

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

龙门山冲断带的隆升和川西 前陆盆地的沉降

刘树根 罗志立 戴苏兰

(成都理工学院石油系)

Dennis Arne

C. J. L. Wilson

(加拿大 Dalhousie 大学)

(澳大利亚墨尔本大学)



通过龙门山地区和川西前陆盆地岩石样品的裂变径迹和镜质体反射率的测定和计算机模拟得出:(1)松潘-甘孜褶皱带 10Ma 以来至少隆升了 3—4km,隆升速率最低为 0.3—0.4mm/a;(2)龙门山逆冲推覆构造带 10Ma 以来至少隆升了 5—6km,隆升速率最低为 0.5—0.6mm/a;(3)龙门山滑脱拆离带 60Ma 以来隆升 1—2km,隆升速率为 0.016—0.032mm/a;(4)川西前陆盆地 60Ma 以来隆升了 1.7—3km,隆升速率为 0.028—0.05mm/a;(5)10Ma 以来北川-映秀-小关子断裂西侧的隆升速率是其东侧隆升速率的 40 倍;(6)60Ma 以前松潘-甘孜褶皱带的隆升与川西前陆盆地的沉降曲线呈镜象关系,即松潘-甘孜褶皱带隆升较快时,盆地沉降也较快。60Ma 以来,川西前陆盆地也以隆升为主,但松潘-甘孜褶皱带的隆升速率要大得多;(7)川西前陆盆地的古地温梯度为 25℃/km。

关键词 裂变径迹 隆升(沉降)史 盆地模拟 龙门山冲断带 川西前陆盆地

山脉的隆升作用是构造作用的重要表现。山脉的隆升与盆地沉降是密切相关的。本文从磷灰石的裂变径迹和镜质体反射率的测定及计算机模拟探讨松潘-甘孜褶皱带和龙门山冲断带的隆升历史(冷却历史)和川西前陆盆地的沉降历史及它们之间的内在联系。从松潘-甘孜褶皱带到川西前陆盆地,据变形特征、构造复杂程度和强度、变质作用强度等可划分为 5 个构造单元(图 1a):

I. 松潘-甘孜褶皱带 该带位于龙门山冲断带西北侧,为松潘-甘孜褶皱带主体部位,其东部边界为北西向构造向北东向构造转变地区。因此,其东部与茂汶-汶川-陇东韧性剪切带为过渡关系。松潘-甘孜褶皱带主要由三叠系泥质岩组成,构造线方向为北西-南东向;区域变质作用达绿片岩相;有较强的岩浆活动。

注:本文为中国自然科学基金资助项目(编号 49070140)。
本文 1993 年 11 月收到,1995 年 1 月改回,郝粹国编辑。

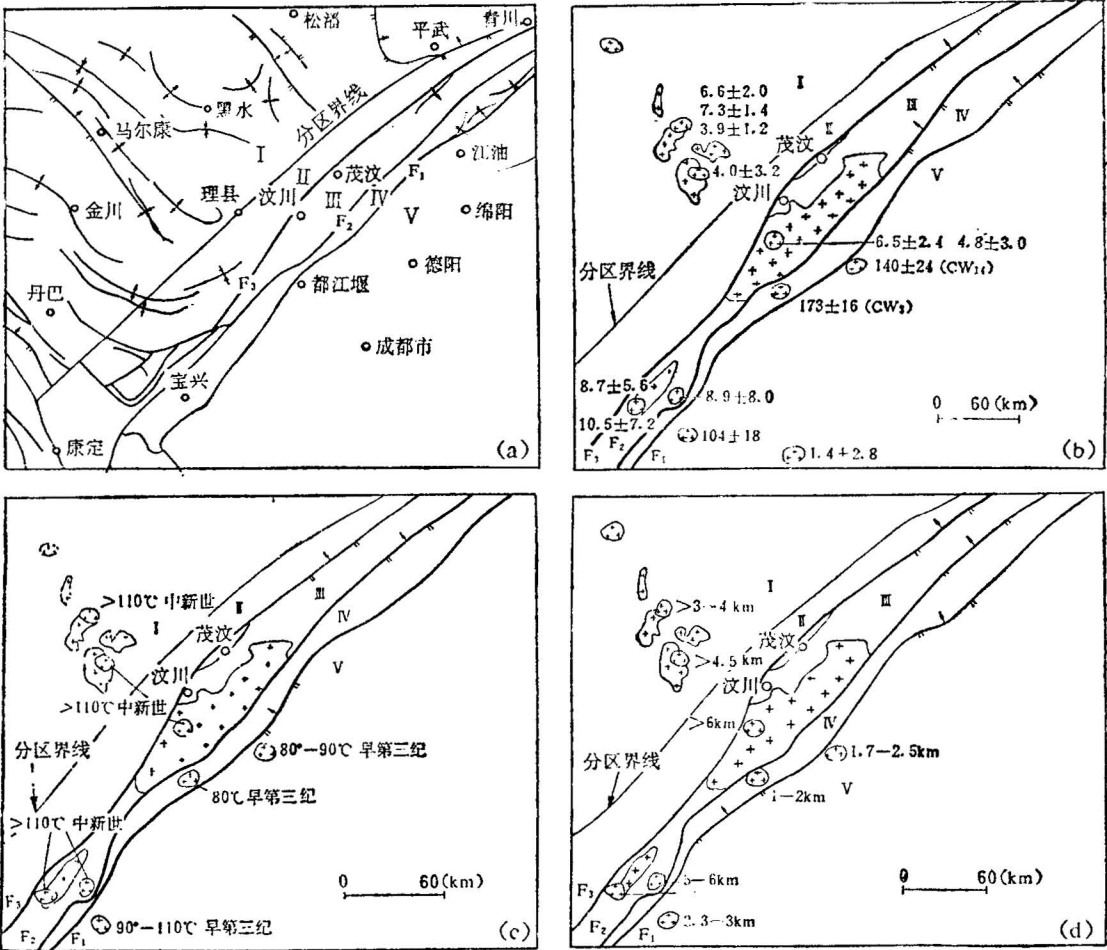


图 1 龙门山地区和川西前陆盆地样品磷灰石裂变径迹分析结果

Fig. 1 The results of apatite fission track analysis of samples from the Longmenshan area and western Sichuan foreland basin

(a) 龙门山地区和川西前陆盆地构造简图; (b) 磷灰石裂变径迹年龄 (Ma); (c) 曾经埋藏最大温度和开始冷却时间; (d) 曾经埋藏的最大深度; F₁ 安县-涪县断裂; F₂ 北川-映秀-小关子断裂; F₃ 茂汶-汶川-陇东断裂; I. 松潘-甘孜褶皱带; II. 茂汶-汶川韧性剪切带; III. 龙门山逆冲推覆构造带; IV. 龙门山前陆剥脱分离带; V. 川西前陆盆地

(a) Tectonic sketch of the Longmenshan area and western Sichuan foreland basin; (b) apatite fission track age (Ma); (c) maximum palaeotemperature and time of cooling; (d) maximum burial depth; F₁ Anxian-Guanxian fault; F₂ Beichuan-Yingxiu-Xiaoguanzi fault; F₃ Maowen-Wenchuan-Longdong fault; I. Songpan-Garzê fold belt; II. Maowen-Wenchuan ductile shear zone; III. Longmenshan thrust nappe belt; IV. Longmenshan foreland detachment belt; V. western Sichuan foreland basin

II. 茂汶-汶川-陇东韧性剪切带 该带为高应变带, 构造线方向以东北为主。松潘-甘孜褶皱带中的北西向构造线发生旋转, 形成茂汶-汶川-陇东剪切带中的北东向构造; 该带变质作用达中压角闪岩相。其东界为脆-韧性的茂汶-汶川-陇东断裂。

III. 龙门山逆冲推覆构造带 该带为茂汶-汶川-陇东断裂和北川-映秀-小关子断

裂之间地带(习称龙门山后山带),构造线方向为北东向,岩层变质较弱,发育厚皮构造,为推覆体主要发育地带。

IV. 龙门山前陆滑脱拆离带 该带为北川-映秀-小关子断裂和安县-灌县-双石断裂之间地带(习称龙门山前山带)。构造线方向为北东向,为薄皮构造发育地区,岩层未变质。

因此,习称的龙门山冲断带包括龙门山逆冲推覆构造带和前陆滑脱拆离带。

V. 川西前陆盆地 该带为安县-灌县-双石断裂之东的川西前陆盆地所在地区。以龙泉山断裂为界,可把川西前陆盆地分为东部(龙泉山以东地区)和川西前陆盆地西部(龙泉山断裂以西地区)两部分。该带西部地区习称龙门山山前带。

五个构造带的详细变质特征和构造发育序列见参考文献 [1]。

1 松潘-甘孜褶皱带的隆升历史

松潘-甘孜褶皱带孟通沟燕山期花岗岩体 (Rb-Sr 同位素年龄 164Ma) 3 个岩样测定的磷灰石裂变径迹年龄分别为 $6.6 \pm 2.0\text{Ma}$, $7.3 \pm 1.4\text{Ma}$ 和 $3.9 \pm 1.2\text{Ma}$, 老君沟岩体 (Rb-Sr 同位素年龄 196Ma [2]) 磷灰石裂变径迹年龄为 $4.0 \pm 3.2\text{Ma}$ 。因此,这两个岩体的磷灰石裂变径迹年龄均小于 10Ma (图 1b)。据磷灰石裂变径迹的退火动力学特征作计算机模拟得出孟通沟岩体和老君沟岩体曾经埋藏深度的温度至少为 110°C , 中新世以后隆升到温度小于 110°C 的深度 (图 1c)。若以平均古地温梯度为 $25^\circ\text{C}/\text{km}$, 地表温度为 20°C 计算, 则其上至少已有 3—4km 的岩石被剥蚀掉了 (图 1d)。因此,这两个岩体中新世以来的平均隆升速率最低为 $0.3\text{—}0.4\text{mm}/\text{a}$ 。

2 龙门山逆冲推覆构造带的隆升历史

龙门山逆冲推覆构造带是指茂汶-汶川断裂与北川-映秀断裂之间的地带。

龙门山中段彭灌杂岩体两个岩样的磷灰石裂变径迹年龄分别为 $6.5 \pm 2.4\text{Ma}$ 和 $4.8 \pm 3.0\text{Ma}$; 宝兴杂岩体 2 个岩样的裂变径迹年龄分别为 $8.7 \pm 5.6\text{Ma}$ 和 $10.5 \pm 7.2\text{Ma}$; 宝兴附近古生界砂岩岩样的裂变径迹年龄为 $8.9 \pm 8.0\text{Ma}$ (图 1b)。因此,这些岩样的磷灰石裂变径迹年龄较接近,均不大于 10Ma。用计算机模拟得出彭灌杂岩体、宝兴杂岩体和古生界砂岩均曾经至少埋藏在 110°C 的深度, 中新世以来温度开始冷却到 110°C 以下 (图 1c), 其上均有至少 5—6km 的地层被剥蚀掉 (图 1d)。因此,中新世以来其隆升速率至少为 $0.5\text{—}0.6\text{mm}/\text{a}$ 。

3 龙门山前陆滑脱拆离带的隆升历史

龙门山前陆滑脱拆离带是指北川-映秀断裂与安县-灌县断裂之间的地带。

我们在灌县附近采集了上三叠统砂岩样品, 样品编号为 CW3 (图 1b), 经磷灰石裂变径迹分析和计算机模拟得出的沉降和隆升史见表 1 和图 2a。

3.1 龙门山前陆滑脱拆离带的受热史

龙门山前陆滑脱拆离带中的上三叠统砂岩从沉积至今的受热史可划分为 3 个时间,

表 1 磷灰石裂变径迹分析结果表

Table 1 The results of apatite fission track analysis

样 品 编 号			CW3	CW14
地层年代			晚三叠世	晚侏罗世
裂变径迹年龄 (Ma)			173±16	140±24
平均裂变径迹长度 (μm)			12.14±0.38	11.36±0.52
受 热 史	BC 段	时间范围 (Ma)	210—59.5	150—55.8
		温度范围 (°C)	20—74	20—90.57
		斜率	-0.763	-1.37
	CD 段	时间范围 (Ma)	59.5—35.9	55.8—35.5
		温度范围 (°C)	74—27	90.57—31.32
		斜率	1.522	2.414
DE 段	时间范围 (Ma)	35.9—0	35.5—0	
	温度范围 (°C)	27—20	31.32—20	
	斜率	0.56	0.56	
隆 升 (沉 降) 史	BC 段	沉降幅度 (m)	1 470	1 882
		沉降速率 (mm/a)	0.008 5	0.018
	CD 段	隆升幅度 (m)	1 117	1 647
		隆升速率 (mm/a)	0.047	0.081
	DE 段	隆升幅度 (m)	353	235
		隆升速率 (mm/a)	0.009 8	0.006 6
最大埋藏的时间 (Ma)			59.5	55.8
最大埋藏的深度 (m)			1 470	1 882
最大埋藏的温度 (°C)			74	90.57
其上已剥蚀的地层厚度 (m)			1 470	1 882
岩样位置			龙门山前陆滑脱拆离带	川西前陆盆地

注: 表中在计算(隆升)沉降史时,采用的古平均地温梯度为 2.5°C/100m

即 BC, CD 和 DE (图 2a 和表 1)。在距今 210 至 59.5Ma 期间, 龙门山前陆滑脱拆离带中的砂岩持续沉降埋深, 经历的温度越来越高, 其平均每百万年增高温度 0.36°C; 在距今 59.5Ma 时达到最大埋深, 其所经历的最大温度为 74°C。此后, 龙门山前陆滑脱拆离带开始隆升, 所经历的温度渐低, 从距今 59.5—35.9Ma 期间, 其平均每万年降低温度 1.99°C; 从距今 35.9Ma 至今, 其平均每百万年降低温度 0.195°C。

3.2 龙门山前陆滑脱拆离带的沉降(隆升)史

龙门山前陆滑脱拆离带中的上三叠统砂岩从沉积至今的沉降(隆升)史也分为 BC, CD 和 DE 三部分(图 2a 和表 1)。龙门山前陆滑脱拆离带中的上三叠统砂岩沉积后随即被埋藏。在距今 210 至 59.5Ma 期间, 龙门山前陆滑脱拆离带持续地沉降, 沉降了 1 470m, 沉降速率为 0.008 5mm/a。在距今 59.5Ma 时沉降到最低处, 随后开始隆升直至地表。在距今 59.5—35.9Ma 期间, 隆升了 1 117m, 隆升速率为 0.047mm/a; 在距今 35.9Ma 至今, 隆升了 353m, 隆升速率为 0.009 8mm/a。龙门山前陆滑脱拆离带之上已有 1 470m

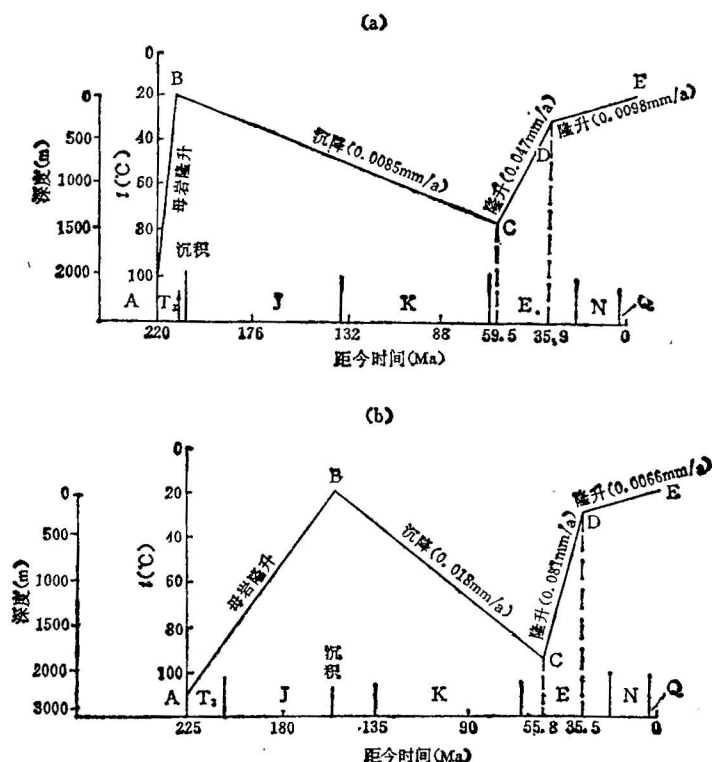


图 2 (a) 龙门山前陆滑脱拆离带上三叠统砂岩受热史和隆升(沉降)史曲线图(地点:四川灌县); (b) 川西前陆盆地上侏罗统砂岩受热史和隆升(沉降)史曲线图(地点:四川彭县)
 Fig. 2 (a) The geothermal and uplift (subsidence) curve of upper Triassic sandstone in the Longmenshan foreland detachment zone (place:Guanxian of Sichuan province); (b) the geothermal and uplift (subsidence) curve of Upper Jurassic sandstone in the Sichuan foreland basin (place: Pengxian of Sichuan province)

的地层被剥蚀掉。

由上可知,龙门山前陆滑脱拆离带在隆升过程中有两个转折点,一是在 59.5Ma,二是在 35.9Ma。

4 川西前陆盆地的沉降(隆升)历史

4.1 川西前陆盆地西缘彭县隆丰场地区的沉降(隆升)史

我们在川西前陆盆地彭县隆丰场西北采集了上侏罗统砂岩样品,其编号为 CW14 (图 1b),经磷灰石裂变径迹分析和计算机模拟得出的沉降和隆升历史见表 1 和图 2b。

川西前陆盆地西缘彭县地区的受热史 川西前陆盆地西缘彭县地区上侏罗统砂岩从沉积至今的受热史可分为 BC, CD, DE 三个时期(图 2b 和表 1),在距今 150—55.8Ma 期间,持续沉降,经历的温度越来越高,其平均每百万年增高温度 0.75°C;在距今 55.8Ma 时经历最高温度(90.57°C)。此后,川西前陆盆地西缘彭县地区上侏罗统砂岩开始隆升冷却,所经历的温度越来越低。距今 55.8—35.5Ma 期间,其平均每百万年降低温度 2.92°C;

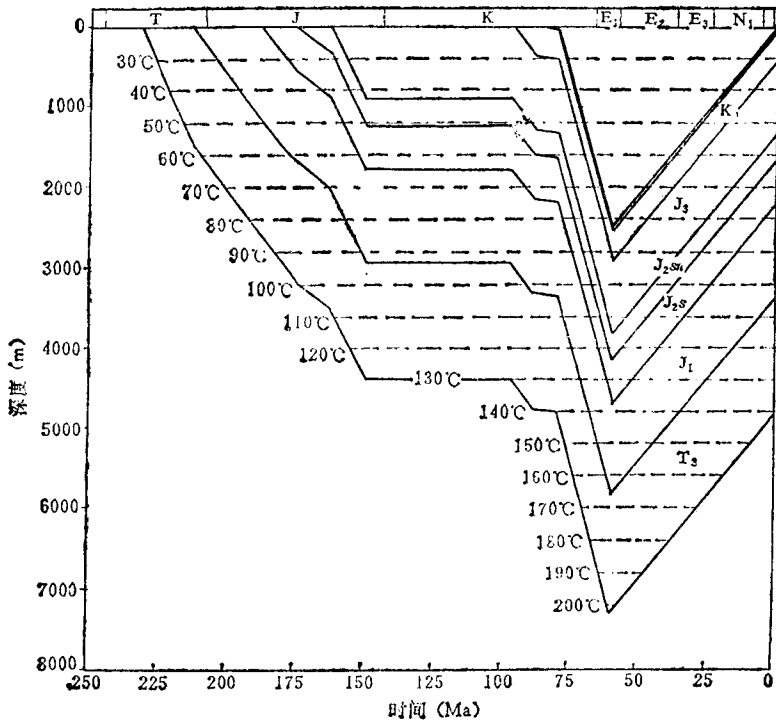


图 3 川西前陆盆地平落 3 井沉积埋藏史曲线

Fig. 3 The sedimentary and burial curve of Ping-3 well in western Sichuan foreland basin

距今 35.5Ma 至今,其平均每百万年降低温度 0.32°C。

川西前陆盆地西缘彭县地区的沉降(隆升)史 川西前陆盆地西缘彭县地区上侏罗统砂岩从沉积至今的沉降(隆升)历史也可分为 BC, CD, DE 三个阶段(图 2b 和表 1)。

川西前陆盆地西缘彭县地区沉积后随即被埋藏。在距今 150—55.8Ma 期间,持续沉降,沉降了 1 882m, 沉降速率为 0.018mm/a; 在距今 55.8M 时沉降到最低处, 随后开始隆升,直至地表。在距今 55.8—35.5Ma 期间,隆升了 1 647m, 隆升速率 0.081mm/a; 距今 35.5Ma 至今,隆升了 235m, 隆升速率 0.006 6mm/a。因此,川西前陆盆地西缘彭县地区上侏罗统砂岩之上已有 1 882m 的地层被剥蚀掉。

由上可知,川西前陆盆地西缘彭县地区在隆升过程中也有两个突变时间,一是 55.8Ma, 二是 35.5Ma。

此外,我们在龙门山南段前缘采集一个岩样的磷灰石裂变年龄为 $104 \pm 18\text{Ma}$, 经计算机模拟得出的最大埋藏温度为 90—110°C,是在早第三纪后开始隆升的,其上已有 2.3—3km 的地层被剥蚀掉(图 1)。

4.2 川西前陆盆地平落坝地区的沉积埋藏史

利用实测的镜质体反射率和磷灰石裂变径迹测试资料,用商业性的 Basin Mod 软件

包对平落 3 井的沉积埋藏史和古地温梯度进行了反演研究^[5-6], 其结果见图 3。平落坝地区的岩石在古新世之前(60Ma 之前)以持续埋藏为主, 尤其在晚白垩世晚期和古新世期间发生快速沉降, 沉降幅度达 2.5km; 60Ma 以来, 平落坝地区的古地温梯度为 25°C/km。

4.3 川西前陆盆地油罐顶地区的沉积埋藏史

利用美国 TENNECO 石油公司对油罐顶构造油 1 井所测的镜质体反射率资料, 采用商业性的 Basin Mod 软件包对油 1 井的沉积埋藏史和古地温梯度进行了反演, 得出: (1) 油 1 井在早第三纪前即距今 60Ma 前以持续埋藏为主, 尤其是在晚白垩世晚期和古新世期间快速沉降, 沉降了 3km 左右; (2) 在早第三纪(60Ma) 以来以隆升为主, 隆升了 3km, 其平均隆升速率为 0.05mm/a; (3) 油 1 井的平均古地温梯度为 25°C/cm。

5 北川-映秀-小关子断裂东西两侧隆升速率的差异性

在北川-映秀-小关子断裂以西, 即松潘-甘孜褶皱带和龙门山逆冲推覆构造带无论是花岗岩还是砂岩, 磷灰石裂变径迹年龄均小于 10Ma, 反映这两个地区均是在喜山期隆升的(图 4)。北川-映秀-小关子断裂东西两侧裂变径迹的年龄与径迹的长度关系有较大差异(图 5), 说明北川-映秀-小关子断裂是研究区非常重要的一条断裂。在地球物理资料上北川-映秀-小关子断裂为一岩石圈断裂。因此其西侧发育厚皮构造和韧性变形, 东侧发育薄皮构造和脆性变形。

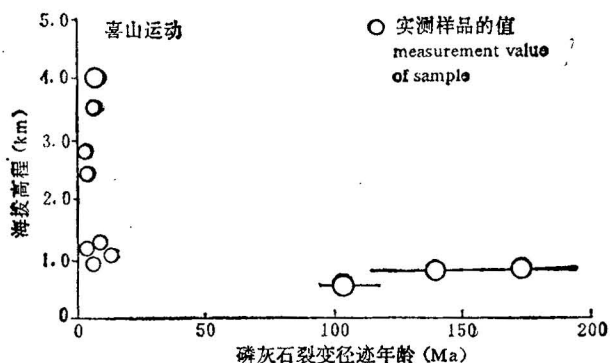


图 4 龙门山地区和川西前陆盆地磷灰石裂变径迹年龄与海拔高程关系图
(均为地表样品)

Fig. 4 The relationship between the apatite fission track ages and the elevations in the Longmenshan area and western Sichuan foreland basin
(surface samples)

10Ma 以来北川-映秀-小关子断裂东西两侧的隆升速率差异较大, 达 40 倍之多(表 2), 并且北川-映秀-小关子断裂同一侧的隆升速率差别不大, 即松潘-甘孜褶皱带和龙门山逆冲推覆构造带的隆升速率为同一数量级, 而龙门山滑脱拆离带和川西前陆盆地的隆升速率相近(表 2)。60Ma 以来, 龙门山滑脱拆离带和川西前陆盆地的隆升速率也相似(表 3)。

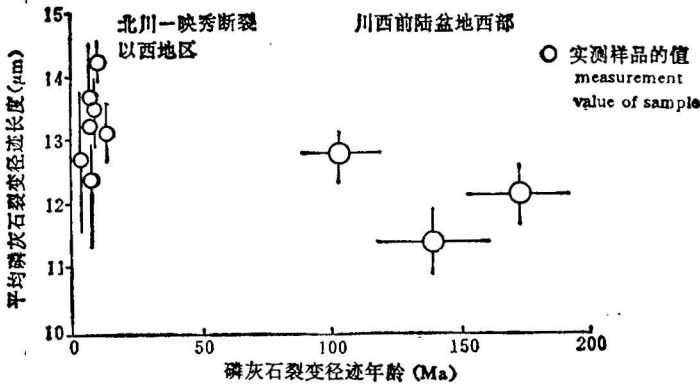


图 5 龙门山地区和川西前陆盆地磷灰石裂变径迹长度和径迹年龄关系图
(均为地表样品)

Fig. 5 The relationship between the apatite fission track lengths and ages in the Longmenshan area and western Sichuan foreland basin (surface samples)

表 2 松潘-甘孜褶皱带、龙门山冲断带和川西前陆盆地 10Ma 以来隆升速率对比表

Table 2 The comparison of the uplift rates since 10Ma B. P. among the Songpan-Garzê fold belt, Longmenshan thrust zone and western Sichuan foreland basin

构造单元	样品所在地区	隆升幅度 (m)	隆升速率 (m/Ma)
松潘-甘孜褶皱带	理县上孟燕山期花岗岩体	>4 000	>400
龙门山逆冲推覆构造带	映秀、宝兴等	>6 000	>600
龙门山前陆滑脱拆离带	灌 县	353(35.9Ma 以来)	9.80
川西前陆盆地西缘	彭 县	235(35.5Ma 以来)	6.62

表 3 龙门山前陆滑脱拆离带与川西前陆盆地 60Ma 以来的隆升速率对比表

Table 3 The comparison of the uplift rates since 60 Ma B. P. between the Longmenshan foreland detachment zone and the western Sichuan foreland basin

构造带	分析样品所在地区	隆升幅度 (m)	隆升速率 (m/Ma)
龙门山前陆滑脱拆离带	灌县附近	1 470	24.70
川西前陆盆地	彭县隆丰场	1 882	33.72
	平落 3 井	2 500	41.70
	油 1 井	3 000	50.00

由松潘-甘孜褶皱带老君沟岩体的隆升曲线与川西前陆盆地平落 4 井的沉降 (隆升) 曲线对比可知: 在 60Ma 之前, 松潘-甘孜褶皱带的隆升曲线与川西前陆盆地的沉降曲线呈镜像关系, 即松潘-甘孜褶皱带隆升较快时, 盆地沉降也较快; 60Ma 以来, 盆地也以隆升为主, 但松潘-甘孜褶皱带的隆升速率要大得多(图 6)。

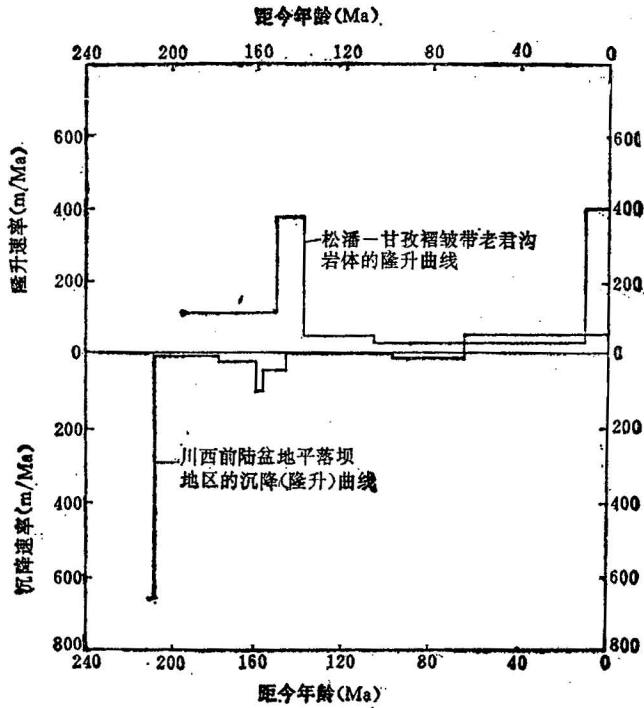


图6 松潘-甘孜褶皱带隆升速率与川西前陆盆地沉降(隆升)速率对比图

Fig. 6 The comparison of the uplift (subsidence) rates between the Songpan-Ganzi fold belt and the western sichuan foreland basin.

参 考 文 献

1. 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化. 成都: 成都科技大学出版社, 1993, 17—64 页.
2. 袁海华, 张志兰, 张平. 龙门山老君沟花岗岩体的隆升及冷却史. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 17—22.
3. Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W, Tingate P R, Laslett G M. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 1. A qualitative description. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1986., 59:237—253.
4. Laslett G M, Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W Thermal annealing of fission tracks in apatite. 2. A quantitative analysis. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1987, 65:1—13.
5. Duddy I R, Green P F, Laslett G M. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 3. Variable temperature behaviour. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1988, 73: 25—38.
6. Green P F, Duddy I R, Laslett G M, Hegarty K A, Gleadow A J W Lovering J F. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 4. Quantitative modelling techniques and extension to geological timescales. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1989, 79:155—182.

THE UPLIFT OF THE LONGMENSAN THRUST BELT AND SUBSIDENCE OF THE WESTERN SICHUAN FORELAND BASIN

Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan,
(*Chengdu Institute of Technology, Chengdu, Sichuan, China*)

Dennis Arne
(*Dalhousie University, Canada*)

and C. J. L. Wilson
(*Melbourne University, Australia*)

Abstract

Through the measurement and computer modelling of the apatite fission track data and vitrinite reflectance, the uplift history of the Longmenshan thrust belt and uplift (subsidence) history of the Western Sichuan foreland basin have been studied in details. The Songpan-Garzê fold belt has been uplifted at least 3—4km since 10Ma B. P., with an uplift rate of at least 0.3—0.4mm/a. The Longmenshan thrust nappe belt has been uplifted 5—6km at least since 10Ma B. P., with an uplift rate of more than 0.5—0.6mm/a. The Longmenshan foreland detachment belt has been uplifted 1—2km since 60 Ma B. P., with an uplift rate of 0.016—0.032mm/a. The Western Sichuan foreland basin has been uplifted 1.7—3km since 60Ma B.P., with an uplift rate of 0.028—0.05mm/a. The uplift rate on the western side of the Beichuan-Yingxiu-Xiaguanzi fault is 40 times as much as that on its eastern side since 10Ma B. P. The palaeo-temperature gradient was 25°C/km in the Western Sichuan foreland basin.

Key words: fission track, uplift (subsidence) history, basin modelling, Longmenshan thrust belt, Western Sichuan foreland basin

作者简介

刘树根,生于1964年10月。1985年大学本科毕业于成都地质学院石油系,1988年获成都地质学院硕士学位,1993年获成都理工学院博士学位。1989年、1992年曾到英国剑桥大学和澳大利亚墨尔本大学进修和学习。现为成都理工学院副教授,主要从事于油气地质、盆地分析、盆山转换机制研究,为“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(成都)主任。通讯处:成都市成都理工学院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室,邮政编码:610059。