

# 新疆博格达山中新生代隆升—热历史的裂变径迹记录

沈传波<sup>1</sup>, 梅廉夫<sup>1</sup>, 刘 麟<sup>2</sup>, 汤济广<sup>1</sup>, 周 锋<sup>1</sup>

(1 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2 中国石化 江汉油田分公司勘探开发研究院, 潜江 433124)

**摘要:** 5个磷灰石样和4个锆石样的裂变径迹测年证据以及热历史的定量模拟研究表明, 博格达山自晚侏罗世末—早白垩世开始隆升, 总体表现为持续的隆升过程, 具有4个主要期次的演化阶段, 起始时间分别为150~106、75~65、44~24、13~9 Ma。其中44~24 Ma之前, 博格达山南、北缘隆升速率近于一致。之后, 博格达山的隆升转为区段性, 南、北缘形成差异隆升。北缘在42~11 Ma为近于稳定的状态, 隆升速率为1 m/Ma, 11 Ma至今隆升速率为190.6 m/Ma; 而南缘在26~9 Ma间隆升较快, 速率为41.2 m/Ma, 9 Ma至今隆升速率为162.9 m/Ma。这种差异性的隆升可能一方面与印度板块和欧亚板块碰撞的远程效应有关, 另一方面也是更主要的原因可能受博格达山不同段深部差异性动力学过程所控制。

**关键词:** 裂变径迹; 热历史; 隆升; 中新生代; 博格达

中图分类号:P533

文献标识码:A

文章编号: 0256-1492(2006)03-0087-06

大陆板块内部造山带在中新生代的演化和动力学是大陆动力学的核心问题<sup>[1]</sup>和认识区域构造的关键<sup>[2]</sup>。博格达山作为北天山山脉独立的一支, 位于准噶尔和吐哈两大富油气盆地之间。因其陆内造山的特殊性<sup>[3]</sup>、独特的造山地质记录<sup>[4-5]</sup>以及多期隆升活动对相邻盆地构造演化和油气成藏过程的重要影响<sup>[6-8]</sup>, 近年来博格达山成为大地构造及大陆动力学研究的热点地区。对其中新生代的演化, 前人的研究多集中在新生代并且主要应用磷灰石裂变径迹分析技术, 而对中生代重视不够, 尤其是中—新生代较完整隆升的地质热历史的研究更显不足。锆石相对于磷灰石具有更高的封闭温度, 能反映更早的构造—热事件年龄, 将锆石和磷灰石裂变径迹研究结合有助于建立造山带隆升的更完整模式<sup>[9]</sup>。本文将结合磷灰石和锆石裂变径迹的研究, 探讨博格达山中新生代隆升的地质热历史, 为博格达山中新生代演化和造山过程的研究提供新证据。

## 1 地质背景与实验方法

天山呈近东西向或北西向屹立在新疆中部, 夹持于准噶尔和塔里木盆地之间, 由南向北可依次划分为南天山、中天山和北天山(图1)。研究区位于北天山独立的北支——博格达山西段, 呈弧形, 山体主要由石炭系、二叠系、三叠系和侏罗系组成。样品采自不同时代的各类岩石(表1)。高程数据根

据GPS和地形图等高线联合获得。样品的分析测试在中科院高能物理研究所完成。实验中先将样品粉碎, 用重液、磁选等常规方法分离出磷灰石和锆石单矿物。利用环氧树脂将磷灰石制成光薄片, 在25 °C恒温的6.6% HNO<sub>3</sub>溶液中蚀刻30 s; 挑选晶形完整的透明锆石置于载玻片上, 让其C轴平行于水平面分布, 利用一定的高温使之镶嵌入聚四氟乙烯片中, 通过研磨和抛光露出内表面, 在220 °C温度下的8 g NaOH + 11.5 g KOH熔体中蚀刻33 h。采用外探测器法定年, 将低铀白云母贴在光薄片上, 与CN5标准铀玻璃一起构成定年组件。样品均置于反应堆内辐照, 照射的中子注量为1×10<sup>16</sup> n·cm<sup>-2</sup>。之后将云母外探测器置于25 °C的HF中蚀刻35 min, 揭示诱发裂变径迹。裂变径迹长度是指封闭径迹长度, 通过AUTOSCAN自动测量装置直

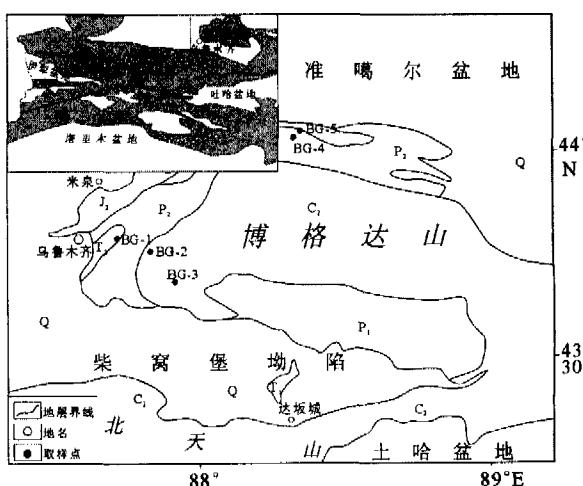


图1 研究区地质简图及样品位置

作者简介: 沈传波(1979—), 男, 博士生, 从事盆山构造与油气成藏关系研究, E-mail:cugshen@126.cm

收稿日期: 2005-11-27; 改回日期: 2006-04-11。周立君编辑

Fig. 1 Index and sketch geological map of the studied area

表 1 博格达山裂变径迹测年采样位置及岩性

Table 1 Locations, lithology and fission track analysis of Bogeda Mountain samples

样号	取样地点	纬度(N)	经度(E)	高程 h/m	层位及岩性
BG-1	博格达山南缘	43°46'6.3"	87°49'51.3"	1 223	C <sub>2</sub> 安山质角砾凝灰岩
BG-2	博格达山南缘	43°48'4.8"	87°43'11.3"	938	T <sub>3</sub> 砂岩
BG-3	博格达山南缘	43°41'38.6"	87°55'7.9"	1 666	C <sub>2</sub> 安山质角砾凝灰岩
BG-4	博格达山北缘	44°03'17.5"	88°19'49.0"	1 087	P <sub>2</sub> 凝灰质砂岩
BG-5	博格达山北缘	44°04'11.7"	88°20'58.7"	998	P <sub>2</sub> 凝灰质砂岩

接测出。年龄计算采用 Zeta 常数法<sup>[10]</sup>,本文获得锆石和磷灰石的 Zeta 常数分别为  $349.3 \pm 10.4$  和  $357.8 \pm 6.9$ 。磷灰石和锆石裂变径迹退火的封闭温度分别取  $120^{\circ}\text{C}$  和  $210^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 测试结果及分析

博格达山所测 5 个样品的磷灰石裂变径迹长度为  $11.2 \sim 12.9 \mu\text{m}$ , 标准差为  $1.9 \sim 2.1 \mu\text{m}$ ; 裂变径迹年龄为  $43.9 \sim 24.2 \text{ Ma}$ , 标准差为  $8.2 \sim 2.8 \text{ Ma}$ (表 2)。所测 4 个样品的锆石裂变径迹年龄为  $152.3 \sim 106.3 \text{ Ma}$ , 标准差为  $14.7 \sim 9.4 \text{ Ma}$ (表 2)。显然,磷灰石和锆石裂变径迹年龄均小于地层沉积年龄,径迹长度小于原始径迹长度,表明样品形成后均遭受了构造热事件的改造。裂变径迹分析中单颗粒年龄的  $\chi^2$  检验值均大于或远大于 5%,说明属于同组年龄,各样品裂变径迹年龄都是相应构造热事

件的反映。考虑测试结果的标准差,可将所测裂变径迹年龄分为两个年龄段:  $152.3 \sim 106.3 \text{ Ma}$ 、 $44 \sim 24 \text{ Ma}$ , 表明博格达山自中生代晚侏罗世—白垩纪( $152.3 \sim 106.3 \text{ Ma}$ )以来至少经历了两期构造热事件活动。结合王宗秀等的研究<sup>[4-5]</sup>可知,博格达山还经历了 65 和 13 Ma 的隆升。因此,博格达山中新生代至少经历了四期隆升热事件过程,发生的时间可能分别为:  $152.3 \sim 106.3$ 、 $65$ 、 $44 \sim 24$  和  $13 \text{ Ma}$ 。

样品的裂变径迹年龄还与高程有关,因为不同的埋深其地温不同,从而裂变径迹年龄可以反映隆升特征。若区域等温面保持水平时,热年代分布应该与地形高程呈现正相关,即热年代越老就越先通过等封闭温度面而出露在地形高处,通常是区域整体持续隆升特征的反映;而负相关则表明控制样品热年代大小的是除高度以外的其他原因<sup>[11]</sup>。从博格达山裂变径迹年龄与样品高程相互关系拟合出的

表 2 博格达山磷灰石和锆石裂变径迹测定结果

Table 2 The results of fission track analysis of apatite and zircon from the Bogeda Mountain

样号	分析矿物	颗粒数	$\rho_s$ /( $10^5/\text{cm}^3$ )	$N_s$	$\rho_i$ /( $10^5/\text{cm}^3$ )	$N_i$	$\rho_d$ /( $10^5/\text{cm}^3$ )	$N_d$	$P(\chi^2)$ /%	$T \pm 1\sigma$ /Ma	$L/\mu\text{m}$	n
BG-1	磷灰石	16	0.745	36	4.302	208	10.18	5 090	100	$31.4 \pm 5.7$	$11.9 \pm 2.4$	19
BG-2	磷灰石	11	1.141	35	8.570	263	10.18	5 090	94.4	$24.2 \pm 4.4$	$11.7 \pm 1.9$	111
	锆石	20	86.334	1 308	17.293	262	3.422	3 463	8.3	$152.3 \pm 14.7$		
BG-3	磷灰石	19	0.733	36	3.033	149	10.18	5 090	99.8	$43.9 \pm 8.2$	$12.9 \pm 2.1$	101
	锆石	19	53.304	751	11.356	160	3.422	3 463	39.7	$123.9 \pm 13.1$		
BG-4	磷灰石	24	1.162	74	4.946	315	10.18	5 090	89.0	$42.6 \pm 5.6$	$11.2 \pm 1.9$	77
	锆石	21	66.552	867	15.582	203	3.422	3 463	74.9	$113.1 \pm 10.6$		
BG-5	磷灰石	30	0.702	129	4.433	815	10.18	5 090	69.0	$28.8 \pm 2.8$	$11.5 \pm 1.9$	96
	锆石	16	80.068	989	19.997	247	3.422	3 463	57.2	$106.3 \pm 9.4$		

(1)  $\rho_s$ 、 $\rho_i$  和  $\rho_d$  分别表示矿物中自发裂变径迹密度、云母外探测器记录的矿物中诱发裂变径迹密度和中子注量监测器标准铀玻璃组件的诱发裂变径迹密度;  $N_s$ 、 $N_i$  和  $N_d$  分别表示所测径迹数量;(2)  $P(\chi^2)$  为 Chi-sq 检验概率, 当  $P(\chi^2) > 5\%$  时, 通常认为所测单颗粒年龄属于同组年龄, 否则, 属于不同年龄组;(3)  $T$  为裂变径迹测定年龄(Ma), 用 Central 年龄值;  $L$  为平均径迹长度,  $n$  为所测磷灰石裂变径迹条数。

隆升演化总趋势上看(图2),博格达山磷灰石和锆石裂变径迹年龄与样品高程均具正相关关系,表明博格达山中、新生代表现为持续隆升的过程,故可认为总体上一直处于冷却过程。拟合曲线的斜率可以近似代表平均隆升剥露速率,据此博格达山中生代152.6 Ma以来的平均隆升剥露速率为9.93 m/Ma,新生代43.9 Ma以来的平均隆升剥露速率为37.8 m/Ma。

### 3 时间-温度热历史

基于裂变径迹的分析测试数据,应用相关裂变

径迹退火理论和模型以及相关模拟软件,可以对样品的时间-温度热历史进行定量模拟。实际模拟可分为3步<sup>[12-13]</sup>:(1)给定若干时间-温度历史的约束条件,设置大量的(如10 000个)时间-温度曲线;(2)根据实验退火模型,通过正演求出径迹长度、年龄的模拟值;(3)将模拟结果与实测的径迹长度、年龄值进行比较,将比较结果分为可以接受的、好的,同时找出最佳的正演模型(时间-温度曲线)。结合博格达山实际地质情况的分析,我们对博格达山南、北缘各一个典型样品的测试结果进行了模拟(图3)。其他样品与这两个样品的时间-温度热历史模拟基本相似。从图3中可以看出,博格达山南缘样

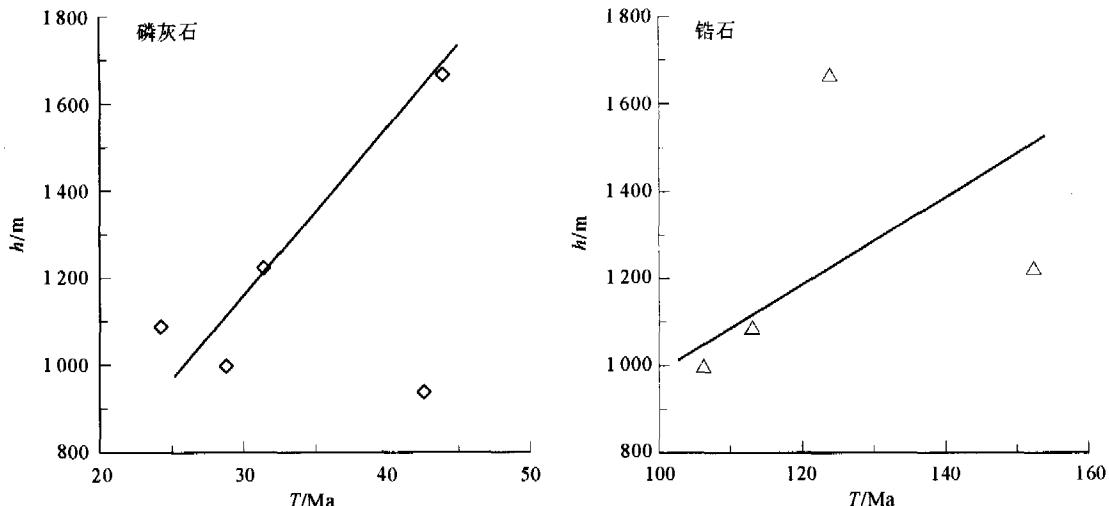


图2 博格达山磷灰石和锆石裂变径迹年龄与高程关系

Fig. 2 Apatite and zircon fission track age-elevation plot of Bogeda Mountain

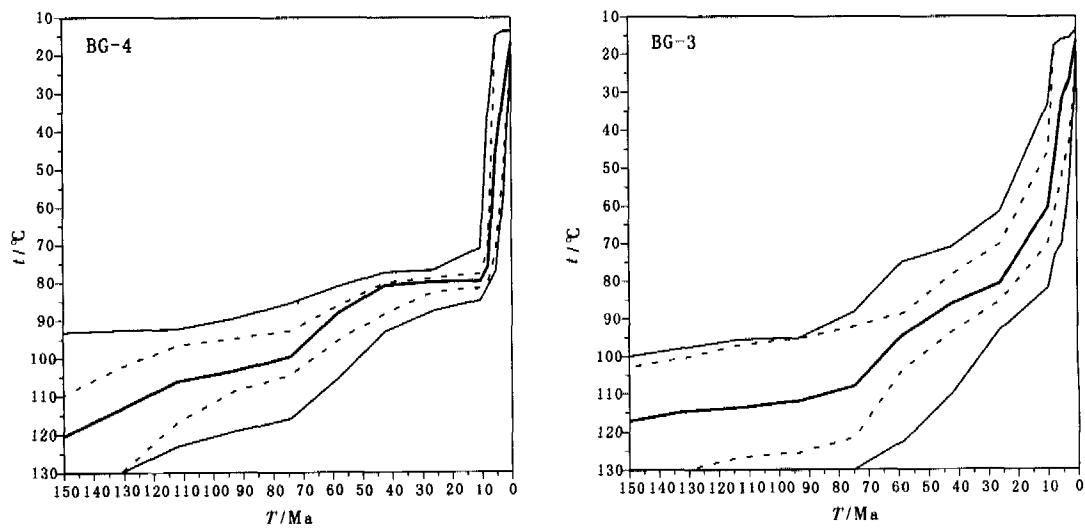


图3 基于博格达山裂变径迹分析结果所作的热历史模拟

(图中粗黑线表示最佳热历史,细虚线和细实线分别表示较好的和可以接受的热历史范围)

Fig. 3 Time-temperature model for thermal history based on fission track analyses

品 BG-3 和北缘样品 BG-4 具有十分相似的热演化历史,但两个样品所反映的博格达山南、北缘的隆升也存在一定的差异性。

北缘样品 BG-4 总体具有 4 个期次的热历史(图 3a):①150~75 Ma 的初期隆升,温度从磷灰石退火带底部温度 120 °C 降至约 100 °C,以最佳热演化路线计算,冷却速率为 0.27 °C/Ma,若取平均地温梯度 30 °C/km,则相当于隆升速率为 9.0 m/Ma,相应的实际抬升量约 675 m;②75~42 Ma 的第 2 期隆升,温度从约 100 °C 降至约 80 °C,计算冷却速率为 0.60 °C/Ma,相当于隆升速率 20.0 m/Ma,相应的实际抬升量约 660 m;③42~11 Ma 的第 3 期隆升,温度从约 80 °C 降至约 79 °C,计算冷却速率为 0.03 °C/Ma,相当于隆升速率 1.0 m/Ma,相应的实际抬升量约 31 m;④11 Ma 以来的第四期快速隆升,温度从约 79 °C 降至近地表温度 16 °C,计算冷却速率为 5.72 °C/Ma,相当于隆升速率 190.6 m/Ma,相应的实际抬升量约 2 097 m。自 150 Ma 以来博格达山北缘总计抬升约 3 463 m,现今被剥蚀约 2 376 m,平均剥蚀速率 15.8 m/Ma。

南缘样品 BG-3 总体也具有 4 个期次的热历史(图 3b):①150~75 Ma 的初期隆升,温度从磷灰石退火带底部温度 117 °C 降至约 108 °C,以最佳热演化路线计算,冷却速率为 0.12 °C/Ma,若取平均地温梯度 30 °C/km,则相当于隆升速率为 4.0 m/Ma,相应的实际抬升量约 300 m;②75~26 Ma 的第 2 期隆升,温度从约 108 °C 降至约 81 °C,计算冷却速率为 0.55 °C/Ma,相当于隆升速率 18.3 m/Ma,相应的实际抬升量约 897 m;③26~9 Ma 的第 3 期隆升,温度从约 81 °C 降至约 60 °C,计算冷却速率为 1.24 °C/Ma,相当于隆升速率 41.2 m/Ma,相应的实际抬升量约 700 m;④9 Ma 以来的第 4 期快速隆升,温度从约 60 °C 降至近地表温度 16 °C,计算冷却速率为 4.88 °C/Ma,相当于隆升速率 162.9 m/Ma,相应的实际抬升量约 1 629 m。自 150 Ma 以来博格达山南缘总计抬升约 3 526 m,现今被剥蚀约 1 860 m,平均剥蚀速率 12.4 m/Ma。

对比两个样品所反映的博格达山南、北缘的隆升热历史可知,博格达山中新生代总体表现为持续的隆升过程,南、北缘实际的抬升总量基本相同。中新生代至少经历了 4 期主要的隆升热事件活动,起始时间分别为 150、75、42~26、11~9 Ma。此外,在这 4 期主要的隆升热事件活动中,局部还发生了小规模的冷却或抬升作用。热演化历史实际上是区域地质热演化的缩影,受控于区域构造活动。晚侏罗

世末至早白垩世(152.3 ± 14.7)~(106.3 ± 9.4) Ma,博格达山可能已经开始隆升,无论是从前文的裂变径迹年龄与高程关系上看还是从模拟的热演化史上看,中生代博格达山已具有一定的隆升速率,说明此时博格达山可能已经初具规模。博格达山前缘米泉地区见侏罗纪和白垩纪以及早、晚白垩纪地层间角度不整合,可能就是本次构造活动的反映。盆山交接带的地表地质和钻井证据(舒良树,私人通讯)以及早白垩世天山两侧盆地的沉积学记录<sup>[14]</sup>也表明了这一时期造山运动的存在。这也反映天山造山带在中新生代的陆内构造复活可能始于晚侏罗世末—早白垩世。起始于 150 和 75 Ma 的博格达山南、北缘的隆升速率均大体相当,表明博格达山当时为整体隆升,这两个时期的隆升活动可能与拉萨地块和欧亚板块沿班公河—怒江缝合带发生碰撞及随后的科希斯坦(Kohistan)岛弧增生作用到亚洲大陆上的远程效应有关<sup>[15~16]</sup>。42~26 Ma 开始,博格达山的隆升由整体转为区段性,南、北缘形成差异隆升。北缘 42 Ma 的隆升处于近乎稳定的状态,隆升速率只有 1 m/Ma;11 Ma 以来表现为快速隆升,速率为 190.6 m/Ma。而南缘 26 Ma 开始的隆升速率却达到 41.2 m/Ma,9 Ma 以来的隆升却比北缘缓慢,速率为 162.9 m/Ma。新生代渐新世以来天山的隆升目前普遍认为与印度板块和欧亚板块碰撞的远程效应有关<sup>[15~20]</sup>,但是博格达山南、北缘的差异性隆升可能还受其他的因素所控制。分段性是造山带的重要属性特征<sup>[21]</sup>,控制大陆变形的主控因素包括动力来源、岩石圈热流变性质和构造继承性等<sup>[22]</sup>。因此,印度板块与欧亚板块碰撞的远程挤压效应可能只是博格达山陆内造山作用的动力诱导因素,造成博格达山不同段隆升差异性的更主要的原因可能与变形边界约束条件的差异和地壳圈层之间的差异约束状态<sup>[21]</sup>有关,但是目前地质、地球物理方面的证据还不充分,还有待进一步的研究和深化。

## 4 结论

(1) 博格达山 5 个磷灰石样和 4 个锆石样的裂变径迹年龄都是相应构造热事件的反映。模拟的热演化过程与裂变径迹测定年龄所反映的热事件活动期次基本吻合。博格达山乃至整个天山中新生代的陆内构造复活可能始于晚侏罗世末—早白垩世。博格达山中新生代总体表现为持续的隆升,至少经历了 4 个主要期次的隆升热事件活动,起始时间分别为 150~106、75~65、44~24 和 13~9 Ma。

(2) 42~26 Ma之前,博格达山南、北缘的隆升速率大体相当。之后,博格达山的隆升转为区段性,南、北缘形成差异隆升。北缘在42~11 Ma为近于稳定的状态,隆升速率为1 m/Ma,11 Ma至今隆升速率为190.6 m/Ma;而南缘在26~9 Ma间隆升较快,速率为41.2 m/Ma,9 Ma至今隆升速率为162.9 m/Ma。这种差异性的隆升可能一方面与印度板块和欧亚板块碰撞的远程效应有关,另一方面也是更重要的原因可能与变形边界约束条件的差异和地壳圈层之间的差异约束状态有关。

**致谢:**中科院高能物理研究所袁万明研究员对样品进行了测试,成文过程中与南京大学舒良树教授进行了有益的讨论,在此一并致谢。

#### 参考文献(References)

- [1] 马宗晋,高祥林.大陆构造、大洋构造和地球构造研究构想[J].地学前缘,2004,11(3):9-14.[MA Zong-jin, GAO Xiang-lin. Some thoughts on the research on continental tectonics, oceanic tectonics and earth tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 2004,11(3): 9-14.]
- [2] 钱祥麟.新生代板内造山作用研究——认识中国区域地质构造基本特征的关键[J].地学前缘,2004,11(3):221-225.[QIAN Xiang-lin. On the basic features of the regional geological tectonics of China-The key to understanding of the Cenozoic intra-plate orogeny [J]. Earth Science Frontiers, 2004,11(3): 221-225.]
- [3] 蔡立国.天山陆内俯冲造山转换带的基本特征[J].石油实验地质,2000,22(3):206-209.[CAI Li-guo. The transfer zone with in intra-continent subduction orogenic belt in the Tianshan, Northwest China [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(3):206-209.]
- [4] 王宗秀,李涛.新疆博格达山链新生代再生造山机理——岩石圈内切层“开”“合”造山带的典型代表[J].地质通报,2004,23(3):286-293.[WANG Zong-xiu, LI Tao. Mechanism of Cenozoic revival orogeny in the Bogeda Mountain chain, Xinjiang [J]. Geological Bulletin of China, 2004,23(3):286-293.]
- [5] 王宗秀.博格达山链造山活动与山体形成演化[D].博士论文,中国地震局地质研究所,2003.[WANG Zong-xiu. Orogeny, formation and evolution in the Bogeda Mountain chains [D]. Thesis for Ph. D. Institute of Geology, Seismological Bureau of China, 2003.]
- [6] 吴孔友,查明,曲江秀,等.博格达山隆升对北三台地区构造形成与演化的控制作用[J].石油大学学报自然科学版,2004,28(2):1-5.[WU Kong-you, ZHA Ming, QU Jiang-xiu, et al. Control of Bogeda mountain uplift on the structural formation and evolution in Beisanta region[J]. Journal of the University of Petroleum, 2004,28(2):1-5.]
- [7] 曹守连,何登发.柴窝堡盆地构造演化[J].大地构造与成矿学,1997,21(3):262-269.[CAO Shou-lian, HE Deng-fa. Evolution of the Caiwopu basin, Xinjiang. [J] Geotectonica et Metallogenia,1997,21(3):262-269.]
- [8] 吴建华,向书政,吴晓智,等.准噶尔盆地南缘东部构造样式与形成机制[J].新疆石油地质,2002,23(3):208-210.[WU Jian-hua, XIANG Shu-zheng, WU Xiao-zhi, et al. Structures in east part of souther margin in Junggar basin and their formation mechanism [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002,23(3):208-210.]
- [9] 吴垣虹.裂变径迹法在大地构造学中的一些应用[J].地质地球化学,2001,29(1):83-89.[WU Qian-hong. Some cases of application of fission track method in geotectonics [J]. Geology Geochemistry, 2001,29(1):83-89.]
- [10] Hurford A J, Green P F. The Zeta age calibration of fission track dating[J]. Isotope Geosciences, 1983,65(1): 285-317.
- [11] 许长海,周祖翼,范登海特P,等.大别造山带磷灰石裂变径迹(AFT)年代学研究[J].中国科学D辑,2004,34(7):622-634.[XU Chang-hai, ZHOU Zu-yi, Van Den Haute P, et al. Apatite fission track research on Dabie orogenic belt [J]. Science in China(Series D), 2004,34(7):622-634.]
- [12] Ketcham R A, Donelick R A, Carlson W D. Variability of apatite fission-track annealing kinetics III: Extrapolation to geological time scales [J]. American Mineralogist, 1999,84(9): 1 235-1 255.
- [13] 周祖翼,Donelick R.基于磷灰石裂变径迹分析数据的时间—温度历史的多元动力学模拟[J].石油实验地质,2001,23(1):97-102.[ZHOU Zu-yi, Donelick R. Multikinetic modeling for time-temperature history based on apatite fission track data [J]. Experimental Petroleum Geology, 2001,23(1):97-102.]
- [14] 方式虎,郭召杰,张志诚,等.中新生代天山及其两侧盆地性质与演化[J].北京大学学报自然科学版,2004,40(6):886-897.[FANG Shi-hu, GUO Zhao-jie, ZHANG Zhi-cheng, et al. Discussion on Mesozoic-Cenozoic evolution of Tianshan and its adjacent basins [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004,40(6): 886-897.]
- [15] Allen M B, Windley B F, Zhang C. Paleozoic tectonic and magmatism of the Chinese Tien Shan, central Asia[J]. Tectonophysics, 1992,220:89-115.
- [16] 舒良树,郭召杰,朱文斌,等.天山地区碰撞后构造与盆地演化[J].高校地质学报,2004,10(3):393-404.[SHU Liang-shu, GUO Zhao-jie, ZHU Wen-bin, et al. Post-collision tectonism and basin range evolution in the Tianshan belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2004,10(3):393-404.]
- [17] Sobel E R, Dumitru T A. Thrusting and exhumation around the margins of western Tarim basin during the India-Asia collision[J]. J. Geophysics Res., 1997,102(B3):5 043-5 063.
- [18] Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tianshan: An early effect of the India-Asia collision[J]. Geology, 1994,22:487-490.
- [19] Bullen M E, Burbank D W, Abdurakmatov K Y, et al. Late Cenozoic tectonic evolution of the northwestern Tien Shan: Constraints from magnetostratigraphy. Detrital fission track and basin analysis[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 2001, 113:

- 1 544-1 559.
- [20] Bullen M E, Burbank D W, Garver J J. Building the northern Tien Shan: Integrated thermal structural and topographic constraints[J]. *J. Geology*, 2003, 111: 149-165.
- [21] 李涛, 王宗秀, 周高志, 等. 新疆博格达山分段及深浅构造转换关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 103-114. [LI Tao, WANG Zong-xiu, ZHOU Gao-zhi, et al. The segmentation and the relationship between shallow and deep structures of Bogeda Mountain, Xinjiang, Northwest China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 103-114. ]
- [22] 王良书, 刘绍文, 李成, 等. 岩石圈热-流变结构与大陆动力学[J]. 地球科学进展, 2004, 19(3): 382-386. [WANG Liang-shu, LIU Shao-wen, LI Cheng, et al. The continental dynamics related to the thermal-rheological structure of the lithosphere [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(3): 382-386. ]

## EVIDENCE FROM APATITE AND ZIRCON FISSION TRACK ANALYSIS FOR MESOZOIC-CENOZOIC UPLIFT THERMAL HISTORY OF BOGEDA MOUNTAIN OF XINJIANG, NORTHWEST CHINA

SHEN Chuan-bo<sup>1</sup>, MEI Lian-fu<sup>1</sup>, LIU Lin<sup>2</sup>, TANG Ji-guang<sup>1</sup>, ZHOU Feng<sup>1</sup>

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2 Jianghan Oil Field Company, SINOPEC, Qianjiang 433124, China)

**Abstract:** Fission-track dating evidences from 5 apatite samples and 4 zircon samples and modeled time-temperature thermal history indicate that the uplift process of Bogeda Mountain since late Jurassic-Cretaceous can be divided into four stages: 150~106, 75~65, 44~24 and 13~9 MaBP. Before 44~24 Ma, the cooling rate and uplifting rate of the southern and northern segments of Bogeda Mountain were the same, but since 44~24 MaBP, the uplifting of the southern and northern segments of Bogeda Mountain has become different. During 42~11 Ma, the northern segment was in a steady stage, with the cooling rate being 0.03°C/Ma and uplifting rate 1 m/Ma. During 11 Ma-present, the northern segment was in a rapidly cooling and uplifting stage, with the cooling rate being 5.72 °C/Ma and uplifting rate 190.6 m/Ma. The southern segment was in a rapidly cooling and uplifting stage since 26 Ma, with the cooling rate being 1.24 °C/Ma and uplifting rate 41.2 m/Ma during 26~9 Ma and 4.88 °C/Ma and 162.9 m/Ma during 9 Ma-present. The difference in the uplifting may be because of collision between the Indian and Eurasian plates and also of being controlled by the processes of dynamics at different depths of Bogeda Mountain.

**Key words:** fission track; thermal history; uplift; Mesozoic-Cenozoic; Bogeda Mountain