

滇西南地区孟连断裂晚第四纪新活动特征初步研究^①

何文贵¹, 刘兴旺^{1,2}, 袁道阳^{1,2}, 张 波^{1,2}, 吴 明^{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)

摘要: 孟连断裂位于云南省西南部与缅甸交界地带, 是川滇菱形块体南部一条规模较大的活动断裂带, 总体呈 NEE 向延伸, 长约 90 km, 走向 N70°E, 倾向 NW, 倾角 50°~60°, 断裂晚第四纪活动较强烈, 以左旋走滑为主, 兼具有倾滑特征。通过卫星影像解译和野外调查发现, 其断错地貌主要以线性断层崖为主, 高度不等, 其次为断层谷地、断层沟槽和断层垭口地貌, 冲沟及阶地的水平位移多在几十米至几百米之间。在孟连县城西侧开挖的大型探槽中, 揭露出多条断层, 通过分析剖面 and ¹⁴C 测年结果认为, 孟连断裂晚第四纪发生过 4 次古地震事件, 除最早一次年代较久远以外, 其他 3 次均发生在全新世中晚期以来, 最近一次古地震事件的年代为 (1 860±30)~(1 090±30) a B.P.。

关键词: 滇西南; 孟连断裂; 左旋走滑; 古地震

中图分类号: P546

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)04-0986-10

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2015.04.098

Preliminary Study on the Late Quaternary Activity Characteristics of the Menglian Fault in Southwest Yunnan

HE Wen-gui^{1,2}, LIU Xing-wang^{1,2}, YUAN Dao-yang¹, ZHANG Bo^{1,2}, WU Ming¹

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

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

Abstract: Because it is located in an area of extensive collision between the Indian Plate and the Eurasian Plate, the Sichuan—Yunnan rhombic block in southwest Yunnan at the southeastern margin of the Tibetan Plateau is one of the regions with the highest concentration and frequency of strong earthquakes in China. Due to compression of this block in the SE direction, the region developed two groups of active transverse faults in NE and NNW directions. Both groups are involved in the process of rupture and the occurrence of earthquakes of above M7.0. In this area, the main feature of the late Quaternary activity of these faults is strike-slip. The NW-trending faults have right-lateral strike-slip characteristics, whereas the NE-trending faults have left-lateral strike-slip characteristics. The Menglian fault is located in the boundary zone between southwest Yunnan and Myanmar. It is a large active fault in the south of the Sichuan—Yunnan rhombic block and its late Quaternary activity is intense. This fault has the main characteristics of left-lateral strike-slip with dip-slip. However, there are few research data on this fault and the extent of study has been low.

There are no records of earthquakes on the Menglian fault. However, in the southwest of the fault, a M_s7.3 earthquake occurred in the territory of Myanmar on July 12, 1995, which may be related to its activity. The linear structure of the fault in satellite images and landforms is very

① 收稿日期: 2014-10-21

基金项目: 地震行业科研专项(201108001); 地震行业科研项目(201408023)

作者简介: 何文贵(1963—), 男, 正研级高工, 主要从事活动构造及其应用研究。E-mail: hewengui321@163.com。

clear. The stream and water system are obviously offset to the left side along the fault. According to scanning electron microscopy results of the characteristics of the surface of quartz fragments in gravel from a fault gouge and research into active faults, Weixian et al. (2002) believed that the Menglian fault was formed before the Pliocene, displayed a high frequency of activity in the late Pleistocene, and has been active since then.

Through an investigation of the active characteristics of the Menglian fault in the late Quaternary, this study aims to determine the structural transformation and obtain a mechanical interpretation of the active faults in different directions and natures in the study area. According to the interpretation of satellite images and field investigation, we found that the fault is 90 km long and has a trend of N70°E. The main landform due to fault dislocation is a linear fault scarp of unequal height, whereas the others are fault valleys, fault trenches, and fault passes. The horizontal displacement of gullies and terraces is of the order of tens of meters to several hundred meters. A large trench excavated in the west of Menglian County revealed many faults. Through analysis of the fault profile and ^{14}C dating results, we found that four paleoearthquake events have occurred on the Menglian fault. Except for the earliest events, the three that followed all occurred in the middle and late Holocene. The latest paleoearthquake occurred between $(1\ 860 \pm 30)$ and $(1\ 090 \pm 30)$ a B.P.

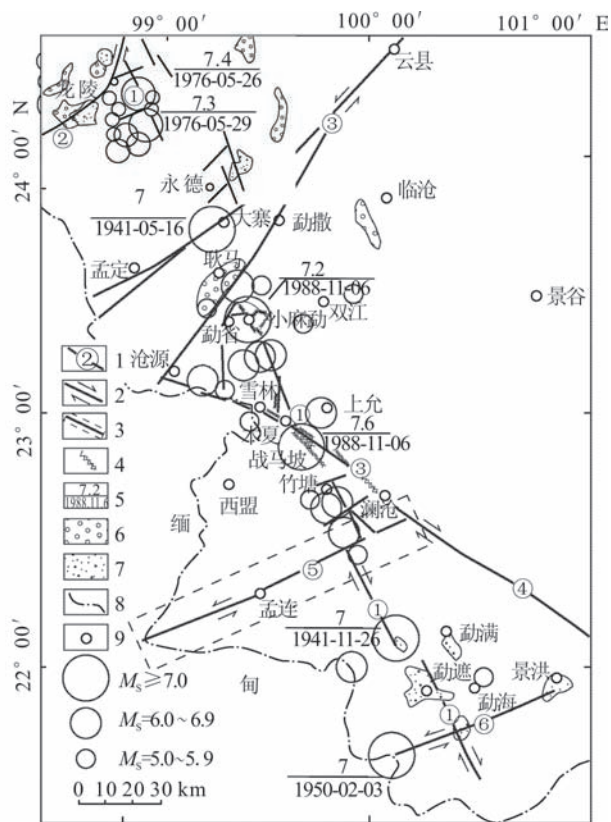
Key words: southwest Yunan; Menglian fault; left-lateral strike-slip; paleoearthquake

0 引言

青藏高原东南部滇西南地区的川滇菱形块体一直处于印度板块与欧亚板块的强烈碰撞带内,是我国大陆强震集中、频度较高的地区之一^[1]。该地区岩层由元古界变质岩、古生界浅海相碳酸盐岩、中生界陆相碎屑岩及海西期花岗岩构成。由于块体向 SE 方向楔入,使区内发育有 NE 和 NNW 向两组交叉型活动断裂,7 级以上地震的发生与地震孕育及破裂全过程中,上述两组构造均在起作用^[2]。在构造上主要发育有 NE 向的龙陵—瑞丽断裂、南汀河断裂、孟连断裂、打洛断裂和 NNW 向的龙陵—澜沧断裂及 NW 向黑河断裂等(图 1)。该地区的断裂晚第四纪活动性质主要以走滑为主,表现为 NW 向的断裂具有右旋走滑特征,NE 向的断裂具有左旋走滑特征。龙陵—澜沧断裂带是一条新生的破裂带,由多条斜列式或丛集式次级断层组成,以活断层、地震断层、地震成带分布为特征^[3]。如 1976 年 5 月 29 日云南省龙陵县发生的 7.3 级和 7.4 级地震^[4],虽然受 NE 向龙陵—瑞丽断裂和 NNW 龙陵—澜沧断裂控制,但其地震地表破裂带以 NNW 向为主,以 NE 向为次,二者形成共轭型构造^[4-7]。滇西南水平最大主压应力方向与构造方向基本平行。为近 SWW-NEE 向^[8]。1988 年 11 月 6 日在云南省西南部的澜沧县和耿马县之间发生的 7.6 级地震和 7.2

级地震^[4],其发震构造是 NNW 向的汉母坝—澜沧断裂和 NW 向的黑河断裂^[9-13],表现为右旋走滑性质,这两条断裂同属龙陵—澜沧断裂带的一部分。另外在南汀河断裂带上发生的 1941 年 $M_s 7$ 地震和打洛断裂发生的 1950 年 $M_s 7$ 地震,均是受 NE 向断裂控制,而这些地震均沿着 NNW 向龙陵—澜沧断裂展布。

对于澜沧—耿马 7.6 级和 7.2 级地震的地表破裂带研究较多,地震使汉母坝—澜沧断裂和黑河断裂形成了长 35 km 和 24 km 的地震破裂带^[12]。近年来我们对这两条断裂开展了 1:5 万地质填图与综合研究,取得了一些新成果^[15-16]。但是对于其南侧的 2 条 NE 向的左旋走滑断裂即孟连断裂和打洛断裂,研究资料较少,研究程度较低。尤其是孟连断裂无大地震记载,该断裂在卫星影像上和地貌上线性构造非常清晰,沿断裂带的地层和水系都有明显的左旋错动现象。俞维贤等^[17]通过断层泥中石英碎砾表面 SEM 特征及其断裂活动研究,认为孟连断裂形成于上新世之前,晚更新世断裂活动频度较高,之后仍有活动。在该断裂西南段的缅甸境内发生过 1995 年 7 月 12 日 $M_s 7.3$ 地震^[18],可能与其新活动有关。本文的主要目的是通过孟连断裂晚第四纪活动特征的调查研究,获得研究区不同方向与不同性质活动断裂之间的构造转换与力学解释。



1.活动断裂及其编号;2.走滑断裂;3.本文重点研究断裂;
4.地震破裂带;5.地震日期及震级;6.新近纪盆地;7.第四
纪盆地;8.国界;9.居民点;①龙陵—澜沧断裂;②瑞丽
—龙陵断裂带;③南汀河断裂;④黑河断裂;⑤孟连断
裂;⑥打洛断裂

图1 滇西南地区地震构造图(据文献[3、9、15-16]
修改)

Fig.1 The seismo-tectonic map of southwest Yunnan
(After [3,9,15-16])

1 断裂展布特征

孟连断裂位于云南省西南部与缅甸交界地带,是滇西南地区一条规模较大的活动断裂带,总体呈NEE向延伸,性质以左旋走滑为主。断裂东起澜沧县城东北,向南西经澜沧县、勐滨坝、朗勒、孟连县、勐马镇过孟阿口岸延伸到缅甸境内,长约90 km,走向 $N70^{\circ}E$,倾向NW,倾角 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。断裂晚第四纪活动较强烈,在澜沧县城与NW向的澜沧断裂相交,沿断裂出露有由碎裂岩、糜棱岩及断层泥组成的断层破碎带。

孟连断裂带的几何学特征及内部结构较复杂,分段特征明显,由多条不连续的次级走滑断裂段组成,在不连续段之间往往形成相应层次的不连续阶

区,其组合形式有拉分盆地、断裂分叉、拐弯和交汇等结构特征。在孟连断裂带上可见孟连盆地和勐马盆地2个拉分盆地,据此该断裂划分为澜沧—孟连段(F_{1-1})、孟连—勐马段(F_{1-2})、勐马—孟阿段(F_{1-3})和灯盏—南弥段4条次级断裂段,也可以称为东段、中段、西段和南支段(图2)。

1.1 澜沧—孟连段(东段, F_{1-1})

断裂东起澜沧县城东北,向南西经勐滨坝、下新寨、朗勒、糯各村到孟连县城,长约50 km,走向 $N60^{\circ}E$,倾向NW或SE,倾角 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。断裂从澜沧盆地南侧通过,将汉母坝—澜沧断裂截断。澜沧盆地是汉母坝—澜沧断裂的一左阶区,阶距宽约3.5 km^[13],盆地第四纪沉积受孟连断裂和汉母坝—澜沧断裂共同控制。断裂在卫星影像上线性构造明显,错断了一系列山脊和冲沟,沿断层可见清晰的反向断层陡坎,同时冲沟、山脊在断层经过处发生同步左旋位错等现象。

1.2 勐马—孟连段(中段, F_{1-2})

该段断裂东起孟连县城以西,向西经灯盏村、贺格村和贺改村至勐马镇,长约22 km,走向 $N70^{\circ}E$,倾向NW或SE,倾角 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。与 F_{1-1} 呈左阶相连接,阶区宽约600 m,形成勐马拉分盆地。断裂在卫星影像上线性构造明显,地貌上有断层沿沟谷展布,错断了一系列山脊和冲沟,沿断层可见清晰的反向断层崖和断层陡坎。

1.3 孟阿—勐马段(西段, F_{1-3})

断裂东起勐马镇西侧的贺哈村,向西经曼哈村、曼柄村到中国同缅甸交界的孟阿口岸,长约18 km,走向 $N70^{\circ}E$,倾向NW,倾角 55° 。断裂在卫星影像上线性构造明显,地貌上有断层沿沟谷展布。断裂表现为线状的断层崖、断层垭口以及断层三角面等。

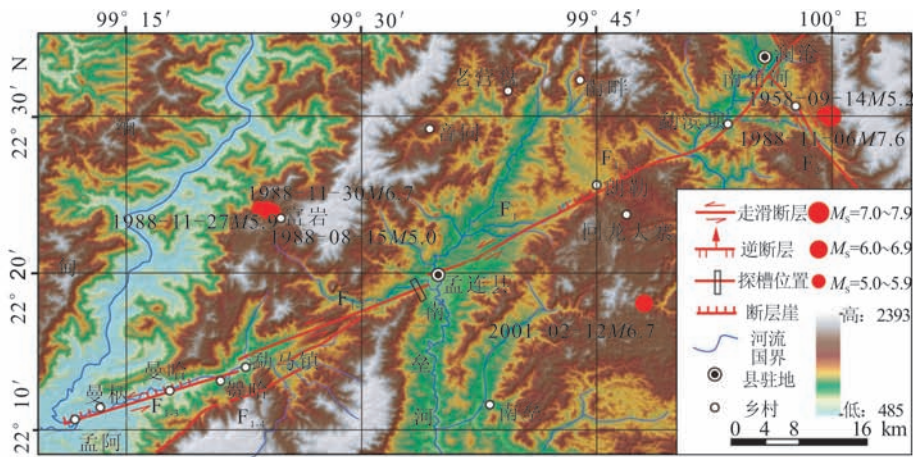
1.4 灯盏—南弥段(南支段, F_{1-4})

该段断裂位于主断裂西南侧,东起孟连县灯盏村西,向西经贺村莫至南弥村西南,长约35 km,走向 $N60^{\circ}E$,倾向和倾角不清楚。属于孟连断裂的分支断裂,在卫星影像上线性构造明显,断错一系列山脊和冲沟,有同步左旋位错等现象,但本研究没有进行现场调查。

2 断错地貌特征

2.1 左旋走滑现象

地貌特征是地质构造格局的基本反映,是新构造运动作用中断裂活动、块体运动和侵蚀风化作用的综合结果。断裂走滑活动会使跨越断裂的地质



F₁: 孟连断裂; F₁₋₁: 孟连—澜沧段; F₁₋₂: 勐马—孟连段; F₁₋₃: 孟阿—勐马段; F₂: 澜沧断裂

图 2 孟连断裂平面展布图

Fig.2 Distribution map of the Menglian fault

体、冲沟、山脊同步发生左旋或右旋拐弯,反映了断裂的水平走滑性质。孟连断裂带通过处,沿线一系列冲沟、山脊、地质体等发生左旋位错,并在一些地貌面上形成陡坎,表明断裂最新的构造活动以左旋走滑为主,兼具倾滑分量。这些现象与断层剖面中所表现出的孟连断裂运动性质相符。

在朗勒村见到断层两侧有一个较高的山脊被左旋断错(600±20) m(图 3),该山脊顶面为一平坦面的地貌面,高度应相当于朗勒大沟的Ⅳ级阶地(T₄)。在勐滨坝那养村西见到断裂活动将大冲沟Ⅲ级阶地左旋断错(130±10) m(图 4),在该阶地上取释光样品,未测出年代。在勐马镇芒海村北侧见到断裂活动将大冲沟Ⅲ级阶地左旋断错(90±5) m,该阶地位于冲沟右岸,受到冲涮,所以该位移值略小于那养村大沟Ⅲ阶地。另外,在芒海村见到冲沟左旋 140 m。

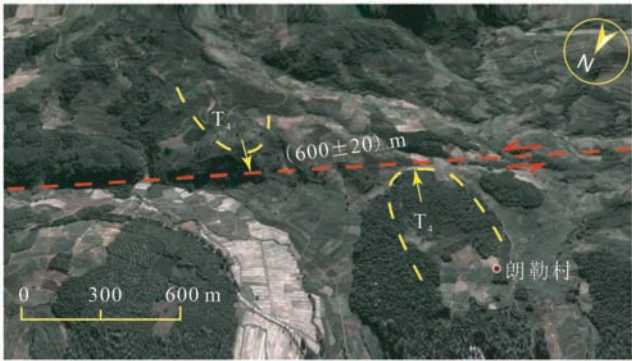


图 3 朗勒村南山脊左旋断错 (600±20) m

Fig.3 A left-lateral displacement of (600±20) m of the ridge the south of Langle village

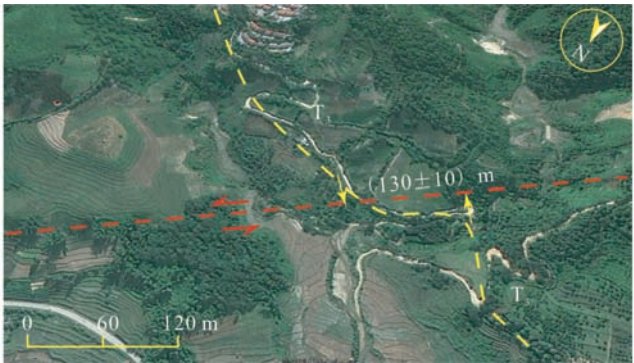


图 4 勐滨坝那养村西大冲沟Ⅲ级阶地左旋 (130±10) m

Fig.4 A left-lateral displacement of (130±10) m of T₃ in a gully at the west of Nayang village of Mengbinba

在贺格新寨北发现Ⅱ级阶地上的冲沟有左旋断错现象(图 5),对其用差分 GPS 进行测量,其结果为冲沟左旋(50±2) m。在冲沟东侧取¹⁴C 样品,经美国 Beta 实验室测年,结果为(3 710±30) a B.P.(表 1),测年结果过于年轻。参考前人资料,虢顺民等^[19]和计凤桔等^[20]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)认为,该区河流支流Ⅱ级阶地堆积于 9 000~22 000 a B.P.,该级地貌面形成于 9 000~10 000 a B.P.,计算出孟连断裂全新世以来的左旋走滑速率为(5.3±0.3) mm/a,与刘兴旺等^[15]得到的汉母坝-澜沧断裂滑动速率(4.7±0.5) mm/a 大致相当,说明结果可靠。

由以上可以看出孟连断裂活动以左旋走滑为主,走滑特征明显。通过卫星影像和野外差分 GPS 测量,得到级阶地的左旋位移:即Ⅳ级阶地的左旋位

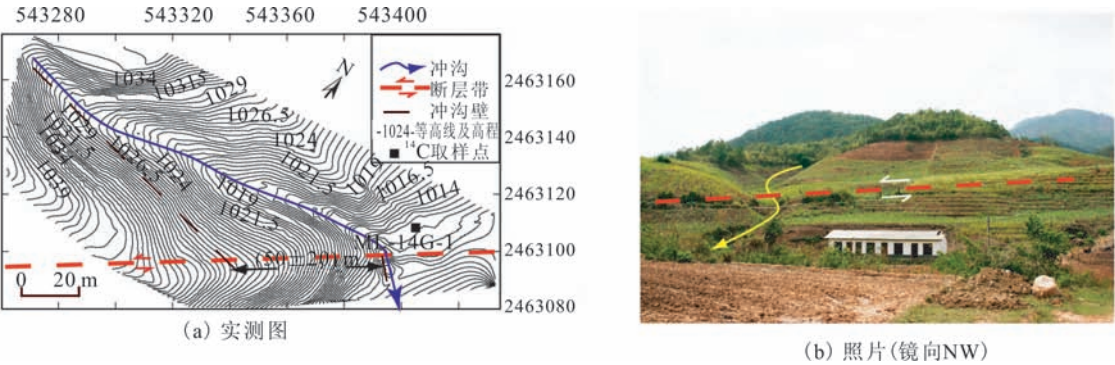


图 5 贺格新寨北冲沟左旋断错差分 GPS 实测地形图及地貌照片

Fig.5 Differential GPS measured topographic map and photo of left-lateral offset landform of the gully at the north of Hegexinzhai

移为 (600 ± 20) m;Ⅲ级阶地为 $(130\pm 10)\sim(90\pm 5)$ m;Ⅱ级阶地为 (50 ± 2) m。

2.2 垂直断层地貌现象

从卫星影像上看,孟连断裂中西段线性影像很清晰。断裂通过处地貌上有明显反映,其表现形式主要有:断层三角面、线状断层崖、断层谷地、断层沟槽、断层垭口、断错山脊、断层陡坎和断陷坑等。

断裂西段断错南马河的Ⅱ、Ⅲ级阶地,形成断层崖。在断裂西端的孟阿口岸东侧,可以见到 5~10 m 高的断层崖,其延伸长度约 800 m,位于中缅界河北岸,地貌上相当于该河流的Ⅱ级阶地。在芒览村断裂断错南马河南岸的Ⅲ级阶地,形成长约 800 m、高约 20 m 的断层崖[图 6(a)]。贺改东断层谷地宽仅有 100 m 左右[图 6(b)],贺格老寨东见到许多断层垭口地貌,并形成反向陡坎[图 6(c)]。



(a) 芒览村一带断裂断错南马河Ⅲ级阶地断层崖卫星影像(据google earth)

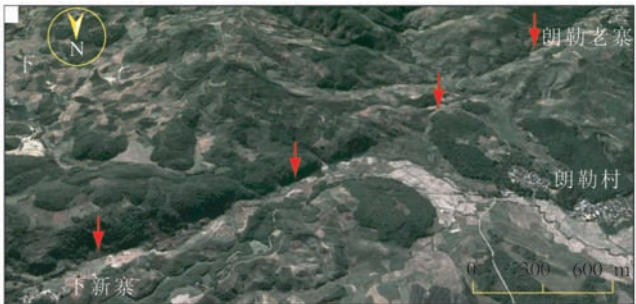


(b) 贺改东断层谷地地貌(镜向W) (c) 贺格老寨东断层垭口地貌(镜向W)

图 6 断裂西段卫星影像及断错地貌

Fig.6 Satellite image and faulted landform at the west segment of the fault

在断裂中段下新寨与朗勒老寨之间,见到长 5 km 的笔直断层崖,崖下发育有断层沟谷[图 7(a)],另外还发育有断层三角面和断层垭口地貌和大沟的左旋断错,朗勒村南断层垭口宽约 20 m,在垭口西侧发育有断层沟槽[图 7(b)],其宽度与垭口相当。在朗勒小寨西高台之上,形成一个长约 20~30 m、深约 10 m 的断陷坑,其北侧被断层控制,发育有 10~20 m 高的断层崖,该断陷坑类似于断塞塘[图 7(c)]。



(a) 下新寨与朗勒老寨之间的断层线崖影像 (据google earth)



(b) 朗勒村南断层沟槽地貌(镜向E) (c) 朗勒小寨西断陷坑(镜向N)

图 7 断裂中段卫星影像及断错地貌

Fig.7 Satellite image and faulted landform at the middle segment of the fault

在断裂东段的勐滨坝附近发育有许多断层三角面,在那养村南侧见到的 2 条线状断层崖,较低的断层崖高约 15 m、长约 200 m;较高的高约 20~30 m、长约 300 m。澜沧县城一带断裂晚第四纪新活动性

有所减弱,主要表现为较宽的断裂谷地、断层堙口和一系列山脊、冲沟左旋位错等。

由以上断错地貌来看,断裂的新活动断错新的地貌单位为河流的Ⅱ级阶地。根据上节前人资料^[17-18],断裂在Ⅱ级阶地面形成(9 000~10 000 a B.P.)后,即全新世以来有过活动。

沿断裂带调查,发现的断层剖面较少,仅在大寨南侧大沟内见到断层剖面(图 8,样品测年结果见表

1),剖面位于大沟东侧,剖面出露地层如下:

①黑色腐殖土层,富含有机质,厚约 0.5~1 m,时代为全新世,底部取¹⁴C 样品 ML-14C-3,测年结果为(210±30) a B.P.;

②红色坡积砂砾石,无层理,砂质较多,较疏松,时代应晚更新世至全新世,顶部取¹⁴C 样品 ML-14C-3,测年结果为(840±30) a B.P.;

表 1 孟连断裂带¹⁴C 样品测年结果

Table 1 Dating result of the ¹⁴C sample from the Menglian fault

野外编号	实验室编号	取样物质	计算年龄/(a.B.P.)	¹³ C/ ¹² C 比值/‰	¹⁴ C 校正年龄/(a.B.P.)	2σ 校正年龄/(Cala.B.P.)
ML-14C-1	357 500	红黏土	3 650±30	-21.3	3 710±30	4 150—411 0 4 100—3 980
ML-14C-2	357 501	红黏土	760±30	-20.3	840±30	790—690 300—270
ML-14C-3	357 502	黑色表土	130±30	-20.1	210±30	220—140 20—公元 1950 年
MLX-14C-1	357 503	黑色淤泥	26 760±150	-16.5	26 900±150	31 380—31140
MLX-14C-2	357 504	黑色淤泥	22 960±110	-15.1	23 120±110	28 110—27810
MLX-14C-3	357 505	黄色黏土	12 860±50	-18.0	12 970±50	15 630—15190
MLX-14C-4	351 653	黑色淤泥	2 500±30	-25.5	2 490±30	2 720—2460
MLX-14C-5	351 654	碳屑	4 150±30	-26.0	4 130±30	4 820—4530
MLX-14C-6	357 506	黄色黏土	3 430±30	-20.2	3 510±30	3 870 — 3700
MLX-14C-7	357 507	黑色淤泥	4 080±30	-21.9	4 130±30	4 820—4530 4380—4370
MLX-14C-8	351 655	碳屑	3620±30	-12.3	3 830±30	4 350—4330 4300—4150
MLX-14C-9	351 656	碳屑	1870±30	-25.7	1 860±30	1 870—1720
MLX-14C-10	357 508	黑土	1010±30	-20.2	1 090±30	1 060—930 640—590
MLX-14C-11	357 514	黑土	470±30	-19.4	560±30	560—520 4420—4230
MLX-14C-12	351 657	碳屑	3 910±30	-26.7	3 880±30	4 200—4180 4 170—4 160

注:由于树轮 2σ 校正年龄不确定性较多,本文采用碳校正年龄,即上表的第 6 列。

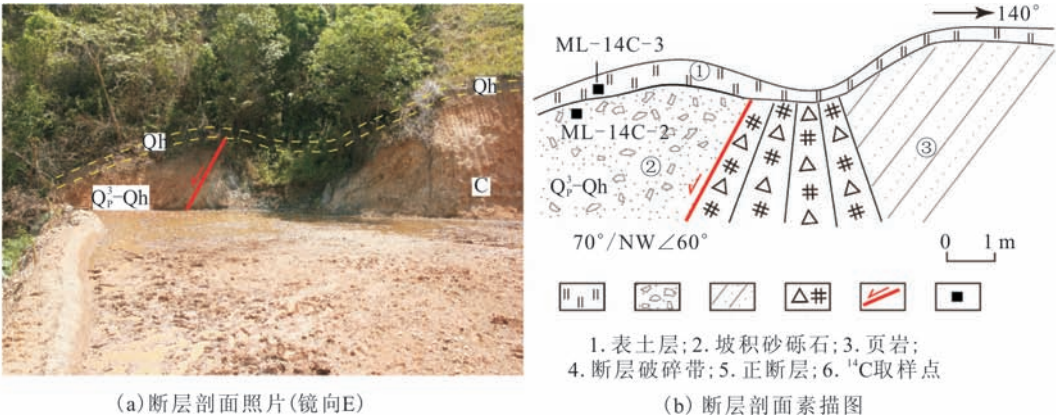


图 8 大寨南大沟内断层剖面照片及素描图

Fig.8 Photo and sketch map of the fault profile in a gully at the south of Dazhai

③石炭系黑灰色、褐黄色泥岩,岩石风化破碎,产状: $180^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 。

剖面上见到黑灰色断层破碎带,宽约 6 m。断层断错坡积层②被表层土①覆盖,根据 ^{14}C 样品测年结果为 $(840\pm 30)\sim(210\pm 30)$ a B.P.之间断层有过活动。虽然史料无此次地震记载,说明样品测年结果偏年轻,但仍可以说明断裂全新世晚期有过活动。

由以上可以看出:孟连断裂的断错地貌主要以线性断层崖为主,高度不等,一般为 10~30 m;其次为断层谷地、断层沟槽和断层垭口地貌,一般断层谷地和断层沟槽都较宽,断层垭口较窄,较小垭口宽约

20 m;另外还发育有规模不大的断陷坑,类似于断塞塘。这些都是断层新活动的地貌表现。大寨南大沟断层剖面进一步说明了断层全新世有过活动。

3 探槽古地震特征

为研究古地震特征,笔者在孟连县城西侧即孟连盆地西缘山坡边用挖掘机开挖了一个大探槽。探槽总长约 30 m,最深处超过 6 m,探槽内部多为断塞塘堆积(图 9)。在探槽内共取 12 个 ^{14}C 样品送 Bata 实验室测试,测试结果详见表 1。剖面出露地层如下:

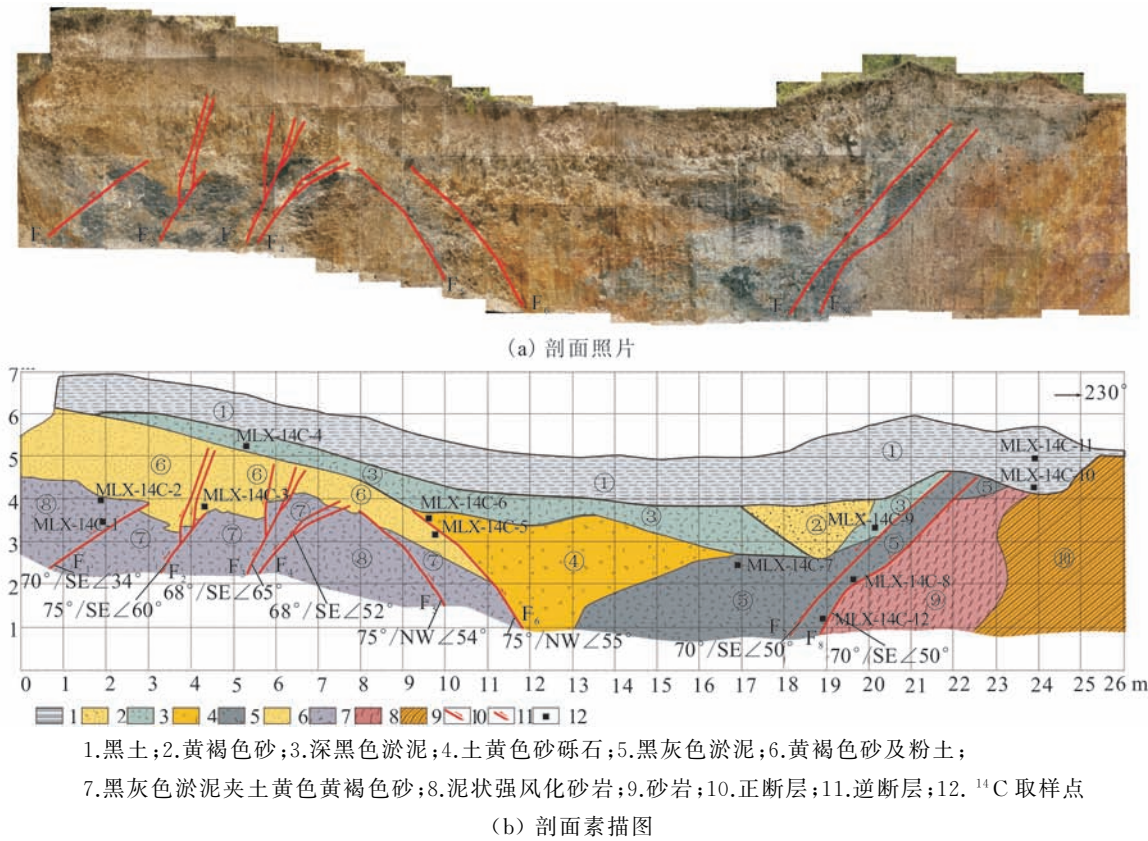


图 9 孟连探槽剖面素描图

Fig.9 Sketch map of the trench profile at Menglian county

①黑土层,顶部富含植物根系和有机质,剖面南侧为浅黑灰色,北侧为深黑灰色,属于断塞塘堆积,该层中部取 ^{14}C 样品 MLX-14C-11,测年结果为 (560 ± 30) a B.P.,底部取 ^{14}C 样品 MLX-14C-10,测年结果为 $(1\ 090\pm 30)$ a B.P.,厚约 1.0~1.5 m;

②黄褐色砂层,含有黏土,呈三角形,冲积成因,最大厚度达 1.3 m;

③深黑色淤泥层,含有碳屑,断塞塘堆积,该层底部靠近 F_2 和 F_3 一侧取 ^{14}C 样品 MLX-14C-4,测年结果为 $(2\ 490\pm 30)$ a B.P.,在靠近 F_7 和 F_8 一侧

取 ^{14}C 样品 MLX-14C-9,测年结果为 $(1\ 860\pm 30)$ a B.P.,厚约 0.5~1.3 m;

④土黄色砂砾石夹黏土层,砾石粒径一般为 2~3 cm,呈棱角状,多为坡积,在该层顶部靠近 F_6 断层一侧取 ^{14}C 样品 MLX-14C-6,测年结果为 $(3\ 510\pm 30)$ a B.P.,未见底;

⑤黑灰色淤泥层,含有碳屑,在断层 F_7 和 F_8 之间取 ^{14}C 样品 MLX-14C-8 和 MLX-14C-12,测年结果分别为 $(3\ 830\pm 30)$ a B.P.和 $(3\ 880\pm 30)$ a B.P.,在该层顶部取 ^{14}C 样品 MLX-14C-7,测年结果为

($4\,130 \pm 30$) a B.P.,其中 ^{14}C 样品 MLX-14C-8 和 MLX-14C-12 测年物质为碳屑,测年结果的可信度较高;

⑥黄褐色砂及粉土层夹有黄色淤泥,该层底部的淤泥中取 ^{14}C 样品 MLX-14C-3 测年结果为($12\,970 \pm 50$) a B.P.,上部取碳屑样品 MLX-14C-5,测年结果为($4\,130 \pm 30$) a B.P.;

⑦黑灰色淤泥含有碳屑,取 ^{14}C 样品 MLX-14C-1 和 MLX-14C-2,测年结果分别为($26\,900 \pm 150$) a B.P.和($23\,120 \pm 110$) a B.P.;

⑧土黄色及黄褐色砂层,偶含砾石,砾石粒径一般为 3~5 cm,呈棱角状;

⑨强风化砂岩,泥状,紫红色,含有砂砾石,未见底;

⑩侏罗系紫红色砂岩夹泥岩,未见底。

剖面上共揭露出 8 条断层。其中: F_1 为逆断层,产状为走向 70° ,倾向 SE,倾角 34° ,断错层⑦、⑧和层⑥底部; F_2 为正断层,断层下部有一条主断层,产状为走向 75° ,倾向 SE,倾角 60° ,断错层⑦,上部有两条分支断层,近于平行,断错在到层⑥顶部; F_3 为正断层,产状为走向 68° ,倾向 SE,倾角 65° ,上部在主断层两侧也出现两条分支断层,断错在到层⑥顶部; F_4 为正断层,产状为走向 68° ,倾向 SE,倾角 52° ,顶的分支断层断错在层⑥底部; F_5 为正断层,产状为走向 75° ,倾向 NW,倾角 54° ,断层断错在层⑦和层⑧之间; F_6 为正断层,产状走向 75° ,倾向 NW,倾角 55° ,断层断错在层④和层⑥之间; F_7 和 F_8 是两条近于平行的断层,为正断层,产状皆为走向 70° ,倾向 SE,倾角 50° ,断层断错层③和层⑤。

从断层断错的层位来看,应有 4 次古地震事件:

最早的一次事件是逆断层 F_1 断错层⑦,形成 30 cm 断距(斜距),终止于层⑥底部;另外正断层 F_4 和 F_5 也断错在层⑥的底部,应归于同一次事件。此次事件的活动时代应在层⑦堆积结束之后,层⑥刚刚接受堆积不久,介于 ^{14}C 样品 MLX-14C-2 测年结果为($23\,120 \pm 110$) a B.P.和 ^{14}C 样品 MLX-14C-3 测年结果为($12\,970 \pm 50$) a B.P.两个年代之间,但更接近于 MLX-14C-3 的年代,即接近于($12\,970 \pm 50$) a B.P.或在此之前。

第二次事件是断层 F_2 和 F_3 终止于层⑥顶部,在该地层中部取 ^{14}C 样品 MLX-14C-3,测年结果为($4\,130 \pm 30$) a B.P.,此次地震应发生在($4\,130 \pm 30$) a B.P.之后。

第三次事件是 F_6 断错层④,并终止于层④顶

部,被层③所覆盖,而层④顶部 ^{14}C 样品 MLX-14C-6 测年结果为($3\,510 \pm 30$) a B.P.,层③底部 ^{14}C 样品 MLX-14C-4 测年结果为($2\,490 \pm 30$) a B.P.,地震事件的时间应在($3\,510 \pm 30$)~($2\,490 \pm 30$) a B.P.之间。

第四次事件是 F_7 和 F_8 ,都断错层③,终止于层①底部,而层③靠近 F_7 断层一侧取 ^{14}C 样品 MLX-14C-9,测年结果为($1\,860 \pm 30$) a B.P.,层①底部靠近断层 F_7 和 F_8 一侧的 ^{14}C 样品 MLX-14C-10 测年结果为($1\,090 \pm 30$) a B.P.,所以此次地震的时间应在($1\,860 \pm 30$)~($1\,090 \pm 30$) a B.P.之间。

4 结论和讨论

4.1 结论

经高分辨率卫星影像解译、野外调查、探槽开挖和 ^{14}C 样品测年认为:

(1) 孟连断裂位于云南省西南部与缅甸交界地带,是川滇菱形块体南部一条规模较大的活动断裂带,总体呈 NEE 向延伸,以左旋走滑为主。长约 90 km,走向 $N70^\circ E$,倾向 NW,倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$,断裂晚第四纪活动较强烈。

(2) 断裂活动以左旋走滑为主,走滑特征明显。通过卫星影像和野外差分 GPS 测量,得到级阶地的左旋位移:即Ⅳ级阶地的左旋位移为(600 ± 20) m;Ⅲ级阶地为(110 ± 10)~(90 ± 5) m;Ⅱ级阶地为(50 ± 2) m。全新世以来的活动速率为(5.3 ± 0.3) mm/a。

(3) 孟连断裂的断错地貌主要以线性断层崖为主,高度不等,一般为 10~30 m;其次为断层谷地、断层沟槽和断层垭口地貌,一般断层谷地和断层沟槽都较宽,断层垭口较窄,较小垭口宽约 20 m;另外还发育有规模不大的断陷坑,类似于断塞塘。

(4) 孟连探槽揭露出 4 次古地震事件,除最早一次[($12\,970 \pm 50$) a B.P.]年代较久远以外,其后的 3 次都发生在全新世中晚期以来。分别为事件Ⅰ:($4\,130 \pm 30$) a B.P.之后;事件Ⅱ:介于($3\,510 \pm 30$)~($2\,490 \pm 30$) a B.P.间;事件Ⅲ:介于($1\,860 \pm 30$)~($1\,090 \pm 30$) a B.P.之间。孟连断裂的古地震具有准周期特征,复发间隔约为 1 000~1 500 a,离逝时间是($1\,860 \pm 30$)~($1\,090 \pm 30$) a B.P.。离逝时间与复发间隔较接近,说明该断裂的地震危险性较高。

4.2 讨论

此次野外见到的都是较大的地貌断错,如断层

三角面、断层垭口、断层线崖等,未见小的断层陡坎,也没有发现断裂断错Ⅰ阶地的地貌证据,可能是滇西南地区的雨水较多,地貌改造的较快,很难保留的缘故。通过卫星影像解译和野外调查,虽然确定了Ⅱ~Ⅳ级阶地的左旋位移,但野外没有取到能代表相应阶地的测年样品。参考虢顺民等^[19]和计凤桔等^[20]对滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究结果,计算出孟连断裂全新世以来的左旋走滑速率为 (5.3 ± 0.3) mm/a,与刘兴旺等^[17]得到的汉母坝-澜沧断裂滑动速率 (4.7 ± 0.5) mm/a大致相当,但还有待于今后进一步开展研究工作。本文只在孟连县西侧开挖了一个大探槽,从揭露出的古地震事件分析来看,古地震的不确定性较大,得到的古震事件复发间隔和离逝时间较粗略,古地震精细研究也有待于今后进行更详细的探槽开挖和测年工作来解决。

参考文献(References)

- [1] 孙尧,吴中海,安美建,等.川滇地区主要活动断裂的活动特征及其近十年的地震活动性[J].地震工程学报,2014,36(2): 320-330.
SUN Yao, WU Zhong-hai, AN Mei-jina, et al. Activity Characteristics of Primary Active Faults in Yunnan—Sichuan Area and Their Seismic Activity in the Past[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(2): 320-330. (in Chinese)
- [2] 向宏发,徐锡伟,虢顺民,等.滇西地区两组交叉型活动断裂及其地震地质意义[A]//活动断裂研究(7).北京:地震出版社,199:81-87.
XIANG Hong-fa, XU Xi-wei, GUO Shun-min, et al. Two Intersectional Active Fault Zone and Its Seismological Implications in West Yunan[A]//Research on Active Fault(7). Beijing: Seismological Press, 1999: 81-87. (in Chinese)
- [3] 虢顺民,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.
GUO Shun-min, XIANG Hong-fa, ZHOU Rui-qi, et al. Longling—Lancang Fault Zone in Southwest Yunnan, China—a Newly-generated Rupture Zone in Continental Crust[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(19): 2118-2121. (in Chinese)
- [4] 中国地震局震害防御司.中国近代地震目录[M].北京:中国科学技术出版社,1999:278-280.
Earthquake Disaster Prevention Department, China Earthquake Administration. Catalogue of Chinese Modern Earthquakes[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1999: 278-280. (in Chinese)
- [5] 陈立德,赵维城.1976年龙陵地震[M].北京:地震出版社,1979.
CHEN Li-de, ZHAO Wei-cheng. The Longling Earthquake of 1976[M]. Beijing: Seismological Press, 1979. (in Chinese)
- [6] 王晋南,王洋龙,安晓文,等.1976年龙陵地震区断裂活动性研究[J].地震研究,2006,29(4):366-372.
WANG Ji-nan, WANG Yang-long, AN Xiao-wen, et al. Activity of the Faults in the 1976 Longling M7.3, 7.4 Earthquake Area[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(4): 366-372. (in Chinese)
- [7] 谢虹,雷中生,袁道阳,等.1884年云南宁洱6 $\frac{3}{4}$ 地震补充考证与发震构造讨论[J].地震工程学报,2014,36(3): 663-673.
XIE Hong, LEI Zhong-sheng, YUAN Dao-yang, et al. Supplement Textual Research on Historical Data of the 1884 Ninger Earthquake in Yunnan Province and Discussion on Its Seismogenic Structure[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(3): 663-673. (in Chinese)
- [8] 郭祥云,陈学忠,王生文,等.川滇地区中小地震震源机制解及构造应力场的研究[J].地震工程学报,2014,36(3): 599-607.
GUO Xiang-yun, CHEN Xue-zhong, WANG Sheng-wen, et al. Focal Mechanism of Small and Moderate Earthquakes and Tectonic Stress Field in Sichuan—Yunan Areas[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(3): 599-607. (in Chinese)
- [9] 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.
Yu Wei-xian, HOU Xue-ying, ZHOU Rui-qi, et al. Characteristic Surface Ruptures of Lancang—Gengma Earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 1991, 14(3): 203-214. (in Chinese)
- [10] 毛玉平,张俊昌.澜沧—耿马地震发震构造初步研究[J].地震研究,1991a,14(1): 9-15.
MAO Yu-ping, ZHANG Jun-chang. Preliminary Analysis on the Seismogenic Tectonics of the Nov. 6, 1988, Lancang—Gengma Earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 1991, 14(1): 9-15. (in Chinese)
- [11] 毛玉平,李盛德.澜沧.耿马地震序列图像与发震构造讨论[J].西北地震学报,1991,13(1):57-62.
MAO Yu-ping, LI sheng-de. Preliminary Discussion on Seismic Sequence and Earthquake-Generating Tectonics of Lancang—Gengma Earthquake of 1988 [J]. Northwestern Seismological Journal March, 1991, 13(1): 57-62. (in Chinese)
- [12] 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.
GU Yi-shan, MAO Yu-ping. The Research of the Characteristics of the Seismic Fault and the Seismotectonic of Gengma Ms7.2 Earthquake in 1988[J]. North China Earthquake Sciences, 1992, 10(1): 1-11. (in Chinese)
- [13] 俞维贤,柴天俊,侯学英,等.澜沧7.6级地震形变带[J].地震地质,1991,13(4):343-352.
YU Wei-xian, CHAI Tian-jun, HOU Xue-ying, et al. Deformation Zone of M=7.6 Lancang Earthquake[J]. Seismology and Geology, 1991, 13(4): 343-352. (in Chinese)
- [14] 王辉,强祖基,袁著忠,等.1988年云南澜沧—耿马地震的烈

- 度分布及地表破裂[J].地震学报,1991,13(3):3440-353.
- WANG Hui, QIANG Zu-ji, YUAN Zhuzhong, et al. The Distribution of Seismic Intensities and Surface Rupture in the Lancang—Gengma (Yunan Province, China) Earthquakes of November 6, 1988[J]. Acta Seismologica Sinica, 1991, 13(3):3440-353. (in Chinese)
- [15] 刘兴旺,袁道阳、张波,等. 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[J].西北地震学报,2013, 35(增刊):108-115.
- LIU Xing-wang, YUAN Dao-yang, ZHANG Bo, et al. Geological and Geomorphological Evidence of Tectonic Activity of Hanmuba—Lancang Fault at Southwestern Yunnan in Late Quaternary[J]. Northwestern Seismological Journal, 2013, 35 (Supp 1):108-115. (in Chinese)
- [16] 方良好,袁道阳,邵延秀,等. 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,2013, 35(2):342-353.
- FANG Liang-hao, YUAN Dao-yang, SHAO Yan-Xiu, et al. Characteristics of Late Quaternary Tectonic Activity of Middle-western Segment of Heihe Fault in Southwestern Part of Yunan Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2):342-353. (in Chinese)
- [17] 俞维贤,安晓文,李世成,等. 澜沧江流域主要断裂断层泥中石英碎砾表面 SEM 特征及其断裂活动研究[J].地震研究, 2002,25(3):275-280.
- YU Wei-xian, AN Xiao-wen, LI Shi-cheng, et al. Study on SEM Characteristics of Quartz Grains in the Fault Gouges of the Main Faults and the Fault Activity in the Lancang River Valley[J]. Journal of Seismological Research, 2002, 25(3): 275-28. (in Chinese)
- [18] LIN Rong-hui. Predictions and Social Response Capacities in Face of the 1995 Menglian Earthquake ($M=7.3$): an Overview[J]. Journal of Seismological Research, 1999, 22(4):419-427.
- [19] 虢顺民,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.
- GUO Shun-min, XIANG Hong-fa, XU Xi-wei, et al. Characteristics and Formation Mechanism of the Longling—Lancang Newly Emerging Fault Zone in Quaternary in the Southwest Yunnan[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(3):277-284. (in Chinese)
- [20] 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.
- JI Feng-ju, ZHENG Rong-zhang, LI Jian-pin, et al. Chronological Research of Geomorphic Surface of Lower Terraces along Several Major Rivers in the East and West of Yunnan Province[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(3):265-276. (in Chinese)