

澜沧-耿马地震的成因机制*

俞维贤 周瑞琦 侯学英 周光全

(中国昆明 650204 云南省地震局)

摘 要

介绍并分析了澜沧 7.6 和耿马 7.2 级地震极震区所出现的典型震害及其形成机制. 结合震区构造特征, 分析了两次地震的构造运动差异: 澜沧 7.6 级地震以木戛断裂的强烈水平错动为特征; 耿马 7.2 级地震则以汗母坝断层的垂直运动为特征. 木戛断裂与汗母坝断裂错动形式的明显差异, 可能与耿马 7.2 级地震震源区主压应力轴方向的局部调整偏转有关; 澜沧 7.6 级地震对耿马 7.2 级地震起到了触发作用.

关键词 震害差异; 力学机制; 构造运动

1 引言

1988 年 11 月 6 日发生的澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震, 在震区出现了以两次地震极震区为中心的地表形变带, 并伴随产生有大量的次生震害(图 1)(俞维贤等, 1991). 这类震害现象显示: 澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震的地面构造运动存在有特征性的差异.

2 几种典型震害

澜沧-耿马地震在整个Ⅶ度区内产生有大量的次生震害. 由于地形、地物及建筑物的差异, 震害现象丰富多样. 其中有一类震害比较典型, 它们仅在 7.6 级和 7.2 级地震极震区广泛分布. 笔者对这类震害作了仔细调查分析, 发现它们对分析两次地震的构造运动差异很有价值.

2.1 以澜沧 7.6 级地震极震区为中心的典型震害

建筑物破坏有明显的方向性 在木戛断裂的南北两侧, 建筑物破坏存在有明显地方向性. 座向北西、南东的房屋, 其倒塌率明显地高于座向北东、南西的房屋. 屋顶瓦片的滑动, 在极震区虽然各个方向的滑动都有, 但座向北西、南东的房屋, 其瓦片的滑动就明显增强(俞维贤等, 1991). 震区未倒塌的住房, 其歪斜也具有同样的方向性(图 2 a). 在木戛断裂两侧的竹塘、白掌、富邦、富角等地都有这一现象. 这说明本戛断裂两侧的建筑物破坏不是在纯粹的地震动及重力作用下形成的, 其间存在一个较强的北西、南东方向的水平力的

* 1992 年 7 月 16 日收到初稿, 1993 年 3 月 27 日决定采用.

作用.

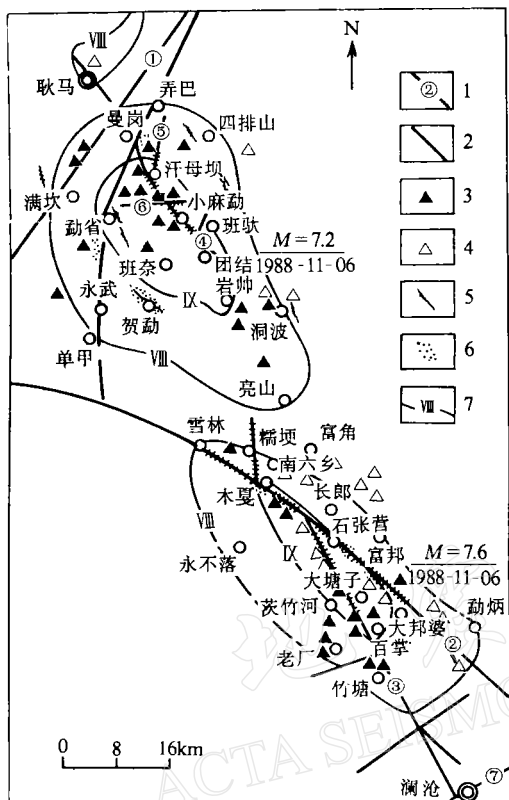


图 1 澜沧-耿马地震形变带分布图

1. 断裂及编号, 2. 构造地裂缝分布区, 3. 崩塌, 4. 滑坡, 5. 次生张裂缝, 6. 喷砂冒水分布区, 7. 等震线; ① 南汀河断裂, ② 木戛断裂, ③ 大塘子断裂, ④ 汗母坝断裂, ⑤ 汗母坝-芒妹断层, ⑥ 小黑江断层, ⑦ 孟连断裂

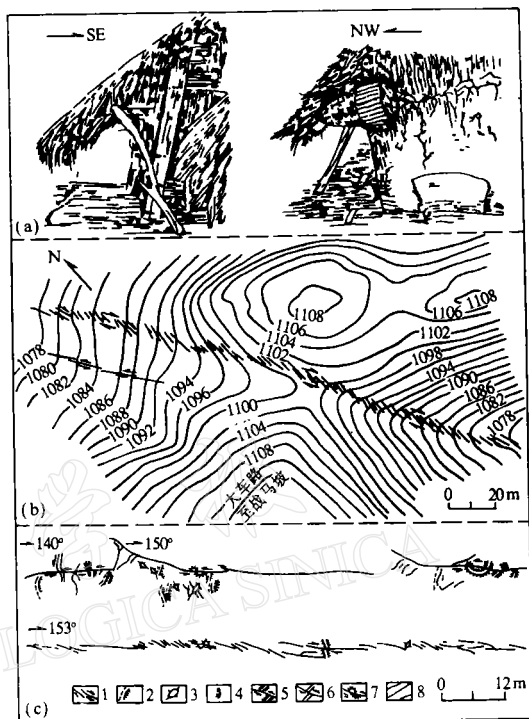


图 2(a)白掌村竹芭房倾斜方向素描图; (b)白水井附近地形、地裂缝形态及位置分布实测图; (c)芒弄、岩铁上中寨附近平行且错动性质相反的构造地裂缝实测图
1. 地裂缝及错动方向, 2. 横向张裂缝, 3. 挤压鼓包, 4. 陡坎, 5. 错断的田坎, 6. 错断的小水沟, 7. 错断的小土包, 8. 等高线

相互平行且运动性质相反的地表裂缝 地震发生后, 沿木戛断裂和大塘子断裂出现两个明显的地震裂缝带(俞维贤等, 1991). 经实地考察发现, 沿木戛断裂出现的构造地裂缝中, 有相互平行且运动性质相反的一类地裂缝. 例如: ①在白水井、小上河南岸的小山包鞍部的耕作田地中, 出现两条错动性质相反的地裂缝(图 2b). 它们相互平行, 其中右旋错动的一条地裂缝规模较大, 它穿过了整个山脊鞍部, 进入两端的河床而消失, 可见长度 600 m. 而左旋错动的一条地裂缝规模较小, 出现长度仅 50 m. 经考查证实, 木戛断裂主断面正好从该地通过, 地裂缝走向与木戛断裂基本一致; ②芒弄、岩铁上中寨的耕作田地中, 也同样出现两条相互平行且错动性质相反的地裂缝, 所不同的是, 其中左旋错动的地裂缝规模和错动距离都比较大, 两裂缝间相距 80 m 左右. 对这两条地裂缝作了 1/200 比例尺测绘(图 2c). 经分析发现, 它拉与纯粹的滑坡有本质上的区别, 与前述房屋瓦片的滑

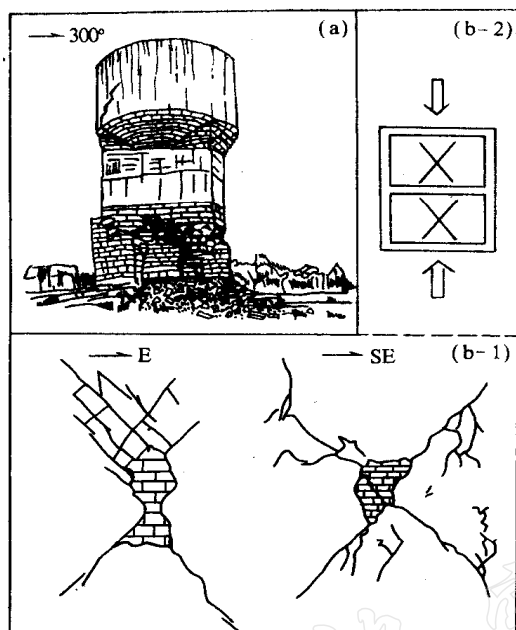


图 3(a) 勐省镇小水塔破坏形态素描图
(b-1), (b-2)为耿马县招待所、县工商所楼房、
墙体“X”型裂缝形态及形成机理分析图

都是竖向的(图 3(b-1)),这显然是由于强烈的竖向力作用的结果(图 3(b-2)).关于小水塔的破坏机理文献(周瑞琦等,1990)已有专门研究.

地震时地面石块及物体的抛掷现象

这类现象在汗母坝断层的两侧表现强烈,其物体上抛翻身的形式大致有 4 种:

- ①汗母坝断层南西盘陡崖上的石块有向东北方向上抛至北东盘的现象;
- ②地面数吨重的巨型砖石被上抛原地翻身.这两类震害在周瑞琪等(1990),已作了介绍;
- ③位于地震破裂中心的小黑江北侧山脊(汗母坝断层与小黑江断层交汇处).沿裂缝可见数棵 10—20 m 高的大树被连根拔起,并抛掷至两侧的现象,还有的根部已被拔起严重歪斜(照片 1, 2);
- ④在汗母坝至芒妹方向有一片石灰岩石笋区,震后这片灰岩石笋大约有 100 个石笋头被断开抛掷在一侧(照片 3, 4),其中大约有 50 块石笋头断开后抛向南西,15 块抛向北东,10 块抛向南东 10—15°和北西 10°.

动,房屋定向倒塌、歪斜的典型震害有力学成因上的联系,对此笔者已有专文(俞维贤等,1991)讨论,这里不在赘述.

建筑物“X”型裂缝特征 澜沧县城的一些框架楼房,其墙壁上可见清晰的“X”型裂缝.裂缝基本沿矩型框架对角线出现,其锐角方向基本水平(那向谦等,1992).这显然是由于房屋在水平力的作用下,矩型框架发生左右扭动,墙体沿矩型框架对角线产生剪切破裂的结果.

2.2 以耿马 7.2 级地震极震区为中心的典型震害

建筑物破坏存在有明显的上轻下重现象

这类破坏在耿马 7.2 级地震的极震区内极为常见,一些头重脚轻的建筑物都出现有下部破坏较重的现象,这以沧源县勐省镇小水塔的破坏较典型(图 3 a),水塔下部基本毁坏,而上部比较完好.另外一种现象就是在耿马、沧源、勐省、岩帅等地一些残留未倒的砖混结构的建筑楼房,在其一、二层的隔墙上普遍都可见到典型的“X”型裂缝,其锐角方向



照片 1 小黑江北面山梁上沿裂缝所见数
棵大树被连根拔起抛掷至两侧的现象

上述 4 类震害现象表明,地震时在耿马 7.2 级地震极震区存在有两个方向的水平力和较强烈的竖向力的作用。

3 典型震害的地面运动特征

3.1 澜沧 7.6 级地震

澜沧 7.6 级地震极震区所出现的几类典型震害,都显示出明显的水平力的作用。从它们与木戛断裂的分布关系(图 4)发现,其水平作用力的方向与木戛断裂近乎平行。这类震害是,地震时沿木戛断裂产生了快速水平错动所致。据位于木戛断裂北侧的富角村的居民讲:“地震时,人感有来自北西、南东方向的力把人推得左右倾倒,所见小树的左右摆动已达地面”。这显然是由于强烈的突发性地面水平运动,人和小树在惯性力作用下而产生的一种感觉和现象。从以上的典型震害及人感的综合分析,7.6 级地震时,木戛断裂确实产生了突发性的水平错动过程。



照片 2 小黑江北面山梁上沿裂缝所见大树根部被拔起严重歪斜

3.2 耿马 7.2 级地震

耿马 7.2 级地震极震区所出现的几类典型震害,都显示有较强烈的竖向力作用特征。也就是说,在发生 7.2 级地震时,汗母坝断层除了快速右旋错动外,还伴随有强烈的垂直运动。因此,极震区内的一些地表物体除水平力的作用外,还受到强烈的垂直上抛作用。在活动最强的汗母坝断层中间部位(小黑江北侧),出现了大树连根拔起、巨型砖石上抛、原地翻身的现象。据芒翁村的村公所主任越紫荣介绍:“地震时先是上下颠簸,家里的一小凳由这个角被抛到另一个角,紧接着地面象推磨一样转动,家用物品在地上滚动”。这说明 7.2 级地震时,除水平错动外,沿汗母坝断层确实产生了较强的垂直运动,人在地震时的感受与 7.6 级地震时有明显差别。



照片 3 汗母坝至芒妹方向 1.5 km 处沿裂缝所见已断开的石灰岩笋头



照片 4 汗母坝至芒妹方向 1.5 km 处沿裂缝所见已断开的定向滑动的石灰岩笋头

4 极震区的构造特征

4.1 澜沧 7.6 级地震极震区

该区出露有两条较大规模的断裂:木戛断裂与大塘子断裂. 木戛断裂有近 1 km 宽的挤压破碎带, 总体走向 $310-320^\circ$ 间, 整体呈略向北东方向突出的弧形. 航卫片影像显示,

整条断裂是由一系列次一级的右阶羽列状排列的断层组成. 地震时产生的地表构造裂缝, 大都沿这些断层分布. 大塘子断裂位于木戛断裂南侧, 与木戛断裂成较小角度斜交, 未穿过木戛断裂, 整条断裂由多组走向北 $20-30^\circ$ 西的断层组成, 地震时沿这些断层发育有大量张性构造裂缝、地壑式陷落等(俞维贤, 1990).

4.2 耿马 7.2 级地震极震区

与澜沧 7.6 级地震极震区不同, 该区未见出露有较大规模的断裂. 区内出露的中小断层有: 小黑江断层、汗母坝断层、汗母坝-芒妹断层、邦多断层等(图 1). 这些断层线都略呈弧形, 倾角陡, 航卫片上都有明显的影像显示. 地震时这些断层沿线都出现有不同规模的地表构造裂缝(俞维贤等, 1991). 汗母坝断裂, 总体走向 $325-335^\circ$ 间, 由 3 条成右行左阶羽列状排列的断层组成(羽阶部位在小黑江北侧山脊及小麻勐下寨), 其每一断层又由许多条长 50 多米的更次一级的成右行左阶羽列状排列的小断面组成. 断层面倾角陡; 在山脊上所观测到的断层产状数据, 有倾向南西, 也有倾向北东的, 倾角都在 75° 以上(俞维

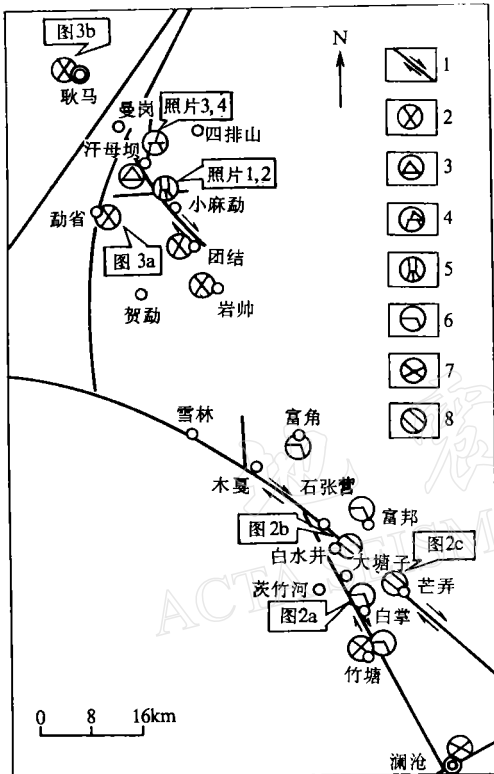


图 4 澜沧-耿马地震典型震害分布图

1. 断裂, 2. 建筑物下部破坏较重、墙体
- “X”型裂缝(锐角水平), 8. 相平行
- 且错动性质相反的构造裂缝

贤等, 1991).

5 构造运动的力学成因讨论

通过澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震极震区典型震害的力学分析, 两次地震的地面构造运动有明显差异; 极震区的主要构造线, 其规模、组合形态及走向存在有自身的特点. 根据澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震极震区雁行张裂缝走向优势方位的统计结果(俞维贤等, 1991), 整个地震区的主压应力轴方向为北北东向; 耿马 7.2 级地震极震区相对澜沧 7.6 级地震极震区, 其主压应力轴方向局部向东偏转了 $15-20^\circ$ 左右, 震源机制解的结果(王

绍晋等, 1991) 也表明, 两次大震的主压应力轴方向都为北北东向; 对整个震区大震前后 182 个中小地震震源机制资料的统计分析表明: 其 P 轴方位主要集中分布在北东 5° — 35° 间, 并具北东 5° 和 35° 两个明显的优势方位. 其中 7.2 级地震的余震的 P 轴优势方位大都集中于北东 35° ; 7.6 级地震的余震 P 轴优势方位大都集中于北东 5° . 澜沧—耿马一线中小断层发育, 在北北东向主压应力的作用下, 利于沿线的破裂和贯通. 根据历史地震资料 (云南省地震局, 1988), 1941 年 5 月 16 日耿马大寨及 1941 年 12 月 26 日勐遮分别发生了 7 级强震, 之后沿线又多次发生了 5 级以上地震, 最近又在其连线上发生了澜沧、耿马两次 7 级以上地震. 因此, 澜沧—耿马一线可能是正在形成的地震构造线, 其破裂、贯通是由两端向中间逐步延伸的.

根据上述资料的综合分析, 笔者认为, 澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震是澜沧—耿马新构造线又一次破裂、贯通、形成过程中的产物, 其形成机制如图 5 所示. 图 5a 为 1941 年耿马大寨和勐遮 7 级地后, 其破裂面在两端形成. 由于近南北向主压应力的作用, 在南北两地新破裂的尾端应变能逐步积累; 图 5b 为当南区应变能积累达到破裂极限时, 发生了澜沧 7.6 级强震, 由于震区较大的北西向木戛断裂的存在, 使得 7.6 级地震的大部分应变能得到释放, 大塘子断裂的破裂活动因此减弱, 破裂未能穿过木戛断裂 (俞维贤等, 1991); 图 5c 为由于澜沧 7.6 级地震时, 木戛断裂的快速右旋错动, 北东盘向东推移, 给北区汗母坝断层增加了一个向东的分力, 加速了汗母坝断层的右旋走滑和尾端拉张, 触发了 7.2 级地震, 造成了 7.2 级地震震源区主压应力轴的局部偏转, 地震时地面产生较强烈的垂直运动.

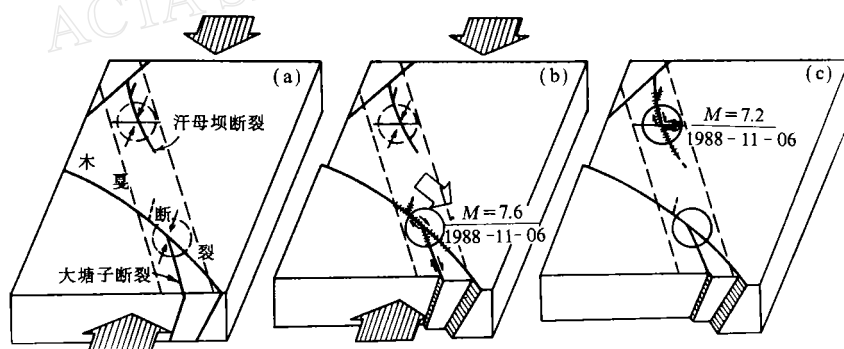


图 5 澜沧-耿马地震形成机制示意图

综上所述, 澜沧-耿马地震是在近南北至北北东向主压应力作用下, 沿澜沧—耿马一线从两端向中间又一次延伸、破裂的结果. 澜沧 7.6 级地震的先发生, 对耿马 7.2 级地震起到了触发作用, 也是耿马 7.2 级地震震源区主压应力方向局部偏转的主要原因.

6 结 论

(1) 澜沧—耿马一线是正在形成的新的地震破裂构造线, 澜沧 7.6 级和耿马 7.2 级地震是该构造线再一次破裂贯通过程中的产物.

(2) 澜沧 7.6 级地震的发生,对耿马 7.2 级地震起到触发作用,也是造成 7.2 级地震震源区主压应力轴方向局部偏转的主要原因.

(3) 澜沧—耿马新构造线的破裂贯通,有从两端向中间延伸发展的特点,两次强震的中间地段,将是未来强震的潜在震源区.

参 考 文 献

俞维贤、侯学英、周瑞琦、柴天俊、谷一山, 1991. 澜沧-耿马地震的地表破裂特征. 地震研究, **14**, 3, 203—214.

俞维贤、柴天俊、侯学英, 1991. 澜沧 7.6 级地震形变带. 地震地质, **13**, 343—352.

那向谦、石成纲、周锡元、刘志刚、刘家骏、潘凯云, 1991. 澜沧-耿马地震中建筑与结构震害特征, 108—127. 科学出版社, 北京.

击瑞琦、谷一山、俞维贤, 1990. 耿马 7.2 级地震某些震害现象及其解释. 地震研究, **13**, 402—410.

王绍晋、于利民、李钦祖, 1991. 利用 \bar{P} , \bar{S} 振幅比资料测定澜沧-耿马震区中、小地震震源机制. 地震研究, **14**, 3, 195—202.

云南省地震局, 1988. 云南省地震资料汇编, 358—363. 地震出版社, 北京.

地 震 学 报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA