

文章编号: 1009-3850(2004)04-0031-04

岷山隆起边界断裂构造活动初步研究

唐文清^{1,2}, 刘宇平², 陈智梁², 张清志², 赵济湘²

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 岷山隆起西以岷江断裂为界, 东为虎牙断裂。该地区构造活动强烈, 地震活动频繁, 是重要活动区。岷山隆起是岷江断裂和虎牙断裂由西向东的推覆逆掩运动差异运动导致的。GPS 及地质研究表明岷江断裂、虎牙断裂现今仍在活动。岷江断裂为左右旋走滑断裂, 运动速度大于 2mm/a ; 虎牙断裂整体速度 2.55mm/a , 断裂性质为右旋走滑断裂, 而震源机制解为左旋走滑断裂。这一结果, 可能与 GPS 观测时段、位置及断裂面结构、几何特征有关。

关键词: 岷山隆起; 岷江断裂; 虎牙断裂; 四川

中图分类号: P542⁺. 3

文献标识码: A

1 前言

高原的隆升具有分块断性、多阶段性、多因素特点^[1-4], 表现为南北向增厚挤压, 东西向断裂的挤压走滑逃逸活动。

岷山隆起地处青藏高原与四川盆地的过渡地带, 秦岭东西向构造带与龙门山北东向构造带间的三角地块内。岷山隆起西以岷江断裂为界、东为虎牙断裂。东西宽 $50 \sim 60\text{km}$ 、南北绵延 150km 的南北向岷山隆起介于近东西向摩天岭构造带和北东向的龙门山构造带之间, 构成青藏高原东边界的一部分(图 1)。

岷山隆起构造活动强烈, 地震活动频繁, 历史上该地区曾发生过多地地震, 是我国南北向地震带中段的重要组成部分。区内不同时期、不同动力作用、不同方式和方向、不同形态组合规律的构造相互干扰、穿插或迁就形成各种复合现象。

2 岷山隆起边界断裂

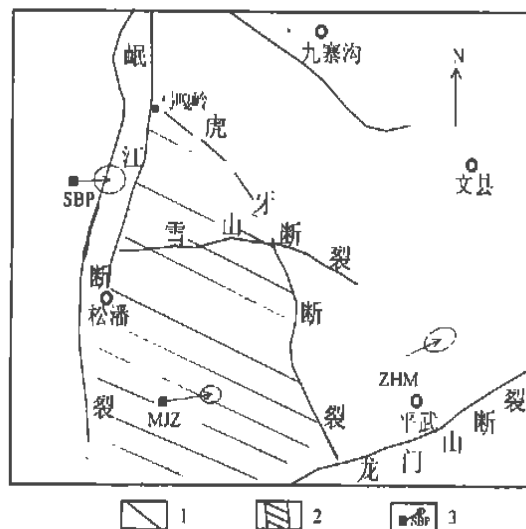


图 1 岷山隆起构造及 GPS 测站示意图

1. 断层; 2. 岷山隆起; 3. GPS 测站及运动方向

Fig. 1 Sketch to show the location of the Minshan uplift and GPS monitoring stations

1=fault; 2=Minshan uplift; 3=GPS monitoring stations and their direction of movement

收稿日期: 2004-08-25

资助项目: 中国地质调查局“青藏高原东部现代地壳运动 GPS 监测”(200313000024)。

2.1 岷江断裂

广义的岷江断裂由两条断裂组成,即东侧的岷江断裂及西侧牟泥沟-羊洞河断裂。现在通常论及的岷江断裂是指东侧的岷江断裂。第四纪以来主要沿东侧的岷江断裂活动,现今地震活动也主要沿其分布。岷江断裂北起于弓嘎岭以北,与塔藏断裂所截接,向南经弓嘎岭、漳腊、元坝至松潘后,大致沿岷江西岸继续向南延伸。岷江断裂带以弓嘎岭、松潘元坝为界分为南、中、北三段,弓嘎岭以北为岷江断裂带北段,弓嘎岭—松潘元坝为中段,松潘元坝以南为南段。断裂总体走向近南北,倾向北西,倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,全长170km。岷江断裂在海西期时就已存在,为被动大陆边缘,显示张性^[5]。该断层除具压性特征外,左旋和右旋扭动兼有,显示了该断层自形成以来多期运动。其中岷江断裂中段全新世活动强烈,第四纪以来表现为明显的推覆逆掩运动并具有一定的左旋走滑分量,而根据震源机制解,岷江断裂在现今具有右旋扭动特征^[9]。

岷江断裂的活动可以从该地区的地质特征得到佐证。

(1) 地层、地貌特征方面:在岷江断裂东边的岷江两侧,东侧地层多于西侧,西侧为陡峭山峰,东侧则宽广、平缓;自东向西,偏离河谷越远,地层原度逐渐减少,时代却越来越老,到东部边缘变成与老地层呈不整合接触。说明了岷江断裂东侧差异升降及地升、掀斜作用。

(2) 阶地发育情况:岷江东侧阶地发育、西侧则发育较差,如小西天(啊翁沟北面)西侧仅有2~3级阶地,而东侧却高达5~6级阶地。其东西向小河谷两侧,阶地也不相同,在祁让沟沟口的晚更新世地层中,南侧仅仅有一级阶地,而北侧有四级阶地。与此同时,由北向南,阶地类型不一样,北面以堆积阶地为主,向南逐渐变成基座阶地,反映了岷江断裂东西向单侧隆起及活动分段性。

(3) 沿断裂的温泉及串珠状的经钙质堆积,多次地震,表明新构造的继承性、间歇性和活动性^[7]。

2.2 虎牙断裂

虎牙断裂为岷山隆起的东边界断裂,该断裂南端起南起松潘片白、平武银厂沟一带,向北经虎牙、向北西错切雪山断裂后断续出露,长约60km。以小河为界大致分成南北两段,北段断裂走向由北北西转向南北,倾向东,倾角 80° 左右;南段走向由南北向

南东偏转,倾向南西,倾角由北往南自 70° 至 30° 。根据虎牙断裂西侧沉积了石炭—二叠系灰岩和三叠系复理石建造,东侧却缺失这些的地层,推测其晚古生代—晚三叠世中期可能是一条同沉积断层,在晚三叠世晚期起转变为一条逆断层^[8]。虎牙断裂两侧具有明显的地貌界线,东侧为低山地区,海拔2000~3500m,西侧为松潘高原,海拔约4000m。从涪江源头至小河一带,河谷地形陡峻,河床坡度大,在小河一带形成断裂谷,河道明显受断裂控制。河谷左岸的陡坎、平台等表明了断裂的活动性,涪江支流下切速率低于主流,说明该河段处于抬升区。主断裂总体走向为北北西向,为逆冲断裂,具有扭曲性。根据1976年松潘—平武两次7.2级地震的震源机制解资料,虎牙断裂为近东西向区域构造应力作用下,具有左旋走滑挤压特征的全新世活动断裂,且断裂具有明显的分段性,南段大于北段^[6,8]。

3 岷山隆起边界断裂 GPS 研究

板块内部的相对运动在数十年到数百万年内没有改变,板块之间相对运动却较快。而GPS监测能提供了准确的地壳运动结果,因此可以利用GPS监测结果进行地块及其间的活动断裂的研究^[9]。

为了对岷山隆起的边界断裂岷山断裂、虎牙断裂进行研究,采用了SBP5(松潘石板棚)、MJZ1(茂县岷江村)、ZHM3(平武张王庙)测站的GPS监测结果。自1991年以来,利用TRIMBLE4000SS系列GPS双频接收机,进行4期(1991、1993、1995、1998年)观测,每期3天,连续24小时不间断观测。GPS观测资料数据的处理:首先采用GAMIT软件进行单日解计算,然后用GLOBK在无基准松弛约束条件下进行综合解算,获得网平差及测站的运动速度。为了更好地研究中国大陆内部的构造变形,结合实际情况,将欧亚板块作为研究框架,于是得到欧亚板块下的测站速度(表1、图1)。

在得到GPS监测结果基础上,为了岷山隆起断裂的活动性,选择位于断裂两侧的测站分别代表断裂两盘,在数据处理过程中,根据断裂为逆冲断裂的地质特点,因而选择各断裂东侧作为参考(假设其静止不动),求出断裂两侧的速度差,从而得出断裂两盘的相对速度,进而得到断裂的运动速度(表2)。尽管其测站较少,在一定程度影响到对断裂的研究,但是,从中也可得到一些有益的启示。

表 1 欧亚框架下岷山隆起地区 GPS 测站运动速度

Table 1 GPS velocities for the Minshan uplift in the Eurasian reference framework

测 站	测站坐标		运动速度及不定度							
			欧亚框架下				华南框架下			
	经度	纬度	E(mm/ a)	±	N(mm/ a)	±	E(mm/ a)	±	N(mm/ a)	±
SBP5	103. 48	32. 88	7. 00	3. 00	— 0. 33	2. 37	— 1. 02	2. 96	3. 39	2. 33
MJZ1	103. 73	32. 40	9. 48	2. 01	— 1. 29	1. 44	1. 42	1. 95	2. 50	1. 36
ZHM3	104. 50	32. 47	9. 05	3. 19	— 3. 80	1. 87	1. 01	3. 15	— 0. 13	1. 80

表 2 岷山隆起断裂测站及运动速度

Table 2 GPS velocities for the Minshan and Huya faults

构造位置	采用测站		运动速度(相对东侧)			
			欧亚框架下		华南框架下	
	断裂东侧	断裂西侧	E(mm/ a)	N(mm/ a)	E(mm/ a)	N(mm/ a)
岷山断裂	MJZ	SBP	— 2. 48	0. 96	— 2. 44	0. 89
虎牙断裂	ZHM	MJZ	0. 43	2. 51	0. 41	2. 63

从上面结果可看出, 岷山隆起周围 3 个 GPS 测站在欧亚框架下的运动方向 SEE 向, 运动速率大于 7mm/a, 由西向东, 速率逐渐变大, 一定程度反映了印度板块与欧亚板块的俯冲挤压作用下, 青藏高原东部边缘在现今 NWW 优势主压应力下由西向东的移动情况; 而在华南框架下, 3 个 GPS 测站运动速度方向有较大变化, SBP5 为 NNW 向、MJZ1 为 NNE 向、ZHM3 为 SEE 向, 且速度不大, 说明相对于华南框架, 三测站运动各向异性, 侧面说明了岷山隆起的差异性活动, 岷山隆起为差异性活动引起所致。对岷山断裂、虎牙断裂进行的 GPS 研究表明: 欧亚框架、华南框架下运动速度结果相差不大, 在欧亚框架下, 对于岷山断裂东侧相对于西侧的运动速度矢量分量西向为 2. 48mm/a、北向为 0. 96mm/a, 由于相对运动速度包括了斜向上升速度分量, 因而左旋走滑速度应为 3mm/a 左右, 运动方向 NWW 向; 在欧亚框架下, 对于虎牙断裂东侧相对于西侧的运动速度分量东向为 0. 43mm/a、北向 2. 51mm/a, 运动方向为 NNE。

4 讨 论

岷山隆起是新构造时期强烈隆起抬升的断块山地, 处于我国东西部一级新构造单元的分界线上^[10, 11]。自喜马拉雅运动以来, 由于受到青藏高原抬升隆起以及其向东侧滑挤压的影响, 岷江断裂和

虎牙断裂由西向东的推覆逆掩运动, 其差异运动结果最终导致了岷山隆起的形成。现代地震活动集中于岷山隆起边界断裂上, 说明岷江隆起边界断裂现今仍在活动。研究表明岷山隆起第四纪以来的平均抬升速率为 1. 5mm/a 左右^[5]。岷江断裂现今为右旋走滑断裂, 运动速度大于 2mm/a^[6]; 虎牙断裂是一条新活动十分强烈的活动性断裂, 沿断裂多次发生中、强地震, 震源机制解结果表明断裂具有左旋走滑特征^[9]。GPS 研究表明, 岷江断裂整体速度 2. 66mm/a(速度矢量和), 考虑到岷山断裂总体走向为南北向、倾向北西向, 西盘相对东盘呈顺时针运动, 断裂性质为张扭性, 具右旋走滑特点, 这一结果与地质及地震研究情况一致; 而对于虎牙断裂, GPS 得到西侧相对于东侧整体速度 2. 55mm/a(速度矢量和), 将运动速度矢量投影到断层上, 走向分量运大于垂向分量, 说明应以走滑作用为主, 断裂性质表现为压扭性并具有右旋走滑特点, 这一结果地震表现出断裂具有左旋走滑特征结果相反。为什么出现这种情况? 可能有以下原因: 一方面两种结果都有存在的可能, 只不过反映的时间不同而已, 右旋走滑特点反映了为近几年 GPS 监测时段的情况, 而左旋走滑特征反映了地震活动时的情况; 另一方面可能与 GPS 测站位置及断裂面结构、几何特征有关。虎牙断裂以小河为界断裂面发生了扭曲, 北段倾向东, 倾角较大, 南段倾向南西, 倾角较小, 而两盘 GPS 测站

连线正好穿过分界段,因北GPS 监测结果为特殊地段的情况,而震源机制解发映整个断裂的情况,从而导致了结果的不一致。

参考文献:

[1] TAPPONNIER M P. Cenozonic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J] . Science, 1975, 189: 410—426.

[2] HOUSEMAN G, ENGLAND P. Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision[J] . Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B7): 12233—12249.

[3] ROYDEN L H, BURCHFIEL B C, KING R W et al Surface deformation and lower crustal flow in Eastern Tibet [J] . Science, 1997, 276: 788—790.

[4] FENG SHEN, ROYDEN L H, BURCHFIEL B C. Large-scale crustal deformation of the Tibet Plateau [J] . Journal of Geophysi-

cal Research, 2001, 106(B4): 6793—6816.

[5] 周荣军,蒲晓虹,何玉林,等. 四川岷江断裂带北段的新活动、岷山断块的隆起及其与地震活动的关系[J] . 地震地质, 2000, (3): 285—294.

[6] 唐荣昌,韩渭宾,等. 四川活动断裂与地震[M] . 北京: 地震出版社, 1993.

[7] 唐文清,孙志明. 四川松潘弓嘎岭-漳腊盆地新构造运动[A] . 特提斯地质(23)[C] . 北京: 地质出版社, 1999. 103—107.

[8] 邓起东,陈社发,赵小麟. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学[J] . 地震地质, 1994, 16(4): 389—403.

[9] PAUL SEFALL, DAVIS J L. GPS applications for geodynamics and earthquake studies [J] . Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 1997, 25: 301—336.

[10] 马杏垣,等. 中国岩石圈动力学地图集[M] . 北京: 中国地图出版社, 1989. 16.

[11] 赵小麟,邓起东,陈社发. 岷山隆起的构造地貌学研究. 地震地质[J] . 1994, 16(4): 429—439.

The preliminary study of the tectonic activities along the boundary faults around the Minshan uplift, western Sichuan

TANG Wen-qing^{1,2}, LIU Yu-ping², CHEN Zhi-liang², ZHANG Qing-zhi², ZHAO Ji-xiang²
(1. Southwest China Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: As a segment of the eastern boundary of the Qinghai-Xizang Plateau, the Minshan uplift is characterized by severe tectonism and seismism, bounded by the Minjiang fault on the west and Huya fault on the east. The integration of GPS measurements and geological studies shows that the Minjiang and Huya faults are currently active. The former is a right-lateral strike-slip fault with a velocity of motion of more than 2 mm/a, while the latter also a right-lateral strike-slip fault with a velocity of motion of more than 2.55 mm/a. However the seismological observations are interpreted as a left-lateral strike-slip fault. The above-mentioned interpretations may be ascribed to the difference in time duration and position for GPS measurements, and architectures and geometry of fractured surfaces.

Key words: Minshan uplift; Minjiang fault; Huya fault; Sichuan