

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2018.04.004

# 利用水系流域偏转研究走滑断层的运动模式

——以南汀河断裂带为例

石 峰<sup>1)</sup> 何宏林<sup>1)</sup> Alexander L Densmore<sup>2)</sup> 魏占玉<sup>1)</sup> 孙浩越<sup>1)</sup>

1) 中国地震局地质研究所, 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029

2) 英国杜伦大学地理系, 英国杜伦 DLI 3LE

**摘 要** 构造地貌能够记录构造运动的长期积累, 并能通过相关参数定量表达。水系是对构造作用反映最敏感的地貌之一, 长期以来许多研究者利用水系来反映和研究构造。但是过去的研究大都集中在垂直运动的构造作用区域上, 尤其是正断层区域上, 而对走滑作用区域的研究非常少。文中以南汀河断裂带为研究区域, 利用高精度 DEM 数据提取水系。通过研究断层附近水系流域的偏转来研究南汀河断裂带的运动模式。通过分析流水地貌对断层活动的响应特征, 对断裂带的空间展布和活性进行了分析, 为探讨活动断层与地貌响应之间的关系提供良好范例。

**关键词** 水系偏转角 构造地貌 南汀河断裂带

**中图分类号:** P315.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4967(2018)04-0773-11

## 0 引言

近期发生在中国的大地震(昆仑山地震、汶川地震和玉树地震)为理解断层运动模式提供了很好的契机, 对这些地震的地表破裂带的调查结果表明位移具有不均一性且随断层走向变化等规律, 在断层端部会明显减小(徐锡伟等, 2008; Xu *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2012)。但对于近期没有发生地震的断层, 通过传统方式仅能获得为数不多的几个点的滑动速率, 无法系统地分析断层的运动模式。选择地貌作为研究对象, 可以覆盖更广的研究范围, 能更好地系统分析断层的运动模式。

地貌演化受气候、构造和岩性条件影响(Lifton *et al.*, 1992)。利用地貌来反映和研究构造是近年来的热点, 形成了构造地貌学(Burbank *et al.*, 2012)。水系是对构造作用反映最敏感的地貌之一, 长期以来许多研究者利用水系来反映和研究构造。但是过去的研究大都集中在垂直运动的构造作用区域上, 尤其是正断层区域上, 而对走滑作用区域的研究非常少。本文以南汀河断裂带为研究区域, 利用高精度 DEM 数据提取水系。通过研究断层附近水系流域的偏转来研究南汀河断裂带的运动模式。

## 1 研究区域概况

选取以左旋走滑运动为主的南汀河断裂带作为研究区域。南汀河断裂带是滇西南地区 1

[收稿日期] 2017-02-15 收稿, 2018-04-21 改回。

[基金项目] 中国地震局地质研究所基本科研业务专项(IGCEA1416)与中国活断层探察项目(201108001)共同资助。

条重要的 NE 向构造,它同 NE 向的瑞丽-龙陵断裂带、孟连断裂和打洛断裂带一起共同组成滇西南地区强大的 NE 向构造带,它们不但控制着本区地震的孕育和发生,而且控制着本区构造的演化和发展。南汀河断裂带的 NE 端终止于沿澜沧江断裂带以西分布的巨大的临沧-勐海花岗岩岩体中,没有切错澜沧江断裂带的迹象,SW 段出中国国境入缅甸境内,中国境内长约 200km。断裂带第四纪以来,构造运动强烈,沿断裂带形成了非常清楚的峡谷地貌和成串分布于其中的断陷盆地(图 1, 2)。

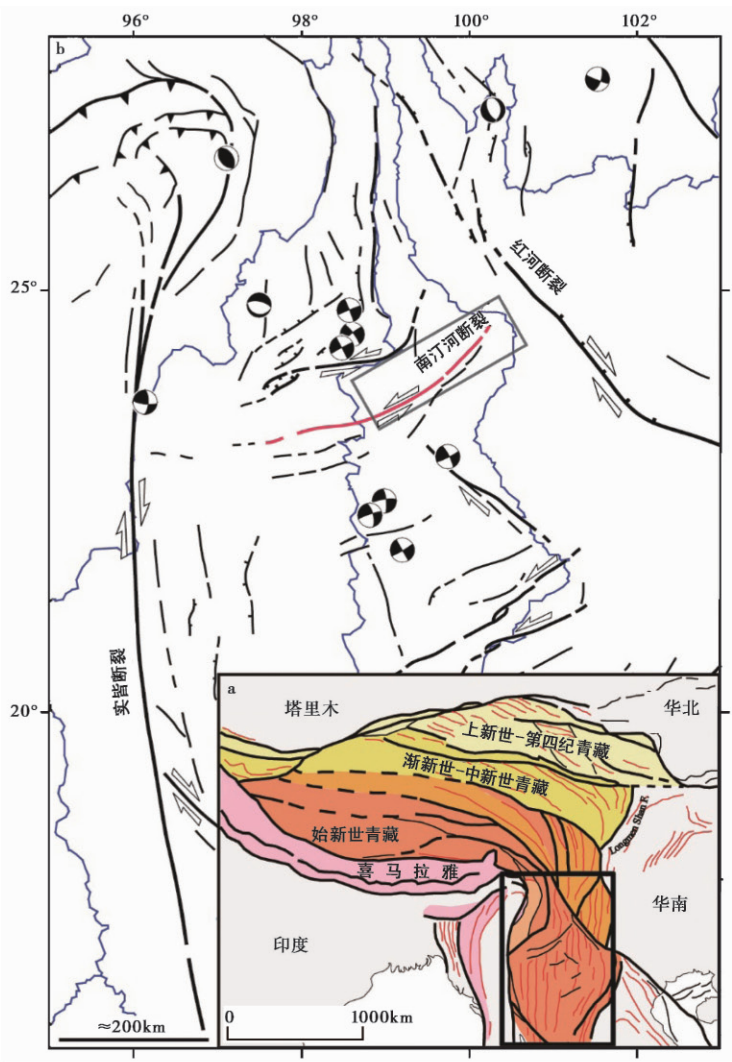


图 1 南汀河断裂带区域构造简图

Fig. 1 Tectonic setting of the Nantinghe Fault region.

a 青藏高原构造简图(改自 Tapponnier *et al.*, 2001), 其中黑框表示图 b 范围;

b 滇西南构造简图, 黑框表示研究区范围

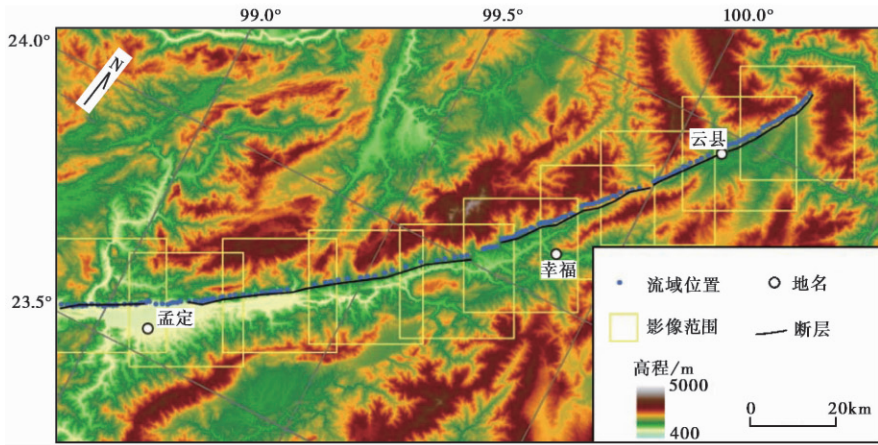


图 2 南汀河断裂带展布图

Fig. 2 Spatial distribution of the Nantinghe Fault.

## 2 DEM 数据的获取

本文采用的数据是基于立体卫星 ALOS 影像对的数字摄影测量获得的空间分辨率为 2.5 m 的 DEM 数据。ALOS 是日本 2006 年发射的对地观测卫星，它携带的全色遥感立体测绘仪 (PRISM) 具有独立的 3 个观测相机，分别用于星下点、前视和后视观测，沿轨道方向获取立体像对，星下点空间分辨率为 2.5 m，其数据主要用于建立高精度 DEM。实验表明，通过有地面控制点提取的 DEM 精度高于 5 m (Maruya *et al.*, 2007; Takaku *et al.*, 2007; 蔡庆空等, 2014)。

本文所选用的数据是覆盖了整个研究区的 20 景 ALOS 卫星影像数据，每景数据均由 1 组重叠度接近 100% 的立体像对 (前视影像与后视影像) 组成 (图 2)。本文采用数字摄影测量专业软件 ENVI 4.7 的 DEM Extraction 模块，按照“立体像对相对定向—立体像对绝对定向—核线影像的生成—DEM 的生成及编辑”等步骤进行有地面控制点的高分辨率 DEM 提取，并用检查点法和剖面法对获取的 DEM 数据进行精度评价。采用检查点法时，通过差分 GPS 野外实测的 25 个地面控制点和 15 个从 1:5 万地形图读取的水准点以及三角点作为标准点，得到的高程误差为 2.9 m。采用剖面线法时，在 DEM 数据上提取了 3 个地形剖面，并通过差分 GPS 野外实测的 2 个相同位置上的地形剖面对比，得到 3 条剖面线的高程误差分别为 1.4 m、1.8 m 和 2.1 m。因此，基于 ALOS 立体像对提取的高分辨率 DEM 的精度达到了 1:1 万 DEM 的标准 (汤国安等, 2005)。

## 3 水系流域偏转角的提取及据此推测断层运动模式的原理

南汀河断裂由于其特殊的地貌特征 (整个断裂带几乎都沿南汀河分布)，因此可以通过分析断层两侧的水系汇入南汀河的角度来推测断层位移量。正常情况下，水系汇入主流的链接角 ( $\theta$ ) 应该  $< 90^\circ$ ，一般分布在  $50^\circ \sim 90^\circ$  之间 (Pieri, 1984)。以走滑运动为主的断层运动会导致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正相关 (Castellort *et al.*, 2012)。我们发现南汀河断裂区域的链接角普遍  $> 90^\circ$ ，应该是受到走滑断层

运动的影响。

该角度的偏转主要受断层位移量的控制,可以用这个偏转量来反映断层的位移量,进而反映断层的运动模式。如果要得到这个偏转量,必须知道现在的角度和原始角度。假设原始角度是恒定的,那么现在的角度( $\theta$ )即可以直接反映断层走滑位移量( $LS$ )。假设这个角度在原始状态下沿断层走向是随机分布的(图 3b、c),而左旋走滑量在断层中的分布是末端小中间大(图 3a)。那么经过一段时间的断层作用,这个角度的分布会逐渐规律(图 3d)。如果时间足够长,则可以消除原始不规则分布的影响,这个角度的分布将和左旋位移量的分布呈现出相似的模式(图 3e)。

可通过高精度 DEM 提取水系流域形态,利用水系流域中最高点与最低点的连线方向和主断层方向来计算得到现在的角度( $\theta$ )。由于南汀河断裂带的特殊性,其主断层方向几乎和主干河流方向一致,因此这一方法可行。

为了保证水系流域时间上的统一性,选取的水系流域面积在  $0.5 \sim 5\text{km}^2$  之间。理论上如果水系原始形态及形成时间接近,那么控制水系偏转的主要因素就是断层的运动。这样就可以使这个水系偏转角更好地反映断层运动模式。

### 4 结果

一共提取了沿断层走向分布的 180 个水系的偏转角(图 4)。该角度的分布范围在  $67^\circ \sim 130^\circ$  之间,其中绝大多数分布在  $90^\circ \sim 120^\circ$  的范围内,低于  $90^\circ$  和高于  $120^\circ$  的只有 17 个。这说明水系在断层左旋走滑作用的长期影响下,角度的确发生了偏转。

通过分析水系偏转角沿断裂走向分布图(图 5, 6),发现在整条断裂的末端,该角度有明显的减小趋势,这暗示在断裂末端位移量也发生了明显的减小。在断裂带南、北段的分界上,水系偏转角也有明显的下降趋势,这也说明了根据几何特征对断裂的分段具有一定的合理性

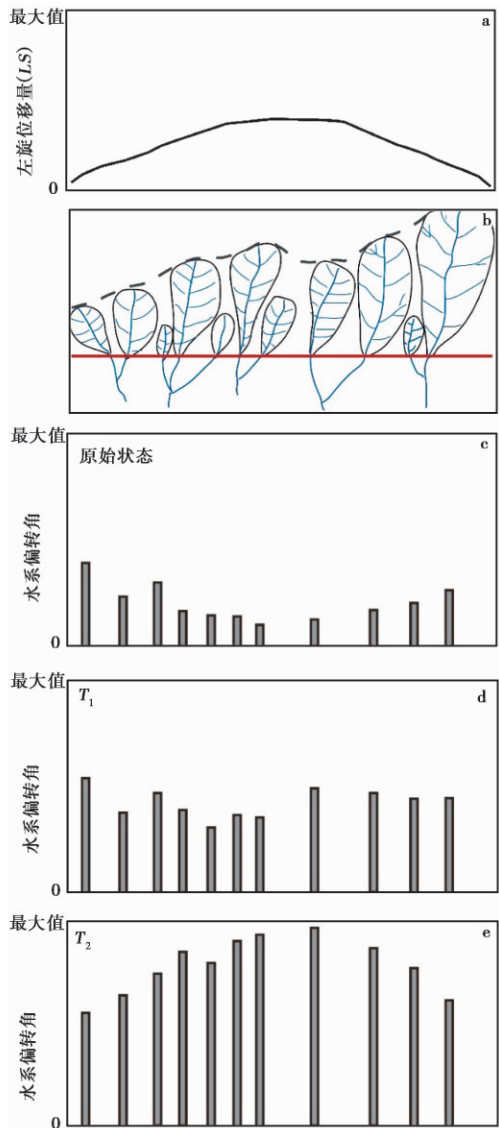


图 3 偏转角反映断层运动模式原理图

Fig. 3 Schematic diagram of the relationship between deflection angle and faulting.

- a 左旋位移量分布模式图; b 原始水系分布状态示意图;
- c 原始偏转角分布图; d  $T_1$  时间后偏转角分布图;
- e  $T_2$  时间后偏转角分布图

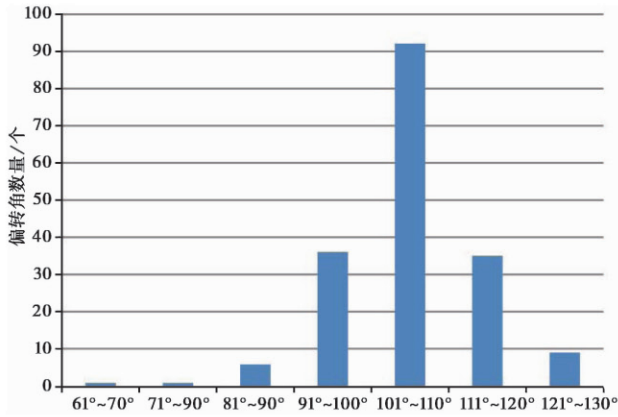


图 4 水系偏转角统计分布图

Fig. 4 A statistical distribution of deflection angles.

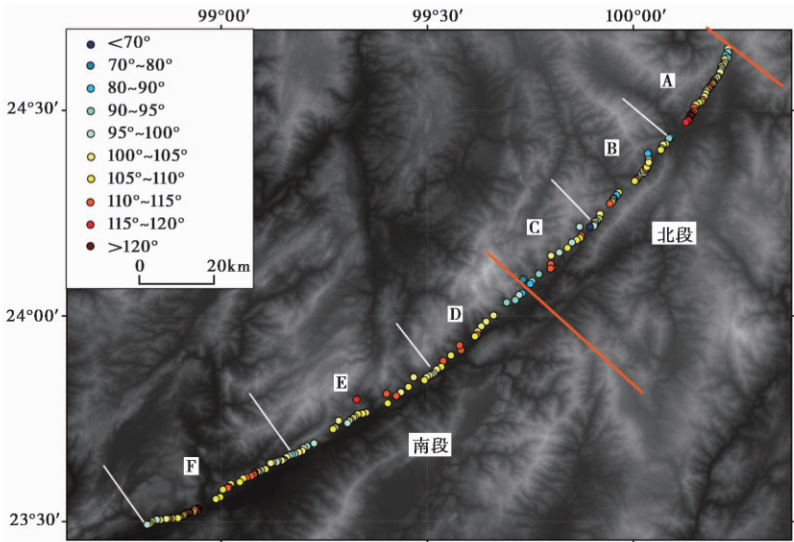


图 5 水系偏转角分布图

Fig. 5 Spatial distribution of deflection angles.

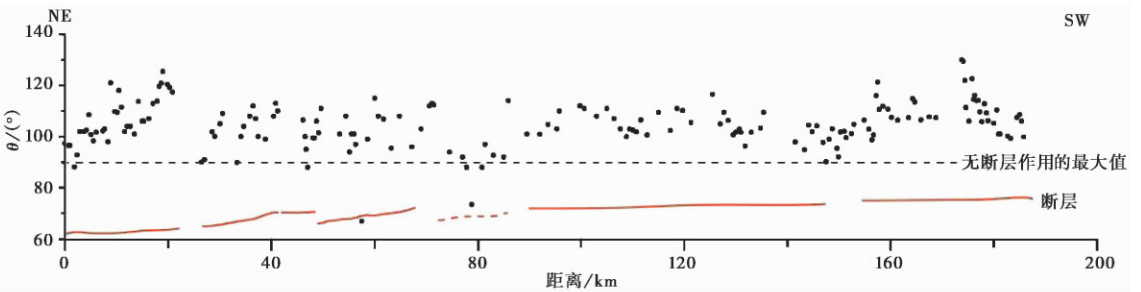


图 6 水系偏转角沿断裂走向分布图

Fig. 6 Distribution of deflection angles along the strike of the Nantinghe Fault.

和可信性。

## 5 讨论

构造地貌研究是揭示构造活动的重要手段之一(Burbank *et al.*, 2012)。由于构造运动的速率通常十分缓慢,其效果需要长期累积才能表现得较为明显,这种长期的累积,精密的测量仪器甚或漫长的人类历史有时都无法记录到。而构造地貌为内、外营力共同作用的结果,能够记录到这种长期累积的效果,并能通过相关的参数定量表达。所以,将地形地貌分析的方法应用到构造运动的分析上,并利用定量的地形地貌参数来描述构造地貌的变化,能获取地质构造的活动性特征(Keller *et al.*, 2002)。但是目前与研究断裂活动相关的参数,主要是基于河流或水系纵剖面提取的,因而被局限在反映断裂的垂直运动上,缺乏反映断裂水平运动的地貌参数。本文通过提取断层附近水系流域的偏转来研究以水平走滑为主的南汀河断裂带的运动模式。

1 条大的活动断层往往可以分成若干段,每 1 段可都作为 1 个独立的震源而发生地震破裂,并且每 1 段发生的地震破裂不受相邻段的制约而有着自己独特的活动历史(Schwartz *et al.*, 1984; Scholz, 1990; 丁国瑜等, 1993),也能预示未来潜在的最大震级(何宏林等, 1993)。断裂不同段的活动习性存在差异,但是通过传统方法进行的断层分段和活动性研究很难给出分段和活动性的具体的量化参数。对相同地貌现象,不同研究者也可能会有不尽相同的看法。具体到南汀河断裂带,无论是几何展布还是断裂不同段的活动性都存在着争议(朱玉新等, 1994; 王晋南等, 2006; 石峰, 2014)。

近十几 a 来发生在青藏高原的大地震都显示断裂的破裂具有分段性(图 7a、b、c),而且在同一段中同震位移量呈现两端小中间大的模式,同时晶格破裂模型模拟实验的结果也显示断层累积位移存在两端小中心大的分布模式(Cowie *et al.*, 1993),这是断层分段的最直接的证据。虽然上述断层分段方法可以指导我们对断层进行分段,但是在实际野外调查中很难发现这些证据。而利用构造地貌参数可以很好地解决这一问题。Kirby 等(2003)在研究龙门山断裂带不同断裂活动性差异中就使用了陡峭指数这一构造地貌参数,很好地反映出了龙门山断裂的活动性差异。这也说明利用构造地貌参数来研究断裂不同段活动性特征是可行的。

利用构造参数来验证断层分段的依据是滑动速率和累积位移量沿断层的分布是不均匀的,而且存在在断层末端减小的明显趋势。而同一断层不同段又可能相互影响(Gupta *et al.*, 2000)(图 8)。相邻段的位移量也受到这种不同断段落相互作用的影响,如果是处在图 8b、c、d 阶段,那么可以认为这 2 段是不同的段落。这种阶段下最明显的特征是在相邻段间位移量分布存在明显的下降趋势。而如果是在图 8e、f 阶段,那么就可以认为这 2 条段落已经发展成 1 条段落了。这种阶段与前面阶段最明显的差别就是位移量的分布没有明显的下降趋势。由于选取的水系流域面积在  $0.5 \sim 5\text{km}^2$  之间,所以如果假设水系形成的时间一致,那么由于断层走滑运动导致的水系偏转与断层走滑运动速率存在一致性,则可以用水系偏转沿断层走向的分布模式来反映断层的运动模式。

前期地质工作将南汀河断裂带分为南、北两大段(图 5),而水系偏转角沿断层走向的分布模式也很好地符合这个结论。在南、北段分界的地方,水系偏转角的值较小,说明在南、北两段间的位移量存在明显的下降趋势。这与前人对南汀河断裂的分段是一致的(朱玉新等, 1994; 王晋南等, 2006; 石峰, 2014)。水系偏转角在南、北两段的分布范围、平均值等参数基

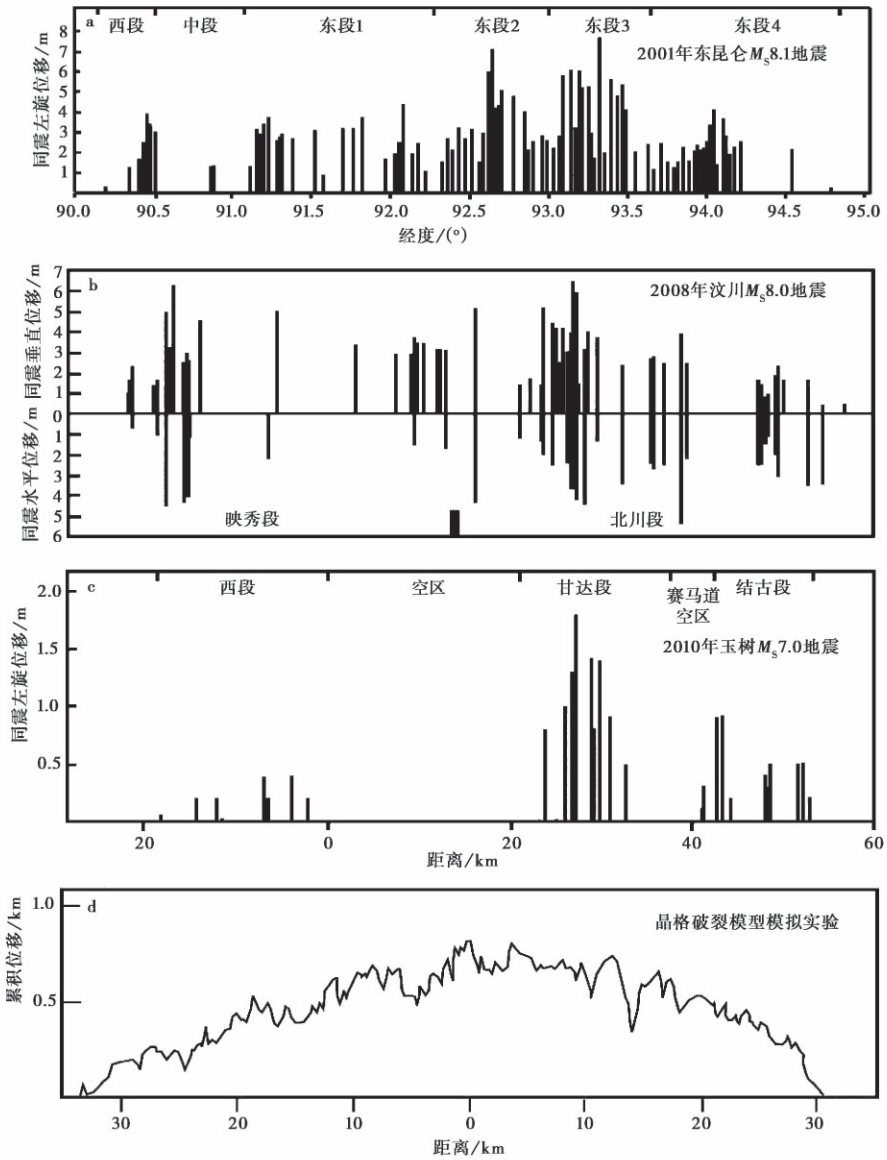


图 7 a 2001 年东昆仑地震同震左旋位移量分布图(据徐锡伟等, 2008); b 2008 年汶川地震同震位移量分布图(据 Xu *et al.*, 2009); c 2010 年玉树地震同震左旋位移量分布图(据 Li *et al.*, 2012); d 晶格破裂模型模拟实验得到的断层累积位移量(Cowie *et al.*, 1993)

Fig. 7 a Coseismic offsets distribution of 2001 Kunlunshan earthquake(after XU Xi-wei *et al.*, 2008); b Coseismic offsets distribution of 2008 Wenchuan earthquake(after Xu *et al.*, 2009); c Coseismic offsets distribution of 2010 Yushu earthquake(Li *et al.*, 2012); d Displacement distribution from modeling(after Cowie *et al.*, 1993).

本是一致的，这个结果显示南、北两段活动性不存在明显的差异。如果是南、北两段活动性存在明显差异，尤其是如果北段全新世甚至晚更新世晚期以来不活动，而南段全新世活动强烈，那么两段的位移量应该存在明显的差异，是可以反映在水系偏转角分布模式上的。最新的

工作也都显示南汀河断裂带北段全新世活动强烈(石峰, 2014; Sun *et al.*, 2017), 这与我们得到的水系偏转角分布模式一致, 也在一定程度上说明了本文结果的合理性和正确性。

虽然这种分析构造地貌参数的方法可以很好地弥补传统方法的不足, 并很好地应用在了南汀河断裂带。但还是有一些值得注意的问题:

(1) 水系的选取问题。不同面积、落差的水系其形成时间是不同的, 而对断层分段和活动性的研究都默认是同一时期的, 所以在选取时尽量要选取面积近似的水系。

(2) 其他因素影响。地貌受到构造、气候、岩性等共同作用, 那么其形态必然受到其他因素的影响。本文给定了一些假定条件来约束这些影响, 得到的结果也只能在模式上反映其活动速率或是累积位移量的分布模式, 并不能等同于其分布。

通过上述分析与讨论, 可以认识到利用构造地貌参数研究来补充和验证传统活动构造定量研究的结果可以更加准确、更加定量地分析活动构造的活动特征。尤其是在对断层分段和活动性进行分析时, 构造地貌参数可以很好地弥补传统活动构造研究中数据覆盖不全面的缺点。这为以后利用构造地貌参数分析断层的活动特征提供了良好的范例。

## 6 结论

使用通过 ALOS 卫星立体影像提取的高精度 DEM 作为基础数据源, 提取了南汀河断裂带沿线的水系偏转角。本文首次提出水系偏转角并应用于实际研究中, 该参数主要是对断层走滑位移量的反映。通过这些参数分析了南汀河断裂带流水地貌对断层活动的响应特征, 并且用这些参数对断裂空间展布和活动性进行了验证, 分析断裂的运动学与几何学特征, 为探讨活动断层与地貌响应之间的关系提供良好范例。

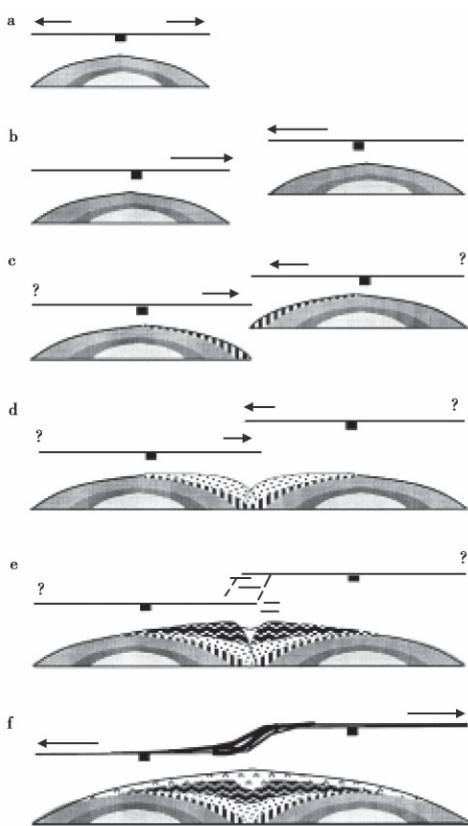


图8 断层相邻段落影响模式概念图  
(Gupta *et al.*, 2000)

Fig. 8 Conceptual model: interaction of sub-parallel faults (after Gupta *et al.*, 2000).



## 参 考 文 献

- 蔡庆空, 蒋金豹, 张玲, 等. 2014. ALOS-PRISM 立体像对提取 DEM 的应用研究 [J]. 测绘科学, 39(1): 70—73.
- CAI Qing-kong, JIANG Jin-bao, ZHANG Ling, *et al.* 2014 Study on DEM extraction by ALOS-PRISM stereo pair [J]. Science of Surveying and Mapping, 39(1): 70—73(in Chinese).
- 丁国瑜, 田勤俭, 孔凡臣, 等. 1993. 活断层分段: 原则、方法及应用 [M]. 北京: 地震出版社.
- DING Guo-yu, TIAN Qin-jian, KONG Fan-chen, *et al.* 1993. Segmentation of Active Fault: Principle, Method and Application [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 何宏林, 周本刚. 1993. 地震活动断层分段与最大潜在地震 [J]. 地震地质, 15(4): 333—340.
- HE Hong-lin, ZHOU Ben-gang. 1993. Segmentation of seismo-active faults and the potential maximum earthquake magnitude on the segments [J]. Seismology and Geology, 15(4): 333—340(in Chinese).
- 石峰. 2014. 南汀河断裂带构造地貌研究 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所.
- SHI Feng. 2014. Tectonic geomorphology of the Nantinghe Fault in southeastern Yunnan [D]. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing.
- 汤国安, 刘学军, 闫国年. 2005. 数字高程模型及地学分析的原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社.
- TANG Guo-an, LIU Xue-jun, LU Guo-nian. 2005. Principle and Method of Digital Elevation Model and Geo-science Analysis [M]. Science Press, Beijing(in Chinese).
- 王晋南, 王洋龙, 安晓文, 等. 2006. 南汀河西支断裂北东段最新活动性分析 [J]. 地震研究, 29(3): 264—268.
- WANG Jin-nan, WANG Yang-long, AN Xiao-wen, *et al.* 2006. Analysis of latest activity on NE-segment of west branch of Nantinghe Fault [J]. Journal of Seismological Research, 29(3): 264—268(in Chinese).
- 徐锡伟, 于贵华, 马文涛, 等. 2008. 昆仑山地震( $M_w$ 7.8)破裂行为、变形局部化特征及其构造内涵讨论 [J]. 中国科学(D辑), 38(7): 785—796.
- XU Xi-wei, YU Gui-hua, MA Wen-tao, *et al.*, 2008. Rupture behavior and deformation localization of the Kunlunshan earthquake( $M_w$ 7.8) and their tectonic implications [J]. Science in China(Ser D), 51(10): 1361—1374.
- 朱玉新, 李珏, 任金卫. 1994. 南定河断裂带断层活动特征与古地震事件 [J]. 中国地震, 10(4): 347—356.
- ZHU Yu-xin, LI Ping, REN Jin-wei. 1994. Activity of Nandinghe fault zone and its paleoearthquake events [J]. Earthquake Research in China, 10(4): 347—356(in Chinese).
- Burbank D W, Anderson R S. 2012. Tectonic Geomorphology [M]. West Sussex, UK. Wiley-Blackwell.
- Castelltort S, Goren L, Willett S D, *et al.* 2012. River drainage patterns in the New Zealand Alps primarily controlled by plate tectonics strain [J]. Nature Geosciences, 5:744—788.
- Cowie P A, Vanneste C, Sornette D. 1993. Statistical physics model for the spatiotemporal evolution of faults [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 98(B12): 21809—21822.
- Gupta A, Scholz C H. 2000. A model of normal fault interaction based on observations and theory [J]. Journal of Structural Geology, 22:865—879.
- Keller E A, Printer N. 2002. Active Tectonics: Earthquake, Uplift, and Landscape [M]. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Kirby E, Whipple K X, Tang W Q, *et al.* 2003. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan plateau: Inference from bedrock channel longitudinal profiles [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B4): 2217. doi: 10.1029/2001JB000861.

- Li C Y, Pang J Z, Zhang Z Q. 2012. Characteristics, geometry, and segmentation of the surface rupture associated with the 14 April 2010 Yushu earthquake, eastern Tibet, China [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(4): 1618—1638.
- Lifton N A, Chase C G. 1992. Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: Implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California [J]. *Geomorphology*, 5 (1-2): 77—114.
- Maruya M, Ohyama H. 2007. Estimation of height measurement accuracy for ALOS PRISM triplet images [C]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2869—2872.
- Pieri D C. 1984. Junction angles in drainage networks [J]. *Journal of Geophysical Research*. 89(B8): 6878—6884.
- Scholz C H. 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting* [M]. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Schwartz D P, Coppersmith K J. 1984. Fault behavior and characteristic earthquake: Example from the Wasatch and San Andreas fault zones [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B7): 5681—5698.
- Sun H, He H, Wei Z, *et al.*, 2017. Late Quaternary paleoearthquakes along the northern segment of the Nantinghe Fault on the southeastern margin of the Tibetan plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 138:258—271.
- Takaku J, Futamura N, Iijima T, *et al.* 2007. High resolution DSM generation from ALOS PRISM [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1974—1977.
- Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, *et al.* 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet plateau [J]. *Science*, 294 (5547): 1671—1677.
- Xu X W, Wen X Z, Yu G H, *et al.* 2009. Coseismic reverse- and oblique-slip surface faulting generated by the 2008  $M_w$ 7.9 Wenchuan earthquake, China [J]. *Geology*, 37(6): 515—518.

# RESEARCH ON THE MOTION PATTERN OF SLIP-STRIKE FAULT BY USING DEFLECTION ANGLES——A CASE STUDY OF THE NANTINGHE FAULT

SHI Feng<sup>1)</sup> HE Hong-lin<sup>1)</sup> Alexander L Densmore<sup>2)</sup>

WEI Zhan-yu<sup>1)</sup> SUN Hao-yue<sup>1)</sup>

1) *Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

2) *Department of Geography, Durham University, Durham, UK*

## Abstract

Since the 1970s, active tectonics has advanced from qualitative research to quantitative research. Many researchers focus on which qualitative parameters to obtain and how to obtain them. It is usually accepted that the following parameters are necessary for quantitative descriptions of active faults: length of a fault or segment, displacements, slip rates, and paleo-earthquake events. Because of the complex nature of problems concerned and limited capability of human recognition, there are still some errors and uncertainties in these parameters. Tectonic geomorphology provides a useful tool to help solve the problems above. Tectonic geomorphology could record long-term accumulation of tectonics, and quantize them by relevant parameters. Tectonic movements have been exerting significant influence upon formation of topography and landforms, and such processes are usually extremely slow over very long time which cannot be documented by human history and any instruments. Observations, especially direct measurements of various features of geomorphology can reveal details of tectonic movement, including slip on active faults. In the early time, such studies were usually limited in one or two parameters of geomorphology to characterize active tectonics. With rapid development of computer and DEM technologies, it is possible to use multiple parameters of landforms to describe regional tectonic activity. Previous work in this aspect focused on large scales, while a little on small scale faults or individual faults. And existing studies are mostly concerned with normal or thrust faults dominated by vertical motion. In this paper, we focus on the Nantinghe Fault, which is strike-slip fault. Based on high resolution DEM extracted from ALOS data, we extract 180 drainages along the Nantinghe Fault. Based on the relationship between deflection angles and faulting, we analyze the segmentation and activity. Using the distribution patterns of the factors, this study examines the geometry and activity of the Nantinghe Fault, which were obtained from comprehensive remote sensing interpretation and field investigations. The results provide an example for research on the relationship between faulting and landforms.

**Key words** deflection angle, tectonic geomorphology, Nantinghe Fault

〔作者简介〕 石峰,男,1984年生,2014年于中国地震局地质研究所获构造地质专业博士学位,助理研究员,主要从事活动构造与构造地貌研究,电话:010-62009127, E-mail: Shifeng@ies.ac.cn。