

# 安徽齐云山丹霞地貌成因

朱 诚<sup>1</sup>, 彭 华<sup>2</sup>, 李世成<sup>3</sup>, 黄林燕<sup>1</sup>, 郑朝贵<sup>1</sup>, 项伏生<sup>4</sup>

孙毓飞<sup>5</sup>, 唐云松<sup>1</sup>, 胡济源<sup>6</sup>, 朱光辉<sup>6</sup>, 吕健君<sup>7</sup>, 程光华<sup>8</sup>

(1. 南京大学城市与资源学系, 南京 210093; 2. 中山大学地理系, 广州 510275;

3. 洛阳轴承集团公司教育处, 洛阳 471003; 4. 安徽省黄山市人民政府, 黄山 245000;

5. 安徽师范大学地理系, 芜湖 241000; 6. 安徽省黄山市地质矿产局, 黄山 245000;

7. 安徽省黄山市屯溪区档案局, 黄山 245000; 8. 安徽省齐云山风景区管理委员会, 休宁 245400)

**摘要:** 齐云山丹霞地貌主要发育于中白垩统小岩组  $K_2x^1$  红色砂砾岩层中, 该区地貌发育主要受景德镇-祁门断裂带、江湾-街口挤压破裂带和开化-淳安褶断带三大断裂带控制。在白垩世该区经历了地块沉降, 成为陆上的断陷湖盆, 由此接受了巨厚的白垩系红层堆积。在新构造运动中, 该区经历了升降过程, 巨厚的白垩系沉积物变成了海拔 500~600 m 的山体。白垩系红色砂砾岩在经历了垂直节理发育、风化破坏阶段及剥蚀搬运阶段后, 同时受岩性本身砂岩与砾岩在组分和结构上的影响, 差异性风化剥蚀显著, 因此形成了壮观的峰林、崖、洞、方山、城堡及天生桥景观。该区 585 m、400 m 和 150 m 处的三级裂点, 大致反映了该区新构造运动中三次主要的抬升过程。

**关键词:** 齐云山; 丹霞地貌; 地貌成因

根据国内学者<sup>[1]</sup>多年研究, 已发现我国境内丹霞地貌分布多达 400 余处, 陈国达<sup>[2]</sup>、曾昭璇等<sup>[3]</sup>、黄进等<sup>[4,6]</sup>和彭华等<sup>[7-9]</sup>对我国丹霞地貌分布规律、风景质量评价与分级、旅游开发实践研究已取得不少成果, 我国许多丹霞地貌区正被开发为国家地质公园或国家级旅游风景区。但认真回顾可以发现, 目前我国对丹霞地貌成因还缺乏深层次的理论研究, 尤其在地质构造、岩性与丹霞地貌发育的联系性方面, 还缺乏更多有实验数据基础的研究成果。有鉴于此, 作者在近年对福建冠豸山丹霞地貌成因研究基础上<sup>[10]</sup>, 最近又从实地考察和岩性、构造等分析入手, 对齐云山丹霞地貌成因作了进一步探讨。

## 1 齐云山丹霞地貌发育的自然条件

齐云山又名白岳, 是国家地质公园, 也是我国四大道教圣地之一, 它位于皖南休宁县境内, 地理位置  $N29^{\circ}47' \sim 29^{\circ}50'$ ,  $E117^{\circ}57' \sim 118^{\circ}03'$ , 东西绵延约 15 km, 南北跨越 6 km, 面积约 90 km<sup>2</sup>。主峰钟鼓峰海拔 585 m, 位于北部山麓的岩脚海拔 105 m, 最大相对高差 480 m 左右, 大部分山地相对高差在 300~400 m 间。该区地处我国中亚热带北缘, 季风气候显著, 年平均气温 17 °C, 1 月平均气温 3.7 °C, 7 月平均气温 27.9 °C, 日平均气温稳定通过 10 °C 的积温达 5 153 °C, 年平均降水量达 1 630 mm。据明万历刻本《齐云山志》载: “齐云一石插天, 直入霄汉, 真可与云齐也, 故谓之齐云”<sup>[11]</sup>。山上群峰矗立, 岩洞毗连, 更有石殿、石窟、石像、石刻遍布山中。洞、涧、池、泉缀落崖间; 抬头望, 悬崖绝壁, 云雾缭绕; 放眼远眺, 溪桥绕膝、阡陌连片。真可谓“天开图画、

收稿日期: 2005-02-18; 修订日期: 2005-03-30

基金项目: 国家自然科学基金 (40271103); 南京大学 985 自然地理学科建设与南京大学现代分析中心测试基金项目资助成果 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40271103; "985 Project" construction of Physical Geography for Nanjing University and Foundation of Modern Analyses Center of Nanjing University]

作者简介: 朱诚 (1954-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地貌与第四纪地质研究。E-mail: zhuchengnj@yahoo.com.cn

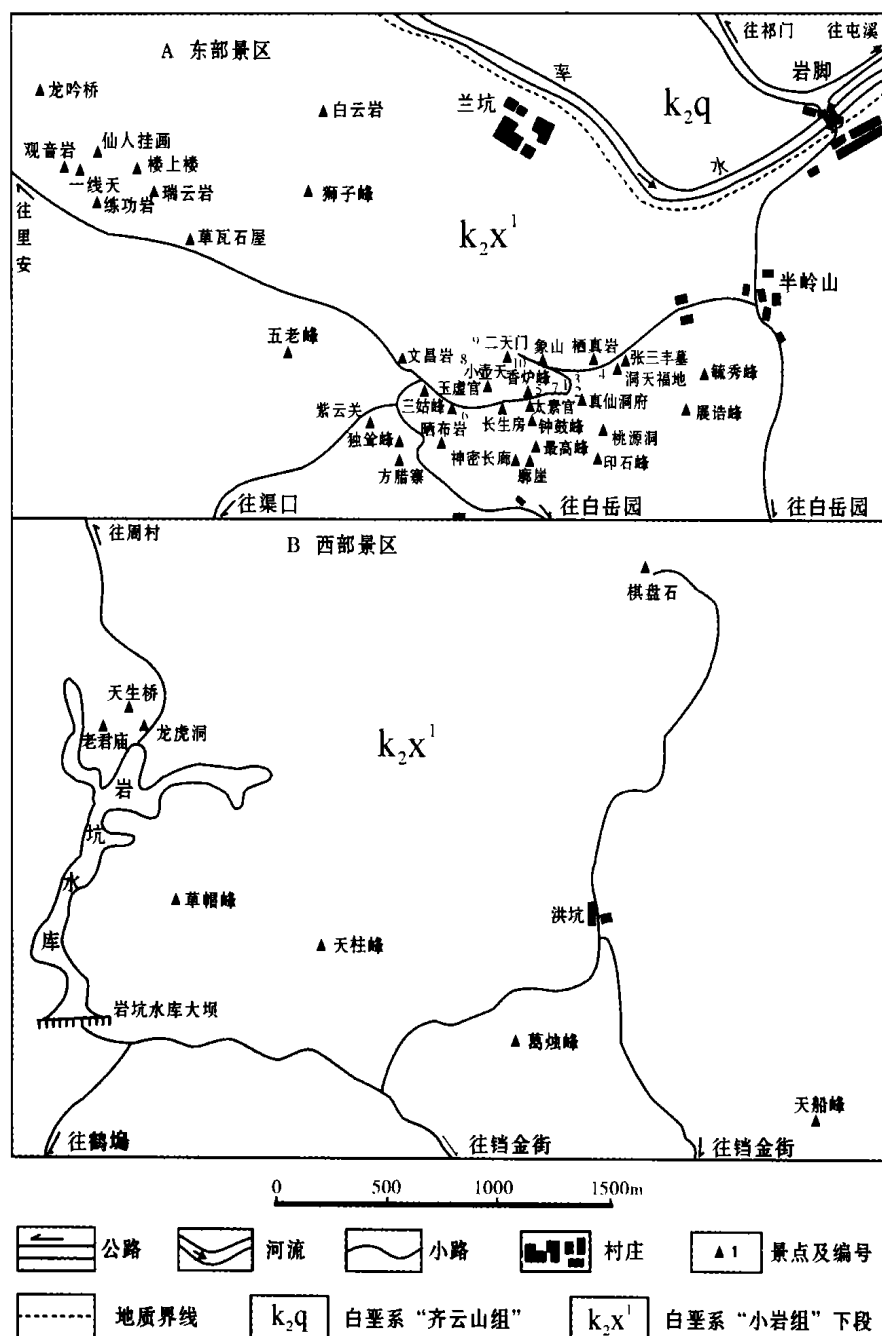


图 1 齐云山主要丹霞地貌和景点以及岩性分布图

Fig. 1 Distribution of Danxia landform, scenic spot and lithology of Qiyun Mountain

神奇秀丽”！故曾被乾隆<sup>[12]</sup>誉之为：“天下无双胜境，江南第一名山”。因此，齐云山在历史上与黄山、九华山并列为皖南三大名山(图 1)，明代徐霞客曾两次到齐云山考察<sup>[13]</sup>。

### 1.1 岩层岩性

齐云山缺失古生代和新生代地层，其基底主要是元古代浅变质千枚岩，丹霞地貌几乎全部发育于白垩系红色砂砾岩中。按岩性本身差异和时代不同又可分为上统和下统(图 2 和图 3)。

**1.1.1 下统“桂林组( $K_{1g}$ )”** 主要出露于齐云山北麓岩脚，分为上、下两段。下段( $K_{1g}^1$ )：在岩脚北部铁路旁可见，由棕灰色巨厚砾岩、紫红色厚层钙质硬砂岩、钙质细砂岩、钙质粉砂岩组成若干个大型韵律层，韵律层砾岩较薄(厚 1~3 m)，砂岩较厚(3 m 以上)，砾岩成分有砂岩、脉石英及少量硅质岩、灰岩等；砾径 1~5 cm，多呈次圆状至次棱

角状, 分选性差。上段 ( $K_1g^2$ ) 在岩前公社西部 400 m 处公路旁可见, 主要由暗紫色厚层粗砂岩、中粗粒砂岩、紫红色薄层钙质粉砂岩组成, 有若干韵律层, 产状: 倾向 SW190°, 倾角 14°。

### 1.1.2 上统分为以下两组

(1) “齐云山组” ( $K_2q$ ) 在“桂林组”之上有一套紫灰色厚至巨厚层砾岩和紫红色厚层钙质砂岩, 332 地质队将其命名为“齐云山组”, 与下伏层在钨金街呈不整合接触。齐云山组主要由四种岩层构成大型韵律层, 即不等粒结构和粗粒状结构的含砾钙质硬砂岩、砂状结构的钙质细砂岩、粉质泥质结构的钙质粉砂岩以及粉砂微粒结构的粉砂质灰岩。

(2) “小岩组下段” ( $K_2x^1$ ) 是构成齐云山丹霞地貌最主要的岩层, 分为上、下两部分, 下部: 在山麓 (如中和亭) 可见, 由暗红色厚层砾岩及鲜红色厚层硬砂岩构成, 底部以砾岩为主夹砂岩透镜体, 顶部为鲜红色厚层硬砂岩与紫灰色厚层细砾岩互层。砾石以千枚岩为主, 次为石英砂岩、硅质岩及石英岩块组成 (分选性较差), 砾径大者达 25 cm, 一般为 2~5 cm, 多呈次圆至次棱角状。

自下而上砾岩变细, 有砂质、泥质胶结。上部: 在海拔 400 m 以上较多见, 为砖红色厚层硬砂岩, 表面具白色、灰绿色斑点, 向上斑点逐渐增多, 颗粒变粗, 偶尔含砾。该层还与紫灰色巨厚层砾岩、紫红色巨厚层砂岩互层。在最高峰见有大型交错层理, 砾岩往往呈透镜体状产出, 带有河床相沉积性质。鉴于齐云山上各处岩石标本滴酸后均起泡, 说明钙质成分甚多, 这就为齐云山丹霞地貌的形成提供了化学风化和物理风化作用的重要物质基础。

此外, 在岩脚公路以北, 可见与“桂林组下段”呈角度不整合的元古代浅变质岩 ( $Ptn^1$ ), 主要由灰色、灰绿色含砂粉砂岩夹灰黑色含砂千枚岩组成。岩层受南北向应力挤压成一转折端被剥蚀的小背斜构造, 背斜北翼产状: 倾向 NW346°, 倾角 81°, 上部有坡积物覆盖。在山南钨金街附近公路旁也可见受挤压强烈、岩层破碎的元古代浅变质岩。

1.1.3 表 1 和表 2 是在齐云山典型丹霞地貌发育区采集的小岩组岩石标本经磨薄片偏光镜鉴定和在南京现代分析中心用岛津 VF-320X 射线荧光光谱仪测出的各元素与氧化物的含量等鉴定结果。从表 1 和表 2 鉴定结果可发现:

(1) 齐云山丹霞地貌洞穴发育与岩性中钙质含量有关, 如构成真仙洞府的钙质粉砂岩填隙物 50~35% 是方解石胶结物和粘土杂基等, 方解石胶结物多达 20~45%, 钙质胶结物占 20%, 真仙洞府的 CaO 含量 26.20% 比其他元素和氧化物含量高一个数量级, 而其他抗风化能力强的砾岩等岩性钙质胶结物均少于洞穴发育处的钙质粉砂岩。这对丹霞地貌的

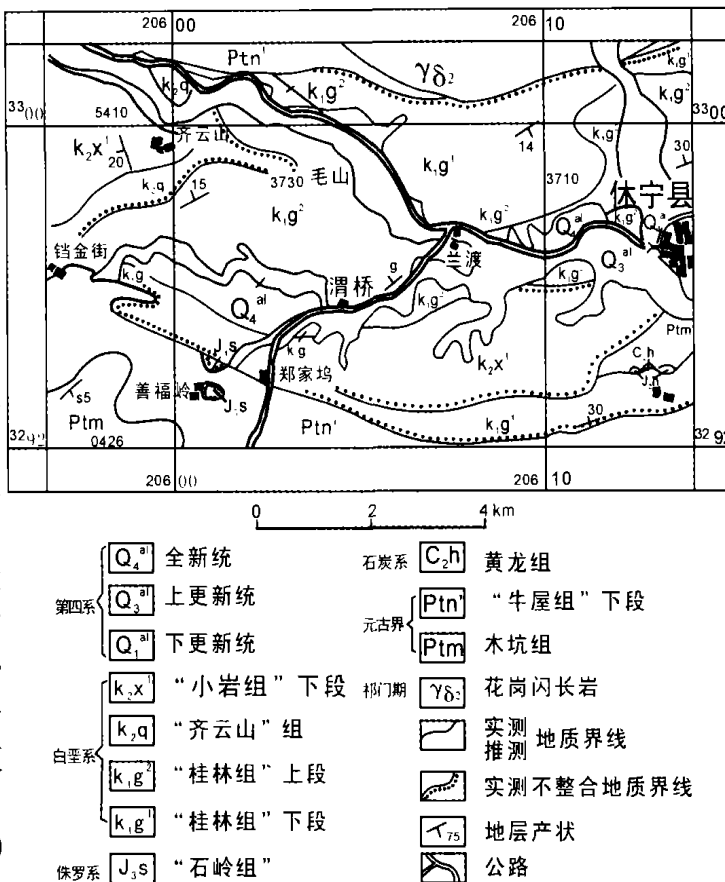


图 2 齐云山地区地质略图①

Fig. 2 Geological sketch of Qiyun Mountain area

① 引自胡济源先生提供黄山市地质矿产局 332 地质队所绘齐云山地区地质略图。

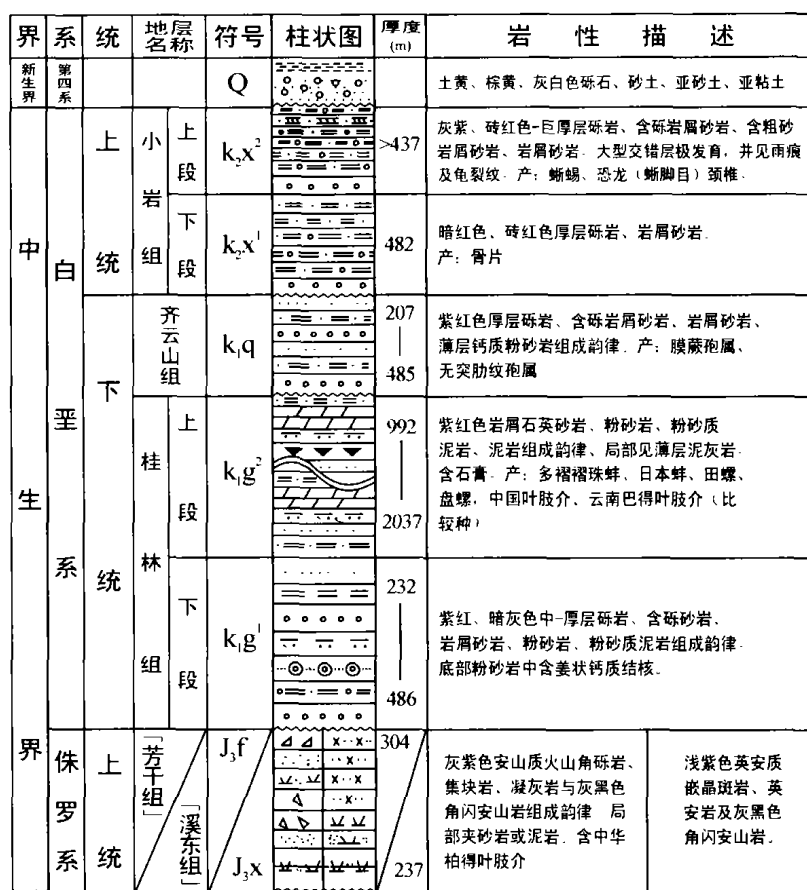


图3 齐云山地区出露的中生代地层柱状剖面图[14]

Fig. 3 Geologic column for a Mesozoic outcrop area in Qiyun Mountain area

差异风化作用来说十分重要：因为含  $CO_3^{2-}$  的雨水对钙质胶结的岩层易产生溶蚀作用，大量钙离子被流水带走后，丹霞崖壁上便会留下无数的洞穴（图4a）。

(2) 从岩性组分和结构比较来看，砾岩组分复杂（其中，砾石含量 > 45%），有微晶灰岩岩屑、泥岩岩屑、花岗斑岩岩屑、火山岩岩屑、单晶石英、脉石英等。但在结构上，因这些岩屑中花岗斑岩岩屑具有文象结构和斑状结构，石英斑晶具有熔蚀现象，这种结构较之砂岩由单调矿物（如单晶石英和长石）为主的砂状结构更为稳定。这也是该区砂岩抗风化能力较砾岩要弱的原因所在。

## 1.2 断层及岩层产状与节理

野外调查、岩相和地质资料分析表明，齐云山中生代初在地质构造上处于江南隆起（即江南古陆）的东端，隆起的两侧，元古代基底很少出露，古生代沉积连续，厚度大，构造复杂。齐云山北麓岩脚和南麓铛金街附近元古代变质岩广泛出露，并与桂林组角度不整合便是元古代褶皱基底的标志。古生代和中生代三叠纪、侏罗纪地层缺失，说明齐云山在这些地质时期均处于隆起阶段。

然而到了白垩纪即距今约一亿三千五百万年前，齐云山地区却发生了一次深刻的变化，即元古代形成的三条区域大断裂又重新活动起来，这三大断裂分别是：① 景德镇—祁门断裂带；② 江湾—街口挤压破裂带；③ 开化—淳安褶断带。三者均呈北东走向<sup>[14]</sup>。这三大断裂在整个古生代活动都很和缓，仅在局部地区有岩浆侵入或喷出，而在早侏罗世后，这些断裂重新活动起来，活动的总趋势是：

**1.2.1 早侏罗世后处于景德镇—祁门断裂带和江湾—街口挤压破裂带之间的屯溪地区大面积下沉，形成一个地堑型的断陷盆地，沉积了侏罗纪的碎屑物，而此时位于两断裂之间西北侧的齐云山地区仍处于隆起区，因以剥蚀作用为主故缺少侏罗纪沉积。**

表 1 齐云山小岩组  $K_2x^1$  岩性薄片鉴定结果Tab. 1 Results of thin section identification (polariscope) for  $K_2x^1$  formation of Qiyun Mountain




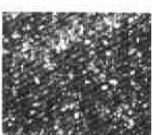





地点	岩石名称	显微镜及照片特征	偏光显微镜照片
最高峰	砾岩	砾石约占 45%, 磨圆度为次棱角状-次圆状, 砾石成分以泥岩岩屑、砂质泥岩为主, 次为火山岩岩屑。填隙物约占 55%, 为方解石胶结物和砂质碎屑物。砂质碎屑物分选差, 磨圆度次圆状为主, 主要为单晶石英, 少量脉石英和长石。左侧照片: 砾岩。砾石为泥岩岩屑, 填隙物为方解石胶结物及长石和石英。 $\times 4$ , 单偏光。	
最高峰	角砾岩	砾石约占 50%, 以次棱角状为主, 砾石成分复杂, 有微晶灰岩岩屑、泥岩岩屑、花岗斑岩岩屑、火山岩岩屑、单晶石英。花岗斑岩岩屑具典型的文象结构和斑状结构。填隙物约占 50%, 为方解石胶结物和砂质碎屑物。砂质碎屑物分选差, 大小 0.1-0.8mm, 主要为单晶石英, 少量泥岩岩屑和长石碎屑。右侧照片: 角砾岩。含脉石英和泥岩岩屑, 填隙物为方解石和石英等。 $\times 10$ , 正交。	
最高峰	中粗粒岩屑 石英砂岩	中粗粒砂状结构。碎屑物约占 85%, 分选差, 颗粒直径约 0.2-0.8mm, 磨圆度以次棱角状为主。主要碎屑物成分单晶石英 55%, 脉石英 3%, 长石约占 10%, 泥岩岩屑 17%, 偶见火山岩岩屑和花岗斑岩岩屑, 具文象结构。填隙物约占 15%, 粘土和粉砂为主, 少量方解石胶结物。右侧照片: 粗粒岩屑石英砂岩。可见泥岩岩屑、长石、石英碎屑。 $\times 4$ , 正交。	
真仙洞府	钙质粉砂岩	粉砂状结构为主, 纹层构造。碎屑物约占 50-65%, 磨圆度以棱角状为主, 粒径以 0.03-0.08mm 为主, 分选好。主要碎屑物为单晶石英, 少量(约 3%)白云母, 偶见条纹长石。填隙物 50-35%, 为细小的方解石胶结物、粘土杂基和铁质氧化物。方解石胶结物较多, 约占 20-45%。右侧照片: 钙质粉砂岩。深色纹层, 钙质胶结物约占 20%。 $\times 10$ , 正交。	
神秘长廊	中细粒长石 石英砂岩	中细粒砂状结构。碎屑物约占 75%, 分选中等, 颗粒直径约 0.15-0.50mm, 磨圆度以次圆状为主。主要碎屑物成分: 单晶石英 54%, 燧石 2%, 长石约占 15%, 泥岩岩屑 3%, 浅变质岩岩屑 1%, 偶见白云母 <1%。填隙物: 约占 25%, 为泥质物和铁质氧化物。右侧照片: 长石石英砂岩。碎屑物有石英、泥化正长石和浅变质岩岩屑。 $\times 4$ , 正交。	
天生桥	砾岩	砾石 (2-5 mm) 约占 70%, 次棱角-次圆状, 以砂质泥岩岩屑为主, 次为石英岩和石英岩岩屑 (2%)、花岗斑岩岩屑 (约占 3%)、碱性长石晶体碎屑 (约占 2%), 填隙物约占 30%, 为方解石胶结物和砂质碎屑物。两者分选差, 大小 0.2-1.5 mm, 次圆状-次棱角状, 主要为单晶石英, 少量长石。右侧照片: 砾岩。含泥岩砾石、石英岩砾石和方解石胶结物。 $\times 10$ , 正交。	
天生桥	不等粒长石 石英砂岩	不等粒砂状结构。碎屑物约占 80%, 分选差, 颗粒直径约 0.1-1.0 mm, 磨圆度以次棱角状和次圆状为主。主要碎屑物成分为单晶石英, 次为长石碎屑, 约占 15%, 泥岩岩屑 8%, 少量石英岩岩屑、燧石岩屑和白云母碎屑。填隙物约占 20%, 为方解石、粉砂和泥质物。其中方解石胶结物约占 5%。右侧照片: 不等粒长石石英砂岩。含微斜长石、泥化正长石和石英碎屑。 $\times 4$ , 正交。	
龙虎洞	砂岩-粉砂岩	薄片可见两部分, 粗粒部分: 中细粒砂状结构, 碎屑物约占 70%, 颗粒直径 0.1-0.6mm 为主, 分选中等, 次圆状为主。主要碎屑物为单晶石英, 次为长石碎屑 (约占 8%), 填隙物约占 30%, 以方解石胶结物为主, 约占 25%。细粒部分: 粉砂-微粒砂状结构, 碎屑物约占 65%, 直径 0.05-0.12mm 为主, 次棱角-棱角状。主要碎屑物为单晶石英, 少量长石碎屑 (约占 2%) 和白云母碎屑 (约占 3%)。填隙物约占 35%, 为方解石胶结物、泥质和少量铁质氧化物。右侧照片: 粉砂岩。含较多白云母。 $\times 4$ , 正交。	
龙虎洞	不等粒长石 石英砂岩	不等粒砂状结构。碎屑物约占 70%, 分选差, 颗粒直径 0.1-0.9 mm, 以次棱角-次圆状为主。主要碎屑物成分单晶石英, 次为长石碎屑 (约占 8%), 泥岩岩屑 4%, 少量脉石英碎屑、燧石岩屑和白云母碎屑。填隙物约占 30%, 为方解石胶结物 (约占 15%)、粉砂质和少量泥质物。右侧照片: 不等粒长石石英砂岩。泥化正长石 (具有卡双晶)。 $\times 10$ , 正交。	

表 2 齐云山小岩组  $K_2X^1$  红色砂砾岩化学元素氧化物全量 X 荧光光谱测试鉴定结果  
Tab. 2 Result of chemical elements and oxide by X-fluorescence spectroscopy method for  $K_2X^1$  bedrock  
of Danxia landform in Qiyun Mountain

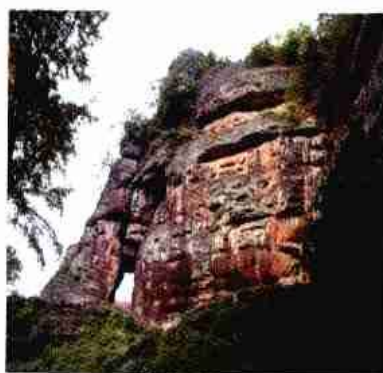
地点	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	MnO (ppm)
最高峰粗砾岩	68.20	10.90	6.31	2.95	2.30	1.36	1.15	0.33	0.09	500
最高峰角砾岩	72.20	11.80	2.57	3.35	2.59	1.34	1.09	0.30	0.16	490
最高峰中粗砾岩屑石英砂岩	71.20	11.90	3.85	3.13	2.13	1.28	1.51	0.26	0.10	670
真仙洞府钙质粉砂岩	37.80	8.48	26.20	1.63	2.30	0.91	1.79	0.48	0.10	480
神秘长廊中细粒长石石英砂岩	79.90	10.40	0.40	2.13	1.56	1.45	1.13	0.31	0.02	140
天生桥砾岩	71.30	12.00	3.91	2.93	2.25	1.11	1.17	0.33	0.13	490
天生桥不等粒长石石英砂岩	72.90	9.78	4.77	2.40	1.66	1.14	1.48	0.33	0.01	370
龙虎洞砂岩-粉砂岩	67.70	11.90	5.16	2.36	2.47	1.25	1.98	0.50	0.08	350
龙虎洞不等粒长石石英砂岩	72.80	8.48	6.44	2.14	1.57	1.19	1.03	0.33	0.05	400

1.2.2 到晚侏罗世末、早白垩世初, 断陷活动中心自东南向西北方向迁移, 即位于江湾一街口挤压破裂带与景德镇一祁门断裂带之间的休宁地区的地块逐渐下沉, 成为陆上的断陷湖盆, 齐云山地区便位于这个断陷湖盆之中。根据时间的先后和地区的差异, 人们习惯地把屯溪地区断陷盆地称为南盆, 把齐云山所在的休宁地区断陷盆地称作北盆。以上便是齐云山地区中生代沉降过程的发育历史, 从这次构造运动的时间看, 因齐云山地区中生代地层主要是白垩系红层, 由此推断当时的断块下沉活动应属于燕山运动的第二期。

若用地质力学观点来分析, 纵观皖南地区地质构造可划分出一个“休宁山字型”构造, 屯溪—休宁断陷盆地则明显处于山字型的前弧位置, 成为一个向东南突出的新月形向斜盆地。当休宁新月形向斜盆地形成以后, 流水作用把盆地周围的火山岩、变质岩、花岗岩和其他岩石的碎屑带到湖盆中沉积下来。在沉积过程中地势的影响是齐云山白垩系红层出现大型韵律层的根本原因: 当湖盆与四周地形高差大时, 流水对四周的切割作用加强, 带下的物质较多, 颗粒亦粗大; 当高差小时, 情况则相反。沉积过程中洪水期与平水期交替出现是白垩系红层小型韵律层产生的原因: 洪水季节, 湖盆中沉积的碎屑物颗粒较大、砾石较多; 平水、少水季节沉积的碎屑物颗粒小、多为砂质或泥质。这种长年累月的粗细交错沉积, 就是今日齐云山砂岩和砾岩互层出现的原因。在最高峰、真仙洞府、玉虚洞等处出现的斜层理和交错层理还反映了沉积时有流水运动方向反复不定的河流作用参与, 但斜层理或交错层理皆反映了当时是浅水沉积环境。砾石的磨圆度反映了搬运距离的长短, 磨圆度好反映搬运距离较远, 反之说明搬运距离较近。另外, 盆地中心比边缘离碎屑物源地远, 流水作用相对亦缓, 沉积的碎屑物颗粒也相应要小, 沉积物的层理亦近于水平; 盆地边缘的沉积物状况则有相反特征。由于当时的气候比较炎热干燥, 氧化反映剧烈, 所以沉积物多为钙质胶结, 且呈红色。1979 年 332 地质队在齐云山附近的白垩系地层中打出了卤水, 便已证实当时气候炎热干燥的事实。

新生代以来, 齐云山地区经历了新构造运动的影响又发生了一番沧桑巨变, 首先新构造运动使本区逐渐隆升, 湖盆中巨厚的白垩系沉积物变成了海拔 500~600 m 高的山地, 且处于向斜湖盆中的齐云山地区岩层基本保持了原始的沉积面貌, 层理平缓、中心部分近于水平, 如香炉峰、圆通崖—希真崖—文昌崖和真仙洞府等地点岩层倾角只有 5°~6°。在隆升过程中, 由于北部抬升幅度稍大于南部, 故有一自北向南的掀斜作用产生, 受此影响向斜盆地北部边缘岩层倾角较大, 并有单斜构造山形成, 如狮子峰倾向 SW250°, 倾角 25°; 天生桥倾向 SE130°, 倾角 25°。在齐云山北麓, 还可见到断块隆升的重要标志—断层三角面, 率水河正是沿此断裂带自西东流。

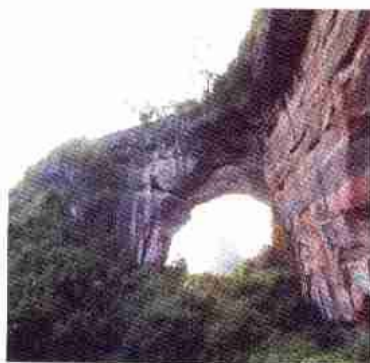
## 2 齐云山丹霞地貌形成过程分析



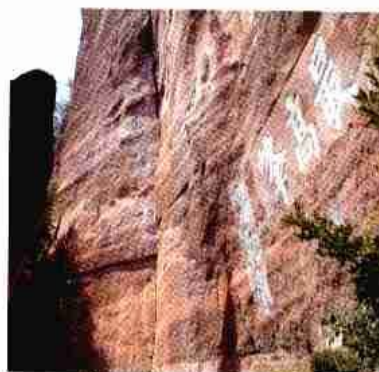
(a) 差异风化形成的  
象山丹霞岸壁上的洞穴



(b) 山体切割形成的  
五老峰丹霞峰林地貌



(c) 崖壁崩塌形成的天生桥



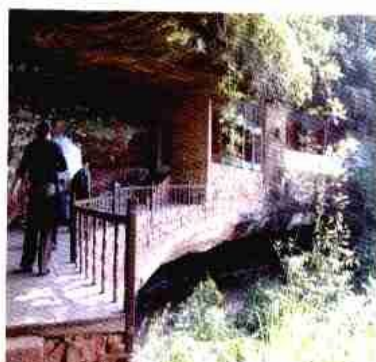
(d) 崖壁崩塌形成的最高峰崖壁



(e) 山体切割并剥蚀搬运后  
残留的天船峰



(f) 崩塌和流水溶蚀形成的  
紫霄崖和玉虚宫



(g) 崩塌和流水溶蚀形成的  
楼上楼双层洞穴景观

图 4 齐云山地貌成因类型图

Fig. 4 Map of landform genesis and types of Qiyun Mountain

丹霞地貌是地质构造内动力和风化剥蚀外营力长期共同作用的结果。齐云山地区中生代断陷湖盆的巨厚沉积形成,以及新生代以来湖盆抬升为山地是丹霞地貌形成的两个初始阶段。当白垩系红层脱离湖盆环境以后,丹霞地貌的发育还经历了以下三个阶段:

### 2.1 垂直节理发育阶段

齐云山巨厚的白垩系红色砂砾岩形成后,在区域构造应力作用下,产生了两组走向不同的垂直节理,前者比较稀疏,走向在  $NW290^{\circ}\sim 310^{\circ}$  之间,可称其为纵节理;后者比较密集,走向在  $SW230^{\circ}\sim 250^{\circ}$  之间,可称其为横节理。这样,原来完整的巨厚层砂砾岩受垂直节理的分割,形成了许多呈方块状或棱块状明显的巨型岩块,但它们仍然是一个整体,彼此并没有分离和孤立出来。

### 2.2 风化破坏阶段

纵横交错的节理为球状风化提供了方便,节理裂隙面是地表流水下渗的最好通道,植物、流水、冰等常沿节理进行风化或侵蚀,特定的地理位置和水热条件更加剧了风化作用的强度。齐云山地处我国中亚热带北缘,季风气候显著,可以想象,多变的气候可以使得:温暖多雨的季节,地表水沿节理裂隙大量下渗,节理也逐渐受到侵蚀而加宽拓长;严寒霜冻季节,储积在节理中的水固结成冰,冰冻体积膨胀使裂隙扩大,更利于地表水下渗。在漫长的地质年代中这种冻融作用不断地进行,致使完整的岩石被破坏崩解,尤其在节理密集的地方破坏更为严重,这便是丹霞峰林地貌(图 4b)发育的重要原因之一。风化作用对垂直节理的影响是首先形成狭长而窄深的一线天式的深沟,沟壁平直陡峭,其走向与该组垂直节理走向相同,其陡壁坡度也与垂直节理相似。在一线天式的深沟发育后,流水会继续下切侵蚀,而陡壁则沿垂直节理发生崩塌,使深沟进一步加深拓宽形成巷谷,巷谷进一步发展便成为较大的山涧。太素宫前的深涧—乾溪、独耸峰旁的饮鹿涧、望仙台下的桃花涧、碧莲池下的云龙涧、天生桥西部的碧莲涧等就是发育在走向为  $NW290^{\circ}\sim 310^{\circ}$  垂直节理(纵节理)处的。崖壁的崩塌与山涧的形成往往有共生联系,上述深涧旁的崖壁有多处崩塌便是例证:如天生桥(图 4c)的桥孔下、最高峰廓崖(图 4d)的崖壁下、独耸崖崖壁下均有巨大崩落石都说明了深涧是在巷谷不断崩塌的前提下形成的。明万历刻本《齐云山志》亦有关于崩塌的记载:“宋淳佑己酉大水,石崩瓦解,真武像如故。庚午叶介夫、程大有、胡大祥建立清阁、四聚楼。侍郎程元岳题水位之精于殿前壬癸方石池以镇本山午火也。”<sup>[15]</sup>。当崩塌作用继续进行,水流来不及把这些崩积物搬走时,则会在陡壁的麓部形成崩积缓坡。由于沿垂直节理的崩塌作用不断进行、陡崖坡不断平行后退,崩积缓坡便不断加高加宽,这种过程若发生在山体内部,就会使山体逐渐遭受切割、破坏,使局部山体的面积和体积逐渐变小(如方腊寨、五老峰等)。若这种过程发生在山体外缘,则会使整个山体逐渐缩小,而崩积缓坡则会逐渐增大。

齐云山走向为  $SW230^{\circ}\sim 250^{\circ}$  的垂直节理(横节理)比较密集,但影响的深度不及纵节理,故横节理密集处有峰林和“城堡”发育(如五老峰、钟鼓峰和山南的棺材岭等),但无深切的沟壑,因此从宏观上看,齐云山地貌亦有“横看成岭侧成峰”的特色。

软硬互层的岩性对崩塌的形成有重要影响。齐云山“小岩组”中的砂岩孔隙度大于砾岩,硬度却小于砾岩,较大的孔隙和较软的岩性使得空气和水更易于对其侵蚀,从而加快了岩石的风化过程。当砂岩和砾岩互层出露时,砂岩风化速率快,当其风化崩落后,其上部的砾岩会失去支撑亦逐渐随之崩落,造成山体后退和内凹洞穴发育。由于砾岩的抗风化强度比砂岩要大,所以齐云山的洞穴多发育在砂岩中。

### 2.3 剥蚀搬运阶段

风化作用使得山体不断崩塌成崖,并在崖麓形成崩积缓坡,但随着时间推移,流水作用又会将这些崩积物荡涤殆尽,由此使得在节理密集的地区一些“岩核”和“岩髓”脱颖而出、拔地而起,成为岫嶙突兀的石峰、石柱和峰林地貌(如香炉峰、五老峰等)。

在节理稀疏处, 岩石被破坏程度较轻, 保存下来的是方山式的地貌类型, 如展诰峰、印石峰、天船峰 (图 4e) 和最高峰等。

丹霞地貌形成中的剥蚀搬运主要是靠流水的机械侵蚀和溶蚀所进行。丹霞地貌的洞穴形成, 除了崩塌和流水机械侵蚀外, 溶蚀也起了相当重要的作用。雨水与空气中的  $\text{CO}_2$  有一定量的混合, 落到地面的雨水往往含有  $\text{CO}_3^{2-}$  成分, 而齐云山“小岩组”砂砾岩又多为钙质胶结, 含  $\text{CO}_3^{2-}$  的雨水对钙质胶结的岩层易产生溶蚀作用, 大量钙离子被流水带走后, 丹霞崖壁上便会留下无数的洞穴。由于“小岩组”砂砾岩透水性强, 故由孔隙水、裂隙水形成的泉非常多。当崖壁处的岩层层面向崖内倾斜时, 有利于崖上流水顺层面掏蚀和溶蚀, 久而久之便形成了诸如真仙洞府、玉虚洞 (图 4f) 和楼上楼 (图 4g) 等大型洞穴。但当崖壁处的岩层层面向崖外倾斜时, 因为流水不易顺层面侵蚀, 故很少有洞穴发育, 如最高峰虽有高大壮观的陡崖, 但因岩层面外倾, 故无洞穴发育。当悬崖顶部植被茂密、且有汇水小谷地时, 崖上便有小瀑布形成; 而此处崖壁若后退成内凹的弧面时便形成类似“飞雨”、“珍珠帘”等奇妙的跌水景观。

#### 2.4 构造隆升与三级剥蚀面的关系

纵览齐云山, 可以发现其山体大致可分为三个不同的高度等级: 即第一级海拔 500~600 m 左右, 如钟鼓峰、独耸峰、万寿山、狮子头、凉伞峰、袈裟峰等; 第二级海拔 350~400 m 左右, 如玉女峰、骆驼峰、隐云峰、石桥崖等; 第三级海拔 150~200 m 左右, 主要是山麓地带的缓丘。这三个不同的高度等级便代表了齐云山在时代不同的三次主要构造运动中所形成的三级剥蚀面。从分析看, 齐云山缺少第三系沉积物, 但有白垩系红层, 由此推断第一级剥蚀面形成于渐新世末 (即喜马拉雅运动后幕); 第二级剥蚀面形成于第四纪早期; 第三级剥蚀面 (山麓面) 形成于第四纪中期 (中更新世~晚更新世期间)。

齐云山丹霞地貌中被分割的峰林大都坐落在海拔 400 m 以上的山体部分, 其下限大致与第二级剥蚀面高度相同, 这说明象五老峰、香炉峰这样奇特的丹霞山峰景观至少在第四纪以前便已初步形成。

齐云山的三次主要构造抬升还可以从裂点和沟谷横剖面形状上得到佐证。调查发现, 如果在太素宫沿  $\text{SW}240^\circ$  走向作一剖面, 可看出齐云山共有三级裂点 (图 5): 太素宫后方的山顶钟鼓峰 (海拔 585 m) 是为第一级裂点; 太素宫前的陡坎为第二级裂点 (海拔约 400 m), 其下方的乾溪海拔 150 m 左右的陡坎为第三级裂点, 这表明上述裂点与剥蚀面高度大致相同。调查还发现, 第二级裂点以上的峡谷、汇水谷地多呈“U”字形 (如桃花涧的源头、雨君洞处的汇水谷地、处于分水岭旁的天生桥谷地等), 而在第二级裂点以下的峡谷多呈“V”字形 (如乾溪、桃花涧、碧莲涧和饮鹿涧等)。这说明第一期构造抬升后齐云山地区有一个相当长的稳定时期, 使得河流侧旁侵蚀作用加强, 致使原来的“V”形谷拓宽成“U”形谷。第二级裂点以下的 V 形谷说明河流的现代溯源侵蚀已达 400 m 左右的高度, 因山麓地带无“U”形谷发育, 说明目前齐云山仍可能处于上升阶段。

### 3 结论

根据调查研究, 齐云山丹霞地貌特征、形

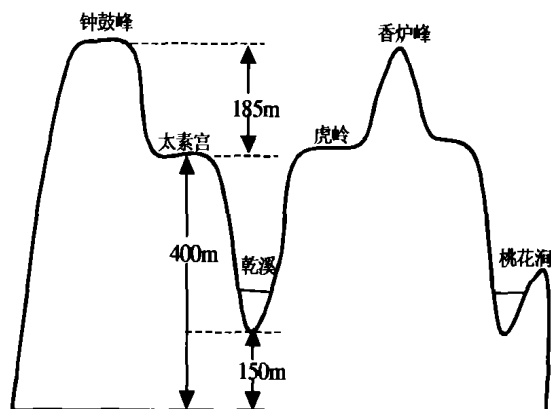


图 5 齐云山三级裂点示意图

Fig. 5 Three-grade knick points of Qiyun Mountain

成条件和发育过程可概括如下:

- (1) 齐云山丹霞地貌发育于晚白垩纪近水平或缓倾斜的巨厚红色砂岩、砾岩中, 这些地层是在燕山运动第二幕所形成的山间湖盆中沉积的, 在后期的新构造运动中逐渐抬升形成向斜断块山。
- (2) 向斜断块山在形成过程中受区域构造应力作用产生了众多的垂直节理, 同时由于岩体具有软硬互层的岩性和易被溶蚀的钙质胶结, 因此在亚热带气候环境下遭受到强烈的外营力风化剥蚀, 先在垂直节理处发育了“一线天”式的深沟, 进而在深沟处不断崩塌, 形成巷谷和悬崖; 每年的洪水季节间歇性洪水会带走崩积物并逐渐将巷谷切割成较大的山涧; 当水流来不及搬走崩积物时, 则在崖麓往往形成崩积缓坡。
- (3) 陡立的崖壁因受流水的机械侵蚀和含  $\text{CO}_3^{2-}$  的雨水对钙质胶结岩层的溶蚀, 在流水顺层面侵蚀的情况下便发育了众多向崖内凹进的长条形扁平状溶蚀穴, 因软硬交互的岩层易发生崩塌, 最终使溶蚀穴进一步扩大成为较大规模的丹霞洞穴。
- (4) 齐云山丹霞地貌在地质构造上为一和缓的向斜, 但轴部岩层具水平构造特征, 仅边缘岩层倾角较大, 经隆升运动和流水切割形成单斜山的结构。水平或近水平构造的岩层倾角在  $10^\circ$  以内, 这种构造是受沉积环境决定的, 多位于向斜盆地的中间部位如香炉峰、虎岭等。单斜构造岩层倾角多在  $10^\circ\sim 30^\circ$  之间, 并多位于向斜盆地边缘, 如狮子峰等处。
- (5) 不同走向的垂直节理密度不同、影响的深度不同、形成的丹霞地貌特征也不同。走向  $\text{NW}290^\circ\sim 310^\circ$  的垂直节理比较稀疏, 但影响的深度大, 在这组节理发育的部位多有较大的山涧(如乾溪、桃花涧、饮鹿涧、碧莲涧等), 在深涧两侧有高大、壮观的陡崖发育。走向为  $\text{SW}230^\circ\sim 250^\circ$  的垂直节理比较密集, 但影响的深度不大, 在这组节理控制下多有五老峰式的峰林或城堡状的玉屏峰、钟鼓峰等地貌发育。
- (6) 齐云山存在三级剥蚀面, 与其相应也存在三级裂点, 二者在高度上大致相同。齐云山丹霞地貌在海拔 400 m (第二级剥蚀面) 以上最为典型, 说明主要的丹霞地貌在第四纪初已基本成形。齐云山 400 m 以上的峡谷多呈“U”形, 400 m 以下多为“V”字形, 反映新构造运动抬升的高度与现代溯源侵蚀的高度具有一致性。
- (7) 齐云山峰、崖、洞、方山、城堡、天生桥等丹霞地貌种类俱全, 平顶、圆顶、尖顶等峰顶形态皆有; 除一般悬崖外, 还有崖壁内凹的最高峰廓崖这类巨型丹霞崖壁; 洞穴则有长数里的真仙洞府, 瀑布则有“飞雨”和“珍珠帘”, 尤其是岐山天生石桥规模在国内丹霞地貌中实为罕见。

## 参考文献 (References)

- [1] Peng Hua. Danxia Geomorphology of China and Its Progress in Research Work. Guangzhou: Zhongshan University Press, 2000. 1-108. [彭华. 中国丹霞地貌及其研究进展. 广州: 中山大学出版社, 2000. 1-108.]
- [2] Chen Guoda. Red Rock Series of Guangdong. Quarterly of National University of Sun Yat Sen (Natural Science Edition), 1935, 6(4): 1-30. [陈国达. 广东之红色岩系. 国立中山大学理学季刊, 1935, 6(4): 1-30.]
- [3] Zeng Zhaoxuan, Huang Shaomin. Red bed geomorphology in southern China. Journal of South China Teachers College (Natural Science Edition), 1978, (12). [曾昭璇, 黄少敏. 中国东南部红层地貌. 华南师范学院学报(自然科学版), 1978, (12).]
- [4] Huang Jin (ed.). Proceedings of the 1st Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Tropical Geomorphology, 1992(suppl.). [黄进 主编. 第一届丹霞地貌旅游开发文集, 热带地貌, 1992, (增刊).]
- [5] Huang Jin (ed.). Proceedings of the 2nd Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Economic Geography, 1994, 14(suppl.). [黄进 主编. 第二届丹霞地貌旅游开发学术讨论会论文集. 经济地理, 1994, 14(增刊).]
- [6] Huang Jin (ed.). Proceedings of the 3rd Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Economic Geography, 1996, 16(suppl.). [黄进 主编. 第三届丹霞地貌旅游开发学术讨论会论文集. 经济地理, 1996, 16(增刊).]
- [7] Peng Hua (ed.). Proceedings of the 4th Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Economic Geography, 1998, 18(suppl.). [彭华 主编. 第四届丹霞地貌旅游开发学术讨论会论文集. 经济地理, 1998, 18(增刊).]

- [8] Peng Hua (ed.). Proceedings of the 5th Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Economic Geography, 1999, 19(suppl.). [彭华 主编. 第五届丹霞地貌旅游开发学术讨论会论文集. 经济地理, 1999, 19(增刊).]
- [9] Peng Hua (ed.). Proceedings of the 6th Symposium on Danxia Landform and Tourism Development. Economic Geography, 2000, 20(suppl.). [彭华 主编. 第六届丹霞地貌旅游开发学术讨论会论文集. 经济地理, 2000, 20(增刊).]
- [10] Zhu Cheng, Yu Jinbiao, Zhao Ningxi et al. Danxia Landform genesis and scenic feature on Guanzai Mountain, Fujian Province. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(6): 679-688. [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. 地理学报, 2000, 55(6): 679-688.]
- [11] Jin Huoyong. Exploitation and restoration on Qiyun Mountain. In: Local Annals Record on Qiyun Mountain (Wanli Emperor's Version of Ming Dynasty), Vol. 3. [金火镛. 云岩开辟兴复记. 见: 齐云山志 (明万历刻本) 卷三.]
- [12] National Cultural Bureau. Scenic Spot Dictionary of China. Shanghai: The Shanghai Lexicographical Publishing House, 1982. 437. [国家文化局. 中国名胜词典. 上海: 上海辞书出版社, 1982. 437.]
- [13] Chu Shaotang, Liu Siyuan, Wu Yingshou. Xu Xiake's Travel Notes. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 1980. First Volume, 10-13. [褚绍唐, 刘思源, 吴应寿. 徐霞客游记. 上海: 上海古籍出版社, 1980. 上卷, 10-13.]
- [14] Su Lixian. The Mesozoic Geological Feature of Tunxi Area, South Anhui Province (Manual for Geological Map of Tunxi Area, Anhui Province), 1973. [宿立先. 皖南屯溪地区中生代地质特征(安徽省屯溪地区地质图说明书), 1973.]
- [15] Dai Zhang. Supplement Record. In: Local Annals Record on Qiyun Mountain (Wanli Emperor's Version of Ming Dynasty), Vol. 2 ("Organization Establishment"). [戴章. 甫记. 见: 齐云山志 (明万历刻本) 卷二 ("建置").]

## Danxia Landform Genesis on Qiyun Mountain, Anhui Province

ZHU Cheng<sup>1</sup>, PENG Hua<sup>2</sup>, LI Shicheng<sup>3</sup>, HUANG Linyan<sup>1</sup>, ZHENG Chaogui<sup>1</sup>,  
XIANG Fusheng<sup>4</sup>, SUN Yufei<sup>5</sup>, TANG Yunsong<sup>1</sup>, HU Jiyan<sup>6</sup>, ZHU Guanghui<sup>7</sup>,  
LU Jianjun<sup>8</sup>, CHENG Guanghua<sup>8</sup>

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Department of Geography, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

3. Department of Education, Luoyang Bearing Group Corporation, Luoyang 471003, China;

4. People's Government of Huangshan City, Huangshan, Anhui 245000, China;

5. Department of Geography, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

6. Huangshan Bureau of Geology and Minerals, Huangshan, Anhui 245000, China;

7. Bureau of Archives in Tunxi District of Huangshan City, Huangshan, Anhui 245000, China;

8. Managing Committee of Qiyun Mountain Scenic Spot, Xiuning, Anhui 245400, China)

**Abstract:** The Danxia landform of Qiyun Mountain is mainly developed on red sandstone and conglomerate of middle Cretaceous series ( $K_2x^1$ ). The landform development in this area is mainly controlled by three faulted zones, that is, Jingdezhen-Qimen faulted zone, Jiangwan-Jiekou faulted zone and Kaihua-Chun'an faulted zone. During the Cretaceous period, this area firstly experienced massif subsidence to a continental fault basin, and received thick Cretaceous red beds to accumulation. Then, during neotectonism, this area experienced an uplift process, the thick Cretaceous sediments became a mountain body with an altitude of 500-600 m. After having undergone the processes of vertical joints development, weathering, denudation and transportation, as well as influenced by the lithological component and structure between the sandstone and the conglomerate, grand Danxia landscape has formed in this area such as peak forest, steep cliff, cave, mesa, castellated peak and natural bridge. The three-grade knick points of Qiyun Mountain illustrates that the area has experienced three major uplift processes during the neotectonism.

**Key words:** Qiyun Mountain; Danxia landform; landform genesis