

矿物裂变径迹年龄与青藏高原 隆升速率研究

江 万

(中国地质科学院地质力学研究所)

莫宣学 赵崇贺 郭铁鹰 张双全

(中国地质大学,北京)

摘 要 本文通过对青藏高原冈底斯花岗岩带中段花岗闪长岩中不同矿物裂变径迹年龄研究表明,青藏高原南部的隆升是分阶段的,从岩体就位到约 30Ma 为高原缓慢隆升阶段,30Ma-7Ma 期间高原隆升速度加快,7Ma 以来高原快速隆升;结合已有的有关青藏高原不同地区隆升速率、时限研究成果认为,青藏高原的隆升具有整体性、阶段性、加速性和区域的不均衡性。

关键词 矿物裂变径迹年龄 青藏高原 隆升

0 概述

青藏高原是世界上形成时代最晚,面积最大的高原,有“世界第三极”之称,长期以来一直是国际地质学界孜孜以求的研究对象。现已认识到青藏高原的隆升可改变大气环流和大洋环流形式,特别是东南季风,从而影响北半球甚至全球的气候和环境,而要解决这一问题的关键是要确定青藏高原隆升的时限及速率问题。

确定青藏高原在过去地质历史时期的隆升时限和速率主要通过以下两种手段:(1)综合古地理研究方法。包括地层古生物、古土壤、地貌(古岩溶和夷平面)、古冰川等多学科的综合研究,“将今论古”,恢复古地理环境,推测隆起的幅度、时代和形式。(2)同位素年代学方法。通过特征矿物或全岩的铷-锶、钾-氩或裂变径迹年龄,推算抬升速率及隆起年代^[1-6]。前一种手段毫无疑问是直接而客观的;后一种手段在解决象高原这样的环境恶劣地区的地质问题也无疑是简捷快速的,而且,更为关键的是很容易就可以获得中间过程,从而更精确地得到反映隆升过程差异的研究结果。

本文通过研究青藏高原冈底斯花岗岩带中段花岗岩中矿物裂变径迹年龄,结合前人在青藏高原不同地区利用裂变径迹方法研究的结果,以及前人利用其他手段获得的有关高原隆升

1997年 9月 9日收稿

本研究得到地矿部重点研究课题《青藏高原构造演化、隆升与岩浆热事件若干问题研究》的资助

1 青藏高原冈底斯花岗岩带中段矿物裂变径迹年龄研究

Fleischer^[7]发现不同环境会影响矿物裂变径迹的长程稳定性,其中温度是最主要的控制因素,因而这一方法在恢复矿物结晶所记录的地质体热历史方面具有重大意义。其基本原理在于不同矿物在地质体冷却过程中的封闭温度是不同的^[8],因此对应不同的矿物在不同阶段的裂变径迹年龄与地质体冷却速率成直线关系。通常所采用的封闭温度为:磷灰石 250°C^[9],锆石 175- 220°C^[10],磷灰石 100- 140°C^[11]。温度的变化范围反映实验的误差及在不同地温梯度下对应的不同封闭温度

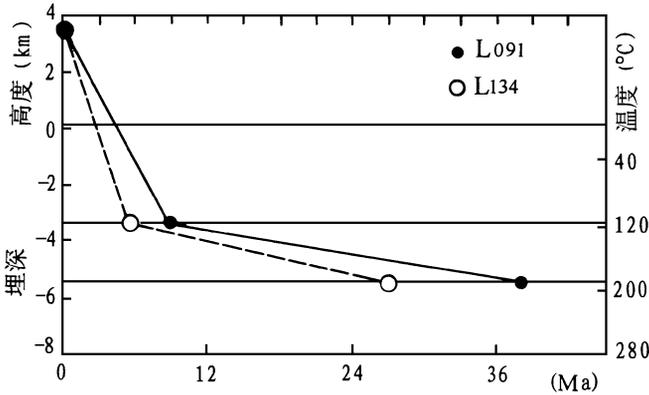


图 1 磷灰石、锆石裂变径迹年龄得出的花岗岩体的冷却路径图

Fig. 1 Diagram of granitoids body's cooling track from the fission-track dates of Apatite and Zircon

在研究造山带隆升历史时,通常采用多种矿物组合,从而得到不同阶段地质体的隆升速率。造山带地温梯度较高,一般的值是 35°C /km,而对应这个温度的锆石和磷灰石的封闭温度分别为 190°C和 115°C。

鉴于本次研究目的之一在于查明青藏高原岩石圈演化与高原隆升的耦合关系,在岩体年代学研究基础之上,选取曲水和日喀则两个具有代表性的花岗闪长岩样品 L091 L134,挑选其中的锆石和磷灰石进行裂变径迹年龄研究。这两个岩体的就位年龄分别为 41. 4Ma^[12]和 34. 33Ma(本次

工作, Ar-Ar法年龄)。

裂变径迹年龄结果列于表 1。岩石的冷却路径(图 1)表明,30Ma 以来冈底斯带中段花岗岩带的抬升(剥蚀)速率呈加速趋势。裂变径迹数据可以直接计算地质体的平均抬升速率,结果表明,30Ma 到 7Ma 冈底斯花岗岩带中段平均抬升速率为 0. 09± 0. 02mm /a, 7Ma 到现今的抬升速率可以用以下公式来计算:

表 1 冈底斯花岗岩带中段花岗闪长岩中磷灰石、锆石裂变径迹年龄结果

Table 1 Results of apatite and zircon fission-track date of granodiorite in middle Gangdise granitoids belt

样号	矿物名称	自发裂变径迹密度 (10 ⁶ 次 /cm ²)	诱发裂变径迹密度 (10 ⁶ 次 /cm ²)	中子通量	裂变径迹年龄 (Ma)
L091	磷灰石	1. 111	22	0. 2979	8. 9± 0. 6
L091	锆石	32. 16	143. 57		38± 2. 0
L134	磷灰石	0. 652	21. 23		5. 4± 0. 4
L134	锆石	25. 24	165. 3		26. 8± 1. 6

分析单位: 国家地震局地质所

$$V = \Delta H / (A_1 - A_2)$$

式中: ΔH 为不同时代对应的岩体埋深之差或与现今海拔高度之差; A_1 、 A_2 分别为不同矿物裂变径迹年龄, 抬升速率计算结果为 $1.0 \pm 0.25 \text{mm/a}$ 。如果将角闪石 Ar-Ar 年龄作为岩体就位年龄, 角闪石的结晶温度为 410°C , 由此计算出岩浆就位以来的抬升速率为 $0.4 \pm 0.04 \text{mm/a}$ 。由此可见, 冈底斯花岗岩带中段平均隆起速率在岩体就位以来 7Ma 以前是缓慢和稳定的, 而 7Ma 以后抬升速率从 0.09mm/a 增加到 1.0mm/a 。

根据矿物裂变径迹年龄推算的青藏高原隆起速率和时间, 不同研究者在不同地区所得到的研究结果各不相同。Zeitler^[1-3]对喜马拉雅西北部及南迦帕尔巴特峰地区的研究表明, 喜马拉雅西北部近 60Ma 以来的抬升速率为 $0.05 - 0.83 \text{mm/a}$, 约 40-17Ma 期间, 抬升速率为 $0.14 - 0.33 \text{mm/a}$, 同时在这一地区获得的锆石和磷灰石的裂变径迹年龄低达 1.3Ma 和 0.4Ma。如果这一结果正确的话, 更新世晚期这一地区的抬升速率可达 1cm/a , 就是说在一百万年的时间里将上升 10km。刘顺生和章峰^[4]获得了高喜马拉雅的告乌岩体 9.18-8.06Ma 前的平均抬升速率为 0.49mm/a 。Copeland 等^[5,6]对冈底斯花岗岩带中段曲水岩体及达孜岩体的研究表明, 锆石和磷灰石的裂变径迹年龄与本次研究所获得的结果比较接近。由此看来, 本次研究所获得的数据是合理的, 所得出的抬升速率的差异与计算所使用的地温梯度及矿物的封闭温度不同有关。

上述资料表明, 青藏高原南部在不同地质时期, 不同地质单元抬升速率是不一样的, 总的看来比较快速的隆升是在 10Ma 以后, 东部抬升速率较西部小, 而这种近期的快速隆升及东西部的差异与我国目前的地理格局显然是有联系的。

2 有关青藏高原隆升速率、时限的其它研究结果

许多研究者^[13-15]从沉积建造, 古生物组合, 中新世、上新世沉积物的海拔高度以及古地磁资料等探讨了高原隆升的事实。

青藏高原的隆升是从海水退出西藏地区开始的。在藏北出现以丁青地区下白垩统为代表的局限残余浅海沉积; 在藏南时间较晚, 以定日地区的下始新统灰岩 (57Ma) 代表海水最晚退出高原的标志, 但高原的快速隆升应该是在中新世 (20Ma) 之后。我国地质工作者在甘肃省临夏第三系中新世中部, 发现有属于西瓦利克古脊椎动物化石群^[16]。说明该区与西瓦利克的自然环境相近, 与西藏地区布隆、吉隆、扎达这几个地方发现的同一地质时代三趾马的自然环境相近, 这是高原隆升时间下限的地质依据。

中国地质学家根据古生物、古地理证据推断, 直到第四纪青藏高原尚未大规模抬升^[17-20]。刘东生和施雅风根据在希夏邦马峰 5700-5900m 采集到的高山栎化石, 推断该区上新世以来抬升了约 3000m。赵希涛根据在珠穆朗玛峰地区收集的资料推断青藏高原上新世时已达海拔 2000-3000m 高度^[14]; 而崔之久等^[21]根据古喀斯特遗迹推断上新世时青藏高原的海拔高度约 1000m。植物证据表明始新世时青藏高原处在海拔 500m 以下的温热气候条件下, 到中新世晚期, 西藏中部的高度大于 2000m^[15]。上新世时期西藏古气候快速变干, 表明喜马拉雅已达到一定高度, 阻挡了季风的北上。在青藏高原周围盆地中的上新世到近代的粗粒碎屑磨拉石 (如西瓦利克磨拉石、疏勒河组、大邑砾岩等) 表明了高原在晚第三纪-第四纪的快速隆升。

张青松等^[13]分析了高原上公路沿线精密水准点 1959-1961 年和 1980-1981 年两次复测资料。结果表明, 青藏高原大部分地区目前仍在上升, 上升的平均速率为 5.9mm/a , 喜马拉雅

雅北坡最大,可达 10mm/a

追溯现代沉积物的来源。如有的研究者根据孟加拉湾沉积扇的沉积物主要来自喜马拉雅山,它的矿物组合可以反映喜马拉雅山的隆升历史。科学家们利用海洋钻探计划(O DP)第 116 航次期间取出的岩芯,通过重砂矿物分析,确定矿物组合和成分,将沉积物分为 6 个矿物带,从矿物带追溯其来源;分析表明,矿物组合大多与喜马拉雅山区地质一致,除推覆体外,低喜马拉雅构造区主要由前寒武纪至古生代末未变质和弱变质沉积岩组成,高喜马拉雅区主要由深变质岩和花岗岩组成,特提斯喜马拉雅区主要由浅水沉积岩,如石灰岩、钙质砂岩和白云岩组成。依据这些矿物组合,可以反演高喜马拉雅区自 17Ma 以来曾经历了两次抬升,反映在沉积扇的地层上,以来自高喜马拉雅区的主要重矿物流为特征。一个是 IV 带,年龄为 10.9—7.5Ma,另一个为 I 带,其年龄小于 0.9Ma。将孟加拉湾沉积扇端的淡兰色至紫红色角闪石、钙角闪石与高喜马拉雅区的角闪石和片麻岩中的同种矿物对比,可以进一步确定高喜马拉雅地区有过两次隆升时期:第一次发生在 15.2—7.5Ma 之间;第二次发生在 0.9Ma 时达到高峰并一直延续至全新世。

兰州大学地理科学系的地质工作者研究^[16]认为,青藏高原从发生隆升以后,抬升的步伐是越来越快,目前还继续在抬升。他们从抬升的平均速率和高度的研究中发现,距今 7.4—0.01Ma 高原隆升的步伐明显加快,7.4—5Ma 期间抬升 100m 花了 2Ma;从 0.78—0.59Ma 期间抬升 200m 花了 0.2Ma;到距今 0.05—0.018Ma 时抬升 300m 花了 0.035Ma。他们认为历史上隆升最强烈的时间为 0.12—0.05Ma,其间抬升 500m 花了 0.07Ma;0.05—0.01Ma 期间抬升 300m 高度共花了 0.03Ma。对高原的抬升速率的研究表明,0.78Ma 前平均抬升速率 < 1.3mm/a,0.20Ma 时年平均抬升速率为 4.8mm/a;0.12Ma 时年平均抬升速率为 6.1mm/a;0.15Ma 时年平均抬升速率为 5.6mm/a;0.05Ma 时平均抬升速率为 7.9mm/a;0.018Ma 以来,平均抬升速率为 9.2mm/a。中国科学院地理研究所的地质工作者,在上述区域实地检测中发现相似的情况,青藏高原整体抬升之势不减,但各区上升速率和高度都有差异。如昆仑山北坡,年抬升平均速率为 8mm,喜马拉雅山区,年抬升速率为 10mm,珠穆朗玛峰地区年抬升速率为 30mm;同时发现青藏高原的抬升还具有走滑运动的特点。两大山脉(指喜马拉雅山脉和冈底斯山脉)近 0.01Ma 以来的水平位移速率为 10—20mm/a,垂直位移速率为 2—5mm/a。

张青松等^[22]认为青藏高原的隆升是有规律的,平均上升速度为 5.8mm/a。沱沱河—炉霍一带已相对稳定,向南依次增大,至狮泉河—萨噶—拉萨—邦达一线,平均 8.9mm/a,其中拉萨至邦达段为 10mm/a,喜马拉雅山区则 > 10mm/a。

3 结论

总结以上资料,对青藏高原隆升问题有以下基本认识:

- (1)青藏高原总的来说是整体抬升。
- (2)目前获得的资料表明,高原隆升是从中新世中期开始分阶段逐步抬升,抬升的速度是越来越快。
- (3)高原内各区隆升不平衡,表现在各区抬升的幅度不一致,各地区抬升的时间也有差异。

参 考 文 献

- 1 Zeitler P, et al. Fission-track evidence for Quaternary of the Nanga Parbat region, Pakistan. *Nature*, 1982, 298 255- 257
- 2 Zeitler P, et al. Unroofing history of a suture zone in the Himalaya of Pakistan by means of fission-track annealing ages. *Earth Planet Sci Lett*. 1982, 57 227- 240
- 3 Zeitler P K. Cooling history of the NW Himalaya. *Tectonics*, 1985, 54 127- 151
- 4 刘顺生,章峰. 西藏南部地区的裂变径迹和上升速度的研究. *中国科学 (B)*, 1987, 1 000- 1 010
- 5 Copeland P, et al. Rapid early Miocene uplift of Southern Tibet. *EO S*, 1987, 68 432
- 6 Copeland P, et al. Rapid early Miocene acceleration of uplift in the Gandese belt, Xizang (Southern Tibet), and its bearing on accommodation mechanisms of India- Asia collision. *Earth Planet Sci Lett*, 1987, 86 240- 252
- 7 Fleischer R H, et al. Effects of temperature, pressure and ionization on the formation and stability of fission tracks in minerals and glasses. *J Geophys*, 1965, 70 1497- 1502
- 8 Dodson M H. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contrib Mineral Petrol*, 1973, 40 259- 274
- 9 Harrison T M. Geochronology and thermal history of the Coast plutonic complex, near Prince Rupert, British Columbia. *Can J Earth Sci*, 1979, 16 400- 410
- 10 Naeser C W. The fading of fission tracks in the geological environment data from deep drill holes. In *fission track dating workshop*, Pisa, 10- 13, September, 1980
- 11 Wagner G A. Fission tracks dating of apatites. *Earth Planet Sci Lett*, 1980, 14 411
- 12 Xu Ronghua, Schärer U, Allegre C J. Magmatism and metamorphism in the Lhasa Block (Tibet): a geochronological Study. *J Geol*, 1985, 93 41- 57
- 13 张青松,等. 青藏地区上新世古地理和高原隆起. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题,北京:科学出版社,1981
- 14 肖序常,等. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论. 北京:地质出版社,1988
- 15 常承法,等. 青藏高原地质构造演化. 中国青藏高原研究会第一届学术讨论会论文集,北京:科学出版社,1992
- 16 人民日报(海外版). 甘肃临夏发现古脊椎动物化石. 1995,5月4日,第3版
- 17 Xu Ren. Vegetational changes in the past and uplift of Qinghai-Xizang plateau. In *Geological and Ecological studies of Qinghai-Xizang Plateau. 1*, Beijing Science Press, 1981, 139- 141
- 18 Cheng Wangyoung. Natural environment of the Pliocene basin in Qinghai. In *Geological and Ecological studies of Qinghai-Xizang Plateau. 1*, Beijing Science Press, 1981, 343- 352
- 19 李吉均,等. 青藏高原隆升的时代、幅度和形式的探讨. *中国科学 B辑*, 1979, 6 608- 616
- 20 Li Jijun, et al. The process of the uplift of the Qinghai- Xizang Plateau. In *Geological and Ecological studies of Qinghai- Xizang Plateau. 1*, Beijing: Science Press, 1981, 111- 118
- 21 崔之久,郑本兴. 珠穆朗玛峰地区的喀斯特. 珠穆朗玛地区科学考察报告(1966- 1968)(第四纪地质). 北京:科学出版社,1975
- 22 张青松. 青藏高原上升速度问题. *科学通报*, 1991, 36 529- 531

MINERAL FISSION-TRACK DATES AND RESEARCH ON UPLIFTING VELOCITY OF QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Jiang Wan

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Mo Xuanxue Zhao Chonghe Guo Tieying Zhang Shuangquan

(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract From the results of fission-track dating of different minerals from the granodiorite of the middle Gangdise granitoids belt in Qinghai-Xizang Plateau, the authors suggest that the uplifting of southern Qinghai-Xizang Plateau is episodic, there having occurred a slow uplifting from the emplacement of the intrusive to about 30 Ma, which was followed by an acceleration in velocity from 30 to 7 Ma and a rapid uplifting since 7 Ma.

Key words mineral fission-track date; Qinghai-Xizang Plateau, uplifting

第一作者简介

江万,男,1969年生,博士,1990年毕业于中国地质大学(武汉)地球化学系。主要从事岩石学、大地构造学等方面的研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081