

浙江江山市江郎山岩石岩性特征 及其对丹霞地貌形成的影响

吕文¹, 朱诚¹, 彭华², 俞锦标¹, 李中轩¹,
张广胜¹, 欧阳杰¹, 周日良³, 朱光耀⁴, 李兰¹, 朱青¹

1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2. 中山大学 地理系, 广州 510275;
3. 浙江省建设厅, 杭州 310027; 4. 蚌埠学院 人文与社会科学部, 安徽 蚌埠 233050

摘要: 岩性特征的量化研究对分析丹霞地貌的成因具有重要意义。江郎山岩石岩性标本的 X 射线荧光光谱分析和偏光显微镜鉴定发现, 江郎山方岩组砂岩、砾岩中 SiO_2 含量高达 55.5%~75.8%, 火山岩碎屑含量高, 石英晶屑多已被高温熔蚀, 三片石中多处贯穿有辉绿岩和橄榄玄武岩的岩脉和岩墙, 其辉绿-间粒结构和斜长石与暗色矿物的组合, 构成了抗风化能力强的岩体, 使三片石得以长期保存。洞穴岩石 CaO 含量百分比的平均值是崖壁的三倍, 且洞穴中岩石的胶结物多为方解石, 其含量超过总胶结物的 50% 以上, 使岩石结构的稳定性受到影响, 会发生类似石灰岩地区的溶蚀作用, 从而导致岩体的破碎和崩塌, 有可能形成诸如会仙岩、天宫洞等大型洞穴和凹槽。

关键词: 江郎山; 岩石岩性特征; 丹霞地貌

中图分类号: P584 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2009)04-0349-07

The Contribution of Lithological Characteristics to Danxia Landform Genesis in Jianglang Mountain, Zhejiang Province

LÜ Wen¹, ZHU Cheng¹, PENG Hua², YU Jin-biao¹, LI Zhong-xuan¹, ZHANG Guang-sheng¹,
OU YANG Jie¹, ZHOU Ri-liang³, ZHU Guang-yao⁴, LI Lan¹, ZHU Qing¹

1. College of Geography and Marine Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Department of Geography,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Zhejiang Construction Bureau, Hangzhou 310027, China;
4. Department of Humanities and Social Sciences, Bengbu College, Bengbu, 233050 Anhui, China

Abstract: Quantitative lithological study is significant for analyzing the genesis of Danxia Landform. Polariscopes thin section and X-fluorescence spectroscopy analyses results indicates that volcanic gravel and rock clastic are major components of Fangyan Formation (K_f), and that SiO_2 content is commonly as high as 55.7%~75.8%. The volcanic gravels are very hard and highly inert because of their experience of high temperature activities, like quenching course and because of the peculiar dolerite space-grained structure, plagioclase and dark minerals form hard rock body. The average CaO content of stones in caves is about 6.07%, which is three times higher than those of cliffs. Rock cements in caves are mainly calcite, accounting for more than 50%. Carbon dioxide from air dissolved into the infiltrating water to form ions like CO_3^{2-} and HCO_3^- , which can dissolve calcite component and can modify the stability of stone's structure. Thereby, stones crash and dilapidation phenomenon happens. These processes result in some caves like Huixianyan Cave, Tiangongdong Cave, Jingxinshishi Cave and Zhonggudong Cave.

Key words: Jianglang Mountain; lithological characteristics; Danxia landform

收稿日期: 2009-07-13 收到, 08-27 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40871014); 浙江省建设厅申报世界遗产项目资助; 南京大学现代分析中心测试基金资助

第一作者简介: 吕文 (1986—), 女, 江西九江人, 硕士研究生, 专业方向: 地貌与第四纪地质。

丹霞地貌是在中国发育广泛的一种红色砂砾岩地形演化到一定阶段的特殊地貌类型。黄进^[1]在野外现场调查中发现我国的丹霞地貌有 780 多处^[1]。许多学者^[3~6]对丹霞地貌特征及其旅游开发实践方面已取得丰硕的成果。但前人对于地貌成因的研究多停留在定性阶段,虽然朱诚^[7,8]强调量的实验研究以及李德文^[9]进行纳米-微米尺度上的微观风化研究,但对于多数丹霞地貌景区依然缺乏定量数据来分析地貌成因。本文在我国开展中国丹霞地貌——浙江江郎山、湖南崀山、广东丹霞山、福建泰宁金湖、江西龙虎山-龟峰、贵州赤水实施联合申报世界自然遗产的工作中,对江郎山丹霞地貌进行了岩石岩性特征分析,以期申遗工作打下基础。

1 区域概况

1.1 自然地理环境

江郎山风景区位于浙江省江山市西南,仙霞山脉北麓,浙、闽、赣三省交界处。地理坐标为 118°32′47″~118°34′20″E,28°11′20″~28°32′32″N。年平均气温 17.1℃,年降水量 1 650~2 200 mm,但分配不均匀。具中亚热带季风性湿润气候特点:冬夏季风交替明显,四季冷暖干湿分明。

1.2 地质背景

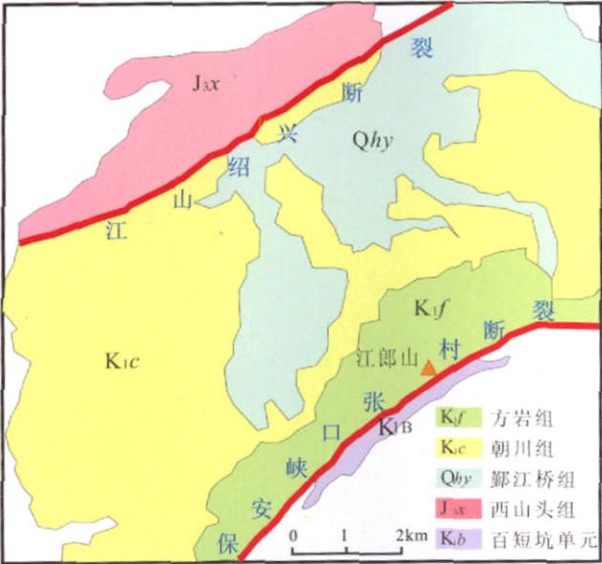
江郎山地处峡口盆地,是扬子准地台与华南褶皱系接壤的东南部过渡地段,出露的地层如表 1 所列,其中发育丹霞地貌的地层为方岩组(K₁f)^[10]。盆地总体呈北东—南西向展布,受其西北侧江山-绍兴断裂带和东南侧保安-峡口-张村断裂带控制(图 1)。节理主要有两组,一组为北东—南西向,把方岩组砂砾岩切成北东向带状山体;第二组为北西—南东向,把江郎山山体切割成三月石,形成郎峰、亚峰和灵峰。

表 1 峡口盆地地层岩性简表

Table 1 Lithological description for stratum in Xiakou Basin

地 层	厚度/m	岩性描述
鄞江组(Q _{hy})	1.9~4.9	亚粘土,亚砂土,含砾质砂土,亚砂土,砾质砂土,砾石层
方岩组(K ₁ f)	>581.2	紫红色,浅灰色巨厚层至块状砾岩,夹有砂岩、砂砾岩,中夹透镜体,偶夹火山岩
朝川组(K ₁ c)	—	含砾粗砂岩、粉砂质泥岩及火山岩夹层
馆头组(K ₁ g)	>250	少量砂砾岩、砂岩,深灰色英安岩、斑状流纹岩
西山头组(J ₃ x)	>380	流纹质玻屑晶屑熔结凝灰岩、流纹质晶屑玻屑熔结凝灰岩

注:资料来源于文献[10]



由五万分之一地质图转绘

图 1 江郎山地区地质略图

Fig. 1 Geological map of Jianglang Mountain region

1.3 地貌特征

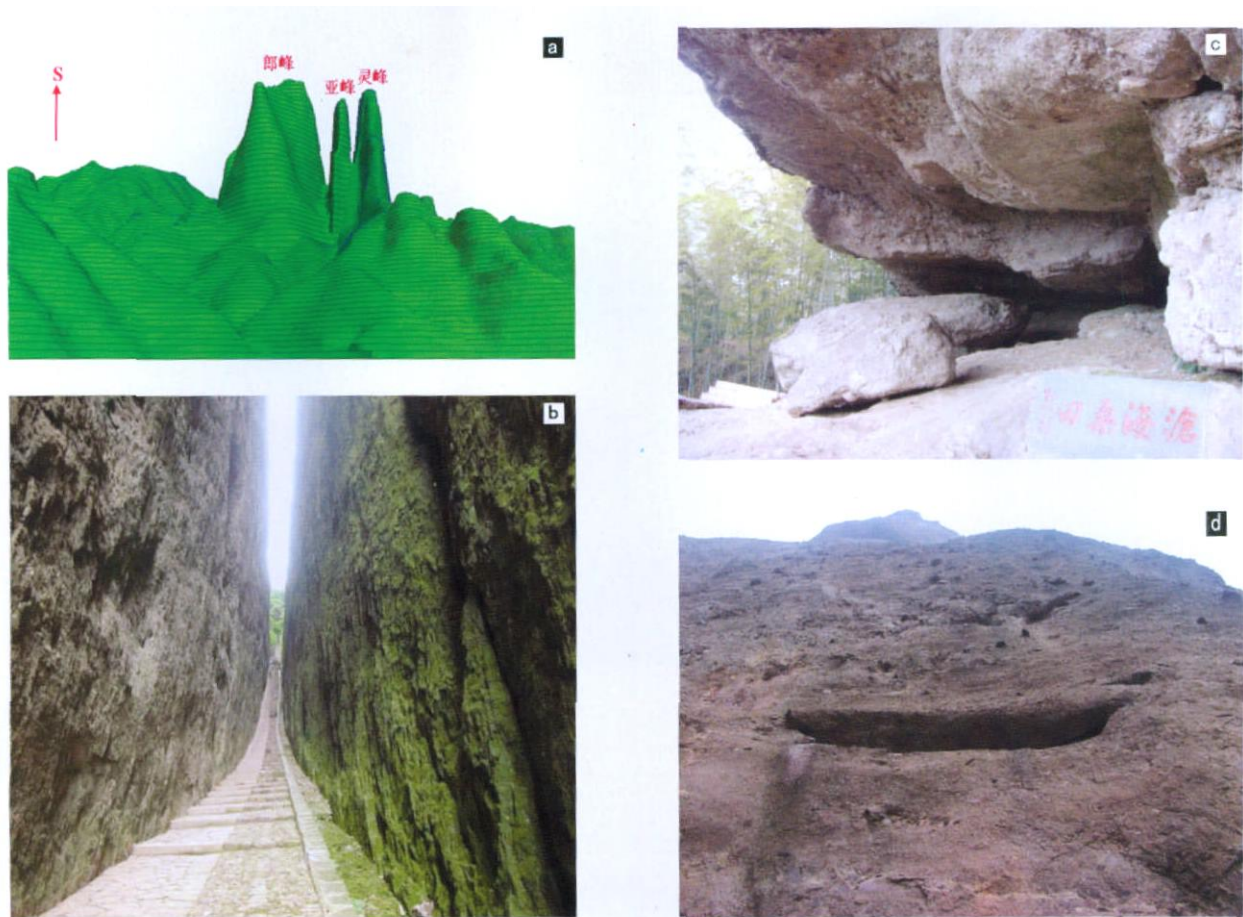
江郎山丹霞地貌以三月石孤峰和一线天巷谷最具特色:郎峰(海拔 824.0 m,相对高度 369.1 m)、亚峰(海拔 737.4 m、相对高度 287.4 m)和灵峰(海拔 765.0 m,相对高度 298.0 m)组成“川”字形的“三月石”孤峰耸立于群山之中(图 2a);亚峰与灵峰之间的“天下第一巷谷”长 308.0 m、高 298.0 m,为全国之最(图 2b);钟鼓洞、天宫洞和会仙岩(图 2c)发育典型的洞穴和崖壁凹槽(图 2d)(表 2)。

表 2 江郎山方岩组(K₁f)岩层主要扁平洞穴的特征

Table 2 Features of main flat caves for K₁f formation of Jianglang Mountain

编号	地点	经度/E 纬度/N	海拔/ m	洞深/ m	洞宽/ m	洞高/ m	洞口 朝向
1	郎峰下方 会仙岩	118°33.841' 28°31.933'	460	11.85	27.17	4.80	350°NW
2	郎峰下方 天宫洞	118°33.936' 28°31.807'	546	9.15	14.50	4.50	240°SW
3	郎峰下方 静心石室	118°33.934' 28°31.864'	568	8.67	15.73	4.60	30°NE
4	郎峰下方 钟鼓洞	118°33.901' 28°31.875'	527	24.73	20.23	3.16	20°NE
5	九姑崖下方 小会仙岩	118°33.957' 28°32.244'	260	4.35	20.5	3.77	285°NW
6	九姑崖 悬空寺	118°33.957' 28°32.244'	366	6.70	30.4	9.80	270°W

注:资料来源于文献[8]



a. 远眺三月的三维地形图;b. 小弄峡处天下第一巷谷;c. 会仙岩洞穴;d. 顺层凹槽
图 2 江郎山地貌类型

Fig. 2 Landscape characteristics of Jianglang Mountain

2 材料与方法

2007 年 12 月对江郎山进行了野外调查和采样。样品分布见图 3。为探讨江郎山三月石“孤峰突兀”的原因,此次采样重点选择三月石崖壁;共采

集了 26 个样品,其中郎峰 9 块,亚峰 12 块,灵峰 5 块。根据差异性风化对各类景观(洞穴、崖壁、凹槽等)具制约意义的理论,进行了量化分析;洞穴中采集了 13 个,其中钟鼓洞 4 个、天宫洞 4 个、静心石室 3 个、会仙岩 2 个(表 3)。以上样品在南京大学现代分析中心用岛津 VF-320X 射线仪进行 X 射线荧光光谱测定,部分结果见表 4。薄片镜下鉴定部分结果见表 5、图 4。根据上述实验结果进行了岩石碎屑成分、结构、胶结物和氧化物含量等岩性特征分析。

3 数据分析

- (1) 方岩组砾岩中的砾石多由如中性熔岩(安山岩)和酸性熔岩岩屑(流纹质凝灰岩、流纹岩)等火山碎屑组成,含量较高,如灵峰南端砾岩样品火山岩岩屑约占 72 %,且石英晶屑多被高温熔蚀。
- (2) 方岩组洞穴中岩石的胶结物多为方解石胶结物,含量占胶结物总量的 50 %以上,如天宫洞钙质细砾岩胶结物约占 20 %,其中方解石约占 15 %。静心石室砾岩样品填隙物含量约 30 %,其中方解石

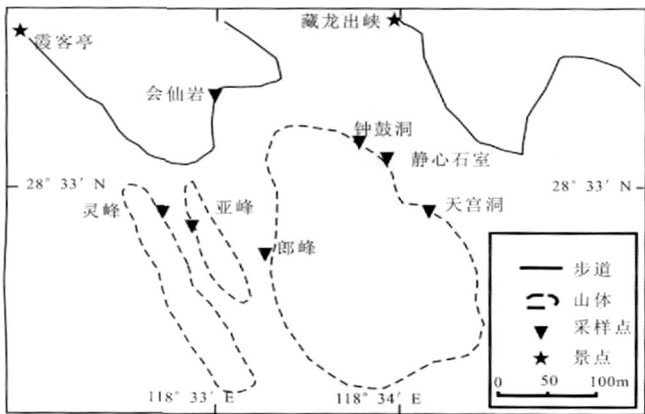


图 3 江郎山丹霞地貌考察和采样点位置图
Fig. 3 Sampling locations of Jianglang Mountain

表 3 江郎山采样点分布

Table 3 Table of sampling point of Jianglang Mountain

编 号	地 点	纬度/ N	经度/ E	海拔/ m	地 层	岩 性
1	郎峰天游	28°31.725′	118°33.952′	702	K ₁ f	粗面岩
2	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	岩屑砂岩
3	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	凝灰岩
4	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	岩屑砂岩
5	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	火山岩屑砾岩
6	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	火山岩屑砾岩
7	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	砾 岩
8	郎峰天桥	28°31.758′	118°33.979′	758	K ₁ f	钙质细砾砂岩
9	郎峰天游	28°31.734′	118°33.935′	742	K ₁ f	钙质石英砂岩
10	天宫洞	28°31.755′	118°33.932′	773	K ₁ f	含砾岩屑砂岩
11	天宫洞	28°31.755′	118°33.932′	773	K ₁ f	钙质砂岩
12	天宫洞	28°31.755′	118°33.932′	773	K ₁ f	砂砾岩
13	天宫洞	28°31.755′	118°33.932′	773	K ₁ f	钙质细砾岩
14	静心石室	28°31.864′	118°33.934′	568	K ₁ f	砾 岩
15	静心石室	28°31.864′	118°33.934′	568	K ₁ f	砾 岩
16	静心石室	28°31.864′	118°33.934′	568	K ₁ f	砾 岩
17	钟鼓洞	28°31.873′	118°33.901′	527	K ₁ f	含砾钙质砂岩
18	钟鼓洞	28°31.873′	118°33.901′	527	K ₁ f	砾 岩
19	钟鼓洞	28°31.873′	118°33.901′	527	K ₁ f	含砾细砂岩
20	钟鼓洞	28°31.873′	118°33.901′	527	K ₁ f	钙质砂岩
21	会仙岩	28°31.933′	118°33.851′	460	K ₁ f	含砾石英砂岩
22	会仙岩	28°31.933′	118°33.851′	460	K ₁ f	砂 岩
23	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	—	K ₁ f	晶屑凝灰岩
24	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	—	K ₁ f	含砾岩屑砂岩
25	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	—	K ₁ f	安山岩
26	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	575	K ₁ f	含砾砂岩
27	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	角砾凝灰岩
28	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	火山岩屑砂岩
29	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	角砾岩
30	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	含砾岩屑砂岩
31	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	角砾凝灰岩
32	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	523	K ₁ f	角砾凝灰岩
33	亚 峰	28°31.707′	118°33.883′	—	K ₁ f	橄榄玄武岩
34	亚 峰	—	—	—	K ₁ f	火山岩
35	灵 峰	—	—	—	K ₁ f	砂 岩
36	灵 峰	—	—	—	K ₁ f	角砾凝灰岩
37	灵 峰	—	—	575	K ₁ f	角砾凝灰岩
38	灵 峰	—	—	—	K ₁ f	砾 岩
39	灵 峰	—	—	—	K ₁ f	砾 岩

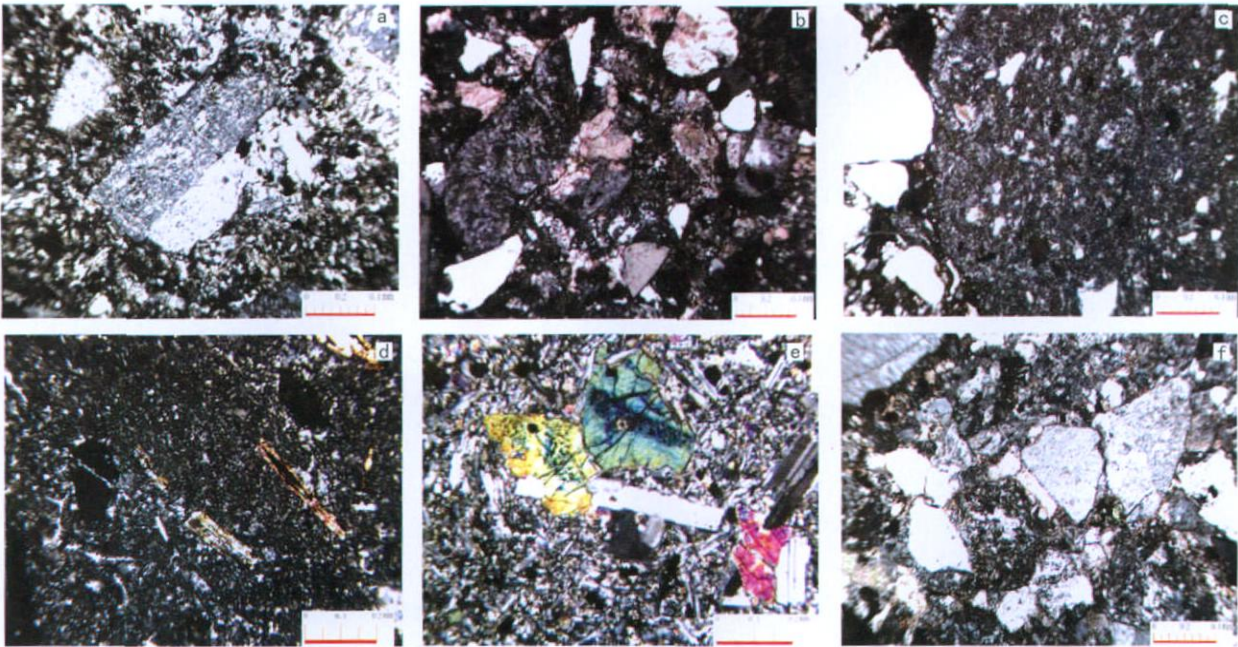
表 4 江郎山岩石标本全岩 X 射线荧光光谱测定结果

Table 4 Oxides contents measured by Xfluorescence spectroscopy method for K₁f bedrock in Jianglang Mountain

样品编号	地 点	岩 性	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
7	郎峰天游	砾 岩	68.6	0.94	16.5	1.99
9	郎峰天游	钙质石英砂岩	65.3	3.51	16.3	2.64
10	天宫洞顶部	含砾岩屑砂岩	55.5	11.90	13.8	3.18
12	天宫洞底部	砂砾岩	62.0	2.46	18.2	3.52
15	静心石室顶部	砾 岩	65.1	1.63	16.2	3.75
16	静心石室底部	砾 岩	60.7	8.42	13.8	3.67
32	亚峰西侧崖壁	角砾凝灰岩	75.8	0.35	12.3	1.91
26	亚峰东侧崖壁	砂 岩	65.7	5.31	14.8	3.17
38	灵峰东侧崖壁	砾 岩	70.6	1.47	14.3	2.28
39	灵峰东侧崖壁	砾 岩	67.7	1.21	15.4	5.43

表 5 江郎山样品磨片鉴定结果

Table 5 Results of thin section identification (polariscope) for Kf formation of Jianglang Mountain					
标本 编号	采样 地点	经度/ E 纬度/ N	海拔 / m	岩 性	显微镜下岩性特征
5	郎峰	118°33.935' 28°31.734'	742	砾岩	砾状结构。碎屑物分选差,磨圆度中等—差。砾石:约占 60%,磨圆度中等,为次圆状—次棱角状,主要为火山岩岩屑,其成分主要为中性熔岩(安山岩)和酸性熔岩岩屑。充填物约占 40%,为中细粒火山岩屑砂岩。充填的火山岩屑砂岩:碎屑颗粒约占 65%,主要成分为火山岩岩屑、石英和长石。火山岩屑的成分与砾石基本一致,以中性熔岩岩屑(安山岩岩屑)为主,少量酸性熔岩(为霏细结构)(图 4a)
13	天宫洞	118°33.932' 28°31.755'	773	钙质细砾岩	砂砾状结构,碎屑物分选差,磨圆度中等—差。砾石:约占 30%,砾石直径较小,一般为 2~5 mm,磨圆度中等,多为次圆状,成分以流纹岩岩屑为主,流纹岩岩屑可见斑状结构,斑晶为熔蚀石英和长石。少量安山岩岩屑,具安山结构。砾石之间充填的火山岩屑砂岩:碎屑颗粒约 80%,粒径 0.1~0.8 mm,分选差,磨圆度差,主要成分为火山岩岩屑、石英和长石。火山岩屑约占 50%,成分与砾石基本一致,有的隐约可见球粒结构,为球粒流纹岩。长石约占 10%,主要为条纹长石。石英碎屑约占 20%。胶结物约占 20%,以方解石为主,少量铁质氧化物(约 5%)。方解石胶结物,呈不规则他形粒状,分布很不均匀。岩石中火山岩岩屑、长石等蚀变较强(图 4b)
14	静心石室	118°33.934' 28°31.864'	568	砾岩	砂砾状结构,碎屑物分选差,磨圆度中等—差。砾石:约占 40%,磨圆度中等,其成分以酸性火山岩岩屑为主,少量中性熔岩(粗面岩)岩屑,偶见微晶灰岩岩屑。火山岩屑约占 45%,成分与砾石基本一致。长石约占 10%,石英碎屑约占 15%,均呈棱角状。充填物含量约 30%:主要为方解石胶结物(约 15%)和铁质氧化物胶结物(约 10%),少量细粉砂(约 10%)。方解石胶结物晶体,呈不规则他形粒状,分布很不均匀。岩石中含十几条方解石细脉(图 4c)
21	郎峰下会仙岩	118°33.851' 28°31.933'	460	砂岩	中粗粒砂状结构,碎屑物分中等,磨圆度中—差。碎屑物(75%),主要成分为岩屑、石英和长石。岩屑约占 35%,石英碎屑约占 25%,长石约占 15%。岩屑成分为酸性火山岩岩屑(流纹岩、流纹质凝灰岩等),个别岩屑中可见球粒结构。胶结物及其粒间孔隙(约 25%):方解石胶结物约 10%,分布不均匀,铁质氧化物胶结物约 3%。粒间孔隙约 12%(图 4d)
33	亚峰东侧	118°33.883' 28°31.707'	512	橄榄玄武岩	斑状结构,基质具间粒结构。岩石蚀变很弱。斑晶约占 15%,主要为斜长石、橄榄石,少量辉石。基质约占 85%:主要由基性斜长石和辉石组成,少量磁铁矿。基性斜长石约 40%,呈自形板状。辉石约 40%,细小他形粒状,充填于斜长石构成的格架中(图 4e)
39	灵峰南端	118°33.913' 28°31.720'	580	砾岩	砾状结构,砾石约占 50%,砂粒含量约 35%,充填物约 15%,碎屑物分选差,磨圆度中等—差,碎屑物(砾石和砂,85%):其中砾石直径 3~20 mm,砂粒为 0.2~2 mm,以 0.1~2.0 mm 为主。主要成分为火山岩岩屑、石英和长石。火山岩岩屑约占 72%,主要有酸性火山岩(流纹质凝灰岩、流纹岩等)岩屑。石英晶屑约 8%。长石占 4%,为斜长石和条纹长石。胶结物约占 15%,为方解石胶结物(约 5%),铁质氧化物(分布很不均匀,约 3%)、泥质物(4%)和硅质胶结物(3%)(图 4f)



a. 砾岩(t, ×4, ×10); b. 砾岩(t, ×4); c. 砾岩(t, ×4); d. 砂岩(t, ×10); e. 橄榄玄武岩(t, ×10); f. 砾岩(t, ×4)

图 4 江郎山岩石标本镜下鉴定照片

Fig. 4 Photograph of thin section identification(polariscope)for Kf formation of Jianglang Mountain

胶结物约 15 %。郎峰天桥钙质细砾砂岩的钙质胶结物高达 40 %。灵峰崖壁上胶结物约占 15 %,其中方解石胶结物约占 5 %,仅为胶结物总量的 1/3。

(3) 亚峰西侧崖壁处的岩脉和登天坪处的岩墙,均为辉绿岩,具辉绿-间粒结构及斜长石与暗色矿物的组合。亚峰东侧橄榄玄武岩具斑状结构,基质具间粒结构,岩石蚀变很弱,其基质约占 85 %,主要由基性斜长石和辉石组成。

(4) 会仙岩砂岩样品的胶结物及其粒间孔隙约 25 %,其中粒间孔隙约占 12 %。钟鼓洞钙质砂岩粒间孔隙约占 20 %,局部可见方解石胶结物的溶蚀现象。

(5) 方岩组砂岩和砾岩 SiO_2 含量普遍偏高,高达 55.5 %~75.8 %。

(6) 江郎山三爿石崖壁和洞穴岩石中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等氧化物含量差异不大。但对于含量,洞穴岩石样品的 CaO 含量比崖壁的岩石高:前者平均值为 6.07 %,而崖壁仅 2.13 %。洞穴底部岩石 CaO 的含量高于顶部岩石的含量,如天宫洞顶部岩石 CaO 的含量为 2.46 %,底部岩石含量达 11.9 %。

4 讨 论

白垩纪早期,本区在江山-绍兴深断裂和保安-峡口-张村断裂带拉张断陷作用下,形成了峡口盆地,盆地中堆积了白垩统永康群山麓河流相红色砂砾岩和河湖相杂色砂砾岩馆头组(K_1g)、红色的山麓河流相以及河湖交替相朝川组(K_1c)和方岩组(K_1f)^[10]。白垩纪晚期,两大断裂发生强烈挤压活动,峡口盆地逐渐隆升,岩浆活动活跃。新生代以来,峡口盆地在以差异性和振荡性升降运动占优势的构造抬升中^[10],经历了节理发育阶段,加速了岩体的切割,岩体发生崩塌和侵蚀;随之进入一个新的造貌时期,逐渐在红色陆相磨拉石建造的地层基础上发育了丹霞地貌景观。

(1) 江郎山丹霞地貌在六个申遗地点中,最突出的特征是属于老年期丹霞地貌,其周边地区的白垩纪红层多被蚀为低地,但三爿石却依然挺立高耸,其原因可能与组成三爿石的岩性密切相关。研究表明,该处岩石 SiO_2 含量高达 55.5 %~75.8 %,且砾石主要由中性熔岩(安山岩)和酸性熔岩岩屑(流纹质凝灰岩、流纹岩)等火山岩岩屑组成,这些岩屑和石英晶屑经历过火山高温作用,冷却后经历了淬火

作用,大大提高了抗风化作用能力;加之三爿石中多处贯穿有辉绿岩和橄榄玄武岩岩脉和岩墙,其辉绿-间粒结构及斜长石和暗色矿物的组合构成了十分坚硬且抗风化能力很强的岩体,对三爿石起到了进一步加固的作用。

(2) 形成丹霞地貌的剥蚀搬运主要靠流水的机械侵蚀和化学溶蚀^[11]。含酸性的雨水下渗后,对钙质胶结物较多的岩层易产生溶蚀作用。岩石标本薄片偏光显微镜鉴定发现,洞穴中岩石的胶结物多为方解石,其含量超过胶结物总量的 50 %。X 射线荧光光谱测定表明,洞穴的岩石样品的 CaO 含量是崖壁的三倍。因此会发生类似石灰岩地区的溶蚀作用,含 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 的流水遇到含钙质胶结物较多的岩石就发生化学反应,大量的 Ca^{2+} 被溶蚀、带走。钟鼓洞钙质砂岩粒间孔隙约占 20 %,局部可见方解石胶结物的溶蚀现象,推测粒间孔隙很可能是方解石胶结物被溶蚀的遗迹。方解石胶结物被溶蚀降低了砂岩结构的稳定性,抗压强度和抗风化能力随之下降,均低于由砾岩和火山岩岩屑构成的岩体,抗压强度的下降导致岩体的破碎和崩塌,引发了上覆砾岩的崩塌,如会仙岩洞中的崩落石(图 2c)。当崖壁处的岩层层面向内倾斜时,有利于崖上流水顺层面侵蚀和溶蚀,形成会仙岩(图 2c)、天宫洞、静心石室、钟鼓洞这样的大型洞穴和凹槽(图 2d)。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。因此,方岩组这种软硬互层的岩性是导致丹霞岩层差异风化和崩塌的原因之一,也是该区丹霞崖壁出现大量扁平状洞穴和槽龕的主要原因。

5 结 论

(1) 方岩组(K_1f)火山岩砾石中火山岩碎屑含量高,石英晶屑多被高温熔蚀,较为稳定;且砂岩、砾岩 SiO_2 含量高达 55.5 %~75.8 %,上述特征增强三爿石的抗风化能力。

(2) 三爿石中多处贯穿有辉绿岩和橄榄玄武岩的岩脉和岩墙,其辉绿-间粒结构及斜长石和暗色矿物的组合,构成了抗风化能力很强的岩体,使三爿石能突兀而立。

(3) 洞穴岩石 CaO 含量百分比的平均值是崖壁的三倍,溶蚀作用降低了砂岩的稳定性,加上破碎和崩塌便形成了会仙岩、天宫洞、静心石室、钟鼓洞等景观。

参考文献 (References):

- [1] 黄进. 中国丹霞地貌的分布[J]. 经济地理, 1999, 19b(增刊): 31 - 35.
Huang Jin. Distribution of the Danxia landform in China[J]. Economics Geography, 1999, 19(suppl.): 31 -35. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈国达. 广东之红色岩系[J]. 国立中山大学理季刊, 1935, 6(4): 1 - 30.
Chen Guoda. Red rock system of Guangdong [J]. Science Quarterly of National Zhongshan University, 1935, 6(4): 1 - 30. (in Chinese)
- [3] 刘尚仁. 对丹霞地貌若干问题的思考[J]. 经济地理, 1999, 19b(增刊): 5 - 9.
Liu Shangren. Some viewpoints about problems of Danxia Landform[J]. Economics Geography, 1999, 19(suppl.): 5 - 9. (in Chinese with English abstract)
- [4] 曾昭璇. 中国东南部红层地貌[J]. 华南师范学院学报(自然科学版), 1978, (2): 43 - 57.
Zeng Zhaoxuan. Red beds in southeastern China[J]. Journal of South China Normal University (Natural Sciences Edition), 1978, (2): 43 -57. (in Chinese)
- [5] 彭华. 中国丹霞地貌研究进展[J]. 地理科学, 2000, 20(3): 203 - 211.
Peng Hua. Advance of the Danxia landform study in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(3): 203 - 211. (in Chinese with English abstract)
- [6] 彭华. 丹霞地貌旅游开发研究的回顾与展望[J]. 经济地理, 2000, 20(增刊): 139 - 155.
Peng Hua. The retrospection and prospect of the research about tourism exploitation of Danxia Landform[J]. Economics Geography, 2000, 20(suppl.): 139 - 155. (in Chinese with English abstract)
- [7] 朱诚, 彭华, 李世成, 黄林燕, 郑朝贵, 项伏生, 孙毓飞, 唐云松, 胡济源, 朱光辉, 吕健君, 程光华. 安徽齐云山丹霞地貌成因[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 445 - 455.
Zhu Cheng, Peng Hua, Li Shicheng, Huang Linyan, Zheng Chaogui, Xiang Fusheng, Sun Yufei, Tang Yunsong, Hu Jiuyan, Zhu Guanghui, L ūjianjun, Cheng Guanghua. Danxia landform genesis on Qiyun Mountain, Anhui Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3): 445 - 455. (in Chinese with English abstract)
- [8] 朱诚, 彭华, 李中轩, 张广胜, 李兰, 俞锦标, 朱光耀, 欧阳杰, 钟宜顺, 朱青, 周书勤, 郑朝贵, 周日良, 李东, 朱雨鸣, 吕文, 武弘麟. 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, Zhang Guangsheng, Li Lan, YuJingbiao, Zhu Guangyao, OuyangJie, Zhong Yishun, Zhu Qing, Zhou Shuqin, Zheng Chaogui, Zhou Riliang, Li Dong, Zhu Yuming, L ūWen, Wu Hongling Age and genesis of the Danxia Landform on Jianglang mountains, Zhejiang Province[J]. J. Geographical Science, 2009, 64(1): 21 - 32. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李德文, 王朋岭, 俞锦标. 浙江新昌丹霞岩壁风化特征的微观研究[J]. 自然科学进展, 2004, 14(1): 75 - 80.
Li Dewen, Wang Pengling, Yu Jinbiao. Microscopic Studies of Weathering on Danxia Cliff in Xinchang area, Zhejiang Province [J]. Progress in Natural Science. 2004, 14(1): 75 - 80. (in Chinese with English abstract)
- [10] 浙江省区域地质调查大队. 中华人民共和国地质说明书·长台镇幅(1:50000) [Z]. 1999.
Regionally Geologic Survey Group of Zhejiang Province. Geologic Introduction of PRC to Changtai Town(1:50000) [Z]. 1999. (in Chinese)
- [11] 彭花明, 刘林清, 郭福生. 浙江江郎山丹霞地貌地质成因分析及景观保护[J]. 火山地质与矿产, 2001, 22(2): 143 - 149.
Peng Huaming, Liu Linqing, Guo Fusheng. On geological genesis of the Danxia landform in Zhejiang province[J]. Volcanic Geology and Mines, 2001, 22(2): 241 - 286. (in Chinese with English abstract)