

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.02.011

引用格式:李晓宁,姜勇彪,王盼盼.武夷山脉西北麓丹霞地貌特征及成因分析[J].华东地质,2023,44(2):228-238.(LI X N, JIANG Y B, WANG P P. Features and genesis analysis of Danxia landscape in the northwest foothills of the Wuyi Mountains [J].East China Geology, 2023, 44(2):228-238.)

武夷山脉西北麓丹霞地貌特征及成因分析

李晓宁,姜勇彪,王盼盼

(东华理工大学地球科学学院,江西 南昌 330013)

摘要:武夷山脉西北麓地区白垩纪至古近纪时发生强烈的断裂构造活动,沿区域断裂带形成了一系列红层盆地,并沉积了一套红色陆相碎屑岩,包括从北东到南西分布的信江、南城、南丰、宁都、石城、瑞金、会昌等盆地。这些盆地明显受 NNE 向断裂所控制,除北侧的信江盆地规模稍大外,其余均为小型断陷盆地。新生代以来随着华南区域隆起,盆地内红层抬升,在构造、河流等内、外动力地质作用下形成了众多丹霞地貌。由于红层岩性、构造及河流侵蚀强度的差异性,在不同盆地形成了不同形态的丹霞地貌,其经历的演化阶段也不尽相同。野外地质地貌调查及对比研究表明,该地区丹霞地貌景观按照形态特征可分为山峰类、陡崖类、崩塌体类、峡谷类、洞穴类及其他类六种类型;面积高程积分法和多级缓冲区分析表明,该地区丹霞地貌演化具有从北东向南西年轻化趋势,其成因与红层、断裂活动、河流发育等条件的空间差异具有相关性,它们共同构成了武夷山脉西北麓丹霞地貌的成景系统。

关键词:武夷山脉;丹霞地貌;成因分析;断裂活动

中图分类号:P931.2

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2023)02-228-11

丹霞地貌是发育于中生代至新近纪陆相近水平厚层状紫红色砂岩、砾岩中的丹崖赤壁及方山、石墙、石柱、峡谷、洞穴等地形的统称^[1],其形成演化受红层盆地内红层岩性、内动力构造作用、外动力地质作用(水流侵蚀、风蚀、风化等)共同控制^[2-5]。红层是形成丹霞地貌的物质基础,其岩性、岩层厚度及物化性质控制着丹霞地貌的发育形态与演化速率^[5-10],内动力构造作用控制丹霞地貌分布格局及发育进程^[11];外动力地质作用塑造丹霞地貌形态^[12]。丹霞地貌在盆地中的位置、红层岩性、构造发育强度、水系分布等因素共同构成了盆地内丹霞地貌的成景系统^[11]。武夷山脉西北麓丹霞地貌发育数量众多,类型多种多样,截至 2022 年,共发现 129 处丹霞地貌^[13-14],演化阶段总体有从北东向南西年轻化的趋势^[10]。

已有的丹霞地貌成因研究大多基于单个盆地的分析^[5,11,15-23],较少开展不同盆地间的对比研究。

为此,本文在前人研究的基础上,选取武夷山脉西北麓 7 个发育典型丹霞地貌的盆地开展对比剖析,梳理各盆地丹霞地貌的主要类型,利用面积高程积分法定量研究各个盆地内丹霞地貌演化进程,利用多级缓冲区叠加分析方法,说明构造对丹霞地貌发育的影响,并阐述红层及河流对丹霞地貌景观的影响。该研究对探明武夷山脉西北麓丹霞地貌成因的空间差异性,讲好丹霞故事,打造丹霞地貌地质博物馆^[24]使其发挥地学旅游资源优势,完善旅游精品路线具有重要意义。

1 区域地质概况

研究区域位于武夷山脉西北侧,介于萍乡—广丰断裂带、鹰潭—安远断裂带与武夷山脉之间的狭长带状地区,大地构造位置属于华夏地块北部。该区分布着众多区域性断裂带,主要呈 NNE 向、NEE 向、NE 向及 EW 向(图 1),它们控制着白

* 收稿日期:2022-10-13 修订日期:2023-03-22 责任编辑:袁静

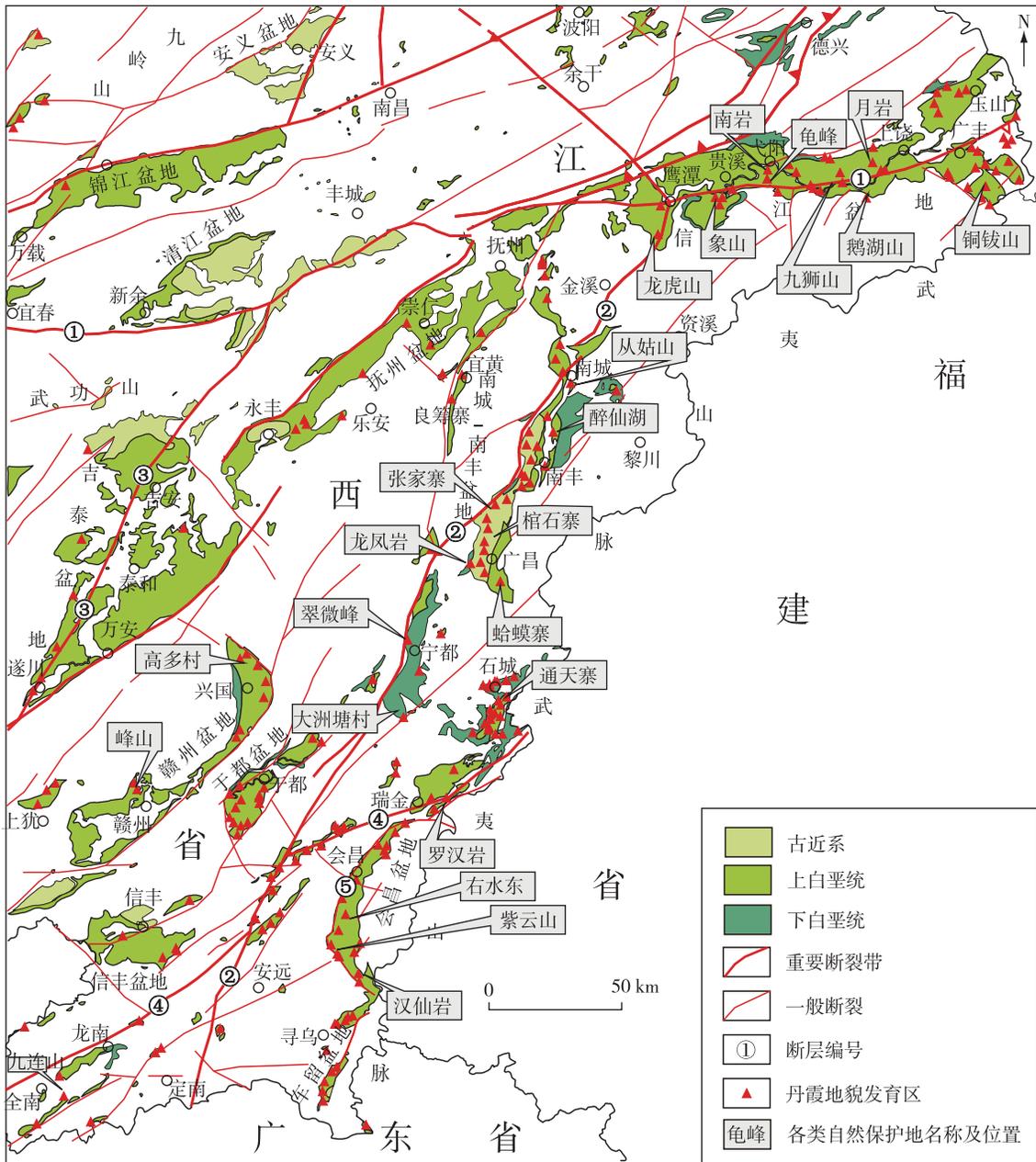
基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目“吉泰盆地红层荒漠化成因研究(编号:GJJ160534)”资助。

第一作者简介:李晓宁,1998 年生,女,硕士研究生,主要从事旅游地学方面的工作。Email:2314974454@qq.com。

通信作者简介:姜勇彪,1969 年生,男,教授,博士,主要从事第四纪地质学和景观地貌学方面的工作。Email:294483120@qq.com。

中生代以来红层盆地的形成与演化^[25]。新生代以来区域隆升使盆地抬升,促使其中的红层受断裂切

割,并遭受流水等外力侵蚀,从而形成了众多丹霞地貌(表 1)。



①.萍乡—广丰断裂带;②.鹰潭—安远断裂带;③.赣江断裂带;④.石城—龙南断裂带;⑤.寻乌—石城断裂带

图 1 研究区主要断裂带及丹霞地貌分布图

Fig. 1 Distribution of main fault zones and Danxia landscapes in the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与预处理

本文涉及的数字高程模型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://](http://www.Gscloud.cn)

www.Gscloud.cn),空间分辨率为 30 m。根据武夷山脉西北麓红层盆地和典型丹霞地貌区的范围,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,用于对武夷山脉西北麓地区红层盆地和丹霞地貌的演化阶段分析。

表1 武夷山脉西北麓主要盆地特征及丹霞地貌类型

Table 1 Main features of the basins and Danxia landscape types in the northwest foothills of the Wuyi Mountains

盆地	岩石地层单位	主要成景地层	盆地形状	控盆断裂	发育的主要丹霞地貌类型
信江盆地	K ₂ , 莲河组、塘边组、河口组、茅店组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	菱型	近EW向萍乡—广丰断裂带; NNE向鹰潭—安远断裂带	石寨、石峰、石柱、峰丛、峰林、石梁、石墙、崩积岩块、单面山、孤峰残丘
南城盆地	K ₂ -E, 塘边组、茅店组、新余组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	线型	NNE向鹰潭—安远断裂带	石寨、崖壁、石墙、峰林、峰丛、峡谷
南丰盆地	K ₂ -E, 塘边组、茅店组、新余组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	线型	NNE向鹰潭—安远断裂带	石寨、石崖、石墙、嶂谷
宁都盆地	K ₂ , 河口组、茅店组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	线型	NNE向鹰潭—安远断裂带	峰林、峰丛、石峰、石柱、石墙、石寨、障谷、线谷、一线天
石城盆地	K ₂ , 塘边组、河口组、茅店组	河湖相粉砂岩、泥岩、砾岩、砂岩	短轴型	NNE向寻乌—石城断裂带	石寨、石崖、石墙、石柱、石峰、峰林、峰丛、单面山、嶂谷、洞穴、龟裂石
瑞金盆地	K ₂ , 河口组、周田组、茅店组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	短轴型	NNE向鹰潭—安远断裂带; NE向石城—龙南断裂带	峰林、峰丛、石峰、石崖、蜂窝状洞穴、一线天、线谷
会昌盆地	K ₂ , 河口组、周田组、茅店组	河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	线型	NNE向寻乌—石城断裂带	峰丛、石峰、石崖、石巷、嶂谷、一线天、线谷、单面山、洞穴

2.2 研究方法

在野外实地调查的基础上,对研究区域丹霞地貌的形态特征进行总结分类,采用斯特拉勒(Strahler)提出的面积高程积分法分析其丹霞地貌演化阶段。面积高程积分的计算方法有三种:积分曲线法、体积比例法和起伏比法。研究区流域单元较多,前两种计算方法复杂,采用简单便捷的起伏比法,在DEM中对目标区域划分区域单元,利用空间分析模块的分区统计功能,求出区域单元的最大高程、最小高程、平均高程;借助属性中的字段计算器功能,根据面积高程积分公式 $HI \approx (\text{平均高程} - \text{最小高程}) / (\text{最大高程} - \text{最小高程})$,可求出每个区域单元的HI值^[23];再根据彭华等^[7]在 STRAHLER A N^[26]的“面积—高度比曲线法”基础上按照丹霞地貌侵蚀量残余量的对比进一步细分为青年早期、青年晚期、壮年早期、壮年晚期、老年早期、老年晚期的六个阶段,对研究区红层盆地和丹霞地貌演化阶段进行划分。

对武夷山脉、鹰潭—安远断裂带、萍乡—广丰断裂带作缓冲距离为5 km的多级缓冲区分析,将分析结果和研究区的丹霞地貌分布数据进行叠加,用以探讨构造活动对丹霞地貌形成的影响。

3 武夷山西北麓丹霞地貌特征

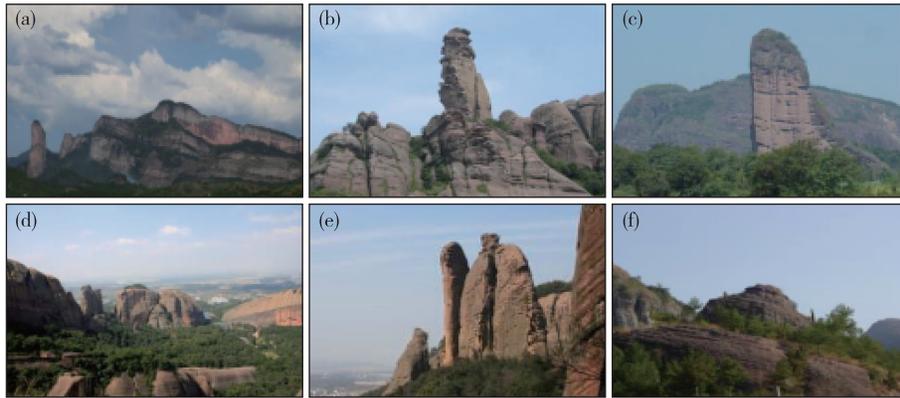
3.1 丹霞地貌形态特征

武夷山脉西北麓地区丹霞地貌数量众多,发育形态齐全,本文根据郭福生等^[1]2020年修订的丹霞地貌分类体系,划分为六种类型,它们的具体特征如下。

(1)山峰类景观。该类景观是红层盆地沉积结束后受地壳隆升影响,红层被构造抬升和断裂切割,遭受外力侵蚀(流水侵蚀、风化、重力崩塌)后逐渐形成。根据其规模和空间组合可以分为石寨(图2(a))、石峰(图2(b))、石柱(图2(c))、峰丛(图2(d))、峰林(图2(e))和孤峰(图2(f))。

(2)陡崖类景观。它们是红色山体受断层和节理切割,在外动力作用下沿节理或裂隙发生侵蚀形成的陡峭崖壁,崖壁坡度一般较大。规模较大的为石墙(图3(a)),较小的为石崖(图3(b))。

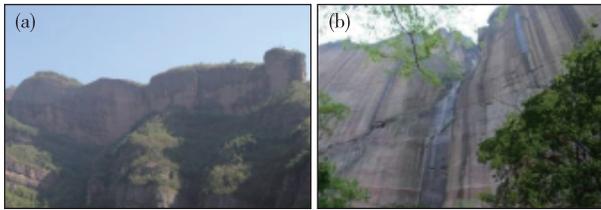
(3)崩塌体类景观。是岩壁下部的软岩因外力作用侵蚀而崩落后,上部的坚硬岩石因重力作用形成的崩塌堆积体,或形成造型石(图4(a)),或形成洞穴(图4(b)),或经长时间的风化、流水搬运而消失。



(a).石城通天寨(丹霞石寨);(b).龙虎山金枪峰(丹霞石峰);(c).龟峰南天一柱(丹霞石柱);(d).龟峰(丹霞峰林);(e).龟峰(丹霞峰丛);(f).石城螺号峰(丹霞孤峰)

图 2 研究区山峰类丹霞地貌

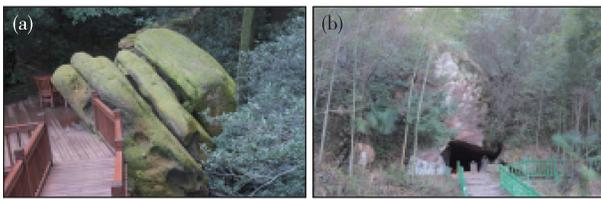
Fig. 2 Peaks-like Danxia landscapes in the study area



(a).石城石马寨(丹霞石墙);(b).龟峰天女散花(丹霞石崖)

图 3 研究区陡崖类丹霞地貌

Fig. 3 Cliff-like Danxia landscapes in the study area



(a).龟峰扣肉(造型石);(b).石城达摩洞(崩塌堆积洞穴)

图 4 研究区崩塌体类丹霞地貌

Fig. 4 Collapse body-like Danxia landscapes in the study area

(4)峡谷类景观。这类景观是红色山体在地壳隆升中受益地边界断层活动影响,发育一组甚至几组垂直断裂,山体受其切割并随着地壳抬升和流水下切,逐渐沿着断裂带形成一线天(图 5(a))、石巷、嶂谷(图 5(b))、巷谷(图 5(c))、幽谷、峡谷等景观,峡谷类景观两侧岩壁陡倾,谷底常堆积着从两侧崖

壁上崩落的岩块。

(5)洞穴类景观。洞穴景观是由于组成红层的不同夹层抗外力作用侵蚀的能力不同,抵抗外力侵蚀能力较弱的岩层会在崖壁上侵蚀出洞穴景观,有竖直状(图 6(a))、扁平状(图 6(b))、蜂窝状(图 6(c))等、岩槽(图 6(d))、穿洞(图 6(e))、石拱(图 5(f))等。

(6)其他景观。有各种造型景观,如石城盆地中的龟裂石(图 7),该盆地中上段的细、粉砂岩厚度大,分选性好,受河源一邵武断裂带及大量近 EW 向和 NNE 向断层断裂切割,以及亚热带湿润性气候充足的雨水和光照使其形成了造型独特的龟裂石(图 7(a))、鱼鳞石(图 7(b))。

3.2 武夷山西北麓丹霞地貌演化特征

基于 DEM 数据的面积高程积分值(HI)和面积高程积分曲线特征,STRAHLER A N^[26]将 DAVIS W M^[27]的地貌发育模式定量化为:幼年阶段(HI>0.6),壮年阶段(0.4<HI<0.6),老年阶段(HI<0.4);面积高程积分曲线呈凸状时表示地貌侵蚀量较少,处于幼年阶段;“S”状时为壮年期;凹状时表示侵蚀量较多,处于老年期。彭华等^[7]在此基础上根据丹霞地貌侵蚀量和残余量的对比进一步将丹霞地貌的演化过程划分为 6 个阶段:侵蚀量<20%为青年早期;20%<侵蚀量<40%为青年晚期;50%<侵蚀量<55%为壮年早期;55%<侵蚀量<70%为壮年晚期;70%<侵蚀量<85%,属于老年早期;侵蚀量>85%为老年晚期。根据彭华等^[7]提出



(a). 龟峰一线天; (b). 石城通天寨嶂谷; (c). 宁都翠微峰峡谷

图5 研究区峡谷类丹霞地貌

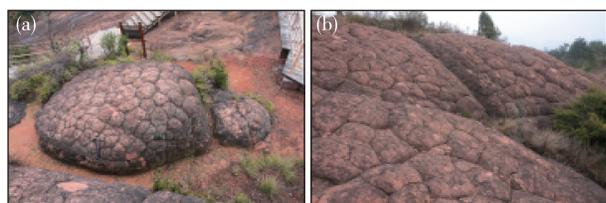
Fig. 5 Canyon-like Danxia landscapes in the study area



(a). 石城通天岩(竖状洞穴); (b). 龟峰南岩佛洞(扁平洞); (c). 龟峰展旗峰(蜂窝状洞穴); (d). 贵溪挂榜山(岩槽); (e). 宁都金精洞(穿洞); (f). 上饶月岩(石拱)

图6 研究区洞穴类丹霞地貌

Fig. 6 Cave-like Danxia landscapes in the study area



(a). 石城龟裂石(造型石); (b). 石城鱼鳞石

图7 研究区其他丹霞地貌

Fig. 7 Other Danxia landscapes in the study area

的六个演化阶段对研究区红盆及丹霞地貌演化阶段进行划分。汪震^[15]通过面积高程积分法计算出武夷山脉西北麓各盆地积分值和积分曲线,本文在此基础上增加了南丰和瑞金两个盆地(图8),可以看出武夷山脉西北麓红层盆地有从北向东向西年轻的趋势。

选取各盆地内典型丹霞地貌区计算面积高程积分(图9),结果表明丹霞地貌演化也同样具有该

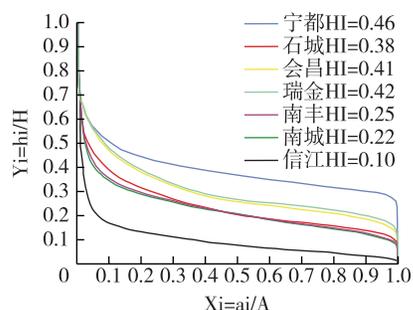


图8 武夷山西北麓各红盆面积高程积分曲线图^[15]

Fig. 8 Elevation integral curves of each red basin in the northwest foothills of the Wuyi Mountains^[15]

特征,其原因是:武夷山脉西北麓地区北段平原面积较多,河流流量大,对沿岸的冲刷侵蚀能力较强,发育较大型盆地,因而北段盆地和丹霞地貌演化阶段较老;中南段西部是赣江、抚河的发源地,地势陡峭,盆地受控盆断裂带影响明显而呈狭长的弧状,流水作用对地表的侵蚀能力一般,因而盆地和丹霞

地貌的演化阶段较年轻。

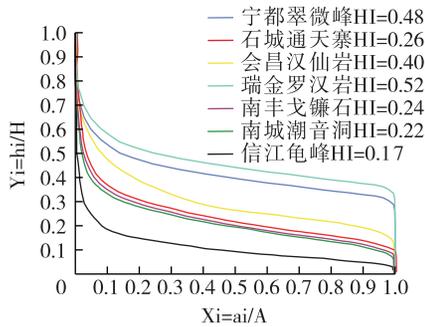


图9 武夷山脉西北麓各红盆内典型丹霞地貌区面积高程积分曲线图

Fig. 9 Elevation integral curves of typical Danxia landscapes in each red basin in the northwest foothills of the Wuyi Mountains

4 研究区丹霞地貌成因分析

4.1 红盆及地层岩性影响

红层是发育丹霞地貌的物质基础,控制着丹霞地貌发育的范围;岩性差异是影响丹霞地貌景观类型和演化速率的重要因素^[9-11],包括岩层的组成、厚度、力学性质等。武夷山西北麓晚白垩世红层的分布面积为0.54万km²,早白垩世红层分布面积为0.18万km²,古近纪红层分布面积为0.05万km²,丹霞地貌主要发育在晚白垩世红层中,其岩性特征、主要分布范围及发育的丹霞地貌如下。

4.1.1 晚白垩世赣州群(K₂G)

(1)茅店组(K₂m)。以紫红色砾岩、砂质砾岩为主,夹少量砂岩、粉砂岩、泥岩,分布于信江盆地西南部和东部,南城盆地东北部,石城盆地北部和西部的部分地区,会昌盆地东部和南部;在信江盆地西部象山由砾岩、砂砾岩组成,为近源堆积,砾岩磨圆度低,分选性差,抗风化能力较强,在节理切割、流水侵蚀、重力崩塌作用下形成丹霞崖壁、石峰等,在信江盆地东部铜钹山由砂岩、粉砂岩、含砾砂岩组成,抗风化能力差异大,砂岩和粉砂岩形成缓坡,含砾砂岩形成陡坡;在会昌盆地南部汉仙岩为砾岩、砂砾岩、细砂岩和泥岩,岩性变化大,形成石峰、岩洞、造型石等景观。

(2)周田组(K₂z)。出露粉砂岩、泥岩、砾岩和砂质砾岩,成分复杂,分选性较差,分布在信江盆地北部和南部少部分地区、瑞金盆地东部和北部地

区、会昌盆地大部分地区,是会昌盆地主成景地层;在会昌盆地南部由于岩性复杂,抵抗风化能力不一,在节理切割、流水侵蚀等作用下形成造型石,而在北部以抗风化能力弱的泥岩和砂岩为主,可溶性成分含量高^[23],雨水溶蚀作用强,不易发育丹霞地貌;在瑞金盆地东北部罗汉岩为厚层、巨厚层砾岩、含砾砂岩、砂岩,受断裂切割及绵江侵蚀形成石峰、一线天、岩洞等景观。

4.1.2 晚白垩世龟峰群(K₂GF)

(1)河口组(K₂h)。以巨厚层砾岩、砾岩夹砂岩组合为特征,其中砂岩、粉砂岩抗风化能力较弱,易被风化、侵蚀,砾岩质地坚硬,且岩层厚度大,抗风化剥蚀能力强,当砂岩夹层经风化剥落后,山体重心失衡,在重力作用下沿垂直节理发生崩塌,形成以赤壁丹崖为特征的丹霞地貌,分布在信江盆地南北边缘、南城盆地东部、会昌盆地西部和石城盆地^[14]大部分地区。河口组分布广泛,发育的丹霞地貌类型齐全;在信江盆地东部龙虎山河口组砾岩含量较多,形成了“顶斜、身陡、麓缓”的高大石峰和陡崖壁;南城盆地东部醉仙湖一带河口组为滨湖相岩石,以胶结疏松的细砂岩-粉砂岩为主,偶夹细砾岩,抗风化能力弱,不易形成丹霞地貌,多为低缓的浑圆山体;会昌盆地西部紫云山河口组以冲积扇、洪积扇沉积为主,岩性为紫红色厚层、巨厚层砾岩和砂砾岩,钙铁质胶结,形成了丹霞石峰、石崖和峡谷^[22];石城盆地通天寨河口组可进一步细分为三个亚相:近端相为一套紫红色砾岩、砂砾岩,岩性差异小,砾石夹泥岩、火山岩,易于风化,以低缓圆形山丘地貌为主;中端相为紫红色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩互层,砾石成分为砂岩和脉石英,以铁质胶结为主,少量钙质或泥质胶结,岩石坚硬,抗风化能力较强,易形成石峰;远端相为紫红色细砾岩与钙泥质粉砂岩、泥岩互层,钙铁质胶结,岩石坚硬,抗风化能力强,其中细砂岩、粉砂岩厚度较大,分选性好,发育了独特的龟裂凸包景观^[28]。

(2)塘边组(K₂t)。由中、粗厚层砂岩、含砾砂岩组成,受河流分选作用影响明显,岩性单一,硬度低,抗风化能力较弱,易于风化成低矮平缓的山丘,仅局部偶见有不高的陡崖赤壁,以钙质和泥质胶结为主,主要分布在信江盆地中部、南城盆地东部、石城盆地东南部,发育洞穴、穿洞、岩洞、丘陵类丹霞地貌。信江盆地中部南岩景区塘边组以砖红色细

砂岩为主,夹少许粉砂岩、中粗粒砂岩及含钙细砂岩,砂岩风化后在该景区形成“奇洞”景观,大型岩洞群为佛教石窟提供了理想空间,低矮圆润的长条形赤色山体造就了天然的卧佛造型^[11]。

(3)莲河组(K_2lh)。由砾岩、砂质砾岩、砂岩、泥岩等组成,岩性变化大,盆地边缘地区以砾岩、砂砾岩为主,中部以砂岩为主;主要分布在信江盆地中东部的北侧地区,如月岩山地区莲河组为厚层砾岩、砂砾岩,发育石峰、石柱、穿洞等丹霞地貌。

4.1.3 古新世—始新世新余组(E_{1-2x})

以湖泊相细碎屑岩为主,包括粉砂岩、泥岩和少部分砂质砾岩,钙质胶结为主,抗风化能力弱;主要分布于南丰盆地,其南部的广昌龙凤岩,砂质砾岩被断层切割成条状,又经流水侵蚀而成丹霞洞穴,洞穴崖壁上又发育小洞穴。

红层的岩性差异导致其抵抗外力侵蚀的能力不同,从而影响形成的丹霞地貌景观类型和演化速率。抗风化能力最强的是以砾岩、砂砾岩为主的地层,演化速率最慢,在断裂切割下容易形成陡峭的峰林、石崖、峰丛等大型丹霞景观;抗风化和流水侵蚀、重力崩塌能力较弱的是以砂岩、含砾砂岩为主的地层,演化速率次之,在外力作用下,砂岩早于含砾砂岩崩落,差异风化后多在岩层上形成洞穴、岩槽等丹霞景观;抗外力侵蚀能力最弱的是以较软弱的泥岩、可溶物多的粉砂岩组成的地层,演化速率最快,它们透水性差且含水量多,发育丹霞丘陵景观;丹霞地貌主要成景地层中大部分包含多种类型岩石,由于抗外力能力差异大,在不同层段发育了不同形态的景观,红层岩性在空间上的差异使丹霞地貌演化速率在空间上也具有一定差异。

4.2 构造活动影响

武夷山西北麓地区主要受EW向萍乡—广丰断裂带和NNE向的鹰潭—安远断裂带、寻乌—石城断裂带控制。区域内不同强度的断裂带共同控制红盆的形成及其沉积相的空间展布,影响丹霞地貌的发育和演化阶段。根据与断层距离的远近,盆地不同位置发育不同组合、不同类型的丹霞地貌^[11]。对武夷山脉、鹰潭—安远断裂带、萍乡—广丰断裂带做缓冲距离为5 km的多级缓冲区分析,并与丹霞地貌分布数据进行叠加。结果表明,研究区发育的丹霞地貌有41%位于断裂带5 km内,69%位于断裂带10 km内,84%位于断裂带15 km

内,从而证明丹霞地貌的形成演化与断裂带活动关系密切,断裂带越密集则丹霞地貌发育越多(图10)。以下简要介绍各盆地情况。

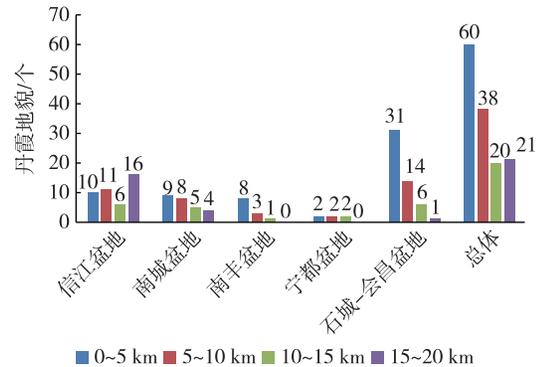


图10 研究区丹霞地貌发育数量与主断层距离关系

Fig. 10 Relationship between the number of Danxia landscapes and the distance of main faults in each basin in the study area

(1)信江盆地。信江盆地位于武夷山脉西北麓北段,地处扬子地块和华夏地块结合带,受近EW向的萍乡—广丰断裂带控制而呈近EW向分布。盆地内的丹霞地貌数量随着与萍乡—广丰断裂带距离增加而减少;鹰潭—安远断裂带从信江盆地西南部通过,在距离其5 km的范围内分布着龙虎山丹霞地貌区,断裂带控制着龙虎山丹霞地貌的走向,并使盆地内红层差异抬升,形成石峰和洞穴景观。在盆地南侧的龟峰景区,NE向、NEE向、NW向三组节理互相交错切割,在外力作用下形成峰林、石峰、石丛等丹霞地貌类型;盆地中部受断裂活动影响小,在信江的侵蚀下形成低矮的崖壁和岩洞,如九狮山。

(2)南城—南丰盆地。南城—南丰盆地位于武夷山脉西北麓中段西侧,受鹰潭—安远断裂带控制而呈NNE向狭长带状分布,区内岩浆活动强烈^[29]。红层受NE向、NW向节理切割,以NE向为主,丹霞地貌沿断裂带集中分布,受断裂切割多形成条带状的石墙、石寨和石峰等丹霞地貌类型,如良筹寨、张家寨和棺石寨丹霞地貌区;盆地中部如同信江盆地,受断裂活动影响小,在盱江水系的侵蚀冲刷下发育低矮丘陵,如从姑山。

(3)宁都盆地。宁都盆地处于宁都—南城拗陷断裂南端和信丰—于都拗陷褶束交接部位^[30-31],鹰潭—安远断裂带靠近盆地西侧,控制盆地内丹霞地貌的形成发育,盆地西侧的翠微峰景区内次级断裂

也十分发育,尤其发育的多组垂直节理,使红层垂直切割从而形成方山、石寨、石峰、峰林等丹霞地貌类型;盆地东侧受小型断裂带控制也发育部分丹霞地貌;中部远离断裂带,未发现丹霞地貌。

(4)石城—会昌盆地。石城—会昌盆地位于武夷山隆起的中南段,受 NNE 向寻乌—石城断裂带与东侧桃溪变质核杂岩的复合影响而呈狭长弧状分布。石城盆地东西两侧边缘区断裂带活动强烈,相对盆地中部地区地壳隆升快,使地层产生倾斜,在琴江及支流的侵蚀、风化等外动力地质作用下,形成以“斜顶”为特征的峰林、峰丛和石寨等景观,如通天寨;盆地中部地区受断裂带影响较小,为砂岩地层,在流水侵蚀下,形成“圆顶”的丹丘地貌。龟裂凸包是石城盆地特有的丹霞地貌景观,其形成过程是断裂活动切割红层产生裂纹,风力剥蚀后露出地表,经雨水冲刷、风力剥蚀和球状风化后形成突出鼓包。野外地质地貌调查分析表明,断裂构造作用形成的裂纹是龟裂凸包形成的前提条件,其中主要断裂带控制龟裂凸包的空间分布格局、展布方向与景观走向;次级断裂控制龟裂凸包的形态特征。

会昌盆地西侧断裂活动强烈,在红层中产生了走向为 NE 和 NW 两组网格状垂直节理,强烈的节理作用将红层切割成条块状、方块状等不同形状,再加上贡水上游湘河水的长期侵蚀冲刷和风化、重力崩塌等外力共同作用下形成了大型丹霞石峰、石崖和石柱等景观^[22]。盆地中部红层被弧状断裂所切割呈条带状、方山状,发育有石寨、峰林等景观,如紫云山和右水东,这与其他盆地中部地区有所不同。

构造活动控制着丹霞地貌的分布和形成的丹霞地貌类型及丹霞地貌演化阶段。总体来说,盆地边缘地区受构造活动影响强烈,断层和节理切割红层形成裂隙,方便流水及重力崩塌等外动力地质作用,发育丹霞地貌数量较多,岩层中砾岩含量多,以崖壁、峰丛等大型丹霞地貌为主,演化处于壮年期至老年期;盆地中部受构造活动影响较小,红层抬升强度较小,丹霞地貌发育较少,岩层中砂岩、泥岩含量多,受流水冲刷溶蚀多形成低矮的岩丘和洞穴,演化阶段以老年期为主,会昌盆地有所例外,其中部地区由于受构造断裂切割也发育了石寨、峰林等大型丹霞地貌。

4.3 河流侵蚀作用影响

研究区河网密集,是江西省东部赣江、抚河、信

江三大主要河流发源地,集水面积都在 10 000 km² 以上,形成各自独立的流域,并分别由东至西、由南向北流入鄱阳湖,目前已知全流域内集中发育 129 处丹霞地貌,占江西省丹霞地貌总数的 62%。对赣江流域、信江流域、抚河流域的干流和主要支流以 10 km 为界作两个缓冲区并进行叠加分析,结果表明研究区丹霞地貌有 86% 分布在河流两岸 10 km 内;距离河流越远,发育的丹霞地貌数量越少。河流作用对丹霞地貌发育的影响主要有两个方面:一是流水侵蚀作用塑造丹霞地貌形态,流水搬运和堆积作用塑造成景地层岩性;二是在丹霞景观区中,流水和丹霞地貌组成“丹山碧水”景观^[11](图 11)。

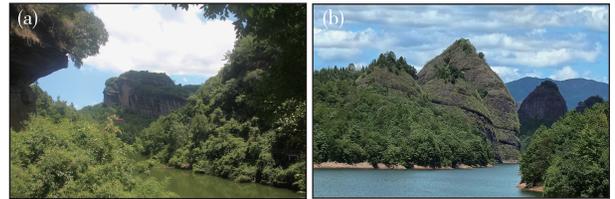


图 11 “丹山碧水”景观

Fig. 11 “Red mountains and clear water” landscape

(1)赣江。赣江东侧的贡水支流流经武夷山脉南段的石城、会昌、瑞金、宁都等盆地,河流上游地势陡峻、节理密集,流量较小,流水侵蚀作用强,发育的地貌类型多为高大的石寨、陡崖、石峰等,如宁都翠微峰、会昌万岁岩、石城河石寨,地貌演化阶段总体处于壮年期(图 9)。

(2)抚河。抚河发源于武夷山脉中段广昌县境内,全长 349km,流经抚州、南城等盆地,后汇入鄱阳湖。以抚州盆地为例,盆地南部沿抚河支流上游分布的丹霞地貌多为丹霞石峰,演化阶段多为壮年期,如仙岩山(HI 值 0.44)、太极岩(HI 值 0.45);北部靠近抚河干流密集区多为丹霞丘陵,演化阶段多为老年期,如大石楼(HI 值 0.32)。

(3)信江。信江在武夷山脉北段受萍乡—广丰断裂带控制,呈 NE 向、NNE 向流经信江盆地中部;流域内丹霞地貌集中分布在贵溪—广丰—玉山一带的信江、丰溪冲积扇上。在信江及其支流的冲刷侵蚀下,区域内多形成“顶圆”的岩丘型丹霞地貌;在风化作用、重力崩塌、流水溶蚀作用下,崖壁上多形成洞穴,如南岩寺。流域内丹霞地貌的演化阶段为壮年期到老年期,如龙虎山(HI 值 0.31)、仙人桥(HI 值 0.43)、九狮山(HI 值 0.30)。

5 结论

(1)武夷山西北麓丹霞地貌数量众多,类型多样,红层盆地和丹霞地貌的演化阶段总体有从北东向南西年轻化的趋势。研究区丹霞地貌主要发育在白垩纪红层中,红层控制着丹霞地貌发育的范围,岩性差异影响丹霞地貌的景观类型和演化速率;抗外力侵蚀能力强的红层发育高大类的丹霞地貌,演化速率较慢;抗外力侵蚀能力弱的红层发育低矮、洞穴类的丹霞地貌,演化速率较快。

(2)区内EW向的萍乡—广丰断裂带和NNE向的鹰潭—安远断裂带、寻乌—石城断裂带不仅控制着沉积相的展布和红盆形成,还影响丹霞地貌的发育类型和演化阶段,断裂带越密集丹霞地貌发育越多;盆地边缘断裂活动强烈地区红层抬升快,容易形成崖壁、峰丛等大型丹霞地貌,地势高水流量小,流水侵蚀较弱,演化阶段为壮年期到老年期;盆地中间受断裂活动影响较小,地势低水流量增大,流水侵蚀强烈,丹霞地貌多为低矮岩丘,演化阶段以老年期为主。

(3)研究区为赣江、抚河、信江流域范围,流水作用影响丹霞地貌类型和演化阶段;河流上游海拔高、地势险峻,河流以下切侵蚀为主冲刷沿岸阶地,多形成陡峻的山峰、峡谷、一线天等景观,上游河网密度小,河流流量小,对两岸红层侵蚀强度有限,丹霞地貌演化较年轻;中下游地区地势变缓,流水冲刷使两岸丹霞地貌圆化,出现“圆顶”型景观形态;下游地区支流汇入,河流流量变大,冲刷侵蚀作用增强,由下切侵蚀转为侧蚀,在其他成景因素的共同作用下,丹霞地貌的演化速率加快。此外,在丹霞崖壁上,常因流水侵蚀、溶蚀作用发育洞穴和岩槽等景观。

参考文献

- [1] 郭福生,陈留勤,严兆彬,等.丹霞地貌定义、分类及丹霞作用研究[J].地质学报,2020,94(2):361-374.
GUO F S, CHEN L Q, YAN Z B, et al. The definition, classification and effect of danxia landscape [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(2): 361-374.
- [2] 杨望墩.鄂尔多斯盆地西南缘丹霞地貌形成机制研究[D].西安:长安大学,2016.
YANG W T. Study on the formation mechanism of danxia landscape in the southwestern margin of Ordos Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2016.
- [3] 彭华.中国丹霞地貌研究进展[J].地理科学,2000,20(3):203-211.
PENG H. Research progress of danxia landscape in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(3): 203-211.
- [4] 彭华.丹霞地貌学[M].北京:科学出版社,2020:1-200.
PENG H. Danxia geomorphology[M]. Beijing: Science Press, 2020: 1-200.
- [5] 姜勇彪,郭福生,刘林清,等.广丰盆地白垩纪红层及其地貌景观发育研究[J].资源调查与环境,2009,30(4):235-242.
JIANG Y B, GUO F S, LIU L Q, et al. Research on the development of Cretaceous red beds and geomorphic landscape in Guangfeng Basin[J]. Resources Survey and Environment, 2009, 30(4): 235-242.
- [6] 彭华.中国南方湿润区红层地貌及相关问题探讨[J].地理研究,2011,30(10):1739-1752.
PENG H. Red bed geomorphology and related problems in humid areas of southern China[J]. Geographical Research, 2011, 30(10): 1739-1752.
- [7] 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 H, PAN Z X, YAN L B, et al. Research on red layer and danxia landscape at China and abroad [J]. Journal of Geography, 2013, 68(9): 1170-1181.
- [8] 潘志新,彭华.国内外红层分布及其地貌发育的对比研究[J].地理科学,2015,35(12):1575-1584.
PAN Z X, PENG H. Comparative study on the distribution of red layers and its geomorphological development at China and abroad [J]. Geographical Sciences, 2015, 35(12): 1575-1584.
- [9] 李文灏,陈留勤,郭福生,等.江西龙虎山地区红层沉积相分析及与丹霞地貌发育关系研究——以仙人城景区为例[J].地质力学学报,2018,24(4):522-532.
LI W H, CHEN L Q, GUO F S, et al. Analysis of red layer deposits and research on the development of danxia landscape in Longhu Mountain area, Jiangxi Province: Take Xianren City scenic spot as an example [J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24(4): 522-532.
- [10] 刘鑫,郭福生,陈留勤,等.红层盆地岩性差异对丹霞地貌发育的控制[J].山地学报,2019,37(2):214-221.
LIU X, GUO F S, CHEN L Q, et al. Control of danxia landscape development by lithology difference in the Red Formation Basin [J]. Journal of Mountain Studies, 2019, 37(2): 214-221.
- [11] 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 Y B. Study on danxia landscape in Xinjiang Basin, Jiangxi Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.
- [12] 刘江龙. 中国东南部丹霞地貌形成机理及其地学效应研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- LIU J L. Study on the formation mechanism and geological effects of danxia landscape in southeast China [D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [13] 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 J, CHEN Z J, QI D L. Distribution of danxia landscape in China (Part 1)[J]. Journal of Mountain Studies, 2015, 33 (4): 385-396.
- [14] 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 J, CHEN Z J, QI D L. Distribution of danxia landscape in China (Part 2)[J]. Journal of Mountain Studies, 2015, 33 (6): 649-673.
- [15] 汪震. 江西省丹霞地貌特征及成景因素研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2020.
- WANG Z. Study on danxia landscape characteristics and landscape factors in Jiangxi Province [D]. Nanchang: East China University of Technology, 2020.
- [16] 汪震, 姜勇彪. 江西宜黄盆地丹霞地貌特征分析[J]. 山地学报, 2019, 37(6): 839-847, 942.
- WANG Z, JIANG Y B. Analysis of danxia landscape Characteristics in Yihuang Basin, Jiangxi Province[J]. Journal of Mountain Studies, 2019, 37 (6): 839-847, 942.
- [17] 陈留勤, 占义勇, 潘志新, 等. 江西赣州石城国家地质公园丹霞地貌特征及旅游开发[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 387-395.
- CHEN L Q, ZHAN Y Y, PAN Z X, et al. Danxia landscape features and tourism development in Shicheng National Geopark, Ganzhou, Jiangxi Province[J]. East China Geology, 2020, 41 (4): 387-395.
- [18] 陈留勤, 郭福生, 邵崇建, 等. 江西省丹霞地貌特征及其控制因素探讨[J]. 地质学报, 2022, 96(11): 1-15.
- CHEN L Q, GUO F S, SHAO C J, et al. Discussion on danxia landscape characteristics and its controlling factors in Jiangxi Province[J]. Journal of Geology, 2022, 96(11): 1-15.
- [19] 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 F S, JIANG Y B, HU Z H, et al. Features and evolution of danxia landscape in Longhu mountain global geopark[J]. Journal of Mountain Studies, 2011, 29 (2): 195-201.
- [20] 陈留勤, 郭福生, 杨庆坤, 等. 江西永丰—崇仁盆地晚白垩世沉积体及其演化模式[J]. 山地学报, 2015, 33(4): 416-424.
- CHEN L Q, GUO F S, YANG Q K, et al. Late Cretaceous sedimentary bodies and their evolution patterns in Yongfeng-Chongren Basin, Jiangxi Province [J]. Journal of Mountain Studies, 2015, 33 (4): 416-424.
- [21] 刘丹, 罗勇, 杨庆坤, 等. 江西南城醉仙湖河口组地层沉积特征及景观成因分析[J]. 山地学报, 2018, 36(2): 239-247.
- LIU D, LUO Y, YANG Q K, et al. Analysis of stratigraphic deposition characteristics and landscape genesis of Zuixianhu Estuary Formation, Nancheng, Jiangxi Province[J]. Journal of Mountain Studies, 2018, 36 (2): 239-247.
- [22] 陈姗姗, 姜勇彪. 江西会昌盆地红层及其地貌发育研究[J]. 能源研究与管理, 2015, 5(1): 45-49, 74.
- CHEN S S, JIANG Y B. Research on the red formation and its landform in Huichang Basin, Jiangxi Province [J]. Energy Research and Management, 2015, 5(1): 45-49, 74.
- [23] 李蓉. 武夷山脉西侧丹霞地貌的空间分异规律研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2022.
- LI R. Spatial differentiation law of danxia landscape on the western side of Wuyi Mountain vein[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2022.
- [24] 刘霞, 张炜强, 黎广荣, 等. 江西抚州灵谷峰旅游资源特征与保护开发对策[J]. 华东地质, 2021, 42(1): 55-65.
- LIU X, ZHANG W Q, LI G R, et al. Characteristics and protection and development counter-measures of tourism resources of Linggu Peak in Fuzhou, Jiangxi Province[J]. East China Geology, 2021, 42 (1): 55-65.
- [25] LI J H, ZHANG Y Q, DONG S W, et al. Cretaceous tectonic evolution of South China: A preliminary synthesis[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 134: 98-136.
- [26] STRAHLER A N. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography[J]. Geological Society of America Bulletin, 1952, 63: 1117-1142.
- [27] DAVIS W M. Penplains and the geographical cycle[J]. Geological Society of America Bulletin, 1922, 33(3): 587-598.
- [28] 姜勇彪, 吴志春, 郭福生, 等. 江西石城县通天寨龟裂凸包景观成因初探[J]. 东华理工大学学报(社会科学

- 版), 2013, 32(3): 213-220.
- JIANG Y B, WU Z C, GUO F S, et al. Preliminary study of the landscape of Tongtian Village, Shicheng County, Jiangxi Province[J]. Journal of East China University of Technology (Social Science Edition), 2013, 32(3): 213-220.
- [29] 占岗乐, 吴火星. 江西南城小竺萤石矿成矿作用及找矿方向[J]. 华东地质, 2021, 42(3): 302-309.
- ZHAN G L, WU H X. Mineralization and prospecting direction of xiaozhu fluorite ore in Nancheng, Jiangxi province[J]. East China Geology, 2021, 42(3): 302-309.
- [30] 陈同刚, 朱将波, 汪启年, 等. 江西宁都丹霞地貌地质特征及成因分析[J]. 华东地质, 2019, 40(1): 27-34.
- CHEN T G, ZHU J B, WANG Q N, et al. Analysis on the geological characteristics of danxia landscape in Ningdu, Jiangxi Province[J]. East China Geology, 2019, 40(1): 27-34.
- [31] 郭国林, 郭福生, 杨志, 等. 江西省宁都翠微峰丹霞地貌特征与旅游开发[J]. 经济地理, 2006, 26(2): 115-119.
- GUO G L, GUO F S, YANG Z, et al. Landscape characteristics and tourism development of Cuiweifeng Danxia in Ningdu, Jiangxi Province[J]. Economic Geography, 2006, 26(2): 115-119.

Features and genesis analysis of Danxia landscape in the northwest foothills of the Wuyi Mountains

LI Xiaoning, JIANG Yongbiao, WANG Panpan

(School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

Abstract: Intense faulting tectonic activity occurred in the Cretaceous to Paleogene period in the northwest foothills area of the Wuyi Mountains, forming a series of red-faulted basins along the regional fracture zones and depositing a set of red terrestrial clastic rocks, which include Xinjiang, Nancheng, Nanfeng, Ningdu, Shicheng, Ruijin and Huichang basins distributed from the north-east to the south-west. These basins are obviously controlled by NNE-oriented faults, and all of them are small fracture basins except for the slightly larger Xinjiang basin in the north. With the swell of the South China region since the Cenozoic, the red strata in the basin was uplifted, and numerous Danxia landscapes were formed under the geological effects of internal and external dynamics such as tectonics and rivers. Due to the differences of the lithology, tectonics and river erosion intensity of the red strata, diverse forms of Danxia landscapes have been formed in different basins and undergone various evolutionary stages. Field geological and geomorphological investigation and comparative studies show that the Danxia landscapes in the area can be divided into six types according to morphological features: peaks, steep cliffs, collapse bodies, canyons, caves and others. Indicated by the area elevation integration and multi-level buffer zone analysis, the evolution of Danxia landscapes in this area show a trend of getting younger from north-east to south-west, and its genesis is correlated with the spatial differences under the conditions of red strata, fault activities and river development, which together constitute the formation system of Danxia landscapes in the northwest foothills of the Wuyi Mountains.

Key words: Wuyi mountains; Danxia landscape; genesis analysis; fault activities