

滇西南地区汉母坝—澜沧断裂 晚第四纪构造活动的地质地貌证据

刘兴旺^{1,2,3}, 袁道阳¹, 张波^{1,2}, 方良好¹, 邵延秀^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;
3. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:通过对汗母坝—澜沧断裂晚第四纪地质、地貌实地调查与测量,并结合前人研究成果,讨论了该断裂晚第四纪最新构造活动特征。综合分析认为,汗母坝—澜沧断裂为一条以右旋走滑为主的全新世活动断裂,长约 120 km,整体走向 NNW。该断裂活动习性具有明显的分段特征,北段称为汗母坝断裂,是 1988 年耿马 7.2 级地震的发震断裂;南段称为澜沧断裂,是 1988 年澜沧 7.6 级地震的发震断裂之一。晚第四纪以来其新活动形成了丰富的断错地貌现象,如冲沟和山脊右旋位错、断层沟槽、断层垭口、断层陡坎、断陷凹坑等。根据断裂断错地貌特征的相应资料估计,该断裂晚第四纪右旋走滑速率约为 (4.7 ± 0.5) mm/a。

关键词: 汗母坝—澜沧断裂; 断层地貌; 断层陡坎; 右旋走滑

中图分类号: P315.242

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)增刊-0108-08

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0108

Geological and Geomorphological Evidence of Tectonic Activity of Hanmuba—Lancang Fault at Southwestern Yunnan in Late Quaternary

LIU Xing-wang^{1,2,3}, YUAN Dao-yang¹, ZHANG Bo^{1,2}, FANG Liang-hao¹, SHAO Yan-xiu^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Key Laboratory of Western China's Environmental System with the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: According to field survey and measurement of the geology and landform of the Hanmuba—Lancang fault in late Quaternary, the latest tectonic characteristics of the fault in late Quaternary were discussed on the basis of previous study. The preliminary analysis was that the fault with length of about 120 km belonged to the Holocene active fault with right-lateral strike-slip. The fault activity had obvious characteristics of segment. The north segment was Hanmuba fault, which was the causative structure of Gengma $M_s 7.2$ earthquake in 1988. The south segment was Lancang fault, which was one of seismogenic faults of Lancang $M_s 7.6$ earthquake in 1988. A variety of dislocation landforms had been formed by new fault activities since the late Quaternary, such as dextral dislocation of gullies and ridges, fault groove, fault pars, fault escarpment and pit. According to the relevant data, we estimated that the rate of right-lateral strike-slip of the fault in late Quaternary was about (4.7 ± 0.5) mm/a.

收稿日期: 2013-04-10

基金项目: 地震行业科研专项(201108001)

作者简介: 刘兴旺(1980—), 男, 助理研究员, 主要研究领域: 活动构造. E-mail: lxw_27@163.com

Key words: Hanmuba—Lancang fault; fault landform; fault scarp; right-lateral strike-slip

0 引言

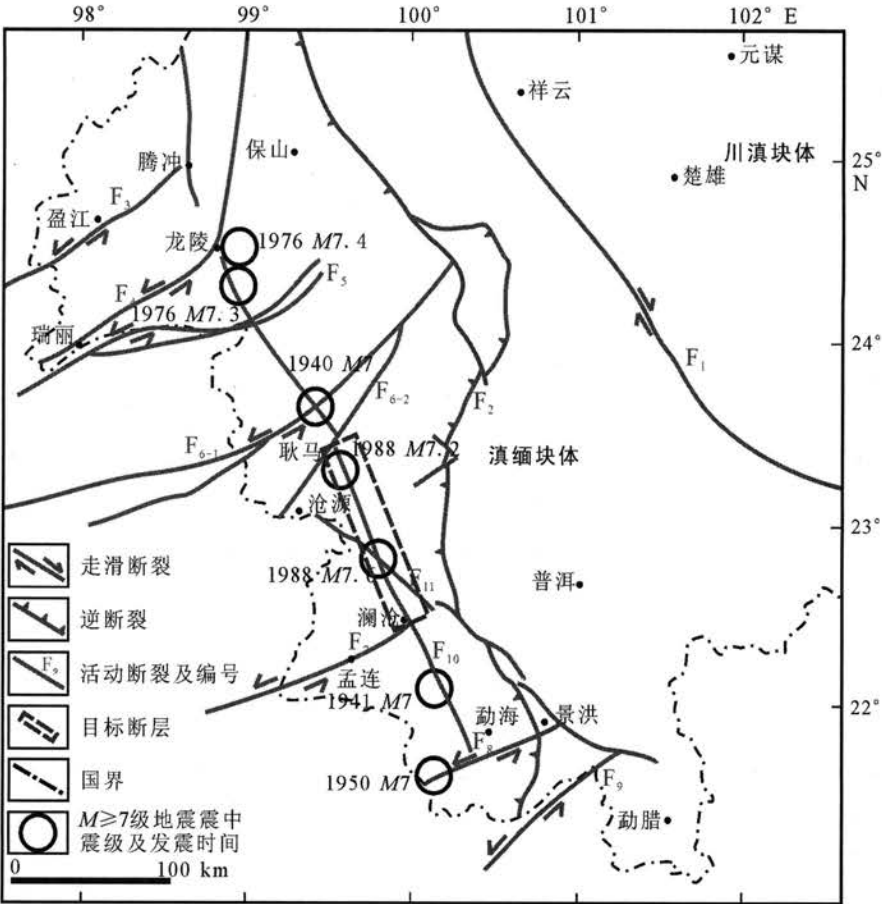
滇西南地震带位于滇缅活动块体内部^[1],20 世纪 40 年代至 90 年代就发生过 7 次 7 级以上地震,是我国强震活动最为频繁的地区之一。该地区第四纪以前的活动构造、岩浆岩带、变质岩带以 NE 向为主,局部受 SN 向构造控制。大量的地震研究表明,破坏性地震多沿先存构造以数百年至数千年的时间间隔不均匀或不规则地重发生着^[2-7],但也有许多地震与先存构造的活动无关,它们产生的地表破裂带偏离、甚至切割先存地表迹线,具有新活动构造的特征。1988 年澜沧—耿马 7.6 级、7.2 级地震产生的地表破裂带以 NNW 向为主^[8-9],具有明显的新生断层的构造特征^[10]。其北侧的龙陵 1976 年 7.3、7.4 级地震产生的地表破裂带也是以 NNW 向为主^[11],以 NE 向为次,切割先存的 NE 向构造,虢顺民等^[12]称其为龙陵—澜沧新生破裂带。

根据虢顺民等^[13]的研究,龙陵—澜沧新生地震

断裂带主要沿腾冲、龙陵、耿马、澜沧、勐混一线展布,总体走向 NW20°~25°,长约 500 km。该断裂由多条不连续的次级断裂组成,呈斜列或丛集状展布,运动性质为右旋拉张。沿断裂发育多个断陷盆地,在地貌上形成断裂谷、断层三角面、断层陡坎和断错水系,沿断裂带可见断错上更新统、全新统的断层露头。本文研究的汗母坝—澜沧断裂位于龙陵—澜沧断裂的东南段,前人对该断裂的研究主要在 1988 年澜沧—耿马地震之后展开的,重点研究了地震破裂带特征和发震构造。在本次的研究中,通过详细的航卫片解译和野外追踪考察,发现了断裂大量的晚第四纪活动的证据,这对认识新生断裂的活动特点,及该地区的防震减灾都有重要的意义。

1 汗母坝—澜沧断裂的区域构造背景及几何分段特征

断裂所在区位于滇西南地震带内(图 1),属于印



F₁红河断裂; F₂澜沧江断裂带; F₃大盈江断裂; F₄龙陵-瑞丽断裂; F₅畹町-安定断裂;
F_{6.1}南汀河断裂西支; F_{6.2}南汀河断裂东支; F₇孟连断裂; F₈打洛断裂; F₉勐龙断裂;
F₁₀龙陵-澜沧断裂; F₁₁黑河断裂

图 1 研究区主要活动断裂分布简图

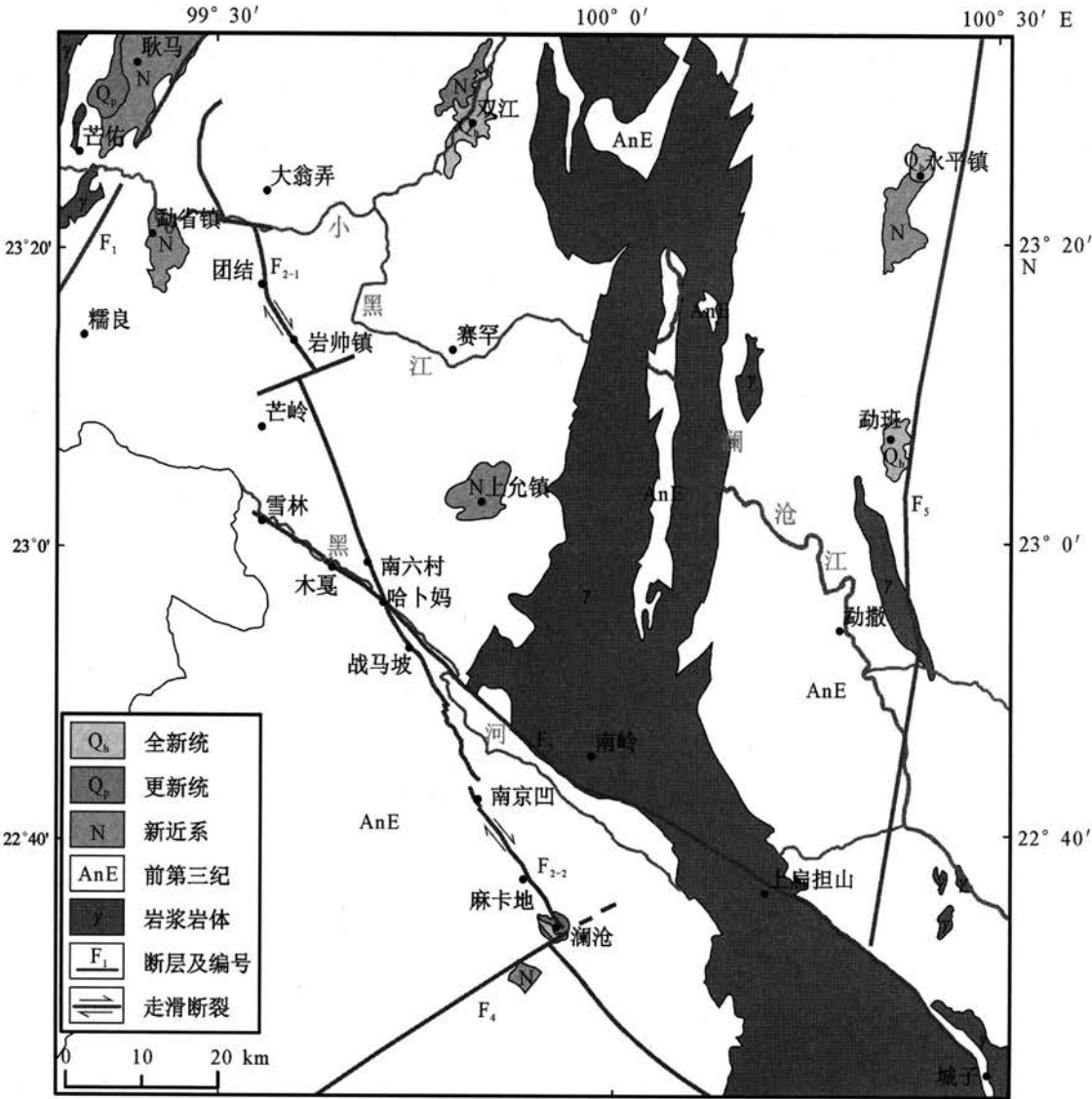
Fig. 1 Distribution of major active faults in the study area

度板块和亚欧板块强烈碰撞变形区,其东侧为 NW 向红河右旋走滑断裂,是川滇块体和滇缅块体的界断裂,右旋走滑速率为 $3\sim4\text{ mm/a}$ ^[14-15]。新生的龙陵—澜沧断裂带切割了众多 NE 向的断裂,从北向南主要有大盈江断裂、龙陵—瑞丽断裂、畹町—安定断裂、南汀河断裂、孟连断裂、打洛断裂、勐龙断裂等^[12,16-17],这些断裂都以左旋走滑为明显特征,速率多在 $2\sim8\text{ mm/a}$ 之间^[18]。区域上 NW 向的右旋走滑断裂和 NE 向的左旋走滑断裂形成共轭的走滑断裂系,这种现象与现今 GPS 观测揭示的青藏块体顺时针旋转有关^[19]。本文所研究的 NNW 向的龙陵—澜沧新生断裂带与 NW 向黑河断裂以小角度相交,正好处于保山—普洱块体和密支那—西盟块体的交接部位,共同构成这两个块体的边界断裂^[16]。

根据断裂几何特征和活动性的差异,汉姆坝—澜沧断裂可分为北段的汗母坝断裂段和南段的澜沧断裂段(也称大塘子断裂),这两条断裂又还可细分为 $2\sim3$ 条次级断裂段,断裂段之间多以右阶或左阶斜接,或被次级横向断裂所分隔(图 2)。根据前人的研究结果^[20-24],汉母坝断裂为 1988 年耿马 7.2 级地震的发震断裂,并形成了长约 14 km 的地震地表破裂带;而澜沧断裂和黑河断裂的共同作用导致了澜沧 7.6 级地震的发生,并形成了长约 35 km 的地震地表破裂带。下面将各段活动特征叙述如下:

1.1 北段(F_{2-1})

北段断裂为汗母坝断裂,该断裂北起耿马县城东侧的弄巴老寨,向南经芒翁村、小黑江、团结、岩帅直至联合村一带,长约 35 km,性质以右旋走滑为主,



F₁.南汀河断裂; F₂.汗母坝-澜沧断裂; F₃.黑河断裂; F₄.孟连断裂; F₅.澜沧江断裂

图 2 汗母坝—澜沧断裂地质构造图

Fig. 2 The geotectonic map of Hanmuba—Lancang fault

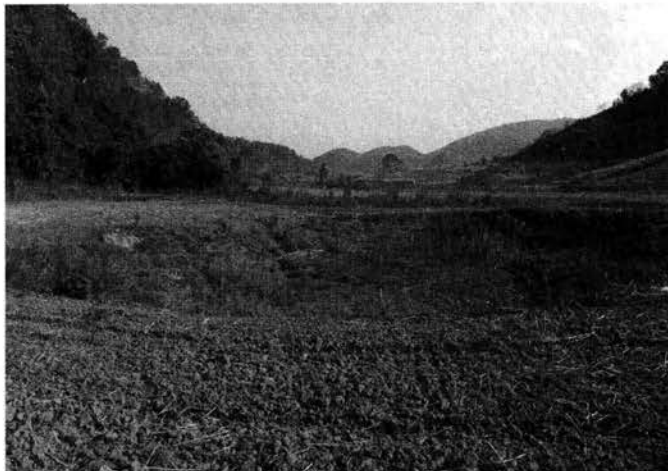
走向由耿马县城附近的 NE 向逐渐变为 NNW 向, 倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。断裂在小黑江形成一个宽约 4 km 的左阶区, 与 NNW 向的小黑江断裂斜交。在联合村一带, 汗母坝断裂和南侧的澜沧断裂形成一个宽约 2 km 的阶区(图 1)。断错地貌以基岩陡崖、断层陡坎、断层沟槽、断层谷底以及冲沟、山脊的右旋为主。

在芒美村一带, 影像较为清晰, 断裂沿基岩和谷

地交界处分布, 表现出明显的线性特征, 走向近 NS (图 3(a))。谷地中形成地貌上不协调的较高反向陡坎, 应为断层持续活动的结果。靠近断层附近有 1988 年耿马 7.2 级地震形成的地震陷坑, 陷坑长 10 m, 深 2 m(图 3(b)), 据当地老乡反映该陷坑就是地震时形成的, 而沿断层一线还有地震裂缝分布, 目前都已经消失。



(a) 汗母坝断裂卫星影像 (资料来源于Google Earth)



(b) 地震陷坑 (镜像S)

图3 芒美村一带断错地貌

Fig. 3 Fault landforms along Mangmei village

芒翁至小黑江段是 1988 年耿马 7.2 级地震的发震断裂段, 当时形成的地震破裂带蔚为壮观, 在小黑江北岸的梅楞山山梁子一带, 山头酥裂, 地震断层连续延伸 5 km 左右, 梅楞山东坡下滚石遍布, 直径一般 2~4 m, 大者近 10 m。其最大垂直位移 3.5 m, 右旋位移量达 3 m^[23]。由于该地人口稠密, 加之降雨丰富, 很多地震破裂带均没有被保存下来, 在芒翁村南的山坡前缘发现了零星分布的疑似地震破裂带的陡坎(图 4(a)), 小黑江北侧的梅楞山一带, 主断裂沿山腰分布, 形成醒目的断层陡崖(图 4(b)), 相应的在其东侧形成巨大的地震陷落坑, 深数十米(图 4(c))。断裂在小黑江附近形成一个宽约 4 km 的左阶挤压区, 其中间被 NNW 向的小黑江次级断裂相连, 两条断裂交接的部位为应力积累区, 1988 年耿马 7.2 级地震就发生在两条断裂交接处。在小黑江南岸班驮村一带 T_1-T_3 级阶地上由于断层的影响, 形成多级阶地位错和断层凹槽地貌(图 4(c)), 只是由于受后期滑塌作用的影响, 断距存在一定的不确定性。其南侧团结乡至联合村, 多以断层垭口地貌为主(图 4(d))。

1.2 南段(F_{2-2})

南段为澜沧断裂(也称大塘子断裂), 该段断裂

北起南六乡一带, 向南经哈卜吗、战马坡、大塘子、竹塘, 过澜沧县城延伸到西双版纳一带, 长度为 180 km 左右, 走向 NNW(图 1), 倾角多在 70° 以上。断裂在澜沧县城一带形成一个右阶区, 阶距约 3.5 km。断错地貌以基岩陡崖、断层陡坎、断层沟槽、断层谷底以及冲沟、山脊的右旋为主, 断裂连续性不好, 多以阶区的形式实现不同断裂段之间的构造转换。

断裂在战马坡北的哈卜马与 NNW 向的黑河断裂相交, 在相交部位发生了 1988 年澜沧 7.6 级地震。地震产生的破裂带由 NNW 向和 NNW 向两组破裂带组成, 沿黑河断裂和澜沧断裂分布。据俞维贤等^[21]震后的现场调查, NNW 向地震破裂带从战马坡至中南京凹, 长约 15 km。战马坡村附近为本次地震的宏观震中, 由于受后期侵蚀、人类活动等影响, 地震破裂带现在几乎难以保留, 但断层地貌较为清晰, 断层从半山腰经过, 使得冲沟产生了 15 m 左右的右旋(图 5(a))。断层在老达寨形成醒目的断层陡崖, 走向近 NS, 崖壁下遍布滚石, 大小不一, 小者不足 1 m, 大者直径约有 4~5 m, 经访问当地村民, 为 1988 年澜沧 7.6 级地震滚石(图 5(b))。在中南京凹附近, 有串珠状分布的陷落坑, 深度都在

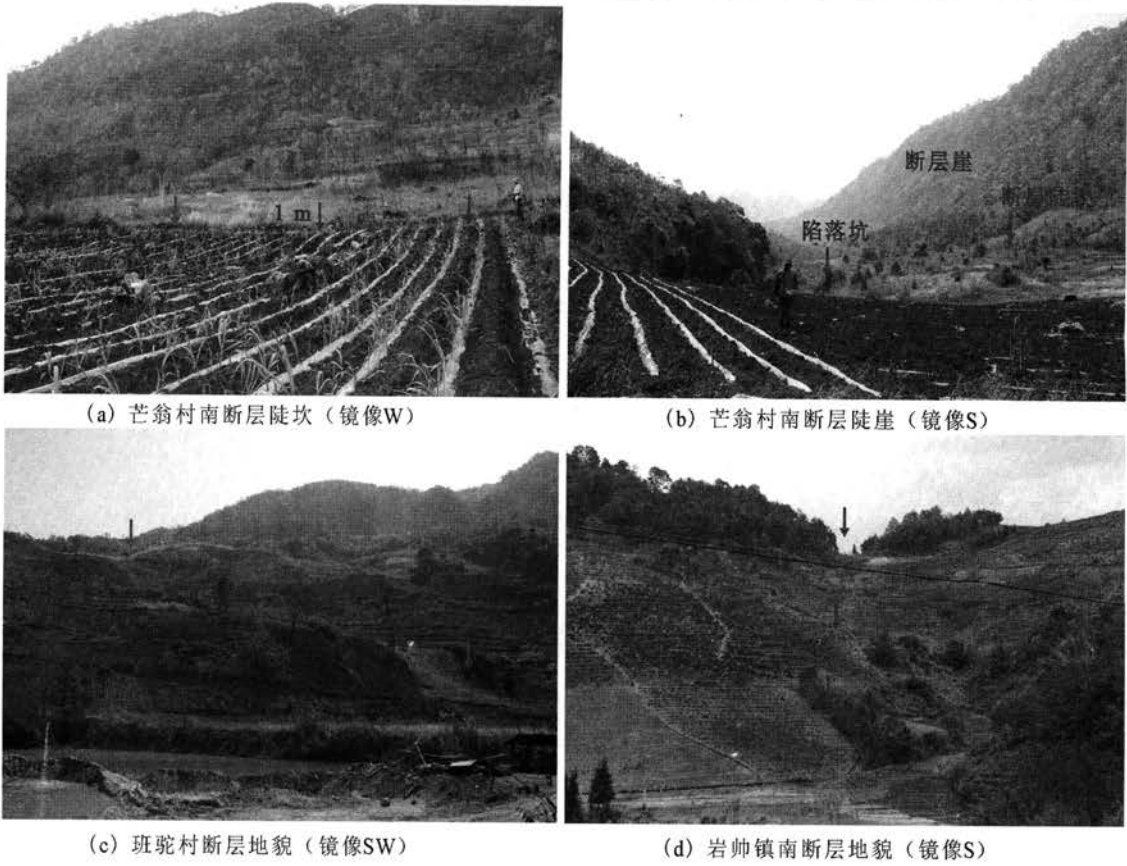


图 4 汗母坝断裂断错地貌

Fig. 4 Fault landforms of Hanmuba fault



图 5 澜沧断裂断错地貌

Fig. 5 Fault landforms of Lancang fault

20 m 左右,规模较大(图 5(c));断层在麻卡地附近有丰富的断错地貌表现,如断层沟槽、冲沟右旋、地震鼓包等都保留了下来,鼓包高约 1 m 左右,中间为冲沟右旋,位错量(15±1)m 左右,其北侧为一个小的反向断层沟槽,反向陡坎高度约 1.8 m。跨地震鼓包开挖的探槽剖面中揭露断层一条,断层显示明显的走滑性质,擦痕清晰,擦痕倾角约 10°(图 6),擦痕倾角近水平,表明断裂以走滑为主,略具倾滑逆

冲分量。观察层②中碳粒的沉积特点,具明显的分层特征,分别沉积了层②的下部和上部,可能存在古地震事件。下部¹⁴C 样品(MKD14C-1)为(1 200±30)a B. P.,(MKD14C-2)为(940±30)a B. P.,可能代表了一次地震事件。顶部¹⁴C 样品(MKD14C-1)为(620±30)a B. P.,也可能代表了另一次地震事件,这还需结合其它剖面古地震事件年代对比分析。

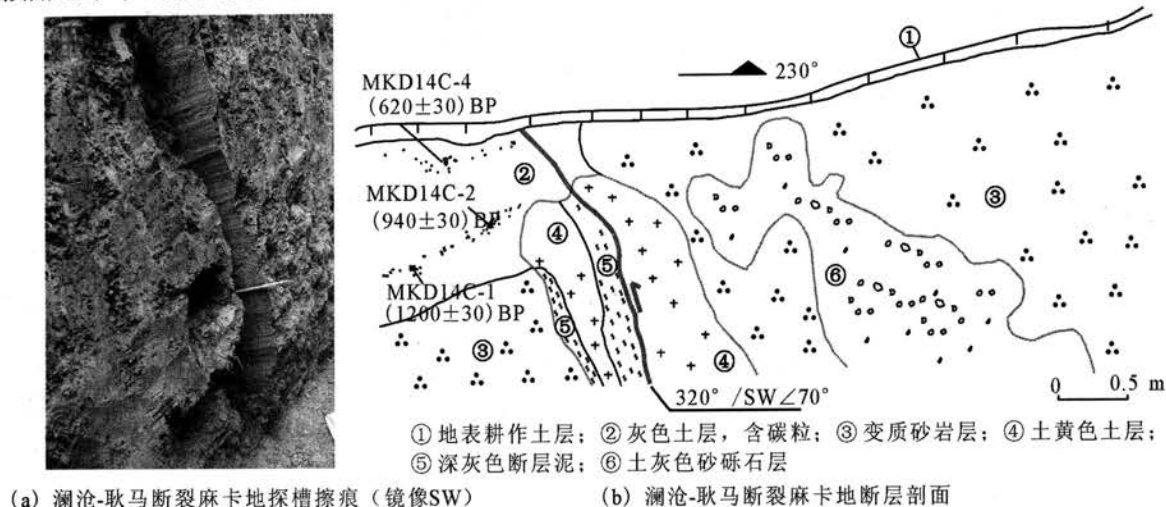


图 6 麻卡地断错剖面

Fig. 6 The fault profile of Makadi

综合上述地质地貌特征分析可知,汉母坝—澜沧断裂晚第四纪新活动特征较为明显,性质以右旋走滑为主兼具倾滑。由于该断裂为一条新生断裂带,其连续性较差。断裂最新活动断错了多处晚第四纪地貌面。在断裂与 NWW 的黑河断裂交汇地带,发生了 1988 年澜沧 7.6 级地震;与 NNW 向的小黑江断裂交汇地带,发生了 1988 年耿马 7.2 级地震,这两次地震均形成了一定规模的地表破裂带。

2 断裂运动学特征

断裂走滑活动会使穿越断裂的地质体、冲沟、山脊发生同步的左旋或右旋错动^[25]。汗母坝—澜沧断裂的右旋走滑及少量的倾向滑动造成了沿断裂带的冲沟、山脊等发生右旋位错,并在一些地貌面上形成陡坎,表 1 列出了黑河断裂沿线不同地貌单元的水平断错情况。从表 1 可以看出黑河断裂沿线水平

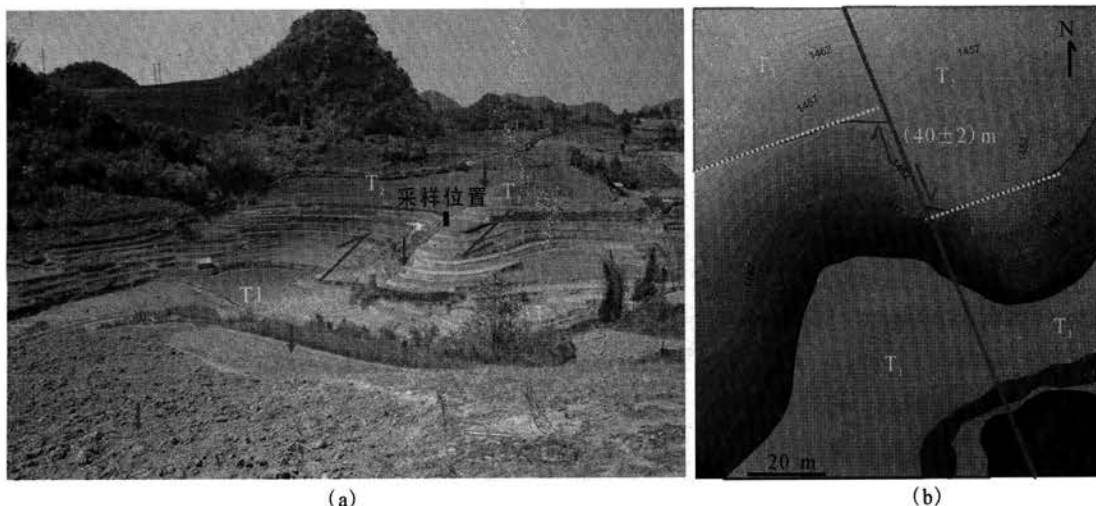


图 7 中南京凹断层地貌

Fig. 7 Fault landforms of Nanjingwa village

表 1 汗母坝—澜沧断裂沿线右旋位错值统计表

序号	地名	经纬度	地貌类型	位错量/m	测量方法	断层段
1	芒翁村	23°24'46.24", 99°28'49.20"	冲沟	100	测距仪	汗 母 坝 断 裂
2	汗母坝	23°24'8.21", 99°29'10.36"	山脊	15	测距仪	
3	班驮村	23°21'10.05", 99°32'52.10"	冲沟	16	测距仪	
4	班驮村	23°21'1.00", 99°32'56.74"	冲沟	23±2	差分 GPS	
5	班驮老寨	23°18'52.35", 99°33'30.14"	冲沟	100	测距仪	
6	岩帅镇	23°14'26.00", 99°35'14.26"	冲沟	400	卫片	
7	联合村	23°12'58.85", 99°36'26.58"	冲沟	180	卫片	
8	联合村	23°12'45.20", 23°12'45.20"	冲沟	90	测距仪	
9	克朵	22°59'8.16", 99°41'47.65"	山脊	700	卫片	澜 沧 断 裂
10	克朵	22°58'7.80", 99°41'43.10"	山脊	1 500	卫片	
11	克朵	22°56'57.71", 99°42'15.06"	山脊	700	卫片	
12	黑河	22°55'54.79", 99°42'47.85"	冲沟	30	测距仪	
13	战马坡	22°51'7.80", 99°46'7.12"	山脊	1 500	卫片	
14	战马坡	22°51'51.72", 99°45'47.03"	冲沟	15	测距仪	
15	上阿里	22°48'37.80", 99°47'14.50"	冲沟	80	测距仪	
16	大塘子	22°48'0.00", 99°47'35.20"	冲沟	70	测距仪	
17	桂花寨	22°45'12.60", 99°48'56.16"	山脊	150	卫片	
18	桂花寨	22°45'6.60", 99°49'6.80"	冲沟	50	测距仪	
19	下南京凹	22°43'44.10", 99°49'18.30"	冲沟	100	测距仪	
20	中南京凹	22°42'46.54", 99°49'36.10"	T ₂ 阶地	40±2	差分 GPS	
21	田坝	22°41'20.91", 99°50'45.46"	山脊	1 400	卫片	
22	东主村	22°40'45.90", 99°51'16.12"	山脊	400	卫片	
23	东主村	22°40'20.42", 99°51'28.41"	山脊	700	卫片	
24	阿得寨	22°38'23.35", 99°53'9.24"	冲沟	45	测距仪	
25	小富国	22°37'30.85", 99°53'24.95"	冲沟	85	卫片	
26	麻卡地	22°37'2.64", 99°53'49.24"	冲沟	30	测距仪	
27	麻卡地	22°37'5.36", 99°53'48.64"	冲沟	15±2	差分 GPS	
28	麻卡地	22°37'6.97", 99°53'46.22"	冲沟	25	测距仪	
29	麻卡地	22°37'8.81", 99°53'44.30"	冲沟	20	测距仪	
30	麻卡地	22°37'10.50", 99°53'42.85"	山脊	250	卫片	
31	麻卡地	22°37'13.37", 99°53'41.99"	山脊	500	卫片	
32	澜沧	22°35'23.72", 99°55'8.33"	冲沟	15	测距仪	

断错现象较丰富,断错量从 10 多米左右到上千米不等,以右旋断错为主,少数地方见以陡坎或陡崖形式的垂直断错,这些现象与断层剖面中所表现出的汗母坝—黑河断裂运动性质相符。

断裂的持续活动使得中南京凹北附近的冲沟发生了近百米的右旋位错,在其南侧的中南京凹村,南郎河支流发育两级冲洪积阶地,受断层走滑作用的影响,两级阶地都发生了明显的右旋位错(图 7)。由于 T₁ 阶地受后期人为耕作改造,位错标志遭到破坏,存在较大的不确定性,而 T₂ 保存较为完整,通过野外测量,其位错量约为(40±2)m。我们参考计凤桔等^[26]对滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究结果(以释光测年方法为主),该区 I 级支流 T₁ 阶地堆积于 4 500~11 000 a B. P.,其阶地地貌面形成于 4 500~5 000 a B. P.;T₂ 阶地堆积于 9 000~22 000 a B. P.,该级地貌面形成于 9 000~10 000 a B. P.。中南京凹被断错的河流相当于 I

级支流(或再小些),借用上述年代结果,若选用 T₁ 阶地堆积于 4 500~11 000 a B. P.,则得到最大滑动速率约(5.2±1.6) mm/a;若选用 T₂ 阶地地貌面年代 9 000~10 000 a B. P.,则得到最小滑动速率约(4.2±0.2) mm/a;其综合滑动速率大致为(4.7±0.5) mm/a,与前人研究结果大致相当^[16]。现今的 GPS 观测表明,楚雄—建水断裂、红河断裂、龙陵—澜沧断裂形成一个宽达 300 km 的右旋剪切带,其累计右旋速率可达(10±3) mm/a^[15]。红河断裂的右旋速率为 3~4 mm/a^[27],楚雄建水断裂的右旋滑动速率为 4.2 mm/a^[18],则可推算龙陵—澜沧断裂的右旋走滑速率也有 4~5 mm/a。

3 结论

- (1) 汗母坝—澜沧断裂位于龙陵—澜沧新生断裂带的东南段,整体走向 NNW,倾角多大于 70°,长度约 120 km。
- (2) 汗母坝—澜沧断裂为一条全新世活动的断

裂,断层地貌明显,其活动特征有明显的分段性。北段称为汉母坝断裂,为 1988 年耿马 7.2 级地震的发震断裂;南段为澜沧断裂,为 1988 年澜沧 7.6 级地震的发震断裂,二者均产生了一定规模的地表破裂带

(3) 汉母坝—澜沧断裂以右旋走滑为主,兼少量倾滑分量,根据断错地貌特征,估计晚第四纪以来走滑速率约为 $(4.7 \pm 0.5) \text{ mm/a}$ 。

参考文献

- [1] 闻学泽,易桂喜. 川滇地区地震活动统计单元的新划分[J]. 地震研究, 2003, (增刊): 1-9.
- [2] Wallace R E. Earthquake Recurrence Intervals on the San Andreas Fault[J]. Geol Soc Am Bull, 1970, 81: 2875-2890.
- [3] Wallace R E. Profiles and Ages of Young Fault Scarps, North Central Nevada[J]. Bull Geol Soc Am, 1977, 88: 1267-1278.
- [4] Sieh K E. Prehistoric Large Earthquakes Produced by Slip on the San Andreas Fault at Palmett Creek, California[J]. J Geophy Res, 1978, 83: 3907-3939.
- [5] Schwartz D P, Coppersmith KJ. Fault Behavior and Characteristic Earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones[J]. J Geophy Re, 1984, 90: 5681-5698.
- [6] 邓起东,汪一鹏,廖玉华,等. 断层崖崩积屑及贺兰山山前断裂全新世活动历时[J]. 科学通报, 1984, 9: 557-560.
- [7] 汪一鹏,宋方敏,安平,等. 香山—天景山断裂带晚第四纪强震重复间隔的研究[J]. 中国地震, 1990, 6(2): 15-24.
- [8] 周瑞琦,俞维贤,谷一山,等. 云南耿马 7.2 级地震地表破裂带研究[J]. 地震地质, 1990, 12(4): 291-301.
- [9] 俞维贤,柴天俊,侯学英. 澜沧 7.6 级地震形变带[J]. 地震地质, 1991, 13(4): 343-352.
- [10] 徐锡伟,何昌荣. 新生断层的形成及其前震活动性研究[M]. // 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(5). 北京:地震出版社, 1996: 197-209.
- [11] 陈立德,赵维城. 一九七六年龙陵地震[M]. 北京:地震出版社. 1979.
- [12] 魏顺民,向宏发,周瑞琦,等. 滇西南龙陵—澜沧断裂带——大陆地壳上一条新生的破裂带[J]. 科学通报, 1999, 44(19): 2118-2121.
- [13] 魏顺民,向宏发,徐锡伟,等. 滇西南龙陵—澜沧第四纪新生断裂带特征和形成机制研究[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 277-284.
- [14] 魏顺民,计凤桔,向宏发,等. 红河活动断裂带[M]. 北京:地震出版社, 2001: 1-172.
- [15] 张培震,王敏,甘卫军,等. GPS 观测的活动断裂滑动速率及其对现今大陆动力作用的制约[J]. 地学前缘, 2003, 10(增刊): 1-15.
- [16] 徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(增刊): 151-162.
- [17] 向宏发,魏顺民,徐锡伟,等. 川滇南部地区活动地块划分与现今运动特征初析[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 253-264.
- [18] 王阎昭,王恩宁,沈正康,等. 基于 GPS 资料约束反演川滇地区主要断裂现今活动速率[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(5): 582-597.
- [19] 张培震,沈正康,王敏,等. 青藏高原及周边现今构造变形的运动学[J]. 地震地质, 2004, 26(3): 367-377.
- [20] 周瑞琦,俞维贤,谷一山,等. 云南耿马 7.2 级地震地表破裂带研究[J]. 地震地质, 1990, 12(4): 291-301.
- [21] 俞维贤,侯学英,周瑞琦,等. 澜沧—耿马地震的地表破裂特征[J]. 地震研究, 1991, 14(3): 203-214.
- [22] 俞维贤,周瑞琦,侯学英,等. 澜沧—耿马地震的成因机制[J]. 地震学报, 1994, 16(2): 160-166.
- [23] 王辉,强祖基,袁著忠,等. 1988 年云南澜沧—耿马的烈度分布及地表破裂[J]. 地震学报, 1991, 13(3): 344-353.
- [24] 谷一山,毛玉平. 1988 年耿马 7.2 级地震断层特征及其发震构造研究[J]. 华北地震科学, 1992, 10(1): 1-11.
- [25] 宋方敏,俞维贤. 走滑断裂带中挤压阶区内部剪切构造初探[J]. 地震地质, 1998, 20(4): 343-348.
- [26] 计凤桔,郑荣章,李建平,等. 滇东、滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 265-276.
- [27] 魏顺民,计凤桔,向宏发,等. 红河活动断裂带[M]. 北京:地震出版社, 2001, 1-172.