

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

李文灏^{1,2}, 陈留勤^{1,2}, 郭福生², 李鹏程², 王宇佳², 李馨敏²

(1. 东华理工大学省部共建核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013;

2. 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 江西龙虎山地区以发育老年期丹霞地貌为特色, 其成景地层为晚白垩世河口组红层, 目前对这套红层的沉积相认识程度还比较低。龙虎山仙人城景区河口组出露厚度达百余米, 沉积构造发育, 且人工开凿的台阶可以直达山顶, 这为沉积相分析提供了便利条件。根据野外露头岩性组成、沉积构造等特点, 识别出6种岩相单元: 无沉积构造砾岩、正粒序层理砾岩、逆粒序层理砾岩、平行层理砾岩、含砾砂岩、古土壤。砾石统计结果表明, 砾石粒径范围主要为3~4 cm, 最大可达12.5 cm, 成分以紫红色凝灰岩为主, 砂岩、花岗岩和石英次之、变质岩(主要是片岩)较少, 磨圆度主要为次棱角状, 其次为棱角状。在显微镜下, 砂岩碎屑颗粒主要呈棱角一次棱角状, 分选性较差, 粒径为0.05~2.00 mm, 主要由石英、长石和岩屑组成, 总体具有结构和成分成熟度中等偏低的特点。野外露头宏观和室内显微分析结果表明, 仙人城丹霞地貌的成景地层为河流主导的冲积扇沉积体系的产物。在龙虎山地区, 丹霞地貌的空间分布与盆地冲积扇沉积相的平面展布具有较好的一致性, 盆地边缘冲积扇成因的厚层砾岩为后期丹霞地貌的形成和演化提供了物质基础。

关键词: 沉积相; 冲积扇; 丹霞地貌; 河口组; 龙虎山世界地质公园

中图分类号: P66

文献标识码: A

FACIES ANALYSIS OF RED BEDS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE DEVELOPMENT OF DANXIA LANDFORM IN LONGHUSHAN AREA OF JIANGXI PROVINCE: AN EXAMPLE FROM XIANRENCHENG SCENIC SPOT

LI Wenhao^{1,2}, CHEN Liuqin^{1,2}, GUO Fusheng², LI Pengcheng², WANG Yujia², LI Xinmin²

(1. State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China

University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China;

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

Abstract: Longhushan area is characterized by late-staged Danxia landforms with Late Cretaceous red

基金项目: 国家自然科学基金项目(41602113, 41772197); 东华理工大学省部共建核资源与环境国家重点实验室开放基金(NRE1605)

作者简介: 李文灏(1994-), 男, 在读硕士, 研究方向为沉积学和丹霞地貌。E-mail: lwh20120606@163.com

通讯作者: 陈留勤(1983-), 男, 博士, 副教授, 沉积学专业。E-mail: liuqinchen@163.com

收稿日期: 2017-10-24; 修回日期: 2018-03-13

吴芳编辑

beds of Hekou Formation as the scenery layer. Little is known about depositional facies of these redbeds. The outcrop of the Hekou Formation is more than 100 meters thick with abundant sedimentary structures. The man-made stone steps from the bottom to the top of the hill are favourable for performing detailed observation and measurement for facies analysis in Xianrencheng Scenic Spot in Longhushan area. Six lithofacies units are recognized based on the characteristics of lithology and sedimentary structures: structureless conglomerate, normal bedding conglomerate, inverse bedding conglomerate, parallel bedding conglomerate, pebbly sandstone, and paleosol. Pebble counting results show that gravels dominantly range from 3 cm to 4 cm with the largest one of 12.5 cm in diameter, and they are mainly composed of purple tuffs, followed by sandstones, granites, quartzite and minor amounts of metamorphic rocks (mainly schists). The roundness is mainly subangular, followed by angular. Under a microscope, the detrital grains of the interbedded sandstone samples are mainly angular to subangular, poorly sorted, 0.05 ~ 2.00 mm, composed of quartz, feldspar and rock fragments. Overall, the sandstone samples are featured by moderate to low textural and compositional maturities. Both the field macroscopic observation and microscopic analysis indicate that the redbeds were deposited by alluvial fan systems. Moreover, the spatial distribution of Danxia landforms and plane distribution of alluvial fan facies have good consistency. In particular, the coarse-grained sedimentary succession of alluvial fan facies along the basin margin provided the fundamental bedrock for the formation and development of Danxia landforms.

Key words: depositional facies; Alluvial fan; Danxia landform; Hekou Formation; Longhushan Global Geopark

0 引言

丹霞地貌是指以陡崖坡为特征的红层地貌^[1]。近年来,在丹霞地貌概念体系^[2]、空间分布^[3-4]及国际对比^[5]方面取得了重要进展。在中国东南地区,丹霞地貌的成景地层岩性主要为白垩纪陆相红色碎屑岩^[6-7]。龙虎山地区位于赣东北信江盆地西南缘,晚白垩世圭峰群河口组红层在构造抬升和风化侵蚀以后形成以孤峰、峰林、峡谷、残丘等为特色的丹霞地貌景观,是我国壮年晚期—老年早期丹霞地貌的典型代表^[8]。龙虎山2008年被评选为世界地质公园,2010年8月与广东丹霞山、浙江江郎山、福建泰宁、湖南崀山、贵州赤水等申报的“中国丹霞”被列入《世界遗产名录》。自二十世纪七、八十年代以来,在信江盆地开展了区域地质调查工作,获得了许多有关地质构造^[9]、古生物地层^[10]、沉积岩石特征^[11]、丹霞地貌特征^[12]等方面的基础资料,为红层与丹霞地貌的深入研究奠定了良好的基础。但是,目前对龙虎山地区丹霞地貌成景地层沉积相的研究程度还比较低,对盆地沉积相分布和丹霞地貌发育的关系研究还不够深入。

仙人城景区位于龙虎山世界地质公园的核心位置,红层出露连续,沉积构造丰富,人工修建的台阶从山脚直达山顶,这为详细实测红层沉积特征提供了便利条件。通过对仙人城景区野外露头观察、砾岩砾石统计,以及室内砂岩样品薄片进行分析,文章详细划分、描述了岩相单元,对沉积环境进行解释,并研究了红层盆地沉积相分布与丹霞地貌发育的关系。

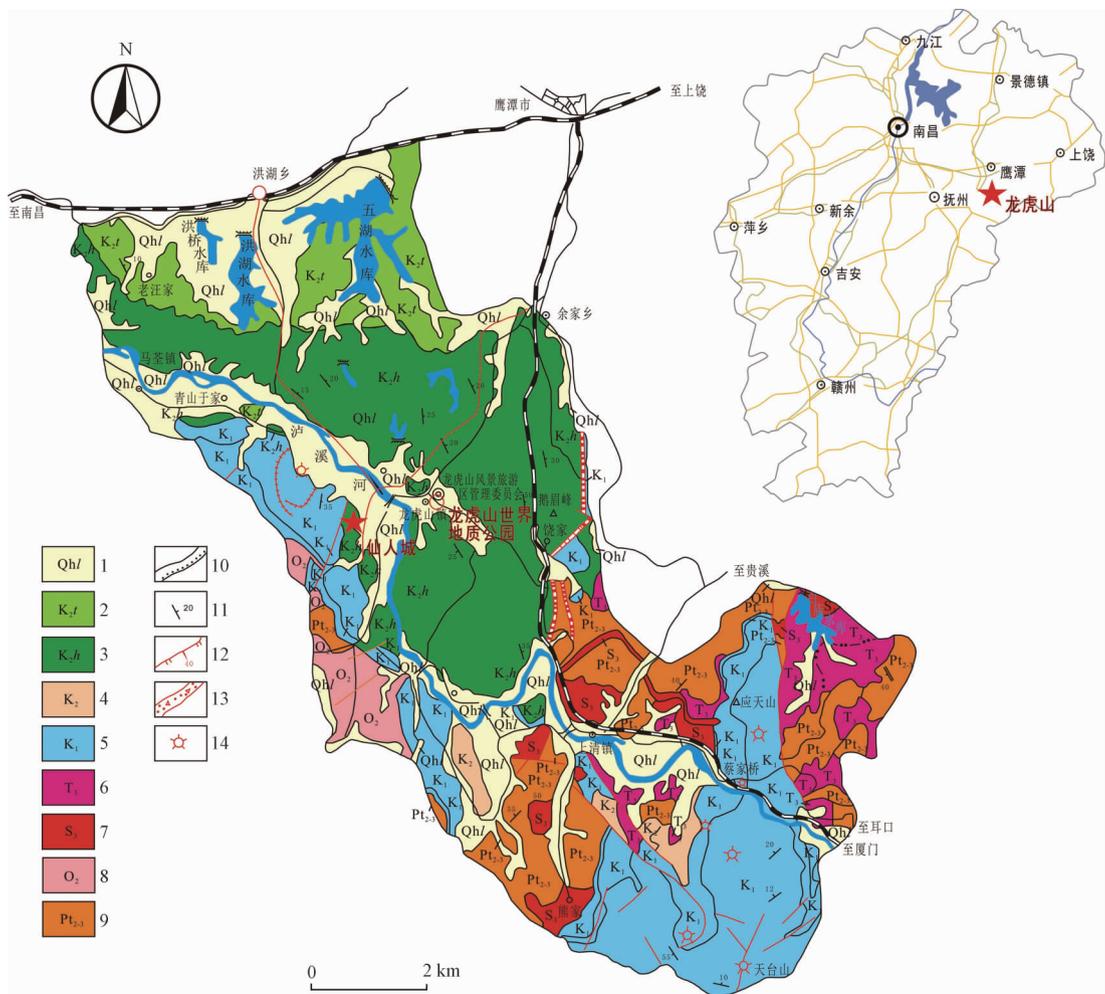
1 区域地质概况

江西信江盆地位于中国大陆东南部武夷山脉和怀玉山脉之间,大地构造处于扬子板块和华夏板块接合部,中生代以来经历了由裂陷盆地到断陷盆地的演化历程,沉积了一套“下灰上红”的陆相碎屑岩夹火山岩系地层^[13]。信江盆地是中国东南地区众多晚中生代陆相断陷盆地之一,其中充填的上白垩统圭峰群是丹霞地貌的主要成景地层,为一套红色陆相沉积环境的产物^[14]。

龙虎山仙人城景区位于信江盆地西南缘(见图1),地理坐标为东经116°57'22",北纬28°15'11",地处江西省鹰潭市贵溪市龙虎山镇,屹立于泸溪河西岸,海拔244 m,相对高度约180 m。因

流水长期沿近东西、北北西向断层、节理冲蚀，导致原始山体被切割分离形成石寨。仙人城景区

山顶平缓，近于圆形，面积约 5000 m²，四面岩壁陡峭。



- 1—第四纪联圩组；2—塘边组含砾细砂岩；3—河口组砾岩和砂岩；4—晚白垩世凝灰岩和花岗岩；5—早白垩世凝灰岩、含砾砂岩和变质砂岩；6—晚三叠世花岗岩；7—晚志留世花岗岩；8—中奥陶世花岗岩；9—中-新元古代片岩；10—整合界线及不整合界线；11—地层产状；12—正断层；13—硅化破碎带；14—火山口。

图 1 江西龙虎山世界地质公园地质图

Fig. 1 Geological map of the Longhushan Global Geopark in Jiangxi Province

2 研究方法

在龙虎山仙人城景区选择出露良好的河口组红层剖面进行实测，逐层观测每层的厚度、岩性和沉积构造，并采集砂岩夹层样品，绘制出地层岩性柱状图，在柱状图上划分岩相单元。针对砾岩地层，在测量层厚的同时，选择 10 个最大砾石测量其粒径，做出砾岩层厚度 (BTh)—砾石最大粒径 (MPS) 交汇图，判断沉积流体机制^[15-16]。另外，还选择了 2 处出露良好的砾岩露头进行砾石统计。在每个砾石统计位置，测量 200 个砾石的长

轴 (a)、中轴 (b)、短轴 (c) 的长度，观察岩性、判断磨圆度 (P) 和风化程度。将这些数据记录在设定的表格当中。砾石统计和分析方法与陈留勤等^[17-19]相似。将采集到的 9 块砂岩样品磨制成薄片，通过显微镜进行显微结构观察和粒度分析，用于沉积环境的判别。

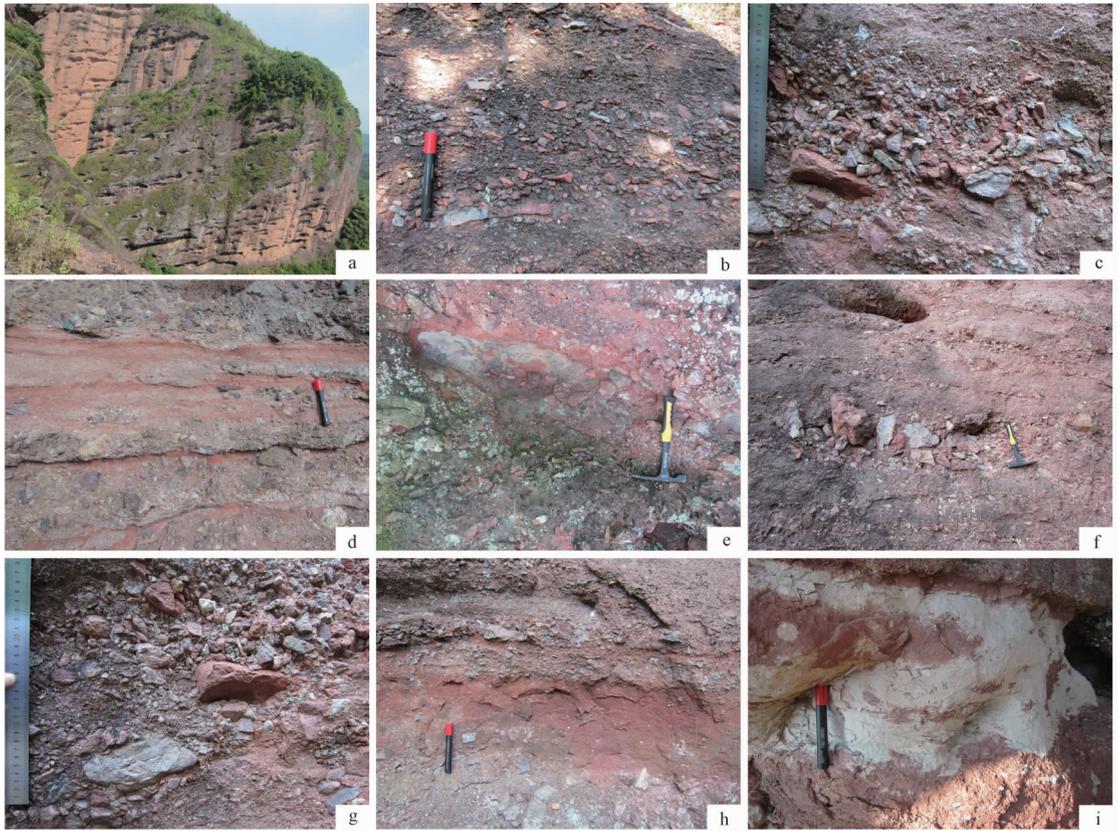
3 研究结果

3.1 丹霞地貌与红层岩性特征

龙虎山仙人城地区的丹霞单体地貌类型包括丹霞崖壁、方山、石墙、石峰、石柱和丹霞洞穴

(见图 2a)、丹霞沟谷及奇绝罕见的象形丹霞等。群体地貌类型以侵蚀残余的平顶型和圆顶型峰丛、

峰林与孤峰残丘并存为特色,其中排衙峰以大型峰墙—峰丛型丹霞地貌为特点。



a—陡峭的崖壁及其上发育的层控洞穴; b—侵蚀冲刷刷底界面及叠瓦状构造; c—正粒序层理砾岩; d—平行层理砾岩; e—具有河谷形态充填的砾岩; f—聚集状砾岩(筛状沉积),呈透镜体状产出; g—颗粒支撑的砾岩,含有较大的棱角状砾石; h—砾岩中的砂岩夹层; i—古土壤

图2 河口组岩石特征露头照片

Fig. 2 Outcrop pictures of the Hekou Formation

丹霞地貌区的山顶植被茂密,风化严重,但其陡崖壁上岩石的结构和构造却清晰可见(见图2)。红层底冲刷面、粒序层理、叠瓦状构造、筛状沉积等比较发育,为岩相的划分和解释提供了重要依据。根据颜色、粒度、沉积构造等变化,将实测红层划分为114层。仙人城景区属于圭峰群河口组地层,河口组主要发育砾岩,夹含砾砂岩或含有钙质结核的古土壤(见图2)。在实测剖面上,砾岩层厚度在横向上通常不稳定,其底部大多出露明显的冲刷侵蚀底界面(见图2b),顶界面一般是与下一个岩相单元的突变接触面。通常在一些砾岩层中,砾石大小显示为下部逆粒序而上部正粒序的组合(见图2c、图3第②层和⑫层),也可见发育平行层理的砾岩(见图2d)。砾石发育叠瓦状构造,可见由粒径较大的砾石组成的透镜体,具有河谷形态充填的砾岩(见图2e、图3第

⑬层)。另外,还可见聚集状产出的砾岩(见图2f)。

砾岩类型主要为粗—中砾岩,夹含砾砂岩。砾石大小变化较大,主要为棱角状至次棱角状,磨圆度较差,含有较大的棱角状砾石(见图2g、图3第⑭层)。有些扁平状的砾石近似平行于层面分布,也可见较大粒径的砾石呈“漂浮状”产出,粒径达11.5 cm(见图3第⑨和⑩层)。在砾岩层中常夹砂岩层(见图2h),有些泥质岩层含有钙质结核、遗迹化石等,为经历成壤作用形成的古土壤(见图2i、图3第⑳层)。在靠近山顶的部位,可见近平行排列的大型天然洞穴(见图2a)。

BTh (单层厚度)可反映流体的黏滞性, MPS (最大砾石粒径)可反映流体的载荷能力。在Excel表格中根据二者的实测数据进行 $MPS—BTh$ 投图(见图3),可见二者之间相关性较差,说明

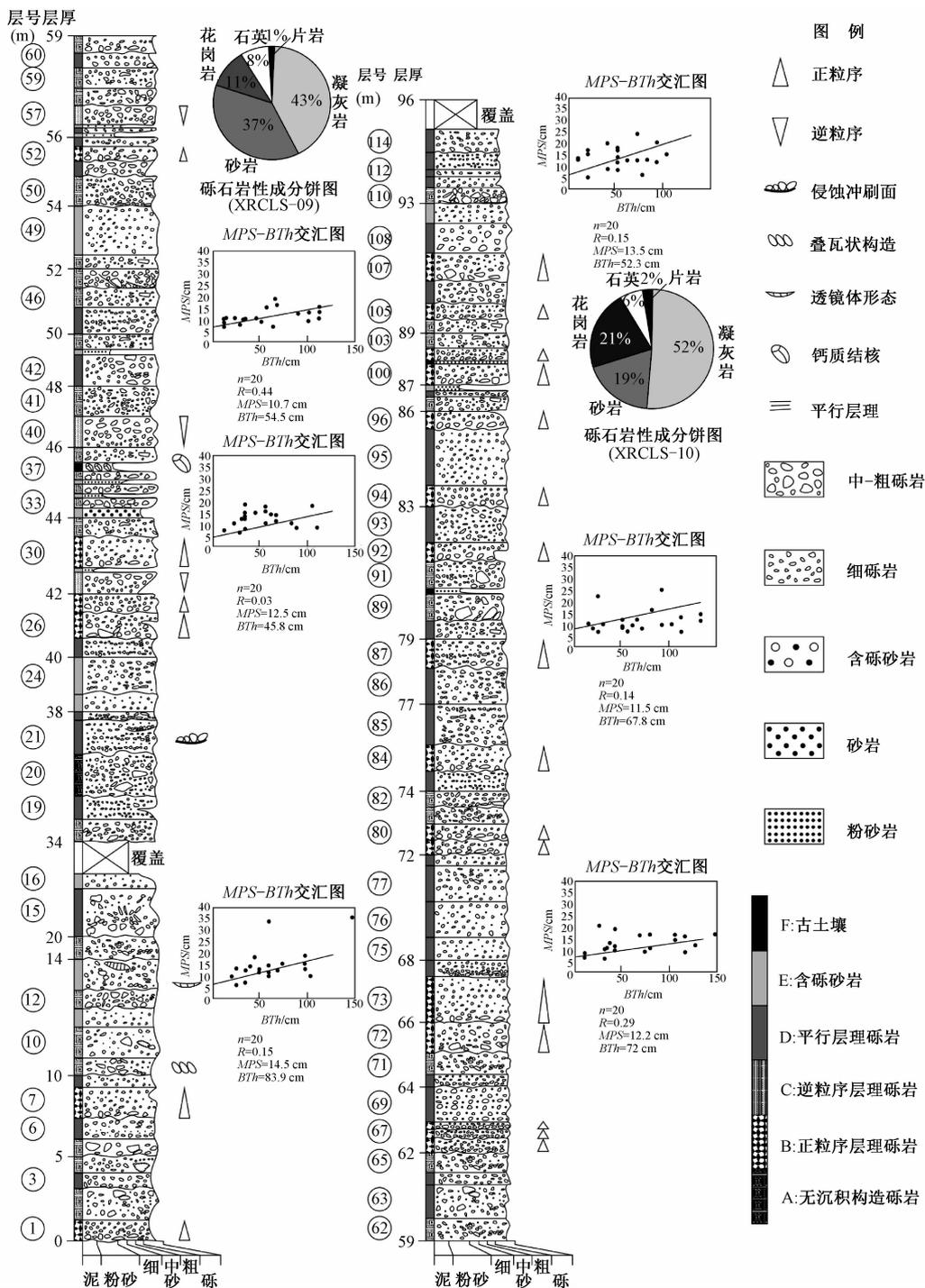


图3 河口组红层实测地层柱状图

Fig. 3 Stratigraphic column of redbeds of the Hekou Formation

研究区红层沉积物主要是河流搬运的^[15-16]。

3.2 砾石统计和分析

根据龙虎山仙人城景区2处砾岩露头XRCLS-09和XRCLS-10共400个砾石的统计结果，记录了每个砾石的颗粒大小，磨圆度和风化程度。通过测量研究区砾石的长轴(a)、中轴(b)的长度判定砾石大小，砾石粒径一般为3~4cm，最大者可

达12.5cm，可知出露的砾岩为粗—中砾岩，细砾岩次之(见图4)。

磨圆度(P)是根据野外赋值求和，再与全部为圆状时的和值相比计算求得，以百分数表示(见表1)。磨圆度主要集中于次棱角状(B)，占45%，其次为棱角状(A)，占37.5%，处于次圆状(C)区域的较少，为17.5%。风化程度的划分

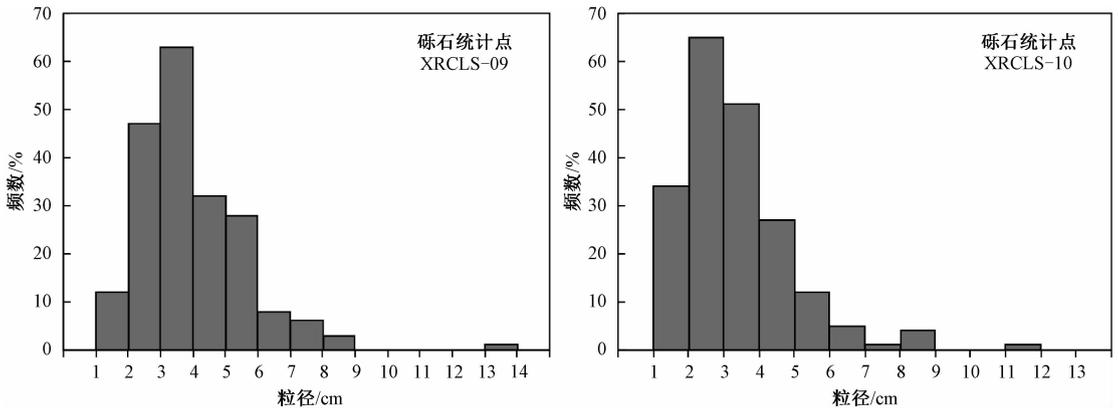


图4 河口组砾石粒径频率曲线图

Fig. 4 Frequency curves of gravel sizes of the Hekou Formation

表1 研究区砾石岩性和圆度统计结果

Table 1 Statistics of gravel lithology and roundness in the study area

岩性	磨圆度/%			合计 /%
	棱角状 (A)	次棱角状 (B)	次圆状 (C)	
紫红色凝灰岩	21	20	6	47
砖红色砂岩	2	8	2.5	12.5
灰白色砂岩	6	5	0.5	11.5
灰绿色砂岩	0.5	1.5	2	4
石英	6	5.5	1.5	13
脉石英	0.5	1.5	1	3
片岩	0	1	0.5	1.5
花岗岩	1.5	2.5	3.5	7.5
总计	37.5	45	17.5	100

与磨圆度相似, 风化程度根据野外肉眼观察和判断, 将岩石风化程度分为4个等级, 并分别赋值(未风化为1, 弱风化为2, 强风化为3, 全风化为4), 其中1级为10%, 2级为0.5%, 3级为89.5%, 可得出仙人城景区出露岩石风化程度为3级强风化。砾石岩性包括凝灰岩、砂岩、石英、花岗岩和少量片岩。成分以紫红色凝灰岩为主, 平均含量达到47%; 砂岩、酸性岩浆岩(花岗岩)和石英次之, 分别为29%、16%和7%; 变质岩(主要是片岩)较少, 仅占1%(见图3)。整体岩层呈现红色。

3.3 砂岩碎屑组成与粒度分析

在显微镜下, 对9个砂岩薄片的显微结构进行观察, 发现碎屑颗粒主要由石英、长石、岩屑组成。其结构为颗粒支撑结构。颗粒主要呈棱角一次棱角状, 分选性较差, 粒径为0.05~2.00 mm, 主要由石英组成。杂基含量为4~29%, 胶结物含量为10~18%。石英可分为多晶石英(见图5a)和单晶石英(见图5b)。长石主要为钾长石(见图

5c), 斜长石发育聚片双晶。岩屑包括凝灰岩、泥岩、脉石英及少量的变质岩。胶结物以钙质(见图5d)为主。在杂基中含有 Fe^{3+} 矿物, 使岩石总体呈红色。根据薄片鉴定结果, 主要碎屑组分为:

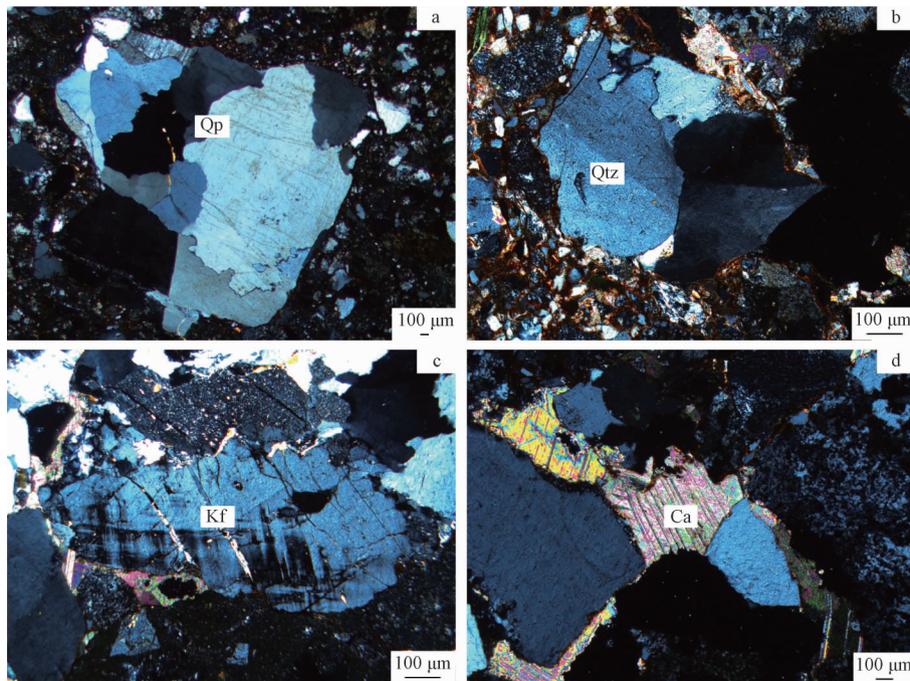
(1) 石英粒径为0.05~1.7 mm, 棱角一次棱角状, 单晶石英多无色, 表面有压裂痕迹, 溶蚀现象, 均匀消光, 含量约为47%; 可见多晶石英, 含量约为41%~46%, 可知石英来自酸性岩浆岩。石英总含量为72%~88%。

(2) 长石粒径为0.04~1.6 mm, 长石一般为次棱角状, 时而出现不规则的柱状。可见聚片双晶的斜长石, 格子双晶的微斜长石, 卡式双晶的钾长石, 含量1%。

(3) 岩屑有喷出岩约占10%, 燧石含量约占2%, 千枚岩约占3%, 片岩约占3%, 泥岩约占3%, 脉石英约占2%, 页岩约占2%; 其他矿物碎屑有云母等, 含量约为1%。

根据碎屑颗粒统计结果进行投图, 显示采集的样品为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩(见图6)。

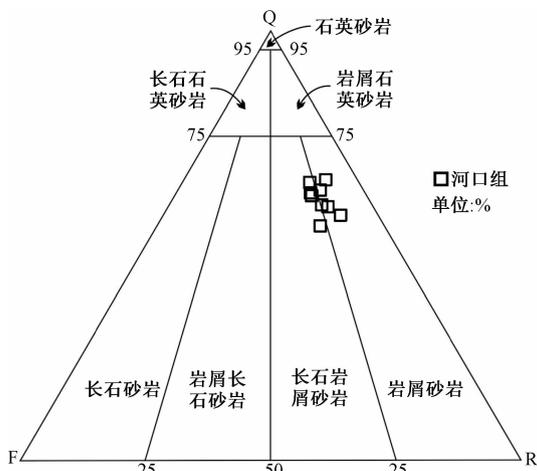
另外, 为了完成砂岩粒度分析, 在每个薄片测量至少300个颗粒的粒径, 进行统计分析, 制作累积频率曲线图(见图7a)和频率曲线图(见图7b)。可以看出, 采集样品的碎屑物质的平均粒径在 $2.54 \sim 4.52\phi$ 之间, 可知该研究区砂岩岩性主要为细砂岩。样品累积频率曲线均较为陡峭, 由此可以判断样品碎屑颗粒分选良好。样品频率曲线图中, 除XRCZr-5(2)(图7bIV)、XRCZr-5(3)(图7bV)、XRCZr-6(1)(图7bVI)、XRCZr-7(1)(图7bVIII)和XRCZr-7(2)(图7bIX)有两个峰以外, 其余样品均为单峰, 反映沉积物来源不均一。



Qp—多晶石英；Qtz—单晶石英；Kf—钾长石；Ca—钙质胶结

图 5 河口组砂岩显微镜下特征

Fig. 5 Microscopic features of sandstone samples from the Hekou Formation



Q—石英总量；F—长石总量；R—岩屑总量

图 6 河口组砂岩成分 QFR 图解

Fig. 6 QFR diagrams of sandstone detrital compositions from the Hekou Formation

3.4 岩相划分和解释

在仙人城景区河口组红层中识别出 6 种岩相单元（见表 2）。

3.4.1 岩相 A：无沉积构造砾岩

岩相 A 最明显的特点就是不发育沉积构造，但是其底界面大多仍为可辨识的冲刷面构造。岩相 A 发育在第⑧、⑫层（见图 3）等。颗粒支撑至杂基支撑结构。砾石大小主要为粗—中砾级别，呈紫红色，厚层—块状，混杂堆积，分选性较差。砾石主要呈次棱角状，其次为棱角状，处于次圆状区域的较少。粒径一般为 3~4 cm，最大者可达 12.5 cm。

砾岩不发育粒序层理构造，一般认为是具有高剪切应力或高粘性沉积物的结果，因此不会产生有效的颗粒相互作用^[16]。

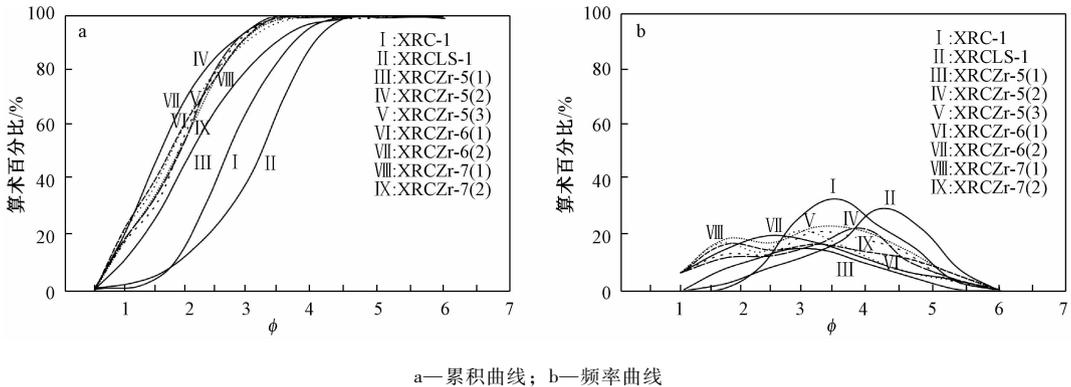
3.4.2 岩相 B：正粒序层理砾岩

正粒序层理构造在仙人城最为常见，比如第①

表 2 河口组红层岩相划分

Table 2 Lithofacies classification of the redbeds of the Hekou Formation

序号	岩相	特征	沉积构造	解释
A	无沉积构造砾岩	砾石支撑、杂基支撑、块状	无粒序层理	沉积物高剪切应力或高粘性作用，沉积速率快，沉积物来不及分选
B	正粒序层理砾岩	杂基支撑	正粒序层理	洪泛水流能量逐渐降低
C	逆粒序层理砾岩	砾石支撑	逆粒序层理	高密度流体在流动过程中，颗粒的分散和上举作用
D	平行层理砾岩	砾石支撑、成层性差	平行层理	高能水流条件下的河道迁移
E	含砾砂岩	细到粗、可含砾石	板状交错层理	直脊沙纹迁移（侧向加积）
F	古土壤	钙质结核、遗迹化石	土壤特征	地表氧化环境中的经成壤作用



样品I—XRC-1; 样品II—XRCLS-1; 样品III—XRCZr-5(1); 样品IV—XRCZr-5(2); 样品V—XRCZr-5(3);
样品VI—XRCZr-6(1); 样品VII—XRCZr-6(2); 样品VIII—XRCZr-7(1); 样品IX—XRCZr-7(2)

图7 河口组砂岩样品粒度分析图

Fig. 7 Grain size diagrams of sandstone samples from the Hekou Formation

层、⑦层、第②⑦层、③⑦层(见图2h、图3)。其特征表现为粗—中砾石分布在底部侵蚀冲刷界面上,向上砾石直径变小。其顶界面通常为下一个正粒序层理砾岩层的底界面。因此,这种岩相的顶部通常被削截,所保存的厚度小于沉积时期的原始厚度。多个正粒序层理构造可以在垂向上叠置产出。

每个正粒序层理砾岩层可以认为代表了一次洪水泛滥事件。随着水流能量的降低,最大(最重)的砾石先沉积于底部侵蚀界面之上,然后细粒部分再发生沉积。因而,剖面上观察到的多个正粒序层理构造的叠置则反映了在相对稳定构造背景下,由于强烈降水事件引发的河流作用在冲积扇朵叶上的沉积过程^[20]。

3.4.3 岩相C: 逆粒序层理砾岩

岩相C在研究区也比较常见。在有些情况下,在一层砾岩的底部发育厚度10~20 cm的逆粒序层理,然后向上变化为正粒序层理。第②⑨层,第④⑩层和第⑤⑦层可见出露三段呈逆粒序分布的厚层砾岩,块状构造,砾石支撑,总计厚达2.5 m(见图3)。

发育逆粒序层理构造的砾岩一般在颗粒流或河流沉积物中比较常见。粒度自下而上变粗的特点可能是由于高密度流体在流动过程中颗粒的分散和上举作用,导致较大的砾石向层位上部发生位移^[21]。逆粒序层理构造也有可能由于顺流分选作用,导致细粒物质先发生沉积^[22]。

3.4.4 岩相D: 平行层理砾岩

在实测地层柱状图中(见图3),可见大量的平行层理砾岩,是在较强的水动力条件下,由平坦的河道迁移,连续滚动的砾石产生粗细分离而显出的水平细层,沿层理面易剥开,在剥开面可

见到剥离线理构造。平行层理一般出现在急流和高能沉积环境,如河流环境中,常与板状交错层理、冲刷侵蚀面(见图3第②⑩层)相伴生。

3.4.5 岩相E: 含砾砂岩

在仙人城景区出露了几段厚度共达2 m的砂岩层,其碎屑颗粒主要是石英,含部分长石,胶结物主要为铁质和钙质。底部颗粒较粗,由下至上由粗变细,有时发育水平层理(见图2D)。在研究区最常见的是含砾砂岩,所含砾石颗粒大小由细到粗,沉积构造包括水平层理与板状交错层理,可见呈透镜体或透层状形态的砾石(见图3第⑬层),顶界面常为被上覆砾岩侵蚀而成的岩相突变面。

在研究剖面上,含砾砂岩通常作为发育正粒序层理构造砾岩的顶部单元,或者呈现砾岩之间的夹层形式产出,也可以由其自身构成粒序层理。一般情况下,岩相E常呈透镜层状,顶部经常可见侵蚀的痕迹。

3.4.6 岩相F: 古土壤

从图3中的第③⑦层、第⑨⑩层和第⑩⑩层,可观察到厚度约30 cm的古土壤,古土壤鉴别特征包括钙质结核、浅灰色圆形斑点、土壤滑擦面、生物遗迹化石(见图2i)。

古土壤是古代沉积地层中的土壤,是在较为稳定的构造背景下发生暴露,在与大气接触下经成壤作用形成的。研究区古土壤的出现,不仅代表了沉积间断,同时也指示红层沉积时期为干旱、氧化的地表沉积环境。实际上,在中国东南地区晚白垩世的这一套红层中古土壤是广泛发育的,反映了在较大范围内的地表干旱氧化条件^[23]。

4 沉积相分布对丹霞地貌发育的控制

4.1 仙人城红层沉积环境

构成龙虎山仙人城景区丹霞地貌的地层为河口组红色砾岩为主的地层,夹砂岩及古土壤,它们是发育在盆地边缘的冲积扇沉积体系的产物。红层中的砾岩主要由粗—中粒的砾石组成,砾石大小不一,粒径一般为3~4 cm,少数砾石最大粒径达11~14 cm。砾石长轴粒径最大者达12.5 cm,粒径小于10 cm者为棱角—次棱角状,粒径大于15 cm常呈次圆状,砾石间由大量的砂级颗粒充填。砾岩层之间夹有含砾砂岩,分选差,多为杂基支撑,沉积构造不明显,底面常见强烈冲刷侵蚀面。特别是那些侵蚀底界面及其上覆的发育正粒序层理构造的砾岩代表了冲积扇上的河流作用。

在山前位置,由于断层活动形成足够的可容纳空间,为冲积扇厚层粗粒沉积物堆积提供了空间,导致实测剖面上多层砾岩的叠加,且形成的砾岩砾石粗大,磨圆度和分选性较差,砾岩堆积厚度大。而在冲积扇远端位置,发育泛滥平原、干盐湖等沉积环境,发育沉积细粒沉积物,古气候干湿变化形成含有钙质结核、生物遗迹化石的古土壤层^[24]。多期次构造活动导致冲积扇向盆地方向进积,叠置在泛滥平原细粒沉积之上。正是这多期次扇体的叠加复合,盆地冲积扇砾岩为丹霞地貌提供足够的物质基础^[25]。

4.2 沉积体系与丹霞地貌发育的关系

丹霞地貌是由于地壳不断隆升,沿垂直节理或断裂发生风化剥落、流水侵蚀和崩塌后退等多种地质作用而形成的,具有“顶平、身陡、麓缓”的特征^[26]。研究区所处的信江盆地是一个陆相断陷盆地,其丹霞地貌主要产于盆地边缘的冲积扇沉积的粗碎屑岩当中^[8]。一方面是由于冲积扇沉积的红层本身厚度大,抗风化能力强,形成物质基础;另一方面,盆地边缘断层活跃,红层在构造抬升以后,在近垂直地表的断层、节理切割下,形成悬崖峭壁,构成丹霞地貌最重要的陡崖坡组成要素。而在远离盆地边缘的部位,则以细粒沉积物为主,比如在贵溪、弋阳地区分布的塘边组河流相和风成相中—细粒砂岩,由于其岩性均匀,钙质胶结物含量高,抗风化能力较弱,所以遭受

构造抬升和风化剥蚀后形成低矮的圆丘状地貌,经常被雕刻留下人文古迹。可见,在盆地范围内,岩相差异是后期丹霞地貌形成和演化的重要内在因素。

5 结论

(1) 龙虎山仙人城地区的丹霞地貌类型包括丹霞崖壁、方山、石墙、石峰、石柱和丹霞洞穴、丹霞沟谷及奇绝罕见的象形丹霞等,群体地貌类型以侵蚀残余的平顶型和圆顶型峰丛、峰林与孤峰残丘并存为特色。成景地层为晚白垩世河口组砾岩为主的红层,其中砾岩发育底冲刷侵蚀面、粒序层理和叠瓦状构造等。砾岩的砾石成分以紫红色凝灰岩为主,主要为次棱角状—棱角状,次圆状次之。

(2) 研究区丹霞地貌成景地层为河流主导的冲积扇沉积体系的产物。冲积扇扇根形成砾岩,而扇中多发育砂岩,扇远端泛滥平原以发育含砾砂岩和古土壤为特征。在盆地边缘的冲积扇沉积体系中形成的厚层砾岩和砂岩地层,被构造抬升、切割和风化作用共同塑造形成丹霞地貌。

(3) 冲积扇沉积体系中的砾岩相对质地坚硬,岩层厚度大,抗风化剥蚀能力强,而砂岩抗风化能力较弱,易被风化、流水侵蚀。在红层遭受差异风化剥蚀后,在重力作用下沿垂直节理或断层发生山体崩塌,岩石剥落,形成了不同类型的丹霞地貌。

参考文献/References

- [1] 彭华. 丹霞地貌基本理论问题回顾与探讨. “世界的丹霞” [C]. 第二届丹霞地貌国际学术讨论会论文集, 2011, 125 ~ 133.
PENG Hua. A review and discussion on the basic theoretical problems of danxia landform [C]. The Second International Symposium on Danxia Landform, 2011, 125 ~ 133. (in Chinese with English abstract)
- [2] 赵汀, 赵逊, 彭华, 等. 关于丹霞地貌概念和分类的探讨 [J]. 地球学报, 2014, 35 (3): 375 ~ 382.
ZHAO Ting, ZHAO Xun, PENG Hua, et al. A tentative discussion on the definition and classification of Danxia landform [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2014, 35 (3): 375 ~ 382. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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. (in Chinese with English abstract)
- [4] 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. Distribution of Danxia landform in China (Last) [J]. *Mountain Research*, 2015, 33 (6): 649 ~ 673. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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. (in Chinese with English abstract)
- [6] 黄进. 丹霞山地貌[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
HUANG Jin. Danxia mountain landform [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [7] 郭福生,李晓勇,姜勇彪. 龙虎山丹霞地貌与旅游开发[M]. 北京: 地质出版社, 2012.
GUO Fusheng, LI Xiaoyong, JIANG Yongbiao. Danxia landform in mount Longhushan and its tourism development [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012. (in Chinese)
- [8] 郭福生,朱志军,黄宝华,等. 江西信江盆地白垩系沉积体系及其与丹霞地貌的关系[J]. *沉积学报*, 2013, 31 (6): 954 ~ 964.
GUO Fusheng, ZHU Zhijun, HUANG Baohua, et al. Cretaceous sedimentary system and their relationship with Danxia landform in Xinjiang basin, Jiangxi [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31 (6): 954 ~ 964. (in Chinese with English abstract)
- [9] 巫建华. 赣东北白垩纪沉积相及其构造意义[J]. *华东地质学院学报*, 1994, 17 (4): 313 ~ 319.
WU Jianhua. Sedimentary facies of the Cretaceous in the Northeast of Jiangxi province and its tectonic Significance [J]. *Journal of East China Geological Institute*, 1994, 17 (4): 313 ~ 319. (in Chinese with English abstract)
- [10] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. Regional geology of Jiangxi province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984. (in Chinese)
- [11] 江新胜,潘忠习,徐金沙,等. 江西信江盆地晚白垩世风成沙丘的发现及其古风向[J]. *地质通报*, 2006, 25 (7): 833 ~ 838.
JING Xinsheng, PAN Zhongxi, XU Jinsha, et al. Late Cretaceous eolian dunes and wind directions in Xinjiang basin, Jiangxi Province, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (7): 833 ~ 838. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28 (4): 505 ~ 512. (in Chinese with English abstract)
- [13] Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the southeast China block: New insights from basin analysis [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34 (3): 376 ~ 391.
- [14] Chen L Q, Steel R J, Guo F S, et al. Alluvial fan facies of the Yongchong Basin: Implications for tectonic and paleoclimatic changes during Late Cretaceous in SE China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 134: 37 ~ 54.
- [15] Kallmeier E, Breikreuz C, Kiersnowski H, et al. Issues associated with the distinction between climatic and tectonic controls on Permian alluvial fan deposits from the Kotzen and Barnim Basins (North German Basin) [J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 223 (1 ~ 2): 15 ~ 34.
- [16] Nemec W, Steel R J. Alluvial and coastal conglomerates: Their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits [A]. Koster E H, Steel R J. *Sedimentology of Gravels and Conglomerates* [C]. Canada: Canadian Society of Petroleum Geology, 1984, 10: 1 ~ 31.
- [17] 陈留勤,郭福生,梁伟,等. 江西抚崇盆地上白垩统河口组砾石统计特征及其地质意义[J]. *现代地质*, 2013, 27 (3): 568 ~ 576.
CHEN Liuqin, GUO Fusheng, LIANG Wei, et al. Gravel fabric characteristics of the Upper Cretaceous Hekou formation in Fuzhou-Chongren Basin, Jiangxi and the geological significance [J]. *Geoscience*, 2013, 27 (3): 568 ~ 576. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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 Liuqin, GUO Fusheng, YANG Qingkun, et al. The Late Cretaceous depositional systems and evolution model of the Yongfeng-Chongren Basin in Jiangxi Province [J]. *Mountain Research*, 2015, 33 (4): 416 ~ 424. (in Chinese with English abstract)
- [19] Chen L Q, Guo F S, Tang C. Evolution of the Late Cretaceous Yongfeng-Chongren basin in Jiangxi province, southeast China: Insights from sedimentary facies analysis and pebble counting [J]. *Journal of Mountain Science*, 2016, 13 (2): 342 ~ 351.
- [20] Blair T C. Cause of dominance by sheetflood vs. debris-flow processes on two adjoining alluvial fans, Death Valley, California [J]. *Sedimentology*, 1999, 46 (6): 1015 ~ 1028.
- [21] Jullien R, Meakin P, Pavlovitch A. Three-dimensional model for particle-size segregation by shaking [J]. *Physical Review Letters*, 1992, 69 (4): 640 ~ 643.
- [22] Collinson JD, Mountney N P, Thompson D B. *Sedimentary Structures*. 3rd ed. Malta: Dunedin Academic Press Ltd, 2006.
- [23] 温昌辉,刘秀铭,吕镛,等. 江西石城盆地白垩纪地层中成壤特征及古环境分析[J]. *第四纪研究*, 2016, 36 (6): 1403 ~ 1416.

- WEN Changhui, LIU Xiuming, LV Bin, et al. The cretaceous redbeds in Shicheng Basin, Jiangxi Province: Pedogenic and paleoenvironmental characteristics [J]. Quaternary Sciences, 2016, 36 (6): 1403 ~ 1416. (in Chinese with English abstract)
- [24] Kraus M J, Woody D T, Smith J J, et al. Alluvial response to the Paleocene-Eocene Thermal Maximum climatic event, Polecat Bench, Wyoming (U. S. A.) [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2015, 435: 177 ~ 192.
- [25] Chen L Q, Guo F S. Upper Cretaceous alluvial fan deposits in the Jianglangshan Geopark of Southeast China: Implications for bedrock control on Danxia landform evolution [J]. Journal of Mountain Science, 2017, 14 (5): 926 ~ 935.
- [26] 黄进. 丹霞地貌坡面发育的一种基本方式 [J]. 热带地貌, 1982, 3 (2): 107 ~ 134.
- HUANG Jin. One of the basic development modes of slopes in "Danxia" terrain [J]. Tropical Geomorphology, 1982, 3 (2): 107 ~ 134. (in Chinese with English abstract)