

肖本夫, 肖和平, 祁玉萍, 等. 基于 DEM 的少震、弱震区构造地貌特征及演化分析——以湖南省茶陵—永兴盆地为例[J]. 华南地震, 2019, 39(2): 147–155. [XIAO Benfu, XIAO Heping, QI Yuping, et al. Tectono-geomorphic Features and Evolution in Less and Weak Earthquake Region Based on DEM——A Case Study in Chaling-Yongxing Basin of Hunan Province [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 147–155]

## 基于 DEM 的少震、弱震区构造地貌特征及演化分析 ——以湖南省茶陵—永兴盆地为例

肖本夫<sup>1,2</sup>, 肖和平<sup>2</sup>, 祁玉萍<sup>1</sup>, 敬少群<sup>2</sup>, 李 凤<sup>3</sup>

(1. 四川省地震局, 成都 610041; 2. 湖南省地震局, 长沙 410004; 3. 河北省地震局, 石家庄 050021)

**摘要:** 基于数字高程模型 (DEM) 数据解译, 结合野外地质调查、遥感影像及前人研究成果, 对茶陵—永兴盆地构造地貌特征及断裂的制约关系做出初步研究, 并探讨了少震、弱震区域盆地的演化历史。研究表明: 茶陵—永兴盆地边界坡度和地貌差异显著, 高坡度区域分别位于盆地的南东侧和北西侧, 坡度陡立区域呈线性分布, 与区内断裂空间展布一致, 显示出断裂对茶陵—永兴盆地构造地貌的发育有较强制约作用。另外, 盆地内部及周边不同时代沉积层厚度的分布情况及规模与数字地形剖面分析结果存在较好一致性, 反映了构造地貌特征与多期次地质构造运动的相关性, 以及盆地演化和地貌生长模式的阶段性特点。

**关键词:** DEM; 构造地貌; 少震、弱震区; 构造演化; 茶陵—永兴盆地

**中图分类号:** P315; P609; X43

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662(2019)02-0147-09

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2019.02.022

## Tectono-geomorphic Features and Evolution in Less and Weak Earthquake Region Based on DEM ——A Case Study in Chaling-Yongxing Basin of Hunan Province

XIAO Benfu<sup>1,2</sup>, XIAO Heping<sup>2</sup>, QI Yuping<sup>1</sup>, JING Shaoqun<sup>2</sup>, LI Feng<sup>3</sup>

(1. Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China; 2. Hunan Earthquake Agency, Changsha 410004, China; 3. Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** Based on data interpretation of digital elevation model (DEM), combined with field geological survey, remote sensing images and previous researches, tectonic geomorphological characteristics and the restrictive relationship between faults of Chaling-Yongxing basin are preliminarily studied, and the evolution history of regional basins with few earthquakes and weak earthquakes are discussed. Research shows that the boundary slope and geomorphology of Chaling-Yongxing basin are significantly different. The high slope areas are located

**收稿日期:** 2018-07-19

**基金项目:** 四川省地震局地震科技专项(LY1817, LY1802); 湖南省地震局地震科研项目(201505); 震情跟踪定向工作任务(2018010122)和地震科技星火计划项目(XH18038)联合资助

**作者简介:** 肖本夫(1986-), 男, 工程师, 主要从事地震地质、地震应急及地震工程研究。

**E-mail:** xiaobf\_1986@hotmail.com.

respectively on the south-east and north-west sides of the basin. The steep slope areas are linearly distributed, which is consistent with the spatial distribution of faults inside the area, displaying the strong restrictive effect of faults on the development of tectonic landforms of Chaling-Yongxing basin. In addition, the distribution and scale of sediment thickness in different periods within and around the basin consistent well with the results of digital topographic profile analysis, reflecting the correlation between tectonic geomorphological characteristics and multi-stage geological tectonic movements, as well as the stage characteristics of basin evolution and geomorphological growth model.

**Keywords:** DEM; Tectonic geomorphology; Less and weak earthquake region; Tectonic evolution; Chaling-Yongxing basin

## 0 引言

地震及其次生灾害的分布情况与构造断错密切相关,而地形地貌变形则是构造断错在地表的最直观表现形式,其形态特征和沉积结构是辨别断层活动的主要方式之一<sup>[1]</sup>。随着地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)和遥感(Remote Sensing,简称RS)等技术的日趋成熟,以及高精度数字高程模型(Digital Elevation Model,简称DEM)数据的普及,研究者可以从不同层次和不同尺度分析构造地貌、地震和其次生灾害的空间分布情况。现阶段,数字高程模型被广泛用于地形地貌研究<sup>[2]</sup>,如裂点序列提取<sup>[3]</sup>、河流阶地分析<sup>[4]</sup>、断层识别<sup>[5]</sup>和滑坡风险评估<sup>[6]</sup>等,该技术对直观观测地形地貌,多尺度提取地貌参数,揭示构造地貌形态具有重要的作用<sup>[7]</sup>。虽然详细的数字地貌学有助于开展地貌与活动断裂定量分析、地震地质灾害预测和盆—山演化等领域的研究,但从总体研究范围来看,目前结合数字地貌学和地质学分析的研究区域主要集中于多震、强震或中强震活动区<sup>[4-5,8-12]</sup>,对少震、弱震区(构造相对稳定区)的研究仍有待大量理论、技术和方法等方面的实证加以完善。

茶陵—永兴盆地位于华南褶皱系内,是连云山—罗霄山断块掀斜上升区和武功山断块上升区的过渡带。自有历史记载以来,该区域及邻区较少发生5级以上地震,是典型的少震、弱震区;同时,控制盆地边界的茶陵—临武断裂也是湘桂褶皱带和赣粤褶皱带的重要分界线,因此茶陵—永兴盆地在大构造位置和区域地质构造活动研究中具有重要的指示意义。对茶陵—永兴盆地的地貌学特征和形成历史的研究,不仅可以加深对湘东地区范围内构造环境和矿物成矿条件的认识,同时也对进一步探索少震、弱震区盆地演化和地

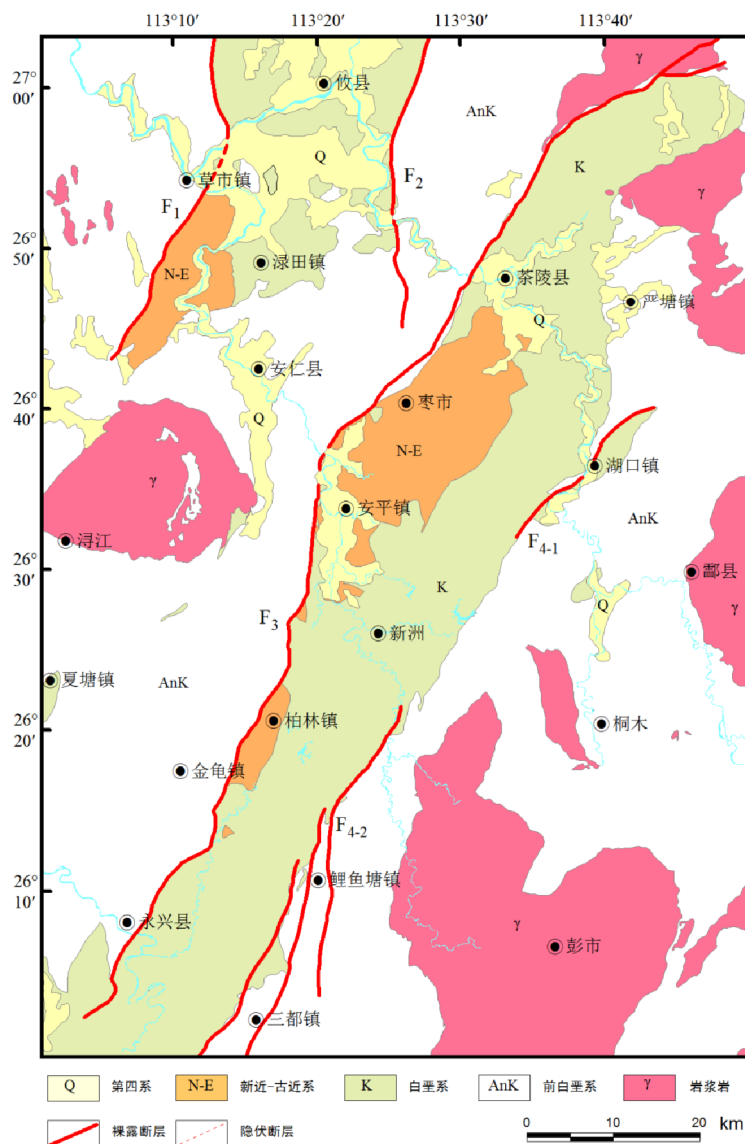
质构造运动过程具有重大现实意义<sup>[8-10]</sup>。

本文以DEM数据分析为基础,ArcGIS和ENVI平台为技术支持,结合相关野外地质构造、地形地貌调查及前人研究成果,从数字地貌学和地质学角度出发,分析了茶陵—永兴盆地构造地貌特征及断裂的制约关系,并进一步探讨了茶陵—永兴盆地演化模式。

## 1 区域地质概况

茶陵—永兴盆地位于湖南与江西交界部位,盆地总体沿北北东向展布,北起茶陵高陇、古城一带,经安仁、永兴,往南止于郴州市苏仙区及邻区,全长大于150 km(图1)。盆地东以罗霄山脉与江西相隔,西北以武功山与醴陵—攸县盆地相间。

盆地地处华南褶皱系内,为断拗型构造盆地,构造相对简单,主要由白垩系和下第三系构成的茶陵—永兴复向斜组成,下白垩统地层主要出露于盆地南西端,上白垩统地层出露于盆地周缘,下第三系地层出露于茶陵—界首一带。研究区内地貌可分为山地、平原和丘陵等类型,其中最典型地貌类型为丹霞地貌。地貌单元发育情况主要受NNE向的老君潭断裂带( $F_1$ )、近SN向的酒埠江断裂带( $F_2$ )、NE-NNE向的茶陵—临武断裂带( $F_3$ )和三都—郴州—连山断裂带( $F_4$ )控制。其中,茶陵—临武断裂带和三都—郴州—连山断裂带的规模较大,为茶陵—永兴盆地的边界断裂,对地层沉积、尤其是中—新生代盆地的沉积规模有明显的控制作用,构成了华南加里东褶皱系的湘桂褶皱带和赣粤褶皱带之间的分界线。



F1 老君潭断裂; F2 酒埠江断裂; F3 茶陵—临武断裂; F4 三都—郴州—连山断裂

图1 研究区地质构造简图

Fig.1 Geological map of the study area

## 2 数字地形地貌解译

### 2.1 数据源选择

本文采用的数字高程数据为航天飞机雷达地形测绘数据(Shuttle Radar Topography Mission, 简称 STRM), 该数据是目前能公开得到的世界范围内最高精度的地形数据(比如 GTOPO30 的精度为 1 km, STRM DEM 的精度为 90 m), 在美国境内为 1 弧秒, 美国之外的其他国家和地区为 3 弧秒<sup>[13]</sup>。数据来源于国际热带农业中心网站(<http://srtm.csi.cgiar.org>), 投影坐标为 UTM/WGS84, 空间分辨率为 90 m。由于所采用的数据为未经过编辑的原始数据, 数据中会有盲点值, 为此我们采用刘静等<sup>[13-14]</sup>

提出的数据选取方式, 将研究区域选取为(25°59' N~27°03' N, 113°01' E~113°50' E), 以保证盲点值不超过总数据点的 10%。

遥感影像数据为 Landsat 8 数据, 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>), 投影坐标为 UTM/WGS84, 多光谱分辨率为 30 m(全色分辨率为 15m)。

### 2.2 地表坡度分析

坡度为地形特征分析的基本元素之一, 能够直观地反映地形的起伏变化, 同时也是地震地质灾害的重要影响因素<sup>[15]</sup>。本文主要应用 ArcGIS 9.3

的 3D Analyst 模块下的 Surface Analyst 工具, 对研究区进行坡度计算, 计算结果见图 2。

茶陵—永兴盆地在整体上呈条带状, 沿北东向贯穿图幅, 在北东端和南西端逐渐收缩。研究区坡度范围大致在  $0^{\circ}\sim 54^{\circ}$  之间, 地势总体上表现为“东高西低”的趋势, 坡度陡立位置相对集中, 均在盆岭边界部位, 受区域断裂控制较明显。根据地表坡度分析, 茶陵—永兴盆地边界坡度差异

显著, 断裂以较高角度( $32^{\circ}\sim 54^{\circ}$ )线性分布为特征, 高坡度区域分别为位于茶陵—永兴盆地南东侧和北西侧, 由高倾角断裂及前白垩系岩体组成。区内南西侧坡度变化( $10^{\circ}\sim 18^{\circ}$ )小于盆地其他边缘地带坡度变化; 盆地内部坡度平缓( $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ), 主要由白垩系、第三系和第四系 3 套地层组成, 岩性以暗紫—砖红色粉砂岩与粉砂质泥灰岩为主。

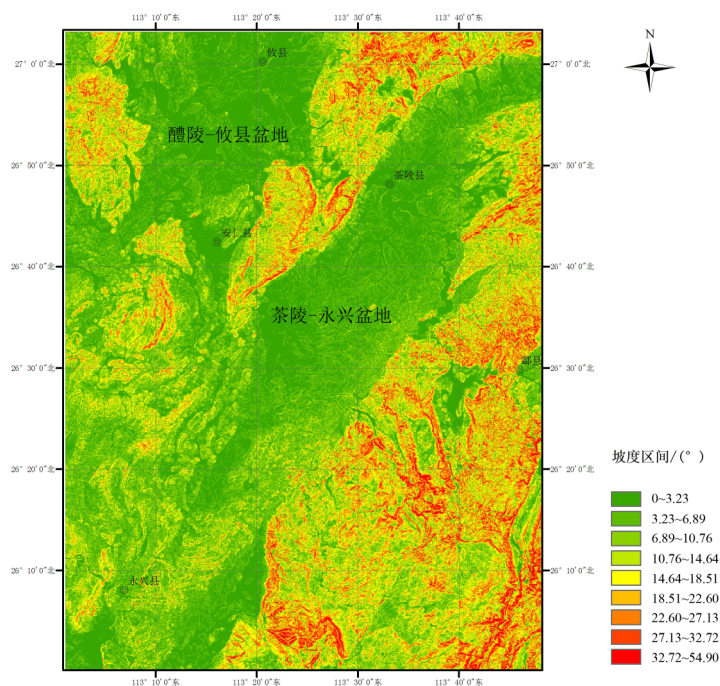


图 2 研究区 DEM 提取坡度图

Fig.2 Slope extraction analysis of the study area based on DEM

### 2.3 地形剖面分析

断裂带的活动是构造变形和应力集中的主要表现形式, 对构造活动强烈地区的地表地形地貌(如断层崖、线性槽谷、断错水系)的形成有决定性作用<sup>[5]</sup>。但在构造活动相对较弱的地区, 断裂带的活动对地形地貌的作用却未必是决定性因素。因此, 为了能够较好分析研究区范围内地形地貌与断裂活动的关系, 我们结合茶陵—永兴盆地数字高程模型, 在研究区内部等间距布置了 5 条横剖面线和 1 条纵剖面线(图 3), 剖面基本覆盖研究区内丘陵、高山和河流沟谷等不同地貌单元。

剖面 L6 以研究区域为中心, 自醴陵—攸县盆地延伸至茶陵—永兴盆地, 可以清楚地识别出盆地边界较大的地形起伏, 其高程变化范围基本在 50~450 m, 地形起伏较大的位置与研究区内断裂

分布位置一致, 总体体现了断陷盆地边缘地形陡立的基本形态。剖面 L1 和剖面 L2 位于研究区南端, 地形剖面显示区域平均高程自西向东逐渐增加, 在东侧区域最高高程值高达 1500 m; 剖面 L4 和剖面 L5 位于研究区北端, 区域平均高程受茶陵—临武断裂(图 3a)的控制作用逐渐增强。整个区域内高程自西向东总体变化趋势为间歇式升降, 使地形剖面呈现“山”字型的特点。

综合地形剖面分析结果, 位于北西方向的茶陵—永兴盆地北缘地区的平均海拔 500 m 以上, 位于南东方向的茶陵—永兴盆地南缘地区的平均海拔 1000 m 以上, 在地形地势上呈现“南东高北西低”的总体趋势, 同时盆地两侧的地形特征也表明, 茶陵—永兴盆地的北西缘与南东缘区域存在构造变形的差异。



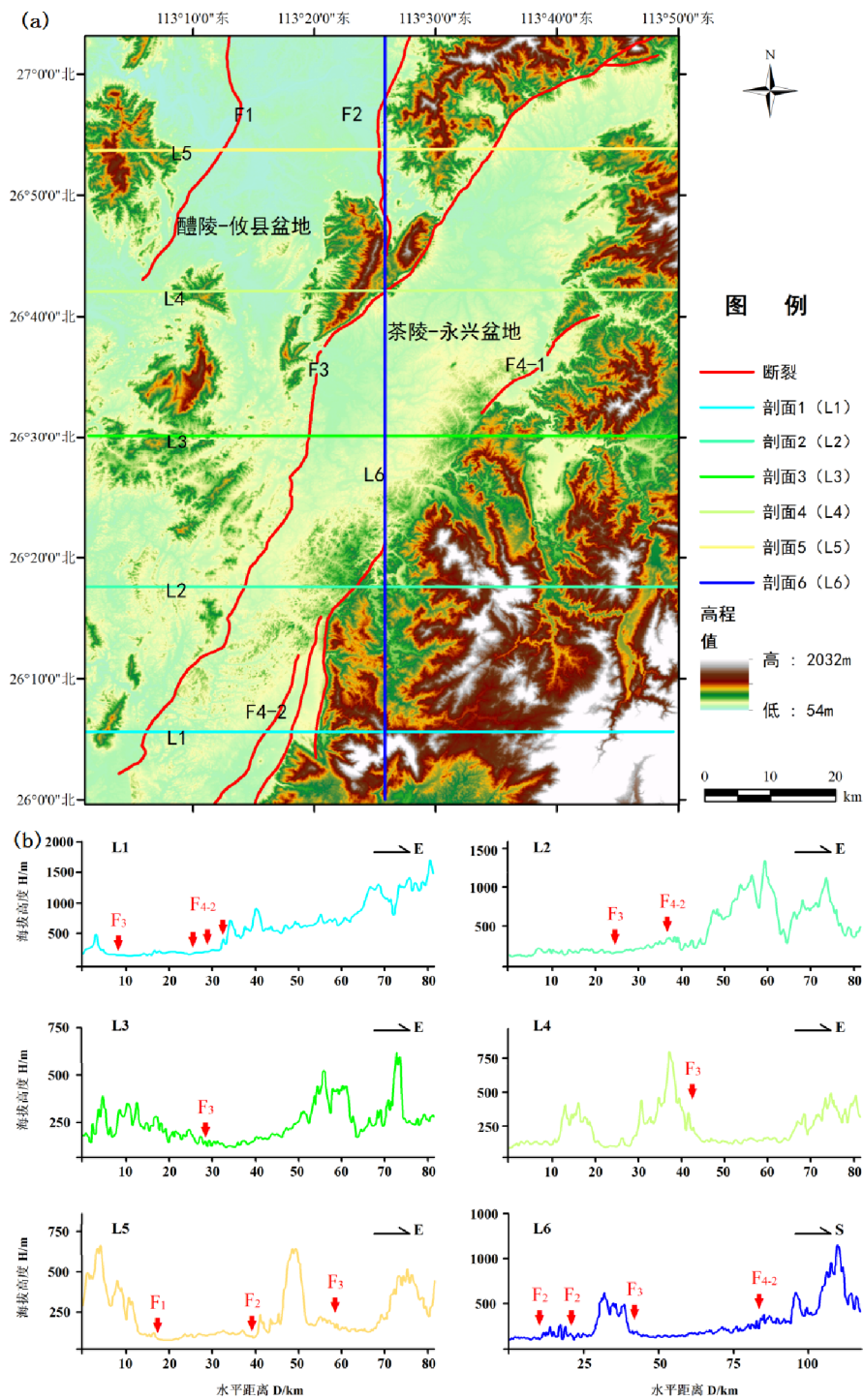


图 3 茶陵—永兴盆地 DEM 数字高程图(a)及地形剖面图(b)

Fig.3 DEM map (a) and topographic profile map (b) of Chaling-Yongxing basin

### 3 研究区构造地貌和地质特征

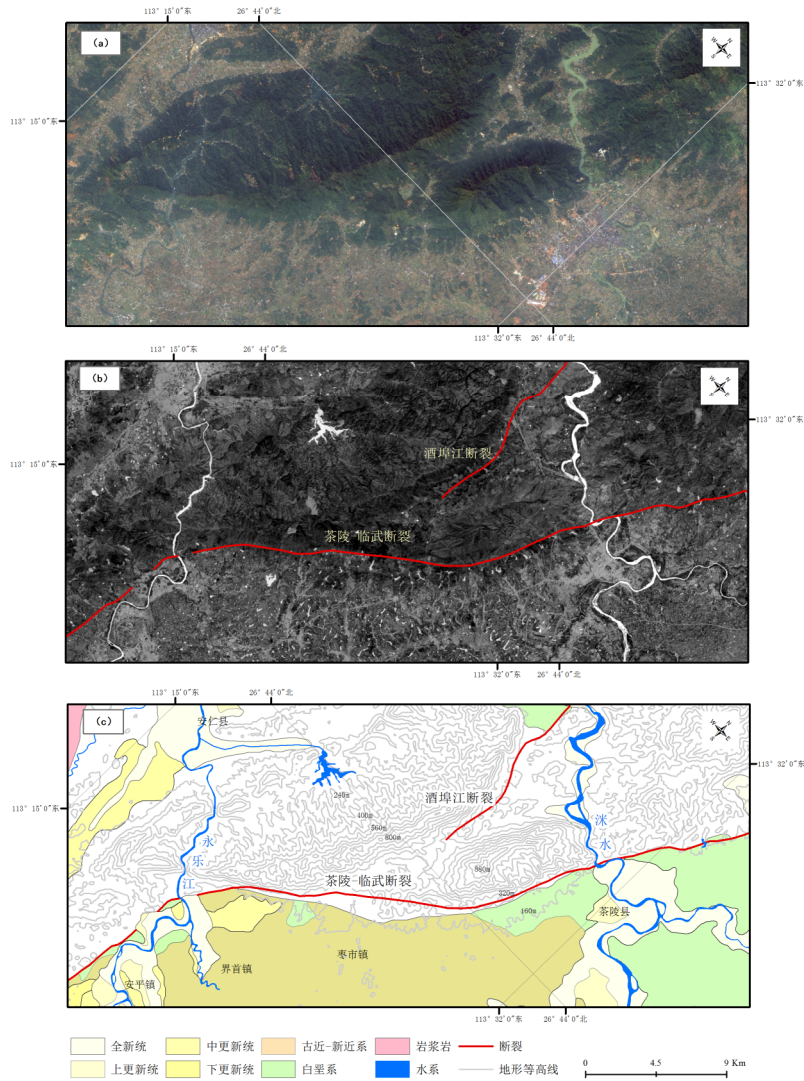
使用 ENVI 平台对卫星遥感影像数据进行融合处理, 将低空间分辨率的多光谱影像(分辨率为 30 m)与高空间分辨率的全色影像(分辨率为 15 m)进行运算处理, 达到既可以提高多光谱影像空间分辨率、又保留其多光谱特征的效果<sup>[16]</sup>, 通过对遥感

影像分析, 茶陵—永兴盆地西缘的地貌呈现较为明显的线性特征, 主要表现为单一、连续且贯通的断裂构造(图 4a); 盆地东缘的线性地貌特征相对较弱, 主要表现为多支次级断裂呈雁列式分布。

为了凸显研究区的水体等地貌信息, 本文采用 Mcfeeters<sup>[17]</sup>在 1996 年提出的归一化水指数 (NDWI, Normalized Difference Water Index)方法对

卫星遥感图进行处理，处理后的水体呈现为亮色(图 4b)。可以观察到，尽管地貌受到后期人工改造影响，但是在遥感影像中水体的分布总体仍然以茶陵-临武断裂为界，断裂东侧水体明显较西侧更为发育，且研究区内主要水系—洣水和永乐江均在断裂沿线表现出不同程度的右旋位错。结合野外地质调查和宫会玲等<sup>[4-5]</sup>采用的 DEM 处理分析

方法，对图 4a 进行了数字解译，结果如图 4c 所示。遥感影像解译结果表明，断裂主要沿白垩系、古近-新近系地层边界延伸，且在局部地区由于流水的侵蚀作用，地层边界与断裂迹线出现不同程度偏移。此外，受断裂切割作用和地势变化的影响，洣水和永乐江通过断裂后第四系逐渐发育，冲沟在断裂附近形成多处小型断塞塘。



(a)遥感影像，美国 Landsat 8 卫星遥感影像(多光谱分辨率为 30 m) 与全色(黑白，分辨率为 15 m)遥感影像的融合图；(b) 遥感处理影像，采用归一化水指数(NDWI)方法处理的遥感影像；(c)构造地貌解译图

图 4 茶陵—永兴盆地西缘茶陵段构造地貌图

Fig.4 The tectonic geomorphology map of the Chaling section in the western of Chaling-Yongxing basin

在野外现场调查中，盆地边缘地貌的线性特征显著，总体上以断裂带为盆地边界，断裂的地质现象也较为突出。茶陵—临武断裂带在野外现场调查中可见线状延伸的断层槽地和断层三角面，该断裂总体产状： $30^{\circ}/SE \angle 60^{\circ}$ 。断裂主要控制了

茶陵—永兴盆地西缘，在研究区内北起茶陵县八团乡，向南经由茶陵县城、柏林镇等地，在永兴县西南部切入白垩系地层中，表现为古近系—新近系与前白垩系之间分界线。

断裂沿线多表现为线状延伸的开阔沟谷，沟



谷内部广泛分布着河流冲积物及残坡积物,植被覆盖严重。断层上下盘岩性差异明显,西侧上盘为侏罗系灰白色粗粒长石石英砂岩,东侧下盘为

古近系紫红色泥灰岩、泥质石英砂岩(图5)。断裂延伸方向上,两侧的层状地貌面平稳分布,以平缓起伏的老年期地貌形态为主要特征。



(a)陈湾岭附近沟谷照片(镜像北)(b)断裂沿线紫红色泥质石英砂岩(镜像西)

图5 茶陵—临武断裂沿线构造地貌特征

Fig.5 Tectonic geomorphological characteristics along the Chaling-Linwu fault

永兴县板冲村附近见二叠系砂岩和页岩中发育两条基岩破碎带(图6),破碎带最宽达10 m,断裂破碎带内物质胶结程度差,断层泥发育。沿断裂带追寻,可见带内存在角砾岩、破碎带、揉

皱及片状泥岩、构造透镜体、糜棱岩化或断层泥等,混杂作用明显,表明其可能经历过多期构造运动。

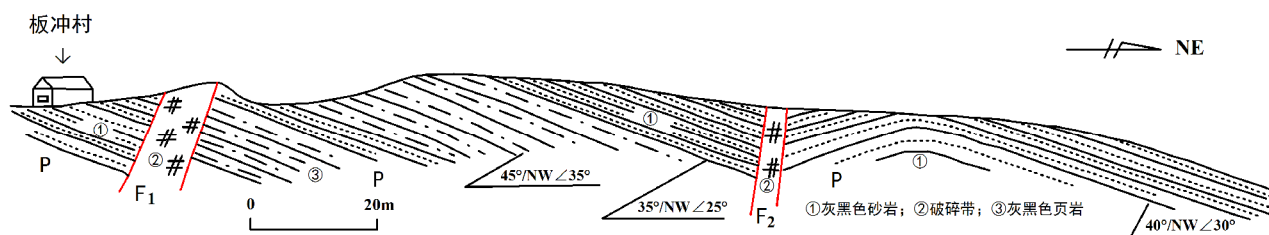


图6 板冲村断层剖面图

Fig.6 Faulted section at BanChong village

三都—郴州—连山断裂带为茶陵—永兴盆地的东边界,该断裂北东端入赣与文山—峡江断裂斜接,南西端抵连县趋于消失,由数条次一级断裂组成,产状总体表现为 $20^{\circ}/SE \angle 60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,截切中生代盆地,在航卫片及地形地貌上均有明显的反映,且在南西端有温泉出露和小震活动。历史上地震包括1640年11月于郴州附近发生的 $4\frac{3}{4}$ 级地震和1982年11月16日于湖南省宜章县、临武县和广东连县交界处发生的 $M_L 4.0$ 地震<sup>[9]</sup>。

根据遥感解译及野外地质调查,断裂主要分布于盆地边界区域,局部以沟谷、断层崖和断层三角面的形式出现,在盆地内部堆积了近千米厚的白垩系和古近系地层,显示断裂对茶陵—永兴断陷盆地的发育有较强的控制性。

#### 4 盆地演化及构造地貌特征探讨

从区域地质与构造动力学背景来看,盆地的形成、演化不仅受中生代华南大陆周边的板块围限作用,还受到华南大陆及其周边继承与新生的陆内构造作用控制<sup>[18]</sup>。多期次地质构造运动不但控制了盆地的边界和规模,也决定了盆地边缘及内部物质的多样性。多项研究表明,地形地貌的形成及演化是积累效应,与多种因素密切相关,比如断裂带的地震活动<sup>[19-20]</sup>、地层岩性的分布和河流的侵蚀<sup>[11]</sup>等,并且各种因素在不同阶段所起作用有明显差异。

茶陵—永兴盆地区内水系发育程度相对较低,表面的演化及侵蚀过程主要以短小流水搬运和滑

坡、崩塌等重力搬运形式为特征,这在一定程度上保存了原始构造地貌演化过程,为数字地貌学与地质学综合分析提供了有力条件。通过数字地貌分析和野外地质勘查工作,我们发现研究区地貌特征总体上表现为“正地形”,即海拔高程与地形坡度和地形起伏度之间均存在正相关关系,主要体现在盆地北西缘和南东缘断裂展布位置呈 $32^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 高坡度线性分布。根据刘静等<sup>[13-14]</sup>对青藏高原典型地区的地貌量化分析结果,在高原不同区域的“正地形”所表现的地质过程会存在差异,青藏高原腹地地区的“正地形”表现出的“削高填低”夷平作用超过构造造山作用,显示出地貌差异在不同地区地质起源和演化过程的复杂性。尽管本文研究区所在的华南块体内部构造运动相对青藏高原弱很多,且不同时间段的气候、河流侵蚀和构造等作用存在差异,但大时间尺度的地质事件和地貌演化依旧是密不可分的。因此,我们认为即便是在构造作用相对较弱的少震、弱震区域,其构造地貌特征依旧能够反映盆地演化历史。

在区域地貌特征上,盆地边界两侧差异显著,以断裂为界将地貌分割为西部的中—高山,中部的丘陵凹地和东部的中—高山。一方面,地貌的演化与华南大陆构造事件密切相关,且呈现阶段性特点<sup>[18,21]</sup>,影响最大的构造事件为燕山运动和喜山运动,运动的特点皆以断块作用为主,地貌生长受地质构造作用影响巨大。在燕山期运动期间,受断裂活动影响,茶陵—永兴盆地所处的华南褶皱系的上古生代至中生代沉积岩层和褶皱基底岩系发生不同程度变形,形成以系列褶皱和巨厚红色砂岩建造、类磨拉石建造为特点的拉张盆地雏形<sup>[9]</sup>,在喜山运动时期,盆地继续接受张应力场作用,断裂活动频繁,加剧了掀斜作用对盆地的影响,具体表现为晚白垩统沉积向盆地北端超覆和南端的晚白垩统沉积缺失,在其它仅有晚白垩统沉积的盆地,K2晚期的沉积大都向北端超覆,盆地南端多为K2早—中期沉积<sup>[22]</sup>,这一系列地质事件与数字地形剖面分析所呈现的“南东高北西低”的总体地势趋势存在较好一致性。结合茶陵—永兴盆地数字地貌模型和地质构造图分析,在地形地貌和地层岩性上,区域断裂带具有较强分割性,在盆地南东和北西缘界线清晰,表明断裂构造活动与盆地规模和地貌的生长存在一定耦合关系,可能与研究区内强烈的差异性抬升运动密切相关。另一方面,地貌的演化受构造和外部营力共同作用,区内岩层产状平缓,倾角以 $5^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 为主,以

第三纪古新世沉积中心由东向西迁移,自晚白垩世后盆地东升西降,南部大面积抬升,地势整体向北倾斜,局部地区的第四纪沉积厚度相对较发育,主要是因为盆地边界的断裂和岩性差异所产生的断塞作用会减弱水系的下切能力和地貌的纵比降,进而增强了盆地内部局部地区的沉积作用。

综合数字地貌分析和断裂活动性鉴定结果,研究区范围内新构造运动背景相对稳定,断裂带之外的层状地貌面分布平稳,尽管断裂规模较大,沟谷、断层崖和断层三角面等线性地貌特征明显,但总体来看除了在断裂谷地上分布有第四系残坡积物和冲洪积物外,对第四系地层分布没有特别明显构造控制作用,该现象反映了长期的外动力作用特征,因此断裂构造带第四纪以来的新活动迹象相对微弱。从区域上看,尽管断裂的活动性不强,但是构造地貌对于研究弱震、少震地区的构造演化历史和地质灾害空间分布有重要指示意义。地质构造,尤其是断裂的展布与地形地貌之间存在的密切联系,影响地形地貌的分布特征及演化过程,同时地形地貌又对断裂的展布模式存在着继承性,在内外营力的双重作用下,进一步改变了断裂的规模,使得断裂成为制约盆—山演化及控制盆地边界和规模的重要因素。

## 5 结语

通过对茶陵—永兴盆地地形地貌的DEM解译、野外地质调查和盆地周边构造环境分析,同时结合前人研究成果,可以得到以下初步认识:

(1)茶陵—永兴盆地边界坡度和地形地貌差异显著,盆地内部坡度平缓,高坡度区域分别为位于盆地南东侧和北西侧,二者平均高程分别在500 m和1000 m以上,坡度陡立区域呈线性分布,与断裂位置一致,显示构造变形和侵蚀历史的差异。

(2)根据野外地质调查,断裂主要分布于盆地边界区域,以沟谷、断层崖和断层三角面的形式出现,盆地内部堆积了近千米厚的白垩系和古近系地层,反映了该区域地壳缓慢抬升幅度和掀斜运动大小,表明断裂对茶陵—永兴断陷盆地的发育有较强制约作用。

(3)茶陵—永兴盆地构造地貌特征与多期次地质构造运动密切相关,盆地演化和地貌生长模式呈阶段性特点,盆地内部及周边不同时代沉积层厚度分布情况及规模,与数字地形剖面分析所呈现的“南东高北西低”的总体地势趋势存在较好

一致性。

致谢:在本文完成过程中李岩峰博士给予了珍贵的建议,评审专家为本文提出的宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 杨景春,李有利.活动构造地貌学[M].北京大学出版社,2011.
- [2] 刘少峰,王陶,张会平,等.数字高程模型在地表过程研究中的应用[J].地学前缘,2005,12(1):303-309.
- [3] 毕丽思,何宏林,徐岳仁,等.基于高分辨率 DEM 的裂点序列提取和古地震序列的识别-以霍山山前断裂为实验区[J].地震地质,2011,33(4):963-977.
- [4] 官会玲,冉勇康,陈立春.基于 DEM 的阶地分析方法-以安宁河断裂紫马跨地区为例[J].地震地质,2008,30(1):339-348.
- [5] 官会玲,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(04):71-76.
- [6] 薛强,张茂省,孙萍萍,等.基于多期 DEM 和滑坡强度的滑坡风险评估[J].地质通报,2013,32(6):925-934.
- [7] Fielding E J,Isacks B,Barazangi M,et al. How Fiat is Tibet[J]. Geology,1994,22:163-167.
- [8] 罗洪文,姜端午.茶陵锡田地区锡矿成矿条件及找矿远景[J].湖南地质,2003,22(1):38-42.
- [9] 马铁球,柏道远,邝军,等.湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 shrimp 定年及其地质意义[J].地质通报,2005,24(5):415-419.
- [10] 肖和平,缪卫东.湘东南地区地震构造环境分析[J].大地测量与地球动力学,2010,30(S1):100-104.
- [11] 张培震,李传友,毛凤英.河流阶地演化与走滑断裂滑动速率[J].地震地质,2008,30(1):44-57.
- [12] 程三友,刘少峰,张会平,等.大别山构造地貌的 DEM 初步分析[J].地质力学学报,2005,11(4):333-340.
- [13] 刘静,丁林,曾令森,等.青藏高原典型地区的地貌量化分析-兼对高原“夷平面”的讨论[J].地学前缘,2006,13(5):285-299.
- [14] 刘静,曾令森,丁林,等.青藏高原东南缘构造地貌、活动构造和地下壳流动假说[J].地质科学,2009,44(4):1227-1255.
- [15] 杨泰平,唐川,齐信.基于 GIS 技术的汶川 8.0 级地震诱发地质灾害危险性评价-以四川省安县为例[J].灾害学,2009,24(4):68-72.
- [16] Fu B H, Awata Y, Du J G, et al. Complex Geometry and Segmentation of the Surface Rupture Associated with the 14 November 2001 Great Kunlun Earthquake, Northern Tibet, China[J]. Tectonophysics, 2005, 407(1-2):43-63.
- [17] Mcfeeters S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7):1425-1432.
- [18] 张国伟,郭安林,王岳军,等.中国华南大陆构造与问题[J].中国科学:地球科学,2013,43(10):1553-1582.
- [19] 韩竹军,董绍鹏,毛泽斌,等.小江断裂带南段全新世活动的地质地貌证据与滑动速率[J].地震地质,2017,39(1):1-19.
- [20] King G C P, Stein R S, Rundle J B. The Growth of Geological Structures by Repeated Earthquakes, 2: Field Examples of Continental Dip-slip Faults [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1988, 93:13319 - 13331.
- [21] Boulin J. Structures in Southwest Asia and evolution of the eastern Tethys [J]. Tectonophysics, 1991, 96:211 - 268.
- [22] 周学军.湖南中新生代的红层盆地与丹霞地貌[J].经济地理,2002,22(5):18-25.