

德钦—中甸—大具断裂晚第四纪活动的地质与地貌表现^{*}

常祖峰¹, 张艳凤¹, 李鉴林¹, 臧 阳²

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南大学, 云南 昆明 650091)

摘要: 根据野外地质、地貌调查结果, 重点论述了德钦—中甸—大具断裂的几何展布、运动性质和最新活动时代。该断裂多处断错了晚更新世及全新世地层, 具明显的右旋走滑兼正断性质, 最新活动时代为晚更新世至全新世, 水平滑动速率为 $1.7 \sim 2.0 \text{ mm/a}$, 垂直滑动速率为 $0.6 \sim 0.7 \text{ mm/a}$ 。该断裂是川滇菱形块体西北边缘的一条重要的 NW 向走滑断裂, 它与金沙江断裂带一起, 共同构成了川滇菱形块体西北边界。

关键词: 活动断裂; 晚第四纪; 滑动速率; 德钦—中甸—大具断裂

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)01-0046-07

0 引言

德钦—中甸—大具断裂位于青藏高原东南隅横断山脉的三江地区, 处于川滇菱形块体的西北边界, 走向北西, 横切近南北向的金沙江断裂带。

青藏高原自形成以来始终受到近南北向的挤压作用, 表现为向北推移、缩短加厚和向东挤出三种主要的运动形式。已有研究表明, 青藏高原向东挤出导致了川滇菱形块体的形成和南东方向逃逸(马宗晋等, 2001)。川滇菱形块体的东北边界是鲜水河—小江断裂带, 西南边界是红河断裂带, 西北边界是金沙江断裂带(李坪, 汪良谋, 1975)。鲜水河—小江断裂带以左旋走滑为特征, 滑动速率可达 $10 \sim 15 \text{ mm/a}$ (Allen *et al.*, 1989; 闻学泽, 1990)。红河断裂带是一条右旋走滑断裂, 其晚第四纪滑动速率可达 $7 \sim 8 \text{ mm/a}$ (虢顺民等, 2001; 陈文寄等, 1996; 向宏发等, 2004; Leloup *et al.*, 1995, 1993; Tapponnier *et al.*, 1990)。金沙江断裂曾是一条多期活动的缝合线构造, 具有明显的挤压性质(许志琴等, 1992), 因受到青藏高原向东挤出运动的影响, 又表现出明显的走滑运动, 但在上新世期间(4.7 Ma)其位移性质发生了从早期的左旋运动变为右旋运动的转变(许志琴, 崔军文, 1997), 断裂北段的第四

纪右旋走滑速率为 5 mm/a (唐荣昌, 韩渭滨, 1993)。上述研究更多地注重了历史上发生过大震的边界断裂的活动特征, 从大的区域构造格局探讨了断裂带的演化历史和构造变形机制, 但对同样位于西北边界附近的德钦—中甸—大具断裂的研究较少, 关于该断裂的运动性质也存在着左旋和右旋的争议。沈军等(2001)曾分析研究了该断裂的第四纪右旋走滑运动特征和滑动速率, 但缺乏更多直接的测年数据。本文根据野外地质、地貌和第四纪盆地等调查结果, 重点分析研究该断裂晚第四纪活动的地质和地貌证据, 结合年代学测年数据, 估算其滑动速率, 进而探讨其在区域构造运动中的地位和作用。

1 地质背景

德钦—中甸—大具断裂北西起于德钦以西的热水塘一带, 向东经由德钦、奔子栏、尼西、中甸、哈巴—玉龙雪山北麓, 止于大东一带, 长约 220 km, 总体走向 $310^\circ \sim 330^\circ$, 主体倾向北东, 局部倾向南西(图1)。断裂附近发生过 1966 年小中甸 6.4 级地震和 2013 年奔子栏 5.9 级地震等多次中强地震。

断裂所处的大地构造部位为松潘—甘孜褶皱带。该地槽褶皱带古生代为稳定的地台型沉积环

^{*} 收稿日期: 2013-09-19.

基金项目: 中国地震局地震行业科研专项(201108001)资助.

境,晚二叠世至三叠纪表现为强烈拗陷,以优地槽型沉积建造为主,并伴随发生强烈基性火山喷发活动。晚三叠世全面褶皱回返,转化为印支褶皱系。喜马拉雅运动主要表现为挤压褶皱和隆起。本区新构造运动强烈,主要表现为强烈的升降运动和块断运动。区域内平均海拔在4 000 m以上,由近南北走向的高山、高原组成,为整体抬升背景下差异运动强烈的地区,如哈巴雪山海拔5 396 m,玉龙雪山海拔5 596 m,巴拉格宗雪山海拔5 545 m,而金沙江海拔仅1 800 m左右,垂直高差达3 500 m以上,沿金沙江发育而成深切峡谷,形成虎跳峡等著名高山峡谷地貌。

断裂西北与澜沧江断裂带相接,东南毗邻丽江—小金河断裂和丽江—大具断裂,中段与金沙江断裂、格咱—乡城断裂等相交。断裂形成于加

里东期之后经历多次构造运动。从该地区断裂交切关系判断,在新构造运动时期前,断裂表现为明显的左旋走滑运动形迹,切错了金沙江断裂、格咱—乡城等若干南北向断裂和地层界线,而新构造活动特征显示,断裂表现出明显的右旋走滑兼张性正断性质。该断裂是川滇菱形块体西北边缘的一条重要的NW向走滑断裂,起着调节高原物质向南东运动的作用。

2 断裂晚第四纪活动的地质、地貌证据

2.1 断裂对第四纪盆地的控制

德钦—中甸—大具断裂位于高山地区,第四系发育零星,但沿断裂仍发育有串珠状的第四纪

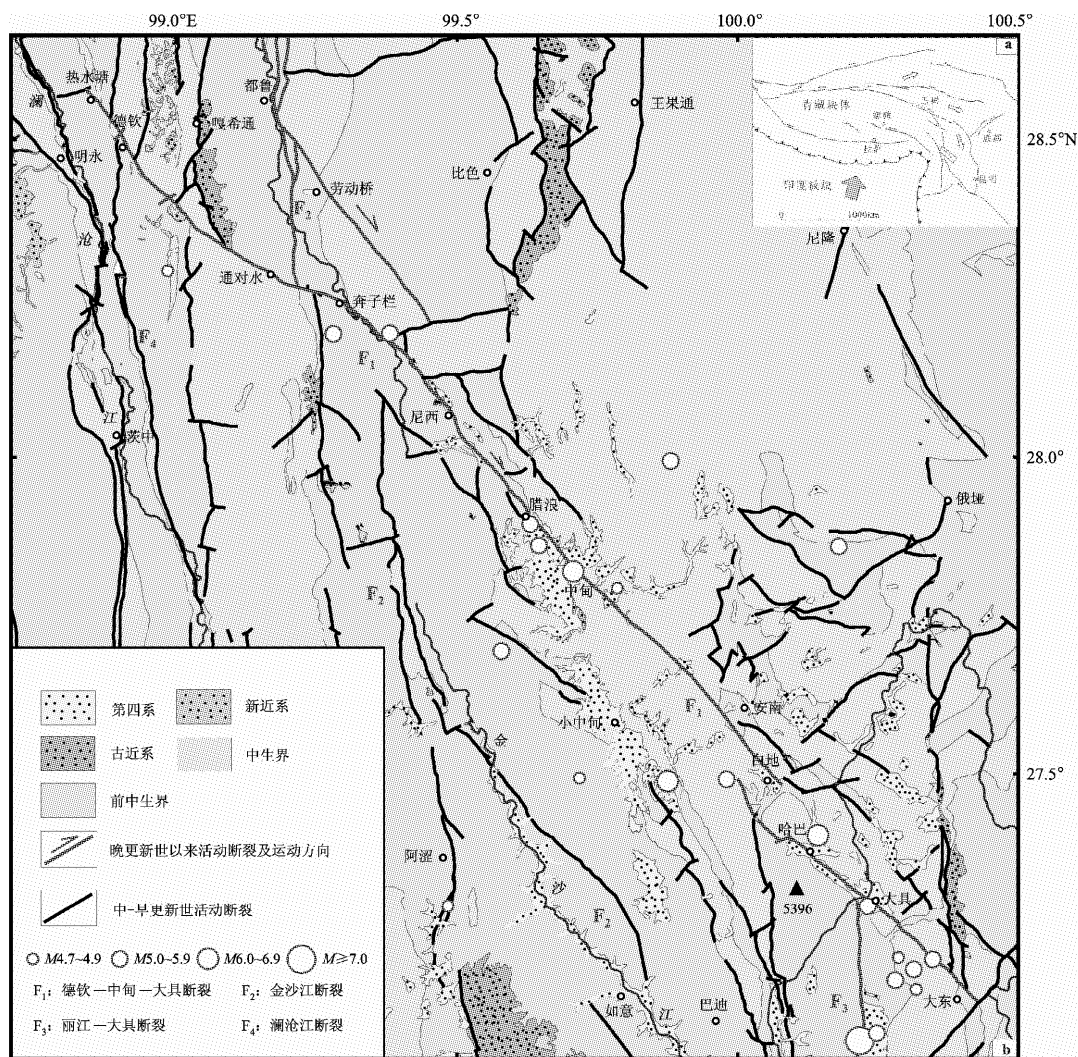


图1 德钦—中甸—大具断裂及邻区地震构造图

Fig. 1 Seismotectonic map of the Deqin-Zhongdian-Daju Fault and its adjacent area

盆地,断裂控制着奔子栏、中甸、哈巴、大具等第四纪盆地的边界(图1)。根据古学幅1:20万地质图和野外第四纪调查结果,断裂控制了拱卡西中更新世地层的发育(图2),并将拱卡东中更新世地层右旋位错80 m。三家村西断裂将金沙江支流右旋位错1 200 m,同时将第四纪盆地中的中更新世地层右旋位错400 m。页卡盆地为上新世以来沿断裂形成的晚新生代断陷盆地,上新世以来的地层呈长条状沿断裂走向分布,严格受制于断裂展布,中更新世地层被断层右旋位错约530 m。

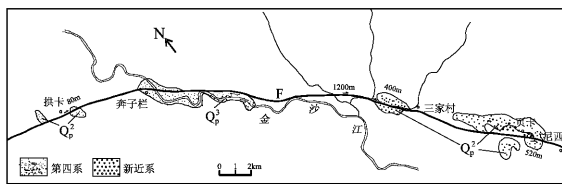


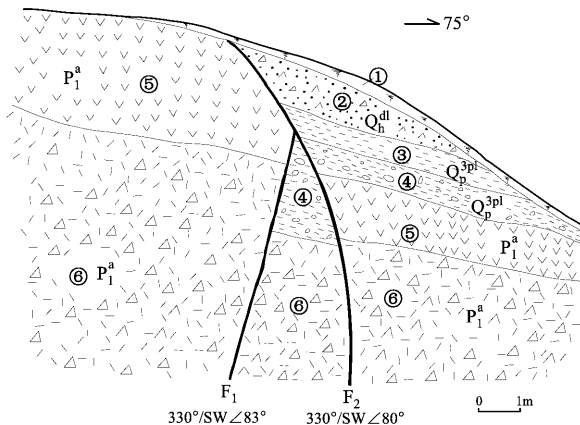
图2 奔子栏—尼西段断裂与盆地分布图

Fig. 2 Geometry of fault and basins from Benzilan to Nixi

2.2 第四系断错剖面

2.2.1 通对水北西3 km 断层剖面

通对水北西3 km 断层剖面图显示(图3),有2条断层发育于二叠纪火山角砾岩和安山岩中,产状分别为 $330^{\circ}/\text{SW} \angle 83^{\circ}$ 和 $330^{\circ}/\text{NE} \angle 80^{\circ}$,上部为上更新统灰绿色松散状洪积相含砾粘土、灰绿色粘土以及全新统灰黄色松散坡积层,断层断错了上部上更新统及全新统地层,表明断层在晚更新



① 现代壤土层; ② 灰黄色含角砾砂土; ③ 灰绿色粘土;
④ 灰绿色含砾石粘土; ⑤ 安山岩; ⑥ 灰绿色火山角砾岩

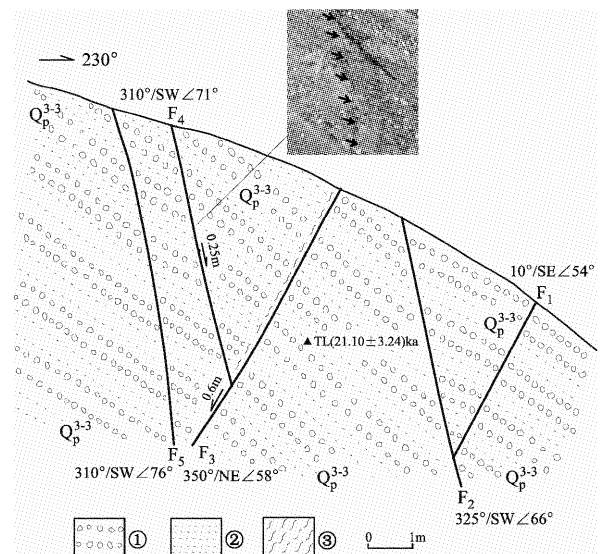
图3 通对水北西3 km 断层剖面图

Fig. 3 Cross section of the fault in 3 km from northwest of Tongduishui

世至全新世有过活动。

2.2.2 奔子栏金沙江Ⅱ级阶地断层剖面

在奔子栏金沙江Ⅱ级阶地上发育有第四纪断层(图4)。剖面上可见5条断层发育, $F_1 \sim F_5$ 产状分别为 $10^{\circ}/\text{SE} \angle 54^{\circ}$ 、 $325^{\circ}/\text{SW} \angle 66^{\circ}$ 、 $350^{\circ}/\text{NE} \angle 58^{\circ}$ 、 $310^{\circ}/\text{SW} \angle 71^{\circ}$ 和 $310^{\circ}/\text{SW} \angle 76^{\circ}$,断错了Ⅱ级阶地砾石和中细砂层,砂层热释光年龄为 (21.10 ± 3.20) kaB. P.,为晚更新世晚期堆积。 F_3 和 F_4 表现为明显的正断层性质,错距分别为0.6 m和0.25 m。



① 灰色砾石; ② 灰色中细砂; ③ 片理化带

图4 奔子栏加油站断层剖面图

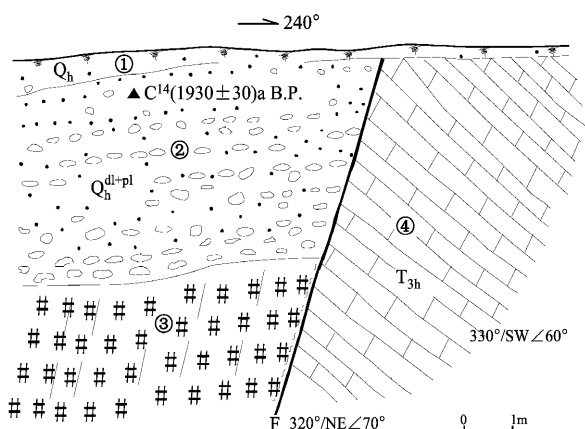
Fig. 4 Cross section of the fault at Gas station near Benzilan

2.2.3 中甸盆地东南缘断层剖面

在中甸盆地东南边缘见断层发育于三叠纪灰岩之中,断层上部全新统坡积层与灰岩呈正断层接触,断层面清晰,有新鲜的斜向擦痕和断层泥发育,坡积层中灰黑色炭粒经14C测年,形成年龄为 (1930 ± 30) aB. P.,属于全新世堆积,表明在全新世断层有过活动。

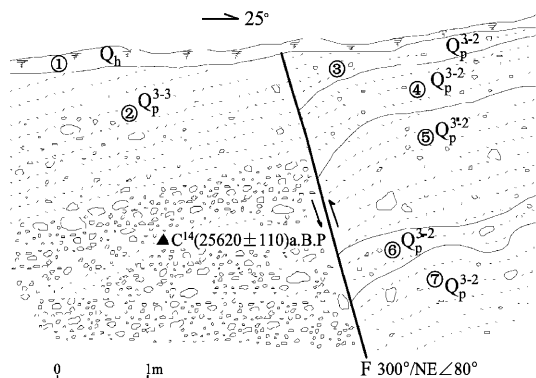
2.2.4 永壳村附近断层剖面

在大具盆地西部的永壳村附近发育多个断层剖面。图6为永壳村东南500 m第四纪断层剖面,断层上盘为中更新统含砾石砂层,下盘为上更新统含砂砾石层(含贝壳),贝壳14C年龄为 (25620 ± 110) aB. P.,属晚更新世堆积,表明断裂在晚更新世晚期曾有明显活动。



- ① 灰黑色现代壤土层；② 灰黄色坡洪积含砂砾石层；
③ 碎裂岩、角砾岩及含断层泥；④ 三叠纪灰岩

图5 中甸盆地东南缘第四纪断层剖面
Fig. 5 Cross section of the Quaternary fault at southeast margin of Zhongdian basin



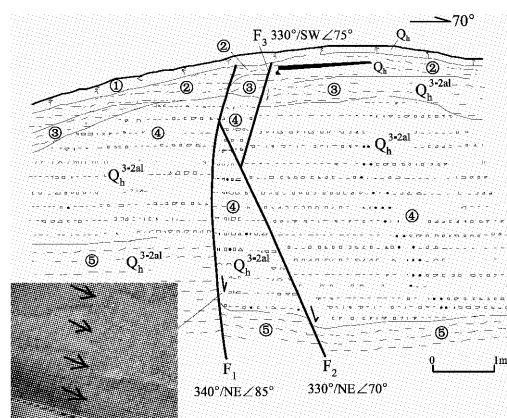
- ① 现代壤土层；② 灰黄色含砂砾石层；③ 灰色含砾石砂土；④ 黄色含砾石砂土；⑤ 灰色含砾石砂土；
⑥ 灰黄色含砾石砂土；⑦ 灰色含砾石砂土

图6 永壳村南东 500 m 断层剖面
Fig. 6 Cross section of the fault in 500 m from southeast of Yongqiao Village

永壳村南 1 000 m 剖面上发育多条断层，断错了金沙江Ⅲ级阶地沉积，下部为中更新统河流相堆积，上部为全新统湖相粘土层和现代壤土层，断层层断错了下部河流相堆积和上部湖相粘土层，但顶部壤土层未断错。湖相粘土层中采集的炭粒经美国 Beta 试验室 14C 测试，年龄为 $(7\ 040 \pm 40)$ a.B. P.，属于全新世。下部中更新统粘土位错 1.2 m 左右，表现为正断层性质（图 7）。

2.3 断错地貌与晚第四纪活动性质

在地貌上，断裂新活动特征显著。沿断裂表现为定向排列的断层三角面，单薄的线性山脊，



- ① 现代耕植土；② 灰白色粘土；③ 褐黄色粘土；
④ 灰色含砂砾石；⑤ 褐色粘土

图7 永壳村南 1000 m 断层剖面
Fig. 7 Cross section of the fault in 1 000 m from south of Yongqiao Village

平直的断层槽地等。在断裂沿线恩努、汤堆（图 8a）、哈巴村、白芒雪山垭口等地，表现为平直的断层槽地；共比村附近发育一系列定向排列的三角面（图 8b）；书松北西线性山脊发育。

在奔子栏—拱卡一带，断裂将多个第四纪盆地位错 80 ~ 530 m（图 2），充分说明了断裂的右旋走滑特征。野外调查发现，拱卡一带有多条冲沟右旋位错 10 ~ 20 m（图 8c），哈巴村附近金沙江支流被断层右旋位错约 (440 ± 20) m（图 8d），大具盆地金沙江被右旋断错 (100 ± 5) m。哈巴雪山北麓恩努村一带发育有多个冰水扇（图 9），扇体下部物质主要为棱角状、次棱角状砾石和亚粘土组成，胶结紧密（俗称“类混凝土”），上部为现代洪积层覆盖。这些冰水扇上发育有高 14 ~ 18 m、连通性很好的断层陡崖，同时沿断层走向多个冰水扇被右旋位错 200 ~ 230 m。这些冰水扇位于金沙江Ⅳ级阶地以上，从地貌部位和组成物质胶结程度分析，其堆积时代与Ⅴ级阶地形成年代相当，估计为中更新世。

此外，据中甸盆地东南缘、尼西、奔子栏等地野外调查结果，断层面上新鲜的擦痕侧伏角 50° 左右，大多表现为正—倾滑运动性质。结合第四纪断层露头剖面的正断特征，认为该断裂右旋走滑为主兼有正断分量。1966 年小中甸 6.4 级地震（宏观震中位于哈巴村北告湾一带）和 2013 年奔子栏 5.9 级地震的震源机制解也显示该断裂具有走滑兼正断性质。

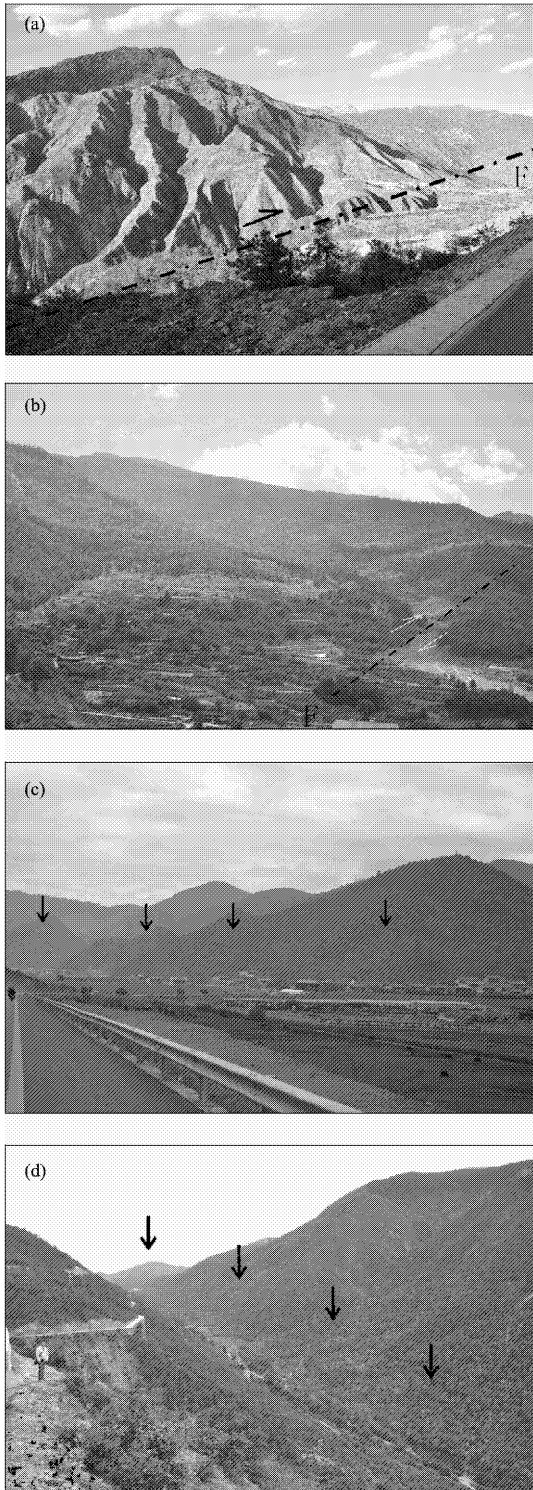


图8 断层地貌

(a) 拱卡村冲沟位错; (b) 哈巴村水系位错; (c) 共比村定向排列的三角面; (d) 汤堆附近断层槽地

Fig. 8 The fault landforms along the fault zone

(a) gully dislocation of Gongka Village; (b) river dislocation of Haba Village; (c) fault facet in direction agangement of Gongbi Village; (d) fault trough nearby Tangdui

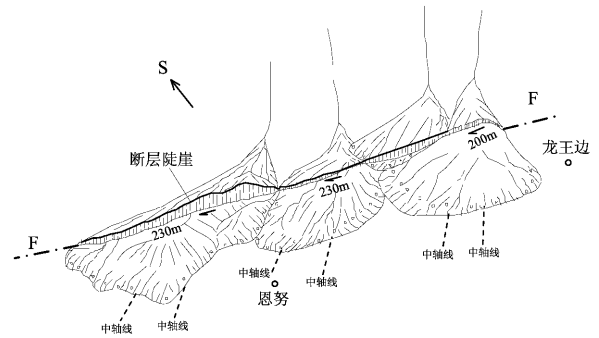


图9 恩努村冰水扇右旋位错

Fig. 9 The dextral dislocation of aqueoglacial fans along the fault at Ennu Village

哈巴盆地金沙江二级支流阶地有明显的位错迹象 (图 10), 其中, I 级阶地水平位错不甚明显, II 级阶地水平位错 10 m, 垂直位错 3.5 m; III 级阶地水平位错 15 m, 垂直位错约 5 m。II 级阶地上部 1 m 左右采集到 ^{14}C 样品, Beta 实验室测试结果为 $(4\,850 \pm 60)$ aB. P., 此年龄为阶地形成年龄, 据此估计阶地形成年龄为 5 000 ~ 6 000 aB. P.。依据阶地形成年龄和位错量估算, 全新世以来断裂的水平右旋滑动速率为 1.7 ~ 2.0 mm/a, 垂直滑动速率为 0.6 ~ 0.7 mm/a。

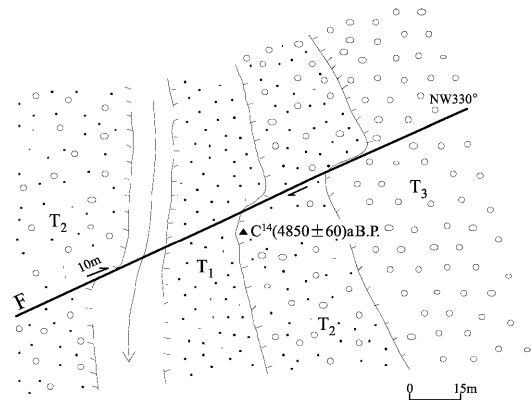


图10 哈巴村小河阶地右旋位错

Fig. 10 The dextral dislocation of river terrace at Haba Village

3 讨论

对比区域新构造运动历史、断裂与新生代盆地之间的关系, 德钦—中甸—大具断裂的新构造活动经历了 3 个阶段:

(1) 上新世, 整个滇西北地区爆发了一幕块

断运动(赵国光, 1965), 以差异断陷运动为主要特征。上新世期间, 德钦—中甸—大具断裂活动强烈, 对页卡等上新世地层有着明显的控制作用, 沿断裂形成了晚新生代盆地。

(2) 中更新世早期, 新一轮以水平运动为主的构造运动开始, 大型走滑断裂基本形成, 新的与走滑运动伴生的盆地开始重新活动(沈军等, 2001)。德钦—中甸—大具断裂在供卡、三家村等地多处断错了第四纪盆地的中更新世地层, 水平位错量达数百米。此外, 在尼西一带断裂附近中更新世地层发生强烈褶曲, 翼部倾角最大约 50° 。这些现象充分表明断裂在此期间活动强烈。根据盆地组成物质形成时代推测, 大具盆地也是在此活动期形成。

(3) 晚更新世末期至全新世期间, 随着晚更新世晚期最后一次冰期结束(大理冰期, 距今 $1.8 \sim 2.0$ 万年)(李鼎容等, 2012), 全新世进入了冰后期时代, 由于释压效应使得地壳升降运动加剧。在青藏高原东西向伸展和地壳上升、重力势能增强的双重作用下, 该地区地壳上部的垂直应力增加, 断裂在右旋走滑运动的同时, 表现出较强的张性运动性质。

在哈巴山、玉龙山地区以及青藏高原东部边缘, 如2012年6月24日宁蒗—盐源5.7级地震、2013年8月31日奔子栏5.9级地震、1966年9月28日小中甸6.4级地震等, 均表现出正断型或走滑正断型破裂性质, 这些正断层型破裂地震与该地区地壳持续隆升不无关系, 反映出该地区上地壳破裂地震形成的动力学背景。

4 结论

德钦—中甸—大具断裂北西起于德钦以西的热水塘一带, 向东经由德钦、奔子栏、尼西、中甸、哈巴—玉龙雪山北麓, 止于大东一带, 长约220 km, 总体走向 $310^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 。断裂控制发育第四纪盆地串珠状发育, 断错地貌清晰, 多处见直接断错晚更新世至全新世地层, 属晚更新世以来

活动断裂, 具明显的右旋走滑兼正断性质。根据阶地形成年龄和位错量推算, 全新世以来断裂的水平右旋滑动速率为 $1.7 \sim 2.0$ mm/a, 垂直滑动速率为 $0.6 \sim 0.7$ mm/a。

参考文献:

- 陈文寄, 李齐, 汪一鹏. 1996. 哀牢山—红河左旋走滑剪切带中新世抬升的时间序列[J]. 地质论评, 42(2): 385–390.
- 魏顺民, 计凤洁, 向宏发. 2001. 红河活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社.
- 李鼎容, 黄兴根, 王安德, 等. 2012. 滇西北第四系的划分[J]. 地质论评, 33(2): 105–115.
- 李坪, 汪良谋. 1975. 云南川西地区地震地质基本特征的探讨[J]. 地质科学, (4): 308–326.
- 马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 2001. 青藏高原三维变形运动随时间的变化//现代地壳运动与地球动力学研究[M]. 北京: 地震出版社.
- 沈军, 汪一鹏, 任金卫. 2001. 中国云南德钦—中甸—大具断裂带第四纪右旋走滑运动//现代地壳运动与地球动力学研究[M]. 北京: 地震出版社.
- 唐荣昌, 韩渭滨. 1993. 四川活动断裂与地震[M]. 北京: 地震出版社.
- 闻学泽. 1990. 鲜水河断裂带未来三十年内地震复发的条件概率[J]. 中国地震, 4(1): 10–18.
- 向宏发, 韩竹军, 魏顺民, 等. 2004. 红河断裂带大型右旋走滑运动与伴生构造地貌变形[J]. 地震地质, 26(4): 43–56.
- 许志琴, 崔军文. 1997. 中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学[M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 侯立玮, 王综秀, 等. 1992. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵国光. 1965. 滇西北大理丽江地区新生代地层及构造的初步观察[J]. 地质论评, (5): 345–358.
- Allen C. R., Luo Z., Qian H., et al. 1989. Field study of a highly active fault zone: The Xianshuihe fault of southern China [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 103(9): 1178–1199.
- Leloup P. H., Kienast J. R. 1993. High temperature metamorphism in a major strike-slip shear zone: the Ailao Shan-Red River (P. R. C) [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 188(1–4): 213–234.
- Leloup P. H., Lacassin R., Tapponnier P., et al. 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan China), Tertiary transform boundary of Indochina [J]. Tectonophysics, 251(1–4): 3–84.
- Tapponnier P., Lacassin R., Leloup P. H., et al. 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and south China [J]. Nature, 343: 431–437.

The Geological and Geomorphic Characteristic of Late Quaternary Activity of the Deqin-Zhongdian-Daju Fault

CHANG Zu-feng¹, ZHANG Yan-feng¹, LI Jian-lin¹, ZANG Yang²

(1. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(2. *Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China*)

Abstract

According to the results of field geological and geomorphic investigation, we focus on discussing the geometric distribution, the active features and the latest active times of the Deqin-Zhongdian-Daju Fault. The Deqin-Zhongdian-Daju Fault with right-lateral strike slip and normal faulting property has displaced the late-Pleistocene and Holocene strata at different places. The latest active time of the fault is from late-Pleistocene to Holocene, and its average horizontal and vertical slip rate is 1.7 ~ 2.0 mm/a and 0.6 ~ 0.7 mm/a respectively. It is one of the most important NW trending strike slip faults locating at the Northwest edge of the Sichuan and central Yunnan Rhombic Block, together with the Jinshajiang Fault, compose up the Northwest boundary of Sichuan and central Yunnan Rhombic Block.

Key words: active fault; Late-Quaternary; slip rate; Deqin-Zhongdian-Daju Fault