

浙江黄岩富山地区古崩塌地貌发育机制

申洪源^{1,2}, 朱诚¹, 唐云松¹, 吴承照³, 翁维国⁴

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 临沂师范学院地理与旅游系, 山东 临沂 276005;

3. 同济大学风景科学与旅游系, 上海 200092; 4. 浙江省台州市黄岩区旅游局, 浙江 黄岩 317400)

摘 要: 利用野外综合考察和岩石样品的室内分析资料, 对浙江黄岩富山地区古崩塌地貌发育机制进行了研究。结果表明研究区自晚侏罗世以来经历了火山沉积和岩浆侵入阶段, 形成花岗斑岩。新构造运动使本区发生间歇性抬升, 岩石受构造应力和风化剥蚀的共同影响, 形成多组垂直节理和水平节理。本区特定的地貌、岩性和节理裂隙以及丰富的降水和风化作用等条件, 形成了一线天、陡崖壁、嶂谷、峡谷、巷谷、瀑布、巨石川、崩塌岩洞等古崩塌地貌。

关键词: 富山地区; 古崩塌地貌; 发育机制

中图分类号: P931. 5; P931. 2

文献标识码: A

崩塌是山区常见的一种地质现象。山区崩塌形成峻峰、陡壁、石柱、石块、石蛋、峡谷、巷谷、裂谷、岩洞等, 形状怪异, 造型独特, 具有很高的旅游开发价值。许多学者对崩塌发生的条件与动力机制^[1]、地貌类型^[2~4]、丹霞地貌^[5,6]、嶂石岩地貌^[7]及山崩地貌资源开发^[8,9]进行过研究。但专门研究花岗岩山地崩塌地貌形成机制与旅游开发的工作较少, 本文对黄岩富山地区花岗岩山地古崩塌地貌发育成因及景观特色做一探讨, 以期为当地旅游资源开发和经济发展提供科学依据。

1 富山地区古崩塌地貌发育条件和机制

首先搜集了研究区地质地貌资料和自然地理基础资料, 并对资料进行了室内分析, 确定了野外调查范围和路线; 对研究区进行了为期三天的野外地质地貌综合考察, 全面调查了该区构造特征、地貌特征以及植被、气候和水文特征等; 重点对古崩塌地貌的

类型、特点和分布范围进行了观察。在野外, 除对岩性作了初步鉴别外, 还在不同地点采集了 23 块岩石标本, 并对其中 8 块做了室内薄片鉴定。在此基础上, 结合前人有关工作对研究区古崩塌地貌发育机制进行分析。

1.1 古崩塌地貌发育的条件

富山地区位于浙江省东南部台州市黄岩区西部 ($28^{\circ}29' \sim 28^{\circ}33' \text{N}$, $120^{\circ}51' \sim 120^{\circ}56' \text{E}$), 面积 54 km^2 , 森林覆盖率 $> 80\%$ 。属亚热带季风气候, 温暖湿润, 雨量充沛, 四季分明; 年平均气温 17°C , 1 月份平均气温 6°C , 7 月份平均气温 27.8°C , 平均无霜期 259 d; 平均年降水量 $> 1\,800 \text{ mm}$ ^[10]。

1.1.1 岩性

岩性对崩塌地貌的发育具有明显控制作用。一般来讲, 块状、厚层状的坚硬脆性岩石常形成较陡的边坡, 若构造节理和(或)卸荷裂隙发育且存在临空面, 则极易形成崩塌。相反, 软弱岩石易遭受风化剥蚀, 形成的斜坡坡度较缓, 发生崩塌的机率小得

收稿日期(Received date): 2002- 10- 12; 改回日期(Accepted): 2003- 05- 21。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金“长江三角洲七千年以来环境质量变化的考古地层记录研究”(编号: 40271103); 高校博士点基金“长江三角洲全新世海侵和洪涝事件考古地层学研究”(编号: 2000028414); 南京大学 985 自然地理学科建设基金和南京大学测试基金项目共同资助。[Found Item: China National Science Found: Study of archaeological strata record for the environmental quality change in the Yangtze Delta since seven thousand years (No. 40271103); University Doctor Unit: Study of archaeological strata record for Holocene transgression and flood and waterlogging events (No. 2000028414)]

作者简介(Biography): 申洪源(1963-), 男, 汉族, 山东临沂人, 博士, 副教授。主要从事第四纪地质与环境演变研究。Tel. 025- 3597320 E-mail: shhongyuan@163.com [Author resume: Shen Hong-yuan (1963-), male (Han), Linyi Shandong province, doctor, associate professor. mostly field: quaternary and environment evolvement.]

多^[11]。由于花岗岩是块状结构岩石, 岩性致密, 孔隙率约为 1%, 故透水性不良, 其透水性比不透水的页岩还差, 只有页岩的 1/5^[2]。这就使得花岗岩地表散流和暴流作用很强, 流水侵蚀切割旺盛。花岗岩中长石、石英、云母等结晶矿物有良好的镶嵌结构, 故岩性坚硬, 每平方厘米能承受 1 000~ 2 300 kg 的压力^[2], 所以它的抗蚀力强, 常形成高山, 且悬崖地貌发育。在节理发育的情况下花岗岩山体常发生

块状崩塌。

富山主要山体均为燕山晚期侵入岩, 称半山岩体^[12]。岩体中有后期钾长花岗岩岩枝和安山岩、细晶岩等岩脉贯入。野外采集的标本制成薄片在偏光显微镜(目镜 1× 6. 5 倍, 物镜 1× 4 倍, 正交偏光) 下进行鉴定, 结合野外观察得出研究区主要岩性为花岗斑岩、斑状细粒花岗岩、中细粒花岗岩等(表 1)。

表 1 富山地区岩石标本情况
Table 1 Elements of the rock on Mount Fu

编号	采样地点	海拔(m)	样品性质	结构特征	镜下鉴定结合手标本观察后命名
1	谜石	810	崩塌巨石	斑状结构, 基质为花斑结构(图版 I - 1)	花岗斑岩
2	三叠岩	864	基岩	斑状结构, 基质为花斑结构(图版 I - 2)	花岗斑岩
3	头梳岩	920	基岩	斑状结构, 花岗结构(图版 I - 3)	斑状细粒花岗岩(斑晶约占 10%)
4	棺材岩	982	崩塌巨石	斑状结构, 基质为花斑结构(图版 I - 4)	花岗斑岩
5	仙游坪	1110	基岩	斑状结构, 花岗结构(图版 I - 5)	斑状细粒花岗岩(斑晶约占 30%)
6	大瀑布	395	基岩	似斑状结构, 花岗结构(图版 I - 6)	中细粒二长花岗岩
7	巨石川	528	崩塌巨石	斑状结构, 基质为花斑结构(图版 I - 7)	花岗斑岩
8	蓬莱三岛	656	基岩	斑状结构, 花岗结构(图版 I - 8)	斑状细粒花岗岩(斑晶约占 15%)

鉴定结果表明, 本区花岗斑岩、斑状细粒花岗岩的斑晶中钾钠长石占 30 % 左右, 其中钠长石隐纹不清, 少数较显, 常因泥化表面混浊。斜长石占 15 % ~ 20 %, 柱状、板柱状, 有时呈聚斑分布, 局部具环带构造及钠式和卡钠双晶, 偶见肖纳双晶, 有的因泥化显混浊并析出绢云母。钾钠长石和斜长石晶体边缘常见钾钠长石窄边增生(图版 I)。黑云母占 1 % ~ 3 %, 褐色至棕色, 有的已被绿帘石、阳起石替代。偶含 5 % 的角闪石, 已部分为黑云母、阳起石替代。基质中钾钠长石占 30 % ~ 40 %, 酸性斜长石占 10 % 左右, 石英占 20 % 左右, 可见石英和钾钠长石连生呈微文象结构, 另有黑云母、角闪石少量, 磷灰石、榍石、锆石微量, 金属矿物 1 % ~ 2 %。

在我国花岗岩地貌区, 安徽黄山等由于组成其山体的花岗岩中抗风化力强的石英成分相对较多, 其花岗岩抗蚀能力也相对较强^[13, 14]。而以上岩性分析表明, 浙江黄岩富山地区的花岗斑岩中石英成分相对较少, 钾长石含量却较多。据对 6 个硅酸盐样品统计^[12], SiO₂ 平均值为 68. 78 %, 这与临近区域同期次花岗岩、钾长花岗岩 SiO₂ 含量常在 75 %

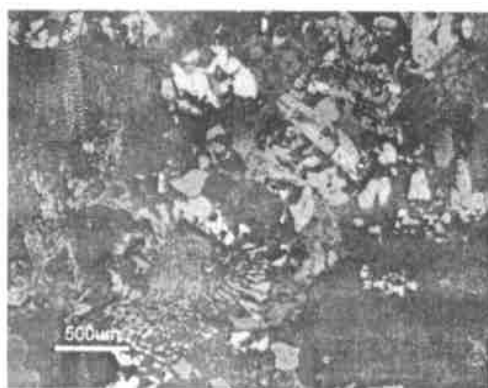
以上相比, 也明显偏低。本区花岗岩中的长石、云母、角闪石等矿物普遍具有不同程度的蚀变现象, 如钾钠长石的泥化、绢云母化, 角闪石、黑云母的绿泥石化等次生蚀变, 也降低了岩石抗风化的能力。在花岗岩的原生节理形成后, 水分沿节理渗透, 蚀变矿物被水携走, 从而使节理拓宽加深, 促进了崩塌地貌的发育。

1. 1. 2 岩体产状

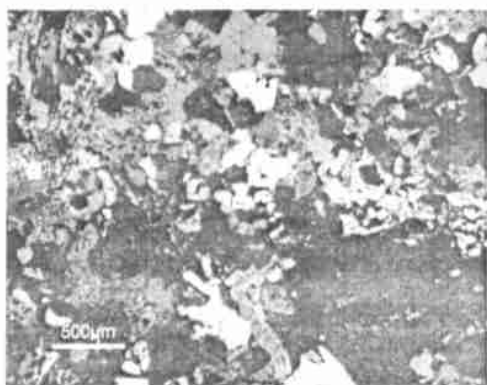
富山地区的花岗侵入岩体, 整体上呈 NE-SW 走向, 面积 62 km², 呈岩株产出。岩体呈北宽南窄的短轴状分布, 侵入于上侏罗统黄尖组 b 段(J_{3h}^b) 和诸暨组 a 段(J_{3z}^a), 北东侧侵入到下白垩统馆头组(K_{1g}) 砂页岩中。岩体与围岩接触面一般外倾, 倾角多在 40° ~ 50°, 局部甚为平缓, 如岩体东侧有的倾角不到 30°, 个别地段侵入接触面陡立, 偶见接触面倾向岩体者^[12](图 1)。由于岩体呈株状产出, 在围岩被剥蚀殆尽后成为高出四周山地的峻峭地形。如方岩岗、仙游坪等山峰, 主峰周围峭壁近直立, 形成很高的基岩临空面, 为崩塌地貌的发育提供了有利条件。



I-1



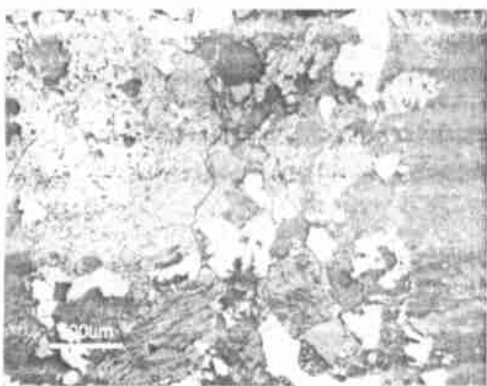
I-2



I-3



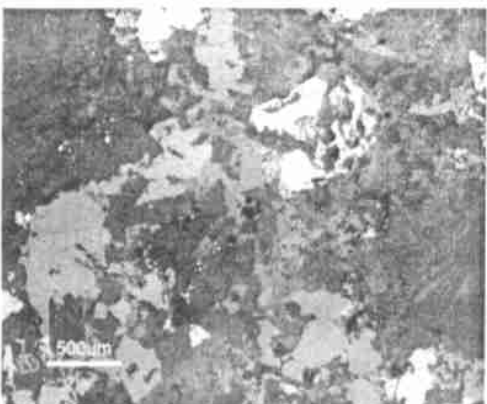
I-4



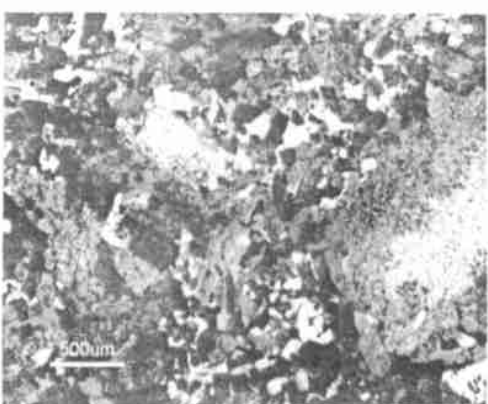
I-5



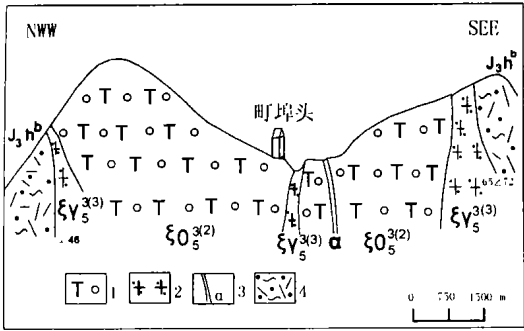
I-6



I-7



I-8



1. 花岗班岩; 2. 斑状细粒花岗岩; 3. 安山岩脉;
4. 角岩化流纹质晶屑熔结凝灰岩

图 1 黄岩半山岩体剖面图

Fig.1 Cross profile of the Banshan granite rock, Huangyan

面时,易产生大型崩塌。实地调查发现半山岩体局部受 EW 向和 NE-SW 向断裂切割。其中,EW 向断裂为张性断裂,沿断裂带发育了冲沟。受其控制,在冲沟两侧崩落地貌发育。除此之外,本区古崩落地貌的发育还受一系列节理裂隙的影响。其中对崩落地貌发育影响较大的几组深大垂直节理和裂隙见表 2。

除上述深大垂直节理外,在突出的岩体上,通常还发育有风化节理。岩体中发达的节理,成为流水和地下水侵蚀岩体的地点,流水沿节理侵蚀出沟谷及河谷,在节理系统交错地点可以发育小型盆地。节理在山坡上又成为控制坡面发育的要素。节理的多少和型式往往成为山地坡度的决定性因素。例如一般形成崖壁的地点也就是节理集中的地点。因为这里地下水作用较强,而抗剪力较弱,重力崩塌易于进行^[3]。

表 2 富山地区节理、裂隙发育与地貌景观

Table 2 Landscapes and joints and fissures in Mt. Fu

走向	性质	地貌景观
95° SE/ 275° NW、175° SE/ 355° NW	两组深大垂直节理	小仙师洞等
90° EW/ 270° EW	深大垂直节理	“一线天”等
87° NE/ 267° SW	深大垂直节理	天窗瀑布(水帘洞)等
0° / 180°、74° NE/ 254° SW	两组深大垂直节理	大仙师洞等
74° NE/ 254° SW、164° SE/ 344° NW	两组垂直节理	“棺材岩”
60° NE/ 240° SW、132° SE/ 312° NW	两组深大垂直节理	仙游坪“龙翻石”
85° NE/ 265° SW	深大垂直裂隙	黄枝坑峡谷等
56° NE/ 236° SW	深大垂直裂隙	“蓬莱三岛”巷谷(图 2c)
160° SE/ 340° NW	深大垂直裂隙	“鹰嘴岩”裂谷洞(图 2b)

纵横交错的节理还在不同部位、不同坡段发育有方向、规模各异的结构面,它们的不同组合构成了各种类型的岩体结构。各种结构面的强度明显低于岩块的强度;因此,倾向临空面的软弱结构面发育程度、延伸长度以及该结构面的抗拉强度是控制边坡产生崩塌的重要因素。

受 90° E- 270° W、175° SE- 355° NW 等深大垂直节理及水平节理影响,在长期重力作用下节理逐渐扩展,产生垂直和水平裂缝,当拉应力超过连接处岩石的抗拉强度,拉张裂缝就会迅速向下发展,最终导致突出的岩体发生崩塌。

1. 1. 4 新构造运动

岩性分析表明半山岩体为浅成或超浅成侵入岩。由于燕山运动晚期的抬升作用,上覆围岩很快被剥蚀掉,使花岗岩出露。第三纪以来,本区主要受新构造运动的影响而间歇性抬升。在构造相对稳定时期,山体遭受剥蚀,形成夷平面。实地调查发现,富山地区明显存在 3 级夷平面(表 3)。这三级夷平面代表了第三纪以来本区经历了 3 次幅度较大的抬升过程。

三级夷平面的存在也可从浙江省地质矿产局对邻近地区河流阶地的调查结果得到验证^[12]。瓯江下游青田-温州江段,发育有三级侵蚀-剥蚀阶地,其高程分别为: T1- 10 m, T2- 25 m~ 35 m, T3-

58~ 68 m。其中 T1 阶面和屿门 T2 阶地的阶面上, 还可找见少量河床相砾卵石。上述阶地以 T3 最为发育, 分布也普遍。其次是 T2, T1 分布比较零星。另外在永宁江流域 T1 阶地未曾发现, 而在头陀一带发育了 T2、T3、T4 三级阶地, 高程依次为: T2- 25 m, T3- 50 m, T4- 100 m。

表 3 富山地区三级夷平面

Table 3 Three-grade leveling surfaces in Mt. Fu

夷平面	第一级	第二级	第三级
山 顶 及 海 拔 高 度	大岙山(1083m)	岙东岭(755m)	西岩(570m)
	仰天湖(1074m)	子木坑岭头(864m)	
	望海岗(1121m)		牛角尖(477m)
	仙游坪(1087m)	茶山尖(755m)	
	南正尖(1246m)	马家山(771m)	
	金岗尖(1043m)	葡萄坑(722m)	
	大寺尖(1252m)	小寺基(855m)	

富山地区三叠瀑所在的黄枝坑溪, 流向受节理或断层影响有转折。该冲沟下段为峡谷, 中段为嶂谷, 再上为宽缓 V 谷。三个瀑布所在的三个裂点分别代表了三次构造抬升形成的溯源侵蚀最远点。第一个裂点高差约 2 m, 第二个裂点高差约 5 m, 第三个裂点高差约 50~ 60 m。

由于新构造运动的间歇性抬升, 山体高耸, 坡度很大, 冲沟与河流强烈下切侵蚀, 使岩体形成高陡的临空面, 也是崩塌发育的一个重要因素。

1. 1. 5 地貌条件

地貌主要表现在斜坡坡度上。崩塌多发生于坡度> 55°、高度> 30 m、坡度凹凸不平的陡峻斜坡上^[11]。在上述岩性、岩体产状、节理裂隙和新构造运动等因素的影响下, 本区形成了众多峡谷陡坡、冲沟岸坡、深切河谷等地貌, 为崩塌的形成提供了适宜的斜坡坡度、高度和形态, 以及有利于岩体崩落的临空面。因此, 地貌条件对本区古崩塌地貌的形成具有最为直接的作用。在海拔 1 000 m 以上地带, 一年内有 2~ 3 个月最低气温徘徊于 0℃左右, 冰缘作用频繁。在第四纪冰期时, 冰缘作用更为强烈。当岩体中各种破裂面所含裂隙水发生冻结时, 对岩壁产生巨大压力, 加速岩体崩解和破裂面扩展。在仙游坪顶, 由于其海拔已达到准现代冰缘界限, 故形成独特的“龙翻石”(即石海)、石流坡、冻融蠕流阶地等现代冰缘景观。

1. 2 古崩塌地貌发育机制

本区古崩塌地貌是在特定自然条件下形成的。地貌、岩性和节理裂隙是崩塌的物质基础; 丰富的降水量和风化作用等对崩塌的形成和发展起着重要作用。按崩塌发生时受力状况的不同, 可将其形成的力学机制分为倾倒崩塌、滑移崩塌和拉裂崩塌 3 类。

1. 2. 1 倾倒崩塌

巨大而直立的岩体以垂直节理或裂隙与稳定的母岩分开, 在重力作用下或有较大水平力作用时, 岩体因重心外移倾倒产生突然崩塌, 在仙游坪、巨石川和黄枝坑峡谷区常见这类崩塌。仙游坪主峰区由于岩体受到冰裂等机械作用, 岩体顺节理、裂隙、断裂切割成为石峰壁立的地貌。峭壁的成因有二: 山体四周的峭壁受岩株侵入体形态的影响; 山体内部不同的山峰之间的峭壁则多为节理控制下发生崩塌发育而成, 在不同方向的节理影响下形成走向和形态不同的崖壁, 山地节理以 70°~ 90°NE 和 130°~ 175°SE 为主。山顶部分由于四周侵蚀作用还未深入, 故古山顶夷平面仍能保存。

由于新构造运动的抬升作用, 加之流水侵蚀, 使山体四周不断被侵蚀成峡谷, 沿节理深入山体, 使岩体被侵蚀成峭壁奇峰。黄枝坑峡谷为一大冲沟, 流向的转折与不同地段节理方向密切相关。仙游坪岩壁坡度在 70°左右, 长坡上端常有霜裂崖存在。峰顶霜裂崖下的长坡常呈上凸形剖面, 表示球状风化作用所成的坡面。峰体下部坡面多沿节理扩展, 其发育以崩塌为主, 故坡度更大, 有的似直立状态, 并且在峰脚堆积崩石。在方岩岗还有巨大石蛋地貌发育, 但多受节理影响, 棱角明显, 与花岗岩丘陵区的浑圆形石蛋地貌不同。巨石川是由于冲沟两侧陡壁和主峰悬崖崩塌的巨石堆积在冲沟内形成。图 2-a 为冲沟两侧的巨石发生倾倒崩塌相互叠置而形成的岩洞。

1. 2. 2 滑移崩塌

本区层状节理大致和灼热岩面变温层相当, 即节理倾角大致在 55°~ 70°。节理间距达 1m 以上。因此, 岩体虽然层层剥落, 但崖坡坡度仍然保持在 70°左右, 形成很高的临空面。节理面则成为软弱结构面, 由于其倾向与坡向相同, 使上覆不稳定岩体在重力作用下具有向临空面滑移的趋势, 因此一旦不稳定岩体的重心滑出陡坡, 则产生崩塌。除重力外, 降水渗入岩体裂缝中产生的静、动水压力以及地下水对软弱结构面的润湿作用都是岩体发生滑移崩塌

的主要诱因。图 2- b 为岩体在重力作用下沿走向 $160^{\circ}\text{SE}-340^{\circ}\text{NW}$ 深大垂直节理发生滑移崩塌, 造成岩体斜倚在基岩壁上所形成的岩洞(鹰嘴岩裂谷洞)。洞宽 $1\sim 2\text{ m}$, 高 10 余 m , 长 30 多 m 。

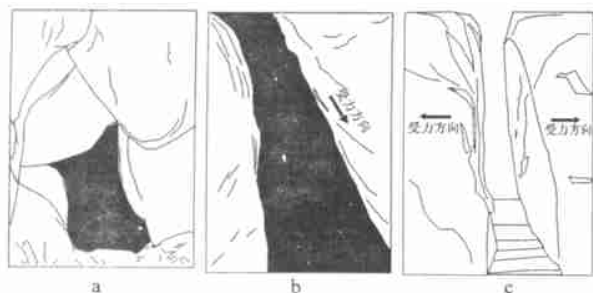


图 2 崩塌形成的岩洞

Fig. 2 Caves of landslide

1. 2. 3 拉裂崩塌

由于燕山晚期本区域应力转入引张体制, 受其影响, 形成张节理。张节理两壁张开, 发育比较稀疏, 节理间距较大, 频度较低, 是地下水的良好通道, 受地下水影响节理裂隙逐渐加宽。在突出的岩体上, 通常发育有构造节理或风化节理。在长期重力作用下, 节理逐渐扩展, 一旦拉应力超过连接处岩石的抗拉强度, 拉张裂缝就会迅速向下发展, 最终导致突出的岩体崩落。图 2- c 为走向 $56^{\circ}\text{NE}-236^{\circ}\text{SW}$ 的张节理两侧岩石受力向两边张裂形成的巷谷(蓬莱三岛巷谷)。谷宽 $1\sim 1.5\text{ m}$, 高 $15\sim 20\text{ m}$, 长 15 m 。

2 富山地区古崩塌地貌发育简史

距今约 2 亿年的印支运动使我国古地理、大地构造格架发生了根本性的转变。印支运动以后, 亚洲大陆与太平洋之间构造体系的演化进入了一个新阶段, 我国东部整体开始了濒西太平洋大陆边缘活动的新时期^[12]。富山地区古地貌发育就是在这一背景下进行的, 其发育主要经历以下几个阶段(图 3)。

2.1 早期火山堆积阶段

侏罗纪构造变动和火山活动极为频繁, 先后经历了三个火山喷发旋回, 堆积了巨厚的火山沉积地层(图 3- A)。

2.2 燕山运动构造隆升与岩浆冷凝阶段

与火山活动相伴的燕山期岩浆侵入活动, 在晚

侏罗世也达到鼎盛时期, 它具有与火山岩同源、同期及同时空的特征。酸性岩浆沿 NE 向断裂结点部位侵入, 在较深部位即有一部分物质发生凝结, 生成较大的晶体; 而后岩浆上升到距地表较浅处, 尚未结晶的部分在迅速冷凝的条件下形成结晶较差的基质(图 3- B)。

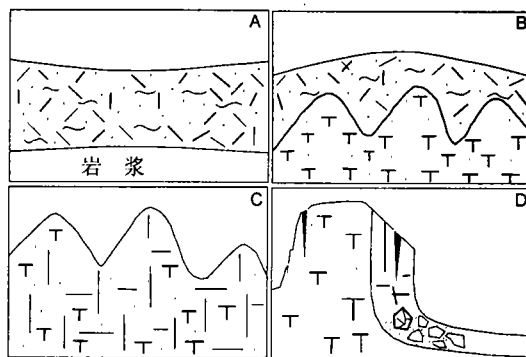


图 3 富山地区崩塌地貌发育阶段示意图

Fig. 3 Development phases of the landslide landform in Mt. fu

2.3 节理发育阶段

距今 0.65 亿年的喜马拉雅运动, 本区发生间歇性抬升, 主要经历了三次幅度较大的隆升过程。岩石受构造应力和围岩不断风化侵蚀的影响, 形成张节理和卸荷节理(图 3- C)。

2.4 流水切割、裂隙与节理扩张、崩塌地貌发育阶段

地表水沿裂隙大量下渗, 节理受侵蚀后逐渐加宽拓长。在冰期和冬季, 储积在裂隙中的水冻结成冰, 冰冻体积膨胀使裂隙扩大, 更利于地表水的下渗。这种作用反复进行, 便使完整的山体不断崩塌后退。在节理密集处, 流水侵蚀较快, 形成冲沟, 又由于后期的间歇性抬升, 从而导致流水下切侵蚀和溯源侵蚀。在“仙师洞”、“岩阳洞”、“蓬莱三岛”、“巨石川”等处, 均可见崩塌陡崖, 崖下有巨大的崩积石。这些崩积石有的叠置成洞, 有的形成巨石川(图 3- D)。

3 结论

由于富山地区构成山体的侵入岩呈岩株产出, 其花岗斑岩本身抗蚀力较差、但刚性又较强, 在燕山运动和喜马拉雅造山运动中, 因山体隆起而出现若干组走向 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{NE}$, $130^{\circ}\sim 175^{\circ}\text{SE}$ 的深大垂直节理和水平节理, 加之卸荷因素, 导致本区裂隙谷大量

发育; 在夏季的湿热气候和冬季冻融风化交替作用下, 加剧了裂隙谷的拓宽和下切过程。在上述岩体产状、岩性、节理裂隙和新构造运动等因素的影响下, 本区形成了众多峡谷陡坡、冲沟岸坡、深切河谷等地形地貌, 为崩塌的形成提供了适宜的斜坡坡度、高度和形态, 以及有利于岩体崩落的临空面。在坡地重力作用和泥石流搬运下, 形成“蓬莱三岛”、巨石川、“鹰嘴岩”、“一线天”、“棺材”岩、头梳岩、“小仙师”洞等古崩塌地貌景观。仙游坪地区由于其海拔已达到准现代冰缘界限, 故形成独特的“龙翻石”(即石海)、石流坡、冻融蠕流阶地等现代冰缘景观, 在黄枝坑则由于新构造运动间歇性抬升而形成一系列串珠状跌水瀑布景观, 如“三叠瀑”等。

富山古崩塌地貌是迄今在华东地区发现的规模较大的古崩塌地貌, 旅游开发前景看好。形态各异的古崩塌地貌是宝贵的旅游资源, 具有很高的旅游开发价值, 值得当地政府尽快投资开发。开发中应遵循自然生态保护第一的原则, 将自然景观与当地人文景观, 如古民居、古村落、特色农村风味餐饮、民间造纸作坊等密切结合, 利用其独特的地势开辟避暑、滑翔、跳伞、攀岩等休闲和探险性体育运动场所, 以充分发挥其社会、经济和生态效益。

参考文献(References):

- [1] Huang Jin. A Basic Model on Slope Development of Danxia Landform [J]. Tropical Geography, 1982, 3(2): 107~134. [黄进. 丹霞地貌坡面发育的一种基本方式[J]. 热带地理, 1982, 3(2): 107~134.]
- [2] Zeng Zhao-xuan. Rock Topography (first edition) [M]. Beijing: Science Press, 1960, 45~57. [曾昭璇. 岩石地形学[M]. 北京: 科学出版社, 1960, 45~57.]
- [3] Zeng Zhao-xuan. On the Relationship Between Granite Landform and Water and Soil Erode [J]. Tropical Geomorphology, 1993 (supplement): 102~112. [曾昭璇. 中国东部花岗岩地貌与水土流失问题[J]. 热带地貌, 1993, (增刊): 102~112]
- [4] Li Jie-yu. Classification and Counter Measurements of Landslides in Taiwan [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 19(5): 425~429. [李锦育. 台湾崩塌地貌的分类与防治工法[J]. 山地学报, 2000, 19(5): 425~429]
- [5] Zhu Cheng, Yu Jin-biao, Zhao Ning-xi, et al.. Danxia Landform Genesis and Scenic Feature on Guanzai Mountain, Fujian province [J]. 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[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 679~688]
- [6] Huang Jin. Danxia Landform and Tourism Resources in Guanzai Mountain [J]. Journal of Mountain Science, 1989, (1, 2): 39~45. [黄进. 冠豸山丹霞地貌及旅游资源[J]. 热带地貌, 1989, (1, 2): 39~45.]
- [7] Guo Kang. Discovery of Zhangshiyen Landform and Its Value in Tourism Development [J]. Acta Geographica Sinica, 1992, 47(5): 461~471. [郭康. 樟石岩地貌之发现及其旅游开发价值[J]. 地理学报, 1992, 47(5): 461~471.]
- [8] Nan Ling, Cui Zhi-jiu. The Deposit Characteristics of the Paleoe-Avalanchine Landslide in Xi'an Cuihua Mountain and Analysis of Its Generative Process [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18(6): 502~507. [南凌, 崔之久. 西安翠华山古滑塌性滑坡体的沉积特征及形成过程[J]. 山地学报, 2000, 18(6): 502~507.]
- [9] Wu Cheng-ji, Peng Yong-xiang. The Resource of Geological Remains by Landslide in Cuihua Mountain, Xi'an and Resource Evaluation [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 19(4): 359~362. [吴成基, 彭永祥. 西安翠华山山崩地质遗迹及资源评价[J]. 山地学报, 2000, 19(4): 359~362.]
- [10] Office of Huangyan County Annals. Huangyan County Annals [M]. Shanghai: Three United Press, 1991, 65~75. [黄岩县志办公室. 黄岩县志[M]. 上海: 三联书店, 1991, 65~75]
- [11] Pan Wu, Li Tie-feng. Calamity geography. Beijing: Beijing University Press [M]. 2002, 99~104. [潘懋, 李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002, 99~104.]
- [12] Zhejiang Province Geological Mine Res Office. Zhejiang Province Region Geological Records [M]. Beijing: Geological Press, 1989, 520~527. [浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989, 520~527.]
- [13] Zhu Cheng. On the Quaternary Sediment Environment in Eastern China [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2000, 1~327. [朱诚. 华东山地第四纪沉积环境研究[M]. 南京: 南京大学出版社, 2000, 1~327.]
- [14] Sun Ya-fei. Study on the Tourist Landform in Huangshan Mountain [J]. Geographical Research, 1994, 13(2): 34~40. [孙毓飞. 黄山旅游地貌新探[J]. 地理研究, 1994, 13(2): 34~40.]

Mechanism of Paleo-Collapse Landform in Mt. Fu of Huangyan, Zhejiang Province

SHEN Hong-yuan^{1,2}, ZHU Cheng¹, Tang Yun-song¹, Wu Cheng-zhao³, Weng Wei-guo⁴

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

2. Department of Geography and Tourism, Linyi Normal College, Linyi Shandong 276005 China;

3. Department of Landscape Science and Tourism, Tongji University, Shanghai 20092 China;

4. Huangyan Tourism Office, Huangyan, Zhejiang, 317400, China)

Abstract: At present, the genesis mechanism and evolution of collapsed landforms are hot spots of study on the field of geomorphology and tourism. Mt. Fu in Zhejiang Province is a nice environment scenic area. Field investigation and the lithology identification of 8 slices sampled from the area suggest a paleo-collapsed landform in the maturity stage of the mountain. Since late Jurassic period, this area experienced the stages of volcano sediment and magma inrush. Acidic magma inrush along NE joint and make some biggish crystalloids at deep, then the rest magma inrush the shallow place from the earth's surface and coagulate fine crystalloids under quick condensation. During the new tectonic movement, the area experienced intermittent basin uplift and joint development. The three-grade leveling surface in the area illustrates that the area has experienced three episodes of large-scale tilting uplift processes since the Tertiary. During the uplift processes influenced by internal agent compression, gradual disappearance of wall rock pressure and stress-release, the hard granite rock body formed numerous deep fissures and vertical joints. Then, the surface water eroded and dissected the rock along the fissures and joints, so made the granite rock body collapse and recede incessantly. As a result, a lot of rock core and rock prisms were created from the rock body. Therefore, the collapsed landscapes with precipitous peak and gullies were formed. Since the landscapes consist of dike wall, steep cliff, rock ridge, crack valley, with same width from top to bottom, canyon, lane valley, roof-like cave, three grades waterfall and so on, they are of very high value for tourism exploitation.

Key words: Fu Mountain; palaeo-collapse landform; developing mechanism