

嘉黎断裂带两侧晚新生代差异 隆升的磷灰石裂变径迹纪录

向树元¹, 马新民^{1,2}, 泽仁扎西³, 巴桑次仁³

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020
3. 西藏自治区地质调查院, 西藏拉萨 850007

摘要: 对嘉黎断裂带两侧的磷灰石裂变径迹年代学测试表明, 断裂带北侧的磷灰石裂变径迹年龄在 5.6~11.7 Ma 之间, 属中新世晚期; 断裂带南侧的磷灰石裂变径迹年龄明显较小, 6 个样品中有 5 个样品的磷灰石裂变径迹年龄在 4.0~5.9 Ma 之间, 属上新世早期。嘉黎断裂带北侧 5.6~11.7 Ma 期间的隆升速率为 0.07~0.09 mm/a。5.8 Ma 以来平均剥露速率为 0.50 mm/a, 平均隆升速率 1.33 mm/a。断裂带南侧 4.7 Ma 以来平均剥露速率为 0.62 mm/a, 平均隆升速率 1.68 mm/a。两侧样品都反映上新世以来有较强烈的隆升作用, 并且南侧比北侧隆升作用更强烈。

关键词: 嘉黎断裂带; 晚新生代; 磷灰石裂变径迹; 高原隆升。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2007)05-0615-07

收稿日期: 2007-06-16

Record of Apatite Fission Track of the Differential Uplift in Both Sides of Jiali Fault Belt since Late Cenozoic

XIANG Shu yuan¹, MA Xin min^{1,2}, ZEREN Zha xi³, BASANG Ci ren³

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Northwest Branch of the Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou 730020, China
3. Institute of Geology Survey of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850007, China

Abstract The apatite fission track (AFT) chronology in both sides of Jiali fault belt shows that the AFT age in the north side of the fault belt is 5.6–11.7 Ma which belongs to Late Miocene; and the age of the south side is obviously younger, because the ages of five out of six samples are between 4.0 Ma and 5.9 Ma, belonging to early Pliocene. During 5.6–11.7 Ma, the uplift rate in the north side of Jiali fault belt is 0.07–0.09 mm/a. Since 5.8 Ma, the average denudation rate is 0.50 mm/a, and the average uplift rate is 1.33 mm/a in the north side. While, the average rate of denudation and uplift is 0.62 mm/a and 1.68 mm/a in the south side of Jiali fault belt since 4.7 Ma. The samples collected from both sides of Jiali fault belt reflect the strong uplift since Pliocene, and the south side uplifts more strongly than the north side.

Key words: Jiali fault belt; late Cenozoic; apatite fission track; plateau uplift.

0 引言

横穿青藏高原中南部的狮泉河—申扎—嘉黎断裂带因作为青藏高原主体向东挤出的南部边界(任金卫等, 2000)和现代重要地震活动带而引人注目,

而近年来陆续在断裂带上发现了狮泉河蛇绿混杂岩(胡承祖, 1990)、纳木错蛇绿混杂岩(杨日红等, 2003)和帕隆藏布残留蛇绿混杂岩(郑来林等, 2003), 因而被部分学者作为次级板块结合带对待(潘桂棠等, 2001)。与断裂带西段和中段研究程度较

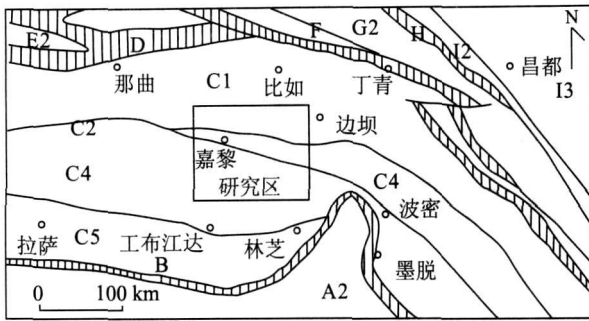


图 1 研究区大地构造位置与构造单元划分图(据潘桂棠等, 2001 修改; 中国地质调查局西南办《青藏高原及其邻区大地构造单元初步划分方案》, 2003)

Fig. 1 Geotectonic location and tectonic unit division of study area

A. 印度陆块; A2. 高喜马拉雅山结晶岩带; B. 印度河-雅鲁藏布江结合带; C. 拉达克-冈底斯-拉萨-腾冲陆块; C1. 班戈-腾冲燕山晚期岩浆弧带; C2. 狮泉河-申扎-嘉黎结合带; C4. 隆格尔-工布江达断隆带; C5. 罕萨-冈底斯-下察隅晚燕山-喜马拉雅期岩浆弧带(冈底斯火山-岩岩浆带); D. 班公湖-怒江结合带(含日土、聂荣残余弧、嘉玉桥微陆块); E. 喀喇昆仑-南羌塘-左贡陆块; E2. 南羌塘拗陷带; F. 双湖-昌宁结合带; G. 塔什库尔干-甜水海-北羌塘陆块; G2. 北羌塘拗陷带; H. 乌兰乌拉湖-澜沧江结合带; I. 昌都-芒康-思茅陆块; I2. 昌都-兰中新代复合盆地; I3. 开心岭-杂多-维登弧火山岩带(P T₃)

高相比, 断裂带东段嘉黎县一带的研究程度相对薄弱。此外, 前人多注重嘉黎断裂带在高原隆升过程中的走滑效应, 而对断裂带两侧隆升特征差异研究资料缺乏。

笔者通过野外调研和室内研究基本查明了其空间展布和活动特点, 认为狮泉河-申扎-嘉黎断裂带由西向东延伸至嘉黎县以西时分叉为两条, 北分支为嘉黎区一向阳日断裂, 继承了总体作为二级构造单元边界断裂特点(作为班戈-腾冲燕山晚期岩浆弧带与隆格尔-工布江达断隆带的分界断裂)(图 1), 也是冈底斯-腾冲地层区内二级地层分区中拉萨-察隅地层分区与班戈-八宿地层分区的界线, 代表了早期(K₁之前)活动位置。南分支为嘉黎县-易贡藏布断裂, 总体表现以右行平移活动为主, 代表了晚期(K₂之后)活动位置。本文将两分支断裂作为一个整体(嘉黎断裂带)来研究, 通过磷灰石裂变径迹定年方法, 研究断裂带两侧在晚新生代高原隆升过程中的差异隆升过程, 对于研究冈底斯-拉萨陆块内部高原隆升规律和青藏高原隆升过程提供了新的资料和证据。

岩石中矿物的裂变径迹是研究热演化史的一种

重要方法, 已经被广泛应用于研究隆升过程。如在刘顺生和张峰(1987)对拉萨、康马和告乌 3 个岩体的磷灰石裂变径迹年龄研究, 江万等(1998)对曲水和日喀则岩体隆升速率的研究, 丁林等(1995)对东喜马拉雅构造结南迦巴瓦地区磷灰石裂变径迹的研究表明, 东喜马拉雅构造结存在 3 Ma 以来的整体快速抬升。袁万明等(2001)应用裂变径迹方法研究了西藏拉萨地块南缘多金属矿区成矿时代和冈底斯构造带、雅鲁藏布江构造带的裂变径迹年龄及热演化历史。不同地区的众多裂变径迹研究结果(袁万明等, 2002; 王国灿等, 2003; 刘德民等, 2005; 王岸等, 2007)都反映了青藏高原多阶段、不等速、空间上不均一隆升的特点。

1 样品地质背景与实验方法

研究区位于念青唐古拉东段, 地理坐标 93°00'~94°30'E, 30°00'~31°00'N。一级构造单元属拉达克-冈底斯-拉萨-腾冲陆块, 以嘉黎断裂带北分支断裂为界, 北侧为二级构造单元班戈-腾冲燕山晚期岩浆弧带, 主要由上侏罗统至下白垩统深色砂板岩组成; 南侧为二级构造单元隆格尔-工布江达断隆带, 主要由上石炭至下二叠统砂板岩、前奥陶系变质砂岩及变质基底中新元古代念青唐古拉岩群组成。其中多期次花岗岩体非常发育(图 2)。为了研究嘉黎断裂带两侧差异隆升特征, 笔者选择在北分支断裂嘉黎区-向阳日断裂北侧采集了 5 件样品, 在南分支断裂嘉黎县-易贡藏布断裂南侧采集了 6 件样品, 全部样品岩性为二长花岗岩或钾长花岗岩, 除 1 件样品的岩体侵入时代为古近纪外, 其他 10 件样品的岩体侵入时代均为白垩纪。

样品经分选并挑出磷灰石后送中国地震局地质研究所裂变径迹实验室测年。实验采用外探测器法对样品进行裂变径迹分析。有关实验条件为: 磷灰石裂变径迹蚀刻条件为体积分数 7%的 HNO₃ 溶液, 室温, 40 s; 外探测器采用低铀含量白云母, 径迹蚀刻条件为体积分数 40%的 HF 溶液, 室温, 20 min; Zeta 标定选用国际标准样及美国国家标准局 SRM₆₁₂ 铀标准玻璃, $Z_{e\text{tasRM612}} = 352.4 \pm 29$; 样品送中国原子能科学研究院 492 反应堆进行辐照; 径迹统计用 Olympus 偏光显微镜, 在放大 1 000 倍浸油条件下完成。

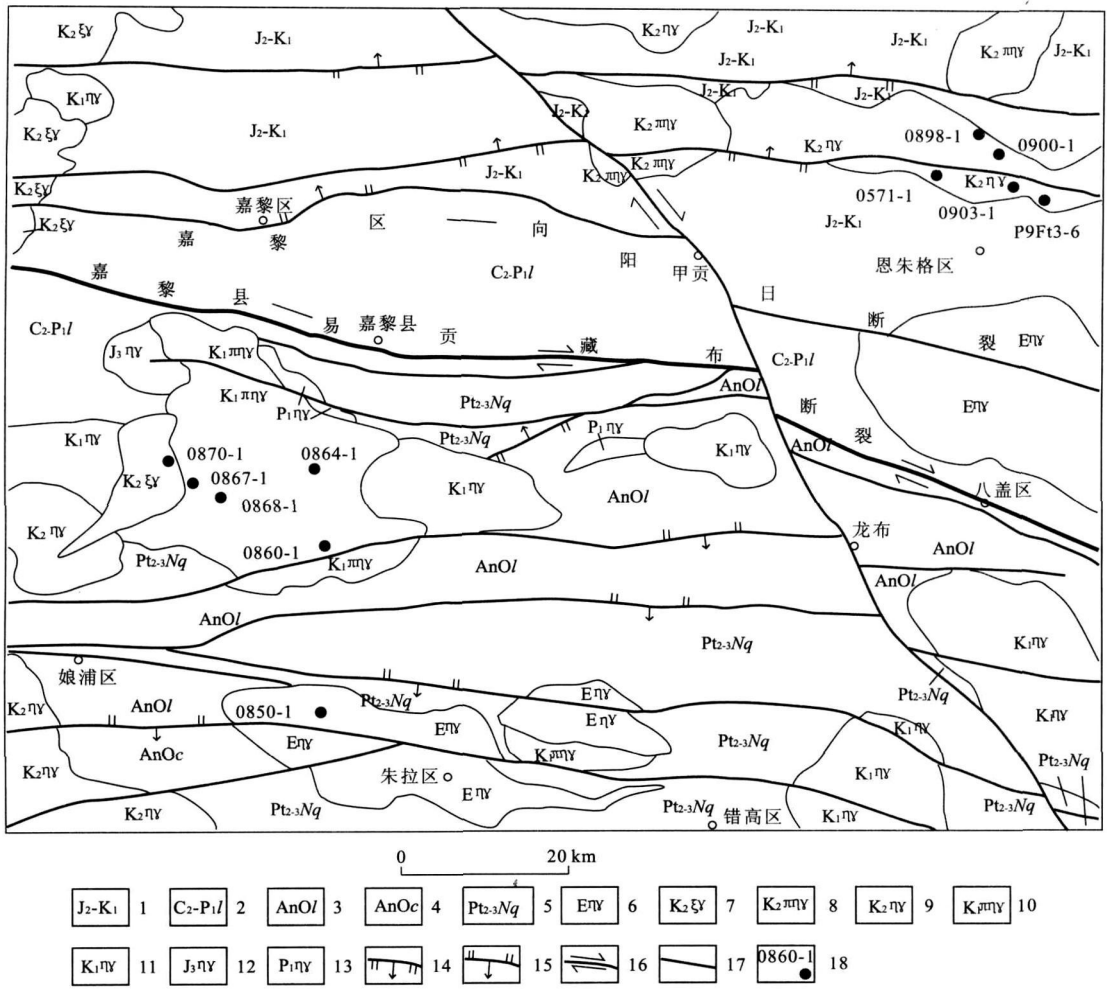


图 2 研究区地质图与裂变径迹样品分布

Fig. 2 Distributing map of apatite fission track dating samples and geological map of study area

1. 中侏罗统至下白垩统; 2. 晚石炭 - 早二叠世来姑组; 3. 前奥陶纪雷龙库组; 4. 前奥陶纪盆萨岗组; 5. 中新元古代念青唐古拉岩群; 6. 古近纪二长花岗岩; 7. 晚白垩世钾长花岗岩; 8. 晚白垩世斑状二长花岗岩; 9. 晚白垩世二长花岗岩; 10. 早白垩世斑状二长花岗岩; 11. 早白垩世二长花岗岩; 12. 晚侏罗世二长花岗岩; 13. 早二叠世二长花岗岩; 14. 正断层; 15. 逆断层; 16. 平移断层; 17. 主干断层; 18. 裂变径迹样品位置及样品号

2 实验结果与平面分布特点

11 个样品的磷灰石裂变径迹年龄见表 1, 所有的裂变径迹年龄均在 4.0 ~ 11.7 Ma 时间范围内. 反映研究区高原隆升的时间相对集中. 在年龄 - 高程图 (图 3) 中可以看出, 嘉黎断裂带北侧样品的磷灰石裂变径迹年龄与采样高程之间呈现一定的正相关关系, 其中 3 个样品呈明显线性关系 (样品 0900 1、0571 1 和 0903 1); 而断裂带南侧样品的磷灰石裂变径迹年龄与采样高程之间没有明显相关关系.

磷灰石裂变径迹年龄的平面分布显示 (图 2), 以嘉黎断裂带为界, 北侧构造单元 FT (裂变径迹)

年龄 5.6 ~ 11.7 Ma, 属中新世; 而嘉黎断裂带南侧的构造单元中的 FT 年龄大多数为 4.0 ~ 5.9 Ma, 属上新世, 仅有样品 0860 1 的 FT 年龄为 8.0 Ma. 用于测量裂变径迹的样品取自白垩纪和古近纪二长花岗岩体或钾长花岗岩, 裂变径迹年龄均小于岩体 (磷灰石形成) 年龄. 表明样品形成后曾遭受构造热事件的影响, 即裂变径迹年龄反映的是构造的时代.

矿物裂变径迹在部分退火带中会发生不同程度的愈合缩短, 不同的热过程会产生不同的径迹长度分布型式. 径迹长度分布反映了矿物经历的热冷却过程的具体信息, 而裂变径迹年龄则是热冷却过程的综合参数. 较长的平均径迹长度反映较小的退火

表 1 磷灰石裂变径迹测定结果

Table 1 Apatite fission track dating results of Jiali fault belt

样品号	样品位置	矿物(粒数)	高程(m)	标准径迹密度(10^6cm^{-2})	自发径迹密度(10^5cm^{-2})	诱发径迹密度(10^6cm^{-2})	$P(x^2)$ (%)	r	FT 年龄($\text{Ma} \pm 1\sigma$)	平均径迹长度($\mu\text{m} \pm 1\sigma$)	标准差(μm)
0864-1	嘉黎断裂带南侧	22	5159	1.069(2672)	0.109(24)	0.508(1117)	42.9	0.895	4.0 \pm 0.9	12.62 \pm 0.24	1.19
0870-1		17	4992	1.051(2627)	0.192(28)	0.612(893)	1.0	0.693	5.3 \pm 1.5	12.30 \pm 0.28	1.40
0868-1		22	4624	1.057(2642)	0.205(45)	0.886(1950)	73.6	0.816	4.3 \pm 0.7	12.21 \pm 0.25	1.65
0867-1		21	4460	1.063(2657)	0.233(49)	0.735(1544)	22.5	0.927	5.9 \pm 1.0	12.74 \pm 0.24	1.38
0860-1		14	4063	1.075(2681)	0.270(37)	0.638(874)	8.5	0.950	8.0 \pm 1.5	13.19 \pm 0.24	1.44
0850-1		22	3635	1.081(2702)	0.134(25)	0.617(1154)	42.6	0.609	4.1 \pm 0.9	11.85 \pm 0.16	0.79
0898-1	嘉黎断裂带北侧	22	5185	1.033(2582)	0.286(63)	0.641(1410)	57.7	0.977	8.1 \pm 1.3	12.15 \pm 0.18	1.16
0900-1		22	4946	1.045(2612)	0.782(172)	1.226(2697)	70.3	0.916	11.7 \pm 1.4	13.42 \pm 0.19	1.55
0571-1		22	4680	1.187(2717)	0.203(62)	0.4849(1481)	73.1	0.691	8.8 \pm 1.4	11.78 \pm 0.19	1.34
0903-1		8	4452	1.039(2597)	0.222(10)	0.720(324)	94.1	0.672	5.6 \pm 1.9	11.10 \pm 0.31	0.94
P9Ft3-6		22	4200	1.027(2567)	0.250(42)	0.758(1273)	48.4	0.66	6.0 \pm 1.1	11.73 \pm 0.23	1.52

率,从而说明矿物在部分退火带滞留的时间短,冷却较快;反之平均径迹长度短则矿物冷却速率慢;如果矿物经历多次加热,则可能形成径迹长度双峰式或多峰式分布现象.因此有必要在了解裂变径迹长度分布型式的基础上来具体分析裂变径迹年龄的实际涵义.11件样品的磷灰石平均径迹长度(表1)和分布型式(图3)显示其平均长度为11.1~13.42 μm ,

标准差0.79~1.65 μm ,具有平均长度较长、标准差小的特点.分布型式除0860-1样品为不对称双峰式外,其余样品均为单峰式,说明这些样品的径迹是在矿物最后一次完全退火以后没有异常热干扰的条件下累积形成的,代表了径迹在部分退火带中滞留的时间相对较短.裂变径迹年龄真实代表了矿物自然冷却至其封闭温度以来的时间,反映的是岩体隆升

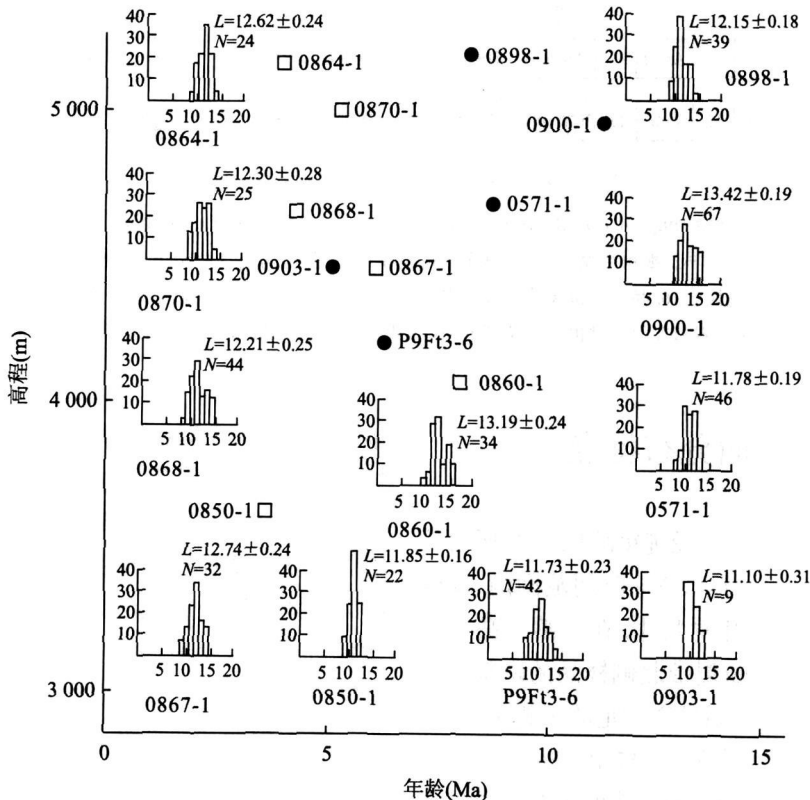


图 3 裂变径迹年龄、高程及径迹长度

Fig. 3 Age, height and track length of apatite fission track dating sample

方块表示嘉黎断裂带南侧样品,圆点表示嘉黎断裂带北侧样品;图中所有小坐标系横坐标轴 $L(\mu\text{m})$,纵坐标轴 $n(\%)$

剥露过程的信息。而 0860 1 的裂变径迹年龄与相邻样品相比异常变大, 径迹长度分布型式为不对称双峰式, 说明样品的径迹在矿物最后一次完全退火以后受到异常热干扰, 其裂变径迹年龄不能反映岩体隆升剥露过程。因其分布于一条逆断层的下降盘且临近断层附近, 其裂变径迹的年龄和径迹长度分布型式可能受断层活动影响所致。

3 裂变径迹年龄反映的剥露速率和隆升速率

3.1 剥露与隆升速率参数的确定

(1) 封闭温度与埋深的确定: 矿物中的裂变径迹实际上是矿物晶格遭受的辐射损伤。裂变径迹数的多少与积累的时间成正比, 裂变径迹的稳定性主要受温度控制, 磷灰石裂变径迹的封闭温度为 $(110 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。当温度超过 110°C 时, 原有裂变径迹发生退火而消失, 直到温度低于 110°C 后才重新形成裂变径迹, “时钟”亦重新启动, 由于地温梯度的存在, 通常位于深部 ($> 110^\circ\text{C}$) 的样品裂变径迹被退火, 年龄归零; 随着抬升, 年龄逐渐变大。取磷灰石裂变径迹封闭温度为 110°C , 研究区地表年均气温 10°C , 假设地温梯度 $35^\circ\text{C}/\text{km}$ (钟大赉和丁林, 1996), 可计算出磷灰石通过其封闭温度时的深度约为 2 860 m。

(2) 古地表高程和古地表对应现代高程的确定: 研究区磷灰石裂变径迹年龄总体为中新世晚期至上新世早期。该时期青藏高原多以红层盆地发育为特色 (施雅风等, 1998; 向树元等, 2003), 崔之久等

(1996) 利用夷平面重建, 认为高原隆升前 (5 Ma) 从南向北海拔变化在 500 ~ 1 500 m 之间, 在灰岩组成的主夷平面溶洞中新生方解石的裂变径迹年龄在 19 ~ 7 Ma 之间, 而夷平后的高度在 500 m 以下, 李吉均 (1999) 根据古地貌、古生物及古气候特征等认为 3.4 Ma 以前高原面不高于 1 000 m。综合多种地球表层学资料, 在中新世晚期至上新世早期的海拔高程应小于 1 000 m。因此, 笔者对研究区古地表高程取值 1 000 m。随着高原隆升开始, 古地表被抬升和侵蚀破坏形成夷平面, 据现代地貌观察, 嘉黎断裂带北侧主夷平面高程大约 5 400 ~ 5 800 m, 取最高值 5 800 m 作为古地表现代海拔高程; 嘉黎断裂带南侧主夷平面高程大约 5 500 ~ 5 900 m, 取最高值 5 900 m 作为古地表现代海拔高程。

3.2 剥露速率与隆升速率的计算

在年龄 - 高程图 (图 3) 中可以看出, 嘉黎断裂带北侧样品的磷灰石裂变径迹年龄与采样高程之间呈现一定的正相关关系, 其中 3 个样品呈明显线性关系 (样品 0900 1、0571 1 和 0903 1), 这样可以根据年龄高差法计算 3 个年龄差之间的剥露速率 (表 2), 经计算, 11.7 ~ 8.8 Ma 期间剥露速率为 0.09 mm/a , 8.8 ~ 5.6 Ma 期间剥露速率为 0.07 mm/a , 考虑到该时间内构造变动较弱, 古地表变化有限, 可将剥露速率视为隆升速率。样品 0898 1 因高程大于样品 0900 1 而裂变径迹年龄小于样品 0900 1, 属异常样品; 样品 0860 1 因其分布于一条逆断层的下降盘且临近断层附近, 其裂变径迹的年龄和径迹长度分布型式受断层活动影响, 因而未计算剥露速率和隆升速率。其他样品则根据磷灰石裂

表 2 磷灰石裂变径迹年龄和剥露速率、隆升速率
Table 2 Apatite fission track ages, denudation rates and uplift rates

样号	高程 (m)	样品位置	FT 年龄 (Ma ± 1σ)	速率 (mm · a ⁻¹)				
				剥露速率	平均值	隆升速率	平均值	
0864 1	5159	嘉黎断裂带南侧	4.0 ± 0.9	4.0 Ma 以来 0.71	0.62	1.94	1.68	
0870 1	4992		5.3 ± 1.5	5.3 Ma 以来 0.54		1.46		
0868 1	4624		4.3 ± 0.7	4.3 Ma 以来 0.66		1.80		
0867 1	4460		5.9 ± 1.0	5.9 Ma 以来 0.48		1.31		
0850 1	3635		4.1 ± 0.9	4.1 Ma 以来 0.70		1.89		
0860 1	4063		8.0 ± 1.5					
0898 1	5185		8.1 ± 1.3					
0900 1	4946	嘉黎断裂带北侧	11.7 ± 1.4	11.7 ~ 8.8 Ma 间 0.09	0.50	1.37	1.33	
0571 1	4680		8.8 ± 1.4	8.8 ~ 5.6 Ma 间 0.07				
0903 1	4452		5.6 ± 1.9	5.6 Ma 以来 0.51				
P9Ft3 6	4200		6.0 ± 1.1	6.0 Ma 以来 0.48				1.28

变径迹年龄和通过其封闭温度时的深度 2 860 m 计算剥露速率;根据磷灰石裂变径迹年龄、通过其封闭温度时的深度 2 860 m 和古地表隆升高度(嘉黎断裂带北侧 4 800 m, 南侧 4 900 m) 计算隆升速率(表 2)。其中嘉黎断裂带南侧 5 个样品的磷灰石裂变径迹年龄在误差范围内一致, 可将其剥露速率和隆升速率平均值作为整体剥露速率和隆升速率。

4 结论与讨论

(1) 嘉黎断裂带北侧的磷灰石裂变径迹年龄在 5.6~11.7 Ma 之间, 年龄较老, 属中新世晚期; 而断裂带南侧的磷灰石裂变径迹年龄明显较小, 6 个样品中有 5 个样品的磷灰石裂变径迹年龄在 4.0~5.9 Ma 之间, 平均 4.7 Ma, 属上新世早期。说明嘉黎断裂带南盘隆升较晚。

(2) 嘉黎断裂带北侧通过样品高程差和年龄差计算 5.6~11.7 Ma 期间的隆升速率为 0.07~0.09 mm/a, 属较低水平, 比赵志丹等(2003)在拉萨岩体和香拉波岩体获得的 8.3~3.2 Ma 期间的隆升速率 0.12~0.2 mm/a 略低。5.8 Ma 以来平均剥露速率为 0.50 mm/a, 平均隆升速率 1.33 mm/a。断裂带南侧 4.7 Ma 以来平均剥露速率为 0.62 mm/a, 平均隆升速率 1.68 mm/a。两侧样品都反映上新世以来有较强烈的隆升作用, 并且南侧比北侧隆升作用更强烈。

(3) 研究区 11 件裂变径迹年龄为 4.0~11.7 Ma, 与东喜马拉雅构造结波密和察隅一带较多的 3.82~0.31 Ma 的年龄(丁林等, 1995; 潘裕生和孔祥儒, 1998) 相比略大, 但磷灰石裂变径迹年龄的平面分布上都具有北侧构造单元比南侧构造单元的裂变径迹年龄增大的特点。反映了在高原隆升过程中由南向北隆升有逐渐减弱的趋势。嘉黎断裂带磷灰石裂变径迹年龄与样品高程变化没有相关性, 一方面反映当时该地区隆升速率较快, 另一方面可能反映当时已有一定地貌反差。

致谢: 样品测试由中国地震局国家重点实验室万景林完成; 参加野外工作的还有田立富、朱耀生、张晓保、欧阳松竹、云旦加措等; 在成文过程中得到王国灿教授的指导, 在此一并表示衷心的感谢。

References

Cui, Z. J., Gao, Q. Z., Liu, G. N., et al., 1996. Planation sur

faces, palaeokarst and uplift of Xizang (Qinghai Xizang) plateau. *Science in China (Ser. D)*, 26: 378 - 386 (in Chinese).

Ding, L., Zhong, D. L., Pan, Y. S., et al., 1995. Fission track dating evidence on fast uplifting since Pliocene of the eastern Himalayan syntaxis. *Chinese Science Bulletin*, 40: 1497 - 1500 (in Chinese).

Hu, C. Z., 1990. Characteristics of Shiquanhe Guchang ophiolite belt and its geologic significance. *Journal of Chengdu University of Technology*, 17: 23 - 30 (in Chinese with English abstract).

Jiang, W., Mo, X. X., Zhao, C. H., et al., 1998. Mineral fission track dates and research on uplifting velocity of Qinghai Xizang plateau. *Journal of Geomechanics*, 4: 13 - 18 (in Chinese with English abstract).

Li, J. J., 1999. Landforms evolution and Asian seasonal wind of Qinghai Xizang (Tibetan) plateau. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 19: 1 - 9 (in Chinese with English abstract).

Liu, D. M., Li, D. W., Yang, W. R., et al., 2005. Evidence from fission track ages for the tectonic uplift of the Himalayan orogen during late Cenozoic. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30: 147 - 152 (in Chinese with English abstract).

Liu, S. S., Zhang, F., 1987. Fission track ages and uplift rates of the South Xizang (Tibet) region. *Science in China (Ser. B)*, 17: 1000 - 1010 (in Chinese).

Pan, G. T., Wang, L. Q., Li, X. Z., et al., 2001. The tectonic framework and spatial allocation of the archipelagic arc basin systems on the Qinghai Xizang plateau. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(3): 1 - 26 (in Chinese with English abstract).

Pan, Y. S., Kong, X. R., 1998. Lithosphere structure, evolution and dynamics of Qinghai Xizang (Tibetan) plateau. *Guangdong Science & Technology Press*, Guangzhou, 379 - 400 (in Chinese).

Ren, J. W., Shen, J., Cao, Z. Q., et al., 2000. Quaternary faulting of Jiali fault, southeast Tibetan plateau. *Seismology and Geology*, 22(4): 344 - 350 (in Chinese with English abstract).

Shi, Y. F., Li, J. J., Li, B. Y., 1998. Uplift and environmental changes of Qinghai Xizang (Tibetan) plateau in the late Cenozoic. *Guangdong Science & Technology Press*, Guangzhou, 17 - 414 (in Chinese).

Wang, A., Wang, G. C., Xie, D. F., et al., 2007. Fission track geochronology of Xiaonanchuan pluton and the morphotectonic evolution of eastern Kunlun since late

- Miocene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(1): 51–58 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Xiang, S. Y., John, I. G., et al., 2003. Uplift and exhumation during Mesozoic in Halaguole Hatu area, East Segment of eastern Kunlun mountains: Evidence from Zircon and Apatite fission track ages. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28: 645–652 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, S. Y., Wang, G. C., Deng, Z. L., 2003. Deposit response to important tectonic events of Cenozoic plateau uplift, East segment of eastern Kunlun mountains. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28: 615–620 (in Chinese with English abstract).
- Yang, R. H., Li, C., Chi, X. G., et al., 2003. The primary study of geochemical characteristics and tectonic setting of ophiolite in Yongzhu Namuh, Tibet. *Geoscience*, 17: 14–19 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, W. M., Hou, Z. Q., Li, S. R., et al., 2002. Evidence of fission track dating of activity of Brahmaputra athwart clash belt, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 47: 147–150 (in Chinese).
- Yuan, W. M., Wang, S. C., Li, S. R., et al., 2001. The fission track evidence of conformation activity in Gangdise belt, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 46: 1739–1742 (in Chinese).
- Zhao, Z. D., Mo, X. X., Guo, T. Y., et al., 2003. Fission track ages of pluton in South Tibet and plateau uplift. *Advance in Natural Sciences*, 13: 877–880 (in Chinese).
- Zheng, L. L., Geng, Q. R., Dong, H., et al., 2003. The discovery and significance of the relicts of ophiolite mélanges along the Parlung Zangbo in the Bomi region, eastern Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 23(1): 27–30 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, D. L., Ding, L., 1996. A discussion on uplift process and its dynamics of the Qinghai Xizang (Tibetan) Plateau. *Science in China (Ser. D)*, 26: 289–295 (in Chinese).
- 来快速抬升的裂变径迹证据. *科学通报*, 40: 1497–1500.
- 胡承祖, 1990. 狮泉河—古昌—永珠蛇绿岩带特征及其地质意义. *成都地质学院学报*, 17: 23–30.
- 江万, 莫宣学, 赵崇贺, 等, 1998. 矿物裂变径迹年龄与青藏高原隆升速率研究. *地质力学学报*, 4: 13–18.
- 李吉均, 1999. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风. *海洋地质与第四纪地质*, 19: 1–9.
- 刘德民, 李德威, 杨巍然, 等, 2005. 喜马拉雅造山带晚新生代构造隆升的裂变径迹证据. *地球科学—中国地质大学学报*, 30: 147–152.
- 刘顺生, 张峰, 1987. 西藏南部地区的裂变径迹年龄和上升速度的研究. *中国科学(B辑)*, 17: 1000–1010.
- 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 等, 2001. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置. *沉积与特提斯地质*, 21(3): 1–26.
- 潘裕生, 孔祥儒, 1998. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州: 广东科技出版社, 379–400.
- 任金卫, 沈军, 曹忠权, 等, 2000. 西藏东南部嘉黎断裂新知. *地震地质*, 22(4): 344–350.
- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 1998. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社, 17–414.
- 王岸, 王国灿, 谢德凡, 等, 2007. 东昆仑山小南川岩体裂变径迹年代与中新世晚期以来的构造地貌演化. *地球科学—中国地质大学学报*, 32(1): 51–58.
- 王国灿, 向树元, John, I. G., 等, 2003. 东昆仑东段巴隆哈图一带中生代的岩石隆升剥露—锆石和磷灰石裂变径迹年代学证据. *地球科学—中国地质大学学报*, 28: 645–652.
- 向树元, 王国灿, 邓中林, 2003. 东昆仑东段新生代高原隆升重大事件的沉积响应. *地球科学—中国地质大学学报*, 28: 615–620.
- 杨日红, 李才, 迟效国, 等, 2003. 西藏永珠—纳木湖蛇绿岩地球化学特征及其构造环境初探. *现代地质*, 17: 14–19.
- 袁万明, 侯增谦, 李胜荣, 等, 2002. 雅鲁藏布江逆冲带活动的裂变径迹定年证据. *科学通报*, 47: 147–150.
- 袁万明, 王世成, 李胜荣, 等, 2001. 西藏冈底斯带构造活动的裂变径迹证据. *科学通报*, 46: 1739–1742.
- 赵志丹, 莫宣学, 郭铁鹰, 等, 2003. 西藏南部岩体裂变径迹年龄与高原隆升. *自然科学进展*, 13: 877–880.
- 郑来林, 耿全如, 董翰, 等, 2003. 波密地区帕隆藏布残留蛇绿混杂岩带的发现及其意义. *沉积与特提斯地质*, 23(1): 27–30.
- 钟大赉, 丁林, 1996. 青藏高原的隆升过程及其机制探讨. *中国科学(D辑)*, 26: 289–295.

附中文参考文献

- 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等, 1996. 夷平面, 古岩溶与青藏高原隆升. *中国科学(D辑)*, 26: 378–386.
- 丁林, 钟大赉, 潘裕生, 等, 1995. 东喜马拉雅构造结上新世以