汶川地震震中映秀地区地表破裂特征

马博琳¹,李 勇²,董顺利²,陈 浩¹,闫 亮¹,乔宝成¹ (1.成都理工大学地球科学学院,四川成都 610059; 2.成都理工大学沉积地质研究院,四川成都 610059)

摘 要:汶川8级大震的震中位于映秀镇,地震在映秀地区造成了多处地表破裂,如公路拱曲、地震 陡坎,坡中槽新变形等,长度达300余米。经实地全站仪和GPS测量,定量分析了地表破裂的垂直 分量与水平分量以及两者之间的比值,以此揭示了映秀—北川断裂的运动性质为逆冲兼右行走滑, 在映秀地区逆冲分量大于走滑分量。将本次地震造成的位错数据与震前资料对比,发现汶川地震 产生的地表破裂位置与地质历史上映秀—北川断裂造成的断层位错位置是相当吻合的,说明映秀 地区IV级阶地上40余米的的断层陡坎可能是地质历史时期若干次大地震的结果。

关键词:地表破裂;汶川大地震;映秀地区;逆冲一右行走滑

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)04-0339-05

Characteristics of the Surface Rupture of the M_s 8.0 Wenchuan Earthquake on the Epicenter, Yingxiu Area

MA Bo-lin¹, LI Yong², DONG Shun-li², CHEN Hao¹, YAN Liang¹, QIAO Bao-cheng¹ (1. Collage of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. Collage of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract:On the epicenter area of Wenchuan great earthquake in 2008, Yingxiu town, Sichuan province, the earthquake caused a number of surface rupture, such as road bending deformation, fault scarps and new deformation at "the groove in the slope", the total length of zone is about 300 meters. Using total station and GPS, at 4 rupture points the displacement were measured, and the vertical and level components of offset were analyzed quantitatively, as well as the ratio between them. The result shows that the motion of seismogenic Yingxiu—Beichuan fault is mainly thrust with some right-lateral strike slip, the thrust component is greater than the strike-slip component at Yingxiu area. Comparing the surface rupture before and after the event at same place, it is revealed that the earthquake rupture is anastomose with the fault scarp about 40 m on the terrace IV of Mingjiang river maybe is the results of number of major earthquakes in geolog-ical history.

Key words: Surface rupture; Wenchuan great earthquake; Yingxiu area; Thrust and dextral strikeslip

0 引言

2008年5月12日四川省汶川县映秀镇(31.0°

N,103.4°E;仪器震中)发生了 M_s8.0 特大地震,震 源深度为 14 km(国家地震台网中心),主发震断裂

收稿日期:2008-12-29

基金项目:国家自然科学基金(49803013,40372084,40841010);中国地质调查局应急项目

作者简介:马博琳(1985-),女(汉族),在读硕士研究生,第四纪地质学专业.

为位于龙门山断裂带中的映秀一北川断裂。此次地 震沿龙门山断裂带形成了大规模的地震地表破裂 带,其中沿映秀一北川断裂的地表破裂长约 240 km,沿彭灌断裂长约 72 km^[1-2]。地表破裂带的表 现形式多样,主要为各种地质地貌体和人工建筑物 的断层位错,包括断错山脊、断错洪积扇、断错河流 阶地、边坡脊、断层陡坎、河道错断、冲沟侧缘壁位 错、小路位错、公路位错、公路拱曲(宽缓的不对称褶 皱坎)、水泥公路叠置、构造裂缝、断塞塘、地裂缝、地 震鼓包、断层偏转、擦痕、挤压脊、地表掀斜、坡中槽 (地堑)等类型。汶川大地震后,于2008年7月9日 至7月21日期间笔者参加了国家自然科学基金项 目《汶川特大地震地表破裂与变形特点研究》的野外 调查工作,先后考察了映秀一北川断裂和彭灌断裂 的地表破裂与变形特征,并利用全站仪和 GPS 技术 对该地区的地震地表破裂进行了详尽的实地测量。 本文结合本次震后的实际考察资料和前人的研究成 果,对映秀地区在汶川大地震后的地表破裂特征进 行了分析。

1 区域地质背景

龙门山地区位于纵贯我国大陆的南北地震带 上,主要范围包括了岷山断块和龙门山构造带。龙 门山是青藏高原东缘边界山脉,它北起广元,南至天 全,长约 500 km,宽约 30 km,呈 NE-SW 向展布, 东北与大巴山相交,西南被鲜水河断裂相截。龙门 山构造带处于中国大地构造单元的重要部位,在深 部构造上位于我国西部南区(青藏)幔拗区和中部深 层构造过渡带,贺兰山一龙门山陡变带斜贯该带,西 北为青藏高原厚壳厚幔区,东南部为四川盆地薄壳 薄幔区。在区域地质构造上该区自北西向南东由川 藏块体、龙门山构造带和四川盆地构成。在地貌上 该区处于中国西部地质、地貌、气候的陡变带,具有 青藏高原地貌、龙门山高山地貌和山前冲积平原三 个一级地貌单元,龙门山与山前地区(成都盆地)的 高差大于5 km,其地形陡度比青藏高原南缘的喜马 拉雅山脉的地形陡度变化还要大,目前仍以 0.3~ 0.4 mm/a 的速率持续隆升^[1]。构造带由一系列大 致平行的叠瓦状冲断带构成,具典型的逆冲推覆构 造特征,具有前展式发育模式[1],自西向东发育汶 川一茂汶断裂、映秀一北川断裂、彭县一灌县断裂和 大邑断裂。其中汶川一茂汶断裂是龙门山构造带西 北侧的边界断裂,又称龙门山后山断裂,分割了川藏 块体和龙门山构造带;映秀一北川断裂是龙门山构

造带的主断裂,又称中央断裂;彭灌断裂是龙门山构 造带东南侧的边界断裂,又称龙门山前山断裂;而大 邑断裂已属于成都盆地内的断裂。

2 震后映秀地区地表破裂与变形特征

2.1 映秀地区地震破裂概况

汶川县映秀镇坐落在岷江Ⅱ、Ⅲ级阶地上,汶川 地震使映秀镇成为一片废墟,全镇几乎没有一座完 整的建筑保留。映秀一北川断裂从映秀镇西北角穿 过,在通过岷江Ⅳ级阶地面及岷江后,向东北方向延 伸(图1)。汶川地震的震中位于映秀镇牛眠沟莲花 心村,震中区可见严重的山体滑坡。映秀镇作为汶 川地震的震中区,也是汶川地震的始震点,该区的地 表破裂与变形特征,如地震陡坎的垂直位错与水平 位错的大小,必然是对映秀一北川断裂震时地壳运 动的直接响应,因此本区是研究汶川地震发震断裂 的早期运动特征不可替代的地区。

汶川地震在映秀地区造成了多处地表破裂,如 公路拱曲变形、地震陡坎等。笔者利用全站仪和 GPS技术进行了详尽的实地测量(表 1),共测量地



图 1 映秀—北川断裂在映秀地区的平面展布图 (据张岳桥(2008)修改)

Fig. 1 The streche Yingxiu-Beichuan fault in Yingxiu area.

表破裂带长度 300 余米(图 1)。由于公路和小路等 地物标志与断层走向有一定交角,断层逆冲活动会 造成公路和小路的侧缘水平位错的假象,因此侧缘 的水平投影位置并不能代表断层的水平错动量。必 须按公路和小路与断层走向及断层垂直位错量进行 几何计算,才能给出确切的水平位错量。经计算,得 出校正公式:*n*=*m*/tan α×tan β,其中 *n* 为误差值; *m* 为实测垂直位错值;α 为公路或小路与断层的夹 角;β为断层面倾角。校正后的水平位错值为:S=x -n,x为实测水平位错值。下文中提到的水平位错 值皆为校正后的数值。

表	1 映	秀地	区测	点数	据表
---	-----	----	----	----	----

点号	经纬度 -				 ^z 位错		
			测量数据/m	测量数据/m	校正后数据/m	灰性及现象	
$\overline{\mathbf{w}_{D-1}}$	N31°03′49.7″	E103 °29 '14.3"	39.6 ± 0.5	_		北西盘上冲,岷江Ⅳ级阶地约40m的断层陡坎	
			0.8 ± 0.1	_	_	the set of the set of the set of the late of the set	
WD-2 N31°03′50.	N31°03′50. 5″	' E104 °29'14.2"	0.9 ± 0.1			北四盘上冲,岷江IV级阶地面上形成 3 组地震陡坎,陡坎1为右旋	
			1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.6 ± 0.1		
WD-3 N	N31°03'53. 9"	E104 °29'10.7"	0.6 ± 0.1		_		
			1.5 ± 0.1			岷江Ⅳ级阶地面上伸展构造	
			1.1 ± 0.1				
			1.8 ± 0.1				
			0.5 ± 0.1				
WD-4	N31°03′54 8″	E103 °29'23 5"	2.3 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.66 ± 0.1	右旋,北西盘上冲,岷江西侧公路出现拱曲现象	

2.2 公路拱曲

汶川大地震使映秀镇北岷江西岸旁的一条水泥 公路(N31°03′54.8″,E103°29′23.5″)发生拱曲变形, 变形路面长约 30 m,这就是映秀一北川断裂在此地 产生的破裂带宽度。拱曲顶部发育一系列裂缝(图 2),走向基本与断裂走向一致。断裂上盘逆冲使西 北侧路面发生抬升,实测抬升高度 2.3±0.1 m(图 3 (a)),拱曲顶部即为断裂经过的确切位置。但该处 并没有断裂面直接出露地表,而是在 30 m 的范围 内形成了一个宽缓的斜坡。除了垂直方向的抬升, 以公路侧缘为标志物,还可见右行走滑现象,走滑距 离 0.66±0.1 m(图 3(b))。断裂运动以逆冲作用为 主,逆冲分量远大于走滑分量。此处公路拱曲与Ⅳ 级阶地断层陡坎都是映秀一北川断裂经过的地方。



- N31°03'54.8″E103°29'23.5″ 图2 映秀镇岷江西侧公路拱曲和 垂直位错(镜向 SW)
 - Fig. 2 The photos of road bending and vertical dislocation at west bank of Mingjiang river in Yingxiu town.



图 3 映秀镇岷江西侧公路拱曲位错实测图

Fig. 3 Displacement surving on the road bending at west bank of Minjiang river in Yingxiu town.

2.3 岷江Ⅳ级阶地上的地表破裂

汶川特大地震前,映秀变电站旁岷江Ⅳ级河流 阶地上存在一个约40m的地貌陡坎,被怀疑是地 质历史时期映秀一北川断裂数次活动造成的^[3-4]。 汶川特大地震后在此陡坎上形成了新的断层陡坎, 这也证实了地震前的推断,即此地为映秀一北川断 裂经过的地方。我们对这一陡坎分别进行了总体和 细部的测量。根据测量断层陡坎垂直高度 39.6±







(a) 断层陡坎照片(镜向SW)



图 4 映秀变电站处岷江Ⅳ级阶地约 40 m 的断层陡坎照片和实测剖面

Fig. 4 The photo and profile of 40 m fault scrap on the ℕ terrance of Mingjiang river near the Yingxiu transformer station.

汶川地震后岷江Ⅳ级阶地面上形成了新的断层 陡坎(N31°03′50.5″,E104°29′14.2″)。在上述约40 m断层陡坎的上方(接近顶部)可见3个陡坎,经当 地老乡证实,这些陡坎地震前不存在,确为此次地震 所致。从SE到NW,我们将这3个陡坎命名为地 震陡坎1、地震陡坎2、地震陡坎3。三个地震陡坎 的垂直位错分别为1.0±0.1m、0.9±0.1m、0.8± 0.1 m(图 5)。其中地震陡坎1还显示出一定的走 滑性质,经过测量和数据分析,地震陡坎1的水平位 错为:0.6±0.1 m(图 5),具有明显的右行走滑性 质。地震陡坎2和地震陡坎3的水平位错不明显。 将垂直位错和水平位错进行对比,发现此处断裂运 动仍以逆冲作用为主,逆冲分量远大于走滑分量。





在地震陡坎 3 北西方向的上盘阶地面上,此处 我们认为是"前缘推覆,后缘伸展"之间的过渡部分, 小路上可见走向 NE52°的张性地裂缝,裂缝宽约 5 cm,与断层走向几乎平行。

2.4 坡中槽

在Ⅳ级阶地面的断层上盘还发育了坡中槽构造 (N31°03′53.9″,E104°29′10.7″),即断层逆冲作用后 缘的伸展构造,在逆断层上盘由于局部的引张作用 形成弯距断层,由于弯距断层的下掉作用形成了正 断层地堑形式的沟槽^[6],此坡中槽长约100 m、宽约 20 m、深约 5 m (图 6)。汶川特大地震中断层上盘 产生的引张作用在坡中槽的侧壁产生了一些新的陡 坎。

在坡中槽的南东侧周围田地里,可见与伸展构造有关的张性地裂缝,裂缝宽约5 cm,走向 NE40°, 与坡中槽走向几乎平行,也是断层的走向。

3 岷江Ⅳ级河流阶地面上"逆冲—伸 展"构造震前震后对比

前人在汶川大地震前根据岷江阶地位相图在映

秀一北川断裂两侧的高差变化,估计该断裂将岷江 的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级阶地分别垂直错断了3m、8m、32m, 平均垂直滑动速率约为0.3~0.4mm/a^[1,6]。并认 为断层活动在映秀变电站的岷江Ⅳ级河流阶地地面 上形成有一条长约100m、宽约20m、深约5m的 北东向沟槽,且在阶地面上形成了有高约40m的 断层陡坎,在野外怀疑该现象是断裂的垂直断错所 致。为此在断裂的两侧分别采集了 TL 样品,测得 的年龄值为(76 360±6 490)a 和(73 000±6 200) a^[1,6]。两者年龄值相近,证实为同一阶地面,系断裂 的差异运动所导致的断层陡坎。



图6 岷江Ⅳ级阶地面上伸展构造实测图



汶川地震后我们利用全站仪和 GPS 技术对这 一剖面进行了精确测量,大体格局基本没有发生改 变,但在断层陡坎上产生了新的小型地震陡坎,共产 生垂直断距约 2.7±0.3 m,水平断距约 0.6±0.1 m;在后缘的伸展构造上坡中槽的侧壁产生了一些 新的陡坎。而汶川地震后这一断层剖面前缘推覆、 后缘伸展的特征更加明显。

4 认识与结论

(1) 汶川地震在映秀地区造成了多处地表破裂,如公路拱曲变形、地震陡坎等。破裂带平均宽度约 30 m,垂直位错 0.8~2.3 m,水平位错约 0.6 m,可见此地区断层运动逆冲分量远大于走滑分量。

(2) 汶川地震前,映秀一北川断裂北西盘的逆 冲作用在岷江 IV 级阶地面上形成了相对高差约 40 m 的断层陡坎,在逆断层上盘由于局部的引张作用 形成弯矩断层,由弯矩断层的下掉作用形成了地堑 形式的沟槽。测量结果显示:从前缘逆冲至后缘伸 展,此剖面大体格局没有发生改变,但在断层陡坎上 产生了新的小型地震陡坎,新陡坎累积垂直断距约 2.7±0.3 m,水平断距约 0.6±0.1 m。在后缘伸展 坡中槽处产生了新的正断层地堑。对震前、震后的 映秀一北川断裂映秀地区地表破裂对比的结果表 明,汶川地震产生的地表破裂位置与地质历史上映 秀一北川断裂造成的断层位错位置是相当吻合的, 说明映秀地区Ⅳ级阶地上 40 余米的的断层陡坎可 能是地质历史时期若干次大地震的结果。

[参考文献]

- [1] 李勇,周荣军,董顺利,等. 汶川特大地震的地表破裂与逆冲-走滑作用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2008,35(4): 404-413.
- [2] 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 汶川 M_s8.0 地震地表破裂带及其 发震构造[J]. 地震地质,2006,30(3):597-629.
- [3] 刘旭宇,姚凯,何新社,等、2008年5月12日汶川 M_s8.0 地震 甘肃强震记录与初步分析[J].西北地震学报,2008,30(3): 266-269.
- [4] 周荣军,李勇, Densmore A L, 等. 青藏高原东缘活动构造 [J]. 矿物岩石, 2006,26(2):40-51.
- [5] 张彬,杨选辉,陆远忠.地震动态应力触发研究进展[J].西北地 震学报,2008,30(3):299-301.
- [6] 李勇,周荣军, Densmore A L,等.青藏高原东缘大陆动力学 过程与地质响应[M].北京:地质出版,2006.