

滇西南地区澜沧断裂古地震特征初步研究^{*}

刘兴旺^{1,2,3}, 袁道阳¹, 何文贵^{1,2}, 张波^{1,2}, 方良好⁴

(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; 4. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘要: 通过卫星影像解译、野外实地调查和地质填图, 对滇西南地区的澜沧断裂的最新活动性开展了翔实的调查, 重点对该断裂的古地震特征进行了分析, 通过中南段3个探槽剖面的详细分析和样品年代测试, 对其存在的古地震事件进行了判定, 初步确定了6次古地震事件的发生年代, 分别为距今约3 700 a、2 300~2 500 a、1 200~2 000 a、900~1 200 a、500~600 a和20 a。古地震具有周期复发的特征, 其复发间隔为500~600 a。

关键词: 澜沧断裂; 古地震; 地震复发间隔; ¹⁴C测年

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)03-0376-10

0 引言

滇西南地区的龙陵—澜沧断裂带为一条新生地震断裂带(虢顺民等, 2000), 西北起于尖高山, 向东南经腾冲、龙陵、永德、耿马、澜沧, 到达勐海以南, 全长约500 km, 总体走向北北西。龙陵—澜沧断裂带为一条强震频发的断裂带, 仅20世纪就发生了多次7级以上地震, 如1976年龙陵7.3、7.4级地震(陈立德, 赵维城, 1979), 1988年澜沧、耿马7.6、7.2级地震(王辉等, 1991; 俞维贤等, 1994)和1941年勐遮7级地震等。根据前人震后调查结果, 1988年11月6日在断裂东南段发生了澜沧7.6级、耿马7.2级地震, 造成了严重的人员伤亡和财产损失。其中, 耿马7.2级地震的发震构造为汗母坝断裂(周瑞琦等, 1990; 王辉等, 1991; 谷一山, 毛玉平, 1992), 极震区烈度为X度; 而澜沧7.6级地震的发震构造为北北西向的澜沧断裂和北西西向的黑河断裂(毛玉平等, 1991a, b; 王凯等, 1991; 俞维贤等, 1994; 方良好等, 2013), 极震区位于两条断裂交汇的战马坡—竹塘乡一带, 烈度为IX度。多年来, 一些学者对汗母坝—澜沧断裂及黑河断裂的研究程度很低, 仅限于对断裂沿线1988年地震地表形变带及震害特征的研究(谷一山等, 1990; 王辉等, 1991; 俞维贤等, 1991a, b), 而对断裂

的几何结构、分段活动性、断错地貌、断裂滑动速率和古地震特征等均未开展过专题研究, 缺乏对该地区断裂晚第四纪构造活动的总体认识。依托公益性地震行业科研专项——《中国地震活断层探察—南北地震带南段》, 笔者对滇西南地区的汗母坝—澜沧断裂及黑河断裂开展了1:5万条带状地质填图和综合研究, 获得了较为详细的断裂定量参数(刘兴旺等, 2013; 方良好等, 2013), 本文仅在简述澜沧断裂新活动特征的基础上, 重点讨论其古地震活动特征。

1 澜沧断裂晚第四纪新活动特征概述

1.1 几何学特征

澜沧断裂属于汗母坝—澜沧断裂的南段(图1a), 该段断裂北起沧源县岩帅镇以南的联合, 途经南六、克朵、哈卜吗、战马坡、大塘子、老达寨、中南京凹、麻卡地, 东南止于澜沧县城东南, 全长约85 km, 走向330°~340°, 倾向SW或NE, 倾角60°~75°, 在战马坡村哈卜吗附近与NWW向的澜沧断裂相交(图1b)。沿断裂可见V型谷、断错水系、断层三角面、断层陡崖等地貌及山脊、水系和阶地等右旋断错特征(俞维贤等, 1991a)。断裂连续性较差, 多以阶区的形式实现不同断裂段之间的构造转换。

^{*} 收稿日期: 2015-03-05.

基金项目: 公益性行业科研专项《中国地震活断层探察——南北地震带中南段》(201108001)及国家自然科学基金项目(41572197)共同资助。

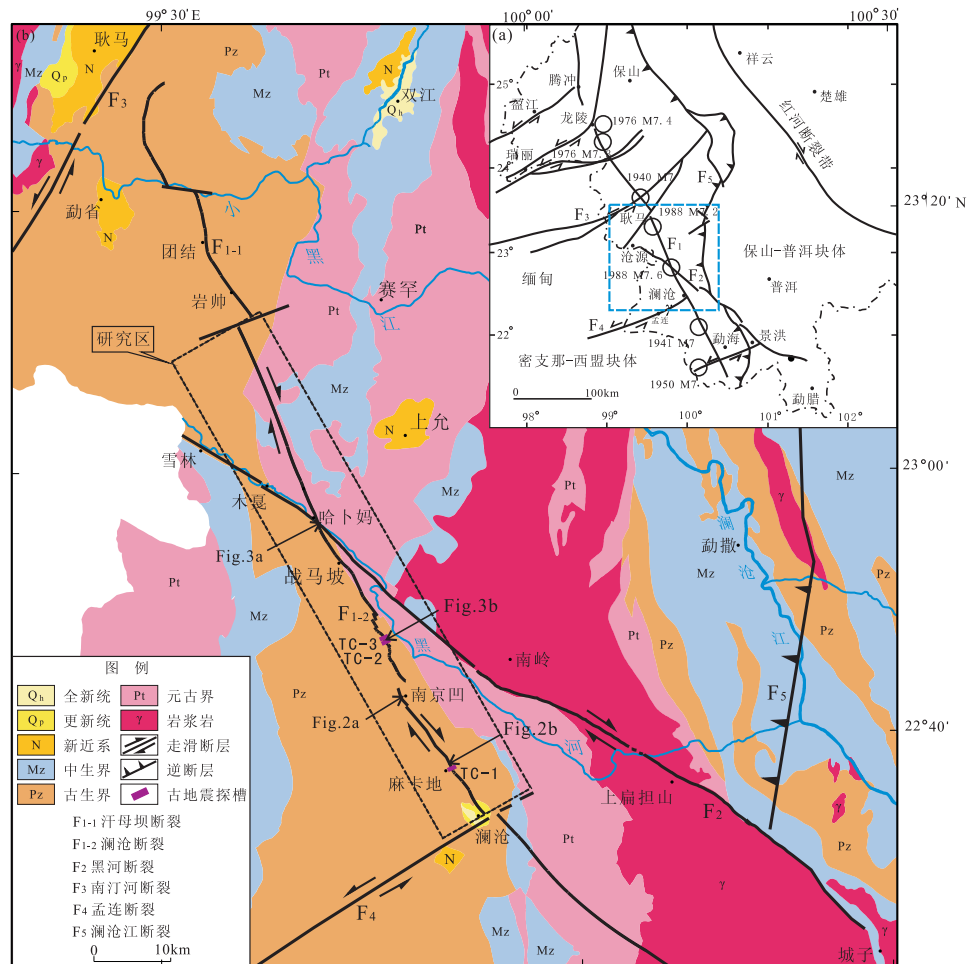


图1 滇西南地区活动断裂索引图 (a) 及汉母坝—澜沧断裂地质构造图 (b)
Fig.1 Index map of main active faults at southwestern area of Yunnan Province (a)
and tectonic map of Hanmuba – Lancang Fault (b)

1.2 运动学特征

澜沧断裂晚第四纪构造活动以右旋走滑为主, 野外实地考察发现, 沿断裂形成了丰富的断错地貌现象, 主要表现为山脊、冲沟右旋断错, 并发育有断层陡坎、断层沟槽、断层垭口和断陷凹坑等伴生现象。

地貌特征是地质构造格局的基本反映, 是新构造运动作用过程中必然的规律分布 (卢海峰等, 2006; 卢海龙等, 2012), 通过地貌特征也可判断断裂的新活动性。断裂若断错最新的地貌单元, 如河流低阶地、纹沟等, 都可作为断裂新活动的证据。例如, 在中南京凹附近, 南朗河支流发育两级冲洪积阶地, 受断层右旋走滑作用的影响, 两级阶地均发生了明显的右旋位错, 并形成反向断层陡坎 (图2a), 野外利用差分GPS测量, 确定

T_2 阶地右旋走滑量为 (40 ± 2) m。在断裂南段麻卡地附近, 南郎河北侧大致相当于该河Ⅲ级台地上, 发育了一系列次级冲沟或纹沟, 向东南流入南郎河, 受断层走滑作用影响, 大约有5条小冲沟发生了同步右旋位错, 错距分为两组, 分别为15~17 m和30~32 m (虢顺民等, 2002)。同时, 在一条右旋冲沟的南北两侧发育高约1.5 m的地震鼓包及高约1.8 m的反向沟槽。横跨地震鼓包的探槽揭示了断裂右旋走滑的特征, 可见清晰的擦痕 (图2b), 擦痕走向 320° , 侧伏角 10° , 表明断裂以走滑为主, 略具逆冲分量。

1.3 地震活动特征

1988年11月6日在澜沧县战马坡乡一带发生了一次7.6级地震, 随后在沧源与耿马县交界处的汗母坝南至小麻勒一带又发生了一次7.2级强震, 两次强震震中相距60 km, 属典型的双主震—余震



图2 澜沧断裂断错地貌
(a) 中南京凹南侧阶地右旋断错 (镜像 NW);
(b) 麻卡地断层擦痕 (镜像 SW)

Fig. 2 Fault landforms of Lancang Fault
(a) terrace dextral dislocation at the south of Zhongnanjingwa (view to NW); (b) fault scratch at Makadi (view to SW)

型。其中, 澜沧 7.6 级地震发震断裂为黑河断裂和澜沧断裂, 极震区烈度为 IX 度, 地表破裂带长约 50 km, 宽约 3 km, 最大右旋和垂直位移量分别为 1.5 m 和 0.3 m (俞维贤等, 1991a; 毛玉平等, 1991a; 谷一山等, 1992; 王辉等, 1992)。该地震的地表破裂带主要为沿黑河断裂和澜沧断裂发育的地震裂缝带。其中, 澜沧断裂地震裂缝带北起战马坡、大塘子一带, 南到中南京凹一带, 断续延长约 15 km, 宽约 2 km, 由单条长 50~400 m 的张性和张扭性裂缝组成。裂缝大都出露于第四纪坡积层及石灰岩中, 沿走向方向各裂缝间不连续且间隔不等, 一般间距为 300~500 m, 最大可达 1 km, 单条裂缝走向 $340^{\circ}\sim 350^{\circ}$, 宽以 0.1~0.5 m 居多, 最宽可达 2 m (俞维贤等, 1991a)。

在前人震后调查结果的基础上, 笔者询问当地村民并到现场指认发现, 在哈卜吗下寨北侧, 澜沧断裂和黑河断裂交汇处的山梁上至今仍然保存了多条澜沧 7.6 级地震的裂缝带。其中有一处地震裂缝宽达 60 cm, 深度为 30 cm, 走向 350° (图 3a), 有些裂缝还可辨认出右旋位移, 位错量为 60

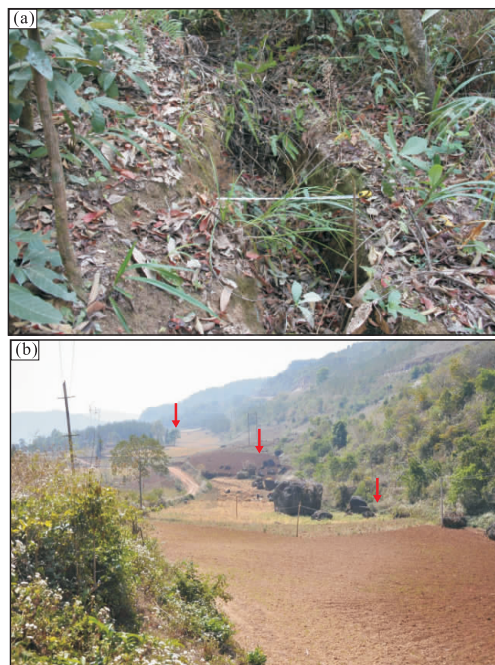


图3 澜沧 7.6 级地震裂缝、滚石
(a) 哈卜吗下寨地震裂缝 (镜像 NW); (b) 老达寨附近断层地貌及地震滚石 (镜像 SW)

Fig. 3 Fissure and rolling stone induced by Lancang M7.6 earthquakes
(a) fissure at Habumaxiazhai (view to NW);
(b) fault landform and rolling stone induced by earthquake near Laodazhai (view to SW)

~70 cm。老达寨处, 断层在此形成醒目的断层陡崖, 走向近南北, 崖壁下遍布滚石, 大小不一, 滚石直径最小不足 1 m, 最大有 4~5 m, 这些皆为 1988 年澜沧 7.6 级地震滚石 (图 3b)。滚石南侧有多个断塞塘沉积, 野外跨断塞塘开挖了探槽, 探槽中也揭示了与澜沧地震相关的内容, 其结果在下节叙述。

2 古地震特征分析

通过遥感解译和野外地质调查, 发现澜沧断裂虽然新活动特征较为明显, 但是由于云南地区山大沟深、植被茂密、耕地广覆, 能进行探槽开挖的地方并不多, 笔者选择在野外陡坎较小及断塞塘沉积的地方开挖了 3 个探槽, 并采集碳屑和碳泥样品进行 ^{14}C 测年, 用于确定古地震发生的时间。 ^{14}C 测年在 Beta 实验室完成, 野外编号及测年结果如表 1 所示, 下面分别简述 3 个典型探槽剖面特征。

表 1 ^{14}C 样品测年结果
Tab. 1 Dating result of ^{14}C sample

野外编号	实验室编号	探槽	单元	测试年龄/a B. P.	树轮校正年龄/a B. P.
MKD - ^{14}C - 1	323344	1	U5	1 180 \pm 30	1 115 \pm 65
MKD - ^{14}C - 2	323345	1	U5	1 050 \pm 30	990 \pm 60
MKD - ^{14}C - 3	323346	1	U5	590 \pm 30	615 \pm 35
LDZ - ^{14}C - 1	351658	2	U9	2 350 \pm 30	2 535 \pm 175
LDZ - ^{14}C - 2	357459	2	U14	530 \pm 30	570 \pm 60
LDZ - ^{14}C - 3	351660	2	U15	500 \pm 30	525 \pm 15
LDZ - ^{14}C - 4	351661	2	U14	540 \pm 30	575 \pm 55
LDZ - ^{14}C - 5	351662	2	U15	380 \pm 30	415 \pm 95
LDZ - ^{14}C - 6	351663	2	U17	120 \pm 30	80 \pm 70
LDZ - ^{14}C - 7	357480	2	U3	3 460 \pm 30	3 735 \pm 95
LDZ - ^{14}C - 8	357481	2	U9	2 330 \pm 30	2 345 \pm 15
LDZ - ^{14}C - 9	357482	2	U9	2 510 \pm 30	2 605 \pm 135
LDZ - ^{14}C - 10	357483	2	U11	1 260 \pm 30	1 190 \pm 90
LDZ - ^{14}C - 11	351664	2	U13	890 \pm 30	820 \pm 90
LDZ - 1	385323	3	U7	2 080 \pm 30	2 040 \pm 90
LDZ - 2	385324	3	U7	2 100 \pm 30	2 070 \pm 80
LDZ - 3	385325	3	U8	2 190 \pm 30	2 215 \pm 95
LDZ - 4	385326	3	U8	1 130 \pm 30	1 065 \pm 105
LDZ - 5	385327	3	U5	3 890 \pm 30	4 325 \pm 95
LDZ - 6	385328	3	U5	3 780 \pm 30	4 160 \pm 80
LDZ - 7	385329	3	U6	2 220 \pm 30	2 240 \pm 90
LDZ - 8	385330	3	U10	610 \pm 30	600 \pm 60
LDZ - 9	385331	3	U11	170 \pm 30	145 \pm 145
LDZ - 10	385332	3	U12	120 \pm 30	80 \pm 70

注：B. P.：1950 年之前。

2.1 古地震探槽剖面 I (TC - 1)

该探槽位于麻卡地附近（位置见图 1），处在南郎河西北侧，大致相当于该河Ⅲ级台地上。受断层走滑作用影响，不但造成 5 条小冲沟同步右旋位错，位错量约 15 ~ 17 m 和 30 ~ 32 m（虢顺民等，2002），同时发育高约 1.5 m 的断层鼓包及高约 1.8 m 的反向沟槽（图 4a）。笔者横跨断层鼓包进行了探槽的开挖（图 4b），探槽长约 25 m，宽约 1.5 m，深约 2 ~ 3 m。探槽西侧层理较差，并无发现断层，因此野外只对探槽东侧部分进行详细分析和讨论。

探槽东侧南壁揭露的地层如图 5 所示，其中 U1 为灰黄色基岩风化层；U2 为浅黄色断层破碎带；U3 为高台地残存的浅红色变质砂岩；U4 为深灰色断层泥；U5 为土黄色断层破碎带；U6 为深灰

色土层，顶部含碳屑，测年结果为（1 115 \pm 65）a B. P. 和（990 \pm 60）a B. P.；U7 为浅灰色土层，顶部含碳屑，测年结果为（615 \pm 35）a B. P.；U8 为地表耕作土层。从出露地层可见，剖面西侧（图 5 的右侧）为南郎河高台地残积物和断层破碎带，属于剥蚀环境；而东侧（图 5 的左侧）为断层凹地沉积，具有断塞塘沉积的性质，含碳物质较丰富，便于样品采样，因此是本文讨论的重点。剖面中共揭露了 5 条断层，其中 F₁、F₂、F₃ 发育于剖面西侧，即发育在断层破碎带和基岩中，其活动性难以直接判断，在此不作为讨论的重点。

从断层剖面（图 5）上分析，该探槽揭露 2 次古地震事件：事件 1 为 F₅ 的活动，它断错了 U6，终止在 U7 之下。由于断层作用，U6 上盘抬升，遭受剥蚀，在断层上盘无保留，由于断层上下盘

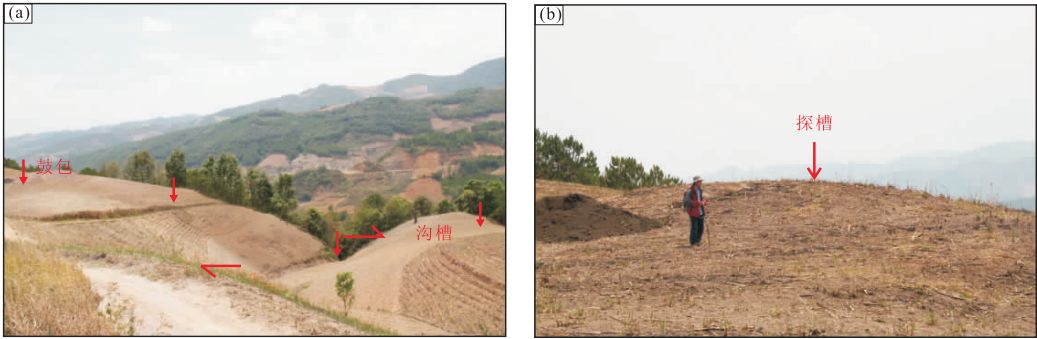


图4 麻卡地探槽地貌特征
(a) 麻卡地断错地貌 (镜像 SW); (b) 断层鼓包, 高约 1.5 m (镜像 SW)
Fig. 4 Landform of Makadi trench

(a) fault landform at Makadi (view to SW); (b) fault mole track with height of 1.5 m (view to SW)

的相对升降, 在地表会形成断层陡坎, 断层下盘处于位置较低的一侧, 地势低洼, 形成了一层碳屑沉积。根据碳屑的年代, 推测此次事件应发生在 $(1\,115 \pm 65)$ a B. P. 之前, 且较为接近这一年代。事件 2 为断层 F_4 的活动, 该断层走向 320° , 倾向 SW, 底部倾角 70° , 断面显示清晰的近水平

状斜擦痕 (图 2b), 它断错 U7 并在 U7 的顶部也形成一层碳屑, 终止在 U8 之下, 根据 U7 顶部碳屑年代判断该次地震事件发生在 (615 ± 35) a B. P. 之前, 且较为接近这一年代。2 次地震形成的垂直断距均为 $30 \sim 40$ cm, 与澜沧 7.6 级地震形成破裂带的垂直断距相当。

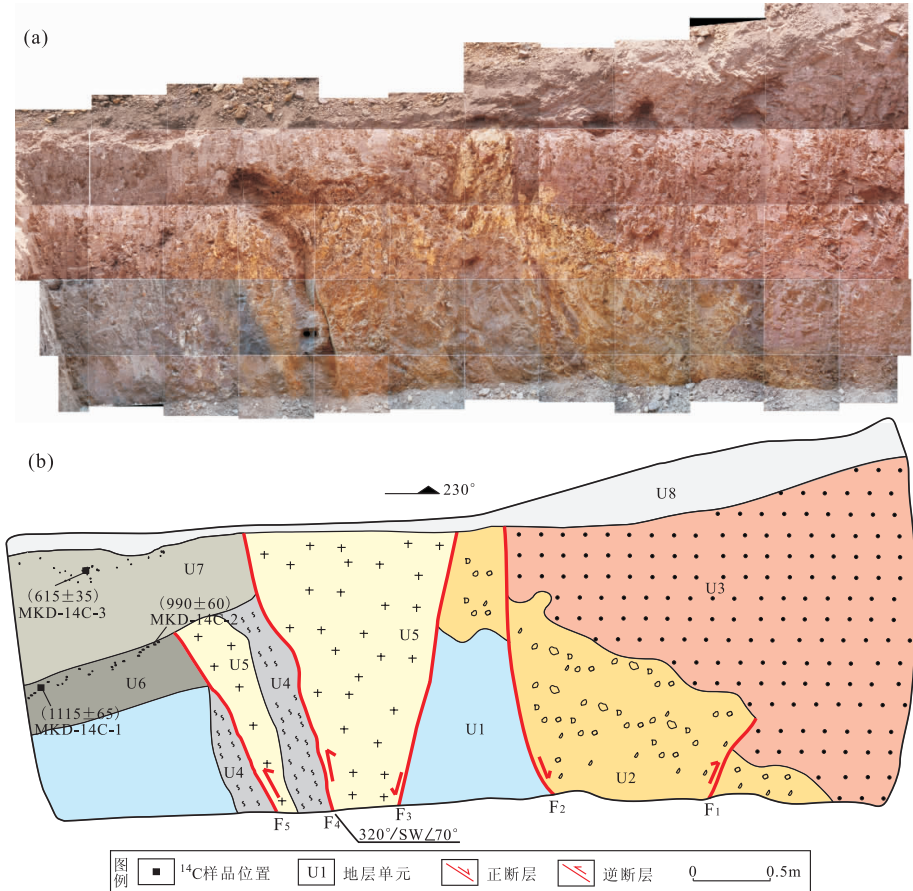


图5 古地震探槽剖面 I 南壁拼图 (a) 与解译 (b)
Fig. 5 Photo-mosaic of the paleoearthquake trench section I (a) and its interpretation (b)

2.2 古地震探槽剖面 II (TC-2)

探槽 II 和 III 均位于老达寨附近 (位置见图 1), 由于断层的活动, 在该处形成明显的断塞塘地貌。探槽 II 为人工开挖, 长 17 m、深 1.5 m、宽 1 m。探槽 III 为机械开挖, 长 11 m、宽 3 m、深 3 m。2 个探槽揭露的地层及断层较为复杂, 但整体来讲均可分为 3 个部分, 东西两侧为 2 个断塞塘沉积系统, 中间为断层破碎带。从探槽揭露的地层可见, 2 个断塞塘沉积地层较为相似, 底部均为浅红色砂土层, 上部为黑色腐殖土层和砂砾石层的互层。从年代上看, 西侧断塞塘形成较早, 东侧断塞塘为后期形成。

对于 TC-2 (图 6), 揭示的主要地层为: U1 为灰黄色、黄褐色砂岩, 具斜层理; U2 为灰绿色断层破碎带泥层, 夹砾石; U3 为土黄色基岩风化砂砾石层; U4 为灰黄色含砾石土层, 测年结果为

(3 735 ± 95) a B. P.; U5 为灰绿色断层破碎带; U6 为姜黄色粗砾石层; U7 为灰绿色含砾石土层; U8 为姜黄色砾石层, 混杂堆积, 崩积屑; U9 为浅黄色砾石层; U10 为灰色砂砾石土层, 底部测年结果为 (2 535 ± 175) a B. P.; U12 为浅红色砂土层, 底部测年结果为 (2 605 ± 135) a B. P.、(2 345 ± 15) a B. P.; U12 为灰黑色腐殖土层, 测年结果为 (1 190 ± 90) a B. P.; U13 为土黄色粗砾石层; U14 为灰黑色腐殖土层, 测年结果为 (820 ± 90) a B. P.; U15 为浅红色砂土层, 靠近断层侧含砾石, 测年结果为 (575 ± 55) a B. P.、(570 ± 60) a B. P.; U16 为灰黑色腐殖土层, 测年结果为 (525 ± 15) a B. P.、(415 ± 95) a B. P.; U17 为土黄色含土砾石层; U18 为灰黑色腐殖土层, 测年结果为 (80 ± 70) a B. P.; U19 为淡红色地表耕作土。

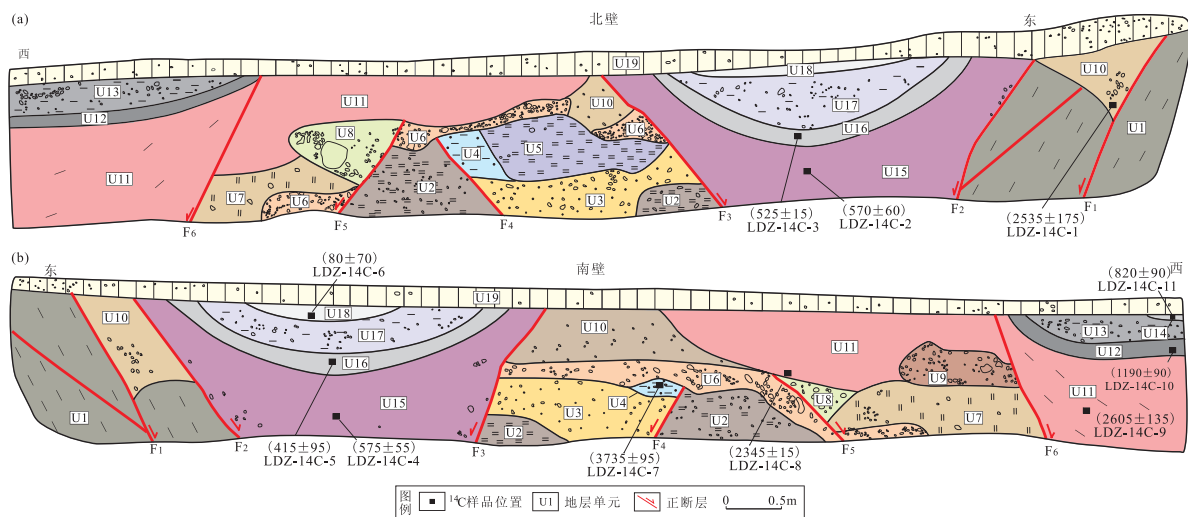


图 6 古地震探槽剖面 II 北壁 (a) 及南壁 (b) 解释

Fig. 6 Interpretation of north wall (a) and south wall (b) of paleoearthquake trench section II

对揭露的地层及断错关系进行分析, 笔者认为该探槽揭露了 6 次古地震事件: 事件 1 为断层 F_4 的活动, 它断错 U6 以下地层, 终止在 U6 之下, 根据 U4 的年代 (3 735 ± 95) a B. P., 推断此次地震事件发生在该年代之后。事件 2 为 F_5 和 F_1 的活动, 断错 U10 及以下地层, 形成崩积楔 U8, 被 U11 所覆盖, 根据 U10 年代 (2 535 ± 175) 及 U11 底部年代 (2 345 ± 15) a B. P., 推测本次地震事件发生在 2 300 ~ 2 500 a B. P. 之间。事件 3 为断层 F_5 的活动, 它可能与西侧未揭露的一条断层共同断错了 U11, U11 相对下降, 形成了正断层地堑

构造, 在地形上呈 U 型, 成为西侧断塞塘的底部, 之后由于地形原因, U 型地形内易于富集流水, 因此形成了其上的黑色腐殖土层 U12, 该次事件就发生在 U11 顶部年代与 U12 底部年代之间, 根据 U11 和 U12 年代, 判断此次事件发生在 (2 345 ± 15) a B. P. 与 (1 190 ± 90) a B. P. 之间。事件 4 同样为断层 F_5 的活动, 其控制的 U13、U14 具有与李传友等 (2010) 在西秦岭北缘断裂发现的韵律沉积相似的特征, 一次地震事件形成一套快速堆积的粗砂砾石层 U13, 之后沉积细粒层 U14, 该次地震事件发生在 U14 与 U12 沉积之间, 即在

(820 ± 90) a B. P. 与 ($1\ 190 \pm 90$) a B. P. 之间。事件 5、6 为断层 F_2 和 F_3 的活动, 这 2 条断层的活动为断层带的最新活动, 控制了东侧断塞塘的形成演化, 事件 5 的活动使得 U15 下降成为断塞塘底部, 后沉积黑色腐殖土层 U16, 根据两套地层的年代限定事件发生在 $500 \sim 600$ a B. P. 间。随后事件 6 形成快速堆积粗粒沉积 U17, 后沉积 U18, U18 测年结果为 (80 ± 70) a B. P., 该事件为断层带最新活动事件, 由年代及前人的研究 (俞维贤等, 1991a) 判断, 此次事件可能与 1988 年澜沧 7.6 级地震有关。

2.3 古地震探槽剖面 III (TC-3)

探槽 III 与探槽 II 相隔仅数米, 因此揭露的地层与探槽 II 较为相似 (图 7), 主要为: U1 为土黄色砂岩; U2 为浅紫色灰岩; U3 为灰色断层破碎带, 碳屑年龄为 ($4\ 325 \pm 95$) a B. P. 和 ($4\ 160 \pm 80$) a B. P.; U4 为浅灰色断层破碎带, 顶部测年结果为 ($2\ 240 \pm 90$) a B. P.; U5 为灰黑色断层泥, 夹砾石; U6 为灰黄色基岩风化破碎层; U7 为浅红色土层, 顶部测年结果分别为 ($2\ 040 \pm 90$) a B. P. 和 ($2\ 070 \pm 80$) a B. P.; U8 为灰黑色腐殖土层, 测年结果为 ($2\ 215 \pm 95$) a B. P. 和 ($1\ 065 \pm 105$) a B. P.; U9 为土黄色含土砾石层; U10 为淡红色土层, 靠近断层侧含砾石, 测年结果为

(600 ± 60) a B. P.; U11 为灰黑色腐殖土层, 含较多砾石, 测年结果为 (145 ± 145) a B. P.; U12 为淡红色地表耕作土, 底部碳屑测年结果为 (80 ± 70) a B. P.。

探槽共揭露 5 次地震事件: 事件 1 可能源于断层 F_4 的活动, 由于地层的缺失, 很难直接判断断层活动的时间, 从地层断错和缺失的情况看, 此次事件发生在 $2\ 300 \sim 4\ 300$ a B. P. 前后。之后断层的活动主要控制了 2 个断塞塘的沉积演化。事件 2 为 F_6 的活动, 它断错 U7, 并使得 U7 成为断塞塘的底部, 后沉积黑色腐殖土层 U8, 根据 U7 顶部两个碳屑年代为 ($2\ 040 \pm 90$) a B. P. 和 ($2\ 070 \pm 80$) a B. P., 判断该次事件发生在约 $2\ 000$ a B. P. 以来。同时上覆的 U8 层的年代会限定本次地震活动的上限年代, 但 U8 层内的 2 个年代结果相差较大, 中部的年代为 ($2\ 215 \pm 95$) a B. P., 顶部的年代为 ($1\ 065 \pm 105$) a B. P., 探槽 III 中的 U8 层与探槽 II 中的 U12 为同一层, 根据探槽 II 内测年结果, 分析 ($1\ 065 \pm 105$) a B. P. 年代较为可靠, 但该年代可能接近 U8 沉积结束时, ($2\ 215 \pm 95$) a B. P. 可能是混杂进了 U7 内部较老的碳屑, 综合判断该次地震发生在 $1\ 100 \sim 2\ 000$ a B. P. 之间。事件 3 同样为 F_6 的活动, 该次活动形成快速堆积的粗粒沉积层 U9, 随后可能像探槽 II 一样会沉积一套细粒的腐殖土层, 但由于后期人为耕种破坏,

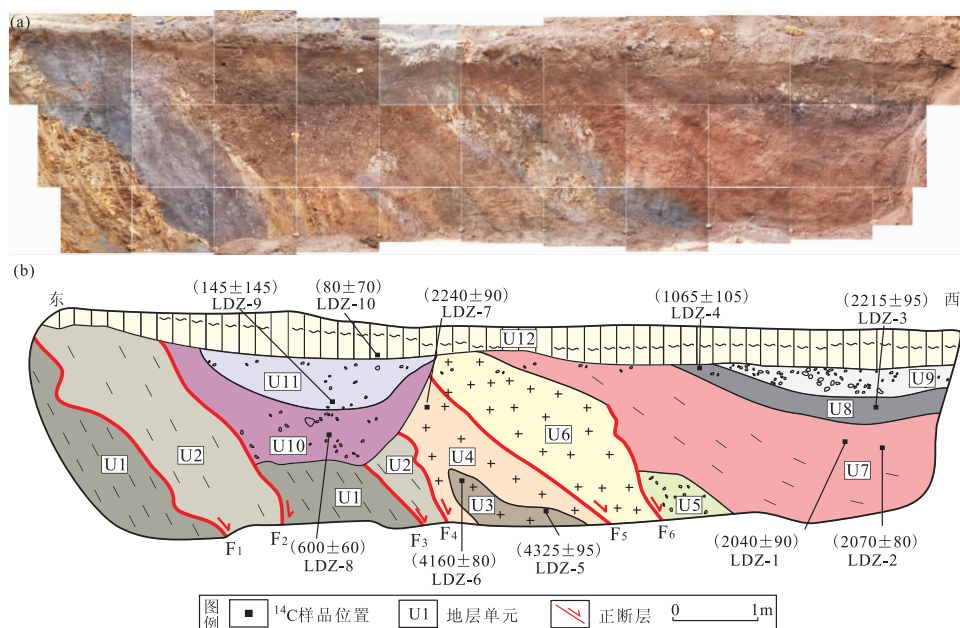


图 7 古地震探槽 III 南壁拼图 (a) 与解译 (b)

Fig. 7 Photo-mosaic of the south wall of the paleoearthquake trench section III (a) and its interpretation (b)

此套地层可能遭到了破坏,由 U8 地层上部年代判断,此次活动可能发生在 $(1\ 065 \pm 105)$ a B. P. 以来。事件 4、5 为断层 F_2 的活动,它控制了东侧断塞塘的形成演化,首先是 F_2 断错 U10,形成断塞塘的底部,该次活动发生在 (600 ± 60) a B. P. 以来,之后 U10 之上沉积一套较厚的黑色含砾石腐殖土层,与探槽 II 揭露的韵律沉积略有不同,但根据年代结果及 U11 沉积特征,判断 1988 年澜沧 7.6 级地震在该处也是有反映的。

3 古地震活动特征分析

断塞塘是走滑断裂上常见的地貌沉积单元,这种半封闭或者封闭的环境利于地层连续堆积,是可能保留完整古地震事件遗迹的场址,因此是许多研究走滑断裂古地震事件学者的首选 (Hartleb *et al.*, 2003, 2006; Rockwell *et al.*, 2004; 刘静等, 2007; 李传友等, 2010; 冉勇康等, 2012), 其中富含的 ^{14}C 样品也为精确限定古地震年代提供了条件。断塞塘的沉积层序往往发育较好的沉积韵律,一个沉积韵律组合分为下部的粗粒层与上部的细粒层,粒度下粗上细;粗粒层一般为细砂、粗砂和砾石层,具有快速堆积的特征;细粒层均为含炭的粘土、亚粘土和粉砂,具有湖塘相沉积的特点,这种韵律性的沉积是断裂周期性活动的产物,因此每个韵律代表了一次古地震事件 (李传友等, 2010)。老达寨探槽 II 和 III 揭露的两期断塞塘同样具有韵律沉积的特征 (图 8),不同的是老达寨探槽揭露了断塞塘底部的形成演化。在断塞塘未形成之前,地表沉积淡红色砂土层,由于断层活动,断层围限的淡红色砂土层相对下降,形成负地形,成为断塞塘的底部,后由于流水作用,会在砂土层上面沉积一套灰黑色腐殖土层,其后的演化与李传友等 (2010) 提出的沉积韵律类似,新的地震事件会快速堆积一套粗砂砾石层,后沉积细粒腐殖土层,这样的—个旋回代表了 2 次地震事件:事件 1 发生在红砂层顶部年代与黑色腐殖土层底部年代之间,事件 2 发生在 2 套黑色腐殖土层之间。利用这个思路,老达寨 2 个探槽揭露的 2 个断塞塘系统可确定 4 次地震事件:断塞塘 1 揭露的第 1 次事件为 $1\ 200 \sim 2\ 000$ a B. P. 之间,第 2 次事件为 $900 \sim 1\ 200$ a B. P. 之间;断塞塘 2 揭露的第 3 次事件为 $500 \sim 600$ a B. P. 之间,第 4 次事

件推测为 1988 年澜沧 7.6 级地震。当然,含砾石土层不是只有地震事件才会形成,一次大的降雨也会造成粗粒沉积物的形成,即事件 2 和事件 4 的判定会存在一定的不确定性,在古地震分析中一定要加以甄别。事件 4 为历史地震事件,发生在距今 20 多年,俞维贤等 (1991a) 的考察也证明地震在该处是存在破裂带的,因此该次事件的判断是较为准确的。事件 2 是与探槽 I 相结合做出的判断,探槽 I 对 $500 \sim 600$ a B. P.、 $900 \sim 1\ 200$ a B. P. 之间的地震也有反映。同时探槽 II 揭露在 $2\ 300 \sim 2\ 500$ a B. P. 及 $3\ 700$ a B. P. 之前有过 2 次地震事件。从探槽 I 每次地震的位移量分析,每次地震的垂直位移为 $30 \sim 40$ cm,与澜沧 7.6 级地震形成的位移量相当,估计震级在 7.5 级左右。

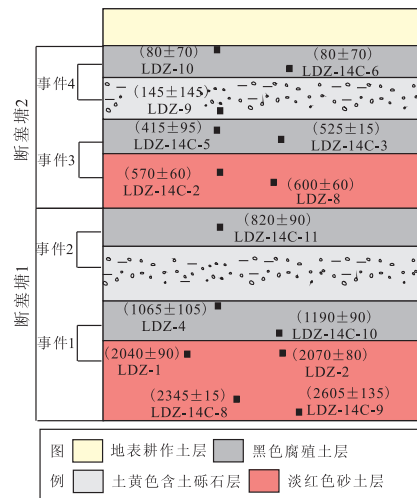


图 8 老达寨探槽断塞塘联合剖面

Fig. 8 Uion section of sag-pond of Laodazhai trench

古地震的复发模型主要为准周期和丛集两种 (Savage *et al.*, 1987; Sieh, 1989)。根据已有的年代数据,澜沧断裂的几次古地震事件发生年代分别为距今约 3700 a、 $2300 \sim 2500$ a、 $1200 \sim 2000$ a、 $500 \sim 600$ a、 $900 \sim 1200$ a 和 20 a,排除古地震记录不全事件影响,推算其地震复发间隔为 $500 \sim 600$ a,大致符合古地震复发的准周期模型。

4 结论与讨论

根据对澜沧断裂较详细的卫星影像解译及野外地质填图结果可知,澜沧断裂长约 85 km, NNW 向延伸断裂表现出明显的全新世晚期活动特征,选择典型地段进行探槽开挖,对断裂的新活动性

及古地震特征有了初步的认识。

通过对澜沧断裂的古地震对比研究,初步确定了6次地震事件,分别为:事件1,发生在距今3700年之前;事件2,发生在距今2300~2500年;事件3,距今1200~2000年;事件4,距今900~1200年;事件5,距今500~600年;事件6,距今20多年,为1988年澜沧7.6级地震。断裂可能具有周期复发的特征,其复发间隔为500~600年。

澜沧断裂为新生地震破裂带,虢顺民等(1999)根据地区河流规模的年代统计,推测新生断裂的形成时间为中更新世。断裂沿线考察中,发现多条大冲沟出现百米以上的右旋位错,虢顺民等(2000)在麻卡地还发现了约550m的冲沟右旋,显然这不是一次地震造成的,而是多次地震累加的结果。同时根据前人的研究,断裂右旋走滑速率为4~8 mm/a(向宏发等,1999;徐锡伟等,2003;Shen *et al.*, 2005;王阎昭等,2008),滑动速率反映的是断裂长期平均活动水平,与地震复发周期有关(张培震等,2009),高滑动速率是造成地震复发间隔较短的主要原因。

由于探槽数量偏少,探槽规模偏小,对确定的古地震事件可能会存在一定的不确定性或遗漏,这些问题有待今后进行古地震大探槽的开挖研究加以解决。

参考文献:

- 陈立德,赵维城. 1979. 一九七六年龙陵地震[M]. 北京:地震出版社.
- 方良好,袁道阳,邵延秀等. 2013. 滇西南地区黑河断裂中西段晚第四纪构造活动特征[J]. 地震工程学报, 35(2):342~353.
- 谷一山,毛玉平. 1992. 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,10(1):1~11.
- 虢顺民,向宏发,周瑞琦等. 1999. 滇西南龙陵—澜沧断裂带:大陆地壳上—条新生的破裂带[J]. 科学通报,44(19):2118~2121.
- 虢顺民,向宏发,徐锡伟等. 2000. 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, 22(3):277~284.
- 李传友,张培震,袁道阳等. 2010. 活动走滑断裂上断塞塘沉积特征及其构造含义——以西秦岭北缘断裂带断塞塘为例[J]. 地质学报,84(1):90~105.
- 刘静,徐锡伟,李岩峰等. 2007. 以海原断裂甘肃老虎山段为例浅析走滑断裂古地震记录的完整性——兼论古地震研究中的若干问题[J]. 地质通报,26(6):650~660.
- 刘兴旺,袁道阳,张波等. 2013. 滇西南地区汗母坝—澜沧断裂晚第四纪构造活动的地质地貌证据[J]. 西北地震学报,35(增刊):108~115.
- 卢海峰,马保起,于盛镔等. 2006. 甘肃文县北部北东东向断裂带新构造活动特征[J]. 地震研究,29(2):147~155.
- 卢海龙,胡小猛,吴洁利等. 2012. 地貌沉积学方法在活断层研究中的

应用[J]. 西北地震学报,34(2):192~198.

- 毛玉平,张俊昌. 1991a. 澜沧—耿马地震发震构造初步研究[J]. 地震研究,14(1):9~15.
- 毛玉平,李盛德. 1991b. 澜沧、耿马地震序列图像与发震构造讨论[J]. 西北地震学报,13(1):57~62.
- 冉勇康,王虎,李彦宝等. 2012. 中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(1)——走滑活动断裂的探槽地点、布设与事件识别标志[J]. 地震地质,34(2):197~210.
- 王辉,强祖基,袁著忠等. 1991. 1988年云南澜沧—耿马的烈度分布及地表破裂[J]. 地震学报, 13(3):344~353.
- 王凯,高莉萍,姚振兴等. 1991. 澜沧—耿马地震的震源机制研究[J]. 地球物理学报,34(5):569~580.
- 王阎昭,王恩宁,沈正康等. 2008. 基于GPS资料约束反滇川滇地区主要断裂现今活动速率[J]. 中国科学:地球科学,38(5):82~597.
- 向宏发,徐锡伟,虢顺民等. 1999. 滇西地区2组交叉型活动断裂及其地震地质意义[M]//中国地震局地质研究所. 活动断裂研究(7). 北京:地震出版社,81~87.
- 徐锡伟,闻学泽,郑荣章等. 2003. 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:地球科学,33(增刊1):151~162.
- 俞维贤,周瑞琦,侯学英等. 1994. 澜沧—耿马地震的成因机制[J]. 地震学报,16(2):160~166.
- 俞维贤,柴天俊,侯学英等. 1991a. 澜沧7.6级地震形变带[J]. 地震地质,13(4):343~352.
- 俞维贤,侯学英,周瑞琦等. 1991b. 澜沧—耿马地震的地表破裂特征[J]. 地震研究,14(3):203~214.
- 张培震,闻学泽,徐锡伟等. 2009. 2008年汶川8.0级特大地震孕育和发生的多单元组合模式[J]. 科学通报,54(7):944~953.
- 周瑞琦,俞维贤,谷一山等. 1990. 云南耿马7.2级地震地表破裂带研究[J]. 地震地质,12(4):291~301.
- Hartleb R D, Dolan J F, Akyuz H, *et al.* 2003. A 2000-year-long paleoseismologic record of earthquakes along the central north Anatolian Fault, from trenches at Alayurt, Turkey[J]. Bulletin Seism of Seismological Society of America, 93(5):1935~1954.
- Hartleb R D, Dolan J F, Kozaci O, *et al.* 2006. A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Cukurcimen, Turkey[J]. Geological Society of America Bulletin, 118(7~8):823~840.
- Rockwell T, Seitz G, Young J, *et al.* 2004. Late Holocene earthquake history of the Anza seismic gap, central San Jacinto fault zone, southern California[R]. Final Tech Rep USGS, NEHRP Grant No. 04-HQ-GR-0083, 1~14.
- Savage J C, Cockerham R S. 1987. Quasi-periodic occurrence of earthquakes in the 1978~1986 Bishop-Mammoth Lakes sequence, eastern California[J]. Bulletin Seism of Seismological Society of America, 77(4):1347~1358.
- Shen Z K, Lv J, Wang M, *et al.* 2005. Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research, 110(B11), doi:10.1029/2004JB003421.
- Sieh K. 1989. A More Precise Chronology of Earthquake Produced by the San Andreas Fault in Southern California[J]. Journal of Geophysical Research, 94(B1):603~623.

Preliminary Study on Characteristic of Paleoearthquakes on the Lancang Fault in the Southwestern Area of Yunnan

LIU Xingwang^{1,2,3}, YUAN Daoyang¹, HE Wengui^{1,2}, ZHANG Bo^{1,2}, FANG Lianghao⁴,

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

(2. *Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China*)

(3. *Key Laboratory of western China's Environmental System with the ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 73000, Gansu, China*)

(4. *Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China*)

Abstract

According to satellite image interpretation, field investigation and geological mapping, we investigated the latest activity of Lancang Fault which is located in the southwestern area of Yunnan. On the basis of characteristic of the latest activity of Lancang Fault, we focus on analyzing the characteristic of the paleoearthquakes on the fault. After analyzing the three trench profile in detail on the middle south segment of the fault and the testing of the sample dating, we primarily determined that the occurrence time of six paleoearthquakes was about 3700 a, 2300 ~ 2500 a, 900 ~ 1200 a, 1200 ~ 2000 a, 500 ~ 600 a, and 20 a ago respectively. The paleoearthquakes had the characteristics of periodic recurrence, and the recurrence interval is 500 ~ 600 a.

Key words: Lancang Fault; paleoearthquake; earthquake recurrence interval; ¹⁴C dating