

# 1988年云南澜沧-耿马地震的烈度分布及地表破裂

王 辉 强祖基 袁著忠 王洋龙 张 华 赵 翔

(中国北京 100029 国家地震局地质研究所)

谷一山

(中国昆明 650041 云南省地震局)

## 摘 要

1988年11月6日,在云南省西南部的澜沧-耿马断裂带上发生了两次大于7级的地震.地震造成的严重破坏和人员伤亡主要是由于极震区内抗震性能极差的毛石房、砖柱土坯房的大量倒塌所致.澜沧地震的震中基本烈度可达IX度,耿马地震极震区烈度达X度.

澜沧地震构造活动的地表证据主要是出现在极震区内的张性地裂缝带和小断层陡坎.地裂缝带和小断坎主要出现在四条相对连续的北北西走向的狭窄地带内,其长度从几百m到6km不等.澜沧地震地表破裂带长约35km,宽约3km,最大垂直位移量和最大右旋水平位移量分别为1.5m和1.4m.

耿马地震地表断裂活动的明显证据包括一系列北北西走向的地裂缝带和一段长约5km的地震断层陡坎.耿马地震地表破裂带长约24km,其最大垂直位移3.5m,最大右旋水平位移为3m.

两次地震形成的地表破裂带均具有右旋-正断层性质.本文讨论了这两次地震的烈度分布及地表破裂特征.

关键词 云南; 澜沧-耿马; 地震烈度; 地表破裂带; 地震断层陡坎

## 一、引 言

1988年11月6日,在云南省西南部靠近中缅边界的澜沧-耿马一带先后发生了两次强烈地震.第一次地震发生在格林威治时间13点03分14.5秒(北京时间21点03分14.5秒),震级 $M_s 7.6$ ,震中位置为北纬 $22^{\circ}50'$ ,东经 $99^{\circ}43'$ ,震源深度13km,震中烈度达IX度;13分钟后发生了第二次地震,震级 $M_s 7.2$ ,震中位置为北纬 $23^{\circ}23'$ ,东经 $99^{\circ}36'$ ,

1989年3月27日收到本文初稿,1989年7月29日决定采用.

震源深度 8km, 震中烈度 X 度(见图 1、图 3)。这二次地震造成 738 人死亡, 4468 人受伤, 灾情波及 20 个县市。

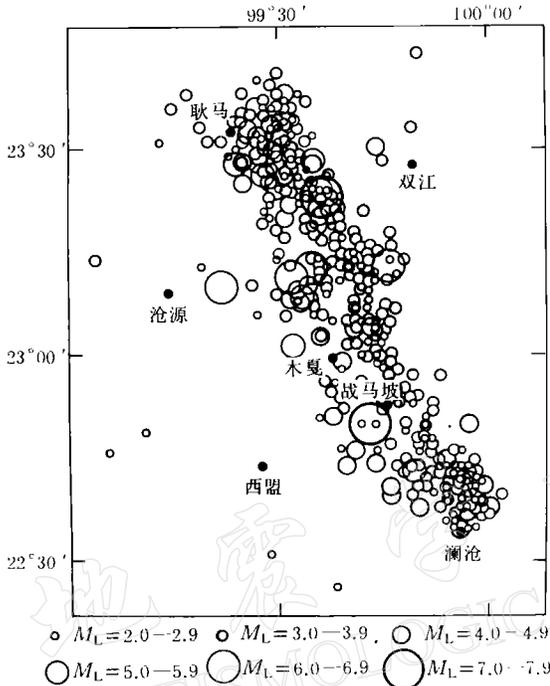


图1 澜沧 - 耿马地震震中分布图. 据云南省地震局昆明遥测地震台网

## 二、澜沧 - 耿马地震的构造环境

1988 年 11 月 6 日的澜沧 - 耿马地震发生在滇西南构造区内。由于该区一直处于印度板块与欧亚板块的强烈碰撞带内, 板块间的多期活动和应力场的变化, 造成了地震区内沉积建造类型的多样化, 构造的复杂化, 变质岩系的发育和岩浆活动的频繁, 并导致了川滇菱形块体向南东方向楔入, 使震区形成南北向和北北西向的断裂构造; 同时使澜沧江和怒江中游的北东向断裂显著活动, 形成一系列大小不等活动构造断块(图 2)。耿马块体就是其中的一个。

耿马块体以南汀河断裂带为其北界, 孟连断裂带为其南界, 澜沧江断裂带为其东界, 西界位于缅甸境内。块体内的主要活动断裂有北北西向的澜沧 - 耿马断裂带, 北西向的木甕 - 黑河断裂带, 北东东向的联合 - 双江断裂带和近东西向的小黑江断裂带。

1988 年 11 月 6 日的澜沧 - 耿马地震及其余震均被限制在耿马块体内。

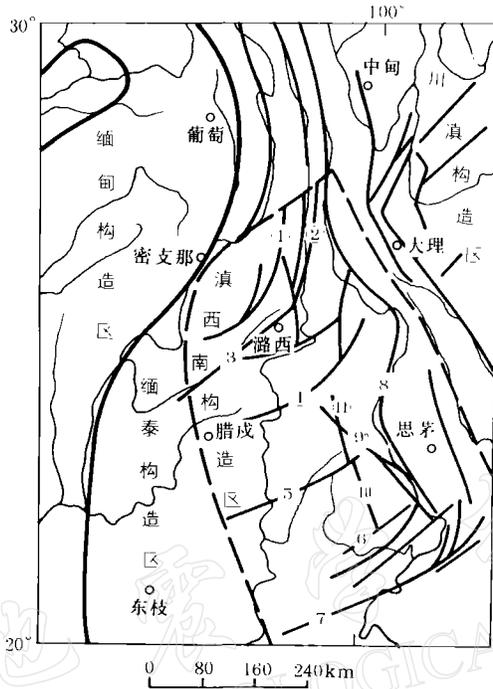


图2 滇西南构造区断裂格架图

- ①——大盈江断裂；②——泸水断裂带；③——畹町断裂带；
- ④——南汀河断裂带；⑤——孟连断裂带；⑥——打洛断裂带；
- ⑦——孟龙断裂带；⑧——澜沧江断裂带；⑨——木夏—黑河断裂带；⑩——澜沧—勐遮断裂带；⑪——澜沧—耿马断裂带

### 三、澜沧-耿马地震烈度及震害分布

#### 1. 评定烈度的依据

澜沧-耿马地震发生在边疆山区,震区绝大部分居住房屋没有列入《新中国地震烈度表》.为此我们在考虑房屋建筑破坏的同时,重点突出自然震害,以地震造成的地表破坏现象,地震断层和地裂缝的规模为主要依据,参照《新烈度表》来综合评定这两次地震的烈度分布.此外,在澜沧地震极震区的北西延伸方向上,对相临的耿马地震震后破坏减少0.5地震烈度来处理两次地震的叠加作用.例如岩帅乡,在震后调查中被评定为Ⅹ度,但考虑叠加效应,给于Ⅸ<sup>+</sup>度.

震区常见的无木架结构的土坯建筑为Ⅰ类房屋.木架土坯结构、低级施工的细木架砖结构建筑为Ⅱ类.Ⅲ类房屋包括木架竹围墙地窝式房屋和新式水泥框架砖石结构的建筑.

这两次地震造成的严重破坏和人员伤亡,主要是由于极震区内抗震性能极差的毛石房、砖柱土坯房的大量倒塌所致,澜沧地震的震中烈度可达 IX 度,耿马地震极震区烈度达 X 度.

### 2. 烈度分区和各烈度区的震害分布

(1) 澜沧地震的烈度分区 澜沧地震的极震区北起木戛以北,南到老炭山一带,震中烈度达 IX 度.等震线呈椭圆形长轴北西-南东方向展布(见图 3),长约 36 km,短轴北东-南西方向,宽 6 km.极震区的基本震害特征是沿南六一澜沧断裂和木戛一黑河断裂形成

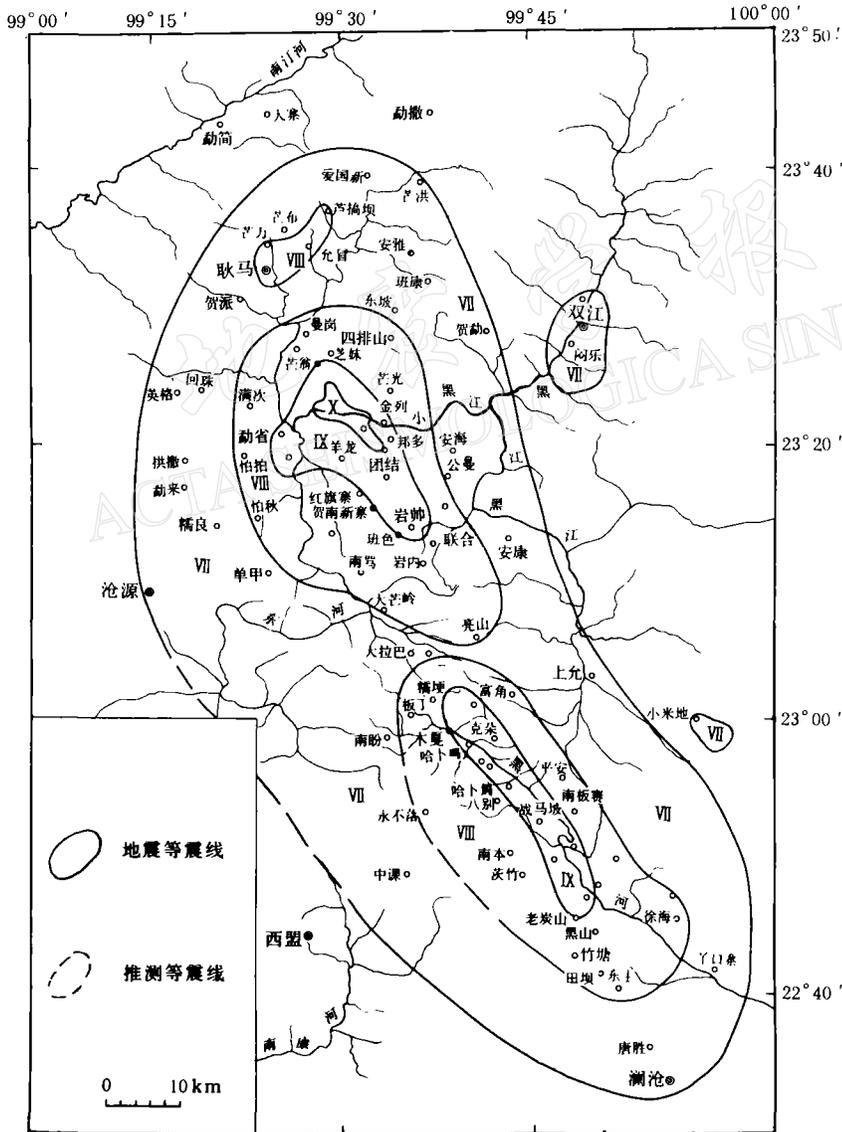


图 3 澜沧 - 耿马地震烈度分布图

地表形变带,包括地裂缝带,滑坡带和基岩滑塌带。地裂缝带宽 4—5m,走向长数百米到几公里。沿黑河出现沙土液化。Ⅲ类房屋的木架竹围墙地窝式民舍大多数倾斜,新式的水泥砖混结构的建筑局部倒塌,如木夏乡公所二层楼房后墙倒塌。公路路面产生鼓包、张裂或路基失效而受到严重破坏。极震区内多处可见滑坡体堵塞河道形成堰塞湖和山剥皮现象(照片1)。

Ⅷ度区的展布方向与极震区相同,长轴 57km,短轴北东-南西向,宽 20km。在该区内,地形陡峭处多见岩石崩塌、滑塌。在沟谷两岸的松散地层中可见地裂缝和小型滑坡。Ⅱ类房屋的木架土坯结构的校舍大多数损坏,少数破坏。土坯院墙大面积倒塌。Ⅲ类房屋的水泥框架结构的电影院山墙开裂,屋顶人字架移位。

Ⅶ度区在南东方向延伸到澜沧县城,北西方向与耿马Ⅶ度区相连,南西-北东向宽约 46km。在该区河谷两岸的陡峭地段可见小面积的塌方。Ⅲ类房屋轻微破坏,主要是以顶瓦脱落,墙壁表面抹灰层小块剥落为主,并可见细小裂缝。Ⅱ类房屋的木架土坯结构的校舍、商店内墙开裂,木架偶有拔榫。

(2)耿马地震的烈度分区 耿马地震的震中烈度可达Ⅴ度。极震区北起旱母坝坝区中心,南逾小黑江,沿耿马-旱母坝断裂带呈北北西向分布。长轴北北西向,长约 12km,短轴南西-北东向,宽 2—4km。在小黑江北岸梅楞山山梁子一带,山头酥裂,地震断层连续延伸 5km 以上。梅楞山东坡下滚石遍布,直径一般 2—4 m,大者近 10m(照片2)。在耿马地震极震区内,沿近东西向的小黑江断裂出现了二个更为壮观的滑塌区,一个滑塌区长 1000m,宽 900m;另一个滑塌区宽 720m,长 900m。沿小黑江两岸岩石陡壁大量崩塌,长达 10km 的国防公路路面被滚石掩埋,并埋掉了当时正路过的汽车和行人。有些地方山体的崩塌还将小黑江堵塞,使河水上涨并淹没路面而改道。Ⅲ类房屋的木架竹围墙地窝式民舍大部分倾斜。

Ⅸ度区分布与Ⅴ度区相同,长轴 27km,短轴 7—16km。区内Ⅲ类房屋许多破坏,少数倾倒,Ⅱ类房屋严重破坏,许多倾倒。如沧源县勐省镇和团结乡大多数砖房和钢筋水泥框架结构的楼房破坏倾倒。区内还可见小规模的地裂和崩塌、滑塌现象,地表多处陷落或喷沙冒水。

Ⅷ度区,长轴北西-南东向,长 50 km,短轴南西-北东向,宽 27 km。区内河谷两岸出现滑坡与滑塌,Ⅰ级河流阶地上可见地裂缝和塌陷坑,并有喷沙冒水现象。Ⅱ类房屋部分损坏,少数破坏。

Ⅶ度区,北西方向延至芒布以北,南西达沧源县城,北东抵贺勐,南东与澜沧Ⅶ度区相连。在本区局部地形陡峭段可见滑坡、地裂缝和岩石崩塌。Ⅱ类房屋少数损坏,土坯院墙局部倒塌,人感站立不稳。

纵观澜沧-耿马地震等震线的总体形态接近标准等震线的分布形态,地震烈度的平面展布是北西-南东向,向北东-南西方向迅速衰减,明显地受到了澜沧-耿马断裂带的控制。在震区其他活动断裂通过的地方可出现局部高异常点或异常区,它们的出现也是由于受活动断裂的影响所致。

### 四、澜沧 - 耿马地震的地表破裂带

澜沧 - 耿马地震的地表形变带是大自然在地表留给我们的又一个较为完整的强震记录. 在从耿马到澜沧之间一百多公里的地带上, 出现了两条清晰的地表破裂带. 两条破裂带上发育了各种各样的破坏现象, 其中最突出的是地裂缝和地震断层.

#### 1. 澜沧 7.6 级地震的地表破裂带特征

澜沧 7.6 级地震的地表破裂带北起木戛乡南六村以北, 南到竹塘乡老炭山以南, 全长 35km 左右(图 4), 宽 2—3km. 总体走向 335°; 主要有三大段组成.

从老炭山到战马坡为南部构造段, 由地裂缝带、基岩崩塌带和基岩小断坎组成. 该段基岩开裂现象十分发育. 在老炭山以北 157 号公路路标附近, 灰岩断层残山经溶蚀后形成的陡岸在澜沧地震时开裂, 基岩裂缝长约 200m, 宽 3—4m, 最宽处可达 5m, 深 3m (片照 3). 此处基岩裂缝总体走向 330°, 形成一个北北西向的张裂槽. 在大塘子村一带地裂缝呈张性拉开, 东侧下降并略带右旋错动, 最大右旋错动量为 10cm. 在大塘子南东 2km, 黑河西岸山坡上, 发育一组北西 330° 方向的地裂缝带, 裂缝带宽 4m 左右, 长约 1.5km. 裂缝最宽处出现一条长 100m 的新断坎, 断坎最高处为 1m, 最大右旋水平位移可达 1.4m. 断坎发育在石炭系砂页岩和第四系残坡积层中.

从战马坡到澜沧—耿马断裂与木戛—黑河断裂的交汇处, 是澜沧地表形变带的中部构造段, 也是整个澜沧地表形变带上地裂缝、地震断坎最发育, 地表滑坡最严重的地段, 是这次 7.6 级地震的宏观震中. 在战马坡村哈卜吗下寨北 1 km 处黑河西岸一北西向的小山脊上, 三条长度都在百米以上的北北西走向的小断坎呈左阶排

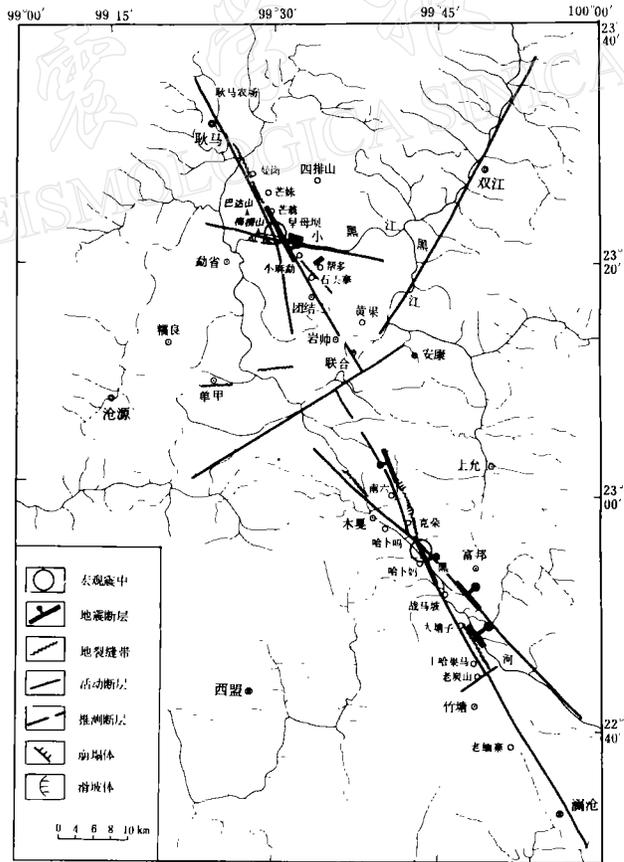


图 4 澜沧-耿马地震地表破裂平面分布图

列,其南端最长的一条断坎长150m,走向 $320^{\circ}$ 。断坎发育在石炭系砂页岩破碎带和第四系残坡积物中,一般高0.5—0.8m,最高处为1.5m。在断坎最高处北西一侧见几条树根均被一致性地右旋水平错开约1.4m。另外两条断坎一般高0.3—0.5m,其最高处分别为1.2m和0.7m。此处小山脊两侧发育地震滑坡,北西侧的滑塌体宽约500m,是整个澜沧地震形变带上规模最大的一处地震滑坡。断坎沿走向向两端延伸不远均被地裂缝所代替,向东南方向地裂缝带一直延续到战马坡,走向长达6km以上。

从澜沧—耿马断裂与木夏—黑河断裂交汇处到木夏乡南六村以北,为澜沧地表破裂带的北部构造段,主要由地裂缝带和构造滑坡带组成。该段的构造地裂缝一般为右旋错动,局部地段表现为左旋错动,反映出非常复杂的破裂机制。在澜沧地表破裂带的北端,木夏乡南六村一带,由4条主裂缝组成的裂缝带穿过整个山前台地。裂缝带呈北北西方向延伸,长度在1km以上,裂缝带宽4m左右,十几条梯田田埂都被一致性地左旋错开约0.2—0.3m。西南盘逆冲于北东盘之上,最大铅直错距可达0.4m(照片4)。此外,澜沧地震的地裂缝形迹还可以在澜沧—南六断裂带上的克朵、哈卜妈、佻朗、战马坡、石张营、帮婆、老缅寨等地见到。这些地裂缝则多表现出右旋错动的痕迹。

澜沧地震的破裂机制在地表的反映是相当复杂的,局部地方的地表断裂并不能严格地代表其深部的破裂机制。这一现象在世界其他地方的震后地表破裂带的宏观考查中已有发现<sup>[3]</sup>。

## 2. 耿马 7.2 级地震地表破裂带特征

耿马 7.2 级地震的地表形变带南起帮多、石头寨以南,北到曼岗村以北,长约24km。耿马地震震级虽不如澜沧地震,但它产生的地表破坏现象却远比澜沧地震的地表破坏现象更加宏伟壮观。在整个耿马北北西向地表破裂带上,人们可以见到较大规模的地裂缝带,岩石崩塌滑坡带和连续沿伸5km以上的地震断层。整个破裂段大致可分为3个具有不同构造特征的地段。

从帮多以南到小麻劬以北,是南部构造段,主要为地裂缝带和轻微的山崩带。在帮多村到小麻劬村的山间小路上,几组北西走向的地裂带几乎连续展布,每条裂缝带长度都在200m以上,宽2—3m。单条地裂缝宽度都在10cm以上,最宽可达50cm。在小麻劬至小黑江约2km的山坡地带,北北西向的地裂缝带连续分布。地裂缝带一般宽3m左右,由3—4条地裂缝组成,单条地裂缝宽10—50cm,最大水平位移15cm。小麻劬下寨所在的台地上遍布地裂缝,裂缝带呈弧形,单条长度在50m以上,宽达40cm,最大下降35cm。

从小麻劬以北到旱母坝中心的中部构造段,是整个耿马地震形变带中最精采,最清楚的一段,也是地震断层最发育,地表破坏最严重的地段,是耿马 7.2 级地震的宏观震中。正是在该段,沿梅楞山东坡出现了一条长约5km的地震断层,该地震断层的最大水平错距为3m,最大铅直错距可达3.5m,为右旋正断层。

在小黑江北岸,梅楞山南东山梁子上,地震断层向北西方向出现在灰岩破碎带中,基岩断面产状: $NW320^{\circ}/NE, \angle 78^{\circ}$ 。断层西盘上升,东盘下降。在此处山梁子顶部,地震断层将一颗栲杆树右旋水平错开0.9m,铅直错开0.52m,为右旋正断层(照片5)。在树被错开处不远,地震断层向北西过渡为一系列的地震鼓包和地裂缝。再向北西,断层陡坎出现在山前斜坡上的残坡积松散层中,有此地方发育在陡崖和缓斜坡积层的交界部位。断层连续

性好,在该段形成一系列的眉状陡坎(照片6)陡坎一般高1m左右,最高处可达1.8m。在眉状陡坎下部新鲜的断面上,可见断层擦痕及反阶步,擦痕产状: $138^{\circ}/19^{\circ}$ ,擦痕所在断面的产状为 $NW320^{\circ}/SW, \angle 83^{\circ}$ 。

在小黑江南岸,地震断层过江后继续向南东方向沿伸,在山坡上形成高2—4m的断层陡坎(照片7)坡上陡坎最高可达5m,其纯垂直位移量为2.5m,此段所测到的最大右旋水平位移为3m,一般为0.8—1.5m。新断坎一般是在老灰岩断崖下面的坡积层中通过,地震断层到达山顶后顺先前的断崖弧形转弯,在转弯处新断坎高达10m,纯垂直位移为3.5m,为整个耿马地表形变带上最大垂直位移处。断裂在此处形成一个宽10m的张裂槽(照片8)。此转折区的直径约100m,断裂通过此弧后向南东沿伸不远即尖灭为地裂缝。

从旱母坝中心向北西一直到耿马县城,为耿马地表破裂带的北部构造段。该段的地表形变带主要以地裂缝带、地震崩塌带和落洞等组成。在旱母坝中心草地里,4条宽20—40cm的地裂缝形成的裂缝带长约50m,走向 $340^{\circ}$ 。地裂缝带向北北西方向断断续续一直延伸到耿马县城。

## 五、澜沧·耿马地震的发震构造及破裂特征探讨

澜沧·耿马地震发生在由北东向南汀河断裂、孟连断裂和近南北向的澜沧江断裂所围成的耿马断块内部,其发震构造为北北西向的澜沧·耿马断裂带。这一点在地震分布图(图1)上表现得非常清楚。但如果看仔细一些,你会发现小震集中分布所反映出的这条断裂带并不是完整的一条,而是分成北边的耿马—旱母坝断裂带和南边的澜沧—南六断裂带。这两次地震形成的地表破裂也并没有连通,而是明显地分为两条地表破裂带。

作为澜沧地震的发震构造,澜沧—南六断裂带从澜沧向北西经老缅寨,大塘子,战马坡,一直延伸到南六村以北。总体走向 $335^{\circ}$ ,倾向北东,倾角较陡。断裂发育在古生代地层中。断裂南段控制了澜沧盆地的西侧边界。在黑山到大塘子一带,断裂发育在石炭纪地层中。灰岩、白云岩与石英砂岩、板岩呈断层接触,并可见由灰岩形成的断层崖和断层残山。在南六村一带,侏罗纪砂岩、砂砾岩与石炭纪板岩之间也为断层接触,断裂破碎带十分发育,宽达100m。

耿马—旱母坝断裂作为耿马地震的发震构造不仅表现清楚,而且老断层擦痕所反映的右旋走滑活动的特点,与本次地震的破裂特征完全一致。断裂从帮多以南向北经小麻勐、旱母坝、芒翁、曼岗一直延伸到耿马县城。断裂总体走向 $355^{\circ}$ ,倾向北东,倾角 $80^{\circ}$ 。在邦多西侧,见到一灰岩中的断层陡崖,断面产状: $330^{\circ}/SW, \angle 70^{\circ}$ 。在耿马—旱母坝断裂带的中段,灰岩断崖从小麻勐下寨向北过小黑江后继续向北北西方向一直延伸到芒翁村以北,长达8km。这次耿马地震时出现的5km长的新地震断坎恰好发育在这段8km长的老灰岩断崖下面,表明耿马7.2级地震是耿马—旱母坝断裂重新活动所致。

澜沧地震的宏观震中位于北北西向的澜沧—耿马断裂带上的澜沧—南六断裂与北西向的木戛—黑河断裂的交汇区(图4)。虽然这次7.6级地震产生的地表破裂带主要沿澜沧—南六断裂带分布,但沿木戛—黑河断裂也有构造地裂缝带分布,表明这一断错型构造

几何障碍区<sup>[1,2]</sup>为这次澜沧-耿马地震主破裂的破裂起始区;耿马地震的宏观震中位于澜沧-耿马断裂带上的耿马-旱母坝断裂与小黑江断裂的交汇区,而沿近东西向的小黑江断裂也有大规模的岩石崩塌带发育,表明该构造几何障碍区为 7.2 级强余震的破裂起始区.

这次地震破裂告诉我们,地表活动断裂带中的主要断层段内部的构造几何障碍区,往往是主震和强余震发生的构造部位.

## 六、结 论

1. 澜沧-耿马地震的地表破裂和烈度分布反映出澜沧-耿马断裂带是这次地震的震源断层.

2. 澜沧-耿马断裂带在这次地震中表现为右旋走滑正断层活动.

3. 一次地震的破裂机制在地表的反映可能是相当复杂的,局部地方的地表断裂并不能严格地代表其深部的破裂机制.

4. 地表活动断裂带内的主要断层段与其它断层的交汇区,往往是主震或强余震发生的构造部位.

本项工作得到马杏垣教授、陈运泰教授的关心指导,作者在野外地震考查期间曾得到云南省地震局姜葵、张俊昌同志的帮助,在此表示感谢.

## 参考文献

- [1] Aki, K., 1978. Characterization of barriers on an earthquake fault. *J. Geophys. Res.* **84**, 6140—6148.
- [2] Bruhn, R. L., Gibber, P. R. and Parry, W. T., 1987. Rupture characteristics of normal fault, an example from of Wasatch fault zone, Utah, in Coward, M. P., Dewey, J. F. and Hancock, P. L. (Editors), *Continental Extensional Tectonics*, No. 28, 337—353, Geological Society Publication.
- [3] Philip, H., Meghraoui, M., 1983. Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980, *Tectonics*, **2**, 1, 17—47.
- [4] 国家地震局地质研究所澜沧-耿马地震区调查组, 1989. 云南耿马-澜沧地震区综合考察的初步报道. *地震地质*, **11**, 1, 135—136.

# THE DISTRIBUTION OF SEISMIC INTENSITIES AND SURFACE RUPTURE IN THE LANCANG - GENGMA (YUNNAN PROVINCE, CHINA) EARTHQUAKES OF NOVEMBER 6, 1988

Hui Wang, Zujǐ Qiang, Zhuzhong Yuan, Yanglong Wang,

Hua Zhang and Xiang Zhao

(*Institut of Geology, State Seismological Bureau, Beijing 100029, China*)

Yishan Gu

(*Seismological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650041, China*)

## Abstract

On November 6, 1988, two earthquakes with magnitude  $> 7$  occurred on the Lancang - Gengma fault zone in south - west China. The extensive destruction and loss of lives resulted mainly from widespread collapse of unreinforced masonry and mud brick structures; the maximum preliminary intensity of the Lancang earthquake was IX on the Chinese scale, which is similar to the Modified Mercalli scale, and the highest preliminary intensity of the Gengma earthquake was probably X.

The surface manifestation of tectonic activity of the Lancang earthquake was the occurrence of the earthquake - related extensional ground cracks and small fault scarps in the epicentral region. The cracks with small fault scarps occurred mainly in four relatively continuous north - northwest - trending linear zones that ranged from a few hundred meters to 6 km in length. The area within which the cracks and small scarps occurred is 35 km long by 3 km wide. The maximum net throw and the dextral horizontal offset were 1.5 m and 1.4 m, respectively.

Clear evidence of new surface faulting caused by the Gengma earthquake includes a series of relatively continuous north - northwest - trending linear ground crack zones and a 5 km long section of fault scarps. The total length of the surface rupture zones of the Gengma earthquake is about 24 km, with 3.5 m maximum net throw and 3 m maximum right - lateral slip.

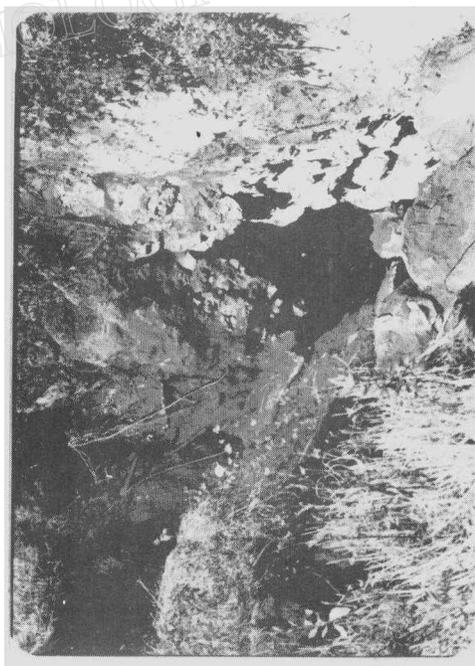
Both earthquakes were associated with surface faulting showing a combination of normal and right lateral motion. The distribution of seismic intensities and surface rupture characteristics of these two earthquakes are discussed in this paper.



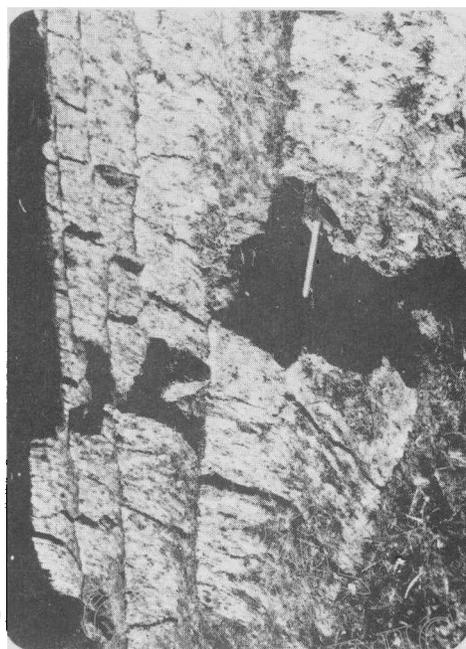
照片 1 澜沧地震极震区内广泛发育的山剥皮现象



照片 2 耿马地震极震区内梅楞山东坡下的地震滚石



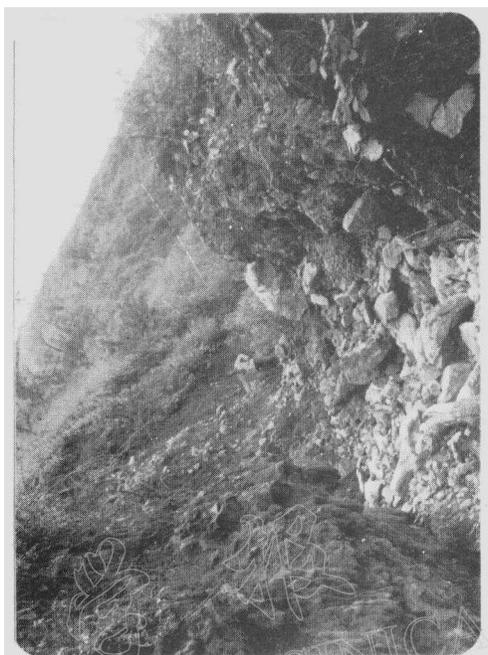
照片 3 澜沧 157 号公路路标附近灰岩张裂槽, 镜向北西



照片 4 澜沧南六村地裂缝带错动田埂, 镜向北西



照片 6 耿马地震形成的眉状陡坎, 镜向西



照片 8 小黑江南岸耿马地震断层转弯处之大型张裂槽, 镜向西



照片 5 小黑江北岸耿马地震断层将树右旋错开 90cm, 镜向南



照片 7 小黑江南岸耿马地震断层陡坎, 镜向南西