# 滇西南地区黑河断裂中西段晚第四纪构造活动特征。

方良好<sup>1</sup>, 袁道阳<sup>1,2</sup>, 邵延秀<sup>1,2</sup>, 何文贵<sup>1,2</sup>, 刘兴旺<sup>1,2</sup>, 张 波<sup>1,2</sup>

(1.中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000; 2.兰州地球物理国家野外科学观测研究站,甘肃 兰州 730000)

摘 要:通过卫星影像解译、野外实地调查与地质填图,对滇西南地区黑河断裂中西段晚第四纪构造活动特征进行了研究。结果表明,黑河断裂为一条规模较大的区域性活动断裂带,西起沧源县南,向东南止于澜沧江断裂,全长约 168 km,走向 280°~310°。该断裂晚第四纪新活动性具有一定的差异性和分段性。根据其几何结构、最新活动性及 1988 年澜沧 7.6 级地震破裂带特征,可将黑河断裂从西向东划分为沧源—木戛、木戛—南代和南代—勐往三条次级断裂段。其中的中、西段长约88 km,全新世活动显著,活动性质以右旋走滑为主。沿断裂形成了丰富的断错地貌现象。西段断裂的最新活动断错了全新世晚期地层;中段是 1988 年澜沧 7.6 级地震的发震断裂之一。根据对断错冲沟的测量和年代测试,得到其全新世以来右旋滑动速率为(3.54±0.78)mm/a,与区域上其它断裂的滑动速率大致相当,反映了其区域构造活动的整体性和协调性。

关键词:黑河断裂;晚第四纪;活动断裂;右旋走滑;滑动速率

中图分类号: P315.241 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)02-0342-12

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0342

## Characteristics of Late Quaternary Tectonic Activity of Middle-western Segment of Heihe Fault in Southwestern Part of Yunnan Province

FANG Liang-hao¹, YUAN Dao-yang¹,², SHAO Yan-xiu¹,², HE Wen-gui¹,², LIU Xing-wang¹,², ZHANG Bo¹,²

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

2. Lanzhou National Geophysical Observatory, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract:On November 6, 1988, two earthquakes with a magnitude >7 occurred in the Lancang and Gengma area of the southwestern part of the Yunnan province. The maximum intensity of the M7.6 Lancang earthquake was IX on the Chinese scale, which is similar to the Modified Mercalli scale. The surface rupture of the tectonic activity of the Lancang  $M_{\rm S}$ 7.6 earthquake occurred because of the earthquake-related extensional ground cracks and small fault scarps in the epicentral region.

The area within which the cracks and small scarps occurred was approximately 35-km long and 3-km wide. The maximum vertical and the dextral horizontal offsets were 1.5 m and 1.4 m, respectively. The M7.6 earthquake showed complicated earthquake-generating tectonics and formed a separate obvious seismic deformation belt along the Heihe and Lancang faults. The Heihe fault is one of the seismogenic faults of the 1988 M7.6 event of Lancang.

The Heihe fault, located in the southwestern part of the Yunnan province, having a length of 168 km and a trend of  $280^{\circ} \sim 310^{\circ}$ , is an active fault zone in the late Quaternary, which is main-

① 收稿日期:2013-03-20;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2013023

ly a right-lateral strike slip with a dip slip. It turns out that the Heihe fault zone can be divided into three secondary fault segments, namely, Cangyuan—Mujia ( $F_{1-1}$ ), Mujia—Nandai ( $F_{1-2}$ ), and Nandai—Mengwang ( $F_{1-3}$ ). The activity gradually becomes weak when this segment of fault travels eastward.

Through satellite image interpretation and field geological investigation, we studied the geological and geomorphologic characteristics of activity along the middle and the western segments of the Heihe fault in this research. The middle and western segments of the Heihe fault, having a length of 88 km and a trend of  $280^{\circ} \sim 310^{\circ}$ , is an active fault zone in the late Quaternary, which is mainly a right-lateral strike slip with a dip slip. A variety of dislocation landforms have been formed along the fault by the new tectonic activities since the late Quaternary, such as the dextral dislocation of gullies and ridges, fault trenches, fault passes, fault scarps, and pits. A series of dextral dislocations of gullies and ridges, and scratches on the cross section along the fault show that the middle-western segment on the Heihe fault is dominated by a right-lateral strike slip. In the Xuelidazai village, the age of the displaced stratum is  $(2530\pm25)$  a. B. P., and on the fault plane, a loosely consolidated gouge is developed across several cross sections of the fault. This implies that the latest active time of the middle-western segment on the Heihe fault is the late Holocene. Near Baishuijing, there are synchronous dextral dislocations of four small gullies because of the dextral movement of faults; these dislocations range from 9 to 14 m. By using the differential GPS measurement, the sample dating and the regional comparison of the fault slip rate, we calculated the right-lateral strike slip rate of the segment to be (3.54  $\pm$  0.78) mm/a. This value agrees with the regional characteristics of the fault slip rate.

Key words: Heihe fault; Late Quaternary; Active tectonics; Right-lateral strike-slip motion; Slip rate

## 0 引言

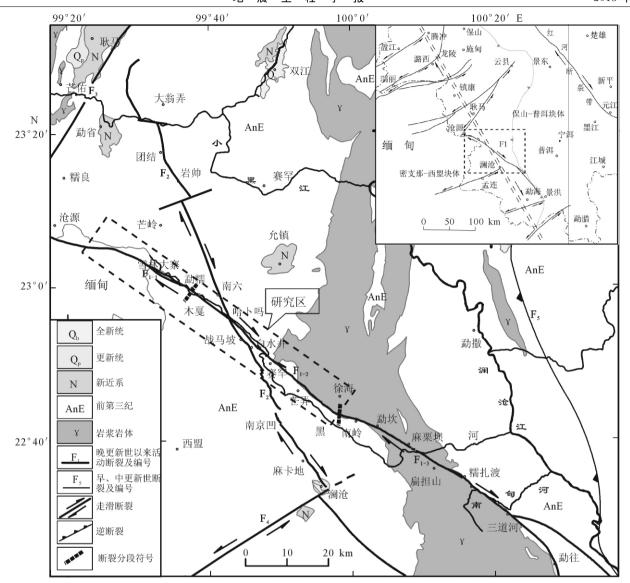
黑河断裂(也称木戛断裂)位于云南省西南部与 缅甸交界地带,是滇西南地区一条规模较大的活动 断裂带,总体呈 NWW 向延伸,性质以右旋走滑为 主。1988年11月6日在滇西南的澜沧县附近曾发 生过一次  $M_{\rm s}$ 7.6 地震,造成了较为严重的人员伤亡 和财产损失。根据前人现场调查结果,黑河断裂是 本次地震的发震构造之一,与 NNW 向的澜沧断裂 共同导致了本次地震的发生[1-4],极震区烈度为[[ 度,位于两条断裂交汇的战马坡一竹塘一带。但是 到目前为止,前人对黑河断裂的研究程度很低,仅限 于对断裂沿线 1988 年澜沧 7.6 级地震地表形变带 及震害特征的研究[5-8],而对该断裂的几何结构、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,缺乏对黑河断裂晚第四纪构 造活动的总体认识。本文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》 (201108001),对该断裂开展了1:5 万地质填图与综 合研究。在填图的基础上归纳总结黑河断裂中西段 晚第四纪构造活动特征。

## 1 断裂基本特征

黑河断裂西起沧源县以南,沿雪林大寨、木戛、战马坡、赛罕、芒弄、南岭、麻栗坝、糯扎渡、三道河一线,东南止于澜沧江断裂,全长约  $168~{\rm km}$ ,走向  $280^\circ$   $\sim310^\circ$ ,倾向 SW 或 NE,倾角  $60^\circ\sim75^\circ$ ,在战马坡村哈卜吗附近与 NNW 向的澜沧断裂相交(图 1)。沿断裂出露有由碎裂岩、糜棱岩及断层泥组成的数百米宽的断层破碎带[1-2]。

黑河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,其组合形式有梭状构造、拉分盆地、挤压隆起、断裂分叉、拐弯和交汇等结构特征。其中断裂拐弯以及 1988 年澜沧 7.6 级地震分段破裂特征构成黑河断裂带分段的主要依据。据此可将该断裂划分为沧源一木戛 $(F_{1-3})$ 、木戛一南代 $(F_{1-3})$ 、南代一勐往 $(F_{1-3})$ 三条次级断裂段(图 1)。

其中黑河断裂西段,即沧源一木戛段西起沧源



F<sub>1</sub>: 黑河断裂; F<sub>2</sub>:汗母坝-澜沧断裂; F<sub>3</sub>:南汀河断裂; F<sub>4</sub>:孟连断裂; F<sub>5</sub>:澜沧江断裂

图 1 黑河断裂及区域构造地质图

Fig. 1 Tectonic map of Heihe fault and its vicinity.

以南,穿过缅甸境内,经雪林大寨,止于木戛盆地北侧;在雪林大寨附近,断裂呈长约 9~km、宽约 1~km 的梭状。该段长约 43~km,走向  $280^\circ \sim 300^\circ$ ,从卫星影像上看该段断裂线性影像极为清晰,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右旋位错等现象。

中段的木戛一南代段西起木戛盆地以南,向 SE 经哈卜吗、战马坡、赛罕村、新铺子、芒弄村岩铁中寨,止于南代村以西,全长约 45 km,走向 300°~310°。该段断裂为 1988 年澜沧 7.6 级地震的主地表破裂带。断裂段在赛罕村以南分为南北两支,北支沿赛罕河北岸止于叶吾坝;南支经新铺子、芒弄村

断续至南代村以西。该段与南代一勐往段连接时走向发生了较大变化(断裂拐弯),由  $310^{\circ}$ 左右变成  $285^{\circ}$ 左右,在南代形成一长约 1 km、宽约 300 m 的 NWW 向挤压隆起(图 1)。

东段的南代一勐往断裂段西起南代村以西,向东经南岭、勐坎、麻栗坝、石狮子、三道河一线,东南止于澜沧江断裂,全长约80km,走向285°~305°。该段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、断层垭口和一系列山脊、冲沟右旋位错等。

我们仅重点对新活动性最为显著的黑河断裂中 西段(图 1 虚线框所示)晚第四纪构造活动特征进行 论述。

## 2 断裂中西段晚第四纪活动表现

#### 2.1 断裂活动的地貌特征

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[9-12]。从卫星影像上看,黑河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:断层沟槽、断层垭口、断错山脊、基岩陡崖、断层陡坎、断陷凹坑、线性山脊(沿断裂走向线性延伸的单薄山脊)以及冲沟右旋等断错地貌。

沿断裂水系位错现象较常见,水系右旋同步位错明显,位错量从几米到数百米不等。在断裂西段(即沧源—木戛段)的缅甸境内,由卫星影像解译可见多种断错地貌,基本上反映出晚第四纪以来不同时期右旋错动的活动状况。断裂错断了一系列山脊和冲沟,沿断层可见反向坎,冲沟、山脊在断层经过处发生同步右旋位错的现象,其中两条长度约 3 km的冲沟分别右旋断错了160 m 和185 m,还可见数条小纹沟被右旋断错,断错量10~20 m(图 2)。

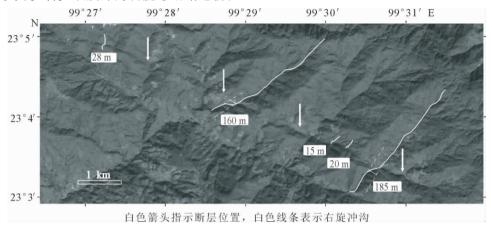


图 2 沧源—木戛段断裂影像(白色箭头指示断层位置,白色线条表示右旋冲沟)

Fig. 2 Alos image showing structural features on the Cangyuan-Muga segment.

在断裂西段(即沧源一木戛段)的雪林大寨附近,断裂在地貌上非常明显,其最新活动使田埂边缘

发生同步右旋位错  $1\sim2$  m,并保存了两条长约 200 m,NW 向、高 0.6 $\sim$ 1.2 m 的断层陡坎(图 3),应为



图 3 雪林大寨附近断层陡坎地貌

Fig. 3 Fault scarplets near Xuelindazgai village.

时代较新的地震地表破裂带。经现场访问当地老乡和对云南省地震局曾参加过 1988 年澜沧 7.6 级地震现场考察的俞维贤研究员核实,上述现象不是1988 年地震陡坎,其时代要早些。1988 年澜沧 7.6 级地震在雪林大寨一带也有零星的地裂缝。

在断裂中段(木戛一南代段)的战马坡村至战马坡桥约3 km段,断错地貌较清晰(图4)。在战马坡村阿卡白附近,为一断层垭口(图4 II点),垭口北望见一断层沟槽,切过中更新世晚期红土的沟槽发生右旋,由卫片测量其右旋量240 m左右(图4 II点)。



图 4 战马坡附近断裂影像图(白色虚线表示右旋冲沟,底图来源于 Google earth) Fig. 4 Fault image near Zhanmapo village.

在图  $4 \parallel \ln h \ln h$ ,为一断裂沟槽,沟槽走向  $305^\circ$ ,宽 10 m 左右,深度大于 2 m,沟槽内有断层泉出露(图 5(a))。断层经过沟槽向 SE 方向延伸,切过一条冲沟使其发生右旋,位错量 80 m 左右(图 5(a)小房子附近)。断裂继续向 SE 方向延伸,地貌上表现为一条长度大于 20 m 的断层陡坎,陡坎走向  $290^\circ$ ,

高  $0.5\sim1$  m(图 5(b))。陡坎 SE 方向不远处,断裂 切过两条全新世小冲沟使其发生同步右旋,右旋量约 12 m 左右(图 5(c)、(d))。在图 4 N 点处,为一条较新鲜的断裂沟槽,沟槽走向  $305^\circ$ ,长 60 m 左右,宽 10 m 左右,沟槽两壁较陡,内有断层泉(图 6)。



图 5 白水井附近断层地貌(图 4Ⅲ点)

Fig. 5 Fault landforms near Baishuijing village (at ∭ point in figure 4).



图 6 黑河断裂断层地貌(黑色箭头指示断层位置)(图 4 Ⅳ点)

Fig. 6 Fault landforms along the Heihe fault(at IV point in figure 4).

在勐糯村采石场附近,断裂通过处地貌上表现为一系列较宽缓的断裂垭口、断陷坑、基岩断崖、断层陡坎、断裂谷地等,在断裂谷地下部为一断裂破碎

带,破碎带由黑色断层泥及少量角砾组成。该谷地向南,可见多条冲沟被右旋断错,断错量从十几米到几十米不等,其中一典型纹沟断错  $13\pm1$  m(图 7)。



图 7 勐糯村采石场附近断层地貌(镜像北西)

Fig. 7 Fault landforms near Mengnuo village.

在勐糯村西,黑河南西岸的东倾山坡上可见一条清晰的反向断裂沟谷(坡中谷),沟谷由一系列山脊的鞍形地貌、槽地组成。在该段山坡上,断裂经过处山脊、冲沟发生右旋断错。另外,在断裂槽地内,可见多级断层陡坎,最低一级陡坎高 0.5 m 左右。

在断裂中段(木戛一南代段)的战马坡村白水井公社小上河南坡还残留了多条 1988 年澜沧 7.6 级地震的裂缝带。其中一条地裂缝走向约 325°,长 40 m 左右,断错田埂,由于地形效应形成高约 0.8 m 的陡坎,陡坎倾向北东;另一条地裂缝走向 320°左

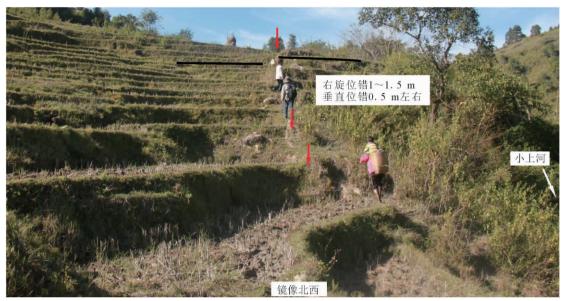
右,长约 30 m,沿该裂缝可见多条田埂被一致性地右旋断错,最大右旋断错量 1.5 m 左右,垂直断错量 0.3 m 左右,陡坎倾向 SW(图 8)。

由上述断错地貌可见,黑河断裂中西段晚第四纪,尤其是全新世新活动明显,除了 1988 年澜沧7.6 级地震形变带外,最小的位错值约 10 m 左右,并形成低矮的断层陡坎。

## 2.2 断裂活动的地质证据

沿断裂考察,发现多处断裂新活动的地质剖面。 如在雪林大寨一条跨断层的冲沟两侧侧断裂谷地

内,在被断错的田埂边缘(见图3),垂直断层陡坎走 向方向清理出两个断层剖面,其中一个剖面的岩性 特征如下(图 9):



白水井附近 1988 年地震陡坎

Fig. 8 Seismic scarplet formed by Lancang earthquake in 1988 near baishuijing village.

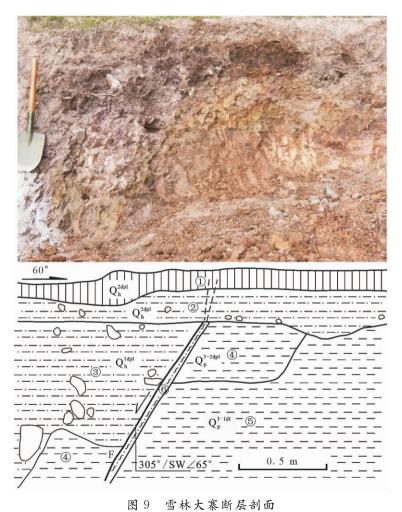


Fig. 9 The fault profile near Xuelindazai village.

- ① 地表耕作土层,厚  $15\sim30~\text{cm}$ ;
- ② 褐色砂质土层,含少量碎石,厚  $15\sim50$  cm;
- ③ 灰褐色砂土层,含较多碎石,厚度大于1 m;
- ④ 黄至黄绿色粘土,厚 0.5 m 左右;
- ⑤ 暗红色粘土,厚度大于1 m;
- ⑥ 黄绿色断层泥,厚5 cm 左右。

上述地层应为近地表的晚更新统一全新统坡积 和低洼地带的淤积物。

在剖面上,断层产状  $305^{\circ}/SW \angle 65^{\circ}$ ,断层表现一定的正断分量,断裂切穿黄至黄绿色粘泥层(④层),垂直错距大于 0.5~m,仅其上覆厚约 0.4~m 的褐色砂土层(②层)及表土层(①层)未被错动,表明

其最新断错的活动时代介于层②和层③,而 1988 年 澜沧 7.6 级地震中在剖面上可隐约见裂缝发育,延至地表。在层②底部采集的<sup>14</sup> C 样品,经测试为现代沉积(很可能受该区植被茂密、雨水较多,加之耕种等的影响),表明其年代很新。沿断面可见清晰的断层泥,黄绿色,新鲜,呈松软状态,厚 5 cm 左右,断层泥在第四纪断层中比较少见[13],且经考察不是地下水软化作用的结果。根据断层泥新鲜程度及胶结状态判定,断层的活动时代为全新世晚期。

在雪林大寨东侧的雪林中寨一地埂子后缘(参见图3)剥露出另一个断层剖面(图10),其岩性特征为:

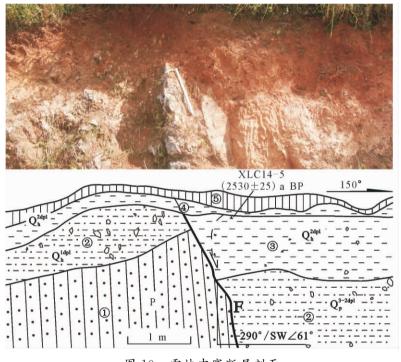


图 10 雪林中寨断层剖面

Fig. 10 The fault profile near Xuelinzhongzai village.

- ① 二叠系砂岩,风化程度较高,未见底;
- ② 浅黄色含砾砂土层,厚度大干1 m;
- ③ 灰红色含砾粉土层,厚  $1 \sim 1.5 \text{ m}$ ;
- ④ 暗红色粉十层,厚 10~20 cm;
- ⑤ 表土层,厚 10~20 cm。

其中层②一⑤应为近地表的晚更新统一全新统 残坡积物。

在这个剖面中,由于断层作用使得二叠纪砂岩与第四纪砂土层、粉土层直接接触,断层产状  $290^\circ/$   $SW \angle 61^\circ$ ,断层新活动断错了层①  $\sim$  ③,而被上覆的层④、⑤所覆盖,未被断错,因此,其有断错位移的构造事件的时间介于层③和层④之间。被错段的含砾粉土层(③层) $^{14}$  C 树轮校正年龄为  $2530\pm25$ 

a B. P. ,表明断层全新世晚期以来有过活动。在剖面上可隐约见 1988 年澜沧 7.6 级地震形成的裂缝。断面上近水平的擦痕较明显,侧伏角 8°左右,说明黑河断裂以水平运动为主的性质,断面上阶步指示断裂的右旋运动。

## 2.3 断裂滑动速率的确定

断裂走滑活动会使跨越断裂的地质体、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[14]。黑河断裂带通过处,沿线一系列冲沟、山脊、地质体等发生右旋位错,并在一些地貌面上形成陡坎,表明断裂最新的构造活动以右旋走滑为主,兼具倾滑分量,这些现象与断层剖面中所表现出的黑河断裂运动性质相符。

在断裂中段的战马坡村白水井一带断错地貌较清晰,由于断层的右旋运动,使得小上河南西岸的东侧山坡上 4 条小冲沟发生同步右旋位错,位错量 9  $\sim 14$  m 不等。这些小冲沟规模相当,长 300 m 左右,其成因与季节性洪水有关,因形成时间较晚,尚未发育阶地等伴生地貌,属于纹沟级别的小冲沟(图 11 ,图 5(c) 、(d) )。该山坡面的沉积物由现代坡洪积物组成,其下部为黄色坡洪积砾石,粒径小,一般  $2\sim 5$  cm,多呈棱角状;上部为土黄色至红色粉土、粘土层,内含植物根系及少量碎石。在山坡面上,由于季节性洪水作用发育有一系列小冲沟。由于冲沟的

形成及雨水的作用,在土黄色至红色粉土、粘土层上,地势低洼地带沉积了黑褐色粘土层。野外分析认为该冲沟形成之时就是这层黑褐色粘土层发育之时,那么冲沟发生位错的起始年龄应该在下部土黄色至红色粉土、粘土层和上部黑褐色粘土层的年龄之间。若选用土黄色至红色粉土、粘土层顶部 $^{14}$  C 树轮校正年龄  $^{4190\pm40}$  a B. P. ,则得到其最小滑动速率为  $^{2}$   $^{75\pm0}$  .  $^{62}$  mm/a; 若选用黑褐色粘土层底部 $^{14}$  C 树轮校正年龄  $^{2665\pm25}$  a B. P. ,则得到最大滑动速率为  $^{4}$  .  $^{32\pm0}$  .  $^{98}$  mm/a; 其全新世以来综合右旋滑动速率大致为  $^{3}$  .  $^{54\pm0}$  .  $^{78}$  mm/a(图  $^{12}$ )。

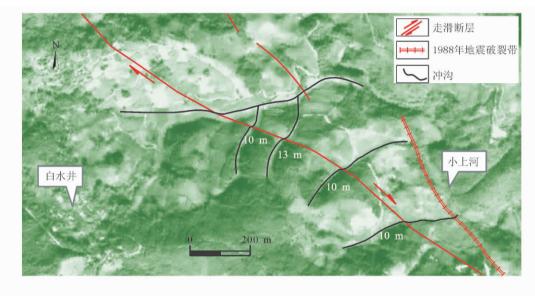


图 11 白水井附近断裂影像图

Fig. 11 Alos image showing structural features near Baishuijing village.

区域上黑河断裂位于红河断裂以西的滇西南、 滇西地区,该区内发育有 NE-NEE 和 NW-NNW 向两个方向的断裂。在 SW-NE 向挤压构造应力 场的作用下[15-16],这些 NE-NEE 向的走滑断裂均 以左旋水平滑动为主[17-18],而 NW-NNW 的断裂 则以右旋水平滑动为主。该区内的 NE 向断裂多为 继承性活动断裂,相对于区内 NW、NNW 向活动断 裂的晚第四纪活动速率偏小[19-20]。如 NE 向的大盈 江断裂晚更新世以来北东段左旋滑动速率为 1.5~ 2.5 mm/a,南西段左旋滑动速率为  $1.2 \sim 1.6 \text{ mm/a}$ a<sup>[13,21]</sup>; NE 向的龙陵—瑞丽断裂(南支)北段晚更新 世以来左旋滑动速率为 2.2 mm/a,全新世以来左 旋滑动速率为  $1.8\sim3.0 \text{ mm/a}^{[19-20]}$ ,而 NW 向的红 河断裂晚更新世以来右旋滑动速率南段为 3.5 ± 1.5 mm/a<sup>[22]</sup>,北段为 3.3 mm/a<sup>[23]</sup>;NW 向腾冲— 澜沧断裂带晚更新世以来右旋滑动速率为 4~6  $mm/a^{[24-25]}$ 。由此可见本文所得到黑河断裂北西段全新世以来  $3.54\pm0.78$  mm/a 的右旋滑动速率与该区域主要断裂的滑动速率大致吻合,反映了其区域构造活动的整体性和协调性。但是本研究结果比王阎昭等 $[^{26]}$  利用 GPS 观测资料反演得到的 $\sim7$  mm/a 和 Shen et al $[^{27]}$ 得到的 $\sim6$  mm/a 的滑动速率要低一些。其原因可能是本研究得到的是时间尺度较长的地质滑动速率,而王阎昭等 $[^{26]}$ 和 Shen et al $[^{27]}$ 得到的是现今的运动速率,二者因时间长度的不同可能会存在一定的差异。

#### 3 结论

(1) 黑河断裂为一条规模较大的区域性活动断裂带,晚第四纪新活动性具有一定的差异性和分段性。其中该断裂的中西段晚第四纪以来活动明显,其活动性质以右旋走滑为主。断裂沿线线性影像较

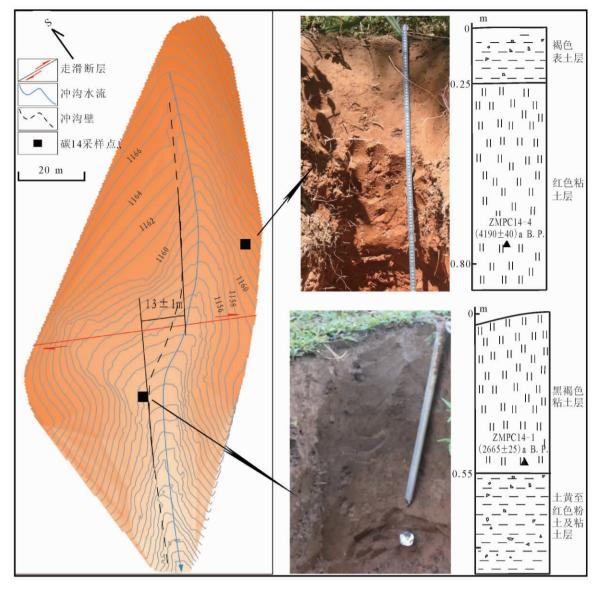


图 12 白水井附近差分 GPS 测图和14 C 采样剖面

Fig. 12 GPS maping on the valley offset near Baishuijing village and <sup>14</sup>C sampling profile.

清晰,断裂通过处地貌上有明显的反映,其表现形式主要有:断层沟槽、断层垭口、断错山脊、基岩陡崖、断层陡坎、断陷凹坑以及冲沟右旋等断错地貌。

- (2) 沿断裂考察发现,黑河断裂中西段断错了一系列小纹沟,并使穿过断层的田埂等发生同步右旋并形成 $\sim 1~\mathrm{m}$  的小陡坎。探槽揭露断裂最新活动断错了全新统上部地层,而且在断面上可见清晰呈松散状的新鲜断层泥,说明黑河断裂的活动时代应为全新世晚期。
- (3) 断裂沿线一系列冲沟、山脊等的右旋位错及断面上的擦痕说明了黑河断裂北西段以右旋运动为主的特征,其全新世以来右旋滑动速率为 3.54 ± 0.78 mm/a,与区域上其它断裂的滑动速率大致相当,反映了其新活动与区域构造活动的整体性和协

调性。

文中<sup>14</sup>C 样品由北京大学第四纪年代测定实验 室测定,在此一并致谢。

#### [参考文献]

- [1] 毛玉平,张俊昌. 澜沧一耿马地震发震构造初步研究[J]. 地震研究, 1991,14(1):9-15.
  - MAO Yu-ping, ZHANG Jun-chang. Preliminary Analysis on the Seismogenic Tectonics of the Nov. 6,1988, Lanchang Gengma Earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 1991,14(1):9-15.
- [2] 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 Sequence and Earthquake-generating Tectonics of Lanchang —

- Gengma Earthquakes of 1988[J]. Northwestern Seismological Journal, 1991, 13(1); 57-62.
- [3] 王凯,高莉萍,姚振兴,等. 澜沧—耿马地震的震源机制研究 [J]. 地球物理学报,1991,34(5):569-580. WANG Kai, GAO Li-ping, YAO Zhen-xing, et al. Souce Mechanism of the 1988 Lanchang—Gengma China Earthquake
- [4] 俞维贤,周瑞琦,侯学英,等. 澜沧一耿马地震的成因机制[J]. 地震学报,1994,16(2):160-166.

[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1991, 34(5): 569-580.

YU Wei-xian, ZHOU Rui-qi, HOU Xue-yin, et al. Genetic Mechanism of the Lanchang — Gengma Earthquake[J]. Acta Seismological Sinica, 1994, 16(2):160-166.

- [5] 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):344-353. WANG Hui, QIANG Zu-ji, YUAN Zhu-zhong, et al. The Distribution of Seismic Intensities and Surface Rupture in the Lanchang—Gengma Earthquakes of November 6,1988[J]. Earthquke Science,1991,13(3):344-353.
- [6] 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, CAI Tian-jun, HOU Xue-yin, et al. Defomation Zone of M<sub>S</sub>7.6 Lanchang Earthquake[J]. Seismology and Geology,1991,13(4):343-352.
- [7] 俞维贤,侯学英,周瑞琦,等.澜沧一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-yin, ZHOU Rui-qi, et al. Charateristic Surface Ruptures of Lancang—Gengma Earthquake[J].

  Journal of Seimological Research,1991,14(3):203-214.
- [8] 谷一山,周瑞琦,俞维贤,等. 1988年11月6日澜沧—耿马地震灾害[J].灾害学,1990,1:53-60.
  GU Yi-shan, ZHOU Rui-qi, YU Wei-xian, et al. The Earth-quake Disasters in Lancang—Gengma Eatthquake on Nov. 6, 1988[J]. Journal of Catastrophology,1990,1:53-60.
- [9] 李祥根.中国新构造运动概论[M].北京:地震出版社,2003. LI Xiang-gen. An Introduction to Neotectotonic Movement in China[M]. Beijing; Seismological Press, 2003.
- [10] 卢海峰,马保起,于盛锷,等. 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, 2006, 29(2): 147-155.

  LU Hai-feng, MA Bao-qi, YU Guang-xun, et al. Characteristics of the Neotectonic Movement of the NEE-striking Fault Belt North of Wen County, Gansu[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(2): 147-155.
- [11] 卢海龙,胡小猛,吴洁利,等. 地貌沉积学方法在活断层研究中的应用[J]. 西北地震学报,2012,34(2):192-198.

  LU Hai-long, HU Xiao-meng, WU Jie-li, et al. Summary on the Sedimentary-geomorphologic Method Used in the Study of Active Faults[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012,34(2):192-198.
- [12] 刘小丰,高红山,刘洪春,等. 河流阶地研究进展评述[J]. 西 北地震学报,2011,33(2):195-200. LIU Xiao-feng, GAO Hong-shan, LIU Hong-chun, et al. Review on Research Progress of River Terrace[J]. North-

- western Seismological Journal, 2011, 33(2):195-200.
- [13] 常祖峰,陈刚,余建强,等. 大盈江断裂晚更新世以来活动的地质证据[J]. 地震地质,2011,33(4):877-888.

  CHANG Zu-feng, CHEN Gang, YU Jian-qiang, et al. Geological Evidence of Activity along the Dayingjiang Fault since Late Pleistocene[J]. Seismology and Geology,2011,33(4):877-888.
- [14] 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.

  SONG Fang-min, YU Wei-xian. Preliminary Study of the Inner Shear Structures in the Compressional Step Over of Strike-slip Fault Zone[J]. Seismology and Geology,1998,20 (4):343-348.
- [15] 崔效锋,谢富仁,张红艳.川滇地区现代构造应力场及动力学意义[J].地震学报,2006,28(5):451-461.

  CUI Xiao-feng, XIE Fu-ren, ZHANG Hong-yan. Recent Tectonic Stress Field Zoning in Sichuan—Yunnan Region and Its Dynamic Interest[J]. Acta Seismological Sinica,2006,28 (5):451-461.
- [16] 钱晓东,秦嘉政. 刘丽芳. 云南地区现代构造应力场研究[J]. 地震地质,2011,33(1):91-95.

  QIAN Xiao-dong, QIN Jia-zheng, LIU Li-fang. Study on Recent Tectonic Stress Field in Yunnan Region[J]. Seismology and Geology,2011,33(1):91-95.
- [17] Anne Socquet, Manuel Pubellier. Cenozoic Deformation in Western Yunnan (China Myanmar Border) [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 24:495-515.
- [18] Morley C K. Variations in late Cenozoic-recent Strike-slip and Oblique-extensional Geometries, within Indochina: The Influence of Pre-existing Fabics[J]. Journal of Structural Geology, 2007, 29:36-58.
- [19] 黄学猛、杜义、舒赛兵、等. 龙陵一瑞丽断裂(南支)北段晚第四 纪活动性特征[J]. 地震地质、2010、30(2): 222-232. HUANG Xue-meng, DU Yi, SHU Sai-bing, et al. Study of the Late Quaternary Slip Rate along the Northern Sengment on the South Branch of Longling—Ruili Fault[J]. Seismology and Geology, 2010、30(2):222-232.
- [20] 杜义,张效亮,黄学猛,等. 龙陵一瑞丽断裂北段晚第四纪活动性特征及强震复发间隔[J]. 震灾防御技术,2012,7(3):215-226.

  Du Yi, Zhang Xiao-liang, Huang Xue-meng, et al. Strong Earthquake Occurrence Interval along Longling—Ruili Fault and Its Late Quaternary Activity[J]. Technology for Earth-
- quake Disaster Prevention,2012,7(3):215-226.

  [21] 安晓文,常祖峰,石静芳. 大盈江断裂西南段晚第四纪活动研究术[J]. 地震研究,2009,32(2):193-197.

  AN Xiao-wen, CHANG Zu-feng, SHI Jing-fang. Investigation of Late Quaternary Activity along the Southwestern Segment of the Dayingjiang Fault[J]. Journal of Seismological Research,2009,32(2):193-197.
- [22] 云南省地震局. 一九九六年丽江地震[M]. 北京:地震出版 社,1998:188.

- Earthquake Administration of Yunnan Province. The Lijiang Earthquake of 1996[M]. Beijing: Seismological Press,1998: 188
- [23] 虢顺民,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.
  - GUO Shun-min, JI Feng-ju, XIANG Feng-fa, et al. The Honghe Fault Belt[M]. Beijing: Seismological Press, 2001: 1-172.
- [24] 向宏发,徐锡伟,虢顺民,等. 滇西地区 2 组交叉型活动断裂及 其地震地质意义[A]//中国地震局地质研究所编. 活动断裂 研究(7)[G]. 北京:地震出版社,1999:81-87.
  - XIANG Hong-fa, XU Xi-wei, GUO Shun-min, et al. Two Intersectional Active Fault Zones and Its Seismological Implication in West Yunnan[A]//Institute of Geology, CEA(ed). Research on Active Fault (7) [G]. Beijing: Seismological Press, 1999:81-87.
- [25] 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.
- XUE Xi-wei, WEN Xue-ze, ZHENG Rong-zhang, et al. Present-day Motion Features and Dynamics of Active Blocks of Sichuan Yunnan Prowince[J]. Science in China (Series D), 2003,33(supp.):151-162.
- [26] 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):82-597.
  - WANG Yan-zhao, WANG En-ning, SHEN Zhen-kang, et al. GPS-constrained Inversion of Present-day Slip Rates along Major Faults in Sichuan Yunnan Prowince[J]. Science in China(Series D), 2008, 38(5):82-597.
- [27] Shen Z K, Lv J, Wang M, et al. Contemporary Crustal Deformation Around the Southeast Borderland of the Tibetan Plateau[J]. J. Geophys. Res., 2005, 110; B11409, doi: 10. 1029/2004JB003421.