

# 长江三峡坝区断层泥的裂变径迹法年龄\*

张 峰 王世杰

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550002)

**摘 要** 仙女山断裂带和九湾溪断裂带是位距三峡工程坝址最近的两条主断裂。本文对断裂带中断层泥、断裂壁岩和断裂带围岩内选出的磷灰石进行了裂变径迹断代学的研究,并对径迹长度的频率分布进行统计测量。研究证实,仙女山断裂带与九湾溪断裂带发生的时期分别为 $0.60 \pm 0.05$  Ma B. P. 和 $0.29 \pm 0.04$  Ma B. P.,与它周边的围岩经受的主要构造-热事件年龄( $22.30 \pm 1.8$  Ma)截然不同。与其它方法年龄测定结果对比分析,均未见到全新世以来有明显的活动迹象,以此确认三斗坪坝址属稳定地壳区。

**关键词** 裂变径迹 三峡 九湾溪和仙女山断裂带 磷灰石 断层泥

## 0 引 言

三峡工程是一项巨大的水利枢纽工程。在其附近有两条影响区域构造环境、孕育震源的主要断裂:一是以仙女山断裂带为代表的北北西向断裂,二是以九湾溪断裂带为代表的北北东向断裂(图1)。对于这两条断裂带的稳定性问题,以往采用扫描电镜及显微结构物分析、热释光和电子自旋共振测年方法进行了较为广泛的评价,但断裂带构造活动性的认识始终存在分歧(李兴唐,1991;岑嘉法等,1992;王瑞江等,1995)。自 Fleischer and Price (1964)提出利用矿物中的裂变径迹测定地质年代以来,其应用领域更加广泛(Andressen, 1995)。本文利用裂变径迹法,根据磷灰石中裂变径迹具有在较低温度下能够退火的特征(王世成等,1994;Laslett et al., 1987),研究不同地点、同种矿物产生的核径迹以及径迹长度的变化,通过磷灰石裂变径迹保存年龄,论证断裂带的活动是否对三峡库区造成潜在危害。

## 1 采样地质背景和矿物分选

三峡坝区位于扬子准地台中部,黄陵背斜的核部南端的结晶岩基底上。仙女山断裂带位于三峡工程西南20 km,总体走向为 $NW304 \sim 350^\circ$ ,倾角 $50 \sim 80^\circ$ ,全长80 km。九湾溪断裂带长约45 km,总体走向 $NE10 \sim 20^\circ$ ,倾角 $70 \sim 80^\circ$ 。根据断裂结构物特征和擦痕性质,表明这两条断裂出现力学特征转换(吴树仁,1994)。仙女山断裂带的测试样品采自荒口和都镇湾两个点,九湾溪断裂带的样品采自高湾溪和黑龙潭两个点。从每条断裂带各取断裂

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号49673196)。

张 峰,男,1943年11月生,高级工程师,从事地质年代学研究。  
1999-10-19收稿,2000-03-06改回。

壁岩和断层泥20 kg左右,样品外观是浅灰色灰岩和浆块状糜棱岩组成,在远离断裂带200 m采集断裂带的围岩样本10 kg,它们是坚硬的碳酸盐岩石。

将采集的上述标本,利用磁选→电磁选→介电分选→重液分选→双目镜下挑选;从中选出磷灰石,它们是浅灰色不规则的晶体,少数为浑圆状,颗粒直径为50~80 μm。

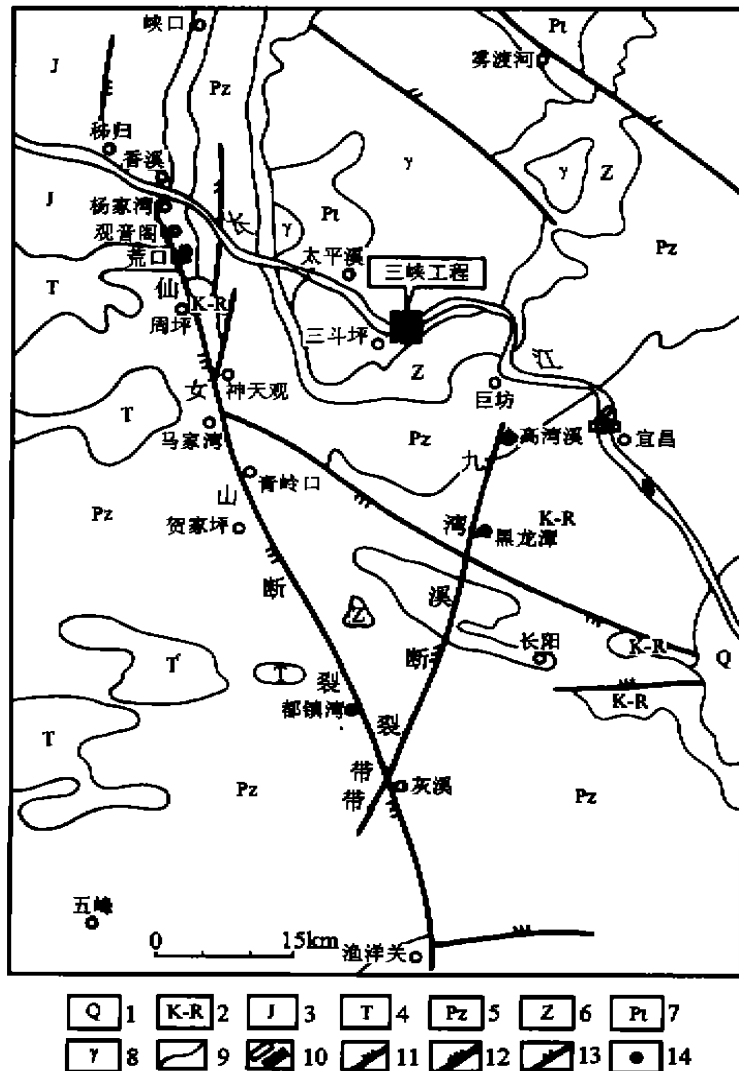


图1 长江三峡坝区构造地质及采样点简图

- 1. 第四系; 2. 白垩系和第三系; 3. 侏罗系; 4. 三叠系; 5. 古生界; 6. 震旦系; 7. 元古界; 8. 花岗岩; 9. 地质界线;
- 10. 三峡工程; 11. 压性断层; 12. 压扭性断层; 13. 张扭性断层(据谭成轩); 14. 采样点

Fig. 1 Sketch map of tectonic geology of Yantze Three-Gorge dam site and sampling site

## 2 制片、辐照与蚀刻

将选出的磷灰石一分为二,利用总体法(张峰等,1997)实验步骤制片,样品用纯铝箔

包好送入原子能反应堆进行辐照,照射的中子积分通量,采用美国国家标准局的标准铀玻璃 NBS962对钴的活化箔方法测量的中子通量进行监测。利用 NBS 铀剂量玻璃照射后得到的径迹密度  $P_d$ ,取  $^{235}\text{U}$  热中子诱发裂变截面  $\sigma=580\times 10^{-24}\text{cm}^2$ ;通过  $\phi=P_d/b$  和刻度系数  $b=3.00\times 10^{11}$ (翟鹏济等,1996)计算出中子通量,与钴片活性的  $\gamma$  谱仪测量结果进行比较,两种方法得到的热中子积分通量在相对误差10%以内符合。磷灰石的蚀刻条件为 7% $\text{HNO}_3$ ,25 $^\circ\text{C}$ ,30s。

### 3 结果讨论

本工作采用德国产 LABOVAL 生物显微镜(油浸放大 A10 $\times$ 100)进行统计测量,利用裂变径迹年龄计算简化公式进行年龄计算:

$$T = I/\lambda_F \cdot \sigma \cdot \phi_0 \cdot \rho_s/\rho_t \quad (1)$$

式中  $T$  为裂变径迹年龄, $I$  为  $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  的丰度比,采用  $7.2527\times 10^{-3}$ (Cowan and Adler, 1976), $\lambda_F$  为  $^{238}\text{U}$  的自发裂变衰变常数,采用  $8.46\times 10^{-17}\text{a}^{-1}$ (Hurford, 1990), $\sigma$  为  $^{235}\text{U}$  热中子诱发裂变的有效截面,取值  $580\times 10^{-24}\text{cm}^2$ , $\phi_0$  为中子通量, $\rho_s$  为自发裂变径迹密度, $\rho_t$  为诱发裂变径迹密度,把测得  $\rho_s$ 、 $\rho_t$  和  $\phi_0$  值代入公式(1),即得表1和表2的结果。

表1 断层泥和断裂壁岩中磷灰石的裂变径迹年龄

Table 1 Fission-track ages of apatite separated from fault gouge and fault cliff rock samples

编号	样品产地	$\rho_s$		$\rho_t$		中子通量 / $n\cdot\text{cm}^{-2}$	年龄 /Ma		
		粒数	径迹数 $10^4/\text{cm}^2$	粒数	径迹数 $10^6/\text{cm}^2$				
Xi-Ni	仙女山断裂带中断层泥	40	$76\pm 0.8$	1.448	40	$11578\pm 94$	2.208	$1.805\times 10^{15}\pm 0.08$	$0.58\pm 0.04$
Xi-Bi	仙女山断裂壁岩	35	$71\pm 0.9$	1.551	35	$10453\pm 78$	2.276	$1.805\times 10^{15}\pm 0.08$	$0.61\pm 0.05$
Jiu-Ni	九湾溪断裂带中断层泥	22	$94\pm 1.1$	3.256	22	$25682\pm 134$	8.897	$1.725\times 10^{15}\pm 0.06$	$0.31\pm 0.03$
Jiu-Bi	九湾溪断裂壁岩	25	$89\pm 1.0$	2.713	25	$29678\pm 132$	9.048	$1.725\times 10^{15}\pm 0.06$	$0.26\pm 0.05$

表2 断裂带围岩中磷灰石裂变径迹年龄

Table 2 fission-track ages of apatite from country rocks in the fault zones

编号	样品产地	$\rho_s$		$\rho_t$		中子通量 / $n\cdot\text{cm}^{-2}$	年龄 /Ma		
		粒数	径迹数 $10^4/\text{cm}^2$	粒数	径迹数 $10^6/\text{cm}^2$				
Xi-We1	仙女山断裂	20	$1198\pm 10$	4.947	18	$5112\pm 49$	2.169	$1.805\times 10^{15}\pm 0.08$	$21.0\pm 1.1$
Xi-We2		10	$812\pm 6.0$	6.189	10	$3021\pm 31$	1.303	$1.805\times 10^{15}\pm 0.08$	$24.1\pm 1.9$
Xi-We3	带围岩	9	$633\pm 5.3$	5.339	9	$2808\pm 23$	2.379	$1.805\times 10^{15}\pm 0.08$	$20.2\pm 1.8$
Jiu-We1	九湾溪断裂	15	$1318\pm 11$	6.697	15	$4530\pm 39$	2.302	$1.725\times 10^{15}\pm 0.06$	$26.1\pm 2.2$
Jiu-We2	带围岩	10	$698\pm 5.6$	5.321	15	$3123\pm 28$	2.380	$1.725\times 10^{15}\pm 0.06$	$20.1\pm 1.2$

从实验数据可以看到,尽管测量的颗粒不多,但显微镜下观察的  $\rho_s$  和  $\rho_t$ ,在等同的矿物表面积之下,它们的径迹密度相差悬殊,且同一断裂带中的断层泥和断裂壁岩两种样品

年龄接近平行。表明这两个断裂带断裂时期不同, 仙女山断裂带是在  $0.60 \pm 0.05$  Ma B. P. 时发生的, 而九湾溪断裂带是在  $0.29 \pm 0.04$  Ma B. P. 时发生的。

从表2中可见, 仙女山断裂带围岩与九湾溪断裂带的围岩加权平均年龄为  $22.3 \pm 1.8$  Ma; 反应了该区在该时期的一次热事件。而断裂带中的断层泥和断裂壁岩实测年龄却远远小于热事件发生的年龄。断裂带与围岩各自裂变径迹年龄的巨大差异, 说明断裂带发生的晚期事件十分局限, 其影响范围仅仅限于断裂带内, 并没有影响到围岩。

根据  $\rho_0$  密度和  $\rho_1$  密度直接计算出来的年龄是裂变径迹实测年龄, 这个年龄有一个重要前提, 那就是从某一地质事件发生以来,  $\rho_1$  应无损失, 而磷灰石的径迹长度主要受温度和压力控制, 其径迹退火区在  $70 \sim 120^\circ\text{C}$ , 如果样品中的  $\rho_1$  没有(退火)损失, 实测年龄可代表样品的真实年龄。为验证磷灰石是否完全退火, 采用  $\rho_1$  和  $\rho_2$  全长法进行对比。分别对  $\rho_1$  和  $\rho_2$  的径迹长度进行测量, 利用最小刻度为  $0.5 \mu\text{m}$  的标尺, 对  $\rho_1$  测定了80条左右, 它们的径迹长度基本上相同, 为  $14.2 \pm 0.5 \mu\text{m}$ , 标准偏差为  $1.0 \mu\text{m}$ , 诱发径迹长度一般为  $16.5 \pm 0.9 \mu\text{m}$ , 自发裂变径迹长度比诱发裂变径迹长度要短。无论诱发裂变径迹长度或自发裂变径迹长度, 其长度分布直方图呈单峰, 如图2所示; 各具有基本相同的长度, 表明前期记录的热信息已丢失。后期未遭到明显的热扰动。由此可见, 本次实验得出的两个断裂带的最后一期活动年龄是可信的。

需要说明的是, 利用矿物中的裂变径迹测定地质年代, 其方法仍存在某些实际问题的困扰。主要表现在中子通量的准确测定、 $^{238}\text{U}$  裂变常数的选择、各自实验技术等, 致此造成不同实验室或不同人测量同一样品缺乏可比性(Miller et al., 1990)。1988年在法国召开第六届国际裂变径迹测定地质年代学术讨论会, 会议认为需要对裂变径迹定年法进行标准刻度, 推荐了几种矿物为国际年龄标样。本实验室在对国际标准样(美国 Fish 峡谷凝灰岩中的锆石)年龄测定中, 完成的数据与推荐的参考年龄在误差范围内一致(张峰等, 1989)。

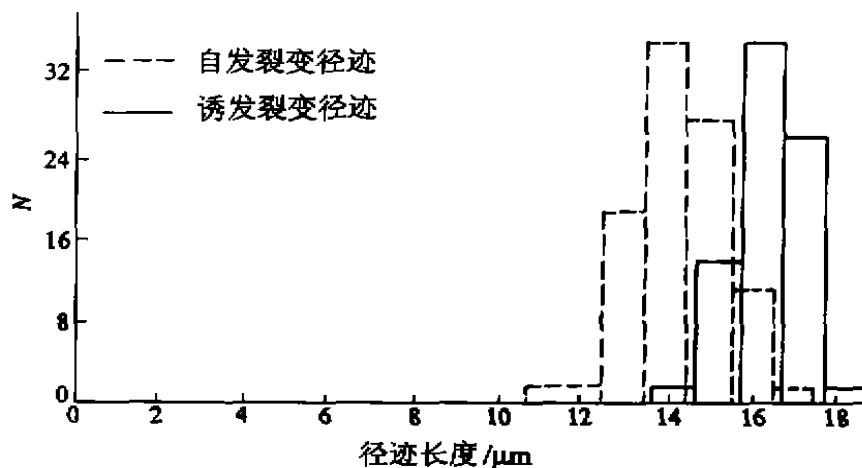


图2 自发裂变径迹和诱发裂变径迹长度分布

Fig. 2 Length distribution of spontaneous fission tracks and induced fission tracks

本次实验研究结果与前人利用不同的测年方法所获得的年龄数据相比较,不难发现,有些较为吻合,有些则有较大的差别(见表3)。

表3 三峡水库外围主要断裂带绝对年龄测定数据

Table 3 The absolute ages of the main fault zones in the periphery of the Three-Gorge Reservoir

断裂名称	测试方法与年龄值/Ma(王瑞江等,1995)			
	TL	ESR	U系法	F-T法
仙女山断裂带	1.99±0.2石英	0.88±0.26方解石	>0.60方解石	0.60±0.05
九湾溪断裂带	0.28~0.77方解石	1.14±0.23石英	0.22方解石	0.29±0.04

各种环境因素,如温度、静压力、冲击作用、塑性变形、热液作用等都会影响裂变径迹的稳定性。利用矿物中<sup>238</sup>U自发裂变径迹特征研究地质热历史,采用径迹数量及径迹长度变化进行论证,即可判断它的年龄。裂变径迹年龄研究结果证实这一结论,即仙女山断裂带和九湾溪断裂带的构造活动性,对长江三峡枢纽工程并不构成威胁。

致谢 本文承蒙欧阳自远院士审阅修改,特此谢忱。

### 参 考 文 献

- 李兴唐. 1991. 长江三峡水电站坝址区断裂新活动年龄及地壳稳定性. 地质科学, (2): 111—119.
- 岑嘉法, 楚占昌, 袁登维, 等. 1992. 长江三峡工程重大地质与地震问题研究. 北京: 地质出版社, 1—18.
- 王瑞江, 谭成轩. 1995. 长江三峡地区仙女山断裂带构造活动性及向北延问题讨论. 地球科学, 20(6): 693—696.
- 王世成, 康铁莹. 1994. 基于磷灰石裂变径迹数据的热历史反演. 科学通报, 39(9): 816—819.
- 吴树仁. 1994. 长江三峡仙女峰断层带微构造及变形环境探讨. 地质科学, 29(3): 232—235.
- 翟鹏济, 赵元龙, 胡瑞英, 等. 1996. 裂变径迹定年实验室标准化刻度. 核技术, 19(10): 629—630.
- 张 峰, 刘顺生. 1989. 铀石国际标准样和华南玻璃陨石的裂变径迹年龄测定. 地球化学, 3: 271—275.
- 张 峰, 刘铁庚, 张凤祥. 1997. 裂变径迹法研究白云鄂博东矿的成矿时代及热历史. 自然科学进展, 7(2): 202—206.
- Andressen P A M. 1995. Fission-track analysis: Principles, methodology and implications for tectono-thermal histories of sedimentary basins, orogenic belts and continental margins. Geol en Mijnbouw, 74(1): 1—12.
- Cowan G A and Adler H H. 1976. The variability of the natural abundance of <sup>235</sup>U. Geochim. Cosmochim. Acta, 40(1): 1478—1490.
- Fleischer P L And Price P B. 1964. Technique for geological dating of minerals by chemical etching of fission fragment track. Geochim. Cosmochim. Acta, 28: 1705—1714.
- Hurford A. J. 1990. International union of geological sciences; Subcommittee on geochronology recommendation for the standardization of fission track dating calibration and data reporting. Nucl. Track Radiat. Meas., 17(3): 233—236.
- Laslett G M, Green P F, Duddy I R and Gleadow A J W. 1987. Thermal annealing of fission track in Apatite 2A quantitative analysis. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 65: 1—13.
- Miller D S, Eby N, McCorkell P, et al. 1990. Results of Interlaboratory Comparison of Fission Track Ages for the 1988 Fission Track Workshop. Nucl. Track Radiat. Meas., 17(3): 237.

## FISSION TRACK AGE OF FAULT GOUGE IN THE YANGTZE THREE-GORGE DAM SITE

Zhang Feng Wang Shijie

(*State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002*)

### Abstract

The Xiannufeng and Jiuwanxi fault zones are tow major fault zones which are most adjacent to the Yangtze Three-Gorge Dam Site. To assess the danger of reservoir engineering project-induced strong earthquake and the stability of the regional crust, a fission-track geochronological study of apatite separated from fault gouge and cliff rock and country rock in the fault zones was conducted in this paper. In addition, statistical measurement of the fission-track length frequency distribution was also made. The study indicated that the Xiannufeng and Jiuwanxi fault zones were formed at  $0.60 \pm 0.05$  Ma B. P. and  $0.29 \pm 0.04$  Ma B. P. respectively, in sharp contrast with the main tectono-thermal age ( $22.30 \pm 1.8$  Ma B. P. ) in their peripheral country rocks. By comparing the result with other age data obtained by other dating methods, it is evidenced that there has been no sign of fault activity since the Holocene. Therefore, it is concluded that the Sandouping Dam Site is located in a regionally stable crust.

**Key Words** Fission track, Three Gorge, The Xiannufeng and Jiuwanxi fault zones, Apatite, Gouge