

文章编号: 1008-2786-(2018)2-239-09
DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000319

江西南城醉仙湖河口组地层沉积特征及景观成因分析

刘 丹^{1,2}, 罗 勇^{2*}, 杨庆坤^{1,2}, 黄宝华², 曲宏健²

(1. 东华理工大学 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 南昌 330013; 2. 东华理工大学 地球科学学院, 南昌 330013)

摘 要: 江西南城东南部地区广泛发育上白垩统河口组巨厚红层, 丹霞丘陵地貌被翠绿的湖水分割为众多岛屿, 形成了“绿水绕红山”的独特景象, 是醉仙湖景区的主要地貌景观。关于丹霞地貌景观的成因机制, 不同区域往往主控因素也不一致。为了增强地质公园建设过程中的科普价值, 就需要对红层成岩-成景过程中的地质作用有着详细的了解。本文按控制红层成景的主导动力因素, 将研究区醉仙湖内发育的丹霞地貌详细划分为丹霞构造地貌、丹霞水蚀地貌、丹霞风蚀地貌、丹霞盐风化地貌等多种类型。通过对研究区红层的岩石学特征、沉积相带划分以及景观地貌特征等因素的分析, 笔者认为研究区成景地层主要为一套白垩系红层辫状河相砂砾岩, 为丹霞地貌的形成奠定了物质基础, 成岩期后的内外动力作用对景观成因有着重要的约束作用。

关键词: 醉仙湖; 丹霞地貌; 白垩系; 辫状河相沉积

中图分类号: K92

文献标志码: A

自 20 世纪 30 年代“丹霞地形”的概念被提出以来, 丹霞地貌引起了学者们的研究兴趣^[1]。自从“中国丹霞”被评为世界自然遗产, 前人对华南地区诸多丹霞地貌景观从地貌学、地层学、构造地质学、动力地质作用等多方面开展了研究, 取得了丰硕成果^[2-5]。然而, 为什么在同一红层盆地里, 相同的构造、动力条件下, 有的地方不能形成绝壁陡崖的丹霞地貌? 红层与丹霞地貌有着怎样的联系? 丹霞地貌的发育受哪些因素控制? 受区域内地质构造演化、成岩后气候、沉积过程中沉积环境等因素的影响, 红层在不同区域内往往会形成不同的丹霞地貌景观特征, 但是这种差异性, 宏观上往往却具有一定的规律性。

醉仙湖又名洪门水库, 位于江西南城县洪门镇境内, 依托黎滩河而建, 是江西省四大水库之一。湖水中心丹霞地貌景观发育, 形成了绿水绕红山的独

特景观。然而, 醉仙湖丹霞地貌有关的研究还不多见。近年笔者在野外工作中发现了“顶穴”这一独特的景观地貌, 然而, 前人未对该现象其进行过详细的研究, 甚至也没有对该类地貌进行命名。本研究以醉仙湖丹霞地貌景观为例, 从其丹霞地貌空间展布、沉积环境、断裂构造及其他内、外动力等要素入手, 系统研究了醉仙湖红层沉积特征和丹霞地貌景观的形成机制, 并将研究区不同类型丹霞地貌景观特征的成因机制以及成岩-成景演化过程中主导的内、外动力地质作用进行了详细的论述。

1 区域地质背景

醉仙湖位于钦杭结合带东南侧, 西临湘桂赣地块, 东临华夏地块。景区范围 N 116°54'21"、N 116°

收稿日期 (Received date): 2016-04-14; **改回日期** (Accepted date): 2018-01-25

基金项目 (Foundation item): 东华理工大学地质资源经济与管理研究中心开放基金项目 (14JC03); 国家自然科学基金项目 (41772197; 41602069); 江西省自然科学基金项目 (20171BAB213026); 东华理工大学地质资源经济与管理研究中心开放基金项目 (14JC01)。[Geological Resource Economics and Management Research Center Open Fund of East China University of Technology (14JC03); National Natural Science Foundation of China (41772197; 41602069); Natural Science Foundation of Jiangxi, China (20171BAB213026); Geological Resource Economics and Management Research Center Open Fund of East China University of Technology (14JC01).]

作者简介 (Biography): 刘丹 (1986-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要研究方向: 地貌第四纪及人文地理。[LIU Dan (1986-), Female, born in Xi'an, Shanxi province, M. Sc. candidate, research on human geography and geomorphology quaternary.] E-mail: 459520795@qq.com.

*** 通讯作者** (Corresponding author): 罗勇 (1982-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 区域地质及旅游地学。[LUO Yong (1982-), male, M. Sc., lecturer, specialized in regional geology and tourism geoscience.] E-mail: 522833533@qq.com.

45°12'~E 27°24'02"、E 27°30'34"(图1),总面积达42 km²,属亚热带湿润季风气候区。景区及周边出露的岩石主要为:南华系变粒岩、石墨石英片岩等;震旦系灰-灰黑色凝灰质砂岩、板岩,夹有基性熔岩和细碧角斑岩等;侏罗系水北组灰白色、长石石英砂岩;白垩系河口组紫红色砂岩、砾岩等;早白垩世花岗斑岩、英安岩以及英安斑岩等。研究区地层主要为河口组陆源碎屑岩,地层倾向单一,倾角舒缓,主要朝向东南倾斜,构成了单斜丹霞地貌。

2 研究区地层沉积特征

研究区红盆呈长条形,宽度较窄,沉积中心区和风化剥蚀区两者之间距离较近,进而导致冲积平原上并不发育典型的曲流河沉积相,而是以辫状河相以及滨湖相沉积为主(图2)。滨湖相岩石多以胶结疏松的细砂岩-粉砂岩为主,偶夹透镜状细砾岩,风化较强,植被发育,往往不能够形成丹霞地貌特征(图2A)。研究区形成丹霞地貌景观岩石多以辫状河相特征为主,多以低缓的浑圆山体为主。本节将主要介绍研究区与丹霞地貌景观相关的岩石地层特征。

辫状河通常携带大量沙质沉积物向前推移,所

形成的河道不仅宽而且浅,以流量变化和垂向加积速率快为特征,因此在河道中常见一系列河道砂坝存在^[2]。研究区辫状河“二元结构”不甚发育,上下碎屑组分分布不均,下部粗碎屑含量远大于细碎屑。研究区的辫状河沉积相以巨厚层砂、砾岩系为主,偶见河道间发育的洪泛细粒楔状沉积夹层。在一系列不完整的沉积旋回反复切割叠置的作用下,所形成的剖面序列以厚层状砾岩-砂岩沉积为特征,垂向上粒序不明显。在野外勘查工作中发现多套旋回的中厚层状中-细砾岩夹薄层状中-细砂岩,局部可见底砾岩及冲刷面(图2B)。

辫状河沉积具有河道浅而宽、流量不仅变化幅度大而且流速快、河床形成位置无规律但载砂量大、心滩发育等一系列特征,其岩性则以细砾岩、含砾粗砂岩或砾质粗砂岩夹细砂岩、砂质泥岩、粉砂岩为特征,整体粒度较粗,固成分成熟度低。相较于曲流河,其岩石结构成熟度较低,且发育大量槽状交错层理。整体在宏观上,从底部到顶部粒度由粗变细,总体表现为正向半韵律特征,显著发育巨厚的河道砂体,偶见细粒的洪泛沉积发育,所以砂/泥岩比值较大,野外可见典型的辫状河沉积剖面结构发育(图3、图4、图5、图6)。

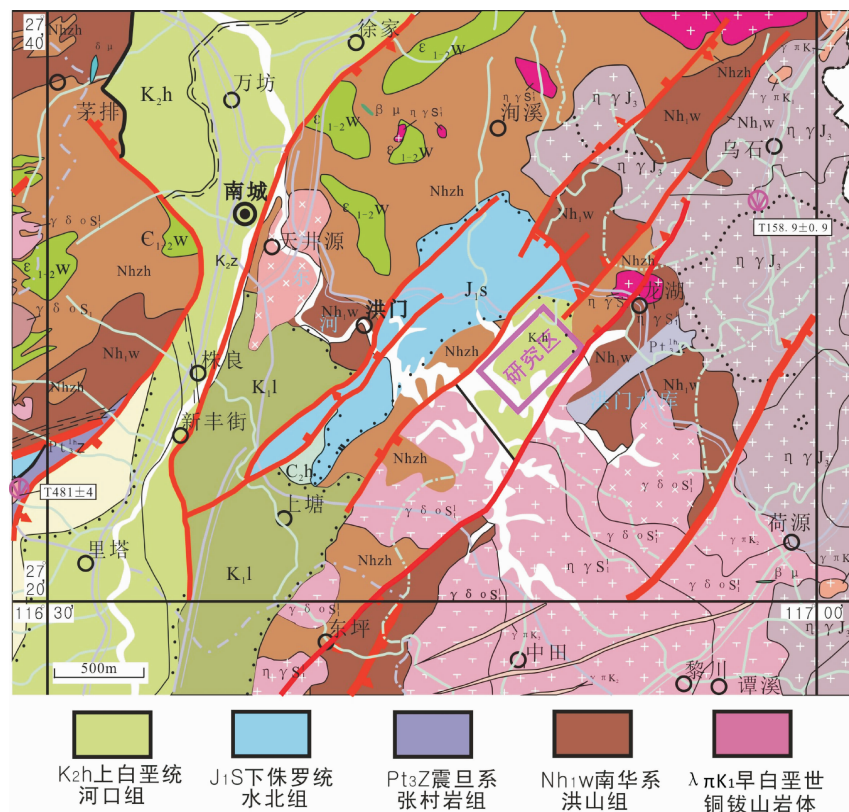


图1 醉仙湖景区及周边地质背景图

Fig.1 Geological map of the Zuixian Lake scenery spot and surrounding area, Jiangxi, China

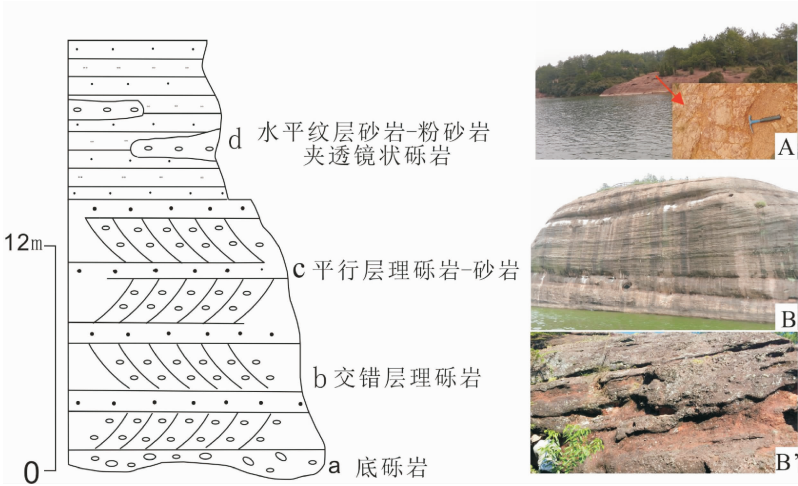


图 2 醉仙湖景区辫状河相沉积与丹霞地貌类型

Fig. 2 Braided river facies deposition and Danxia landform type at the Zuixian Lake Scenery Spot



图 3 槽状交错层理

Fig. 3 Trough-shaped cross bedding



图 4 楔状交错层理

Fig. 4 Wedge-shaped cross bedding



图 5 平行层理

Fig. 5 Parallel bedding



图 6 平行层理

Fig. 6 Parallel bedding

河道沉积岩性主要为细砾岩和中粗粒砂岩,产出形态以中-厚层状为主,发育有大型交错层理以及平行层理。受冲刷作用影响,大多砂体保留不全,形成复杂的沉积构造组合,垂向变化特征不明显。

底部由砾岩、含砂砾岩组成河道滞留沉积,砾石分选性较好,粒径大多在 1~3 cm 之间,个别可达 10 cm,磨圆度较差,以棱角-次棱角状为主,最大扁平面呈叠瓦状排列。



图 7 冲刷面(滞留沉积)
Fig. 7 Erosion surface(lag deposit)



图 8 冲刷面(滞留沉积)
Fig. 8 Erosion surface (lag deposit)

3 研究区丹霞地貌类型及特征

我国地质地貌学家于 20 世纪 30 年代正式提出了红层“丹霞地貌”这一概念之后,诸多科研工作者逐渐对世界范围内不同区域、不同景观形态、不同发育期次和阶段的丹霞地貌所包含的成因类型或控制因素等进行了深入的探讨和研究^[3-9]。纵观国内外丹霞地貌成因分类^[10-14]:陈致均等和黄可光等通过对甘肃干旱一半干旱区景观地貌的研究提出了类丹霞地貌^[15];黄进等从岩层的缓陡、盖层的有无、区域气候差异、地貌演化阶段、景观形态以及岩石胶结类型等方面对丹霞地貌景观进行了不同系列的成因分类^[16];郭福生等和罗成德等分别根据江西龙虎山丹霞地貌以及四川盆地丹霞地貌的类型提出了不同岩性(岩相)对丹霞地貌景观形态起到了重要控制作用的分类方案^{[4]、[17]};邓美成等根据湖南崀山丹霞

地貌景观特征,提出了楔状、块状、墙状、线状、柱状、拱状等形态类型分类^[18];姜勇彪等根据江西龟峰丹霞地貌特点,按丹霞地貌形成的地质作用方式,提出了水流冲刷侵蚀型、崩塌残余型、崩塌堆积型、溶蚀风化崩塌型等的内、外动力地质学分类^[19]。

综上所述,南城红盆丹霞地貌景观的形成与演化是在内、外地质动力作用下共同营造的结果。然后,每种类型的景观地貌通常由单独某一种主导动力因素控制,其他内、外动力地质作用只是对最终的景观格局进行加工再塑。丹霞地貌类型的分类方案主要依据有:①地貌形态特征、②景观发育过程、③成景主导动力等^[20]。本文通过对江西南城东南部醉仙湖丹霞地貌景观进行野外地质调查和室内岩石学特征分析等的基础上,根据主导丹霞地貌景观形成的内、外动力作用,并结合其成因演化过程等,将研究区丹霞景观地貌分为下述四种类型,如表 1。

表 1 醉仙湖景区丹霞地貌类型、主导动力及代表景观一览

Tab. 1 Danxia landform types, driving motivation and representative landscape at the Zuixian Lake Scenery Spot

丹霞地貌类型	主导动力	代表类型
构造地貌	以地质构造因素为主,如岩层产状或层面接触关系、断层性质、节理产状等	如沿平行层理形成的顺层凹槽(图 9);断裂(主要为垂直节理)作用形成的断层崖壁(图 10)等。
水蚀地貌	流水潜蚀作用,可见盐化现象	如流水侧向潜蚀作用下形成的凹槽或岩洞(图 11、图 12);流水下切作用、片状水流侵蚀作用或者含有白色盐类成分的盐风化作用形成的凹槽(图 13);涡流或水流携带砾石(粗碎屑物)研磨基岩河床形成的壶穴(图 14)。
风蚀地貌	以风旋流为主	携带雨水或碎屑物等的风,在先期形成的丹霞岩洞内发生旋转,形成小型龙卷风等风旋流,侵蚀岩洞顶壁,进而导致顶穴的产生(图 15)
其他风化地貌	岩石表面的层片状风化、粉末状风化、化学风化等风蚀作用	受控于热胀冷缩以及岩石卸载作用等,岩石表面会产生片状、碎裂状、粉末状等风化类型,进而导致的正地貌的圆化(图 16);湿润区坡顶和隔水层附近的生物风化、化学风化等效果明显。



图9 顺层凹槽
Fig. 9 Bedding groove



图10 断层崖
Fig. 10 Fault scarp



图11 蜂窝状蚀痕(侧向侵蚀)
Fig. 11 Honeycomb pitting(lateral erosion)



图12 岩洞(侧向侵蚀)
Fig. 12 Grotto (lateral erosion)



图13 垂直沟槽与水平凹槽
Fig. 13 Vertical slot and horizontal groove



图14 壶穴
Fig. 14 Pothole



图15 顶穴
Fig. 15 A top hole



图16 正地貌的圆化
Fig. 16 The rounding of positive landform

4 研究区地貌景观成因类型分析

4.1 岩石的沉积特征作用

纵观我国华南地区典型的丹霞地貌景区,如江西龙虎山金枪峰^[7]、浙江江郎山三爿岩、广东丹霞山阳元石等^[21],多有岩柱、岩峰等陡峭峻耸的丹霞地貌景观特征,沉积特征以多套冲积扇体叠加为主,但是江西南城醉仙湖丹霞景区多以低缓浑圆山体为主,其沉积特征以冲积平原的辫状河相为主。说明红层的沉积特征对丹霞景观的形成起到了一定的制约作用。结合前人的研究资料^{[2]、[7-9]},可以发现,华南地区早白垩系红层中冲积扇相是发育岩堡、岩墙、岩柱等景观地貌的基础,研究区辫状河相(冲积平原)的红层多发育浑圆山体等景观地貌,而滨湖或者深湖相的红层往往并不能形成丹霞地貌景观。

4.2 内动力构造作用

研究区位于江南造山带的东南缘,中生代带内构造、岩浆活动较为频繁,先后经历了拼合-裂解-再拼合的复杂构造演化,至少经历了四期区域规模的大陆动力学过程^[22],其中与江西红层形成有关的构造运动主要发生在早中生代之后。

印支运动后,欧亚大陆板块东南缘从特提斯构造域转向了古太平洋构造域,原来的东西向构造格局进而转变成了北东向构造格局^[23]。在武夷山西侧的闽西-赣中南-粤北一带发生了陆内伸展或裂谷活动,形成一个沿北东向展布的早-中白垩世的

火山-沉积盆地群,盆缘红层发育,盆内发育基性侵入岩或喷出岩。如,江西抚州的相山火山盆地,在其西北缘广泛出露白垩系红层,盆内发育一定的辉绿岩脉。这种北东向的构造拉张运动持续时间较长,在江西境内陆续形成了一套北东向的红盆。红盆形成后随着新生代盆缘的抬升隆起、节理切割、风化剥蚀等作用,就形成了现今我们所看到的丹霞地貌。

例如位于曹源村东的迎宾岩(图 17),是水平岩层形成的巨型丹霞崖壁的代表,距水面高度在近 20 m,直线宽约 100 m,阳光射向崖壁,其通体火红,崖壁洞穴中的白鹭飞向天边,在碧水的掩映下,恰似一副动静结合、精美绝伦的山水画,极具视觉震撼,具有极高的观赏价值。通过统计,景区内共有 9 处典型的崖壁,类似于一个被刀整齐切割的馒头。岩壁的产状分别为 $300^{\circ} \angle 79^{\circ}$ 、 $160^{\circ} \angle 87^{\circ}$ 、 $295^{\circ} \angle 79^{\circ}$ 、 $157^{\circ} \angle 80^{\circ}$ 、 $145^{\circ} \angle 76^{\circ}$ 、 $150^{\circ} \angle 79^{\circ}$ 、 $289^{\circ} \angle 65^{\circ}$ 、 $300^{\circ} \angle 86^{\circ}$ 、 $255^{\circ} \angle 75^{\circ}$ 。两组节理的走向一致,均为北东向,倾向相反,如图 18。说明整个景区内崖壁形成受控于早中生代后的同一次构造地质事件。

4.3 外动力地质作用

外动力地质作用种类较多,对丹霞地貌类型起到了重要的控制因素。笔者根据常见的丹霞地貌景观特征,将其分为水流潜蚀作用、水流溶蚀作用、风蚀作用、其他风化作用等四类。

4.3.1 水流侵蚀作用

水流侵蚀作用可以分为潜蚀和溶蚀两种。

水流的不断侵蚀作用对下部软弱岩层影响较



图 17 迎宾岩

Fig. 17 Welcome rock

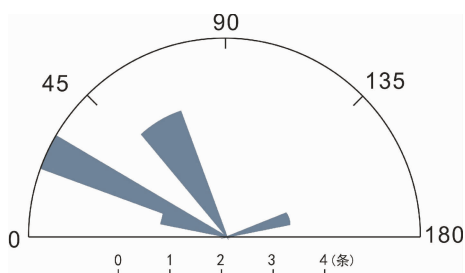


图 18 崖壁节理走向玫瑰花图

Fig. 18 Joint trend rose diagram of the cliffs

大,进而造成底部岩层的剥蚀后退,其上部岩石受控于支撑物的消失而导致静岩压力的释放,重力崩塌效应显现,导致大型顺层凹槽、岩洞、倒石堆以及崩塌崖壁等丹霞地貌景观的形成。

一些基岩由于坡面较缓,其软弱面表面在旋转的水流作用下,不断受到水流所携带的砂石不侵蚀、冲蚀。由于坡面角度小,流水不断向下侵蚀的动力较低,只在基岩面形成浅底的石槽。在雨季时,大量的降雨所汇聚形成的巨大水流在石槽与底壁之间不断摩擦,而且以跳跃式向下流动,此时巨大水流携带大量砂石,对石槽底壁形成持续的、不均一的侵蚀,使得石槽不断扩大,从而形成珠串状洞穴^{[22]、[24]}。旋转水流携带砾石(粗碎屑物)研磨基岩河床可以形成壶穴(图 14)。

构成丹霞地貌的红层为陆源碎屑岩,不同岩石类型其化学成分或胶结物类型差异明显,钙质含量较高的岩石,在水溶液及空气中 CO_2 等的作用下,容易发生分解、溶蚀等变化过程,例如钙质胶结的砂岩,胶结物 CaCO_3 就极易和空气中的 H_2O 以及 CO_2 发生反应并被溶蚀,从而造成丹霞洞穴发育石钟乳、石笋、石柱等喀斯特景观地貌的现象,例如湖南崀山。研究区未见明显的该种类型地貌,但是可见有类似于盐风化作用而形成的凹槽,图 13。其成因主要为:湖面、降水和雾气→盐分,水分→孔隙或裂隙→蒸发→盐类结晶盐风化作用,过量水分流动带走盐分→减缓盐风化,水→不均一流→动盐风化(差异风化)^[25]。

4.3.2 风蚀作用

研究区岩穴发育,种类齐全。有一种生长在大型凹槽的顶壁、同顶壁地层垂直、开口朝下像个倒置的漏斗一样的岩穴,相关资料的报道极少,更没有统一的命名。在这里为了以后研究工作的便利,笔者将其定名为“顶穴”(图 15)。这种岩穴的成因,笔者认为主要是携带雨水或碎屑物等的风,在先期形成的丹霞岩洞内发生旋转,形成小型龙卷风等风旋

流,侵蚀岩洞顶壁,形成顶穴(图 15),其形成于凹槽或岩洞形成之后。

4.3.3 其他风化作用

由于受控于外动力地质作用形成的丹霞地貌景观的类型较多,例如生物作用、热胀冷缩作用、球状风化作用等,但是在整个丹霞地貌形成的过程中并不是起到主导作用,因此笔者将其统称为其他风化作用。

苔藓类植物多赋存在丹霞岩壁上,其生长过程中能够分泌出多种酸性物质,对其依附的岩石表面产生一定腐蚀效果,进而溶蚀岩石中的某些矿物或胶结物,从而破坏表面岩石的物质组成和结构构造。生物作用结合球形风化或热胀冷缩作用从而造成很多丹霞山体其顶部往往呈蘑菇状的主要因素。

综上所述,丹霞地貌景观成因往往并非单一因素的作用,而是多种因素叠加导致的。随着认识程度的加深,对景观地貌的成因分类也就愈发详细。首先,构成丹霞地貌红层的物质基础最为重要,其沉积时的沉积类型对景观成因有着重要的约束作用;其次,丹霞地貌景观的顶平、身陡、麓缓等典型特征又与内动力作用下的断裂或断层有着密切联系;最后,外动力的风化作用则是对景观地貌的塑形阶段,受控于地貌所在不同地理位置的影响,水流作用、风蚀作用、盐化作用等影响程度不一,研究区主要在华南湿润地区,水流侵蚀作用是其主要的外因。

5 结论与认识

1)江西南城红盆主要发育白垩系辫状河相沉积地层,河道相沉积特征较为发育。其平面分布特征与丹霞丘陵地貌、潜蚀风化型丹霞地貌分布相吻合。

2)华南地区白垩系红色地层中,不同沉积相对华南丹霞景观的形成起到了一定的制约作用。例如,冲积扇相的红层是发育岩堡、岩墙、岩柱等景观地貌的基础,研究区辫状河相(冲积平原)红层多发育浑圆山体等景观地貌,而滨湖或者深湖相的红层往往不易形成丹霞地貌景观。

3)南城丹霞地貌的不同特征可以将其成因分为三类:a 沉积特征;b 外动力地质作用(水流侵蚀作用、风蚀作用、盐风化作用等);c 内动力地质作用。

4)南城红盆丹霞地貌景观的形成与演化是在内、外地质动力的相互作用下形成的。然而,各种类

型的景观地貌多由单独某一种主导动力因素控制,其他内、外动力地质作用只是对最终的景观格局进行加工再塑。

致谢:野外考察及资料收集的过程中得到了南城县和洪门镇的支持和帮助,参加野外工作的还有罗建群、侯曼青、宣璞琰、张杰伟等,作者谨致谢意!

参考文献 (References)

- [1] 彭华. 中国丹霞地貌研究进展[J]. 地理科学, 2000, **20**(3): 203 - 211 [PENG Hua. A survey of the Danxia Landform Research in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, **20**(3): 203 - 211.]
- [2] 朱志军, 黄宝华, 郭福生等. 龙虎山世界地质公园白垩系辫状河相沉积及其丹霞地貌发育特征[J]. 地球学报, 2012, **33**(2): 1 - 9 [ZHU Zhijun, HUANG Baohua, GUO Fusheng, et al. Cretaceous braided river facies sediments and Danxia landform development characteristics in Longhushan world geopark, Jiangxi [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, **33**(2): 1 - 9.]
- [3] 曾昭璇, 黄少敏. 中国东南部红层地貌[J]. 华南师院学报(自然科学版), 1978, (1): 56 - 73 [ZENG Zhaoxuan, HUANG Shaomin. Red beds landform in Southeast China[J]. Journal of South China Normal University(Natural Science), 1978, (1): 56 - 73]
- [4] 郭福生, 刘林清, 杨志等. 江西省丹霞地貌发育规律及旅游区域研究[J]. 资源调查与环境, 2007, **28**(3), 214 - 222. [GUO Fusheng, LIU Linqing, Yang Zhi, et al. Development of Danxia landform in Jiangxi province and its regional planning for tourism [J]. Resources Survey & Environment, 2007, **28**(3), 214 - 222.]
- [5] 黄进, 陈致均. 丹霞地貌定义及分类中一些问题的探讨[J]. 经济地理, 2003, **23**(增刊): 6 - 11. [HUANG Jin, CHEN Zhijun. The discussion on the definition and classification to Danxia landform [J]. Economic Geography, 2003, **23**(supp): 6 - 11.]
- [6] 赵逊, 赵汀. 地质公园发展与管理[J]. 地球学报, 2009, **30**(3): 301 - 308. [ZHAO Xun, ZHAO Ting. Development and management of geopark [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, **30**(3): 301 - 308.]
- [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, 郭福生, 刘林清等. 江西信江盆地丹霞地貌形成机制分析[J]. 热带地理, 2011, **31**(2): 146 - 152. [JIANG Yongbiao, Guo Fusheng, LIU Linqing, et al. A study on Genesis of Danxia landforms in the Xinjiang Basin, Jiangxi [J]. Tropical Geography, 2011, **31**(2): 146 - 152.]
- [9] 姜勇彪, 郭福生, 陈珊珊. 江西信江盆地丹霞地貌空间分布及其成因[J]. 山地学报, 2013, **31**(6): 731 - 737. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, CHEN Shanshan. Spatial Distribution and Its Genesis of the Danxia Landforms in Xinjiang Basin, Jiangxi [J]. Mountain Research, 2013, **31**(6): 731 - 737.]
- [10] 彭华. 丹霞地貌分类系统研究[J]. 经济地理, 2002, **22**(S1): 28 - 35 [PENG Hua. The Research on classification system of Danxia landform [J]. Economic Geography, 2002, **22**(S1): 28 - 35]
- [11] ZHU C, PENG H, OU Y et al. Rock resistance and the development of horizontal grooves on Danxia slopes [J]. Geomorphology, 2010, **123**(1 - 2): 84 - 96.
- [12] 马春梅, 朱诚, 彭华. 安徽齐云山丹霞地貌成因[J]. 地理学报: 英文版, 2006, **16**(1): 45 - 56. [MA Chunmei, ZHU Cheng, PENG Hua, et al. Danxia landform genesis of the Qiyun Mountain, Anhui Province [J]. Geomorphology, 2006, **16**(1): 45 - 56.]
- [13] QI D, YU R, ZHANG R, et al. Comparative studies of Danxia landforms in China [J]. Journal of geographical sciences, 2005, **15**(3): 337 - 345.
- [14] PENG H. Danxia geomorphology of China: A review [J]. Chinese Science Bulletin. 2001, **46**(1): 38 - 44.
- [15] 陈致均, 黄可光, 戴文昭. 甘肃丹霞地貌的分布[J]. 经济地理, 1994, **14**(S1): 159 - 166. [CHEN Zhijun, HUANG Keguang, DAI Wenzhao. Distribution of Danxia landform in Gansu (in English) [J]. Economic Geography, 1994, **14**(S1): 159 - 166.]
- [16] 黄进, 陈致均, 黄可光. 丹霞地貌的定义及分类[J]. 经济地理, 1992, **12**(增刊): 37 - 49. [HUANG Jin, CHEN Zhijun, HUANG Keguang. Definition and classification of Danxia landform (in English) [J]. Economic Geography, 1992, **12**(supp): 37 - 49.]
- [17] 罗成德. 四川盆地丹霞地貌旅游资源[J]. 经济地理, 1996, (S1): 170 - 176 [LUO Chengde. Tourism resources of Danxia landform in Sichuan Basin (in English) [J]. Economic Geography, 1996, (S1): 170 - 176.]
- [18] 邓美成, 王光明. 崑山丹霞地貌风景的分析与评价[J]. 经济地理, 1996, **16**(S1): 4 - 20. [DENG Meicheng, WANG Guangming. Analysis and evaluation of Danxia landscape of Lang Mountain (in English) [J]. Economic Geography, 1996, **16**(S1): 4 - 20.]
- [19] 姜勇彪, 郭福生, 孙传敏等. 江西弋阳县龟峰丹霞地貌景观特征与形成机制[J]. 山地学报, 2008, **26**(1): 120 - 125. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, SUN Chuanmin, et al. The Features and Origin of the Danxia Landform in Guifeng Scenic Park in Yiyang County, Jiangxi [J]. Mountain Research, 2008, **26**(1): 120 - 125.]
- [20] 李霞, 何庆成, 董颖等. 贵州赤水南部地区丹霞地貌类型特征及成因演化分析[J]. 地球学报, 2013, **34**(4): 501 - 508. [LI Xia, HE Qingcheng, DONG Yin, et al. An Analysis of Characteristics and Evolution of Danxia Landform in the South of Chishui County, Guizhou [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2013, **34**(4): 501 - 508.]
- [21] ZHU C, Li W, TONG X et al. Experimental studies on the Danxia landscape morphogenesis in Mt. Danxiashan, South China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, **25**(8): 943 - 966.
- [22] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, **31**

- (7): 1035 – 1053. [SHU Liangshu. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 2012, **31**(7): 1035 – 1053.]
- [23] WANG D Z, SHU L S. Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeast China. *Geoscience Frontier* [J]. 2012, **3**(2): 109 – 124.
- [24] 黄进. 崑山丹霞地貌[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [HUANG Jin. Danxia landform of Langshan Mountain [M]. Beijing: The Science Publishing Company, 2011.]
- [25] 吕洪波, 苏德辰, 章雨旭, 等. 中国不同气候带盐风化作用的地貌特征[J]. 地质论评, 2017, **63**(4): 91 – 1926. [LV Hongbo, SU Dechen, ZHANG Yuxu, et al. Landform features of salt weathering in different climatic zones in Chian. *Geological Review* [J]. 2017, **63**(4): 911 – 926.]

Strata Sedimentary Characteristics and Landscape Genetic Analysis of the Hekou Formation at the Zuixian Lake, Nancheng, Jiangxi Province, China

LIU Dan^{1, 2}, LUO Yong², YANG Qingkun^{1, 2}, HUANG Baohua², QU Hongjian²

(1. *Fundamental Science on Radioactive Geology and Exploration Technology Laboratory, East China University of Technology, Nanchang 330013, China*; 2. *School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China*)

Abstract: The thick redbed of the upper cretaceous Hekou Formation is widely distributed over the southwest of Nancheng, Jiangxi Province, forming Danxia hilly landforms. The Danxia hilly landscapes have shaped into islands surrounded by green lake water, forming a unique scene of “green water around red cliff” which is the main tourism attraction of the Zuixian Lake Scenic Area. According to types of geological driving forces, the Danxia landforms developed in the Zuixian Lake were assorted into various types, such as Danxia tectonic landform, Danxia water erosion landform, Danxia wind erosion landform, and Danxia salt weathered landform. Through field investigations and indoor analysis, the deposition feature of the braided river facies of the cretaceous redbed in the study area was systematically analyzed. From the geological point of view, the sedimentary characteristics, internal and external dynamic geologic actions of the cretaceous redbed were expounded in detail respectively. Results suggested that the lithofacies in the area lay the material foundation for the formation of the Danxia landscape, and its sedimentary types, internal and external geologic dynamics play an important role in constraining the landscape development.

Key words: Zuixian Lake; Danxia; cretaceous; braided river sediments