

文章编号: 1000-0550(2013)06-0954-11

# 江西信江盆地白垩系沉积体系及其与丹霞地貌的关系<sup>①</sup>

郭福生<sup>1,2</sup> 朱志军<sup>1,2</sup> 黄宝华<sup>1,3</sup> 姜勇彪<sup>1,3</sup>

(1. 东华理工大学地球科学学院 江西抚州 344000; 2. 核资源与环境部共建国家重点实验室培育基地 南昌 330013;  
3. 江西省数字国土重点实验室 江西抚州 344000)

**摘要** 根据野外沉积层序、岩石学特征、古生物资料和地貌景观特征, 本文对江西信江盆地白垩系沉积相进行了初步分析, 首次探讨了沉积体系与丹霞地貌发育特征之间的内在联系。信江盆地白垩系主要发育4种沉积体系, 即冲(洪)积、三角洲、湖泊和扇三角洲。早白垩世主要发育半深湖—深湖、扇三角洲相沉积, 晚白垩世从盆地南缘到北缘大致为洪冲积相→辫状河流→三角洲→滨浅湖→三角洲→辫状河流→洪冲积相的展布方式。研究表明, 该区丹霞地貌形成的物质基础主要是上白垩统冲积扇、辫状河相沉积产物, 丹霞地貌的空间分布与盆地冲积扇、辫状河沉积相的平面展布具有较好的一致性, 同时, 沉积亚相、微相类型对丹霞地貌的发育起到一定的控制作用。

**关键词** 信江盆地 沉积体系 白垩系 丹霞地貌

**第一作者简介** 郭福生 男 1962年出生 博士 教授 区域地质、沉积学、丹霞地貌景观 E-mail: fsguo@263.net

**中图分类号** TE121.3 P931 **文献标志码** A

沉积盆地对于石油、天然气等矿产资源的重要性众所周知, 但沉积盆地与丹霞地貌景观资源的关系研究相对较少, 研究程度也明显偏低。信江盆地是一个集矿产资源和地貌景观资源于一身的盆地, 长期以来吸引了大量的地质学家在此开展研究工作。在上世纪大规模区域地质调查的基础上, 张利民<sup>[1]</sup>、许玩宏<sup>[2,3]</sup>、巫建华<sup>[4-6]</sup>从古生物地层及同位素年龄方面对信江盆地白垩系地层进行了研究, 巫建华<sup>[7]</sup>、谢爱珍<sup>[8]</sup>、刘行军等<sup>[9,10]</sup>、李晓勇<sup>[11]</sup>对盆地白垩系沉积相、沉积环境进行了论述。随后, 郭福生等<sup>[12-14]</sup>、姜勇彪等<sup>[15,16]</sup>开展了该区丹霞地貌特征和成因研究。近十多年来, 在成功申报国家地质公园、世界地质公园和世界自然遗产过程中, 对区内丹霞地貌景观做了较为细致的调查工作, 并且已取得了较大的进展, 但是对于丹霞地貌的基础地质研究显得非常薄弱。本文试图从沉积学角度出发, 揭示构成丹霞地貌红层的岩性岩相特征、物质聚集分布规律、沉积体系划分及其平面展布特征, 从而探讨丹霞地貌发育与沉积相的关系。

## 1 地层简述

信江盆地位于江西省东北部鹰潭市和上饶市境内, 西与崇仁盆地断续相通, 东与浙江金衢盆地相接,

北与怀玉山隆起毗邻, 南与武夷山隆起接壤。总面积约3 600 km<sup>2</sup>, 呈近东西向延展约130 km。信江盆地地处扬子板块与华夏板块结合带, 中生代受太平洋板块活动而形成的近东西向断陷盆地, 白垩纪红层发育, 是我国重要的丹霞地貌遗产地。

该区白垩系地层从下往上依次为: 下白垩统火把山群石溪组、冷水坞组; 上白垩统赣州群茅店组、周田组、圭峰群河口组、塘边组和莲荷组。其中圭峰群是丹霞地貌的主要成景地层。

石溪组(K<sub>1s</sub>)下部为砾岩、砂砾岩、砂岩, 产植物化石; 上部为灰紫色流纹质熔结凝灰岩、火山角砾岩、安山质凝灰岩夹砂岩、泥岩。厚>1 166 m。角度不整合覆于侏罗系武夷群火山岩系之上。

冷水坞组(K<sub>1l</sub>)下部为黄绿、紫红色细砂岩、泥质细砂岩、粉砂岩、泥岩; 上部为灰紫色、黄绿色、灰白色含砾砂岩或砂砾岩、凝灰质砂岩、细砂岩、粉砂岩。含双壳类、叶肢介、介形虫等化石。厚>1 545 m。

茅店组(K<sub>2m</sub>)为砖红、紫红色砾岩、砂砾岩、含砾中细粒砂岩、粉砂岩, 局部夹玄武岩, 产植物、硅化木等化石。厚度1 200 m。与下伏冷水坞组角度不整合接触。

周田组(K<sub>2z</sub>)紫红色钙质细砂岩、粉砂岩互层, 含石膏、含钙和芒硝。产植物、介形虫等化石。厚度

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号: 41072077)、江西省自然科学基金项目(编号: 2010GZC0001)、江西省科技计划项目(编号: 20111BBG70011-4)和江西龙虎山世界地质公园地质遗迹保护项目联合资助  
收稿日期: 2012-10-22; 收修改稿日期: 2012-12-24

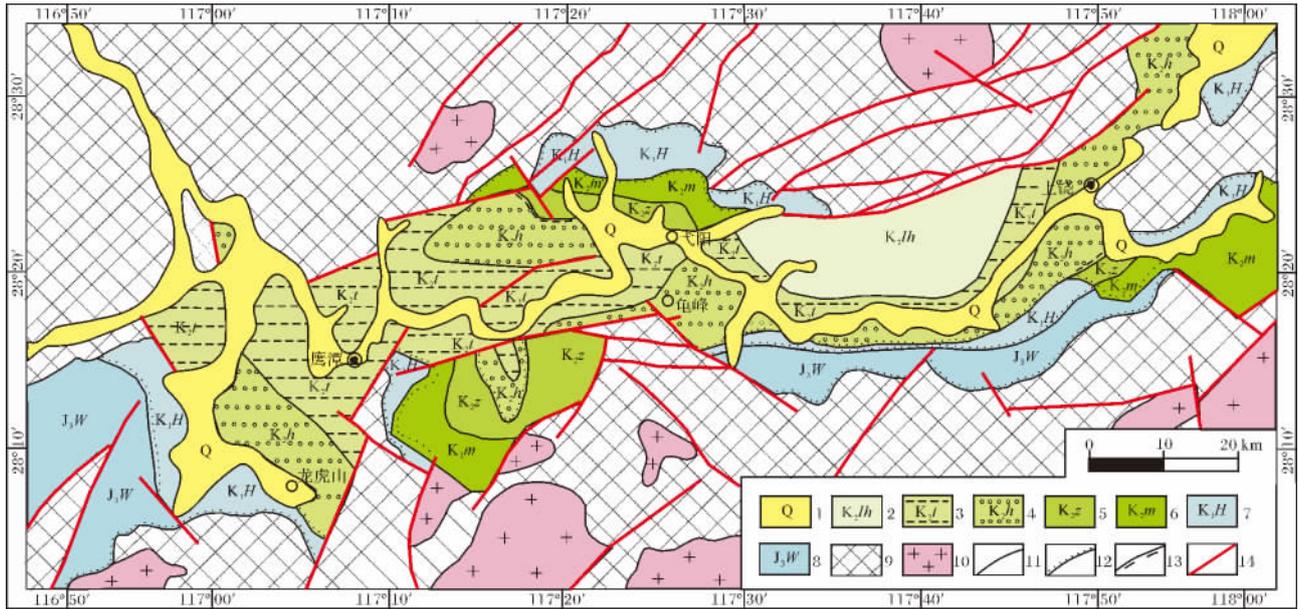


图 1 信江盆地白垩纪地层分布图

1. 第四系; 2. 晚白垩世莲荷组; 3. 晚白垩世塘边组; 4. 晚白垩世河口组; 5. 晚白垩世周田组; 6. 晚白垩世茅店组; 7. 早白垩世火把山群; 8. 晚侏罗世武夷群; 9. 前白垩系; 10. 花岗岩; 11. 地层整合线; 12. 角度不整合线; 13. 平行不整合线; 14. 断层

Fig. 1 The distribution map of the Cretaceous strata in Xinjiang Basin

1. Quaternary; 2. Lianhe formation of Late Cretaceous; 3. Tangbian Formation of Late Cretaceous; 4. Hekou Formation of Late Cretaceous; 5. Zhoutian Formation of Late Cretaceous; 6. Maodian Formation of Late Cretaceous; 7. Huobashan group of Late Cretaceous; 8. Wuyishan group of Late Jurassic; 9. Pre-Cretaceous; 10. Granite; 11. Conformity line; 12. Angular unconformity line; 13. Parallel unconformity line; 14. Fault

650 m。

河口组 ( $K_2h$ ) 为紫红色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、粉砂岩, 产轮藻、恐龙蛋、恐龙骨骼等化石。厚度 3 687 m。与下伏周田组平行不整合接触。

塘边组 ( $K_2t$ ) 下部砖红色岩屑石英砂岩、细砂岩、粉砂岩, 产恐龙蛋等化石; 上部砖红色中粗粒砂岩、含钙细砂岩、粉砂岩。厚 462 m。

莲荷组 ( $K_2lh$ ) 下部砾岩、砂砾岩、中—细粒砂岩; 上部砖红—紫红色含砾砂岩、中细粒砂岩、粉砂岩。

厚度 2 600 m。其上零星覆盖有更新世望城岗组残坡积物。

## 2 沉积体系发育特征

在前人研究成果的基础上<sup>[7-10]</sup>, 笔者对信江盆地 25 条白垩纪地层剖面进行了野外实地观测和室内综合研究, 根据沉积作用特点和区域沉积格局等标志, 划分出 4 种沉积体系: 冲积体系、湖泊沉积体系、扇三角洲体系和三角洲体系(表 1)。

表 1 信江盆地白垩系沉积体系划分

Table 1 Cretaceous depositional systems division in Xinjiang Basin

沉积体系	沉积相	亚相	微相	分布地区	地层
冲积	冲积扇	扇根、扇中、扇端	主槽、侧缘槽、漫洪带、漫流带、辫流带、辫流砂岛	盆地南缘、北缘	河口组、莲荷组
	冲积平原	辫状河、河道、洪泛平原	河床滞留、心滩、洪泛平原	盆地南、北缘	塘边组下部
湖泊	湖泊	滨湖、浅湖、深湖、扇三角洲平原	湖底扇	盆地中东、西部	塘边组上部、冷水坞组、周田组
扇三角洲	扇三角洲	扇三角洲前缘、前扇三角洲、三角洲平原	辫状河道、水道间洪泛、水下分流河道、河道间	盆地西部及北缘	石溪组
湖泊三角洲	三角洲	三角洲前缘、前三角洲	水下分流河道、分流间湾、河口坝、远砂坝、席状砂	湖盆边缘	茅店组、周田组

## 2.1 冲积体系

冲积体系主要由冲积扇和山前冲积平原构成,山前冲积平原位于山前冲积扇前缘,为洪积—冲积型平原。河流出山口入平原,河流比降急剧减小,在出山口发生大量堆积,形成冲积扇或洪积扇,冲积扇或洪积扇相互联结形成冲积扇或洪积扇裙,在冲积扇外缘则发育多条辫状河流的相互联结即成洪积—冲积平原。

### 2.1.1 冲积扇

冲积扇是研究区内的主要沉积体系之一,主要发育于晚白垩世河口组和莲荷组,多沿信江盆地南北缘断裂带分布。在盆地边缘,同期发育的冲积扇往往连在一起而构成冲积扇裙。总体上,冲积扇体系是由中—粗砾岩、砾质粗砂岩、砾质砂岩及中—粗粒杂砂岩所组成,根据岩石类型组合及其垂向变化特征可进一步划分为扇根、扇中、扇缘三个亚相。

**扇根:**分布于邻近断崖处的冲积扇顶部地带,主要由较粗大的砾石组成,砾石大小不一,粒径一般为6~10 cm,少数砾石长轴粒径达15~20 cm。砾石长轴粒径最大者达50 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,砾石间有大量的粉砂级颗粒充填。单层厚度2~4 m,砾岩层有滑塌现象,系泥石流或碎屑流沉积。夹有含砾石质粗粒杂砂岩及泥石流成因的泥岩,分选差,砂砾比值低,多为杂基支撑,沉积构造不明显,底面常见强烈冲刷侵蚀面(图2A)。

**扇中:**位于冲积扇中部,往往构成冲积扇的主体,沉积坡度角较小,分支水道发育,通常由扇面砾质辫状水道沉积和洪泛沉积两部分构成。在中扇带上部为辫状河道砾石坝沉积,主要由粗砾岩及少量中—粗砾岩组成,呈扁平状大型透镜体产出。砾石含量大于75%,砾石支撑,分选性、磨圆度中等到较好,砾石定向性排列明显,部分呈叠瓦状构造,局部可见砾石坝迁移过程中形成的大型前积交错层理。在中扇带下部则由河道砾石坝沉积和溢出河道的洪泛砂泥质沉积两部分组成一系列向上变细的正粒序沉积,扇面上砾石质辫状河道一般宽而浅,洪水季节在河道两侧的河间地带常形成洪泛。洪泛沉积由紫红色或紫灰色含砾泥质不等粒砂岩、泥质不等粒砂岩以及不等粒砂质泥岩、粉砂质泥岩等组成,分选性差,一般不显层理。可见辫状河流形成的板状交错层理和平行层理、大型槽状交错层理(图2B),河道冲刷—充填构造发育。在相序上与扇根交替发育,构成多个向上变细的

正旋回。

**扇缘:**位于冲积扇下部,地形平缓,以漫流沉积为主。沉积物较细,具高的砂/砾比值,常由砂岩夹粉砂岩、泥岩组成,局部见有膏岩层,分选相对较好,可见平行层理、槽状交错层理、板状交错层理及冲刷—充填构造等,在粉砂岩—泥岩中可见水平纹理及干裂痕等暴露构造(图2C)。

### 2.1.2 冲积平原

冲积平原沉积主要发育在冲积扇末端,见于塘边组下部。主要的由河床滞流沉积、辫状河道沉积、河漫泛滥沉积构成。整个冲积平原沉积为辫状河道砂体、河漫泛滥沉积在横向上相连,纵向上叠复而成,河道砂体构成冲积平原沉积的主体。

**辫状河道沉积:**底部为河道滞留沉积,主要岩性为砾岩、含砾砂岩。砾石粒径0.5~2 cm,主要为次圆状,往往具有较大规模的冲刷面,河道滞留沉积厚度一般为0.1~0.2 m。河道滞留沉积上部普遍发育有槽状交错层理、侧积交错层、板状交错层理、平行层理(图2D)。砂坝侧向迁移加积形成的侧积交错层理明显,侧积层形成向砂体底部收敛的细纹层。交错层系的厚度0.1~0.3 m,向上粒度变细,辫状水道砂体内部可见明显的正粒序旋回,岩性为含砾粗砂岩、中—粗砂岩。河道砂体上部为具有水平层理、小型波纹层理的中—细砂岩。单个河道砂体厚度0.5~1 m。

**河漫泛滥沉积:**由于辫状河道稳定性差,洪水泛滥期间,水流漫溢天然堤,堆积于地势低洼的地区。河漫泛滥沉积一般厚度小,延伸数米到几十米,岩性为紫红色薄层粉—细砂岩、粉砂质泥岩、泥岩。发育有波状层理和水平层理。平面上位于堤岸外侧,垂向上位于河床或堤岸亚相之上,属河流顶层沉积组合。

## 2.2 湖泊沉积体系

信江盆地白垩系湖泊相沉积分布广泛,据岩性组合和沉积构造可划分为:滨浅湖、半深湖—深湖等亚相。湖泊沉积体系在纵向上常表现出向上由粗变细的正粒序,横向上常与湖泊三角洲沉积体系或扇三角洲沉积体系或冲积扇沉积体系呈指状交错过渡。

### 2.2.1 滨浅湖亚相

主要见于贵溪、鹰潭一带上白垩统周田组及塘边组上部。滨浅湖亚相以砂泥岩互层沉积为特征(图2E)。砂岩主要为紫灰、黄灰色粉—细粒石英砂岩和岩屑石英砂岩。碎屑颗粒呈次棱角—次圆状,分选较好,颗粒支撑。砂体厚度较稳定,底部偶见细砾岩,具

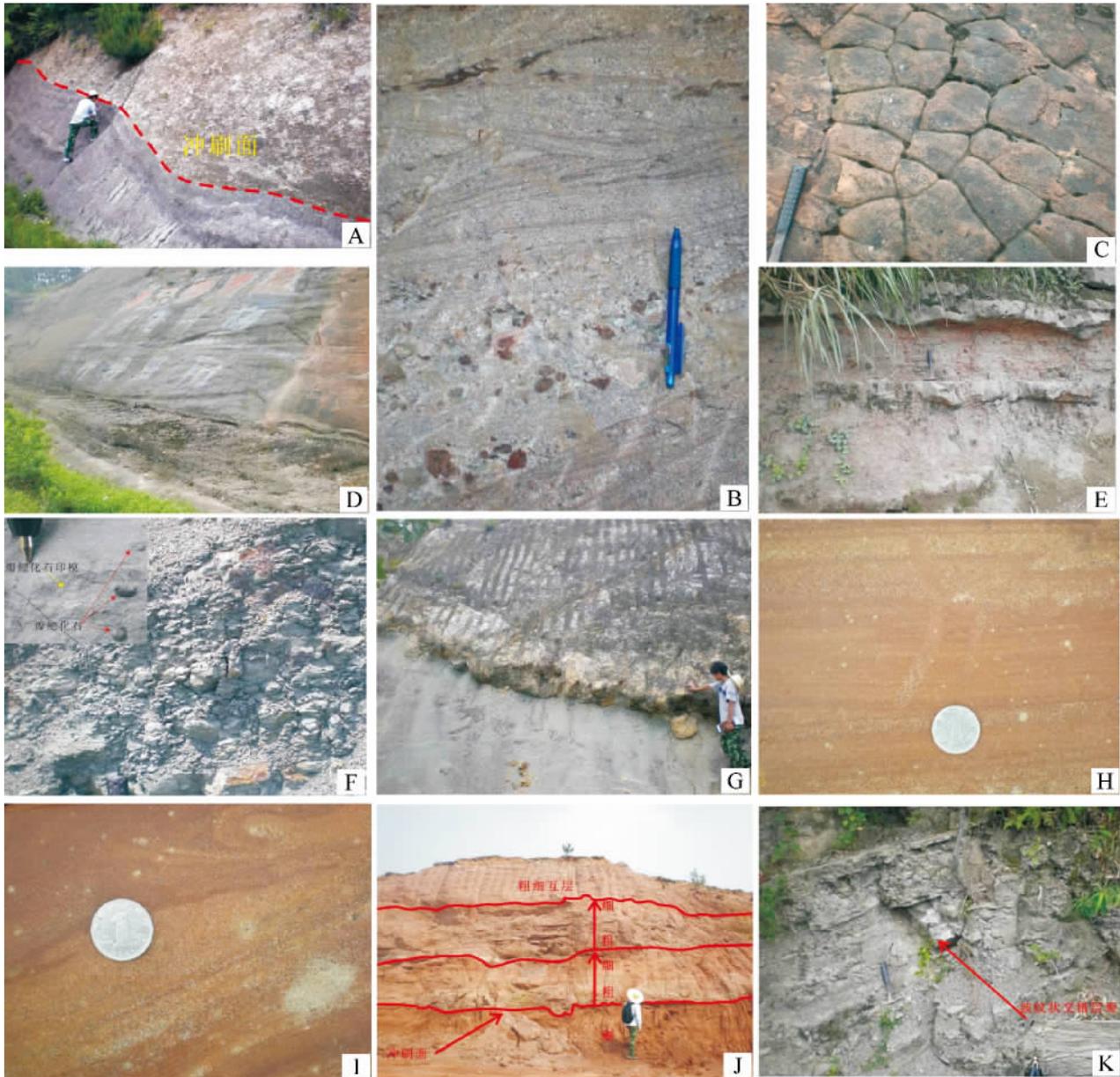


图 2 信江盆地白垩系沉积特征

A. 冲刷面,弋阳县中畈乡; B. 槽状交错层理,圭峰景区; C. 龟裂纹,铅山县莲荷乡; D. 底敛型板状交错层理,横峰县司铺乡; E. 滨—浅湖相沉积,横峰县东; F. 半深湖相灰黑色泥页岩,弋阳县中畈乡; G. 深湖相的湖底扇沉积,弋阳县中畈乡; H. 生物扰动,贵溪市北; I. 滑塌构造,贵溪市北; J. 三角洲的旋回沉积,铅山县北; K. 前三角洲沉积,铅山县福惠乡

Fig. 2 The characteristics of Cretaceous in Xinjiang Basin

A. Erosion surface township of Yiyang county; B. Trough cross-bedding, Guifeng Scenic Area; C. Mud cracks, Lianhe township of Yanshan county; D. Plate Oblique bedding of bottom convergent, Sipu township, Hengfeng county; E. Offshore and shallow lake sedimentary facies, East of Hengfeng county; F. Black shale of Semi-deep lake facies, Zhongfan township of Yiyang county; G. Sublacustrine fan deposit in deep lake facies, Zhongfan township of Yiyang county; H. Biological disturbance, North of Guixi; I. Slide structure, North of Guixi; J. Cyclic deposition of delta, North of Yanshan county; K. Deposition of front delta, Fuhui township of Yanshan county

底冲刷、低角度板状交错层理,中小型交错层理,浪成沙纹层理,平行层理,钙质结核和虫迹。泥岩主要为紫红、棕红、黄绿色泥岩为主夹粉砂岩,含少量砂质和

钙质结核,具沙纹层理和断续水平层理。

### 2.2.2 半深湖—深湖亚相

半深湖—深湖亚相发育于下白垩统冷水坞组,岩

性以灰、深灰色、灰黑色泥(页)为主,夹褐灰色灰岩(图2F),周松源<sup>[17]</sup>论证了冷水坞组灰黑色泥岩为重要烃源岩。泥岩和泥灰岩中见保存完好的瓣鳃、叶肢介等浮游生物化石,偶见介形虫化石,厚度几米到十几米,横向上分布相对较稳定。

湖底扇见于冷水坞组地层,主要岩性为褐黄、黄褐色厚层状细粒长石砂岩、长石石英砂岩。底面及内部偶见冲刷面,层内发育波纹层理、变形层理、平行层理、板状交错层理、递变层理。上下围岩均为较纯泥岩、页岩、泥灰岩等水体较深的沉积(图2G)。

### 2.3 湖泊扇三角洲体系

扇三角洲沉积主要见于早白垩世石溪组地层之中,主要岩性为砾岩、含砾粗砂岩、中—细粒砂岩、粉砂质泥岩不等厚互层。按岩石组合、剖面结构及层理特征等,可进一步识别出扇三角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲三个亚相。

扇三角洲平原亚相主要沉积了厚层状砂岩或含砾砂岩组成,泥质含量较高,分选性差,多为泥质砂岩或泥质含砾砂岩,夹紫红色、砖红色粉砂质泥岩、泥岩组成,一般不显层理,其中发育钙质结核、干裂及生物扰动构造(图2H)。

扇三角洲前缘亚相沉积以棕灰色、灰紫色岩屑砂岩为主,粉砂岩次之,砂体多呈厚层状。在垂向剖面上,两者构成向上变细的半韵律,扇三角洲前缘亚相粒度较细,湖水的作用特征明显,滑塌构造(图2I)、枕状构造发育,并可与浅湖相沉积伴生。

前扇三角洲已完全受控于湖盆的作用,与浅湖相沉积类似,其岩石组成类型以中—薄层棕红色粉砂质泥岩、泥岩为主,水平层理发育,具虫管、生物扰动构造及浪成沙纹层理。

### 2.4 湖泊三角洲体系

信江盆地白垩系中三角洲较发育,主要分布于晚白垩茅店组、周田组等地层中,可进一步划分出三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲三个亚相。

三角洲平原亚相由辫状河分流河道砂体、辫状河道砂坝及分流河道间沉积组成。岩性较粗,主要由细—中粒长石砂岩、岩屑砂岩及长石石英砂岩或岩屑石英砂岩组成,其次为中粗粒砂岩,少量含砾粗砂岩,由底向上组成若干向上变细旋回(图2J)。

三角洲前缘亚相沉积物粒度较辫状河三角洲平原亚相中的分流河道稍细,岩性主要为灰黄色、紫灰色细粒长石砂岩、长石石英砂岩,在湖相泥岩上发育冲刷面,中型至大型板状、槽状、楔形交错层理及平行

层理等,偶见浪成波痕、钙质结核及虫管。

前三角洲亚相与浅湖泥呈过渡关系,二者难以区分,其沉积物组成主要为浅灰、灰绿色、紫红色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、含膏泥岩,以块状粉砂质泥岩为主(图2K)。发育有块状、水平、小型波纹状交错层理,见钙质结核及虫管。

## 3 沉积体系与丹霞地貌的关系研究

丹霞地貌是1938年陈国达先生以中国广东丹霞山为代表而命名的一种特殊地貌类型<sup>[18]</sup>。它主要发育在中生代近水平的红色陆相碎屑岩中,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赤壁丹崖群地貌,具有“顶平、身陡、麓缓”的特征<sup>[19-20]</sup>。按照戴维斯的侵蚀循环理论,丹霞地貌演化可划分为三个阶段,即幼年期、壮年期和老年期,不同的演化阶段发育独特的丹霞地貌景观组合。前人着重强调了丹霞地貌景观的形成条件为:地壳隆升剥蚀、块段差异抬升,并发育多组不同方向相互交切的断裂和垂直节理或裂隙,伴随着流水的长期冲刷侵蚀(包括下蚀和侧蚀)作用和由于支撑力失衡和自身重力作用所引起的崩塌作用下而形成丹霞地貌。随着丹霞地貌的深入研究,红层的厚度、岩相、岩石学和地球化学特征对丹霞地貌的形成及其景观类型和形态的制约作用已引起国内学者的重视<sup>[16-21-24]</sup>。

郭福生等<sup>[13,14]</sup>对丹霞地貌成景系统特征、发育规律及其演化进行了研究。何庆成等曾论述了龙虎山地质公园三个丹霞地貌园区是三个冲积扇所在地,而不是丹霞地貌演化阶段不同所致。笔者通过对信江盆地丹霞地貌的详细研究发现:丹霞地貌的形成除了受上述条件控制外,沉积体系对丹霞地貌的发育还起着不容忽视的控制作用。丹霞地貌主要发育于冲积体系中的扇根、扇中亚相,扇端及辫状河道等亚相,偶见一些顶圆低矮的圆丘型丹霞丘陵及岩洞型丹霞地貌。值得指出的是,并不是所有的冲积扇都能形成丹霞地貌,必须是多期扇体的叠加复合扇体才能为丹霞地貌提供足够的物质基础。从沉积粒径和厚度在垂向上的变化特征可以推测,每次洪水事件的洪峰都是由高峰→低峰的变化顺序,从而形成若干个由粗变细的扇旋回。每个扇旋回代表一次大的洪水事件,扇扇相接,构成复合扇。在冲(洪)积物沉积过程中,扇根区相对较为固定,而扇中和扇端随时空常有迁移,且在冲洪积间歇期间,冲(洪)积扇面上也常有季节

性辫状河道沉积发育。

### 3.1 丹霞地貌发育的物质基础

信江盆地丹霞地貌的成景地层有赣州群茅店组和龟峰群的河口组、塘边组和莲荷组,岩性主要为巨厚的砾岩、含砾砂岩和砂岩,其中龟峰群河口组是主要的成景地层。分布于盆地边缘的茅店组、河口组和莲荷组以发育高大“顶斜”型的峰林、峰丛、崖壁型丹霞地貌组合为特征。分布于盆地中部的河口组上部地层和塘边组中以发育顶圆型低矮的圆丘状丹霞地貌组合为特征,广泛发育大型岩洞<sup>[16]</sup>。

茅店组( $K_2m$ )主要出露于信江盆地南北边缘地带,主要分布于贵溪南部、弋阳北部、广丰次级盆地和玉山次级盆地的南北侧,其中以广丰次级盆地分布最广,是广丰次级盆地主要充填岩系,主要分布于广丰次级盆地的西南缘和东南缘,该地区茅店组由冲积扇相顶部巨厚砾岩、砂砾岩组成,为近源快速堆积。在广丰次级盆地中部桐畈一带,局部地层中也形成一些陡崖,但由于组成陡崖的地层由中厚层含砾砂岩、砂岩和粉砂岩及少量泥岩组层。这些地层抗风化能力相差很大,往往形成阶梯状的陡崖,抗风化能力强的砂砾岩形成陡坡,抗风化能力弱的细砂岩、泥岩则形成缓坡。

河口组( $K_2h$ )广泛分布于信江盆地南北边缘,是信江盆地中出露面积最大的红层,是信江盆地丹霞地貌主要的成景地层。主要为一套山麓洪—冲积扇粗碎屑岩建造,岩性为紫红色巨厚层状砾岩、砂砾岩、砂质砾岩夹含砾粗砂岩、含砾细—粉砂岩。砾岩中砾石成分复杂,分选性差,磨圆度、球度低,多呈棱角状、次棱角状,少数呈次圆状,以硅铁质或钙质呈基底式胶结为主。砂岩、粉砂岩抗风化能力较弱,易被风化、侵蚀;而砾岩、砂砾岩则相对质地坚硬,岩层厚度大,抗风化剥蚀能力强;当其中的较软弱夹层之砂岩、粉砂岩风化剥蚀后,山体重心失衡,在重力作用下沿垂直节理常发生崩塌,形成以赤壁丹崖为特征的丹霞地貌。

塘边组主要分布于盆地的中部,从盆地西部鹰潭—贵溪,中部弋阳,向东经横峰到上饶一线,是信江盆地丹霞地貌主要的成景地层之一。主要为一套红色河流—湖泊相碎屑岩建造,岩性为紫红色中—厚层状砂岩及薄层状粉砂岩,发育大型交错层理。岩石以钙质、泥质胶结为主,硬度低,抗风化能力较弱,易于湿解和片状、粉末状风化形成低矮平缓的山岗丘陵,仅局部偶见有不高的陡崖赤壁。在物理风化和化学

风化作用下,也可形成大型岩洞。

莲荷组分布于信江盆地的中东部的北侧横峰—上饶一线,岩性组合为冲积扇相砾岩、含砾砂岩、砂岩,顶部夹细砂岩和泥岩,是信江断陷盆地最上部的地层。该组岩性变化较大,在盆地北侧边缘一带主要为厚层砾岩、砂砾,盆地中部为砂岩。由于岩石学质特征,在盆地北侧边缘地带,受盆地边界断层活动影响,地层产状变化较大,可达 $30^\circ$ 左右,有的达 $40^\circ$ 以上,形成“顶斜”的石峰、石柱、石崖、穿洞、岩洞等景观组合。

### 3.2 沉积微相对丹霞地貌形态的制约

前人对丹霞地貌发育过程的理解,强调了地层产状较平缓、地壳隆升断裂切割和风化剥蚀,总体上假设了将内外营力作用于一个“先期平整而均一的地质体”上。然而,笔者通过野外详细调查发现,信江盆地形态各异的丹霞地貌的形成,除了受后期内外地质作用影响外,首先取决于物质成份的差异。丹霞地貌的发育程度和形态特征,与盆地不同部位的沉积相特征密切相关。陆相盆地充填体的均一性程度差,不同相带的碎屑粒度和胶结状态不同,抗风化作用的能力和方式也迥然不同。信江盆地丹霞地貌发育主要与冲积扇沉积体系和辫状河沉积体系有关。不同微相沉积物的物性及其在平面上的展布不同,构成了形成丹霞地貌物质基础的差异性。辫状河沉积体系中的细碎屑岩建造,岩性以紫红色块状细砂岩为主,夹少量含砾细砂岩及薄层状粉砂岩,易于风化成低矮圆丘型及岩洞型丹霞地貌。限于篇幅,关于辫状河道沉积的丹霞地貌发育规律将在另文阐述<sup>[25]</sup>。

本文主要论述冲积扇体系及其微相与丹霞地貌形态的关系。冲积体系的主槽、辫流线等微相中的砂砾岩、砾岩相对质地坚硬,抗风化剥蚀能力强,而漫洪带相对较细的沉积物如细砂岩、粉砂岩抗风化能力较弱,易被风化溶蚀、水流侵蚀。当其中的较软弱夹层发生差异风化并剥蚀后,山体重心失衡,沿垂直节理发生崩塌,坚硬的砾岩、砂砾岩形成赤壁丹崖、形态各异的造型石,或者形成近于带状的突起或凹坑,较大的凹坑可进一步发展成为岩槽、岩洞(图3)。

#### (1) 扇根亚相

##### ①主槽

位于扇顶中部,顶端正对出山口,横断面呈底部微下凸的宽浅槽形。槽内布满流沟,流沟宽可达数米,呈放射状散开,其间为相对较高的沟间滩。沟间滩上接受的是悬移质最多的漫洪期物质,形成分选极

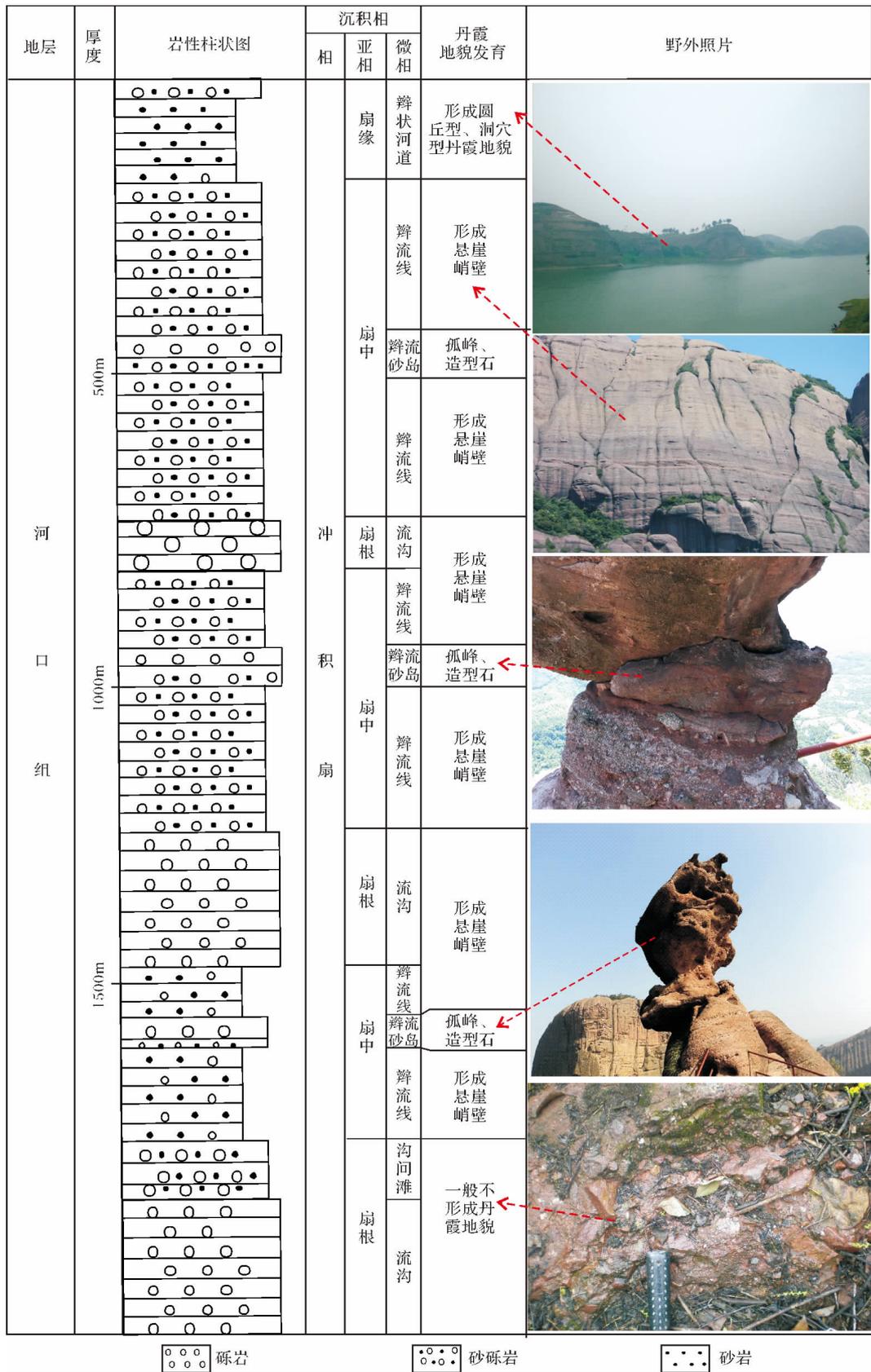


图3 信江盆地河口组沉积特征与丹霞地貌关系

Fig. 3 The relationship between sediment characteristics of Hekou Formation and Danxia landform in Xinjiang Basin

差、砾径大的泥质砾石层。而流沟内洪积物较沟间滩洪积物粗,含泥量低,故渗透性高,支撑砾岩即形成于流沟中。流沟和沟间滩在平面上和时间上反复迁移更替,致使两种渗透性差别很大的沉积物在主槽剖面上反复交替叠置。

主槽沉积物是一套很厚的砂砾岩。砾岩岩比通常在90%以上,夹少量局部回流、涓流和风成的中细砂岩透镜体,砂岩岩屑含量高,重矿物含量也高,常见单层系斜层理。剖面中偶有泥石流成因的含砂砾泥岩和泥质砂砾岩。普遍发育洪积层理。剖面上泥质含量以底部最高,向上减少,支撑砾岩出现于中上部。因为主槽中的流沟和沟间滩往复迁移更替,致使物性差别很大,同时主槽内水流动能较大,每一次洪峰都将前一次的漫洪期物质侵蚀殆尽,仅残留抗风化能力强的砂砾质粗碎屑沉积物,这为形成丹霞地貌提供了物质基础和发育空间。此外,形成于流沟中的支撑砾岩由于是砾石相互支撑接触,孔隙中无或极少沙泥质充填物,因而不能胶结成岩,砾石疏松易脱落。往往也是崖壁上蜂窝状、扁平状洞穴形成的原因之一。地貌表现为厚度不超过20 cm、辐向延伸长度不到50 m,宽度仅数米至十数米的透镜体产出洞穴。

### ②侧缘槽

位于扇顶一侧或两侧,其上游端在山口附近与主槽分叉。形态狭长,下游端消失于扇间地带。它与外侧的山麓风化基岩和内侧的主槽之间,以狭窄的槽滩或漫洪带或扇间滩作为过渡。年轻的扇体以及狭长形的洪积扇上,侧缘槽往往不发育。沉积物也由流沟和沟间滩沉积组成,与主槽微相无明显差别,常混有少量坡积、坠积物。发育洪积层理。沉积物厚度小于主槽,砾岩仍在90%以上,但粒度略小,分选稍好。含泥量与主槽微相中上部相近或更低,且垂向上以底部最低。支撑砾岩见于中下部。

侧缘槽位于主槽的两侧,靠近冲积扇的边缘,虽然沉积物与主槽相近都为砾岩,由于沉积厚度不大,很难能形成丹霞地貌。而且野外露头表现为多期扇旋回叠加,例如在龟峰景区西侧通往坝头、灵范的公路上可以清楚地看到构造龟峰景区扇旋回,但是在景区内则表现为块状—巨厚层砂砾岩,很难能看到冲积扇旋回。侧缘槽不能形成丹霞地貌原因是每一次洪峰期的碎屑物质从山口流出时的主要通道为主槽,在主槽内冲刷充填构造很发育,很小一部分碎屑物质流经侧缘槽,由于水流动能不是太大,所以侧缘槽能够表现出很好的冲积扇旋回沉积。

### ③漫洪带

为扇顶表面上突起的部分,仅在特大洪水期才接受沉积。其成因可能是主槽某一部分在一定条件下不断加积堆高而两侧或一侧被冲蚀;也有可能是源区间歇抬升,山区河流下切导致主槽加深,两侧形成阶地。漫洪带沉积物多呈棕黄、砖红色,岩性为含砂砾泥岩或泥质砂砾岩,颗粒直径比主槽、侧缘槽沉积小得多,且分布不均,成团块状集结。漫洪带沉积物在扇顶沉积物剖面中比例很小,单层厚度仅数十厘米至数米。

漫洪带沉积物具有较其他微相碎屑颗粒细,泥质含量高,多分布不均,有时成团块状产出的特点。由于漫洪带沉积物颗粒细且泥质含量高,抗风化能力较砂砾岩弱,很容易被水流或风侵蚀形成蜂窝状洞穴,或在赤壁丹崖上显示深度不等丹霞岩槽地貌,扁平洞穴的特点。

### (2) 扇中亚相

#### ①辫流线

辫流线是主槽在扇中部位的分支,也是流沟在扇中的归并,大体呈辐向散布。一般宽10~15 m,有时可宽百余米,深1~5 m,可达10 m以上。最深处在辫流线上中段,向扇缘变浅。至交切点处,沟底露出扇面。沉积物为槽洪携带的砂砾,一般厚数米,粒度中值较扇顶小,分选略好,含泥量则有所增加。洪积层理和大型多层系交错层理广泛发育。交错层理的细层下端收敛,上端多被侵蚀,细层内粒度向上变细。扁平砾石定向排列较扇顶更显著。底部冲刷面粗糙不规则,下切幅度不大。

辫流线微相为主槽微相的延续,也是构成丹霞地貌的主要物质基础。由于沉积物相对比较均一,胶结较好,抗风化能力较强,往往形成丹霞崖壁。

②辫流砂岛是辫流线中间或边缘的砾石滩。面积不大,顺辫流线走向延伸,沉积物粒度与辫流线微相相近甚至可更粗,但含泥量变高,普遍发育大型交错层理。在砂质沉积中可见波状纹层,粒度、分选变化大。

由于辫流砂岛在扇中亚相表现为面积不大的砾石沉积,比扇中其他亚相抗风化能力要强,往往为形成千姿百态造型石提供物质基础。

③漫流带是辫流线间突出部位,只接受漫洪期细粒悬浮沉积,边部往往为粗碎屑物包围。沉积物为砂质泥岩及泥质砂岩,含少量细砾石。在贵溪城南新鲜露头可见漫流沉积物主要为砖红色泥质粉砂岩、长石

细砂岩偶含石英细砾,风化面上表现为丹霞岩槽。在研究区内漫流沉积主要岩性为砖红色长石细砂岩、泥质粉砂岩,不含钙质。长石含量很高,达 30% 左右,易风化,风化后在岩石中呈白色粉末状,致使岩石疏松,从而减弱了漫流带沉积物的抗风化能力,很容易形成丹霞岩槽。

### 3.3 沉积体系平面展布与丹霞地貌分布关系

信江盆地白垩统主要为半深湖—深湖、扇三角洲沉积,沉积物粒度细小,不能构成丹霞地貌悬崖峭壁的物质基础。该区丹霞地貌主要形成于晚白垩世的冲积扇相,其次也偶见于辫状河相的河道沉积。

晚白垩世信江盆地沉积相呈东西带状展布,自盆地南缘向北缘依次发育洪冲积相→辫状河流→三角洲→滨浅湖→三角洲→辫状河流→洪冲积相的展布方式,盆地北缘冲积扇相不发育(图 4)。盆地南缘山前的鹰潭龙虎山—贵溪挂榜山、流口镇—弋阳的圭峰镇—铅山的河口镇一线以南地区,洪冲积—河流相、三角洲相十分发育,滨浅湖区仅发育在鹰潭、贵溪及弋阳一线,盆地北缘发育物源来自北部的河流及三角洲体系,南部物源来自南缘的冲积—河流相。在野外露头剖面调查过程中,广丰县南侧、弋阳圭峰、贵溪象山、鹰潭龙虎山可以识别出 4 个较大的冲积扇朵状体。此外,在长条形沉积盆地的北东端横峰县司铺乡等地,也发育冲积—河流相,可以识别出 1 个较大冲积扇朵状体。

在信江盆地南北缘大量发育彼此相连的冲积扇

裙,而典型的丹霞地貌仅发育在局限的几个地方,其原因是:并不是所有的冲积扇都能形成丹霞地貌,而是具有保存完好的多期叠加的冲积扇体才能构成丹霞地貌发育的物质条件。根据层序地层学原理,必需具有一定的可容空间才能使每次冲积扇产物保存下来。通过详细的野外观测发现,只有在古断裂发育的地方,冲积扇体才能发育深切谷,为保存冲积扇体提供足够的可容空间,从而为后期的丹霞地貌形成提供物质基础。而那些仅发育在山麓坡角处的冲积扇体因为没有足够的可容空间,即便发育多期扇旋回,也处于长期剥蚀区,不易保存,形成不了丹霞地貌,或者丹霞地貌规模小,零星分布。

## 4 结论

(1) 根据区域沉积格局和沉积作用特点,在信江盆地白垩统中识别划分出 4 种沉积体系:冲(洪)积、湖泊、扇三角洲、三角洲。下白垩统主要为半深湖—深湖沉积,上白垩统从盆地南缘到北缘大致为洪冲积相→辫状河流→三角洲→滨浅湖→三角洲→辫状河流→洪冲积相的展布方式。

(2) 信江盆地晚白垩世丹霞地貌发育与冲积扇沉积关系密切,其亚相、微相类型对丹霞地貌发育起到一定的控制作用。冲积体系的主槽、辫流线等微相沉积的砂砾岩、砾岩相对质地坚硬,抗风化剥蚀能力强,易形成赤壁丹崖、形态各异的造型石等丹霞地貌;漫洪带微相沉积了相对较细的沉积物如细砂岩、

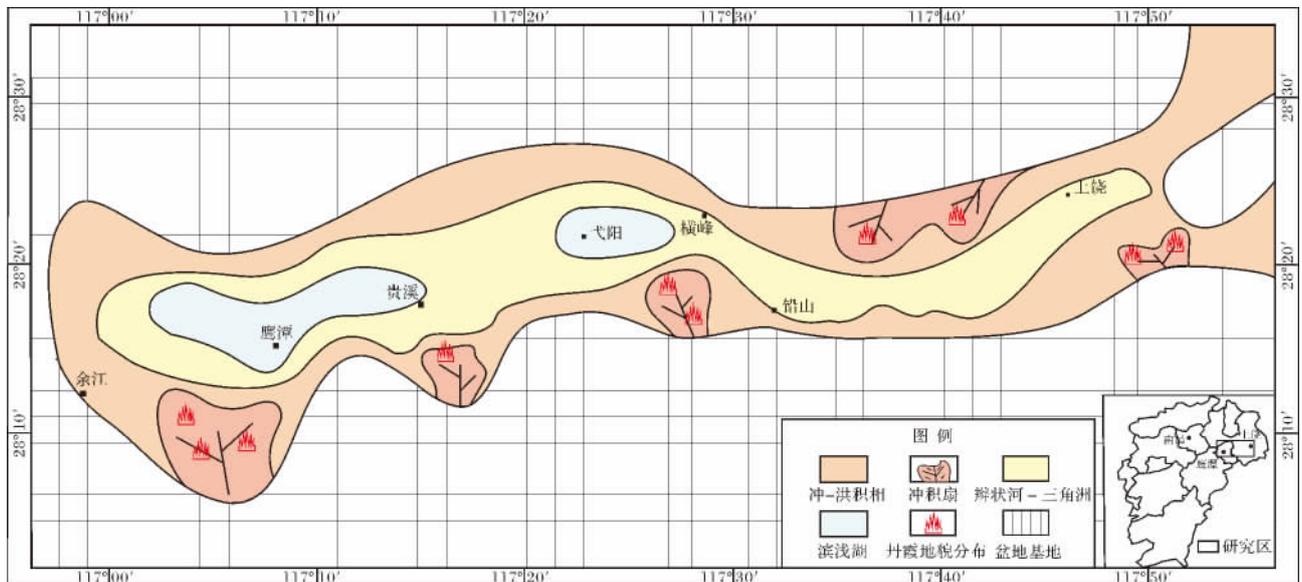


图 4 信江盆地上白垩统沉积体系展布与丹霞地貌分布的关系

Fig. 4 The relationship between the spread of Late Cretaceous depositional system and the landform distribution in Xinjiang Basin

粉砂岩且泥质含量高,其抗风化能力较弱,易被风化剥蚀形成凹坑,较大的凹坑可进一步发展成为岩槽、岩洞等丹霞地貌类型。

(3) 信江盆地南、北缘除了发育众多相互叠加连结的洪积扇群以外,盆地南缘由东向西依次可以识别出广丰、龟峰、象山、龙虎山4个冲积扇朵状体,盆地东北缘横峰—上饶一线发育1个冲积扇朵状体,这些地方都有丹霞地貌发育。丹霞地貌分布与冲积扇相的平面展布具有较好的吻合性。

### 参考文献 (References)

- 张利民. 从信江盆地新资料论侏罗、白垩系的界线[J]. 地质论评, 1991, 37(4): 310-318 [Zhang Limin. The Jurassic-cretaceous boundary based on new data from the Xinjiang Basin [J]. Geological Review, 1991, 37(4): 310-318]
- 许玩宏. 江西信江盆地周家店组的介形类化石[J]. 微体古生物学报, 1993, 10(3): 337-344 [Xu Wanhong. Ostracods from the upper part of Zhoujiadian Formation, Xinjiang Basin [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1993, 10(3): 337-344]
- 许玩宏, 张利民, 曹双林. 江西信江盆地石溪组生物群及其时代[J]. 地层学杂志, 1994, 1(3): 181-188 [Xu Wanhong, Zhang Limin, Cao Shuanglin. The Shixi Formation in the Xinjiang Basin of Jiangxi and its biota and age [J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 1(3): 181-188]
- 巫建华. 赣东北中生代晚期盆地特征及地层划分[J]. 华东地质学院学报, 1995, 18(2): 143-151 [Wu Jianhua. A discussion on the Late Mesozoic basin features and strata division in the northeast of Jiangxi province [J]. Journal of East China Geological Institute, 1995, 18(2): 143-151]
- 巫建华. 江西贵溪毫山剖面原罗塘组的研究及其意义[J]. 地层学杂志, 2000, 24(1): 72-77 [Wu Jianhua. A study on the "Luotang Formation" in the Haogangshan section of Guixi, Jiangxi [J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(1): 72-77]
- 巫建华. 江西信江盆地早白垩世晚期轮藻及其地层意义[J]. 微体古生物学报, 2006, 12(1): 79-87 [Wu Jianhua. Late early cretaceous charophytes from the Xinjiang Basin, Jiangxi and their stratigraphic significance [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2006, 12(1): 79-87]
- 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]
- 谢爱珍. 信江盆地晚白垩世沉积体系特征与圭峰群地层划分的讨论[J]. 华东地质学院学报, 2001, 24(1): 5-10 [Xie Aizhen. Discussion about subdivide of Guifeng group and sedimentary system and character of facical model in Late Cretaceous in Xinjiang Basin [J]. Journal of East China Geological Institute, 2001, 24(1): 5-10]
- 刘行军, 巫建华, 王正其. 江西贵溪盆地罗塘群沉积体系特征及其地质意义[J]. 东华理工学院学报(自然科学版), 2005, 28(3): 206-315 [Liu Hangjun, Wu Jianhua, Wang Zhengqi. Sedimentary system feature and significance of Luotang group in Guixi Basin, Jiangxi province [J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science), 2005, 28(3): 206-315]
- 刘行军, 董业才. 江西贵溪盆地罗塘群沉积相特征[J]. 江苏地质, 2006, 30(2): 94-101 [Liu Hangjun, Dong Yecai. Features of sedimentary facies, Luotang group in Guixi Basin, Jiangxi [J]. Jiangsu Geology, 2006, 30(2): 94-101]
- 李晓勇. 江西信江盆地演化及重要地质事件与证据[J]. 东华理工大学学报, 2009, 32(4): 324-329 [Li Xiaoyong. A study on the evolution of Xinjiang Basin and the main geological events and its evidences [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2009, 32(4): 324-329]
- 郭福生, 姜勇彪, 郭国林, 等. 江西龙虎山景观特色及其形成机制[J]. 经济地理, 2006, 26: 126-129 [Guo Fusheng, Jiang Yongbiao, Guo Guolin, et al. Landscape features and its formation mechanism of Longhushan Scenery, Jiangxi [J]. Economic Geography, 2006, 26: 126-129]
- 郭福生, 刘林清, 杨志, 等. 江西省丹霞地貌发育规律及旅游区划研究[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]
- 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]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(2): 195-201]
- 姜勇彪, 郭福生, 胡中华, 等. 江西信江盆地红层及其地貌发育研究[J]. 资源调查与环境, 2010, 31(4): 235-244 [Jiang Yongbiao, Guo Fusheng, Hu Zhonghua, et al. A study on the red beds and its landforms in Xinjiang Basin [J]. Resources Survey & Environment, 2010, 31(4): 235-244]
- 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]
- 周松源. 江西弋阳盆地白垩系含油气系统特征[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 116-120 [Zhou Songyuan. Characteristics of Cretaceous petroleum system in Yiyang Basin, Jiangxi province [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(2): 116-120]
- Guoda Chen. On the subdivisions of the red beds of southeastern China [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1938, (18): 315-316
- 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]
- 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: 62-11 [Huang Jin, Chen Zhijun. Some problems about definition and classification of Danxia landform [J]. Economic

- geography 2003 ,23: 62-11]
- 21 朱诚,彭华,李世成,等. 安徽齐云山丹霞地貌成因[J]. 地理学报,2005,60(3): 445-255 [Zhu Cheng, Peng Hua, Li Shicheng, et al. Danxia landform genesis on Qiyun Mountain, Anhui province [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3): 445-255]
- 22 朱诚,彭华,李中轩,等. 浙江江郎山丹霞地貌发育的年代与成因[J]. 地理学报,2009,64(1): 21-32 [Zhu Cheng, Peng Hua, Li Zhongxuan, et al. Age and genesis of the Danxia landform on Jianglang Mountain, Zhejiang province [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(1): 21-32]
- 23 朱诚,俞锦标,赵宁曦,等. 福建冠豸山丹霞地貌成因及旅游景观特色[J]. 地理学报,2000,55(6): 279-288 [Zhu Cheng, Yu Jinbiao, Zhao Ningxi, et al. Danxia landform genesis and scenic feature on Guanzhai Mountain, Fujian province [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(6): 279-288]
- 24 He Qingcheng, Ren Fang, Liu Kai, et al. The influencing factors development and evolution of Danxia landform in Longhushan [C] // World Danxia—First International Symposium on Danxia Landform, 2009: 242-248
- 25 朱志军,黄宝华,郭福生,等. 江西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(3): 379-387 [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(3): 379-387]

## Cretaceous Sedimentary System and Their Relationship with Danxia Landform in Xinjiang Basin, Jiangxi

GUO Fu-sheng<sup>1 2</sup> ZHU Zhi-jun<sup>1 2</sup> HUANG Bao-hua<sup>1 3</sup> JIANG Yong-biao<sup>1 3</sup>

(1. East China Institute of Technology Fuzhou, Jiangxi 344000;

2. State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology Nanchang 330013;

3. Jiangxi Key Laboratory of Digital Land, Fuzhou, Jiangxi 344000)

**Abstract:** By the depositional sequence, characteristics of petrology, paleo-ecology and landscape characteristics, this article discussed the cretaceous depositional system in Xinjiang Basin, Jiangxi. The author first discusses the relationship between the depositional system and Danxia landform. There are four kinds of depositional systems in Cretaceous of Xinjiang Basin: alluviation (proluvial), delta, lake, fan delta. Lower Cretaceous are of mainly semideep-deep lacustrine facies and fan delta sedimentary facies. In upper Cretaceous, the sedimentary facies distribution from south to north are flood alluvial facies, braided river, delta, beach-shallow lake, delta, braided river, flood alluvial facies. Further studied found that developed a large number of interconnected alluvial fan apron in the North and South margins of Xinjiang Basin, While the typical Danxia landforms are developed within a few places. The reason is not all of the alluvial fan can formed Danxia landform, the conditions of Danxia landform development is preserved much period superposition of the alluvial fan. According to the principle of sequence stratigraphy, must have certain space to make every alluvial fan product can be preserved. Through detailed field observation found that alluvial fan can develop deep valley only in the place of development of fracture. Deep valley can preserved alluvial fan to provide material basis of Danxia landforms. Because there is not enough space developed in Piedmont slope of the Multi stage alluvial fan, at long-term denudation area, is not easy to preserve, can not form the Danxia landforms, or Danxia landforms are small, scattered. In addition, Danxia landform development controlled by sedimentary subfacies and phase. Mainly for the continental basin filling homogeneity degree difference, difference between clastic granularity and cementation state of different sedimentary facies, resistant to weathering ability and ways is different. For example, the micro phase glutenite of main channel, braided stream in alluvial system conglomerate relatively hard, resistant to weathering and erosion capability. But sheetflood with relatively fine sediments such as sandstone, siltstone weathering resistant ability is weak, easily erosion by weathering and water. After the relatively weak interlayer difference weathering and erosion, mountain gravity unbalance, collapse along vertical joints, hard conglomerate, glutenite formed red cliffs, different modelling stone, or a similar strip protrusions or depressions, larger pits can be further developed into rock grooves or cave. The research results show that the Danxia landform of Xinjiang Basin spatial distribution and basin alluvial fan, braided river facies distribution has a good consistency, its developmental types obviously affected by sedimentary subfacies and facies.

**Key words:** Xinjiang Basin; sedimentary system; Cretaceous; Danxia landform