

祁连山东段石羊河流域及邻区 地貌特征及其构造意义

苏琦^{1,2)}, 袁道阳^{1,3)}, 谢虹^{1,3)}

1) 中国地震局兰州地震研究所, 兰州, 730000; 2) 南京大学地球科学与工程学院, 南京, 210046;
3) 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 兰州, 730000

内容提要: 受祁连山北缘断裂和广义海原断裂等构造活动的控制和影响, 祁连山东段发育了由多条挤压逆冲断裂组成的古浪推覆体构造, 形成地貌起伏大并向北逐级降低的独特构造地貌特征。本文基于 ArcGIS 空间分析技术, 利用数字高程模型 (DEM) 系统提取了祁连山东段 (造山带内部与河西走廊盆地) 的宏观地貌因子 (如面积—高程积分和条带状剖面) 并综合分析其所蕴含的地质意义。研究表明, 区域地貌演化过程主要由构造变形控制, 而非并非岩性差异和降雨条件等因素。研究区内的皇城—双塔断裂、冷龙岭断裂以及武威盆地南缘断裂所控制的古浪推覆体具有较高的 *H/I* 值, 龙首山东段的河西堡—四道山断裂南侧显示 *H/I* 高值、北侧显示 *H/I* 低值, 表明祁连山东段存在由南向北的挤压扩展演化过程, 这可能与祁连山北缘大断裂向北的扩展以及阿拉善块体向南俯冲作用有关; 提供了祁连山东段向河西走廊内部挤压扩展的地貌证据。

关键词: 祁连山东段; 古浪推覆体; 面积—高程积分; 条带状剖面

晚新生代以来, 印度板块与欧亚大陆持续的挤压碰撞形成了世界上最大最高的高原—青藏高原; 高原的崛起对于亚洲大陆构造、地貌格局, 东亚乃至全球气候变化产生了极其重要的影响并进一步控制了古人类的生存和迁徙 (Molnar and Tapponnier, 1975; Clark and Rodyen, 2000; Tapponnier et al., 2001; An Zhisheng et al., 2001; Guo Zhengtang et al., 2002; 葛肖虹等, 2014)。虽然目前在高原隆升过程、变形机制及其资源环境效应等方面存在争议, 然而位于高原北部边缘的祁连山地区正遭受强烈构造变形并逐渐成为高原最年轻的一部分确是不争的事实 (邓起东等, 2002; Zheng Wenjun et al., 2013a; 2013b)。受控于两条大型边界走滑活动断裂 (阿尔金断裂和广义海原断裂), 晚新生代以来祁连山经历了异常强烈的构造变形 (袁道阳等, 2004), 遍布全区的晚第四纪逆冲断裂、走滑断裂以及活动褶皱揭示该区正遭受显著的地壳缩短与左旋剪切作用 (袁道阳, 2003)。

在祁连山西段, 阿尔金断裂与祁连山北缘断裂呈大角度相交, 其衰减的走滑速率被造山带内部活

动逆断层的地壳缩短和上盘推覆体抬升效应所吸收 (Zhang Peizhen et al., 2007; 郑文俊等, 2009; Zheng Wenjun et al., 2012); 而在祁连山东段, 广义海原断裂与祁连山北缘断裂在一定区域内 (如石羊河上游) 近平行展布, 记录了祁连山北缘断裂由西向东走滑分量逐渐增大、逆冲分量逐渐减小的事实 (刘百箴等, 2008)。活动造山带内部及其相邻盆地的地貌特征往往与该区构造活动密切相关, 通过系统全面的构造地貌特征分析能够得到其构造变形与发育演化历史和定量参数 (Kirby and Whipple., 2003; 2012; Zhang Huiping et al., 2014)。前人对祁连山地区的地貌发育与演化研究主要集中在祁连山西段 (张会平等, 2012; 王一舟等, 2013; Zhang Huiping et al., 2014; Wang Yizhou et al., 2014; 苏琦等, 2015), 对于东段的地貌研究仅仅局限在单条河流的阶地分析 (潘保田等, 2000; 高红山等, 2005; Pan Baotian et al., 2013) 以及祁连山内部抬升速率空间分布等方面 (Hu Xiaofei et al., 2010), 缺乏对祁连山内部及与其相邻的河西走廊盆地宏观地貌特征的构造意义分析。本文基于 SRTM-3 数字高程模型

注: 本文为地震行业科研专项 (编号: 201308012) 和中国科学院战略性先导科技专项课题 (编号: XDB03020201) 的成果。

收稿日期: 2015-06-09; 改回日期: 2016-10-19; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.002

作者简介: 苏琦, 男, 1990年生。硕士研究生。活动构造与构造地貌学专业。Email: xbdsq11@163.com。通讯作者: 袁道阳, 男, 1965年生。博士, 研究员。主要从事新构造、活动构造及其应用研究。Email: yuandaoyang@163.com。

(DEM)数据,以祁连山东段石羊河流域及其邻近区域为研究对象,利用 ArcGIS 空间分析技术系统提取研究区内部宏观地貌特征并结合区域断裂活动特征、岩性因素以及降雨条件等系统探讨该区宏观地貌发育特征及其所蕴含的地质意义。

1 区域概况

1.1 区域地质、地形概况

祁连山东段位于我国季风区西北缘的干旱—半干旱地区(邬光剑等,1998),即便如此,研究区内也发育了一系列近于平行的基岩河流,由西向东依次为:西大河(I)、东大河(II)、西营河(III)、金塔河(IV)、杂木河(V)、黄羊河(VI)、沙沟河(VII)以及古浪河(VIII);这些河流均发育于冷龙岭北坡的古浪推覆体上,向北流经祁连山山前、河西走廊以及龙首山和腾格里沙漠地区,跨过了不同的地质地貌和构

造单元;其中西大河经永昌、金昌后流入腾格里沙漠,其余河流于武威市北汇聚始称石羊河,向北流去最终消失于腾格里沙漠之中(图1)。Pan 等(2013)将研究区划分为三个大的地貌单元:高山带(3200~4500m)、低山带(2200~3100m)和走廊平原带(<1800m),其分界线为本区的四条主干活动断裂带,从山脊到山麓分别是冷龙岭断裂(F9)、皇城—双塔断裂(F8)、武威盆地南缘断裂(又称康宁桥断裂)(F6)和龙首山断裂东段(河西堡—四道山断裂,F4),可见,本区的地形地貌发育和演化严格受区域活动断裂带控制,是其重要影响因素之一。不同地貌单元下覆地层时代以及岩性也有较大差异,如图1所示,高山带主要分布奥陶系砂岩、变质砂岩,局部少量分布志留系碳酸盐岩、砂岩,石炭系砂岩以及二叠系玄武岩夹砂泥岩;而低山带则以二叠—三叠系砂岩、砾岩以及砂砾岩为主,另含有少量寒武系砂、

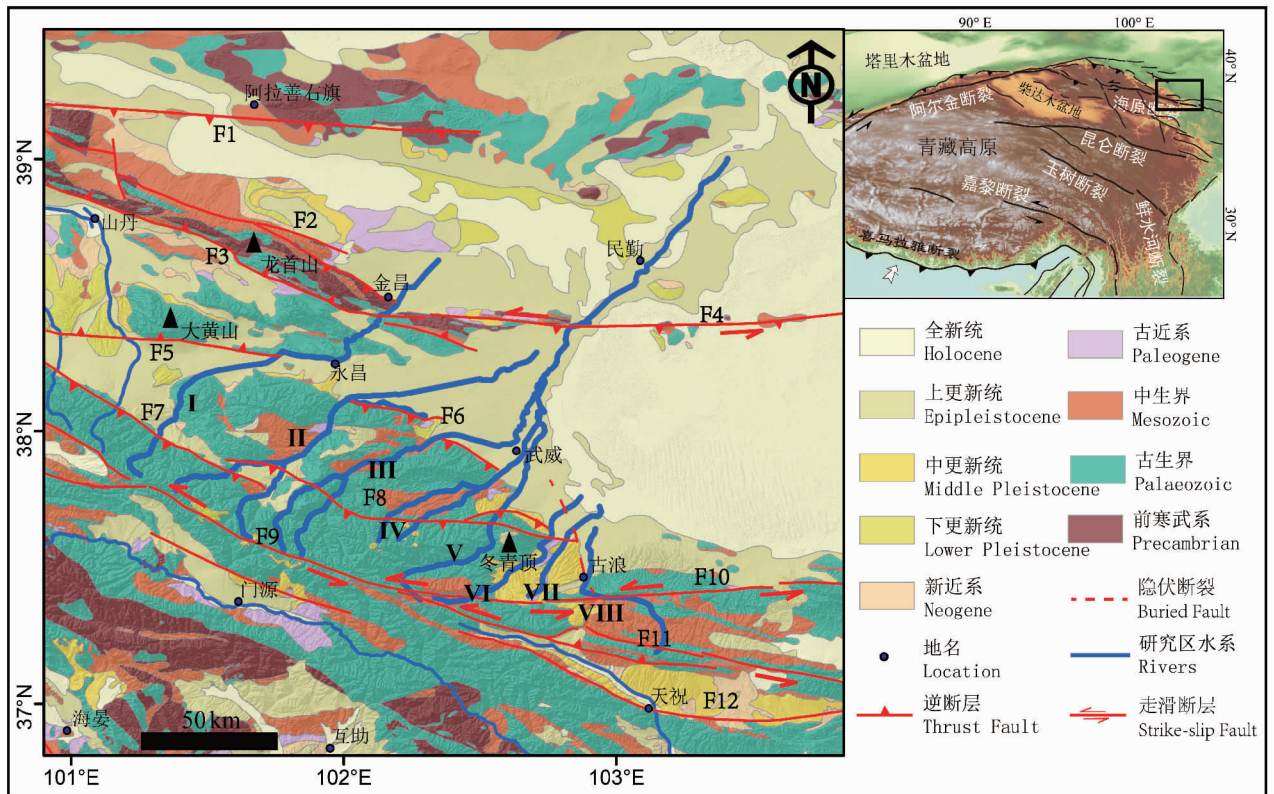


图1 祁连山地区地质地貌简图

Fig. 1 The geology and geomorphological map of eastern Qilian Mountains

F1—合黎山断裂, F2—龙首山北缘断裂, F3—龙首山南缘断裂, F4—河西堡—四道山断裂, F5—民乐—永昌断裂, F6—武威盆地南缘断裂, F7—民乐—大马营断裂, F8—皇城—双塔断裂, F9—冷龙岭断裂, F10—天桥沟—黄羊川断裂, F11—金强河—毛毛山—老虎山断裂, F12—玛雅雪山断裂; I—西大河, II—东大河, III—西营河, IV—金塔河, V—杂木河, VI—黄羊河, VII—沙沟河, VIII—古浪河

F1—Helishan Fault, F2—North Longshoushan Fault, F3—South Longshoushan Fault, F4—Hexibao—Sidaoshan Fault, F5—Minle—Yongchang Fault, F6—South Wuweibasin Fault, F7—Minle—Damaying Fault, F8—Huangcheng—Shuangta Fault, F9—Lenglongling Fault, F10—Tianqiaogou—Huangyangchuan Fault, F11—Jingqianghe—Maomaoshan—Laohushan Fault, F12—Maya snow Fault; I—Xida River, II—Dongda River, III—Xiyang River, IV—Jinta River, V—Zamu River, VI—Huangyang River, VII—Shagou River, VIII—Gulang River

泥岩夹花岗岩脉;走廊平原带则主要以更新统、全新统近代河流冲洪积物为主。

1.2 区域断裂概况

在祁连山东段,由于受区域内两条巨型边界走滑活动断裂—阿尔金断裂与广义海原断裂的控制,发育了一系列以左旋走滑为主兼具逆冲推覆特征的活动断裂带,其晚第四纪构造活动强烈(袁道阳等, 2004);前人通过对天桥沟—黄羊川断裂(古浪断裂)的地貌解译、探槽开挖以及相关地貌面年代测定得到其全新世以来水平滑动速率为 $3.47 \pm 0.12\text{mm/a}$,垂直滑动速率为 $0.16 \pm 0.2\text{mm/a}$ (郑文俊等, 2004a);侯康明等(1998)通过室内航卫片解译以及野外 1:5 万大比例尺活断层填图研究将皇城—双塔断裂划分为西、中、东三段,其中西、中段于晚更新世以来停止活动而东段是古浪 8 级地震的发震段;郑文俊等(2009)通过对断裂东段断错地貌的精确测量得到皇城双塔断裂东段晚更新世以来的垂直滑动速率为 $0.39 \pm 0.04\text{mm/a}$;刘百箴等(2013)通过活动断层填图认为毛毛山断裂全新世以来水平滑动速率为 $3.54 \sim 3.84\text{mm/a}$,垂直滑动速率为 0.44mm/a ,金强河断裂晚更新世以来水平滑动速率为 $1.0 \sim 1.88\text{mm/a}$,全新世以来水平滑动速率为 $1.72 \sim 3.88\text{mm/a}$,晚更新世以来的垂直滑动速率最大可达到 0.77mm/a ;何文贵等(2000, 2010)通过对冷龙岭断裂进行高分辨率卫星影像解译、断错地貌测图以及热释光、 ^{14}C 测年得到该断裂全新世以来平均水平滑动速率为 $3.9 \pm 0.36\text{mm/a}$,平均垂直滑动速率为 0.38mm/a 的结论;刘洪春等(2000)得到河西堡—四道山断裂晚第四纪以来其垂直滑动速率仅为 $0.03 \sim 0.04\text{mm/a}$,其构造活动的强度和幅度相对较低,明显小于南侧的祁连山区。正是上述主干活动断裂的不同变形方式、转换关系和滑动速率等构成了祁连山东段构造变形的总体图像,导演着该区现今的构造变形、地貌发育和演化历史。

2 数据、主要研究方法 with 初步结果

2.1 数据资料

美国太空总署(NASA)和美国国防部国家测绘局(NIMA)联合实施的 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)计划获得了 DEM(Digital Elevation Model)数据,本数据可分为两类:SRTM-1 和 SRTM-3,分别代表 30m 和 90m 的分辨率。除美国本土之外的其他地区仅有 SRTM-3 数据实现共享,并已被广泛应用于青藏高原构造地貌的分析与

研究(Kirby et al., 2003;Liu Jing et al., 2013;Zhang Huiping et al., 2014),本研究使用的也是 SRTM-3 数字高程模型(DEM)数据。

2.2 主要研究方法 with 结果

2.2.1 面积高程积分分析

Strahler(1952)提出利用面积—高程积分曲线来反应流域盆地的地貌演化过程,面积—高程积分曲线即是以流域盆地的相对高度比(h/H)为纵轴、以相对面积比(a/A)为横轴而得到的曲线,是一种以二维曲线架构描述地表三维体积残存率的地貌参数(图 2)。其中, h 为流域盆地内某一高程与最低高程的高差, H 为该流域盆地的最大高差; a 为流域盆地某一高程的截面积, A 为该流域盆地最低高程的截面积,即该流域盆地投影在水平面后的总面积;面积高程曲线下方的面积就是面积高程积分值(HI)。Pike 和 Wilson(1971)研究表明高程起伏比近似等于面积—高程积分值,故推导出面积—高程积分的简易计算公式如下:

$$HI = (H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}) / (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) \quad (1)$$

上式中 H_{mean} 、 H_{max} 、 H_{min} 分别为流域盆地的平均高程、最大高程和最小高程。

面积—高程积分对构造活动的影响十分敏感,是一种很好的判断流域盆地地貌及其构造活动响应的地貌指标,已被广泛应用于青藏高原构造活动与地貌发育研究中;如梁明剑等(2013, 2014)通过对 2013 年芦山地震区青衣江上游以及青海达日断裂及邻区面积—高程积分值的计算,认为 HI 值反映了区域性构造隆升或沉降作用的总体结果,而龙门山中段流域 HI 值则完全反映了该区新生代构造活动性强弱特征(赵国华等, 2014;李奋生等, 2015)。

本研究基于 Strahler 理论,选取研究区内 2、3、4 级亚流域盆地共计 730 个,采用公式(1)计算了各亚流域盆地的 HI 值并利用克里金插值算法对各 HI 值进行空间差值,生成基本满足研究精度的 HI 等值分区图(图 3)。如图 3 所示,从南往北,其 HI 值总体呈逐渐降低的趋势,这与青藏块体北部构造变形呈由南向北的挤压扩展和变形幅度逐渐降低的运动学特征是相一致的(张培震等, 2013),尤其是通过主干活动断裂的时候,其 HI 值还出现阶梯状变化。祁连山内部 HI 值与区域地形起伏和高差具有很好的一致性,高山区、中山区和低山区虽然均为 HI 高值区,如民乐—永昌断裂(F5)、武威盆地南缘断裂(F6)以南、冷龙岭断裂(F9)以北虽然均表现出极高的 HI 值分布,但是呈逐渐降低的趋势;而断陷型盆

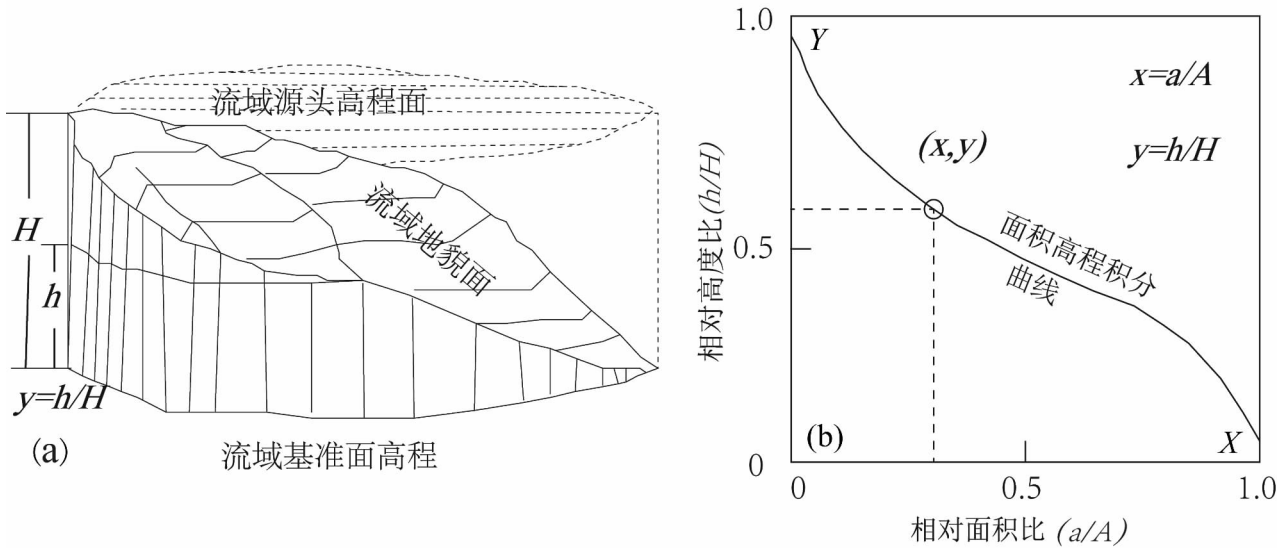


图 2 面积—高程积分曲线的计算(a)及所代表的地形面(b) (Strahler, 1952)

Fig. 2 The definition of the Hypsometric Integrate (a) and the different phases of the river evolution (b) (Strahler, 1952)

地内部(如门源盆地、河西走廊盆地)则表现为 HI 低值区,局部高低值的剧烈变化,与断裂活动直接相关,例如,河西堡—四道山断裂(F4)南侧具有很明显的高值分布,而断裂北侧 HI 值却很低,由龙首山北缘断裂(F2)与南缘断裂(F3)所控制的龙首山也显示出较为明显的高值分布;显示出区域地貌演化受到了强烈的控制作用。

2.2.2 条带状剖面分析

条带状剖面是利用遥感影像处理手段提取选定剖面线左右一定范围内的高程信息,如最大、最小以及平均高程值,并以数理统计方法获得剖面线走向上像元所表示的高程值(张会平等,2006)。利用条带状剖面统计一定区域范围内地形高程的最大、最小和平均值,可半定量一定量分析研究区内山峰、河谷的高程变化以及侵蚀程度。本文选取大致垂直于祁连山东段山脉走向的7条条带状剖面,分别统计区域高程以及 HI 分布;如图4所示,冷龙岭断裂(F9)与皇城—双塔断裂(F8)所夹持的高山带(I区)、皇城—双塔断裂(F8)与武威盆地南缘断裂(F6)之间所夹持的低山带(II区)以及武威盆地(F6)以南的走廊平原带(III区)三大地貌单元在图中清晰显示;区域宏观地貌起伏同样受断裂活动控制作用明显;同样,在祁连山内部,其地形高差与 HI 值的变化较为吻合。

3 讨论

现代地表地形地貌主要受控于构造隆升、气候变化以及基岩展布等综合因素(Montgomery et al., 2001; Hartshorn et al., 2002; Hu Xiaofei et al., 2010; Liu Xiaodong et al., 2013; Scharf et al., 2013)。持续的构造活动使得山体不断隆升、地貌生长。近年来,大量研究认为在构造活动非常活跃的地区,其中的断层作用所控制的山体隆升是控制区域地貌生长的主要因素,如喜马拉雅造山带内部(Kirby and Whipple, 2012)、龙门山地区(Kirby et al., 2003; Zhang Huiping et al., 2006)以及青藏高原内部(Craddock et al., 2011);而在地貌演化过程中气候因素同样扮演着不可或缺的作用,如Zhang Peizhen等(2001)认为全球在4~2Ma陆源沉积速率的快速增加正是全球气候突变的结果;前人通过对天山地区河流地貌的研究指出河流地貌参数与基岩的抗侵蚀能力之间存在紧密关系(赵洪壮等,2010),同样证明了不同强度的基岩分布通过影响水系侵蚀能力可对区域宏观地貌产生不同的控制作用。虽然上述各因素对于地表形态的演化均有或多或少的影响,然而目前并无确切办法将构造活动、气候降水以及基岩岩性等因子对地貌演化的控制作用区分开来,针对此问题,本研究将得到的祁连山东段宏观地貌特征与该区各地貌控制因子进行对比说明,以探讨

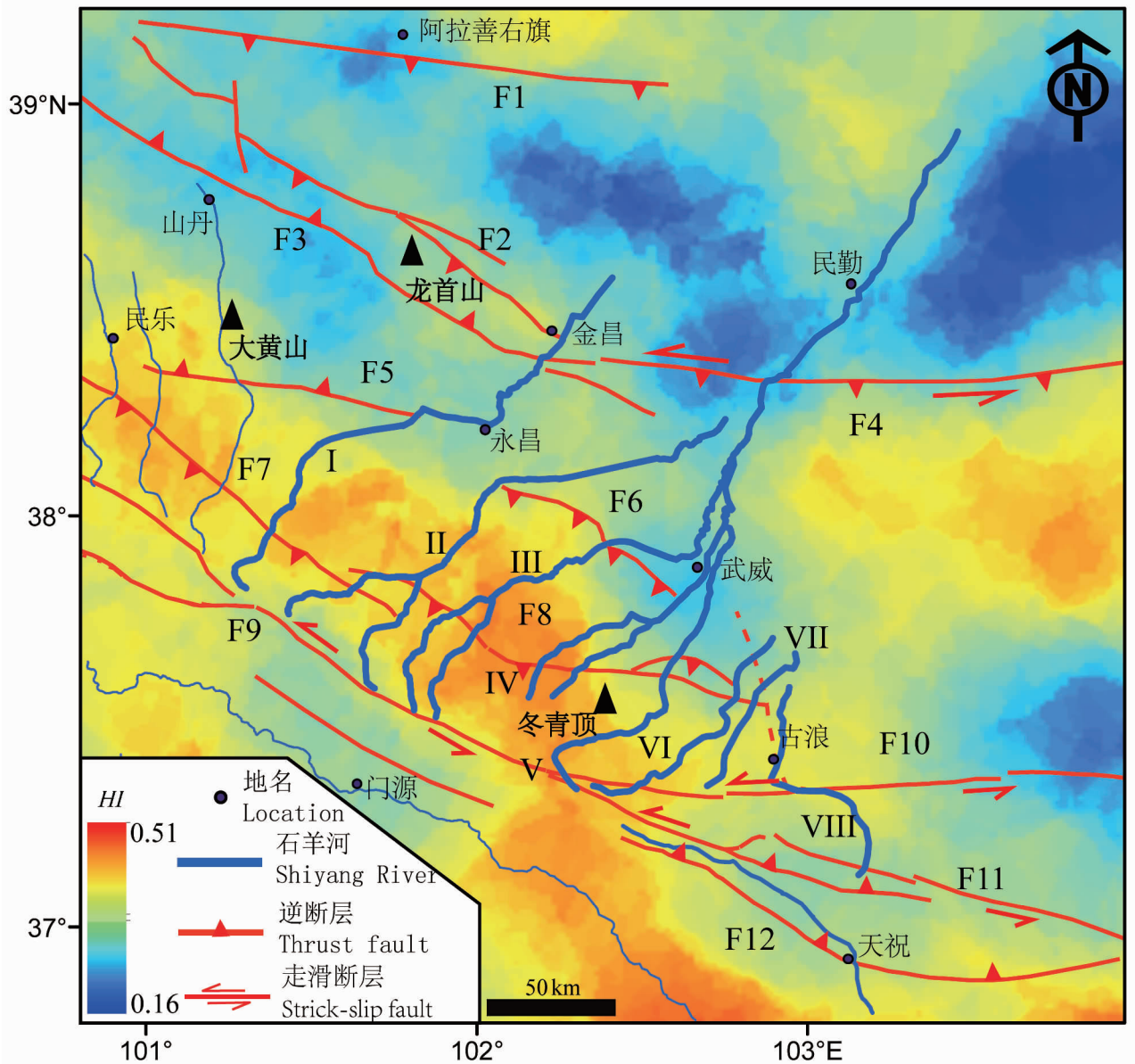


图 3 祁连山东段 HI 等值分区图 (标示如图 1)

Fig. 3 The distribution of the HI values in eastern Qilian Mountains (See Fig. 1 for annotations)

该区地形地貌所蕴含的主要信息。

3.1 降水与岩性

气候因素在地貌演化过程中扮演着不可或缺的作用,而其最直观的表现形式就是降水;本研究利用前人插值获取的全球、甚至整个青藏高原内分辨率最高的降水数据(Hijmans et al., 2005)得到祁连山东段地区降水分布图。如图 5 所示,与区域内绝对高程分布一致,在绝对高程越高的地区降水量越大,反之,在绝对高程越小的地区降雨量越小;在祁连山东段地区,造山带内部与相邻的河西走廊盆地年降水量相差极大;造山带内部如金塔河(IV)、杂

木河(V)源头,年降水量最高可达 570mm/a,而在相邻的河西走廊内部如民勤地区,年降水量不足 100mm/a。

降水通过影响水系流量进而影响河流对于河道的侵蚀与堆积作用从而达到控制区域地形演化的目的(Hartshorn et al., 2002);降雨量越大,河流对于河道的侵蚀作用越强,对地貌的塑造就越强烈(Ferrier et al., 2013)。对于表征区域地貌宏观特征的面积—高程积分分析,某一流域盆地年均降水量越多,流水对于流域盆地内部的侵蚀越严重,在不考虑构造活动的前提下该流域盆地面积—高程积分

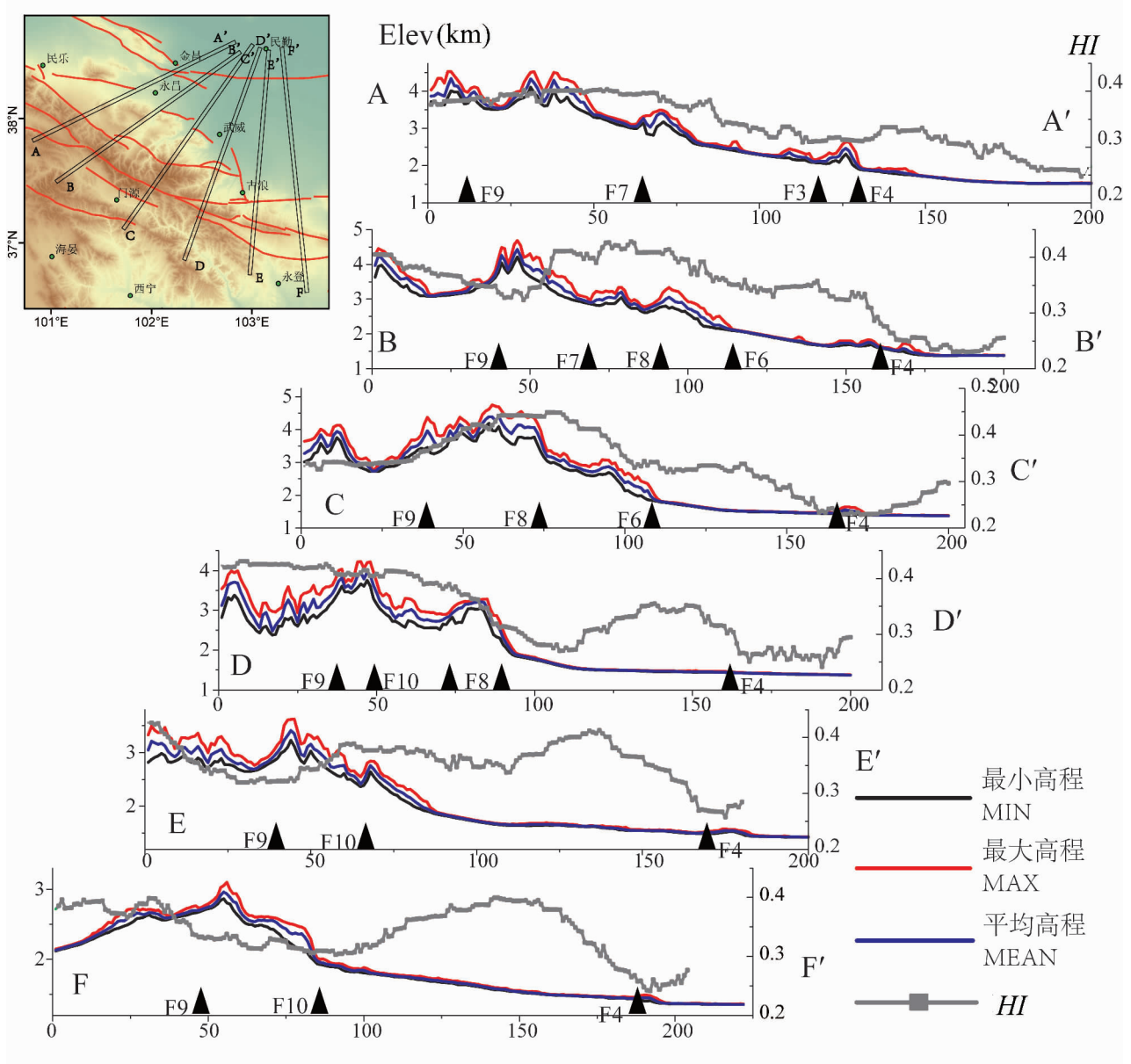


图4 祁连山东段条带状剖面分析 (标示如图1)

Fig. 4 Swath profiles analysis results of the topography in eastern Qilian Mountains (See Fig. 1 for annotations)

值越小;高原东缘龙门山地区的地貌特征研究也证明了降雨对于 HI 值的大小分布有着举足轻重的影响(邵崇建等,2015)。

然而在祁连山东段,并无研究证明年均降水是否为区域地貌演化的主要影响因素;鉴于此,本文将祁连山东段石羊河地区各亚流域盆地内部年均降雨量与其所对应的 HI 值做相关性分析,其结果如图6所示:年均降雨量与其相应的 HI 值相关性分析结果表现出了明显的随机性与弥散性,如在 HI 值介于 0.3~0.4 的范围内,亚流域盆地内部降雨量从年均

不足 100mm/a 到将近 500mm/a;同样的,常年年均降雨量介于 400~500mm/a 范围内时, HI 的变化范围也相当大(从不到 0.2 到超过 0.6);据此我们认为区域年均降雨量对于 HI 值分布并无明显控制作用。

另外,在祁连山东段的造山带内部,尤其是皇城—双塔断裂(F8)与冷龙岭断裂(F9)所夹持的高山区(I),面积—高程积分表现为明显的高值分布(图3),然而该区具有较高的年均降水量(图5);而在河西走廊内部如河西堡—四道山断裂(F4)南北

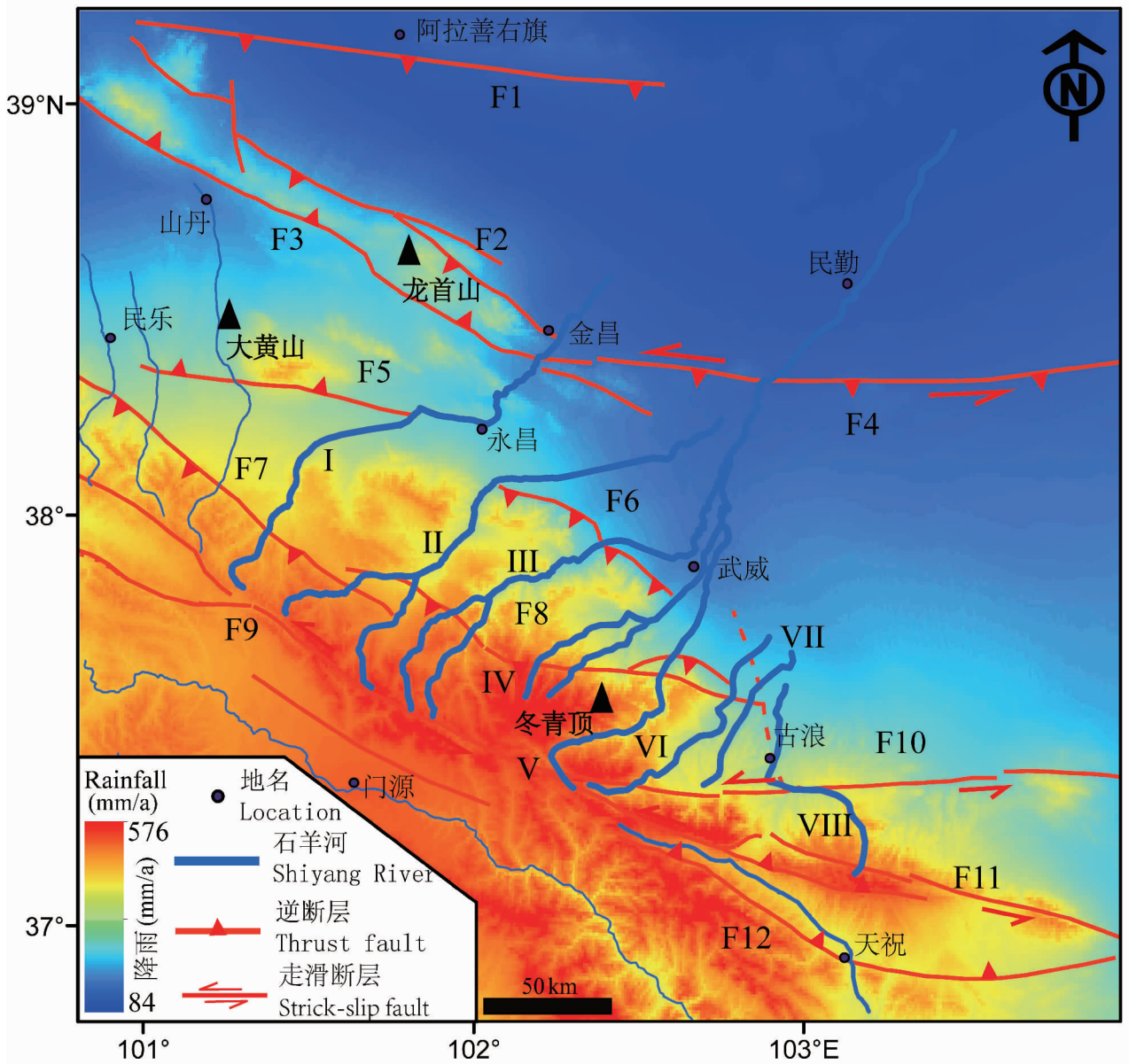


图 5 祁连山东段年降水量平均分布图(标示如图 1)
 Fig. 5 The plane distribution of annual precipitation of the eastern part of Qilian Mountains
 (See Fig. 1 for annotations)

两侧在降水量并无明显变化的情况下其面积—高程积分值却相差较大(图 5),这直观地说明在祁连山东段年均降雨量并不是地貌演化的主控因素。

岩性因素对于地貌演化的控制作用与降水条件不同,不同的岩性对于流水、风等流体的抗侵蚀能力不同:强度大、质坚硬的岩石易于保持原有地貌,而强度小、质松软的岩石容易被改造从而塑造新的地貌形态。由造山带内部到河西走廊盆地依次经历高山带(I)、低山带(II)以及走廊平原带(III)(图 4),而岩性特征也由奥陶系砂岩、变质砂岩,局部少

量分布的志留系碳酸盐岩、砂岩,石炭系砂岩以及二叠系玄武岩夹砂泥岩逐渐过渡到走廊平原带的更新统、全新统近代河流冲洪积物(图 1),表明从造山带内部到河西走廊盆地岩性展布相差极大。然而在河西堡—四道山断裂(F4)南侧与武威盆地南缘断裂(F5)、冷龙岭断裂(F9)之间不同岩性控制区域,两者HI值却有高度相似(图 3),本研究认为不同的岩性展布并非该区地貌演化的主控因素。

为了系统说明构造活动、降雨条件以及岩性展布对于地貌演化的控制作用,本文选取其中一条代

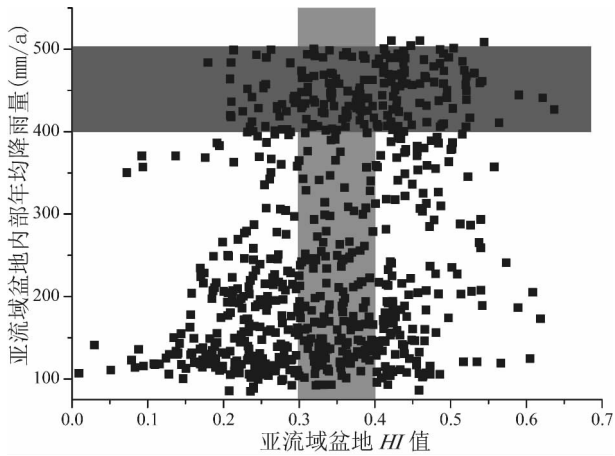


图6 祁连山东段年均降雨量与对应HI值相关性分析
Fig. 6 Annual precipitation versus HI values in the eastern Qilian Mountains

代表性条带状剖面(图4中D—D')将各个影响因素整合在一起进行对比分析(图7);在上文述及岩性、降雨并非地貌演化主控因素的基础上,我们发现活跃的断层作用与区域宏观地貌展布具有极好的吻合性:在祁连山内部,持续性的断层活动使得山脉高程维持在一定高度并持续生长且其HI值也表现为一定的高值分布;由祁连山到河西走廊,地表高程与HI值均快速下降,然而受到河西堡—四道山断裂(F4)晚第四纪以来强烈活动的影响(刘洪春等,2000),在地表高程仍旧缓慢下降的同时,区域HI值却明显升高,这可能与该断裂南侧受到强烈的挤压力却并未明显隆起有关。

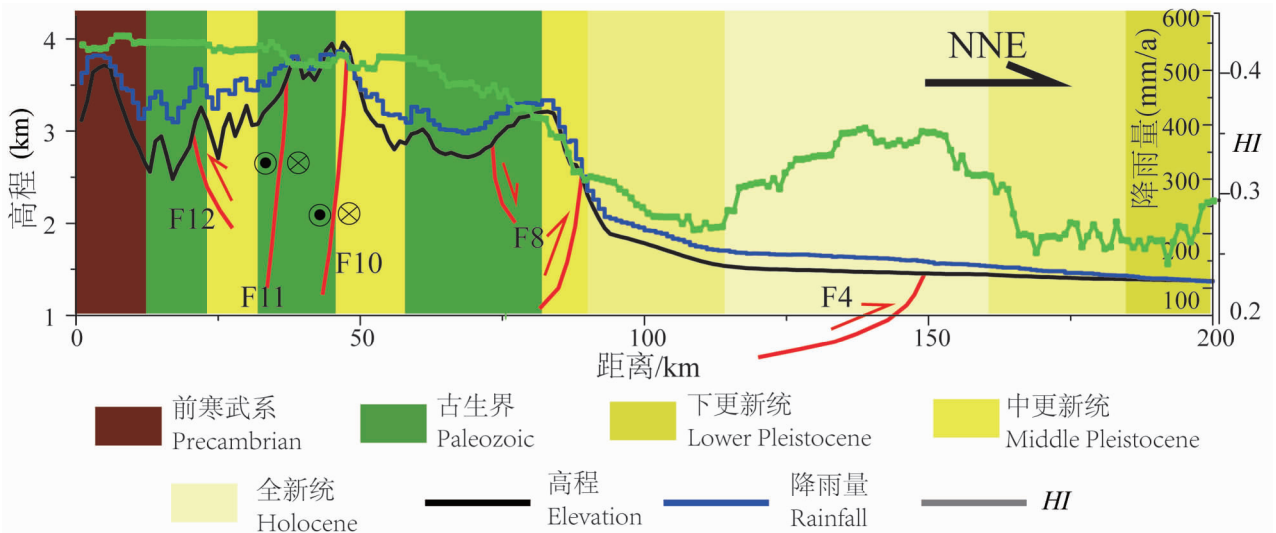


图7 区域高程、降水以及HI剖面(断裂标示如图1)

Fig. 7 Swath profiles of elevation precipitation and HI value (See Fig. 1 for annotations)

3.2 构造活动

据上文分析,降雨条件与不同强度的岩性展布并非区域地貌演化的主控因素,因此,我们有理由相信祁连山东段的构造活动控制了该区的地貌演化;其中,影响本区构造地貌发育演化最典型的的就是由多条活动断裂组成的古浪推覆体和青藏块体逐渐向北的挤压扩展并伴随的活动幅度减弱。

3.2.1 古浪推覆体

古浪推覆体位于广义海原逆左旋走滑活动断裂中东段的断裂拐弯处,由天桥沟—黄羊川断裂(F10)、皇城—双塔断裂(F8)以及武威—天祝隐伏断裂(图1中虚线标出)所围限而成(郑文俊等,2004a)。在区域NE向构造应力作用下,左旋右阶的祁连—海原断裂在阶区部位应力集中(图8),逐渐形成了一个向北东方向扩展的前展式逆冲推覆构造(张培震等,2013)并触发了1927年古浪8级大震(郑文俊等,2004b;谢虹等,2014)。

面积—高程积分对于区域挤压应力造成的构造隆升反应敏感(郑光佑,2002),在本区由于区域应力集中而形成的前展式逆冲推覆构造——古浪推覆体附近,面积—高程积分表现为异常高值分布(图3中冬青顶附近);在岩性与降雨条件并非区域地貌演化主控因素的情况下HI高值分布显示出古浪推覆体晚第四纪以来经历了强烈的构造变形,而在野外的现场考察以及有限元数值模拟均得出控制古浪推覆体的皇城—双塔断裂(F8)、冷龙岭断裂(F9)以及天桥沟—黄羊川断裂(F10)晚第四纪以来活动强

烈,共同维持了古浪推覆体高强度的构造活动构造变形(侯康明,1998;何文贵等等,2000;郑文俊等,2004a,b),这与地貌推测结果一致。

3.2.2 高原向北的挤压扩展

如上文所述,构造活动对祁连山东段宏观地貌演化过程起着最主要的控制作用,而现代地表宏观地貌特征反映了该区构造变形历史。对于祁连山东段、或者祁连山地区的构造成因,目前学术界的普遍认识是:受不同的岩石圈强度控制,位于刚性块体(如塔里木地块与柴达木地块)之间的岩石圈强度相对较小的地块在近南北向持续挤压过程中通过产生新的逆冲断裂、走滑断裂以及活动褶皱来维持、甚至加速地壳的缩短以及地表抬升(Metivietr et al., 1998; Yuan Daoyang et al., 2013),祁连山正是由岩石圈强度相对较小的柴达木—祁连山地块(祁连山部分)与刚性较大的北山—阿拉善块体在北祁连山前—河西走廊相接处,遭受强大的近南北向挤压应力作用,通过产生新的活动断裂以及褶皱而快速隆起(Zheng Wenjun et al., 2009; Champagnac et al., 2010; Yuan Daoyang et al., 2013);而阿拉善块体自宽滩山断裂一线向祁连山之下的俯冲现象(高锐等,1998; Nabelek et al., 2009)对于祁连山的隆升也存在一定的促进作用。

不同的构造变形控制着不同的地貌演化,而地貌特征也会反馈一定的构造活动信息(郑光佑,2002);冷龙岭断裂(F9)、皇城—双塔断裂(F8)以及武威盆地南缘断裂(F6)所控制的祁连山东段向北的逆冲推覆体表现出极高的 HI 值(图3),另外,诸如喜马拉雅地区(Kirby et al., 2010)、台湾中央山脉(陈彦杰,2008)以及龙门山地区(赵国华等,2014)等由逆冲断裂所控制的区域同样表现出极高的 HI 值分布,显示出受区域活动断裂所控制的强烈隆升区对于该区地貌形态特征产生了极其重要的影响。然而,在河西走廊北侧的龙首山东段的河西

堡—四道山断裂(F4)南侧同样出现了 HI 高值分布,但是在断裂北侧却显示出了极低的 HI 值,且在地表并无明显高差异异常(图3、4、7),说明该断裂(F4)受祁连山北缘断裂向北逆冲扩展的影响,其南侧遭受了强烈的构造挤压应力,这与受台湾岛动力触角作用影响下的福建沿海地区 HI 高值分布情况一致(与梁明剑私下交流)。郑光佑(2002)在研究台湾中央山脉两侧断层活动时指出在逆断层上盘附近 HI 值呈现高值异常而在下盘则通常显示低值分布,据此本文认为,河西堡—四道山断裂(F4)两侧独特的 HI 值分布与地貌高差是由该断裂向北强烈的逆冲活动并伴有左行走滑所致(图7);在同时受到阿拉善块体向南侧青藏高原之下俯冲作用的影响下(高锐等,1998; Nabelek et al., 2009),两种构造作用叠加影响,致使河西堡—四道山断裂(F4)附近出现 HI 高值,甚至影响到了河西走廊盆地内部,出现明显 HI 高值(图3、4、7),是其构造活动的地貌反映。

在祁连山西段,陈杰等(1996,2006)通过对祁连山北缘酒西盆地构造运动划分以及玉门砾岩的磁性地层学分析认为,祁连山前的褶皱逆冲具有向北部前陆方向不断扩展生长的趋势,这种认识也得到了酒西盆地构造演化以及沉积物分析研究结果的支持(王成善等,2004;周晓峰等,2007)。在祁连山中段,Zheng Wenjun 等(2013b)通过对合黎山地区的野外实地调查、相应年代样品测试并在系统总结前人研究工作的基础上发现,祁连山快速隆升于约10Ma前,榆木山快速隆升于约3.7Ma前,而河西走廊北侧的合黎山在约2Ma前强烈隆起,得到了高原不断向北扩展并已跨过河西走廊到达合黎山地区的认识。在本文研究区—祁连山东段,在山体快速隆起并发育一系列北东向前展式逆冲推覆体的前提下,位于祁连山北侧山前、河西走廊内部的河西堡—四道山断裂(F4)南侧受到强烈的挤压应力作用,基于高原不断向北扩展且同时受阿拉善块体向南俯冲作用影响的认识(Metivier et al., 1998; 高锐等,1998; Hetzel et al., 2004; 张培震等,2006; Nabelek et al., 2009; Zheng Wenjun et al., 2012; 2013b),本文认为河西堡—四道山断裂(F4)是祁连山东段向北扩展的最前缘部位并且正经历快速隆升。祁连山脉东、中、西段向北扩展的时间序列(中>西>东)与前人通过北麓山前河流陡峭系数得到的山体隆升速率分布情况一致(陈杰等,1996,2006; Zheng Wenjun et al., 2009; Hu Xiaofei et al., 2010),在大

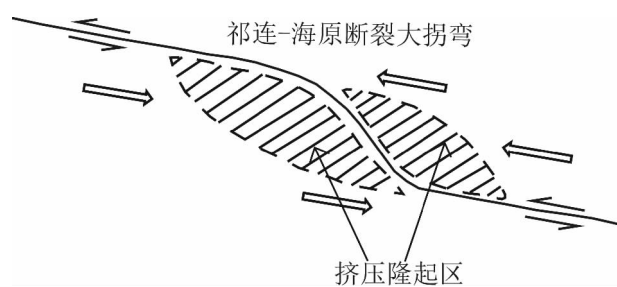


图 8 左旋右阶示意图

Fig. 8 Left-lateral fault with right step

型铲状逆断裂(祁连山北缘断裂)的模型中,这可能与祁连山西段吸收了与之大角度相交的阿尔金断裂减少的走滑分量(Zheng Wenjun et al., 2012; Zhang Huiping et al., 2014)而东段与广义海原断裂实现走滑分量的互相转换(刘百箴等,2008)相关。在中、西段实现高原向河西走廊内部扩展并相继隆升成山(合黎山与文殊山)后,山体垂向隆升速率低、向北扩展速率小的祁连山东段于第四纪一晚第四纪以来强烈地向北推挤并将在1~2Ma内(参考中、西段)使得河西堡—四道山断裂(F4)地区快速隆升成山。

4 结论

本文通过 STRM-3 数字高程模型系统提取了祁连山东段(造山带内部及河西走廊)地区条带状高程剖面以及面积—高程积分等宏观地貌参数并客观分析了该区地貌所蕴含的地质意义。研究认为:

(1)构造变形是祁连山东段造山带内部及河西走廊盆地地貌演化的主控因素,地貌特征也反映了祁连山东段的断裂活动特征,这已得到了野外实地勘查与数值模拟结果的支持;

(2)区域 HI 值分布图与条带状高程剖面等地貌信息揭示了祁连山东段存在由南向北的挤压扩展演化过程,可能同时受到祁连山北缘断裂向河西走廊内部扩展作用及阿拉善向南俯冲的影响。

致谢:审稿专家以及编辑部老师对本文提出了宝贵的建设性意见,让笔者获益良多。另外,在成文过程中,本文第一作者与甘肃省地震局刘百箴研究员以及四川省地震局梁明剑高级工程师进行有益讨论,在此一并表示感谢!

参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

陈杰, 卢演涛, 丁国瑜. 1996. 祁连山西段及酒西盆地第四纪构造运动的阶段划分. 第四纪研究, 16(3): 263~270.

陈杰, Wyrwoll K H, 卢演涛, Krapez B, 万景林, 刘进峰. 2006. 祁连山北缘玉门砾岩的磁性地层年代与褶皱过程. 第四纪研究, 26(1): 20~31.

陈彦杰. 2008. 台湾山脉的构造地形指标特性——以面积高度积分、地形碎形参数与河流坡降指标为依据. 导师: 宋国城. 台南: 成功大学博士学位论文: 1~119.

邓起东, 张培震, 冉永康, 杨晓平, 闵伟, 楚全芝. 2002. 中国活动构造基本特征. 中国科学(D辑), 32(12): 1020~1030.

高红山, 潘保田, 邬光剑, 李吉均, 李炳元, Burbank D, 业渝光. 2005. 祁连山东段河流阶地的形成时代与机制探讨. 地理科学, 25(2): 197~202.

高锐, 李廷栋, 吴功建. 1998. 青藏高原岩石圈演化与地球动力学过程——亚东—格尔木—额济纳旗地质断面的启示. 地质论评, 44(4): 389~395.

葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 袁四化. 2014. 青藏高原隆升对中国构造—地貌形成、气候环境变迁与古人类迁徙的影响. 中国地质, 41(3): 698~714.

何文贵, 刘百箴, 袁道阳, 杨明. 2000. 冷龙岭活动断裂的滑动速率研究. 西北地震学报, 22(1): 90~97.

何文贵, 袁道阳, 葛伟鹏, 罗浩. 2010. 祁连山活动断裂带中东段冷龙岭断裂滑动速率的精确厘定. 地震, 30(1): 131~137.

侯康明. 1998. 皇城—双塔断裂带的几何分段及运动学特征. 华南地震, 18(3): 28~34.

李奋生, 赵国华, 李勇, 闫照坤, 梁明剑, 闫亮, 李敬波, 邵崇建, 郑立龙. 2015. 龙门山地区水系发育特征及其对青藏高原东缘隆升的指示. 地质论评, 61(2): 345~355.

梁明剑, 郭红梅, 李大虎, 孔军. 2013. 2013年四川芦山7.0级地震发震构造机理及青衣江上游流域地貌的响应. 地学前缘, 20(6): 021~028.

梁明剑, 周荣军, 闫亮, 赵国华, 郭红梅. 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. 地震地质, 36(1): 1~11.

刘百箴, 曹娟娟, 袁道阳, 何文贵. 2008. 青藏高原北部活动地块内部的活断层定量研究. 地震地质, 30(1): 161~175.

刘百箴, 吕太乙, 袁道阳, 何文贵, 刘小凤, 甘卫军, 刘建生. 2013. 祁连山活动断裂东段(老虎山、毛毛山和金强河断裂)地质图. 北京: 地震出版社, 1~36.

刘洪春, 戴华光, 李龙海. 2000. 对1954年民勤7级地震的初步研究. 西北地震学报, 22(3): 232~235.

潘保田, 邬光剑, 王义祥, 刘志刚, 管清玉. 2000. 祁连山东段沙河阶地的年代与成因. 科学通报, 45(24): 2669~2675.

邵崇建, 李勇, 赵国华, 闫照坤, 聂舟, 闫亮, 李敬波, 郑立龙, 周游, 彭海燕. 2015. 基于面积—高程积分对龙门山南段山前河流的构造地貌研究. 现代地质, 29(4): 727~737.

苏琦, 袁道阳, 谢虹, 邵延秀. 2015. 祁连山西段党河流域地貌特征及其构造指示意义. 第四纪研究, 35(1): 48~59.

王成善, 朱利东, 刘志飞. 2004. 青藏高原北部盆地构造沉积演化与高原向北生长过程. 地球科学进展, 19(3): 373~381.

王一舟, 张会平, 俞晶星, 张竹琪, 郑文俊, 郑德文. 2013. 祁连山洪水坝河流域地貌特征及其构造指示意义. 第四纪研究, 33(4): 737~744.

邬光剑, 潘保田, 管清玉, 王建民, 赵志军. 1998. 祁连山东段北麓10Ka来的气候变化初步研究. 中国沙漠, 8(3): 193~200.

谢虹, 袁道阳, 雷中生, 刘百箴, 苏琦. 2014. 1927年古浪8级地震的震灾特征与启示. 兰州大学学报(自然科学版), 50(5): 622~627.

袁道阳, 张培震, 刘百箴, 甘卫军, 毛凤英, 王志才, 郑文俊, 郭华. 2004. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换. 地质学报, 78(2): 270~276.

张会平, 扬农, 张岳桥, 孟晖. 2006. 岷江水系流域地貌及其构造指示意义. 第四纪研究, 26(1): 126~135.

张会平, 张培震, 郑德文, 郑文俊, 陈正位, 王伟涛. 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. 第四纪研究, 32(5): 907~920.

张培震, 郑德文, 尹功明, 袁道阳, 张广良, 李传友, 王志才. 2006. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. 第四纪研究, 26(1): 5~13.

张培震, 邓起东, 张竹琪, 李海兵. 2013. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程. 中国科学: 地球科学, 43(10): 1607~

- 1620.
- 赵国华, 李勇, 闫照坤, 闫亮, 李敬波, 梁明剑, 马超, 郑立龙. 2014. 龙门山中段山前河流 Hack 剖面 and 面积—高程积分的构造地貌研究. 第四纪研究, 34(2): 302 ~ 310.
- 赵洪壮, 李有利, 杨景春. 2010. 北天山流域河长坡降指标与 Hack 剖面的新构造意义. 北京大学学报(自然科学版), 46(2): 237 ~ 243.
- 郑光佑. 2002. 台湾西部麓山带前缘流域面积高度积分之构造意义研究. 导师: 宋国城. 台南: 高雄师范大学硕士学位论文: 1 ~ 83.
- 郑文俊, 袁道阳, 何文贵. 2004. 祁连山东段天桥沟—黄羊川断裂古地震活动习性研究. 地震地质, 26(4): 645 ~ 657.
- 郑文俊, 袁道阳, 张高丽, 何文贵, 郭华, 刘百箴. 2004. 1927 年古浪 8 级地震的破裂习性 & 破裂机制的数值模拟. 中国地震, 20(4): 353 ~ 363.
- 郑文俊, 张培震, 袁道阳, 郑德文. 2009. GPS 观测及断裂晚第四纪滑动速率所反映的青藏高原北部变形. 地球物理学报, 52(10): 2491 ~ 508.
- 周晓峰, 何顺利, 赵全国, 张晓龙. 2007. 新生代酒西盆地的背驮式结构特征. 新疆石油地质, 28(6): 697 ~ 69.
- An Z S, Kutzbach J E, Prell W, et al. 2001. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya—Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 411: 62 ~ 66.
- Chanpagnac J D, Yuan Daoyang, Ge Weipeng, Monlar P, Zheng Wenjun. 2010. Slip rate at the north-eastern front of the Qilian Shan, China. *Terra Nova*, 22: 180 ~ 187.
- Chen Jie, Lu Yanchou, Ding Guoyu. 1996. Stages of Quaternary tectonic movement in west Qilianshan Mountain and Jiuxi basin. *Quaternary Sciences*, (3): 263 ~ 270.
- Chen Jie, Wyrwoll K H, Lu Yanchou, B. Krapez, Wan Jinglin, Liu Jinfeng. 2006. Magnetochronology of the Yumen conglomerates and Multi-pulsed folding and thrusting in the northern Qilianshan. *Quaternary Sciences*, 26(1): 20 ~ 31.
- Chen Yen-chieh. 2008. Morphotectonic Features of Taiwan Mountain Belt Based on Hypsometric Integral, Topographic Fractals and SL Index. Tutor: Sung Quo-Cheng. Tainan, Taiwan: Thesis for Doctor's Degree of Chengkung University: 1 ~ 199.
- Cheng Kaungyu. 2002. The Implications of Hypsometric Integral for River Basins in the Mountain Front of Western Taiwan. Tutor: Sung Quo-Cheng. Tainan: Thesis for Master's Degree of Kaohsiung Normal University: 1 ~ 83.
- Clark M K, Royden L H. 2000. Topographic ooze: Building the eastern margin of Tibet by lower crustal flow. *Geology*, 28: 703 ~ 706.
- Craddock W, Kirby E, Zhang H P. 2011. Late Miocene—Pliocene range growth in the interior of the northeastern Tibetan Plateau. *Lithosphere*, 3(6): 420 ~ 428.
- Deng Qidong, Zhang Peizhen, Ran Yongkang, Yang Xiaoping, Min Wei, Chu Quanzhi. 2002. Basic Characteristics of active tectonics in China. *Science in China (Series D)*, 32(12): 1020 ~ 1030.
- Gao Hongshan, Pan Baotian, Wu Guangjian, Li Jijun, Li Bingyuan, D, Burbank, Ye Yuguang. 2005. Age and genesis of alluvial terraces in east Qilian Mountains. *Scientia Geographica Sinica*, 25(2): 197 ~ 202.
- Gao Rui, Li Tingdong, Wu Gongjian. 1998. Lithospheric evolution and geodynamic process of the Qinghai—Tibet Plateau: An inspiration from the Yadong—Golmud—Ejin Geoscience Transect. *Geological Review*, 44(4): 389 ~ 395.
- Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, Yuan Sihua. 2014. Tectonic uplift of the Tibetan Plateau: Impacts on the formation of landforms, climate changes and ancient human migration in China. *Geology in China*, 41(3): 698 ~ 714.
- Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. 2002. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 416: 159 ~ 163.
- Ferrier K L, Huppert K L, Perron J T. 2013. Climatic control of bedrock river incision. *Nature*, 496: 206 ~ 211.
- Hartshorn K, Hovius N, Dade W B, Slingerland R L. 2002. Climate-Driven Bedrock Incision in an Active Mountain Belt. *Science*, 297: 2036 ~ 2038.
- He Wengui, Liu Baichi, Yuan Daoyang, Yang Ming. 2000. Research on Slip of the Lenglongling Active Fault Zone. *Northwestern Seismological Journal*, 22(1): 90 ~ 97.
- He Wengui, Yuan Daoyang, Ge Weipeng, Luo Hao. 2010. Determination of the Slip Rate of the Lenglongling Fault in the Middle and Eastern Segments of the Qilian Mountain Active Fault Zone. *Earthquake*, 30(1): 131 ~ 137.
- Hetzl R, Tao M X, Stokes S, Niedermann S, Ivy-Ochs S, Gao Bo, Strecker M R, Kubik P W. 2004. Late Pleistocene/Holocene slip rate of the Zhangye thrust (Qilian Shan, China) and implications for the active growth of the northeastern Tibetan Plateau. *Tectonics*, 23(TC6006), doi:10.1029/2004TC001653.
- Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, Jones P G, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15): 1965 ~ 1978.
- Hou Kangming. 1998. The geometric segmentation and kinematics characteristics of Huangcheng—Shuangta fault zone. *South China Journal of Seismology*, 18(3): 28 ~ 34.
- Hu Xiaofei, Pan Baotian, Kirby E, Li Qingyang, Geng Haopeng, Chen Jifeng. 2010. Spatial differences in rock uplift rates inferred from channel steepness indices along the northern flank of the Qilian Mountains, northeast Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 55, 3205 ~ 3214.
- Kirby E, Whipple K X. 2003. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles. *Journal of Geophysical Research*, 108(B4), 2217, doi:10.1029/2001JB000861.
- Kirby E, Whipple K X. 2012. Expression of active tectonics in erosional landscapes. *Journal of Structural Geology*, 44: 54 ~ 75.
- Li Fensheng, Zhao Guohua, Li Yong, Yan Zhaokun, Liang Mingjian, Yan Liang, Li Jingbo, Shao Chongjian, Zheng Lilong. 2015. The Characteristics of Drainage Development in Longmen Mountains Area and its Indication to the Uplift of the Eastern Margin of Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau. *Geological Review*, 61(2): 345 ~ 355.
- Liang Mingjian, Guo Hongmei, Li Dahu, Kong Jun. 2013. The seismogenic tectonic mechanism of Lushan Ms7.0 earthquake and the geomorphological response of the upstream drainage of Qingyijiang River, in 2013, Sichuan, China. *Earth Science Frontiers*, 20(6): 21 ~ 28.
- Liang Mingjian, Zhou Rongjun, Yan Liang, Zhao Guohua, Guo Hongmei. 2014. The Relationship between Neotectonic Activity of the Middle Segment of Dari fault and its Geomorphological Response, Qinghai Province, China. *Seismology and Geology*, 36(1): 1 ~ 9.
- Liu Baichi, Cao Juanjuan, Yuan Daoyang, He Wengui. 2008. Quantitative data of active faults within the active tectonic block in north Qinghai—Xizang Plateau. *Seismology and Geology*, 30(1): 161 ~ 175.

- Liu Baichi, Lü Taiyi, Yuan Daoyang, He Wengui, Liu Xiaofeng, Gan Weijun, Liu Jiansheng. 2013#. Geological Maps of Eastern Segment of the Qilianshan Active Fault (Laohushan, Maomaoshan and Jinqianghe Fault). Beijing: Seismological Press.
- Liu Hongchun, Dai Huaguang, Li Longhai, Jia Yunhong, Yang Rong. 2000#. A preliminary study on the 1954 Minqin Ms 7.0 earthquake in Gansu province. *Northwestern Seismological Journal*, 22(3):232 ~ 235.
- Liu Xiaodong, Dong Buwen. 2013. Influence of the Tibetan Plateau uplift on the Asian monsoon-arid environment evolution. *Chineses Science Bulletin*, 58(34):4277 ~ 4291.
- Liu-Zeng J, Tapponnier P, Gaudemer Y, Ding Lin. 2008. Quantifying landscape differences across the Tibetan plateau: Implications for topographic relief evolution. *Journal of Geophysical Research*, 113 (F04018), doi:10.1029/2007JF000897.
- Metivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, Meyer B. 1998. Northeastward growth of the Tibet plateau deduced from balanced reconstruction of two depositional areas; The Qaidam and Hexi Corridor basins, China. *Tectonics*, 17(6):823 ~ 842.
- Molnar P, and Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia; Effects of a continental collision. *Science*, 189: 419 ~ 426.
- Motamery D R, Balco G, Willett S D. 2001. Climate, tectonics and the morphology of the Andes. *Geology*, 29(7):579 ~ 582.
- Nabelek J, Hetenyi G, Vergne J, Sapkota S, Kalle B, Jiang Mei, Su Heping, Huang B S. 2009. Underplating in the Himalaya—Tibet Collision Zone Revealed by the Hi-CLIMB Experiment. *Science*, 325, 1371 ~ 1374.
- Pan Baotian, Wu Guangjian, Wang Yixiang, Liu Zhigang, Guan Qingyu. 2000#. Age and genesis of the Shagou River terraces in eastern Qilian Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 45(24):2669 ~ 2675.
- Pan Baotian, Hu Xiaofei, Gao Hongshan, Hu Zhenbo, Cao Bo, Geng Haopeng, Li Qingyang. 2013. Late Quaternary river incision rates and rock uplift pattern of the eastern Qilian Shan Mountain, China. *Geomorphology*, 184:84 ~ 97.
- Pike R J, Wilson S E. 1971. Elevation—relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area—altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82: 1079 ~ 1084.
- Scharf T E, Codilean A T, Wit M, Jansen J D, Kubik P W. 2013. Strong rocks sustain ancient postorogenic topography in southern Africa. *Geology*, 41(3):331 ~ 334.
- Shao Chongjian, Li Yong, Zhao Guohua, Yan Zhaokun, Nie Zhou, Yan Liang, Li Jingbo, Zheng Lilong, Zhou You, Peng Haiyan. 2015#. Tectonic Geomorphology Analysis of Piedmont Rivers in the Southern Section of Longmenshan Based on Hypsometric Integral. *Geoscience*, 29(4): 727 ~ 737.
- Strahler A N. 1952. Hypsometric (area—altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63:1117 ~ 1142.
- Su Qi, Yuan Daoyang, Xie Hong, Shao Yanxiu. 2015#. Geomorphic features of the Danghe river drainage basin in western Qilianshan Mountain and its insight into tectonic implications. *Quaternary Research*, 35(1): 48 ~ 59.
- Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, et al. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 294(5574): 1671 ~ 1677.
- Wang Chengshan, Zhu Lidong, Liu Zhifei. 2004#. Tectonic and sedimentary evolution of basins in the north of Qinghai—Tibet plateau and north ward growing process of Qinghai—Tibet plateau. *Advance in Earth Science*, 19(3):373 ~ 381.
- Wang Yizhou, Zhang Huiping, Yu Jingxing, Zhang Zhuqi, Zheng Wenjun, Zheng Dewen. 2013#. Geomorphic features of the Hongshuibai river drainage basin in Qilianshan mountain and Its insight into tectonic implications. *Quaternary Research*, 33(4):737 ~ 744.
- Wang Yizhou, Zhang Huiping, Zheng Dewen, Zheng Wenjun, Zhang Zhuqi, Wang Weitao, Yu Jingxing. 2014. Controls on decadal erosion rates in Qilian Shan: Re-evaluation and new insights into landscape evolution in north-east Tibet. *Geomorphology*, 223: 117 ~ 128.
- Wu Guangjian, Pan Baotian, Guan Qingyu, Wang Jianmin, Zhao Zhijun. 1998#. Climatic changes in the north piedmont of eastern Qilian Mountains since 10 ka BP. *Journal of Desert Research*, 8 (3):193 ~ 200.
- Xie Hong, Yuan Daoyang, Lei Zhongsheng, Liu Baichi, Su Qi. 2014#. Seismic hazard characteristics of and lessons from Gulang Ms 8 earthquake in 1927. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 50(5):622 ~ 627.
- Yuan Daoyang, Zhang Peizhen, Liu Baichi, Gan Weijun, Mao Fengying, Wang Zhicai, Zheng Wenjun, Guo Hua. 2004#. Geometrical imagery and tectonic transformation of late Quaternary active tectonics in Northeastern margin of Qinghai Xizang Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 78(2):270 ~ 276.
- Yuan Daoyang, Ge Weipeng, Chen Zhengwei, Li Chuanyou, Wang Zhicai, Zhang Huiping, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Zheng Wenjun, Craddock W H, Dayem K E, Duall A R, Hough B G, Lease R O, Chanpagnac J D, Burbank D W, Clark M K, Farley K A, Carziona C N, Kirby, E Monlar P, Roe G H. 2013. The growth of northeastern Tibet and its relevance to large-scale continental geodynamics: A review of recent studies. *Tectonics*, 32: 1358 ~ 1370, doi:10.1002/tect.20081.
- Zhang Huiping, Liu Shaofeng, Yang Nong, Zhang Yueqiao, Zhag Guowei. 2006. Geomorphic characteristics of the Minjiang drainage basin (eastern Tibetan Plateau) and its tectonic implications: New insights from a digital elevation model study. *Island Arc*, 15: 239 ~ 250.
- Zhang Huiping, Yang Nong, Zhang Yueqiao, Meng Hui. 2006#. Geomorphology of the Mingjiang drainage system (Sichuan, China) and its structural implications. *Quaternary Research*, 26(1):126 ~ 135.
- Zhang Huiping, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Zheng Wenjun, Chen Zhengwei, Wang Weitao. 2012#. Tectonic Geomorphology of the Qilian Shan: Insights into the Late Cenozoic Landscape Evolution and Deformation in the North Eastern Tibetan Plateau. *Quaternary Research*, 32(5):907 ~ 920.
- Zhang Huiping, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Zheng Wenjun, Chen Zhengwei, Wang Weitao. 2014. Transforming the Miocene Altyn Tagh fault slip into shortening of the north-western Qilian Shan: insights from the drainage basin geometry. *Terra Nova*, 26: 216 ~ 221.
- Zhang Peizhen, Monlar P, Downs W R. 2001. Increased sedimentation rates and grain sizes 2 ± 4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates. *Nature*, 410: 891 ~ 897.
- Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Yin Gongming, Yuan Daoyang, Zhang Guangliang, Li Chuanyou, Wang Zhicai. 2006#. Discussion on late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan plateau. *Quaternary Research*, 26(1):5 ~ 13.

- Zhang Peizhen, Molnar P, XU Xiwei. 2007. Late Quaternary and present-day rates of slip along the Altyn Tagh Fault, northern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonics*, 26 (TC5010), doi:10.1029/2006TC002014.
- Zhang Peizhen, Deng Qidong, Zhang Zhiqi, Li Haibing. 2013#. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China. *Scientia Sinica Terrae*, 43: 1607 ~ 1620.
- Zhao Guohua, Li Yong, Yan Zhaokun, Yan Liang Li Jingbo, Liang Mingjian, Ma Chao, Zheng Lilong. 2014#. Tectonic geomorphology analysis of piedmont rivers of the middle MT, Lonnenshan based on Hack profile and Hypsometric Integral. *Quaternary Research*, 34(2): 302 ~ 310.
- Zhao Hongzhuang, Li Youli, Yang Jingchun. 2010#. Implication of active structure along the northern Tianshan by stream length—gradient index and Hack profile. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 46(2):237 ~ 243.
- Zheng Wenjun, Yuan Daoyang, He Wengui. 2004#. Characteristics of Palaeo-Earthquake Activity along the Active Tianqiaogou—Huangyangchuan Fault on the Eastern Section of the Qilianshan Mountains. *Seismology and Geology*, 26(4):645 ~ 657.
- Zheng Wenjun, Yuan Daoyang, Zhang Gaoli, He Wengui, Guo Hua, Liu Baichi. 2004#. Rupture Property in the Gulang MS 8. 0 Earthquake, 1927 and Numerical Simulation of Rupture Mechanism. *Earthquake Research in China*, 20(4):353 ~ 363.
- Zheng Wenjun, Zhang Peizhen, Yuan Daoyang, Zheng Dewen. 2009#. Deformation of the northern of the Tibetan plateau from GPS measurement and geologic rates of late Quaternary along the major fault. *Chinese Journal of Geophysics*, 52(10):2491 ~ 508.
- Zheng Wenjun, Zhang Peizhen, He Wengui, Yuan Daoyang, Shao Yanxiu, Zheng Dewen, Ge Weipeng, Min Wei. 2012. Transformation of displacement between strike-slip and crustal shortening in the northern margin of the Tibetan Plateau: Evidence from decadal GPS measurements and late Quaternary slip rates on faults. *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2012.01.006.
- Zheng Wenjun, Zhang Huiping, Zhang Peizhen Monlar P, Liu Xingwang, Yuan Daoyang. 2013. Late Quaternary slip rates of the thrust faults in western Hexi Corridor (Northern Qilian Shan, China) and their implications for northeastward growth of the Tibetan Plateau. *Geosphere*, 9(2):342 ~ 354.
- Zheng Wenjun, Zhang Peizhen, Ge Weipeng, Monlar P, Zhang Huiping, Yuan Daoyang, Liu Jianhui. 2013. Late Quaternary slip rate of the South Heli Shan Fault (northern Hexi Corridor, NW China) and its implications for northeastward growth of the Tibetan Plateau. *Tectonics*, 32: 271 ~ 293, doi:10.1002/tect.20022.
- Zhou Xiaofeng, He Shunli, Zhao Quanguo, Zhang Xiaolong. 2007#. The Piggyback Configuration of Cenozoic in Jiuxi Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28(6):697 ~ 69.

Geomorphic Features of the Shiyang River Drainage Basin and Adjacent Area in Eastern Qilian Mountains and Its Insight into Tectonic Implications

SU Qi^{1,2)}, YUAN Daoyang^{1,3)}, XIE Hong^{1,3)}

1) Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, 730000;

2) School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210046;

3) Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou, 730000

Objectives: Because of the strong uplift of the Qilian Mountains since late Cenozoic, the drainage basins that derived from the mountain have undergone strong tectonic deformation, so the typical geomorphology characteristics of these drainage basins may indicate the strong tectonic movement in the region. Controlled by north Qilian Mountains fault and Qilian—Haiyuan fault, the eastern margin of Qilian Mountains which developed Gulang thrust nappe have undergone strong tectonic deformation and formed unique geomorphological characteristics, previous researchers studied the study region from the geological and geophysical view, while little concern was paid to the eastern Qilian Mountain from the geomorphological view.

Methods: Based on ArcGIS spatial analysis, this study takes advantage of Digital Elevation Model (DEM) to extract macro landscape factors (such as Hypsometric Integral and Swath profiles) in the study area and combines rainfall and lithologic data to give systematic analysis to its geological significances.

Results: The study shows it is the tectonic movement of the active fault but the lithologic factors and precipitation conditions that has strongly influenced on the regional geomorphic evolution; in addition, controlled by Huangcheng—Shuangta fault, Lenglongling fault and Lianhuaqiao fault, Gulang thrust nappe brings out high *HI* value, Hexibao—Sidaoshan fault, which lies on the east side of the Longshou hill, shows high *HI* value on its south side and relatively low *HI* value on its north side. Furthermore, the seven swath profiles indicated that the macro-topography is largely controlled the activities of the range—front faults.

Conclusions: The results show that all the macro geomorphologic factors indicate that the eastern margin of the Qilian Mountains, even Xizang (Tibet) Plateau has been extending northward, and this study provide the geomorphic evidence that the north Qilian Mountains fault has extended into Hexi Corridor.

Keywords: East part of Qilian Mountains; Gulang thrust nappe; hypsometric integral; swath profile

Acknowledgements: This work was jointly funded by the Public Service Funds for Earthquake Studies (No. 201308012) and the Chinese Academy of Sciences Key Project (No. XDB03020201). We thank LIANG Mingjian (Seismological Bureau of Sichuan Province) and LIU Baichi (Seismological Bureau of Gansu Province) for helpful discussion about this study. Thanks are also due to Professor ZHANG Yuxu and anonymous reviewers for their thorough reviews and thoughtful comments which resulted in considerable improvement of this manuscript.

First author: SU Qi, male, born in 1990, Master, mainly engaged in active tectonics and tectonic geomorphology research. Email: xbdsq11@163.com

Corresponding author: YUAN Daoyang, male, born in 1965, professor, mainly engaged in active tectonics and historical earthquake research. Email: yuandaoyang@163.com

Manuscript received on: 2015-06-09; Accepted on: 2016-10-19; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.002

中国地质学会期刊处成绩优异

中国地质学会期刊处,主要负责《地质学报》(中、英文版)和《地质论评》三刊的编辑、出版工作,兼顾中国地质学会对地质学期刊的管理。在中国地质学会理事会和中国地质科学院的领导下,在朱立新秘书长的具体组织下,在《地质学报》(中、英文版)、《地质论评》等期刊主编、副主编和编委的大力支持下,中国地质学会期刊处,在大力实施科技期刊精品化、电子化、网络化、国际化等战略中,取得了杰出的成就,得到了中国科协和广大读者、作者的广泛赞誉。

1 《地质学报》(中、英文版)、《地质论评》

出版基本情况(以2016年为例)

现在,《地质学报》(中文版)为月刊,《地质学报》(英文版)和《地质论评》为双月刊。

2016年《地质学报》(中文版)刊文244篇,共3569页;《地质学报》(英文版)发表正式论文132篇,研究进展等73篇,共2306页;《地质论评》发表正式论文118篇,通讯资料、消息报道和新书评介短文15篇,共1602页。

此外,《地质学报》(英文版)出版增刊1期,发表论文摘要170篇,256页;《地质论评》出版增刊1期,发表论文摘要208篇,431页。

2 《地质学报》(中、英文版)、《地质论评》主要成就

2016年《地质学报》(英文版)获得中国科协、财政部等6部委科技期刊登峰计划项目(2016~2018年)支持(全国共支持了16个刊物)。《地质学报》(中文版)和《地质论评》分别获得中国科协精品科技期刊项目(2016~2018年)支持。《中国地学期刊网》和《地质学报》中、英文版,《地质论评》网

站获得中国科协科技期刊集群网站建设项目(2016~2018年)支持。

《地质学报》(英文版)继续被“SCI”数据库收录,2015年度影响因子1.996,仍居中国地学刊物之首。《地质学报》(中文版)被“EI”收录,同时其登载的古生物部分,被汤森路透旗下数据库收录。《地质学报》(英文版)获2015年国家新闻出版广电总局“百强报刊”称号。《地质学报》(中文版)被科技部中国科技情报研究所评为2015年度“百种中国杰出学术期刊”。《地质学报》(中文版)、《地质学报》(英文版)、《地质论评》同时被“CNKI”数据库等单位评选为“2016年度中国最具国际影响力学术期刊”(即三刊的国际影响力均位居中国科技期刊的前5%)。

在中国科技期刊编辑学会每5年一次的科技期刊优秀编辑评选中,两刊编辑部主任郝梓国和章雨旭分别获得“金牛奖”和“银牛奖”。

由中国地质学会期刊专业委员会主办的《中国地学期刊网》,现在由期刊处管理和维护,国际读者已占近30%,在业界已有很大影响。2016~2018年中国科协出资帮助维护。

此外,还为中国地质学会所属专业委员会主办的17个刊物及中国地质学会参与主办的《地质学刊》、《地质与勘探》和《西北地质》提供服务和指导。

(中国地质学会期刊处 供稿)

**The Journal Office of Geological Society of China:
The Journal Office of Geological Society of China
Made Excellent Achievements**