

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

高喜马拉雅地区聂拉木花岗岩快速 抬升的裂变径迹证据

王彦斌 王军

王世成

(中国地质科学院地质研究所,北京,100037) (中国科学院高能物理研究所,北京,100080)

内容提要 笔者对西藏高喜马拉雅地区聂拉木花岗岩样品进行了磷灰石裂变径迹分析。聂拉木淡色花岗岩4个不同高程(3950~4200 m)的裂变径迹年龄范围为 $3.79 \pm 0.34 \sim 8.17 \pm 0.47$ Ma,混合花岗岩4个不同高程(3260~3720 m)的裂变径迹年龄范围为 $0.85 \pm 0.09 \sim 1.71 \pm 0.34$ Ma。结合已有的热年代学资料,提出整个高喜马拉雅造山带在上新一第四纪时为快速抬升期。

关键词 裂变径迹 快速抬升 高喜马拉雅花岗岩 中国西藏

喜马拉雅山的崛起是地球新生代历史上最伟大的事件。喜马拉雅造山作用使高喜马拉雅的结晶岩出露地表,并且现已抬升到很高的高度。对高喜马拉雅结晶岩的抬升历史及其机制的研究存在着很大的争议,争论的焦点主要是构造运动的机制和年代的限定^[1,2]。近年的工作已经强调高喜马拉雅地区的区域抬升历史是从20 Ma开始^[2]。迄今为止,各国的科学家都是在喜马拉雅造山带的局部地点进行工作,因此得出的是局部地点的结论^[3~7],这就使我们需对下面的问题进行回答:“新生代高喜马拉雅地区强烈抬升是局部事件,还是整个造山带范围内的事件?阶段性抬升的时间、过程、地质证据及其机制是什么?”而这些问题的回答需要整个喜马拉雅造山带造山过程(岩浆作用、变质作用、构造作用及其之间的关系)时间的制约。在喜马拉雅地区应用热年代学方法研究造山事件和隆升作用的时间特别重要,中国西藏聂拉木地区位于喜马拉雅造山带的中部,如图1A、B所示,地形高差3000余米,它是研究喜马拉雅隆升的理想地区。笔者的研究主要沿中国—尼泊尔公路进行,沿线的聂拉木地区出露高喜马拉雅结晶岩,主要是一套厚层序列的结晶片麻岩、混合花岗岩、云母片岩和大理岩,其年龄为晚前寒武纪泛非期。该序列岩石的南部边界是主中央逆冲断裂,北部边界则是藏南拆离带(图1B)。在聂拉木县城北至章东为韧性推覆带^[8]。东西长2000余千米的喜马拉雅造山带的许多地区已开展了裂变径迹的热年代学研究^[3~7],而西藏高喜马拉雅聂拉木地区还未进行这方面的研究,并且缺乏从热年代学数据得到的时间—温度资料来定量限定新生代高喜马拉雅地区抬升作用的时间、速率和趋势。为此,笔者对西藏聂拉木的高喜马拉雅结晶岩中不同高程的混合花岗岩和淡色花岗岩进行了磷灰石裂变径迹的分析,并结合已有热年代学资料讨论其冷却及抬升速率。

1 采样位置

野外考察沿中尼公路进行,样品采集如图1C所示。混合花岗岩采自康山桥附近,其围岩为眼球状、条带状混合岩。混合花岗岩呈小岩体分布在混合岩带内,岩石组分和结构都不均一,

注:本文为地质矿产部“八五”重大基础项目(编号8502202)成果。

本文1998年3月收到,4月改回,刘淑春编辑。

常有残留包体和阴影构造。矿物成分以斜长石、钾长石、石英为主;暗色矿物以棕红色黑云母为主,含量 0%~30% 不等,呈条带状分布。淡色花岗岩采自江林村北,含电气石淡色花岗岩呈岩墙状顺层侵入条带状片麻岩及眼球状混合岩中。含电气石淡色花岗岩,主要矿物为条纹长石,微斜长石(30%~40%)、斜长石(35%)、石英(20%~30%)、白云母(5%)、黑云母(0%~5%)、电气石(1%~5%)。笔者沿海拔高程进行采样,采样点的海拔高度由气压高度计测得。

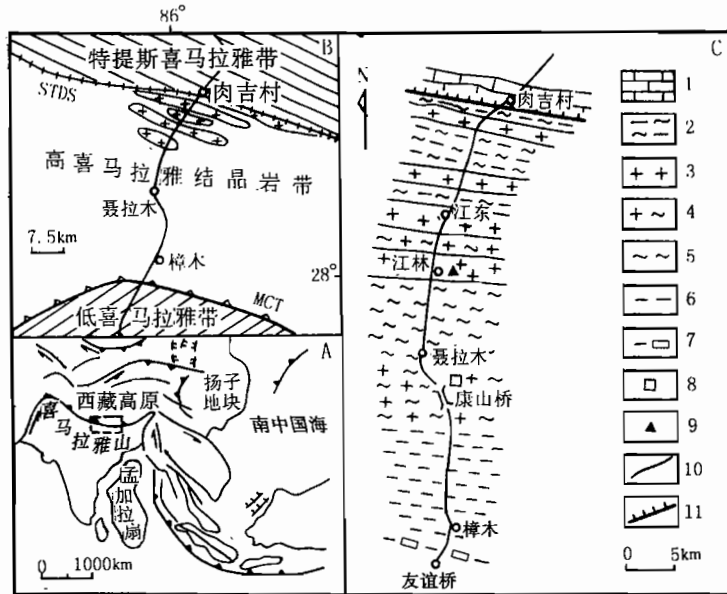


图 1 西藏聂拉木地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Nyalam region, Tibet

A—研究区所处的地理位置;B—研究区所处的构造背景;C—研究区的地质简图;1—透辉石大理岩,结晶灰岩;2—黑云斜长片麻岩;3—含电气石淡色花岗岩;4—混合花岗岩及眼球状混合岩;5—眼球状片麻岩,条带状片麻岩;6—夕线石-黑云母片岩;7—蓝晶石-石榴石黑云母片岩;8—混合花岗岩采样点;9—淡色花岗岩采样点;10—中-尼公路;11—聂拉木拆离断裂;MCT—主中央逆冲断裂带;STDS—藏南拆离系

A—Geographical position of the study area; B—tectonic settings of the study area; C—geological sketch map of the study area; 1—diopside marble, crystalline limestone; 2—biotite plagioclase gneiss; 3—tourmaline-bearing leucogranite; 4—migmatitic granite and augen migmatite; 5—Augen-gneiss, banded gneiss; 6—sillimanite-biotite schist; 7—kyanite-garnet-biotite schist; 8—sample locality of migmatitic granite; 9—sample locality of leucogranite; 10—China—Nepal highway; 11—Nyalam detachment fault; MCT—main central thrust; STDS—Southern Tibet detachment system

2 磷灰石裂变径迹测定

磷灰石裂变径迹分析是在中国科学院高能物理研究所核分析技术开放实验室进行,采用外探测器法,实验程序参见文献[9]。裂变径迹年龄应用 Zeta 常数法计算, ζ 计算值采用 322.1 ± 3.6 , 年龄误差计算应用 Naeser(1978)方法,径迹长度是利用子径迹法和隙径迹法揭示位于矿物颗粒内部的封闭径迹(confined track length),对所采样品进行的磷灰石裂变径迹分析结果列于表 1。

磷灰石封闭温度为 $130 \pm 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ^[10],这个温度值要比通常 $>10 \text{ Ma}$ 年龄时的高 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$,这是

因为研究区的磷灰石年龄较轻,并且其快速冷却速率介于 $10\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 之间的缘故^[10]。

表 1 高喜马拉雅地区聂拉木花岗岩磷灰石裂变径迹分析结果

Table 1 Results of apatite fission track analyses from the Nyalam High Himalaya granites

样品号	海拔高程 (m)	颗粒数	$P_s \times 10^5$ /cm ² (N_s)	$P_t \times 10^5$ /cm ² (N_t)	γ	$P(\chi^2)$ (%)	年龄 $\pm 1\sigma$ (Ma)	$L(\mu\text{m})$ (N)	抬升速率 (mm/a)
L-1	4200	18	2.00(264)	47.41(6276)	0.71	>10	8.17 \pm 0.47	12.8 \pm 2.8(44)	0.37
L-2	4010	11	0.84(108)	12.89(5527)	0.83	>10	3.79 \pm 0.34		0.79
L-3	3980	18	0.82(134)	29.29(4803)	0.84	>10	5.42 \pm 0.43	10.1 \pm 2.9(107)	0.55
L-4	3950	18	0.74(275)	29.57(10925)	0.81	>10	4.87 \pm 0.28	9.9 \pm 2.8(38)	0.62
M-1	3720	13	0.39(105)	58.90(15792)	0.47	<0.1	1.71 \pm 0.34	11.7 \pm 3.3(46)	1.8
M-2	3580	12	0.27(49)	56.90(10444)	0.80	>50	0.91 \pm 0.13	10.0 \pm 3.9(52)	3.3
M-3	3480	15	0.32(95)	73.70(21776)	0.46	>10	0.85 \pm 0.09	10.7 \pm 3.2(101)	3.5
M-4	3260	21	0.19(62)	43.53(13563)	0.68	>80	0.86 \pm 0.11	12.2 \pm 2.3(30)	3.5

注:L-1、L-2、L-3、L-4为淡色花岗岩;M-1、M-2、M-3、M-4为混合花岗岩。 P_s 为自发径迹密度, N_s 为自发径迹数; P_t 为诱发径迹密度, N_t 为诱发径迹数; γ 为相关系数; $P(\chi^2)$ %为 χ^2 检验几率; L 为修正偏斜后的径迹长度。

3 实验结果和讨论

磷灰石裂变径迹年龄表明,聂拉木北部淡色花岗岩年龄为 $3.79\sim 8.17\text{ Ma}$,而混合花岗岩年龄为 $0.85\sim 1.71\text{ Ma}$ (表1)。 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 同位素体系中白云母和黑云母的封闭温度分别为 $350\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $300\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[11]。H. Maluski等^[12]报道了聂拉木淡色花岗岩中白云母 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $14.8\pm 0.6\text{ Ma}$,黑云母 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $16.6\pm 0.5\text{ Ma}$ 。虽然淡色花岗岩中云母 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 年龄($14.8\sim 16.6\text{ Ma}$)和磷灰石裂变径迹年龄($3.79\sim 8.17\text{ Ma}$)之间的精确冷却史是未知的,但封闭温度和它们对应的冷却年龄则制约了淡色花岗岩的可能冷却史。淡色花岗岩从 $14.8\sim 16.6\text{ Ma}$ 时已开始冷却到 $300\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$,一直到 $3.79\sim 8.17\text{ Ma}$ 时冷却到 $130\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,其平均冷却速率为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 。而从 3.79 Ma 以来,其平均冷却速率为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 。由于淡色花岗岩位于高喜马拉雅地区角闪岩相变质岩带和特提斯喜马拉雅沉积岩带接触部位之间的藏南拆离系的下盘,其冷却年龄受此断裂带影响,可能反映了藏南拆离带的构造作用。H. Maluski等^[12]报道了聂拉木混合花岗岩中白云母和黑云母的 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 年龄分别为 $8.6\pm 0.3\text{ Ma}$ 和 $8.8\pm 0.3\text{ Ma}$;U. Scharer等^[13]报道了聂拉木混合花岗岩独居石U-Pb年龄为 $16.8\pm 0.6\text{ Ma}$,这些年龄也制约聂拉木混合花岗岩磷灰石裂变径迹年龄(0.85 Ma)之前的冷却史。同位素U-Pb体系独居石封闭温度为 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[14],聂拉木混合花岗岩从 16.8 Ma 开始冷却到 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$,一直到 $8.6\sim 8.8\text{ Ma}$ 冷却到 $300\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其平均冷却速率为 $49\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 。从 $8.6\sim 8.8\text{ Ma}$ 至 $0.85\sim 1.71\text{ Ma}$,其平均冷却速率为 $29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$;从 0.85 Ma 以来,则平均冷却速率为 $111\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 。如果聂拉木花岗岩侵位以后的冷却是由于构造抬升和侵蚀的结果,那么就可以计算出采样处岩石的抬升速率。当磷灰石的封闭温度为 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[10],地热梯度按 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ^[4],地表年平均气温为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[15],计算出的各样品的抬升速率见表1。其抬升速率与磷灰石裂变径迹年龄相关图如图2所示。从图2可以看出,其抬升速率呈指数增加方式。反映随着年龄的变轻,而快速抬升。从混合花岗岩的年龄—温度资料,可以看出聂拉木混合花岗岩从 $0.85\sim 1.71\text{ Ma}$ 开始的冷却速率较大。反映其快速冷却的原因,可能是由于山脉快速的构造隆升的结果。

实际地质资料也证明,从 $0.85\sim 1.71\text{ Ma}$ 开始聂拉木地区快速隆升,如在聂拉木亚里波曲河第一阶地海拔 4300 m 的全新世石灰华中发现的植物印痕化石主要生长于 $3400\sim 3800\text{ m}$

的高山灌木丛,说明本区全新世抬升了约 1000 m^[16]。

为了回答“新生代高喜马拉雅地区强烈抬升,是局部事件,还是整个高喜马拉雅造山带范围内的事件”这一问题,笔者对东西长 2000 多千米的高喜马拉雅造山带由西往东逐个进行热年代学资料的分析得出:①西喜马拉雅构造结(南迦巴尔帕特峰)花岗岩的磷灰石裂变径迹年龄为 0.24~2.8 Ma,这一年龄被解释为印度板块与欧亚板块碰撞经历的高应变和隆升的时间^[3,4];②印度 Garhwal 高喜马拉雅地区花岗岩和淡色花岗岩磷灰石裂变径迹年龄为 1.5~2.4 Ma,认为此年龄是晚上新世—第四纪主要构造隆升的反映^[5];③尼泊尔 Modhi Khola 的高喜马拉雅带内变质岩的锆石裂变径迹年龄为 0.6~2.8 Ma,此年龄揭示了尼泊尔高喜马拉雅地区在这期间进行快速的隆升^[6];④中国高喜马拉雅地区聂拉木花岗岩磷灰石裂变径迹年龄主要在 1~5 Ma 之间;⑤东喜马拉雅构造结(南迦巴瓦峰地区)花岗岩的磷灰石裂变径迹年龄为 0.31~3.82 Ma^[7],说明其上新世以来快速抬升;⑥喜马拉雅山前东西延展 2000 多千米,厚达 4600 m 的磨拉石沉积锡瓦里克组碎屑锆石裂变径迹年龄为 1~5 Ma^[17];⑦孟加拉扇的沉积研究表明,0.8 Ma 以来,粗碎屑沉积物供给突然增加^[18];⑧尼泊尔喜马拉雅地区的 GPS 资料显示,现今局部隆升每年几毫米^[19]。根据上述所有这些资料,笔者认为整个高喜马拉雅造山带从上新世—第四纪(主要从 1~5 Ma 开始)开始快速的抬升。

本文在成文过程中与陈炳蔚研究员、肖序常院士进行了有益的探讨,中国地质科学院地质研究所陈炳蔚研究员、任留东副研究员和谢广连副研究员参加了野外工作,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Sorkhabi R B, Stump E. Rise of the Himalaya: a geochronologic approach. *GSA Today*, 1993, 3(4): 86~92.
- 2 Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, Yin A. Raising Tibet. *Science*, 1992, 225: 2663~2670.
- 3 Zeitler P K. Cooling history of the N. W. Himalaya, Pakistan. *Tectonics*, 1985, 10: 729~741.
- 4 Zeitler P K, Johnson N M, Naeser C W, Tahirkheri R A K. Fission-track evidence for Quaternary uplift of the Nanga Parbat region, Pakistan. *Nature*, 1982, 298: 255~257.
- 5 Sorkhabi R B, Stump E, Flalund K A, Jain A K. Fission-track and ⁴⁰Ar/³⁹Ar evidence for episodic denudation of the Gangotri granites in the Garhwal Higher Himalaya, India. *Tectonophysics*, 1996, 268: 187~199.
- 6 Arita K, Ganzawa Y, Ohta Y. Accelerating uplift since the miocene and tectonics of the Nepal Himalaya. 10th Himalaya—Karakoram—Tibet Workshop (Abstr.). 1995.
- 7 丁林,钟大贵,潘裕生,黄萱,王庆隆. 东喜马拉雅构造结上新世以来快速抬升的裂变径迹证据, *科学通报*, 1995, 40(16): 1497~1500.
- 8 崔军文,朱红,武长得等. 青藏高原岩石圈变形及其动力学. 北京: 地质出版社, 1992. 19~31 页.
- 9 王世成,康铁笙,荆贵茹等. 临清拗陷钻井磷灰石样品的裂变径迹长度分布及其在热史和构造上的意义. *科学通报*, 1992, 22: 2069~2071.
- 10 Wagner G, Van Den Haute P. Fission-track dating. Kluwer, Dordrecht, 1992. 285.
- 11 Mc Donnell I, Harrison T M. Geochronology and Thermochronology by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Method. Oxford University Press.

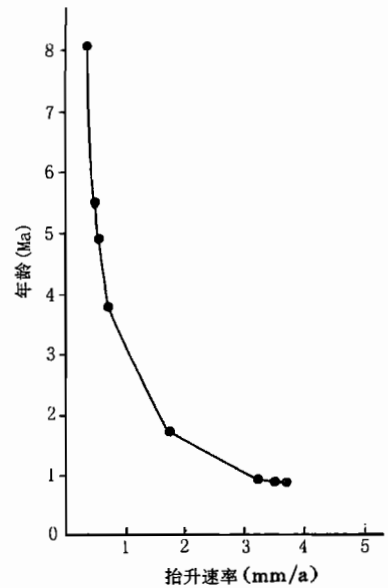


图 2 聂拉木喜马拉雅花岗岩的抬升速率与裂变径迹年龄相关图

Fig. 2 Uplift rate vs fission track age of the Nyalam Himalaya granites

- New York. NY. ,1989. 212.
- 12 Maluski H, Matte P, Brunel M, Xiao Xusheng. Argon 39-Argon 40 dating of metamorphic and plutonic events in the North and High Himalaya belts (southern Tibet, China). *Tectonics*, 1988, 7: 299~326.
 - 13 Scharer U, Xu R H, Allegre C J. U-(Th)-Pb systematics and ages of Himalaya leucogranites, South Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 1986, 77: 35~48.
 - 14 Parrish R R, Tirrul R. U-Pb age of the Baltoro granite, northwest Himalaya, and implicatcans for zircon inheritance and monazite U-Pb systematics. *Geology*, 1992, 17: 1076~1079.
 - 15 林耀振, 吴祥定. 青藏高原隆起前后的气候状况. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京: 科学出版社, 1981. 159~165页.
 - 16 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制. *地球学报*, 1995, 1: 1~9.
 - 17 Cerveny D F, Naeser N P, Zeitler P K, Naeser C W, Johnson W M. New perspective in basin. New York. Springer-Verlog. 1988. 43~61.
 - 18 Mugnier J L, Huygle P, Leturmy P, Peleailau B. Plio-Quaternary increase of sediment supply in syn-orogenic basins of Himalaya; Tectonic control or climatic effect? 11th Himalaya—karakoram—Tibet workshop. (Abstr). ,1996. 107.
 - 19 Jackson M, Bilham R. Constraints on Himalaya deformation inferred from vertical velocity fields in Nepal and Tibet. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99(13): 897~912.

Fission Track Evidence for Rapid Uplift of the Nyalam, Higher Himalaya, Tibet, China

Wang Yanbin, Wang Jun

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing, 100037)

Wang Shicheng

(Institute of the High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract

In order to document quantitatively the cooling and uplift history of the Nyalam leucogranites and migmatitic granites, fission track (FT) apatite from granites in the Nyalam region, Tibet has been determined. Four FT apatite ages of the Nyalam migmatitic granites from elevations 3260~3720 m are in the range of 0.85 ± 0.09 to 1.71 ± 0.34 Ma; Four FT apatite ages of the Nyalam leucogranites from elevations of 3950~4200 m are in the range of 3.79 ± 0.34 to 8.17 ± 0.47 Ma. These FT age data coupled with the available thermal chronological data reveal that the Pliocene—Quaternary was a period of rapid uplift of the entire higher Himalayas.

Key words: rapid uplift; fission track; Higher Himalaya granite; Tibet, China

作者简介

王彦斌,男,1966年6月生。1990年获长春地质学院地球化学硕士学位。现为中国地质科学院地质研究所副研究员,从事地球化学、构造地质研究工作。通讯地址:100037,北京西城区百万庄路26号地质研究所极地地质和国外地质研究室。