

文章编号: 1008-2786-(2019)6-839-09  
DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000474

## 江西宜黄盆地丹霞地貌特征分析

汪 震<sup>1</sup>, 姜勇彪<sup>1,2\*</sup>

(1. 东华理工大学 地球科学学院, 南昌 330013; 2. 江西省数字国土重点实验室, 南昌 330013)

**摘 要:** 系统性量化的丹霞地貌特征研究目前较少, 利用新遥感数据和定量方法分析丹霞地貌特征, 能进一步查明丹霞地貌特征, 探索新数据和方法的应用价值。本文通过实地调查、利用数字高程模型和哨兵 2A 遥感影像, 结合定量方法系统分析江西宜黄盆地的丹霞地貌特征。结果表明, 通过哨兵 2A 彩色波段组合, 识别出 8 处丹霞地貌分布区, 与实地调查结果吻合, 哨兵 2A 用于小范围红层盆地内丹霞地貌特征不明显区域识别精度较好。通过面积高程积分法定量化分析红层和丹霞地貌的演化阶段, 发现整体红层分布区的积分值为 0.22, 积分曲线呈下凹形, 主要为老年早期; 丹霞地貌区的积分值在 0.40~0.51 之间, 积分曲线呈上凹下凸的“S”形, 主要为壮年晚期, 与实际地貌演化阶段相符, 说明面积高程积分法对丹霞地貌的演化阶段有较好的指示作用。本文研究将为哨兵 2A 在地质方面的应用提供参考, 为面积高程积分法在丹霞地貌演化阶段方面的应用提供借鉴。

**关键词:** 丹霞地貌; 面积高程积分; 演化阶段; 哨兵 2A; 宜黄盆地

**中图分类号:** P931

**文献标志码:** A

丹霞地貌是以陡崖坡为特征的红层地貌<sup>[1]</sup>, 丹霞地貌研究在空间分布<sup>[2-4]</sup>、定性特征描述<sup>[5-8]</sup>、微观定量实验<sup>[9-11]</sup>和国内外对比<sup>[12-13]</sup>等方面研究较多, 取得了不少成果, 但系统性、量化的地貌特征研究还较少。丹霞地貌不同的地貌特征在遥感影像上具有不同的影像特征, 通过 Landsat 数据能够在面积较大的红层盆地内, 丹霞地貌分布范围广、地貌特征明显的区域有效识别丹霞地貌分布区<sup>[14-15]</sup>。然而, 在面积较小的红层盆地内, 丹霞地貌特征不明显, 多被茂盛的植被覆盖, 地物光谱特征差异不明显, 不易识别丹霞地貌。哨兵 2A 数据较 Landsat 数据具有光谱特征丰富、空间分辨率高的优势<sup>[16-17]</sup>, 能够有效识别小尺度范围内农作物<sup>[18-19]</sup>、植

被<sup>[16,20]</sup>、蓝藻<sup>[21]</sup>等多种地物类型, 在地物识别方面具有较高的分类精度和应用价值, 为丹霞地貌的识别提取提供了新的、更有价值的技术支持, 但目前利用哨兵 2A 数据进行地质方面的研究较少, 还未充分挖掘其在地质方面的应用价值。面积高程积分法作为定量地貌研究方法之一, 被广泛的应用来揭示地貌演化阶段<sup>[22-25]</sup>, 也被应用于丹霞地貌区的演化阶段研究<sup>[1,26]</sup>, 较好地揭示了丹霞地貌的演化进程, 但应用时应注意红层区与非红层区范围的选择对计算结果的影响。

宜黄盆地位于江西省中东部, 盆地内发育了典型的穿洞、石拱等丹霞地貌景观, 徐震客和黄进<sup>[2]</sup>曾考察过此地的丹霞地貌, 做了地貌特征的描述, 但

收稿日期 (Received date): 2019-03-11; 改回日期 (Accepted date): 2019-12-26

基金项目 (Foundation item): 江西省教育厅科学技术研究项目 (GJJ160534)。[Science and Technology Development Project of Department of Education of Jiangxi Province of China (GJJ160534)]

作者简介 (Biography): 汪震 (1995-), 男, 河南新蔡人, 硕士研究生, 主要研究方向: 景观地貌学。[WANG Zhen (1995-), male, born in Xincui county, Henan province, M. Sc. candidate, research on landscape geomorphology] E-mail: 1287751908@qq.com

\* 通讯作者 (Corresponding author): 姜勇彪 (1969-), 男, 江西玉山人, 博士, 教授, 主要研究方向: 第四纪地质学和景观地貌学。[JIANG Yongbiao (1969-), male, born in Yushan county, Jiangxi province, Ph. D., professor, specialized in quaternary geology and landscape geomorphology] E-mail: rbjgeo@163.com

未深入研究。本文以面积较小、丹霞地貌特征不明显的宜黄盆地为研究区,通过实地调查、借助遥感影像和量化方法系统的分析盆地内的丹霞地貌特征;利用盆地内不同的丹霞地貌景观在哨兵 2A 的真彩色和假彩色波段组合下呈现出的影像特征,识别丹霞地貌区,结合实地调查验证结果,探索哨兵 2A 在地质方面的应用价值;利用面积高程积分法定量化分析宜黄盆地丹霞地貌的演化阶段,探讨计算范围选择对结果的影响,为其在丹霞地貌方面的应用提供参考。

1 区域概况

宜黄盆地位于武夷山西翼、相山东侧、赣抚平原南部,地形多为中低山、丘陵和平原,地理坐标范围为东经 116°8′35″~116°14′19″,北纬 27°23′09″~27°34′45″,南北长约 22 km,东西宽约 2~8 km,面积

约 42 km<sup>2</sup>,是以晚白垩纪陆相红色碎屑岩沉积为主的红层盆地(图 1)。

宜黄盆地位于华南板块与扬子板块缝合带的南侧,武夷地块和湘桂赣地块交界处,受北北东向的宜黄-宁都断裂带影响,盆地走向基本与断裂带走向一致,呈北北东向长条状分布。盆地内沉积的红层自下向上为晚白垩世龟峰群的塘边组和莲荷组,盆地的东部和南部沉积的地层为塘边组,盆地的西部和北部沉积的地层为莲荷组。塘边组(K<sub>2</sub>t)沉积于河口组之上、莲荷组之下,是以紫红色及少量灰绿色砂岩、粉砂岩、泥岩为主体,夹有砂砾岩、含砂砾岩、石膏层和玄武岩的沉积岩层。莲荷组(K<sub>2</sub>lh)沉积于塘边组之上、古近系新余组之下,是砖红色或紫红色砾岩、砂砾岩偶夹砂岩、粉砂岩、泥岩的沉积岩层,分为上下两段,下段是紫红色砾岩,上段是紫红色砾岩夹有薄层的含砾细砂岩。

宜黄盆地气候属中亚热带湿润季风气候,四季

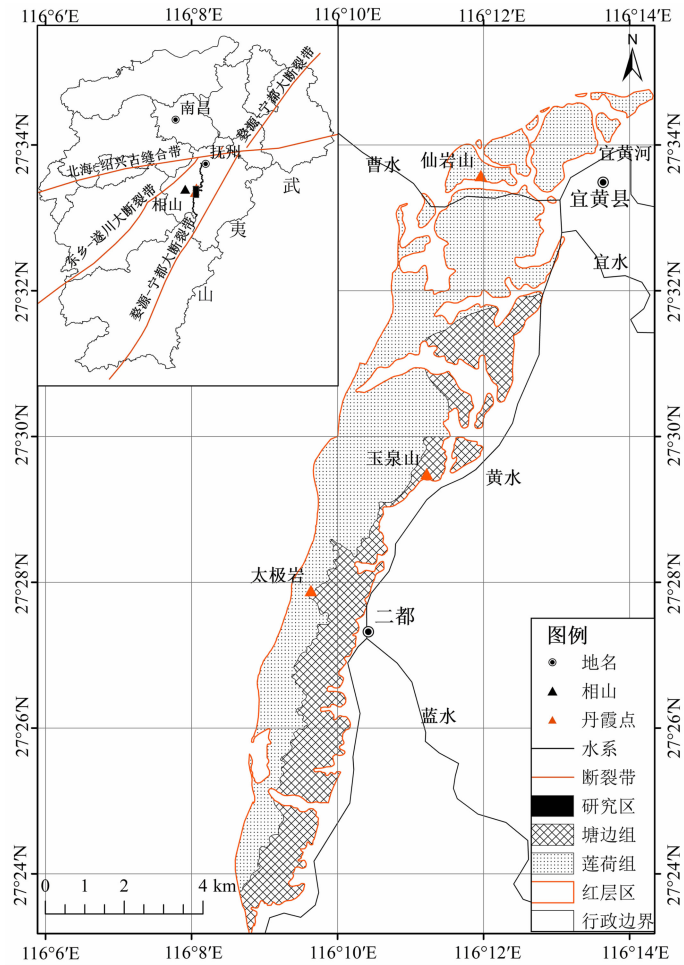


图 1 江西宜黄盆地地质图

Fig.1 Geological map of the Yihuang Basin in Jiangxi Province, China

分明,降水量大,气温和降水量季节变化大。盆地内水系发育,主要有宜黄河及其支流宜水、黄水、曹水等,其中黄水河沿盆地东侧从南向北穿过盆地。受成景因素在空间上的差异影响,盆地内发育了不同地貌特征的丹霞地貌,盆地面积较小,河流、植被较发育,丹霞地貌多被河流侵蚀或被植被覆盖,在遥感影像上呈现的特征不明显,不易识别。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

本文哨兵 2A 数据来源于欧洲空间局的共享数据网站 Copernicus Open Access Hub (<http://scihub.copernicus.eu/>),影像日期为 2018-10-04。哨兵 2A 具有 13 个光谱波段,涵盖可见光、近红外和短波红外波段,具有 10 m、20 m 和 60 m 三个不同尺度的空间分辨率,通过欧洲空间局的 SNAP 软件重采样可生成 10 m 空间分辨率的数据,具有空间分辨率高、多光谱成像的特征<sup>[16,21,27]</sup>。本文使用哨兵 2A 数据假彩色 12、4、3 波段及自然真彩色 4、3、2 波段对宜黄盆地的丹霞地貌影像特征进行分析。

本文 ASTER GDEM V2 版的数字高程模型数据空间分辨率为 30 m,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>)。根据宜黄盆地红层区(图 1)和丹霞地貌区(图 3)的范围,对数字高程模型数据进行裁剪,将坐标系转换为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_50N,用于对宜黄盆地红层和丹霞地貌的演化阶段分析。

2.2 研究方法

本文采用斯特拉勒(Strahler)提出的面积高程

积分法<sup>[28]</sup>分析宜黄盆地红层和丹霞地貌的演化阶段,该方法利用研究区域的水平断面面积与其高程的关系将戴维斯(Davis)的侵蚀循环理论量化<sup>[26]</sup>,通过积分曲线和积分值两种形式表示地貌的演化阶段。积分曲线是将区域高程等间距划分,以每条等高线以上面积与整个区域总面积的比为  $X$  轴,即  $X_i = a_i/A$ ,以每条等高线和区域最低高程之间的相对高差与区域高差之间的比为  $Y$  轴,即  $Y_i = h_i/H$ ,将各点绘制在坐标系中拟合为一条曲线<sup>[28]</sup>。积分值的计算方式有三种,即积分曲线法、体积比例法和起伏比法<sup>[29]</sup>,本文采用经数学公式推导估算积分值的起伏比法<sup>[30]</sup>,即区域平均高程和区域最低高程的相对高差与区域高差之比。

Strahler 利用面积高程积分值和积分曲线将 Davis 地貌演化模式的三个阶段定量划分为:面积高程积分值大于 0.6 为幼年阶段,面积高程积分值大于 0.4 且小于 0.6 为壮年阶段,面积高程积分值小于 0.4 为老年阶段<sup>[20]</sup>。若某一区域积分曲线呈凸形,积分值较高,表明其演化阶段较为年轻,侵蚀作用相对较弱,反之,其积分曲线呈现凹形,积分值较低,则表明其演化阶段较老,侵蚀程度较高;当积分曲线呈上凹下凸的“S”形时,则表明其演化阶段处于成年期<sup>[31]</sup>。

3 宜黄盆地丹霞地貌特征分析

3.1 宜黄盆地丹霞地貌特征

实地调查发现盆地内发育的正地貌有石峰、石墙、石崖等,微地貌有石槽、穿洞、石拱等,其中以发育于莲荷组的穿洞和石拱最为奇特(表 1);宜黄盆

表 1 宜黄盆地丹霞地貌类型表  
Tab. 1 Danxia landform types in the Yihuang Basin

形态类型	特征		实例
正地貌	丹霞石崖	呈直立的陡崖状,崖壁因为岩性差异、节理构造和外力侵蚀有顺层岩槽或洞穴。	仙岩山石崖
	丹霞石墙	山体沿节理构造线呈长条的墙状分布。	仙岩山石墙、太极岩石墙
	丹霞石峰	四面陡坡,局部有陡崖的独立山体。	太极岩十八峰、玉泉山石峰
	造型景观	由地质内外动力共同作用形成的外形惟妙惟肖、形态各异的象形景观。	仙岩山“金龟负笈”、太极岩十八峰
微地貌	丹霞石槽	崖壁上因为岩性的差异风化侵蚀,形成与岩层呈水平方向分布的顺层岩槽。	仙岩山石槽
	丹霞穿洞	石墙下沿裂隙不断侵蚀风化的洞穴贯通山体两侧形成的穿洞。	仙岩山穿洞
	丹霞石拱	穿洞继续扩大,形成的穿洞顶部山体小于穿洞高度的石拱。	太极岩石拱

地奇特的丹霞地貌不仅具有旅游观赏价值,而且具有科研价值。盆地内丹霞地貌受岩层、构造、气候和河流等成景因素在空间上的差异影响,具有不同的地貌特征和演化阶段,在遥感影像和数字高程模型上有相应的反映;通过对宜黄盆地实地调查不仅可以挖掘其独特的景观价值,而且能为进一步的丹霞地貌研究提供支持。

### 3.1.1 丹霞石崖、丹霞石墙

丹霞地貌的坡面特征为“顶平、身陡、麓缓”<sup>[6]</sup>,其中陡峭的赤壁丹崖是其主要特征和判别标志。丹霞石崖是由于流水沿红色岩体中裂隙或节理长期冲刷侵蚀,一侧红色岩体沿裂隙或节理发生崩塌后形成的赤壁丹崖,如仙岩山,是莲荷组的巨厚层砾岩、砂砾岩沉积而成,红层受北东向 $70^{\circ}$ 左右的节理切割,使山体一侧岩体崩塌,山体断面成倒梯形的石崖(图2a)。

红层受构造、节理切割成条状,经流水侵蚀、溶蚀风化、重力崩塌等作用后,形成四周是陡崖的长条状山体即为石墙。如仙岩山,北东向 $70^{\circ}$ 左右主节理将仙岩山切割成北东 $75^{\circ}$ 走向的石墙,石墙高约呈25 m,宽约4~10 m,呈北东向长条状分布,四周是陡峭的崖壁,山体横看成岭侧成峰(图2a)。在太极岩景区的石礅岩也是石墙,它是莲荷组厚层紫红色砂砾岩沉积而成,受到东西向的节理切割,两侧岩

石侵蚀崩塌后,残余一组东西向的石墙,石墙西侧从山底向上高约30 m,东侧高约15 m,东西长约40 m(图2c)。

### 3.1.2 丹霞石槽、丹霞穿洞、丹霞石拱

在丹霞崖壁上常有石槽、穿洞、石拱等丹霞洞穴出现,共同构成丹霞地貌景观。崖壁上由于红层中较软的钙泥质细砂岩或粉砂岩夹层被风化和溶蚀后,形成与岩层方向一致的顺层岩槽,如仙岩山崖壁上的石槽(图2a)。

石墙中发育的洞穴在侵蚀风化、溶蚀、崩塌作用下不断扩大,两侧岩洞贯通后形成穿洞,如仙岩山仙洞。仙岩山仙洞成因是石墙底部由于南东 $165^{\circ}$ 走向3.5 m宽的等间隔节理切割石墙,岩石在流水侵蚀、重力崩塌作用下,底部洞穴贯穿,其高约4.5 m,宽4 m,厚4 m,洞深4~10 m(图2b)。

穿洞受到风化剥蚀及崩塌作用,穿洞继续扩大,使穿洞顶部剩余岩石的厚度小于穿洞的高度时,形成石拱,如太极岩景区的石礅岩。石礅岩下有一天然石拱,是莲荷组厚层紫红色砂砾岩石墙在崩塌作用下形成的,此地因石拱而得名。石拱跨径约40 m,西侧崖壁直通山底,高约30 m,东侧崖壁约15 m,石拱顶部岩体厚约10 m;石拱顶部岩体中有两组倾斜节理发育,将岩体分成三叠,形成半月形石拱,是盆地内丹霞地貌的典型代表,整体形状如太极



图2 宜黄盆地丹霞地貌景观(汪震,姜勇彪拍摄)

(a) 仙岩山石崖和石槽;(b) 仙岩山穿洞;(c) 太极岩石墙和石拱;(d) 太极岩十八峰;  
(e) 玉泉山谭纶墓;(f) 仙岩山“金龟负笈”

Fig.2 Danxia landscapes in the Yihuang Basin (Photos taken by WANG Zhen and JIANG Yongbiao)

(a) Rock cliffs and rock troughs of Xianyanshan; (b) Caves of Xianyanshan; (c) Rock walls and natural bridge of Taijiyan;  
(d) Peak clusters of Yuquanshan; (e) Stone peak of Yuquanshan; (f) Mould stone of Xianyanshan



图,又称为太极岩(图2c)。

### 3.1.3 丹霞石峰

红层在地壳上升过程中受到构造、节理切割后,经流水侵蚀风化作用形成基座分离的独立山体为石峰。在太极岩景区石砬岩的周围有十八座造型独特的丹霞石峰,如众星拱月,有“十八罗汉朝石砬”之称(图2d)。在谭纶墓背后的玉泉山也是一处丹霞石峰(图2e),海拔高约380 m,呈北东向30°分布,因此地降水丰富,植被生长茂盛,其崖壁生长了大量植被,其丹霞地貌特征不明显。

### 3.1.4 造型景观

由于受地层岩性、地质构造、流水侵蚀、溶蚀及崩塌等作用,在红层分布区常会形成形态各异的造型景观,如仙岩山的“金龟负笈”天然造型景观(图2f)。太极岩四周的十八座各具神态的丹霞石峰,因形状酷似各种不同动物与物体,山峰分别取名为狮山、象山、虎山等。

## 3.2 宜黄盆地丹霞地貌影像特征

丹霞地貌的遥感影像特征受红层的物质成份、地形地貌、植被的发育和光照条件等因素影响,呈现

出一定的规律性。形成丹霞地貌的物质基础是红层,其中砂岩、砂砾岩等物质成分的反射波谱特征是丹霞地貌色彩特征的一种表现形式<sup>[8]</sup>,丹霞地貌中裸露的岩体在哨兵2A假彩色波段组合下表现为橙红色或橙黄色,在真彩色波段组合下表现为棕灰色或棕红色。植被在哨兵2A假彩色波段组合下表现为褐色或褐红色,在真彩色波段下表现为绿色。丹霞地貌上植被发育较其它地貌差,常有低矮的丹霞残丘顶部裸露而下部生长植被或高大的石峰和石墙崖壁裸露而顶部有植被;因此,丹霞残丘在假彩色波段组合下顶部表现为橙红色,而下部为褐色或褐红色,相应的在真彩色波段组合下,则顶部为棕灰色,下部为绿色(图3h);石峰和石墙的裸露崖壁在假彩色波段组合下表现为橙红色,顶部和下部有植被覆盖表现为褐色(图3e)。丹霞地貌独特的地形地貌特征结合光照条件也会在影像上呈现相应的特征,如石峰和石墙的背阴面在影像上有黑色影纹(图3a)。基于以上分析,通过假彩色和真彩色影像对比下在宜黄盆地内识别出8处丹霞地貌分布区(图3),与实地调查结果吻合;丹霞地貌主要分布于莲

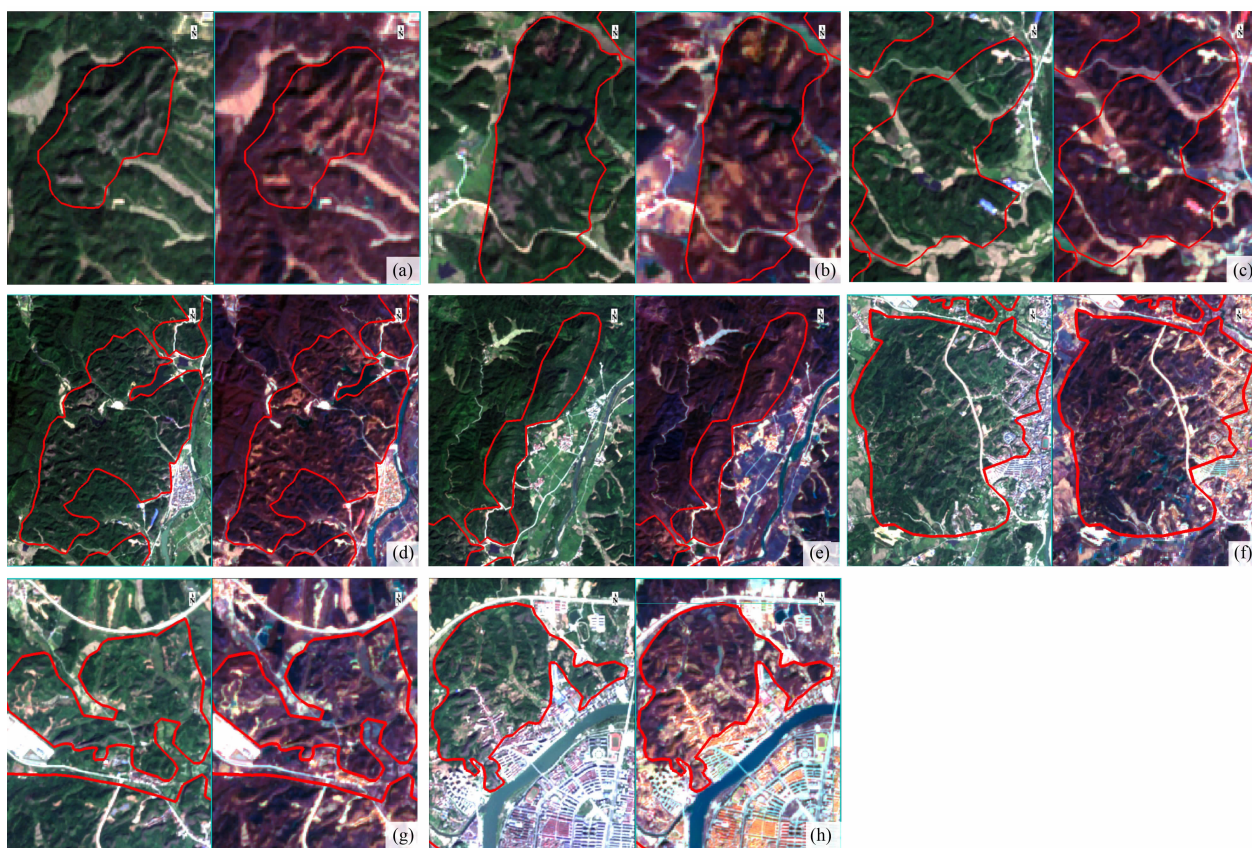


图3 宜黄盆地丹霞地貌区遥感影像(a~h分别为丹霞地貌区1~8)

Fig.3 Remote sensing images of Danxia site 1~8 (a~h) in the Yihuang Basin

荷组,地貌表现为石峰或石墙,而少数分布在塘边组,地貌表现为低矮的丹霞残丘。

3.3 宜黄盆地丹霞地貌演化阶段定量分析

丹霞地貌是受控于地球内外动力共同作用下发育的红层侵蚀地貌,其演化过程分别在定性<sup>[6]</sup>和定量<sup>[1,26]</sup>的方式上被划分为不同的演化阶段。本文通过定量化的面积高程积分法对宜黄盆地丹霞地貌的演化阶段进行分析,计算并统计出红层区和丹霞地貌区面积高程信息、面积高程积分值(表2)和积分曲线(图4)。

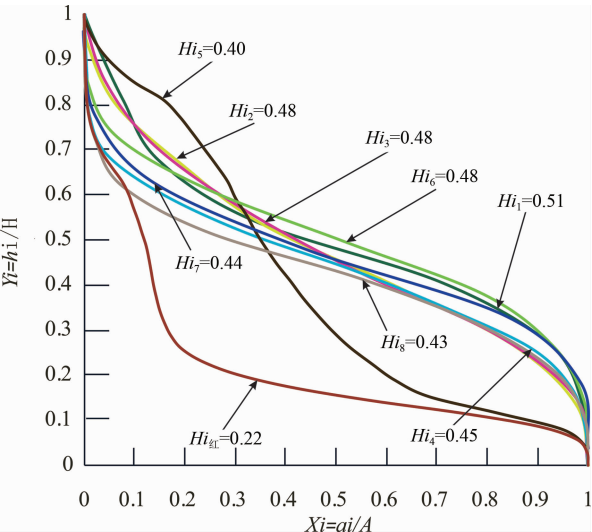


图4 宜黄盆地红层和丹霞地貌分布区面积高程曲线  
Fig.4 Hypsometric curves of red beds and Danxia sites in the Yihuang Basin

由图4和表2可知,宜黄盆地整体红层分布区的面积高程积分曲线呈下凹状,积分值为0.22,根

据 Strahler 对地貌演化阶段的定量划分属于老年早期。宜黄盆地丹霞地貌区的面积高程积分曲线呈上凹下凸的“S”形,积分值在 0.40~0.51 之间,根据 Strahler 对地貌演化阶段的定量划分处于壮年早期至壮年晚期之间,主要以壮年晚期为主。

丹霞地貌是具有以陡崖坡为特征的红层地貌,其相对高差一般都大于 10 m,与红层区相比,丹霞地貌区所包含的多为地势相对较高、红层残存量较多的地区,所以丹霞地貌区比红层区的演化阶段较为年轻。宜黄盆地是由塘边组和莲荷组红层沉积而成的红层盆地,以丹霞石峰、石墙等景观为主,盆地东部和北部受到宜黄河及其支流冲刷剥蚀,红层残余量较少,整体红层区在演化阶段上处于老年早期,其在面积高程积分曲线上表现为下凹形,积分值小于 0.4,与实际的地貌演化阶段符合。丹霞地貌的演化进程受红层岩性、构造和流水等因素的影响,在盆地不同位置发育的丹霞地貌具有不同的演化阶段和地貌特征。在盆地西侧,分布于莲荷组的红层由于受北北东向的构造断裂带的影响,地势较高,河流较少,演化速率较盆地东部慢,地貌上多呈北北东向的石峰、石墙,其丹霞地貌演化阶段由壮年早期步入壮年晚期,如丹霞地貌区 1~4。盆地东部是发育于塘边组的红层,靠近黄水河,红层岩性较易溶蚀,演化速率较快,演化阶段为壮年晚期。北部虽然发育于莲荷组地层,但宜水、黄水和曹水在此汇流,流水侵蚀作用较强,地貌上多表现为顶部裸露的丹霞残丘,演化阶段为壮年晚期,如丹霞地貌区 6~8。丹霞地貌区 5 为玉泉山,是海拔为 380 m 丹霞石

表2 宜黄盆地红层及丹霞地貌区面积和高程及面积高程积分值  
Tab.2 Area, elevation and hypsometric indexes of red beds and Danxia sites in the Yihuang Basin

地区	面积/km <sup>2</sup>	高程/m				均方差	面积高程 积分值(HI 值)	地貌演化阶段 据 STRAHLER 1952
		最低值	最高值	平均值	高程差			
盆地红层区	41.64	77	426	153.80	349	62.08	0.22	老年早期
丹霞地貌区 1	0.37	113	187	150.47	74	13.43	0.51	壮年早期
丹霞地貌区 2	0.69	119	194	154.97	75	14.86	0.48	壮年晚期
丹霞地貌区 3	3.30	95	166	128.90	71	13.91	0.48	壮年晚期
丹霞地貌区 4	1.06	86	202	137.91	116	17.20	0.45	壮年晚期
丹霞地貌区 5	1.42	95	368	202.93	273	80.56	0.40	壮年晚期
丹霞地貌区 6	5.38	77	163	118.07	86	13.28	0.48	壮年晚期
丹霞地貌区 7	1.27	78	146	107.98	68	10.00	0.44	壮年晚期
丹霞地貌区 8	1.82	72	169	113.84	97	13.83	0.43	壮年晚期

峰,呈北东向狭长分布,石峰两侧连接着一系列高程较低的丹霞地貌区,地貌演化阶段为壮年晚期,较为接近老年阶段。红层区和丹霞地貌区的演化阶段在积分值和积分曲线上有较好的反映,面积高程积分法能够对红层和丹霞地貌的地貌演化阶段有好的指示作用。

面积高程积分法计算丹霞地貌演化阶段时,研究范围内红层区与非红层区的选择会影响计算结果。红层盆地多沿构造断裂带沉积形成,因此在红层盆地内的地层常夹有岩浆岩、花岗岩等因构造而隆起或侵入的岩层;红层和花岗岩、岩浆岩的岩石抗风化侵蚀能力不同,在地貌演化阶段上也有不同;同时,有些地区河流比较发育,将红层彻底剥蚀,露出底部基岩,将其计算在内会极大拉低积分值,使计算结果偏老。若将宜黄盆地东部红层被河流剥蚀掉的区域计算在内将不符合其实际演化阶段,这也能解释章桂芳<sup>[26]</sup>在研究丹霞山时,选取的范围避开河流时计算结果与实际演化阶段较符合,章桂芳在研究龙虎山时,选取核心区避开景区的花岗岩区时结果与实际演化阶段相符,因此在计算时要去除非红层区域的数字高程模型。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文通过野外调查,借助遥感影像及量化方法系统的分析江西宜黄盆地的丹霞地貌特征,结论如下:

(1)哨兵 2A 在小范围的红层盆地内丹霞地貌特征不明显的区域识别精度较好。通过宜黄盆地丹霞地貌在哨兵 2A 彩色波段组合下呈现的影像特征,识别出盆地内 8 个丹霞地貌分布区,与实地调查的结果吻合。

(2)面积高程积分法对红层和丹霞地貌的地貌演化阶段有较好的指示作用,应注意计算范围的选择对计算结果的影响。经计算宜黄盆地整体红层区属于老年早期,丹霞地貌区主要属于壮年晚期,与实际地貌演化阶段相符;红层区与非红层区在地貌演化上存在差异,计算范围内存在非红层区会使计算结果偏离实际的丹霞地貌演化阶段。

### 4.2 讨论

本文以宜黄盆地为研究区,探索了哨兵 2A 在小

范围的红层盆地内丹霞地貌特征不明显区域的丹霞地貌识别,提出应用面积高程积分法在计算丹霞地貌演化阶段时应注意计算范围的选择,对哨兵 2A 和面积高程积分在丹霞地貌研究方面的应用具有一定的参考意义,为系统性量化研究丹霞地貌特征提供一种思路。本文存在以下问题有待进一步深入研究:

(1)哨兵 2A 遥感影像虽在彩色波段组合下识别出宜黄盆地的丹霞地貌,但仅用简单的目视解译,应考虑增加光谱定量识别方法,增加在其它区域的丹霞地貌识别验证,使其在丹霞地貌识别方面具有普遍适用性,挖掘其在丹霞地貌或其它地质领域的使用方法和应用价值。

(2)利用面积高程积分法在计算宜黄盆地丹霞地貌演化阶段时,只考虑了红层区和非红层区范围的选择对计算结果的影响,还应该进一步研究空间分辨率、区域范围大小等因素对计算结果的影响,使其在丹霞地貌演化阶段上有更好的指示作用。

## 参考文献 (References)

- [1] 彭华,潘志新,闫罗彬,等.国内外红层与丹霞地貌研究述评[J].地理学报,2013,68(9):1170-1181. [PENG Hua, PAN Zhixin, YAN Luobin, et al. A review of the research on red beds and Danxia landform [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(9): 1170-1181]
- [2] 黄进,陈致均,齐德利.中国丹霞地貌分布(上)[J].山地学报,2015,33(4):385-396. [HUANG Jin, CHEN Zhijun, QI Deli. Study on distribution of Danxia landform in China (first) [J]. Mountain Research, 2015, 33(4): 385-396]
- [3] 黄进,陈致均,齐德利.中国丹霞地貌分布(下)[J].山地学报,2015,33(6):649-673. [HUANG Jin, CHEN Zhijun, QI Deli. Study on distribution of Danxia landform in China (last) [J]. Mountain Research, 2015, 33(6): 649-673]
- [4] YAN Luobin, PENG Hua, ZHANG Shaoyun, et al. The spatial patterns of red beds and Danxia landforms: implication for the formation factors-China [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 1961-1971.
- [5] PENG Hua, REN Fang, PAN Zhixin. A review of Danxia landforms in China [J]. Zeitschrift Für Geomorphologie, 2015, 59(Suppl. 1): 19-33.
- [6] 黄进.丹霞地貌坡面发育的一种基本方式[J].热带地理,1982, 3(2): 107-134. [HUANG Jin. A basic model of the slope development of Danxia landform [J]. Tropical Geography, 1982, 3(2): 107-134]
- [7] 郭福生,姜勇彪,胡中华,等.龙虎山世界地质公园丹霞地貌成景系统特征及其演化[J].山地学报,2011,29(2):195-201. [GUO Fusheng, JIANG Yongbiao, HU Zhonghua, et al. Evolution



- and genesis system features of Danxia landform in Longhushan World Geopark [J]. *Mountain Research*, 2011, **29**(2):195–201]
- [8] 姜勇彪. 江西信江盆地丹霞地貌研究[D]. 成都:成都理工大学, 2010. [JIANG Yongbiao. A study on the Danxia landforms in Xinjiang Basin, Jiangxi Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010]
- [9] 彭华, 邱卓炜, 潘志新. 丹霞山顺层洞穴风化特征的试验研究[J]. *地理科学*, 2014, **34**(4):454–463. [PENG Hua, QIU Zhuowei, PAN Zhixin. Experimental study on the weathering features of bedding caves at Mt. Danxiashan [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, **34**(4):454–463]
- [10] ZHU Cheng, WU Li, ZHU Tongxin, et al. Experimental studies on the Danxia landscape morphogenesis in Mt. Danxiashan, South China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, **25**(8):943–966.
- [11] 李馨敏, 郭福生, 陈留勤, 等. 龙虎山世界地质公园象鼻山栈道洞穴地貌成因[J]. *山地学报*, 2018, **36**(4):509–518. [LI Xinmin, GUO Fusheng, CHEN Liuqin, et al. Origin analysis of the cavities along the Xiangbishan cliffs in the Longhushan Global Geopark, Southeast China [J]. *Mountain Research*, 2018, **36**(4):509–518]
- [12] 潘志新, 任舫, 彭华. 美国西部红层地貌发育及与中国东南部丹霞地貌的对比[J]. *地理研究*, 2018, **37**(12):2399–2410. [PAN Zhixin, REN Fang, PENG Hua. Development of red bed landform in the western United States and a comparison with Danxia landform in southeast China [J]. *Geographical Research*, 2018, **37**(12):2399–2410]
- [13] 欧阳杰, 朱诚, 彭华. 丹霞地貌的国内外研究对比[J]. *地理科学*, 2011, **31**(8):996–1000. [OUYANG Jie, ZHU Cheng, PENG Hua. A contrast introduction to Danxia landforms from a world-wide references for similar landforms [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, **31**(8):996–1000]
- [14] 姜勇彪, 郭福生, 胡中华, 等. 信江盆地丹霞地貌特征及其景观类型[J]. *山地学报*, 2010, **28**(4):505–512. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, HU Zhonghua, et al. A study on the features of Danxia landform and its landscape types in Xinjiang Basin [J]. *Mountain Research*, 2010, **28**(4):505–512]
- [15] 黄宝华, 郭福生, 姜勇彪, 等. 广丰盆地丹霞地貌遥感影像特征[J]. *山地学报*, 2010, **28**(4):500–504. [HUANG Baohua, GUO Fusheng, JIANG Yongbiao, et al. Characteristics of remote sensing images of Danxia landform in Guangfeng Basin [J]. *Mountain Research*, 2010, **28**(4):500–504]
- [16] 杨斌, 李丹, 高桂胜, 等. Sentinel-2A 卫星数据处理分析及在干旱河谷提取中的应用[J]. *国土资源遥感*, 2018, **30**(3):128–135. [YANG Bin, Li Dan, QAO Guisheng, et al. Processing analysis of Sentinel-2A data and application to arid valleys extraction [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2018, **30**(3):128–135]
- [17] 田颖, 陈卓奇, 惠凤鸣, 等. 欧空局哨兵卫星 Sentinel-2A/B 数据特征及应用前景分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2019, **55**(1):57–65. [TIAN Ying, CHEN Zhuoqi, HUI Fengming, et al. ESA Sentinel-2A/B satellite: characteristics and applications [J]. *Journal of Beijing National University (Natural Science)*, 2019, **55**(1):57–65]
- [18] 苏伟, 侯宁, 李琪, 等. 基于 Sentinel-2 遥感影像的玉米冠层叶面积指数反演[J]. *农业机械学报*, 2018, **49**(1):151–156. [SU Wei, HOU Ning, LI Qi, et al. Retrieving leaf area index of corn canopy based on Sentinel-2 remote sensing image [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, **49**(1):151–156]
- [19] 朱琳. 基于 Sentinel 多源遥感数据的作物分类及种植面积提取研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018. [ZHU Lin. Study on crop classification and area extraction based on multi-source remote sensing data of Sentinel [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018]
- [20] 毕恺艺, 牛铮, 黄妮, 等. 基于 Sentinel-2A 时序数据和面向对象决策树方法的植被识别[J]. *地理与地理信息科学*, 2017, **33**(5):16–20. [BI Kaiyi, NIU Zheng, HUANG Ni, et al. Identifying vegetation with decision tree model based on object-oriented method using multi-temporal Sentinel-2A images [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2017, **33**(5):16–20]
- [21] 李旭文, 侍昊, 张悦, 等. 基于欧洲航天局“哨兵-2A”卫星的太湖蓝藻遥感监测[J]. *中国环境监测*, 2018, **34**(4):169–176. [LI Xuwen, SHI Hao, ZHANG Yue, et al. Cyanobacteria blooms monitoring in Taihu Lake based on the Sentinel-2A Satellite of European Space Agency [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2018, **34**(4):169–176]
- [22] 高明星, 陈桂华, 徐锡伟. 地貌参数指示的临潭-宕昌断裂带最新构造隆升差异与地震活动[J]. *地震地质*, 2015, **37**(3):709–718. [GAO Mingxing, CHEN Guihua, XU Xiwei. Geomorphic indices indicated recent differential tectonic uplift of the Lintan-Dangchang Fault and the Minxian-Zhangxian earthquake [J]. *Seismology and Geology*, 2015, **37**(3):709–718]
- [23] 谢超, 周本刚, 李正芳. 东喜马拉雅构造结地貌形态及其构造指示意义[J]. *地震地质*, 2017, **39**(2):276–286. [XIE Chao, ZHOU Bengang, LI Zhengfang. Geomorphic features of Eastern Himalayan syntaxis and its tectonic implications [J]. *Seismology and Geology*, 2017, **39**(2):276–286]
- [24] 祝士杰, 汤国安, 李发源, 等. 基于 DEM 的黄土高原面积高程积分研究[J]. *地理学报*, 2013, **68**(7):921–932. [ZHU Shijie, TANG Guo'an, LI Fayuan, et al. Spatial variation of hypsometric integral in the Loess Plateau based on DEM [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, **68**(7):921–932]
- [25] 李玉辉, 丁智强, 吴晓月. 基于 Strahler 面积-高程分析的云南石林县喀斯特地貌演化的量化研究[J]. *地理学报*, 2018, **73**(5):973–985. [LI Yuhui, DING Zhiqiang, WU Xiaoyue. A quantitative study on the karst geomorphic evolution of Shilin county in Yunnan province of China based on Strahler hypsometric



- analysis [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(5):973–985]
- [26] 章桂芳, 陈凯伦, 张浩然, 等. 基于 DEM 的丹霞地貌演化阶段划分[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2018, **57**(2):12–21. [ZHANG Guifang, Chen Kailin, Zhang Haoran, et al. The evolution stage decision of Danxia landform based on digital elevation model (DEM). *ACTA Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2018, **57**(2):12–21]
- [27] DRUSCH M, DEL BELLO U, CARLIER S, et al. Sentinel-2: ESA's optical High-Resolution mission for GMES operational services [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **120**(SI): 25–36.
- [28] STRAHLER A N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography [J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 1952, **63**(11):1117–1142.
- [29] 常直杨, 王建, 白世彪, 等. 面积高程积分值计算方法的比较[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, **29**(3):171–175. [CHANG Zhiyang, WANG Jian, BAI Shibiao, et al. Comparison of hypsometric integral methods [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, **29**(3):171–175]
- [30] PIKE R J, WILSON S. Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1971, (82):1079–1084.
- [31] VICENTE PEREZ-PENA J, AZOR A, MIGUEL AZANON J A. 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.

## Analysis of Danxia Landform Characteristics in the Yihuang Basin, Jiangxi Province, China

WANG Zhen<sup>1</sup>, JIANG Yongbiao<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China;

2. Key Laboratory for Digital Land and Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

**Abstract:** Currently, there are few systematic and quantitative types of research on the characteristics of Danxia landform. Based on new remote sensing data and quantitative methods, the characteristics of Danxia landform can be analyzed, further identifying the characteristics of Danxia landform and exploring the application value of new data and methods. In this paper, in terms of field investigation, Digital Elevation Model, and Sentinel-2A remote sensing image, combined with quantitative method, Danxia landform characteristics of the Yihuang Basin in Jiangxi province were systematically analyzed. The results showed that eight Danxia sites were identified via the Sentinel-2A band combination consistent with the results of field investigation. Sentinel-2A had a good recognition accuracy in a small area of red bed basin where the features of remote sensing images of Danxia landform were not obvious. Quantitative analysis along with the hypsometry method was carried out to analyze the evolution stages of the red beds and Danxia sites in the Yihuang Basin. The hypsometric index of the red beds area in the Yihuang Basin was 0.22, and the hypsometric curve was concave, indicating the geomorphic evolution stage was early stage of old age. The hypsometric index of the Danxia sites in the Yihuang Basin was 0.40~0.51, and the hypsometric curve was an S-shape with a concave upper part and a convex lower part, indicating the geomorphic evolution stage was from the early stage to the late stage of the mature age, which mainly belonged to the late stage of the mature age. Consequently, it was consistent with the actual stage of geomorphic evolution showing that the hypsometry method has a better indicating effect on the evolution stage of the Danxia landform. This study offered a reference for the application of Sentinel-2A in geology and the application of the hypsometry method in the evolution stage of the Danxia landform.

**Key words:** Danxia landform; hypsometry; evolution stage; Sentinel-2A; the Yihuang Basin