Ruiying** Meng Wu Zhang Pengfa Liu Jingfa**

(*Institute of Atomic Energy, Beijing 102413*)

(**Institute of Geotectonics, Academia Sinica, Changsha 410013*)

(***Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang 550002*)

Key words Fission track dating; The Peking Man Site; Ancient ashes; Sphene; Duration of Living

Abstract

Fission track dating of Layer 4 of the Peking Man Site has been made with ancient ashes left behind by Peking Man in Layer 4 of the Site. A mineral—sphene—has been separated from the ashes and well-annealed sphene grains have been used to date Layer 4. The result is 0.299 ± 0.055 Ma (age of Layer 4), which is in agreement with the results of thermoluminescence dating and U-series dating. From fission track dating, an inference that the duration from Layer 10 to Layer 4 was about 0.153 Ma has been drawn.