

# 畹町断裂带地貌特征及构造意义指示<sup>\*</sup>

戴雨芡<sup>1,2</sup>, 皇甫岗<sup>3</sup>, 白仙富<sup>1,3,✉</sup>

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500; 2. 昆明市西山区防震减灾局, 云南 昆明 650118;  
3. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 为定量认识畹町断裂带地貌特征及其对构造的指示意义, 基于 30 m 的 DEM 数据, 采用空间分析方法, 提取该断裂带地形剖面、地形起伏度、坡度、水系偏转角、河流纵剖面上凹指数等参数数值, 得到了畹町断裂带构造地貌的一些量化特征, 并通过这些数值特征讨论了其指示的构造意义。结果表明, 研究区总体地势以畹町断裂为界东北高西南低, 海拔沿断层垂直方向随距离的增加而增加到 1 500~2 000 m 后趋于平稳。垂直断层方向的地形剖面反映的阶地特征与普通意义的侵蚀阶地的特征差异明显, 表明畹町断裂在很大程度上控制了区域河流阶地的发育及其形态特征。断裂两侧水系分布明显不对称, 沿走滑断裂水系发生系统性拐弯, 且水系级别越高, 其拐弯距离越长。沿畹町断裂(怒江干流)走向分布的 11 条水系偏转角的角度大致在 45°~175°之间, 多数分布在 100°范围内, 高于 100°的有 3 个。畹町断裂带水系偏转角的数值特征说明水系在断层左旋走滑作用的长期影响下, 汇入角发生了偏转。区域内 92.31% 的河流纵剖面上凹指数  $b > 1$ , 纵剖面为凹形, 反映了畹町断裂对其发育的影响。

**关键词:** 畹町断裂; 地貌特征; 构造意义; 水系分布

**中图分类号:** P315.22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)01-0129-09

## 0 引言

50 Ma 前左右, 印度板块与欧亚板块碰撞 (Zhu *et al.*, 2005) 形成了青藏高原和喜马拉雅造山带, 并使喜马拉雅构造结东侧的滇西南地区经历了强烈的陆内变形。印度板块北移碰撞欧亚板块的所谓“板块驱动力”及由这种碰撞或挤压导致青藏高原压缩、抬升、增厚之后所派生的“侧向挤压驱动力”共同作用于滇西南地区。由于受到来自印度板块的东向俯冲及青藏高原的侧向挤出双重作用 (Li *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2013), 形成了以实皆断裂为西边界、红河断裂为东边界, 一系列 NE 和 NW 向大规模走滑运动为主要特征的活动断裂的构造格局 (许志琴等, 2011), 使得该地区构造强烈、大震频发。因此滇西南地区陆内变形的构造特点、变形历史、动力成因及内部与地震密切相关的活动断层一直备受地球科学研究

者关注 (Liu *et al.*, 2012; Tapponnier *et al.*, 1982)。

畹町断裂是滇西南一条重要的弧形展布断裂, 由于其处滇缅交界区, 加之气候条件差、交通不便, 前人对该断裂的研究尚缺乏系统性和实质性 (常祖峰等, 2012)。近年来滇西南地区的新构造运动较为活跃, 滇西地区又推进了一些大型基础设施建设项目 (如泛亚铁路, 中缅石油输气管线等), 对地震灾害防御的意识不断增强。本文主要以畹町断裂内重要水系怒江流域作为研究区域, 研究该断裂带的地貌特征及构造意义指示, 以期对滇西南地区的抗震设防和防震减灾工作提供基础资料和决策依据。

## 1 断裂概况

畹町断裂位于中缅交界地带 (图 1), 西起瑞丽盆地东北缘, 向东沿畹町河而上, 经畹町、曼海、中山、安宁、高家寨、蚌冬、旧城、新

\* 收稿日期: 2016-02-07.

基金项目: 大中城市地震灾害情景构建重点专项——地震滑坡危险性分析方法研究 (2016QJGJ09) 与云南省地震局传帮带课题: 云南地震应急救援能力差异及应急救援对策区划 (c3-2014006) 共同资助。

✉ 通讯作者: 白仙富 (1979-), 高级工程师, 主要从事地震应急基础理论与地震灾害区域性特征研究。  
E-mail: xf\_bai520@163.com.

寨, 止于湾甸附近, 呈向南突出的弧形展布, 蚌冬西断裂走向近 EW, 以东走向 NE, 倾向 N 和 NW, 倾角  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ , 全长 170 km。沿畹町断裂曾发生多次中强地震, 如 1946 年 1 月 26 日缅甸  $M_s 6.0$  地震、1976 年 6 月 6 日安定  $M_s 6.0$  地震、1976 年 7 月 7 日勐棒东  $M_s 6.0$  地震、1976 年 6 月 6 日勐棒东  $M_s 5.3$  地震和勐兴西  $M_s 5.3$  地震等。研究区新构造运动的显著特点表现为夷平面

变形与背景的不协调, 从地质发展演化看, 中生代末期的燕山运动使全区上升, 寒武纪—白垩纪的盖层发生褶皱、断裂, 沿断裂带形成局部凹陷; 之后遭受剥蚀夷平面作用; 上新世的喜马拉雅运动, 不仅使夷平面抬升为高原, 同时引起基底断裂复活, 造成高原解体, 从而奠定现今山水对照地貌形态雏形 (云南省地震局综合大队地质队, 1981)。

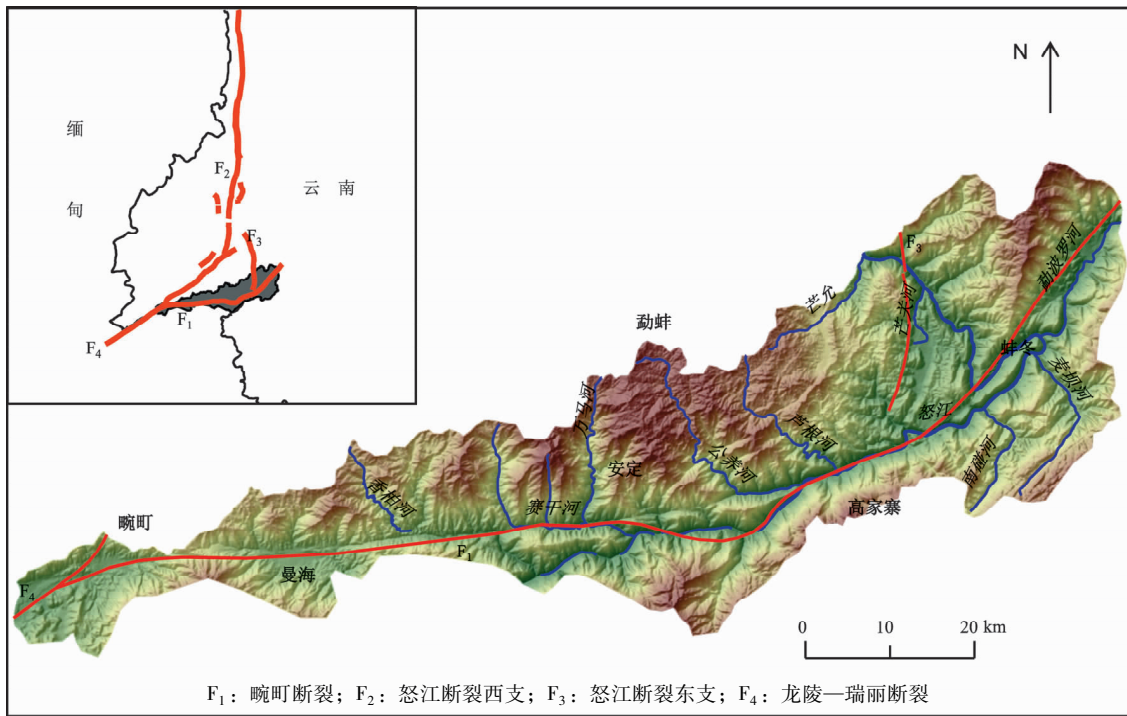


图 1 研究区位置与地貌简图

Fig. 1 Location of the study area and landscape sketch map

## 2 数据收集和处理

DEM 是对地形地貌特征及其参数研究最为重要的数据之一。本研究所使用的 DEM 数据空间分辨率为 30 m, 来源于中国科学院地理数据云网站, 断裂和河流数据来源于云南省地震局地震应急基础数据库<sup>①</sup>, 为 .shp 格式矢量数据, 投影坐标系为 WGS84。在数据处理时, 为了保持数据的一致性, 将所有数据都统一为与地震应急基础数据库相同的投影系和坐标系。在数据预处理基础之上, 通过 ArcGIS 软件, 基于 DEM 提取研究区

的高程、地形起伏度、坡度等地貌参数, 来认识研究区地势地貌特征及其构造指示意义。河流对构造活动的微妙变化十分敏感 (Holbrook, Schumm, 1999), 流域地形及其相关的构造、侵蚀之间的关系是地貌学研究的核心内容之一 (Burbank; Anderson, 2002)。在构造活跃区, 剔除其他因子干扰, 流域表现出来的形态也可以用来反演区域的构造活动 (李宗盟等, 2012)。换言之, 通过对研究区河流地貌因子的提取与分析, 有助于对畹町断裂构造活动历史的认识。在本研究中, 通过提取水系形态、水系偏转角、河流纵剖面形态来认识畹町断裂区域的流水地貌特

① 云南省地震局. 2010. 地震应急基础数据库.

征及其构造指示意义，这些水系参数数据提取均在 ArcGIS 平台上完成。

3 地势地貌特征

地貌特征是地质构造格局的基本反映，是新构造运动过程中必然的分布规律（李祥根，2003）。宏观地貌发育的总体特征代表了长周期、大尺度区域构造作用的结果，记录了不同变形过程（张会平等，2012）。目前，常用的地貌发育特征因子包括地形起伏度和坡度等。

3.1 总体地势特征

整体上，研究区呈现出东北高而陡峭、西南低而宽缓的地势特征，该区属于高黎贡山以西的一块自东北向西南倾斜的切割山原。从数值特征看，研究区高程值介于 517 ~ 2 917 m，呈三级夷平面分布形态，各级分布形态总体受区内主干断裂控制，东北部以高黎贡山为主体，夷平面呈东北至西南的弧形展布。整个研究区内水系发达，涉及到的水系主要隶属于伊洛瓦底江水系和萨尔温江水系。海拔在 517 ~ 1 258 m 的区域，为水系、盆地及少量特征不明显的一级阶地，约占研究区总面积的 38.12%；海拔在 1 258 ~ 1 848 m 的区域，多为二级阶地，约占研究区总面积的 39.55%；海拔为 1 848 ~ 2 917 m 的地区主要分布在研究区的北东向和正南，约占研究区总面积的 22.33%，并以这一海拔相对高的地区作为流域分水岭界面向西南递降，在分水岭地带抬升的同时，畹町断裂局部相对下降，形成串珠状分布的断陷谷和断陷盆地。研究区内山水对照明显的地貌，以及与区域抬升相对出现的“线状”分布断陷带，是以畹町断裂为主体的构造带新生代以来产生强烈的垂直差异运动的结果。

通过高程值分布统计（表 1）可以看出，流域内海拔高度主体集中在 1 000 ~ 1 500 m，约占整个研究区总面积的 35.32%。畹町断裂两侧的地势地貌特征差异明显。流域内北部海拔高而地势平缓，沿断裂两侧表现出一条清晰的地势陡变带，垂直断裂线方向断裂两侧海拔高程最高处接近（图 2）。断裂对研究区地势地貌的控制作用还具体表征为高程值随距离断裂远近有明显的相关关系，总体特征表现为沿断层垂直方向随距离的增加高程快速增加，当高程增加到 1 500 ~ 2 000 m 时，则不因

距离的变化而发生明显变化。从在断层两侧的高程总体数值分布看，断层西北侧山地高程比东南侧山地高程相对较高，分析其原因，一种可能的模式是西北盘受到源自印度板块挤压力量，沿断层面较东南盘抬升；另一种可能是研究区在受后期流水侵蚀过程中遭遇剥蚀程度的差异。这样的情况综合反映了断裂两侧垂直运动和遭受剥蚀的差异，也是被断裂分割的西北侧抬升作用明显的表现。

表 1 高程统计  
Tab. 1 Elevation statistics

高程/m	百分比/(%)	累计百分比/(%)
≤550	0.1	0.1
551 ~ 1 000	19.64	19.74
1 001 ~ 1 500	35.32	55.06
1 501 ~ 2 000	29.17	84.23
1 501 ~ 2 000	13.97	98.2
≥2 500	1.80	100

为了进一步认识断层两侧地势地貌的特征，分别选取两组断裂 2 侧典型位置 AA' 和 BB'（图 2a）进行地形剖面分析，其中 AA' 位于怒江与畹町断裂交汇的拐弯处；BB' 位于安定附近，为万马河与怒江干流的汇水点附近（历史上曾发生过  $M_s6.0$  地震）。剖面 AA'（图 2b）反映了怒江断裂东支与畹町断裂之间地势起伏状况和地貌类型。怒江断裂东支左盘有阶地发育，阶地的高程主要集中在 1 700 m 左右，怒江断裂东支与畹町断裂之间区域为怒江沿岸的阶地，高程集中在 900 m 左右。怒江与畹町断裂交汇处呈现突兀的“几”字形拐弯，在纵剖面上可以看出，短距离内高程差达 400 ~ 500 m；畹町断裂东北盘蚌冬一带为阶地，高程集中在 1 500 ~ 1 600 m。剖面 BB'（图 2）反映了研究区域内从正北（高程最高）向南（跨断裂）的地势起伏状况和地貌类型。畹町断裂西北盘高程主要集中在 2 400 m 以上，应为古高原夷平面，推测可能由于地层岩石坚硬，抗后期侵蚀能力较强，因此地形高而平缓；跨畹町断裂带两侧，纵剖面起伏呈近垂线下降。BB' 反映的另外一个地势地貌特征是其南北两侧存在差异，顺断层发育的河谷北侧阶地不发育，而南侧阶地相对发育，在海拔 1 600 m 和 2 400 m 左右的地带都有分布。剖面 AA' 和 BB' 显示了相同的地势地

貌特征,从两侧向河谷地貌单元由山地(大多山地为古高原面受后期雨水侵蚀形成)、阶地、盆地(河漫滩)、河谷逐渐过渡。从断裂两侧地形起伏看,地形起伏大的地区与山系吻合,从断裂经过的盆地边缘向外开始地形起伏主体多达 1 km;地形起伏小的地区主要紧邻断裂的河漫滩(盆地)和断续分布的一级阶地接阶地,起伏则大多小于 500 m。剖面 AA' 和 BB' 反映的另外一个特征是阶

地地貌特征不明显,上一级阶地和下一级阶地之间地势陡峭,海拔高程大多呈近垂直向下降。与经典的侵蚀阶地相比,我们认为畹町断裂带分布的阶地不是因为构造抬升河水流速加大、侵蚀加强,河流下切形成;而是因为构造运动造成河流被动沿构造带断裂面迅速下切形成,换言之,畹町断裂在很大程度上控制了区域河流阶地的发育及其形态特征。

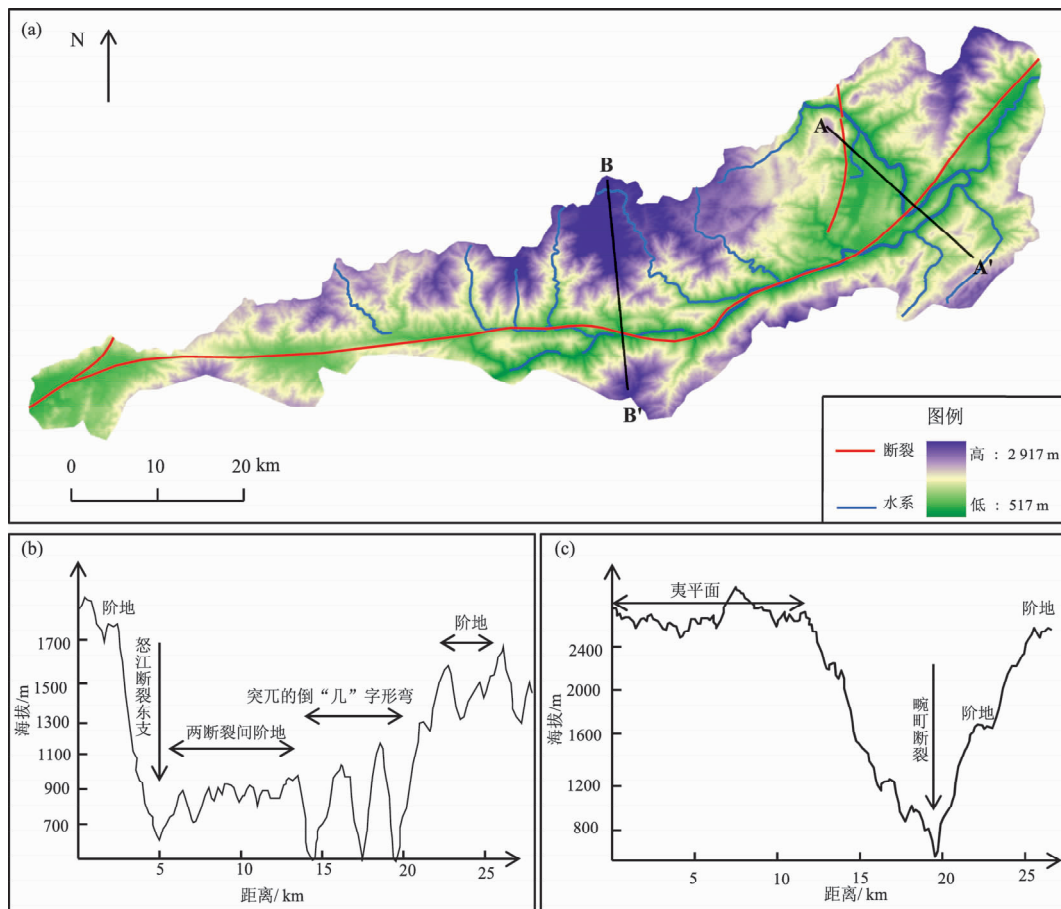


图 2 研究区 DEM (a) 及典型地区 AA' (b)、BB' (c) 剖面图

Fig. 2 The DEM map (a) in the study area and AA' (b)、BB' (c) profiles in typical area

### 3.2 地形起伏度

一个区域的地形起伏是构造作用与地表剥蚀过程相互作用的结果(梁明剑等, 2014; 张会平等, 2012)。地形起伏度是指在一定区域范围内, 最大高程值和最小高程值之间的差值, 通常用于描述一个区域地形起伏的宏观性特征, 也反映区域地表的切割剥蚀程度。地形起伏度也是进行区域内地貌对比和地貌类型划分的客观依据(程维明等, 2009), 在某种意义上反映地貌的发育阶段, 年轻的地貌多有较大的起伏度, 年老的地貌

经受了夷平作用, 地势起伏度较小。

地形起伏度存在明显尺度依赖特征, Focal 函数较 Block 函数更能显著提高地形起伏度计算精度(张磊, 2009)。徐汉明和刘振东(1991)通过对全国 600 个样点和 2 个小区的详细研究, 运用模糊数学方法, 得到并论证了中国地势起伏度最佳统计单元为 21 km<sup>2</sup>。本研究使用空间分辨率为 30 m 的 DEM 数据, 参照徐汉明和刘振东(1991)的方法, 计算地形起伏度, 采用的窗口大小为 150 个栅格单元的矩形窗口, 面积约为 20.25 km<sup>2</sup>, 最接近

21 km<sup>2</sup>。计算时选用 Arcgis 中空间分析邻域计算下 Focal 函数对 DEM 栅格数据的最大高程和最小高程进行差值运算,得到区域地形起伏的量化计算结果,然后再对地形起伏度进行再分级成图(图 3a)。

研究区地形起伏度计算结果(图 3a)表明,研究区地形起伏度介于 215~2 055 m 之间。空间分布整体趋势为东北部大于西南部。地形起伏高值主要分布在怒江干流与畹町断裂的高度重合区域,公养河—高家寨一带的地形起伏度具有明显的高值分布特征,垂直地貌特征表明畹町断裂东南盘从公养河—高家寨一带断层地貌较为典型,结合极高值区呈斑块状分布特点,可以较好地解释从公养河—高家寨一带有广泛的断层槽地、断层陡崖、断层三角面等典型断层地貌分布的现象。

地形起伏度在上述区域高值分布的特征一方面表明畹町断裂有明显活动痕迹,另一方面则反映了在断裂历史活动过程中,该区域可能是较为主要的应力作用集中区域,西北盘对东南盘的作用力极有可能为 WNW—EES 方向。

### 3.3 坡度格局

在地貌分析中,坡度值定义为坡面的铅直高度与水平距离之间的比值,相对应地,坡面与水平面之间的夹角成为坡度。坡度可以通过统计计算每一个像元与其周围像元之间高程差和水平距离比值的最大值获得,相应的计算结果也有 2 种表达形式,即坡度和坡度百分比(张会平等,2010)。本研究坡度的计算结果以坡度形式显示(图 3b)。

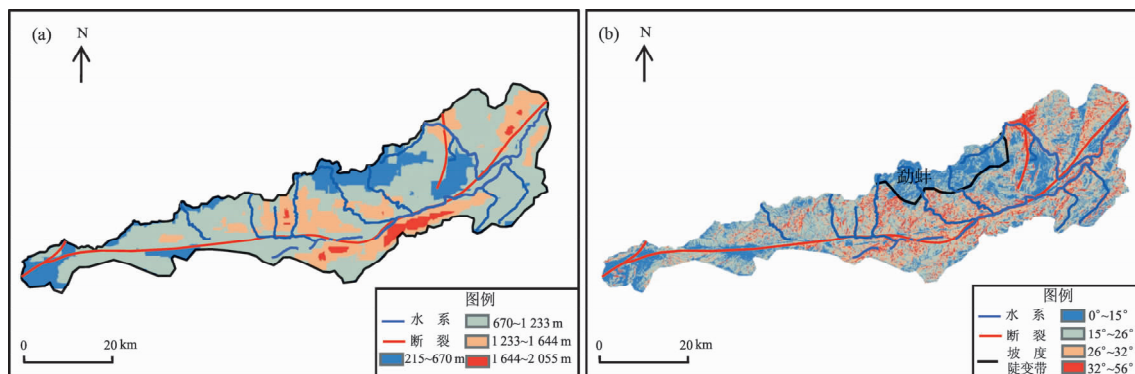


图 3 地形起伏度 (a) 和坡度分布图 (b)

Fig. 3 Topographic relief map (a) and slope map (b)

研究区坡度值总体介于 0°~56°之间。从坡度的空间分布看,断裂和河流沿线坡度较大,最大坡度主要分布在怒江断裂东支西盘,坡度高值区域呈近南北向分布,暗示怒江断裂东支两盘可能存在局部拉张不均。勐蚌一带古夷平面坡度较小,并出现一个不规则的坡度陡变带,地貌上呈现地形复杂,陡峭与平缓相间的地形,表明这一带下覆地层可能岩性坚硬,后期抗风化能力较强,印支侧向的挤压力也很难直接向东边传递,而转为勐蚌西南的地区。结合研究区内 6.0 级历史地震分布,推测力的方向可能为 WNW—EES 方向;另外坡度较小的地区还集中分布于怒江断裂与畹町断裂之间的区域以及与龙陵—瑞丽断裂交汇区,这两处断裂的交汇区坡度均集中分布在 0°~15°范围内,根据地貌演化的过程,可能说明断裂交汇区因为受拉张作用,在后期地貌发育过程中接受沉积,从而在地貌特征上呈现坡度较小的特征。

## 4 流水地貌特征

河流对构造活动非常敏感,在活动构造区域,水系的相对平衡状态由于构造活动而改变,河流水系将重新调整以适应构造或气候变化达到新的平衡状态。因此,河流持续记录着地貌演化过程的构造活动信息,河流地貌分析可反映出长时间尺度的构造活动特征和构造活动程度(Cox, 1994)。可用水系形态、水系偏转角、河流纵剖面形态等参数表征一个区域的河流地貌特征。

### 4.1 总体水系形态

水系的排列组合形式可反映构造活动方式及其活动幅度,河流结构形态分析在构造地貌研究中应用广泛。研究区内最主要的水系有怒江和畹町河(隶属于瑞丽江水系),这些水系除了安平大沟和边芦大沟外,其余均流入怒江或畹町河。

畹町断裂两侧水系分布明显不对称,沿走滑断裂水系发生系统性拐弯,且水系越大,其拐弯距离越长。断裂西北盘水系数量比东南盘多,而且西北盘河流流程长度比东南盘的流程长。西北盘河流的展布方式直接受区域内主要活动断裂带的控制,河床沿断裂发育,水系更多地集中在主要活动断裂带及其近正交方向,这样的水系格局反映了断裂的最新活动程度和断裂两盘活动的差异。从水系分布(图4)可以看出,西北盘被断裂左错的河道,有几次不同弧度的拐弯,可推断断裂的左行走滑也具有阶段性。对比断裂的东南盘,河流没有经历西北盘如此明显的不同阶段的左错,说明在畹町断裂左行走滑期间,西北盘较东南盘运动方式更为复杂。这些支流的发育时间并不长,断裂两侧水系不对称是畹町断裂新活动的结果和反映。

从流向看,畹町断裂西北盘水系流向多为西北—东南向(表2),畹町断裂东南盘水系相对稀疏,流向多呈东南—西北向。芒允河及芒关河在流向上较为特殊,总体呈西南—东北逆向流入怒江,具有十分明显的左旋错动特点。结合区域主要断裂展布看,怒江断裂东支沿NNW—SN向延伸,其南段隐没于畹町断裂附近,因此,芒允河

及芒关河的流向展布应为怒江断裂东支所致。就怒江干流水系行态而言,在蚌冬一带怒江干流先是折向东北向后又向西流,绕了一个“V”字形大弯。造成这样突兀的倒“几”字形转弯的原因可能在于该地处于怒江断裂与畹町断裂交汇区,新构造活动强烈,地表破碎胶结差,河流沿着断裂带侵蚀发育。河流形态表明这些河段是断裂新活动后河流被动地沿断裂破碎带追踪侵蚀形成的,同时河流形态指示出畹町断裂新活动的迹象及其对水系的控制作用。

4.2 水系偏转角

水系偏转角是描述河流地貌特征常用的参数之一。通常水系的支流汇入主流的链接角( $\theta$ )应该小于 $90^\circ$ ,一般分布在 $50^\circ \sim 90^\circ$ 之间(Pieri, 1984)。走滑运动为主的断层运动会使断层两侧水系流域汇入断层附近河流的角度发生偏转,而这个偏转的量与断层位移量存在正相关的关系(Castelltort *et al*, 2012)。畹町断裂北东段沿怒江干流延伸,这就使得我们可以通过分析断层两侧的水系汇入主干的水系偏转角来推测断层位移量。

对畹町断裂带水系偏转角的分析,选取干流方向与主断裂方向一致的怒江水系,在Arcgis平台中对水系偏转角度( $\theta$ )进行计算(表2,图4)。

表2 河流流向及水系偏转角  
Tab. 2 River flow and river system deflection angle

序号	河流名称	流向	水系偏转角/( $^\circ$ )	备注
1	芒允河	西南—东北	70.904 3	汇入怒江、萨尔温江水系
2	芒关河	西南—东北	174.571 1	汇入怒江、萨尔温江水系
3	麦坝河	东南—西北	45.798 9	汇入怒江、萨尔温江水系
4	南碰河	东南—西北	90.186 6	汇入怒江、萨尔温江水系
5	B005 线河 1—G009 线河	西北—东南	83.522 0	汇入怒江、萨尔温江水系
6	芦根河	西北—东南	74.443 3	汇入怒江、萨尔温江水系
7	公养河	西北—东南	68.576 7	汇入怒江、萨尔温江水系
8	万马河	西北—东南	55.980 7	汇入怒江、萨尔温江水系
9	小清河	西北—东南	115.589 8	汇入怒江、萨尔温江水系
10	勐龙河—勐古河	西北—东南	—	伊洛瓦底江水系、汇入畹町河
11	赛干河	西北—东南	57.749 2	汇入怒江、萨尔温江水系
12	青水河	西北—东南	—	汇入曼辛河,最后汇入怒江、萨尔温江水系
13	香柏河—曼辛河	西北—东南	139.470 1	汇入怒江、萨尔温江水系
14	畹町河	西北—东南	—	伊洛瓦底江水系
15	南茄河	西北—东南	—	汇入怒江、萨尔温江水系
16	怒江	—	—	干流、萨尔温江水系

沿畹町断裂（怒江干流）走向分布的11条水系的偏转角，角度的分布范围大致在 $45^{\circ} \sim 175^{\circ}$ 之间，其中绝大多数分布在 $100^{\circ}$ 范围内，高于 $100^{\circ}$ 的只有3条。畹町断裂带怒江支流水系偏转角的特征说明河流局部地段或整体受断裂控制明显，水系在断层左旋走滑作用的长期影响下，角度发生了偏转。

根据水系偏转角沿断裂走向分布图（图4），我们发现在整条断裂（畹町断裂）的中段，怒江干流与畹町断裂基本重合，水系密集，诸多支流总体呈

自北向南流，沿畹町断裂带不同部位，水系偏转角大小无明显的规律性，暗示断裂不同部位走滑过程中位移不均。万马河汇入怒江水系后，怒江干流与畹町断裂不再重合，且该汇水点后，水系偏转角较大，均大于 $90^{\circ}$ 。这说明万马河与怒江干流的汇水点附近应该是畹町断裂东北与西南段的一个转折交汇点，1976年6月1日该汇水点附近也曾发生过6.5级地震（常祖峰等，2012），因此推测此处可能是畹町断裂带上一个重要的分界点。

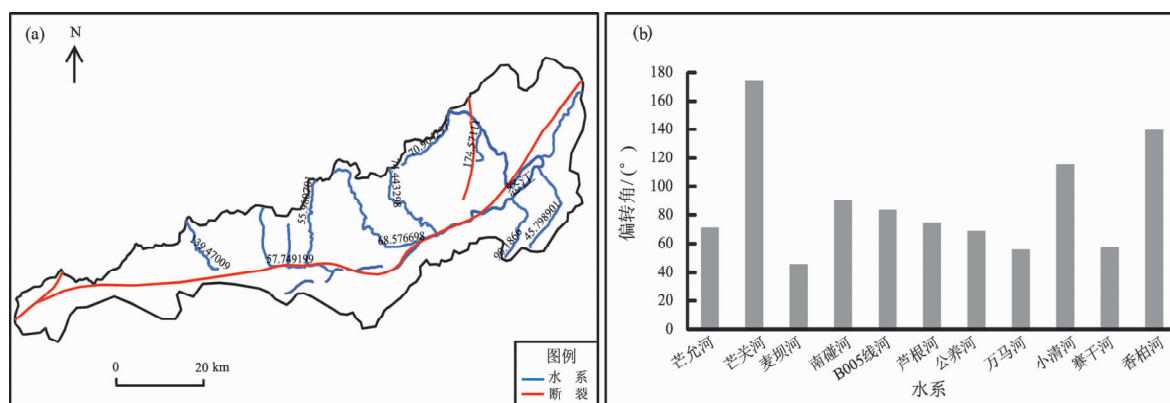


图4 水系偏转角空间分布 (a) 及统计分布图 (b)

Fig. 4 Spatial distribution of river system deflection angle (a) and its statistical distribution (b)

#### 4.3 河流纵剖面形态

河流地貌中，河流纵剖面形态的调整不仅与地壳变动紧密相关，而且对流域内断裂活动的响应极为敏感。河床纵剖面能够反映河道比降（坡降）信息，河道比降分析是鉴别地貌景观中活动构造作用的指标（程绍平等，2004）。本文提取了研究区内怒江支流水系和畹町河的河流纵剖面进行分析。

河流纵剖面曲线的形态表示了比降沿高程变化的特征。为了对不同河流的上凹程度进行比较，按照许炯心（1990）提出的指数方程  $H = aL^b$  进行拟合，其中  $b$  表示上凹程度， $H$  为落差， $L$  为距河口的里程。若  $b = 1$ ，表明比降沿程不变，纵剖面为一直线；若  $b > 1$ ，表明比降沿着向河源的方向增加，纵剖面线为凹形；若  $b < 1$ ，表明比降沿着向河源的方向减小，纵剖面为凸形。研究区内，怒江河段有12条支流，畹町河有1条支流，共13条支流。从统计结果（表3）看，13条支流中只有1条支流纵剖面为凸形，凹度值小于1，占统计支流总数的7.69%，通过叠加断层数据（图1）发现，这条支流为公养河，该河主要处于畹町断

裂与龙陵—澜沧新生断裂交汇区。13条支流中有12条支流纵剖面为凹形，凹度值大于1，占统计支流总数的92.31%。从流域面上的物质迁移强度看，流域面上的物质迁移强度越大，则河道的凹度越小。若  $b = 1$ ，表明物质迁移和沉积均衡；若  $b < 1$ ，表明物质迁移强度大，物质迁移速率大于物质沉积速率，河流以下蚀为主；若  $b > 1$ ，表明物质迁移强度小，物质迁移速率小于沉降速率，河流以横向扩展为主。因此从理论上沿畹町断裂两侧发育的支流总体上表现为纵向下蚀，这样的支流特点实质上反映了畹町断裂对其发育的影响，即断裂形成后，断层崖成了这些支流的新的裂点，支流从新裂点位置不断地向源侵蚀，逐步形成了凹形河流纵剖面。

通常，比降大表征河流落差大、流程短、河流陡峭；比降小表征河流落差小、流程长、河流缓。从河流比降（表3）看，研究区内怒江上段支流的比降总体比下段大，说明上段河流较下段河流陡峭，河流在发育过程中由于受到构造的控制程度不同，水系发育程度也不尽相同。

表 3 河流比降及纵剖面凹度值  
Tab. 3 River gradient and longitudinal profile concavity

序号	河流名称	位置	落差/m	流程/m	比降	b 值
1	芒允河	干流东岸	1 618	17 801	0.090 9	0.908 6
2	芒关河	干流东岸	179	8 616	0.020 8	0.827 7
3	麦坝河	干流西岸	1 292	21 279	0.060 7	0.914 9
4	南碰河	干流西岸	901	15 997	0.056 3	0.465 7
5	B005 线河 1—G009 线河	干流东岸	1 290	15 029	0.085 8	0.849
6	芦根河	干流东岸	1 619	24 551	0.065 9	0.893 2
7	公养河	干流东岸	2 068	33 812	0.061 2	1.004 9
9	万马河	干流东岸	1 855	25 967	0.071 4	0.869 9
10	小清河	干流东岸	1 866	8 650	0.215 7	0.357 9
11	赛干河	干流东岸	1 317	22 392	0.058 8	0.368 5
12	青水河	干流东岸	831	14 936	0.055 6	0.504 9
13	香柏河—曼辛河	干流东岸	1 281	33 957	0.037 7	0.865 9

## 5 结论与讨论

畹町断裂是滇西南一条重要的弧形展布断裂,断裂带内地貌构造特征明显。由于地处滇缅交界区,加之气候条件差、交通不便,前人对其研究相对较少且大多是描述性的。为了定量认识该断裂带地貌特征及其对构造的指示意义,基于 30 m 的 DEM 数据采取空间分析方法,提取畹町断裂带地形剖面、地形起伏度、坡度、水系偏转角、河流纵剖面上凹指数等参数数值,得到了畹町断裂带构造地貌的一些定量化特征,并通过这些数值特征初步讨论了其指示的构造意义。

研究区总体地势以畹町断裂为界东北高西南低,海拔沿断层垂直方向随距离的增加而增加到 1 500~2 000 m 后趋于平稳。垂直断层方向的地形剖面反映的阶地特征表现为上一级阶地和下一级阶地之间地势陡峭海拔高程大致呈近垂直向下降,这与普通意义的侵蚀阶地的特征差异明显,说明这些阶地总体上是畹町断裂形成后河流被动沿断裂面迅速侵蚀发育的,表明畹町断裂在很大程度上控制了区域河流阶地的发育及其形态特征。地形起伏和坡度高值区域主要分布在怒江干流和畹町断裂空间分布重合度高的地区,两者的分布特征实质上是断裂活动在地貌痕迹上的反应。

畹町断裂带河流地貌特征构造影响明显。断裂两侧水系分布明显不对称,沿走滑断裂水系发生系统性拐弯,且水系越大,其拐弯距离越长。

沿畹町断裂(怒江干流)走向分布的 11 条水系偏转角的角度大致在  $45^{\circ} \sim 175^{\circ}$  之间,其大多数分布在  $100^{\circ}$  范围内,高于  $100^{\circ}$  的有 3 条。畹町断裂带水系偏转角的数值特征说明河流局部地段或整体受断裂控制明显,水系在断层左旋走滑作用的长期影响下,汇入角发生了偏转。区域内 92.31% 的河流纵剖面上凹指数  $b > 1$ ,纵剖面为凹形,这样的支流特点实质上反映了畹町断裂对其发育的影响,即断裂形成后,断层崖成了这些支流的新的裂点,支流从新裂点位置不断地向源侵蚀,逐步形成了凹形河流纵剖面。

## 参考文献:

- 常祖峰,安小文,张艳凤. 2012. 畹町断裂晚第四纪活动与水系构造变形[J]. 地震地质, 34(2): 228-239.
- 程绍平,邓启东,李传友. 2004. 流水下切的动力学机制、物理侵蚀过程 and 影响因素: 评述和展望[J]. 第四纪研究, 24(4): 421-429.
- 程维明,周成虎,柴慧霞,等. 2009. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析[J]. 地球信息科学, 11(6): 715-736.
- 李祥根. 2003. 中国新构造运动概论[M]. 北京:地震出版社.
- 李宗盟,高红山,潘保田,等. 2012. 贺兰山水系流域数值地貌特征及其构造指示意义[J]. 干旱区地理, 35(3): 422-429.
- 梁明剑,周荣军,闫亮,等. 2014. 青海达日断裂中段构造活动与地貌发育的响应关系探讨[J]. 第四纪研究, 36(1): 28-38.
- 涂汉明,刘振东. 1991. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报, 20(4): 311-319.
- 许炯心. 1990. 黄淮海平原河流的纵剖面凹度特征[J]. 地理学报, 45(3): 331-340.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,等. 2011. 印度—亚洲碰撞大地构造[J]. 地质学报, 85(1): 1-33.
- 云南省地震局综合大队地质队. 1981. 地震地质报告集 I[R]. 昆明:

- 云南省地震局印刷厂, 88-95.
- 张会平, 张培震, 袁道阳, 等. 2010. 南北地震带中段地貌发育差异性及其与西秦岭构造带关系初探[J]. 第四纪研究, 30(4): 803-811.
- 张会平, 张培震, 郑德文, 等. 2012. 祁连山构造地貌特征: 青藏高原东北缘晚新生代构造变形和地貌演化过程的启示[J]. 第四纪研究, 32(5): 907-920.
- 张磊. 2009. 基于地形起伏度的地貌形态划分研究——以京津冀地区为例[D]. 石家庄: 河北师范大学.
- BURBANK D W, ANDERSON R S. 2002. Tectonic Geomorphology[M]. Massachusetts: Blackwell Science, 1-11.
- CASTELLTORT S, OREN L, WILLETT S D, *et al.* 2012. River drainage patterns in the New Zealand Alps primarily controlled by plate tectonics strain[J]. Nature geosciences, 5(10): 744-788.
- CHEN Y, ZHANG Z J, SUN C Q, *et al.* 2013. Crustal anisotropy from Moho converted Ps wave splitting analysis and geodynamic implications beneath the eastern margin of Tibet and surrounding regions[J]. Gondwana Research, 24(3-4): 946-957.
- COX R T. 1994. Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify area of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from Mississippi embayment[J]. Geological Society of America Bulletin, 106(5): 571-581.
- HOLBROOK J, SCHUMM S A. 1999. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings[J]. Tectonics, 305(1): 287-306.
- LI C, HILST R, MELZER A S, *et al.* 2008. Subduction of the Indian lithosphere beneath the Tibetan Plateau and Burma[J]. Earth and Planetary Science Letters, 274(1-2): 157-168.
- LIU J L, TANG Y, TRAN M D, *et al.* 2012. The nature of the Ailao Shan-Red River (ASRR) shear zone: Constraints from structural, microstructural and fabric analyses of metamorphic rocks from the Diancang Shan, Ailao Shan and Day Nui Con Voi massifs[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 47(1): 231-251.
- PIERI D C. 1984. Junction angles in drainage networks[J]. Geophysical research, 89(B8): 6878-6884.
- TAPPONNIER P G, PELTZER G L, DAIN A Y L, *et al.* 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology, 10(12): 611-617.
- ZHU B, KIDD W S F, ROWLEY D B, *et al.* 2005. Age of initiation of the India-Asia collision in the east-central Himalaya[J]. The Journal of Geology, 113(3): 265-285.

## Characteristics of Wanding Fault Zone and its Tectonic Significance

DAI Yuqian<sup>1,2</sup>, HUANGFU Gang<sup>3</sup>, BAI Xianfu<sup>1,3</sup>

(1. School of Tourism and Geographical Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China)

(2. Earthquake Administration of Xishan District, Kunming 650118, Yunnan, China)

(3. Earthquake administration of Yunnan Province, Kunming 650201, Yunnan, China)

### Abstract

In order to grasp the topographic features of Wanding fault and its significance quantitatively, we use the 30 m spatial resolution DEM to get parameters such as topographic profile, topographic relief, slope, river deflection angle and concave index of river profile. Through analysis, we grasp some quantitative characteristics of Wanding fault and discuss its tectonic significance. The results showed that the northeast part of the study area is high while the southwest part is low. Elevation along fault vertical direction with the increase of distance to 1 500 ~ 2 000 m after the steady. Vertical fault orientation reflects the difference between erosion terrace characteristics and ordinary terraces. It also showed that the terraces were developed after the formation of Wanding fault. The distribution of water system on both sides of the fault is obvious asymmetry. Along the strike slip fault system, the water system level is higher, the turning distance is longer. Along the Wanding fracture (Nujiang River), there are 11 river deflection angles between 45° to 175°. Most of them are within the range of 100°. Just 3 river deflection angles higher than 100°. The numerical characteristic of river deflection angles shows that the local area or the whole of the river is controlled by faults. Under the long-term influence of the left lateral strike slip of the fault, the convergence angle of the water system is deflected. 92.31% of the vertical profile of the rivers *b* value is above 1 and the longitudinal profiles are concave. This reflects the characteristics of tributary fracture on the development effect of Wanding fault.

**Keywords:** Wanding Fault; landform characteristics; tectonic significance; distribution of water system