

宫会玲, 冉勇康. 基于 DEM 的垂直位错分析-以安宁河断裂为例[J]. 华南地震, 2015, 35 (4): 71-76. [GONG Huiling, RAN Yongkang. The Vertical Dislocation Analysis Based on DEM - A Case Study of Anninghe Fault[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(4): 71-76.]

## 基于 DEM 的垂直位错分析-以安宁河断裂为例

宫会玲<sup>1</sup>, 冉勇康<sup>2</sup>

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100200)

**摘要:** 选择高差阴影法识别断层, 以类似恢复古地貌面的原理为基础, 获得了分析区最大阶地面(古阶地面), 以此为前提条件研究断层两端的趋势面, 整体性的研究断层逆冲作用导致的地形的变更, 通过断层两端的趋势面研究获得断层面两端的垂直位错最大及最小值分别是 43 m 及 3 m, 平均位错几乎在 20 m 至 5 m 之间。然而此值并非由断层作用导致的真正位错值。趋势面最大程度的恢复了地貌面, 而现存的地貌面因为受到外界环境的影响, 实际所测的位错量与趋势面研究结果比较起来应该要小。结果为安宁河断裂的位移研究提供一个参考。

**关键词:** 安宁河断裂; DEM; 活动断裂; 垂直位错; 古地貌面

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2015) 04-0071-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.04.11

## The Vertical Dislocation Analysis Based on DEM - A Case Study of Anninghe Fault

GONG Huiling<sup>1</sup>, RAN Yongkang<sup>2</sup>

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 210070, China; 2. The Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 10020, China)

**Abstract:** The paper uses the height difference shadow image method to identify faults. Based on the similar principles of the ancient topography surface restoration, the paper gets the biggest geomorphic surface (the ancient geomorphic surface) of the study area. On the basis, the paper does the trend surface analysis on both sides of fault, and analyzes changes in terrain caused by the role of fault thrust on macro-level. Through the trend surface analysis on both sides of the fault, the paper can get the result that the maximum of the vertical dislocation is 43 m, the minimum is 3 m, the average dislocation roughly between 20-5m. However, this value is not the true value of the dislocation caused by the faulting. Although the trend surface restored the geomorphic surface to the greatest degree, while the existing geomorphic surfaces affected by the external environment, compared to the trend surface study result, the measured dislocation should be small. The results provide a reference for the displacement studies of Anninghe fault.

**Keywords:** Aninghe fault; DEM; Active fault; Vertical dislocation; The ancient geomorphic surface

收稿日期: 2015-01-10

作者简介: 宫会玲 (1982-), 女, 工程师, 主要从事地震预报工作。

E-mail: gxgpl@126.com.

## 0 前言

大地构造运动主要以断裂活动来表现,识别断层同时全面分析它,不单单是分析地貌形变、区域构造和地貌演化过程的重要部分,同时在防震减灾方面发挥着关键的作用<sup>[1]</sup>。但长期以来,根据野外地貌研究、探槽等途径找出及识别断层,通常需要投入很多的时间还有人力及物力。在这些年里,地学里遥感及地理信息系统的不断发展,人们逐步选择卫星影像信息来获取断层相关信息<sup>[2]</sup>,在很大程度上增加了工作效率及分析的精准性,而以 DEM 为基础研究活断层,是近些年才开始出现的。基于 DEM 研究断层,现阶段主要有两种方法:地形参数法和阴影图像法。文章选择高差阴影图像对别断层进行鉴别。

## 1 高差阴影图像法的基本原理

选择 DEM 识别断层,地形阴影图像法是现阶段应用十分广泛的方法之一。其基本工作原理:不管是何类运动特性的断层,断层两侧地形会出现一定的高差,表现为垂直断错或水平位移,这种变形特征,展现了断层的位置及断层的基本特性。因为断层两端的地貌形态会出现突变,于适当的方位角及高度角光源的照射下,断层面可以出现适当的线状阴影。以此为基础才可以选择卫星影像及航片来识别断层<sup>[3]</sup>,把 DEM 和卫星图像还有航空照片进行比较,展现出下述的优势:首先,DEM 不单单能够代表地表形态,此外还有精准的

地表高程信息,把地形阴影图像里的线状阴影和 DEM 叠加,不难鉴定及划分沟谷线、山脊线及陡崖线构造出的线状阴影;二是在卫星影像拍摄的时候,太阳方位角及高度角是固定的,这不方便某些方位的断层于影像里构造阴影,影响鉴定断层线的效果。利用 DEM,设定具有差异的角度光源,生成不同方位角的地形阴影图像,此类阴影图像,不单单能够展现地表起伏形态,也能够展现断层的基本线状特性<sup>[4-5]</sup>。

在不一样的太阳方位角及高度角的影响下,同一断层,可以获得与之相对应的不一样的阴影图像。在构建高差阴影图像的过程中,假使设定的太阳高度角不大,则图像中断层的高差阴影则与之相反会很大,断层于图像中构造出极宽的黑色条带,不方便识别鉴定断层线,假使设定的太阳高度角过大(也就是约为  $90^\circ$ ),断层于图像里则构造出较窄的黑色条带,断层高差于阴影图像里根本不能展现。为明确合理的设置太阳高度角,文章把太阳方位角稳定于  $45^\circ$ ,以  $5^\circ$  为间隔划将太阳高度从  $10^\circ \sim 90^\circ$  归类成 16 个段,获得了 16 幅高差阴影图像,根据对比研究,找出安宁河区域的断层,太阳高度角需控制于  $20^\circ$  至  $60^\circ$  间,实际还需参考断层的走向及规模进行设置。

为明确鉴定不同的走向、高差的断层,本文把太阳高度角各自设置成  $25^\circ$ 、 $30^\circ$  及  $45^\circ$ ,通过  $45^\circ$  间隔,把太阳方位角由  $0^\circ$  至  $360^\circ$  归类成 8 个区间,共得到 32 幅不一样的高差阴影图像,分析解译后获得图 1 展现的断层整体解译图。

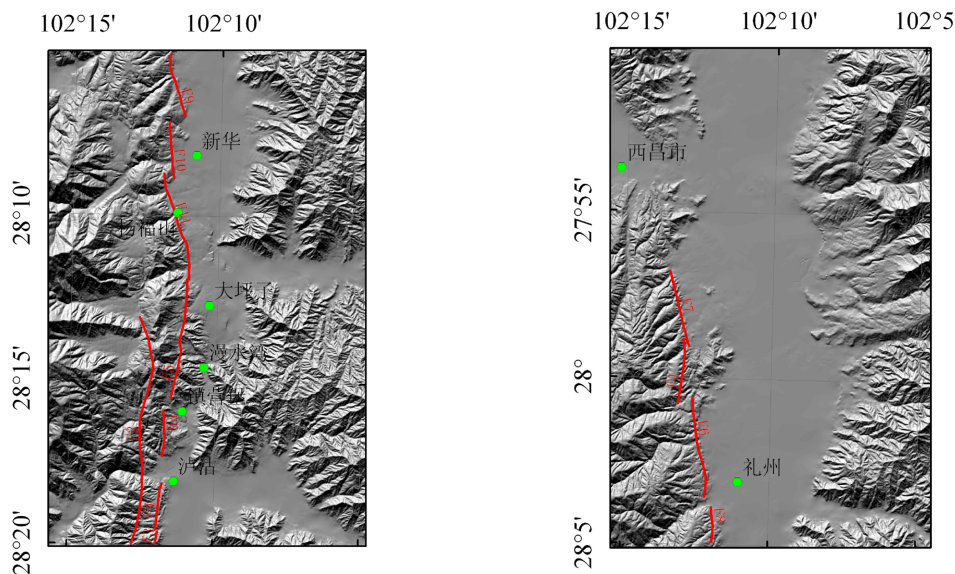


图 1 断层分布图

Fig.1 Distribution map of faults

## 2 断层两侧的垂直位错分析

安宁河断裂处在青藏高原东侧、贯穿山脉中段的东部,其北、南、东分别连接着鲜水河活动断裂、则木河活动断裂及大凉山断裂三个断裂带,是川滇活动块体的东边界的中部,起着一定衔接的作用。由北端的鲜水河的左旋为主的滑动量转换为近南北向的安宁河断裂,它的断裂的滑动特性调整成走滑及挤压的两种构造。如何得到安宁河垂直位错量,其与水平位错的比例是多大,此类均属于应该重视的问题,以前的研究对其垂直位错量重视不多,但是GIS进步的同时,让我们能够选择DTA技术来研究断层两端的垂直位错。研究垂直位错之前,首先需处理一下DEM,也就是建设古地貌面。

### 2.1 古地貌面的重建

内外营力长时间彼此影响构造出当下安宁河区域的地貌形态。根据重建得到的阶地面,能够最大程度的减弱外界侵蚀作用对地貌的影响,有利于更精确分析断层垂直位错。

(1) 古地貌面重建技术。参考当下地形高程数据,能够将地形面恢复到以前的形态,然而需要注意的是,要提供重建古地形面所需的地貌标志,同时将这个当成边界条件。针对国际上有关分析而言,地貌标志的挑选有所差异,例如:第四纪阶地,峡谷肩部以及晚新生代侵蚀残存地层等<sup>[5-6]</sup>,尽管很多人选择了不一样的地貌标志,然而此类地貌标志普遍均展现出相似的特征:① 此类地貌标志的构建时间应是在一个地质历史年代,年代划分十分显著;② 此地貌标志没有发生变形或有较弱的变形;③ 推断地貌标志还没有遭受破坏的时候,其内部整体没有很大的高差。在恢复古地貌形态的时候,所挑选的地貌标志,应具备以上的特征,关键是由于宏观区域里没有变形及变形强度不大的地貌具备一定的对比性及关联性。在古地貌面恢复中,层状地貌具有十分重要的作用<sup>[7-8]</sup>,由于其展现出地表上升的情况,而部分的岩体、山峰还有断层的升高与山体的整体的升高不是一样的<sup>[9]</sup>。分析区囊括了安宁河第四纪阶地,古地貌面重建的意义在于将地貌面恢复为以前没有被外部侵蚀时的地貌面,让它尽可能的恢复到以前没有被侵蚀的情况,从而能够极其准确的来算出因为断层运动导致的断层两端的垂直位错。

利用DEM,尽可能将地貌恢复到没有被侵蚀

时候的形态,随之以恢复的古地形面为前提条件,研究断层两端的垂直位错。然而,恢复的古阶地面高度应该是古阶地面的最小的高度。恢复的古地貌面展现出的高度仅表示阶地面形成以来经过一定程度剥蚀后的高程,换句话说而言,它原始高程需要大于当下留存的高度。

(2) 阶地面最大高程提取。为了获得高程最大的阶地面,需对DEM实施3×3窗口邻域研究,也就是于30 m×30 m的区域里找出最大高程点,直至涵盖全部的区域。

(3) 插值生成最大高程面。选择反距离权重插值(IDW)方法,利用上一步中得到的最大高程点插值构造一个完整的高程表面并生成全新的DEM。

### 2.2 断层两侧垂直位错

对活动断裂进行分析的时候,滑动速率是表征断层活动的一个很重要的参数,在一定程度上反映了断层活动的强度。断裂的滑动速率是断裂于一定时间段内错动的速度。它反应了断层带的长期和平均的活动程度和断裂带上的应变能的释放速率,也可以通过它来比较不同断裂带的活动程度,并进行断裂的地震危险性评价。要获得滑动速率,首先应获得位错量。本文尝试通过断层两端的趋势面研究,以获得断层两端的垂直位错量。

断层两侧存在垂直位错,若是地势高的一端被抬升,因为断层逆冲,地势较高的一端断层临近位置梯度升高后又慢慢变得平缓。假使地势较低的一端被抬升,因为断层逆冲,如此一来断层临近位置的梯度会发生方向性的改变,出现一个极其典型的拐点。本文里的安宁河断裂整体而言是向西侧逆冲活动,结和断层两端的趋势面,分析断层垂直位错。

于断层两侧,以相关的坡度图为基础,选择断层两侧适当区域里坡度的适当范围,选择最大高程点,然后开展插值获得趋势面。

分别对F1、F3、F4、F6、F7、F8、F9、F10、F11断层进行断层两端的一阶趋势面研究。趋势面在一定程度上反映了断层两端地势的变化,分别统计断层两端趋势面的坡度及坡向(见表1)。

由表1可知,断层F3及F112,西侧趋势面坡度高于东侧,断层F112位于杨福山福建,野外发现此断层断面倾向西<sup>[10-11]</sup>,这应是由于位于断层东侧的地层往西侧逆冲,引起位于断层西侧的地层坡度变大,而因为逆冲作用,使得临近断层东侧

区域的地层坡度变小。安宁河断裂整体上属于东倾,然而在部分的小段西倾,因此推测断层 F3 倾向西,才会出现断层西侧坡度较大,东侧坡度不大的现象。

由表 1 可知,很多断层两侧的趋势面坡向几乎没什么变化,而断层 F3、F4 的坡向有很大的变化,两侧趋势面坡向几乎是相向的,通过阴影图可知,断层 F3、F4 构造出了槽谷,断层两侧高程

是上升的,因此此类断层两侧趋势面是相向的。

针对每一条断层,做其东西两侧趋势面上的剖面线,整体上研究断层两端的垂直位错。断层位置见图 1,下述的趋势面研究图,X 轴方向和断层方向平行。

通过图 2 能够得出,断层 F1 东侧趋势面要高于西侧趋势面,高度差最大值及最小值分别是 43 m 和 11m。

表 1 断层两侧趋势面坡度、坡向  
Table 1 The slope, aspect of the trend surface on both sides of the fault

断层名称	断层西侧趋势面坡度/°	断层西侧趋势面坡向/°	断层东侧趋势面坡度/°	断层东侧趋势面坡向/°
F1	7°	269°	10°	268°
F3	18°	129°	10°	241°
F4	9°	103°	9°	277°
F6	1°	263°	6°	265°
F7	11	258	14	256
F8	4	210	11	252
F9	11	254	14	253
F10	5	285	10	275
F11 <sub>1</sub>	7	273	15	272
F11 <sub>2</sub>	17	254	7	239
F11 <sub>3</sub>	6	247	11	245

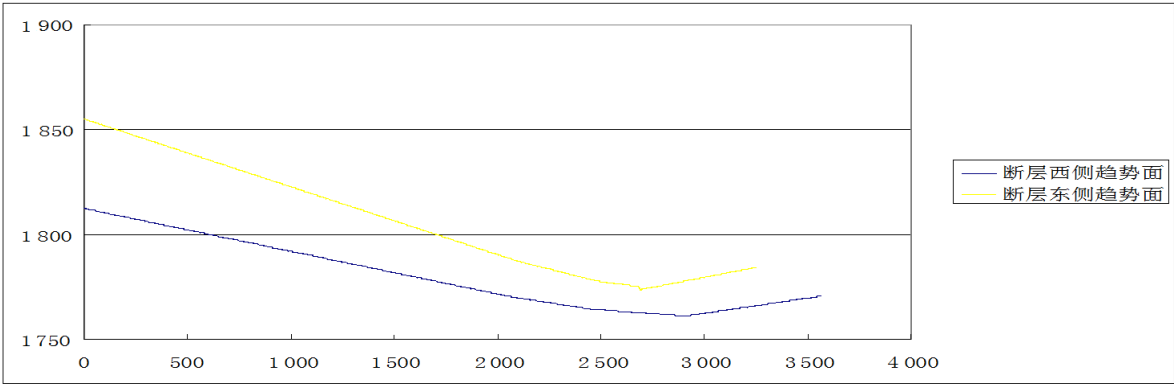


图 2 F1 两侧趋势面剖面图  
Fig.2 The profile of the trend surface on both sides of the F1fault

通过图 3 对比可知,断层 F3 东侧趋势面要高于西侧趋势面,高度差最大值及最小值分别是 27 m 和 6 m,最大值处在剖面线开始的位置,断层西侧趋势面坡度较大,东侧趋势面坡度不是很大,这是因为断层西倾给两侧地层的作用和其它的东倾断层对它的两端地形的作用是相反的。

通过图 4 对比可知,断层 F6 东侧趋势面要高于西侧的趋势面,高度差最大值及最小值分别是 34 m 和 10 m,最大值处在剖面线的起始位置,F6 两侧自然地势东高西低,若没有断层影响,那断

层两侧趋势面,坡度应是一样的,然而因为断层作用,两端趋势面不一致,地貌展现为类似正断层的性质。

通过图 5 对比可知,断层 F7 北段东侧趋势面要高于西侧趋势面,高度差最大值是 10 m,断层南段西侧的趋势面高于东侧趋势面,最大值是 6 m,推测此类南北段地势的差异,可能是由于断层的左旋影响导致的,或者以中间位置为枢纽发生了旋转。

通过图 6 对比可知,断层 F9 西侧趋势面要高

于东侧趋势面,高度差最大值及最小值分别是 11 m 和 4 m。

通过图 7 对比可知,断层 F10 东侧趋势面高于西侧的趋势面,高度差最大值及最小值分别是 22 m 和 14 m,通过阴影图可知该断层位于山前及

阶地连接的部位,自然地势为东高西低,而趋势面趋势与其一致,所以对断层的位错不能明确。

通过图 8 对比可知,断层 F112 西侧趋势面高于东侧趋势面,高差最大值及最小值分别是 29 m 和 7 m。

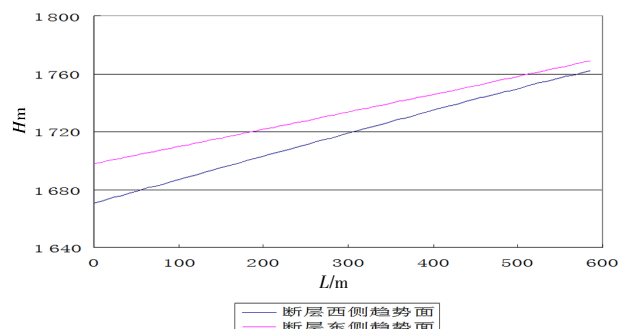


图 3 F3 两侧趋势面剖面图

Fig.3 The profile of the trend surface on both sides of the F3 fault

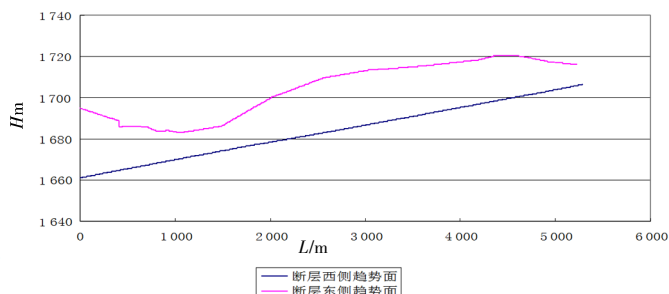


图 4 F6 两侧趋势面剖面图

Fig.4 The profile of the trend surface on both sides of the F6 fault

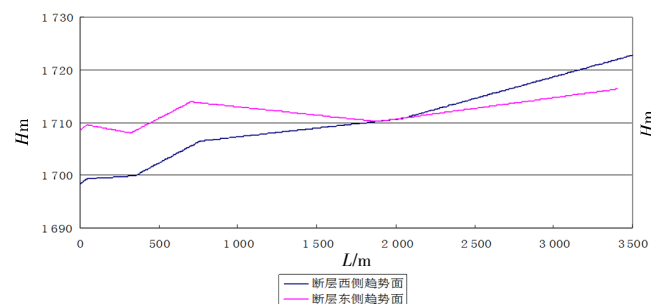


图 5 F7 两侧趋势面剖面图

Fig.5 The profile of the trend surface on both sides of the F7 fault

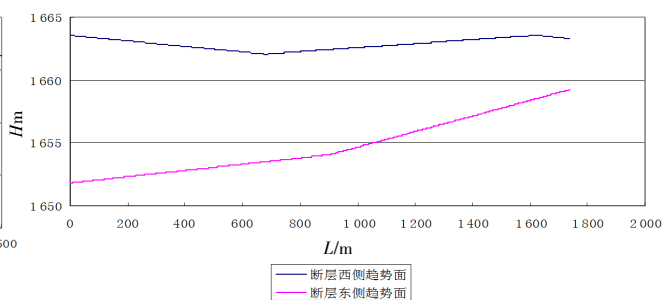


图 6 F9 两侧趋势面剖面图

Fig.6 The profile of the trend surface on both sides of the F9 fault

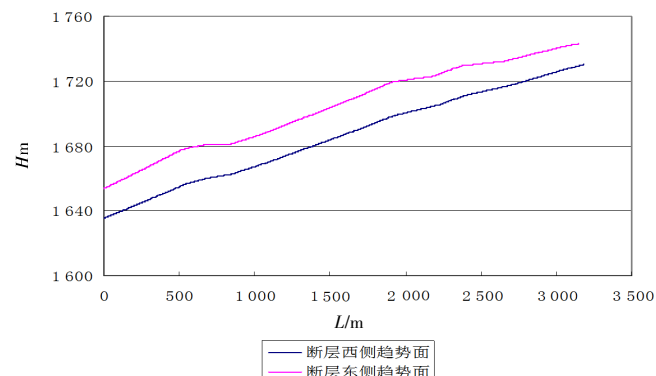


图 7 F10 两侧趋势面剖面图

Fig.7 The profile of the trend surface on both sides of the F10 fault

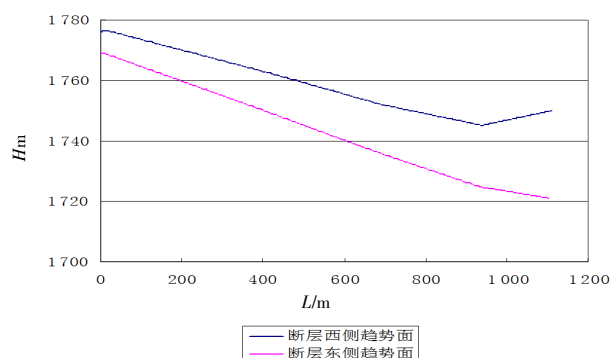


图 8 F112 两侧趋势面剖面图

Fig.8 The profile of the trend surface on both sides of the F112 fault

### 3 结语

根据上述的剖面研究,本文未能够获得整体

的位错值,其一是因为断层各段作用强度不同,断层逆冲作用导致的位错量,本就没有统一值;其二是外部环境影响不均衡让各段不能获得统一

的位错值, 仅仅可以对某一具体的区域, 获得估计的位错量值。根据断层两侧适当的距离范围内的趋势面以推算断层两侧的高差, 能够在很大程度上减少外界侵蚀给地形带来的影响, 然而此值不是实际的断层作用导致的位错值, 其仅通过宏观上的地形差异给断层的运动有一定的指示作用。通过断层两端的趋势面研究能够得出结论, 断层面两端的垂直位错最大值及最小值分别是 43 m 及 3 m, 平均位错在 20 ~5 m 间, 趋势面最大程度的恢复了最大的地貌面, 而现存的地貌面因为外部环境的侵蚀作用, 实际测量的位错量应当不会超过趋势面研究获得的结果。

高差阴影图像方法识别断层的原理是在断层两端, 因为断层运动导致的垂直和水平位错, 于断层面构造出阴影。尽管具备一定的阴影, 然而当选择 DEM 实际研究它的位错量的过程中, 有时甚至不能获得位错值。它的原因主要是因为数据精度的问题, 因此选择高准度的数据进行位错量研究, 或者选择差分 GPS 实测, 能够很很好的解决精度问题。

#### 参考文献:

- [1] 王义祥. 基于地理信息系统的祁连山数字地形分析和隆升机理研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [2] Slemmons and Depolo. Evaluation of active faulting and associated hazards. In: R.EWallace ( Editor) .Active Tectonics [M]. Washington: National Academy Press, 1986.
- [3] Takashi O, Tatsuto A., Nobuhisa M. Identification of an active fault in the Japanese Alps from DEM -based hill shading[J]. Computers&Geosciences, 2003, 29 ( 7) : 885-891.
- [4] Thelin, G.P, Pike, R.J. Landforms of the conterminous United States—a digital shaded-relief portrayal[J]. Manual of US Geological Survey Map , 1991: 1-2206.
- [5] Rodriguez F, Marie E, Courjault-Rade P, et al. The Black Top Hat function applied to a DEM: A tool to estimate recent incision in a mountainous watershed ( Estibère Watershed.Central Pyrenees) [J]. Geophysical Research Letters, 2002, 9 (6): 91-94.
- [6] Small E E, Andeson R S.Pleistocene relief production inLaramide mountain ranges, western United States [J]. Geology, 1998, 26: 123-126.
- [7] 潘保田, 高红山, 李吉均. 关于夷平面的科学问题—兼论青藏高原夷平面[J]. 地理科学, 2002, 22 ( 5): 520-526.
- [8] 潘保田, 李吉均, 李炳元. 青藏高原地面抬升证据讨论 [J]. 兰州大学学报( 自然科学版), 2000, 36 ( 3): 100-111
- [9] England P, Molnar P.Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks [J].Geology, 1990, 18: 1173-1177.
- [10] 王新民, 张成贵, 裴锡瑜. 晚第四纪安宁河活动断裂的构造活动与演化[J]. 四川地震, 1998 ( 4): 1-12
- [11] 王新民, 张成贵, 裴锡瑜. 安宁河活动断裂带的新活动性[J]. 四川地震, 1998 ( 4): 13.