

基于DEM的岷江上游流域构造活动强度分析

常直杨¹, 王 建^{1,2*}, 白世彪^{1,2}, 张志刚¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023)

摘要 :目前,利用DEM衍生的地貌参数对大面积区域构造活动进行量化分析的研究相对较少。本文以岷江上游流域为例,利用ASTER GDEM数据和GIS技术,提取了该流域面积高程积分值(HI)、河长坡降指数(SL)、流域盆地不对称度(AF)、盆地形状指数(BS)、谷底宽度与谷肩高度比(VF)和水系分维数(FD)6种地貌参数,对其进行了等级划分,并量化了研究区相对构造活动强度(IAT)。结果显示:岷江上游流域有较高的SL、AF、BS值,较低的VF及FD值,中等HI值,其IAT值为1.33,分类等级为1级,表明该流域侵蚀程度强烈,流域形态狭长,河谷呈V型形态,受构造活动影响显著,地貌发育处于幼年期晚期,中年期早期。研究结果与区域地质背景较为吻合,该方法可为进一步探讨区域构造活动差异性提供新的手段。

关键词 构造活动;地貌参数;DEM;岷江上游流域

DOI:10.3724/SP.J.1047.2014.00568

1 引言

目前,国内外对河流及流域地貌构造活动开展了的广泛研究,取得了显著的成果^[1-4]。例如,Bull^[5]、Silva等^[6]利用山前曲折度(Smf)、谷底宽度与谷肩高度比(VF)、流域盆地不对称度(AF)及盆地形状指数(BS)等地貌参数分析了山前带的活动构造并对构造掀斜程度进行量化分析;马保起等^[7]利用VF值对大青山的地貌特征及新构造意义进行了探讨;闫冬冬等^[8]利用河长坡降指数(SL)、面积高程积分值(HI)和BS等地貌参数对六棱山北麓断层中段的5条冲沟活动性进行了量化研究。

然而,这些研究多针对单一山前带或河谷的构造活动程度评价^[5-9],以及小尺度流域(数百、数千km²)构造活动的分析^[10-16],在较大尺度的研究偏少。此外,由于随着研究区面积的增大,较难获取高分辨率DEM,一些地貌参数,如Smf的计算便会产生主观性,因此探讨一些新的参数(如水系分维数(FD))很有必要。

岷江上游流域位于青藏高原东缘造山带向四

川盆地过渡的区域,面积约23 000 km²,山脉形成较晚,保留的地质现象明显,地貌形态和水系格局能够较好地记录构造活动方式^[4,17]。在利用流域地貌参数进行构造活动定量分析的尺度方面,也是一个较好的研究区。因此,本文利用30 m分辨率的ASTER GDEM数据和GIS技术,提取HI、SL、AF、BS、VF和FD等地貌参数对岷江上游流域地貌特征进行研究,以期对该流域构造活动强度进行定量分析。

2 研究数据与区域特征

(1)本文所使用的数字高程模型数据(ASTER-GDEM)下载自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>),经过投影转换、拼接、空洞填补、裁切而成,网格大小为30 m,数据格式为ArcGIS的grid格式,垂直精度为±20 m,水平精度为±30 m。

(2)岷江上游流域位于龙门山、岷山等一系列

收稿日期 2013-09-23;修回日期:2013-11-05.

基金项目 南京师范大学全国优秀博士论文培育项目(2012BS0005);江苏省优势学科项目(JSYS201107)。

作者简介 常直杨(1987-),男,河南济源人,博士生,研究方向为GIS和RS技术在地貌学中的应用。

E-mail:changzhiyang1@126.com

*通讯作者 王 建(1962-),男,山东昌邑人,教授,博士生导师,研究方向为自然地理学和第四纪环境学。

E-mail:jwang169@vip.sina.com

山脉与四川盆地之间组成的青藏高原东缘地形陡变带(图1),该地区是高原气候区与季风区的交界处。主干河道流向自北向南,河谷深切,河谷与山脊之间相对高差达3000 m以上^[18]。支流在干流的西侧发育,主要有黑水河、杂谷脑河、草坝河和鱼子溪等,这些支流向高原腹地溯源侵蚀,形成了沟谷纵横的山地侵蚀地貌。另外,该流域处于松潘-甘孜褶皱带、西秦岭造山带,以及龙门山构造带的结合部位,区域内发育的断裂系统主要有龙门山逆冲推覆构造带,岷江断裂带^[4]。已有研究表明,各断裂自晚新生代以来均表现出较强的构造活动特征^[19-20]。研究区内各地层单元界线相对清晰,岩性主要以变质砂岩、灰岩、板岩及碳酸岩为主,局部地

区发育花岗岩,岷江水系上游河床基底主要以中生界复理石及中生界杂岩为主,岩性变化小^[4]。

3 流域构造活动强度DEM分析

3.1 地貌参数选取及分析方法

单一的地貌参数解释区域构造活动存在一定局限性,使用多种地貌参数对构造活动分级则更有说服力^[2]。受DEM数据精度的影响,一些地貌参数,比如Smf,需要高精度的DEM数据或遥感影像,而岷江流域面积比较大,高分辨率DEM数据的获取具有一定的难度。考虑到实际情况,本文选取河流阶地指数(SL)、面积高程积分值(HI)、流域盆地不对称度(AF)、形状指数(BS)、谷底宽度与谷肩高度(VF)及水系分维数(FD)等典型地貌参数,这些参数值受DEM分辨率的影响较小。其中,SL的异常可反映断裂活动的作用,HI、AF、BS、FD则从宏观上反映了流域的构造活动状况。

各地貌参数的详细描述见表1。另依据不同地貌参数值的分级标准,将其划分为不同等级的构造活动强度,并求取不同地貌参数等级分类值的平均值,得出整个流域构造活动等级(IAT),同时结合区域地质背景及前人的研究成果对比分析岷江上游流域的构造活动强度,主要流程如图2所示。

3.2 基于DEM地貌参数的流域构造活动强度分析

3.2.1 面积高程积分(HI)

高积分值意味着流域内大部分物质体积未被侵蚀,地形演化时间短,且积分曲线呈上凸型,地貌处于幼年期,可能与近期的构造活动有关^[11,16]。反之,地形演化时间越长,积分曲线呈下凹型,地貌处于老年期,介于凸型及凹型之间呈凹凸型的则为中年期。因此,依据HI值大小及积分曲线形态可分为3类:HI>0.5,积分曲线为凸型;0.4≤HI≤0.5,积分曲线为凹凸型或线型;HI<0.4,积分曲线为凹型^[10]。本文利用DEM数据与ArcGIS软件以100 m高程为间隔,获取一系列(X, Y)值,作出积分曲线如图3所示。从图3可得:积分曲线呈S型,积分值为0.5,表明岷江上游流域在地貌上处于幼年期晚期和中年期早期,流域地势起伏大,地面切割破碎、崎岖不平,符合岷江上游流域地貌特征。

3.2.2 河长坡降指数(SL)

通常,河长坡降指数值偏高的河段,能够反映出该河段构造活动比较强烈,或流经河段岩性抗侵

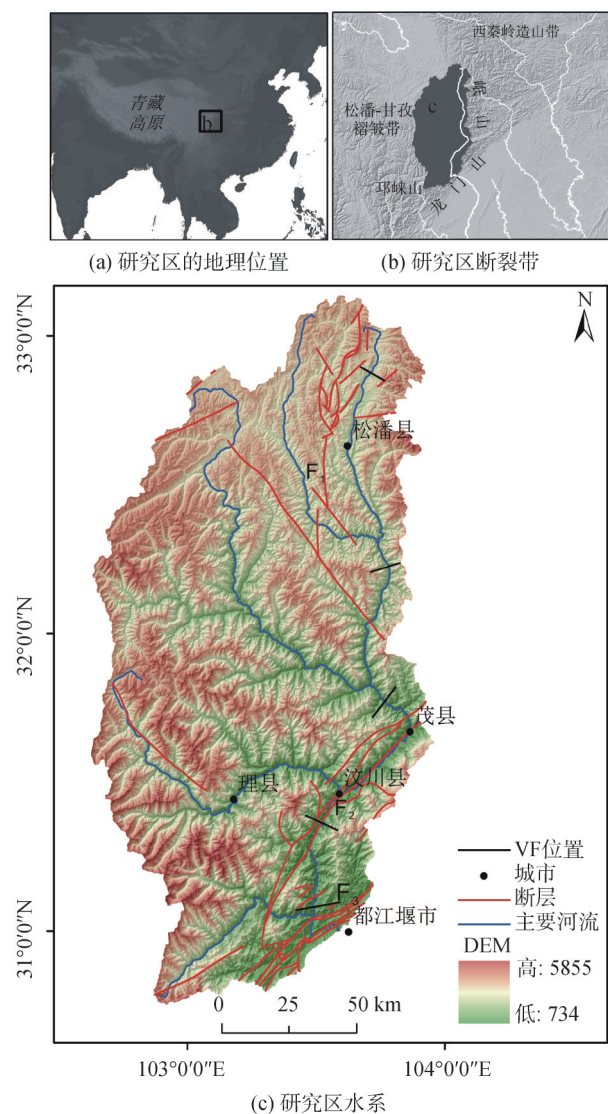


图1 研究区地理特征简图(F₁:岷江断裂; F₂:茂汶断裂; F₃:北川-映秀断裂)

Fig.1 Location of the study area, river system and the faults

表 1 构造活动强弱评估所使用的地貌参数

Tab.1 Summary of the morphometric parameters used in tectonic landform analysis

地貌参数	计算公式	描述
面积高程积分值 (HI ^[21-23])	$HI=(h_{mean}-h_{min})/(h_{max}-h_{min})$	h_{mean} 是流域内高程的平均值, h_{min} 是流域内高程的最小值, h_{max} 是流域内高程的最大值。一般而言,高积分值表征流域流域受到构造活动的影响较大
面积高程 积分曲线 ^[21-23]	$x=a/A,y=h/H$	面积高程积分曲线是以流域中相对高度比(h/H)为纵轴、相对面积比(a/A)为横轴绘制的曲线,可分为凸形、凹形、凹凸形曲线
河长坡降指数 (SL ^[12,24-25])	$SL=(\Delta h/\Delta L)L$	Δh 为单位河段的高程值变化, ΔL 为单位河段的长度, $\Delta h/\Delta L$ 为河段的坡度, L 为河流源头到河段中点的河长。SL异常值与构造、岩性、支流汇入等有关
流域盆地不对称度 (AF ^[2,26])	$AF=(Ar/At)\times 100$	Ar 是某一流域内顺着干流流向右侧的面积, At 是流域的总面积,该指标可反映流域的不对称度,表征流域的构造倾斜程度
盆地形状 指数(BS ^[5])	$BS=B_i/B_w$	B_i 为流域盆地河谷的源头至出山口的直线距离, B_w 为流域盆地的最大宽度,流域形态可分为圆形及狭长形态,反映了构造抬升的影响
谷底宽度与谷肩 高度比(VF ^[5-6])	$VF=2V_{fw}/(E_{ld}+E_{rd}-2E_{gc})$	V_{fw} 为谷底宽度, E_{ld} 和 E_{rd} 分别为河谷两侧分水岭的高程值, E_{gc} 为谷底高程值,VF值大小可用来分析构造抬升与河流侵蚀程度
水系分维数 (FD ^[27-28])	$FD=-\lim_{r\rightarrow 0}\frac{\lg N(r)}{\lg r}$	r 为不同大小的栅格,单位为m, $N(r)$ 为非空盒子的数目,水系的分维可反映水系的发育程度,代表水系所处流域的地貌侵蚀发育阶段,较低的水系分维值,意味着易受到较强构造活动的影响

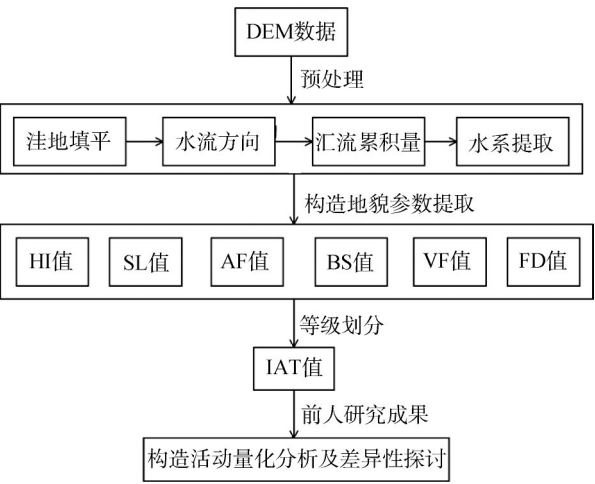


图2 构造活动强度量化分析流程
Fig.2 Technical flowchart of tectonic activity intensity assessment

蚀力强。反之,构造活动不活跃或岩性抗侵蚀力弱的区域,河流坡降指数值偏低。所以,在岩性较为一致地区该指标可以反映构造活动的相对活动性^[25,29]。本研究依据半对数曲线计算岷江SL值,公式如下:

$$H=C-K\times\log(L)$$
 (1)

式(1)中, H 为河流各河段的高程; L 为河段距河源的距离; C 为常数;斜率 K 为河流的SL参数值。在全河段河流达到动力平衡时,河流均衡纵剖

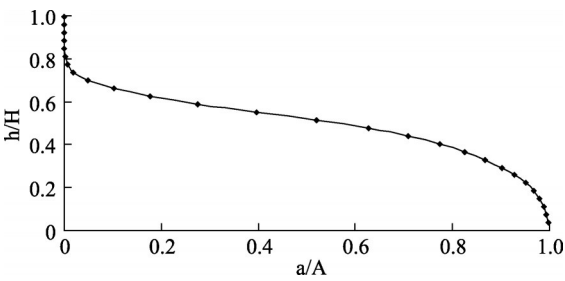


图3 研究区的面积-高程积分曲线(h 为某一等高线相对于最低点的高差; H 为流域地势高差; a 为某等高线之上的流域面积; A 为流域总面积)

Fig.3 Hypsometric integral curve of the study area

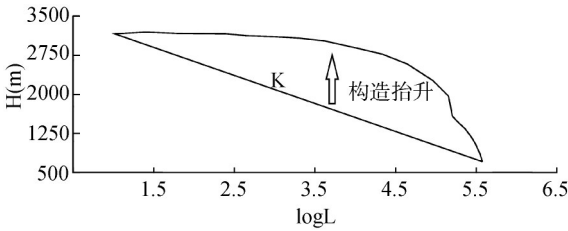


图4 研究区Hack剖面曲线
Fig.4 Hack profile of the study area

面的半对数坐标,Hack剖面是一条直线,在河流受到构造抬升作用显著影响时,Hack剖面呈凸型形态^[3,24-25,30]。根据吉亚鹏等^[30]所描述的方法绘制出研究区干流岷江的Hack剖面曲线(图4),岷江河流

SL值为800, Hack剖面形态呈上凸形, 且在下游剖面形态发生异常变化, 与河流流经茂汶断裂(F2)相关。

3.2.3 流域盆地不对称度(AF)

AF可用来评估某一流域的构造倾斜程度。AF值大于或小于50, 可反映流域受构造活动、岩性差异及不同的侵蚀过程的影响; AF值接近50, 流域在垂直于主干流方向倾斜较小^[26]。根据AF与50的差值, 可将其划分为3个等级^[1]: 当 $|AF-50| \geq 15$ 时为第1级, 当 $7 \leq |AF-50| < 15$ 时为第2级, 当 $|AF-50| < 7$ 为第3级, 分别表征受构造运动的影响由强到弱。岷江右侧流域面积 A_r 为19 204 km², 总面积 A_t 为22 935 km², 根据表1中的AF公式, 计算出AF值为83.7。AF值>50, 表明顺着主干流流向, 岷江右侧掀斜程度强, 反映了青藏高原东缘的垂向生长及向东挤压作用。

3.2.4 盆地形状指数(BS)

构造活跃或处于幼年期的流域其形状为狭长型, 随着构造活动逐渐减弱及地形的不断演化发展, 狭长型的流域逐渐变为圆形形态^[5]。通常, BS值越高, 表明流域盆地为狭长型形态, 区域的构造活动强; 较低的值则表明流域盆地为圆形形态, 构造活动弱。BS值可划分为3级^[14]: 第1级, $BS \geq 3$, 活动程度强, 第2级, $2 \leq BS < 3$, 活动程度中等; 第3级, $BS < 2$, 活动程度弱。根据表1中的BS公式, 计算出岷江上游流域BS值为2.4, 表明岷江上游流域形态较为狭长, 区内构造活动比较强烈。

3.2.5 谷底宽度与谷肩高度比(VF)

VF指标是由Bull^[5]发展的一地貌学指标, 可用来描述U型谷和V型谷。该值可以用来表征构造活动的强弱、深切, V型河谷($VF < 1$)能够反映构造活动强烈, 而平坦的U型谷($VF > 1$)则与构造强度减弱, 抬升速率减小有关^[2]。通常是给定河流出口上游处某一特定距离的位置来计算VF值^[10-11, 16], 为了较准确地获得岷江上游流域的VF值, 作者计算了岷江干流从上到下5个典型剖面的VF值(剖面位置及剖面形态见图1), 并取平均值作为最终结果, 该值为0.26, 反映出岷江上游构造活动强烈, 河谷以V型形态为主。

3.2.6 水系分维数(FD)

水系的分维可反映水系的发育程度, 代表水系所处流域的地貌侵蚀发育阶段^[27], 较低的水系分维值表示易受到较强构造活动的影响。本研究采用

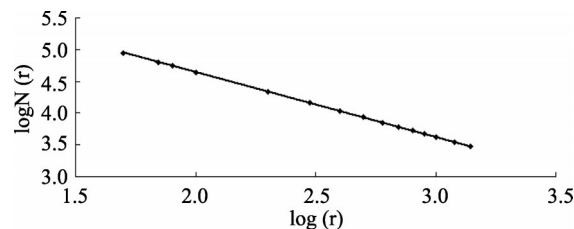


图5 水系格网数目与格网大小双对数图

Fig.5 The relationship between the number of cell size and length

计盒数方法计算水系分维数^[28], 首先, 提取岷江上游流域水系, 然后, 在利用 ArcMap 中 Feature to Raster 工具转化为不同大小的栅格, 统计曲线如图5所示, 拟合方程为 $\log N(r) = -1.0182 \log(r) + 6.6811$, 则岷江上游流域水系分维值约为1.02。分维值较小, 表明岷江上游流域水系尚未充分发育, 河流深切, 侵蚀剧烈。

3.2.7 构造活动强度分析

目前, 用地貌参数的构造活动强度评估多集中在山前带^[5-9]或小的研究区域内^[10-16], 本研究尝试引进FD对大面积流域构造活动强度进行量化评估, 总结前人的研究成果^[5, 6, 9-11, 14-16, 21-28], 各个地貌参数等级划分的标准如表2所示。通过对岷江上游流域上述6种地貌参数的提取、分级, 计算平均值(6种地貌参数构造活动等级算术平均化, S/n), 得到相对构造活动程度指数(IAT)^[10]来进行构造活动相对强弱的评估。根据IAT值的大小, 区域的构造活动程度可分为4级^[10, 14]: 第1级构造活动非常强烈, $1 \leq IAT < 1.5$; 第2级构造活动较强, $1.5 \leq IAT < 2.0$; 第3级构造活动中等, $2.0 \leq IAT < 2.5$; 第4级构造活动低, $2.5 \leq IAT$ 。岷江上游流域各地貌参数值计算结果及等级分类如表3所示, 可知该流域有较高的SL、AF、BS值, 较低的VF及FD值, HI值中等。其IAT值为1.33, 分类等级为1级, 说明该流域侵蚀程度强烈, 流域形态狭长, 河谷呈V型形态, 受构造活动影响显著。

另外, 杨农等^[31-32]指出该地区晚新生代以来以断裂活动和持续的隆升为主, 岷江断裂带第四纪以来的构造活动强烈, 平均垂直滑动速率为0.37-0.53 mm/a, 岷山断块第四纪以来的平均隆起速率为1.5 mm/a左右^[20]。龙门山逆冲推覆构造带的2条主边界断裂带(汶川-茂汶断裂和映秀-北川断裂), 在早更新世(1.2-1.3 Ma)发生强烈的活动^[31], 且该地区地震活动频繁强烈, 2008年的汶川地震表明该地区构造活动仍在持续进行^[33]; 在岷江上游干流及支流

表2 主要地貌参数值的构造活动强度等级划分

Tab.2 Classification of relative tectonic activity depending on geomorphic indices

	活动等级 1(强)	活动等级 2(中等)	活动等级 3(弱)
HI ^[10-11,16]	HI>0.5	0.40≤HI≤0.50	HI < 0.40
SL ^[14,25,29]	SL≥500	300≤SL < 500	SL < 300
AF ^[(1,10-11,26)]	AF-50 > 15	7 < AF-50 < 15	AF-50 < 7
BS ^[5,14]	BS≥3	2≤BS < 3	BS < 2
VF ^[14]	VF < 0.50	0.50≤VF < 1.0	VF≥1.0
FD ^[27-28]	FD < 1.6	1.6≤FD < 1.89	1.89≤FD

表3 研究区地貌参数指标和构造活动等级划分

Tab.3 Values and classification of geomorphic indices and tectonic activity level

	HI	SL	AF	BS	VF	FD
地貌参数值	0.5	800	83.7	2.4	0.26	1.02
构造活动等级	2	1	1	2	1	1
IAT 值	1.33					
IAT 等级	1					

河道多发育3-8级河流阶地^[18,32,34],这些河流阶地的形成多是对该地区构造抬升运动的响应。综上可得,基于地貌参数的构造活动强度定量划分结果与前人分析的地质背景基本吻合。

4 结论

利用DEM数据获取的地貌参数,能够用来评估研究区的构造活动程度,与传统的地形图分析相比,这些参数的获取具有高效便捷性,对与构造活动有关的大面积、条件恶劣区域地貌研究很有帮助。本文以岷江上游流域为例,提取了该流域的HI、SL、AF、BS、VF构造地貌参数值,并尝试引入FD作为构造活动强度评估参数之一,研究表明:岷江上游流域HI值中等,地貌发育处于幼年期晚期,中年期早期;顺流方向右岸发生掀斜,受青藏高原垂直抬升及向东挤压作用明显;整个流域盆地形状较狭长,河谷呈V型形态,SL值偏高,FD值偏低,受构造抬升作用影响显著。IAT计算值为1.33,分类等级为1级,表明岷江上游流域构造活动非常强烈,与前人所分析的地质背景较为吻合。

此外,由于各个地貌参数因子在构造活动评估中所占的权重可能不一样,本文在对各指标等级进行算术平均化时,没有考虑各个因子所占的比重,在今后的研究中,可根据专家经验对这些地貌参数赋予相应权重,考虑利用决策树分析完成流域构造活动程度评估。同时,岷江上游流域各子流域的划

分及构造活动强度差异性的评估也有待进一步的研究。

参考文献:

[1] Perez J V, Antonio A, Azanon J M, *et al.* Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis[J]. *Geomorphology*, 2010,119(1-2):74-87.

[2] Keller E A, Pinter N. Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape (2nd ed.)[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002,121-185.

[3] Chen Y C, Sung Q C, Cheng K Y. Along-strike variations of morphotectonic features in the western foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream gradient and hypsometric analysis[J].*Geomorphology*,2003,56(1-2):109-137.

[4] 张会平,杨农,张岳桥,等.岷江水系流域地貌特征及其构造指示意义[J].*第四纪研究*,2006,26(1):126-135.

[5] Bull W B, McFadden L D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California[C]. // Doehring DO (Ed.). *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, 1977,115-138.

[6] Silva P G, Goy J L. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity[J]. *Geomorphology*, 2003,50(1-3): 203-225.

[7] 马保起,李克,吴卫民,等.大青山河谷地貌特征及新构造意义[J].*地理学报*,1999,54(4):327-334.

[8] 闫冬冬,吕胜华,赵洪壮,等.六棱山北麓中段冲沟地貌发

- 育的定量研究及其新构造意义[J].地理科学,2011,31(2): 244-250.
- [9] Azor A, Keller E A, Yeats R S. Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California[J]. Geological Society of America,2002,114(6):745-753.
- [10] Hamdouni E I, Irigaray C. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (Southern Spain)[J]. Geomorphology, 2008,96(1-2):150-173.
- [11] Alipoor R, Mohsen P, Mehdi Z, *et al.* Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran)[J]. Geomorphology, 2011,128(1-2):1-14.
- [12] Font M, Amorese D. DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France)[J]. Geomorphology, 2010,119(3-4):172-180.
- [13] Gao M X, Gerold Z, Xu X W, *et al.* DEM and GIS analysis of geomorphic indices for evaluating recent uplift of the northeastern margin of the Tibetan Plateau, China[J]. Geomorphology, 2013,190(15):61-72.
- [14] 李利波,徐刚,胡健民,等.基于DEM渭河上游流域的活动构造量化分析[J].第四纪研究, 2012,32(5):866-879.
- [15] 李利波,徐刚,胡建民,等.基于DEM的活动构造研究[J].中国地质,2012,39(3):595-604.
- [16] Dehbozorgi M, Pourkermani M, Arian M, *et al.* Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran[J]. Geomorphology, 2010,121(3-4):329-341.
- [17] 贾营营,付碧宏,王岩石,等.青藏高原东缘龙门山断裂带晚新生代构造地貌生长及水系响应[J].第四纪研究, 2012,30(4):825-836.
- [18] 李勇,曹叔尤,周荣军,等.晚新生代岷江下蚀速率及其对青藏高原东缘山脉隆升机制和形成时限的定量约束[J].地质学报,2005,79(1):28-37.
- [19] 邓起东,陈社发,赵小麟.龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学[J].地震地质,1994,16(4):389-403.
- [20] 周荣军,蒲晓虹,何玉林,等.四川岷江断裂带北段的新活动、岷山断块的隆起及其与地震活动的关系[J].地震地质,2000,22(3):285-294.
- [21] Strahler A N. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography[J]. Bulletin of the Geological Society of America, 1952,63(11):1117-1142.
- [22] Pike R J, Wilson S E. Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis[J]. Geological Society of America Bulletin, 1971,82(4):1079-1084.
- [23] Perez J V, Azanon J M, Azor A. CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain [J]. Computers & Geosciences,2009,35(6):1214-1223.
- [24] Hack J T. Stream-profiles analysis and stream-gradient index[J]. Journal of Research of the U.S. Geological Survey, 1973,1(4):421-429.
- [25] Brookfield M E. The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India - Asia collision: Rivers draining southwards[J]. Geomorphology, 1998, 22(3-4):285-312.
- [26] Hare P W, Gardner T W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica[C]. In: Morisawa, Tectonic Geomorphology. Allen and Unwin, Boston, 1985,75-104.
- [27] 何隆化,赵宏.水系的分形维数及其含义[J].地理科学, 1996,16(2):124-128.
- [28] 丰满,张征,朱凌,等.基于DEM的滇池流域水系提取及分维值探讨[J].环境科学与技术,2010,33(12F):11-14.
- [29] 赵洪壮,李有利,杨景春,等.天山北麓河流纵剖面与基岩侵蚀模型特征分析[J].地理学报,2009,64(5):563-570.
- [30] 吉亚鹏,高红山,潘保田,等.渭河上游流域河长坡降指标SL参数与Hack剖面的新构造意义[J].兰州大学学报(自然科学版),2011,47(4):1-6.
- [31] 杨农,张岳桥.龙门山断裂活动和川西高原隆升历史的裂变径迹测年[J].地质力学学报,2010,16(4):359-371.
- [32] 杨农,张岳桥,孟晖,等.川西高原岷江上游河流阶地初步研究[J].地质力学学报,2003,9(4):363-370.
- [33] Zhang H P, Zhang P Z, Kirby E, *et al.* Along-strike topographic variation of the Longmen Shan and its significance for landscape evolution along the eastern Tibetan Plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011,40(4): 855-864.
- [34] 刘勇,赵志军,李才林,等.川西高原杂谷脑河阶地的形成[J].地理学报,2006,61(3):249-254.

Quantitative Analysis of the Tectonic Activity in Minjiang Drainage Basin Based on DEM

CHANG Zhiyang¹, WANG Jian^{1,2*}, BAI Shibiao^{1,2} and ZHANG Zhigang¹

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographical Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Geomorphic indices have been widely used in relative tectonic activity studies. Most studies provide semi-quantitative information to depict relative degree of tectonic activity in mountain fronts or small basins. Here we introduced an additional fractal dimension index (FD) which is found to improve the analysis of tectonic geomorphology. Based on ASTER-GDEM data and the technique of GIS, the other tectonic geomorphic indices are extracted in Minjiang River drainage basin including hypsometric integral, stream-gradient index, drainage basin asymmetry, drainage basin shape, ratio of valley floor width-to-height, and drainage elongation ratio. This drainage is located in the transitional region between Eastern Tibetan Plateau and Sichuan Basin with an area of 23 000 km². The results obtained from these indices are combined to yield an index of relative active tectonics (IAT) that is obtained by the average of the different classes of geomorphic indices. Based on IAT value, four classes are defined: Class 1: very high relative tectonic activity with $1 \leq \text{IAT} < 1.5$; Class 2: high with $1.5 \leq \text{IAT} < 2.0$; Class 3: moderate with $2.0 \leq \text{IAT} < 2.5$ and Class 4: low with $2.5 \leq \text{IAT}$. Through the analysis of the geomorphic results in Minjiang River drainage basin, we conclude that the value of hypsometric index is moderate, the shape of hypsometric curve is convex-concave, Minjiang River basin tilt from right to left facing downstream, the shape of this basin is elongate, the stream length gradient index is high and the fractal dimension value is low, and this drainage have relatively higher tectonic activity ($\text{IAT}=1.33$). The indicative value of IAT is consistent with the areas of known relative uplift rates, landforms and geology. This method provides a new insight for exploring diversities of relative tectonic activities on an areal basis.

Key words: tectonic activity; geomorphic indices; digital elevation model(DEM); upstream basin of Minjiang River

*Corresponding author: WANG Jian, E-mail: jwang169@vip.sina.com