浙江花岗岩地貌特征与形成过程

董传万[1)]，杨永峰[1)]，闫强[1,2)]，竺国强[1)]

1)浙江大学地球科学系，杭州，310027； 2)中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037

内容提要：浙江地处东亚大陆边缘，江南陆块与华夏陆块的交接部位，构造作用和岩浆作用，特别是中生代的花岗质岩浆作用十分强烈，形成大量的花岗岩类，它们是构成浙江花岗岩地貌的物质基础。浙江花岗岩地貌可分为花岗岩峰丛、花岗岩山丘、花岗岩石蛋和花岗岩崩塌堆积地貌等。作者以大明山、天台山、普陀山及浮盖山等为例，论述了以上各种花岗岩地貌的特征，并对其形成过程进行探讨，同时也讨论了岩石性质、地质构造和气候条件等对花岗岩地貌发育与演变的影响。

关键词：花岗岩地貌；中生代；浙江

1 浙江花岗岩地质概况

浙江省位于东亚大陆边缘，在北纬27°12′～31°31′和东经118°00′～123°00′之间，濒临东海，在大地构造位置上邻近太平洋板块与欧亚板块的交接带，同时，浙江境内，沿绍兴—诸暨—金华—龙游—江山一线，即江绍断裂带(图1)，又是江南陆块与华夏陆块的对接碰撞部位(水涛等，1988)，因此，构造作用和岩浆作用都十分剧烈，自元古宙起，各个地质时代都有规模不等的岩浆活动，并有不同的火成岩产生，岩性都以中酸性、酸性的花岗岩类为主。

浙江目前已发现的最古老的花岗岩形成在古元古代，它们出露在江绍断裂带的东南侧，浙西南的龙泉、遂昌、松阳、庆元和景宁一带，都是些规模较小的花岗岩体，岩性为英云闪长岩和二长花岗岩等，同位素年龄为1800～1900Ma。新元古代的花岗岩类沿江绍断裂带分布，有西裘、璜山、道林山等岩体，同位素年龄集中在880～800 Ma之间，岩石类型偏中性，如石英闪长岩、花岗闪长岩等(周新民等，1993；王一先等，1997a)。

浙江古生代花岗岩主要为加里东期，零星出露，岩石类型有普通花岗岩、角闪花岗岩和二长花岗岩等，如浙江龙泉墩头角闪石花岗岩，其锆石U－Pb年龄为410Ma左右。

浙江中生代的花岗质岩浆活动十分激烈，其中印支期花岗岩较少，仅局限在江绍断裂带西北侧常山、诸暨一带，如绍兴珊溪花岗闪长岩、东阳大爽巨斑状黑云母花岗岩等，同位素年龄240～197Ma(王一先等，1997b)；而燕山期花岗岩类广泛出露，面积大于5500km^2，占全省侵入岩总面积的90%以上(浙江省地质矿产局，1989)，岩石类型有石英闪长岩、石英正长岩、花岗闪长岩、花岗岩、钾长花岗岩等，但花岗岩占绝对地位，同位素年龄集中在140～110Ma之间。在燕山期花岗质岩浆作用的晚阶段，还有少量碱性花岗岩形成(彭亚鸣等，1987；邱俭生等，1996)。

浙江燕山期花岗岩和火山岩在空间上紧密共生，在规模上二者相近。大量的野外地质、岩石地球化学、同位素地球化学都证实它们同源，构成火山—侵入杂岩。它们是中国东南部、环太平洋火山—侵入杂岩带的组成部分(王德滋等，2002)，也是浙江省花岗岩地貌和火山岩地貌的重要物质基础。

2 花岗岩地貌类型与形成过程

浙江花岗岩地貌主要有花岗岩峰丛、花岗岩山丘、花岗岩石蛋、花岗岩崩塌堆积地貌等。

2.1 花岗岩峰丛地貌

浙江花岗岩峰丛地貌主要发育在浙江西部，以临安大明山最为典型。

大明山花岗岩峰丛位于临安市西南部，主体由燕山早期花岗岩组成，岩性为中细粒黑云母花岗岩。该岩体出露面积65.7 km^2，呈岩株状侵入到由震旦—寒武纪粉砂质泥质岩石组成的复式背斜的轴部，并受北东向区域断裂构造控制。

收稿日期：2007-04-06；改回日期：2007-06-14；责任编辑：郝梓国。

作者简介：董传万，男，1951年生。博士，教授，岩石学专业。Email：DCW@mail.hz.zj.cn。

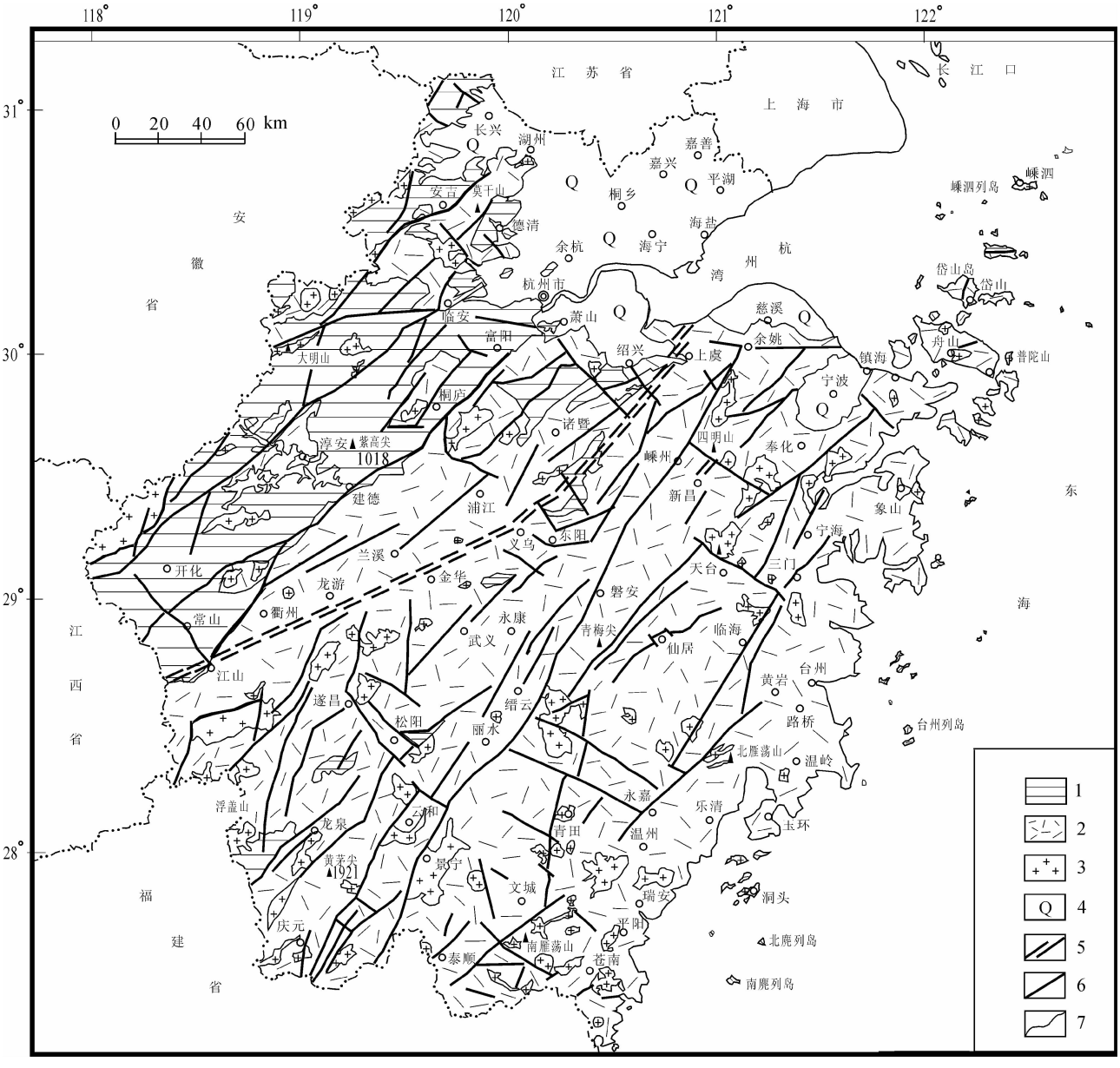

图 1　浙江省地质简图(依 1∶50 万浙江省区域地质图简化，浙江地质矿产局. 1989)

Fig. 1　Geological sketch map of Zhejiang Province

(after 1∶500000 Geological map of Zhejiang, Burean of Geology and Mineral Resources, 1989)

1—新元古代—古生代沉积岩系;2—中生代火山—沉积岩系;3—花岗岩体;4—第四系;5—浙江—绍兴断裂带;6—断层;7—地层岩体界线

1—Neoproterozoic and Palaeozoic sedimentary rock system;2—Mesozoic volcanic sedimentary rock system;3—granite;4—Quaternary;5—Jiangshan—Shaoxing fault;6—fault;7—boudary of strata and granite

大明山花岗岩峰丛，成片出现，仅已开发的大明山核心景区就拥有 32 座奇峰，如广袖、湘愁等明妃七峰、独秀峰、飞来峰、双锯峰、石笋峰、鸡冠峰、石柱峰等，峰高百米，峥嵘突兀，但它们底部相连，故构成峰丛。一些山坡崖壁坡度大于 60°，悬崖如刀削，直插沟底，构成悬崖沟谷型花岗岩微地貌，同时造就了众多的飞瀑流泉，最长的龙门瀑长达 253m。

大明山花岗岩峰丛地貌属构造侵蚀型地貌，其地貌景观、地质条件及气候条件都与黄山类似，人称“浙江小黄山”。大明山距黄山仅 70 km，其成因也与之相似。自中生代以来，这里一直是强烈的构造隆升区。燕山期岩浆活动，形成大片的花岗岩。新构造运动，使大明山、昌化、临安乃至整个浙江西北部大幅度抬升，花岗岩体上升抬起裸露。受地质构

造作用，岩体内节理十分发育，节理方向有北东、北西、南北、东西等方向，特别是北东向和近东西向的节理将岩体深深切割，造成悬崖陡壁，再经风雨侵蚀，重力崩塌，形成巍峨的花岗岩峰丛。与花岗岩峰林相比，花岗岩峰丛基部的高度比峰体的大，故花岗岩峰丛是峰林地貌发育的初始阶段（刘细元等，2005）。

在大明山 1200m 高的花岗岩山巅，仍保留震旦纪变质含砾砂岩、硅质岩等残留顶盖，广达千亩，故大明山也被称为千亩田，大明山花岗岩也被称为千亩田花岗岩。花岗质岩浆侵入结晶，残留的富含钨、铍等成矿元素的热液沿着花岗岩与围岩的接触带、断裂带沉淀和富集，形成千亩田钨铍矿。当年这里是热闹的矿山，如今仍保留纵横交错的探槽、坑道等。这些长达万余米的采、运矿石的坑道现在被改作特殊游道，取名为“通明洞”和“迎晖府”；被采空了的矿脉位置成为洞内“一线天”。它们构成现代岩洞、一线天等花岗岩人工地貌，体现出人类活动作为第三地貌营力的特点（张根寿，2005）。

2.2 花岗岩山丘地貌

浙江花岗岩山丘地貌最为发育，其海拔高度在近千米或千米以下，故统称花岗岩山丘地貌。它们以雄伟浑圆的山体区别于花岗岩峰林、峰丛地貌。花岗岩山丘地貌以浙江天台山为典型。

天台山位于浙东南天台县城北部，主峰华顶峰，海拔 1098m。天台山主体为龙皇堂花岗岩体，出露面积约 75km^2，侵入在上侏罗统火山碎屑岩中，Ar-Ar 法同位素年龄为 110 Ma（陈江峰等，1991）。龙皇堂岩体由粗粒黑云母花岗岩和钾长花岗岩组成，在钾长花岗岩中发育花斑结构和晶洞构造，指示龙皇堂岩体形成于地壳较浅部位，属浅带花岗岩。

天台山花岗岩山丘地貌总体呈雄伟浑圆状，峰峦连绵，山地呈多级结构。但花岗岩体内，局部节理、断裂发育，形成悬崖、天生桥、壶穴等微地貌景观。

天生桥，又称“石梁”，在离天台县城北 20km 的石桥山中。天生桥横卧于悬崖之边，桥体长 7m，宽仅 0.3m，厚约 2m，金溪和大兴坑溪两溪在此汇合，从桥下喷射跌落 40 余米高的悬崖峭壁，形成宽达 10 余米的飞瀑，成为天台山著名的景点——石梁飞瀑。“石梁”是由三组互相垂直的节理切割花岗岩所造成，一组水平节理切割了岩石，在梁体间形成较大的裂缝，经风化剥蚀和水流冲刷而成。

花岗岩壶穴，出露在石梁飞瀑的东北 5km 处的铜壶村，在一个几百多米高的悬崖峭壁上连续出现 3 个壶穴，它们腹大口小，最大的直径约 30m、高约 20 多米，涧水沿岩壁小沟，冲入“壶”内，水沿岩壁回旋打转，犹如水在沸腾，宛若古代计时工具“铜壶”之滴水，故名“铜壶滴漏”。尔后，水从宽仅 0.5m 的形似壶嘴的岩缝中喷出，又注入下一“铜壶”。花岗岩中的壶穴，不少学者认为系由水的冲刷形成。但在天台花岗岩中形成的“铜壶滴漏”景观，有它的特定地质条件。该地发育近东西向断裂构造，它切割花岗岩体，形成近东西走向的巨大峭壁，同时伴生南北走向的节理，局部还产生小型环状节理，在南北向节理与环状节理交汇处，岩石比较破碎，再经水流侵蚀而形成“铜壶”（潘圣明，2006）。

花岗岩山丘地貌由穹窿状花岗岩体经风化剥蚀后形成（曾昭璇，1960；钱方等，2000；陈鸿冰等，2002），并发育较厚的风化层，因此在花岗岩低山丘陵区，常有很好的植被覆盖，终年郁郁葱葱。浙江大部分花岗岩山体都属这种地貌类型，除上述天台山外，还有莫干山、石耳山、仙岩等。它们之中，也常形成陡壁飞瀑微地貌，如莫干山的剑池飞瀑、仙岩的龙须瀑、梅雨潭等。

2.3 花岗岩石蛋地貌

在花岗岩区，常发育大小不一、形态各异、棱角圆滑或近球形的孤立的花岗岩岩块。它们分布在花岗岩基岩之上，出现于花岗岩山体的山顶或山坡，构成花岗岩石蛋（granite nubbin）地貌，它们是花岗岩区独特的地貌景观（Camphell，1997；Twiddle，1999）。花岗岩石蛋地貌在浙江沿海花岗岩岛屿很发育，普陀山石蛋地貌很典型。

普陀山是浙江舟山群岛的一部分，普陀山岩体是我国东南沿海由多阶段岩浆作用形成的晚中生代 I—A 型复合花岗质杂岩体之一。该杂岩体主要由黑云母钾长花岗岩（I 型）和晶洞钾长花岗岩（A 型）复合而成。黑云母钾长花岗岩全岩 Rb-Sr 年龄为 107.4±2.7Ma，晶洞钾长花岗岩锆石 U-Pb 年龄 93.6±0.4Ma（张晓琳等，2005）。

普陀山岛上遍布各种浑圆状怪石，著名的景点盘陀石即为其中之一。盘陀石呈长椭圆形，高3.0 m，长 6.8m，宽 2.1m，重约 140t，仅以手掌大小的面积与基岩接触，却稳如磐石。盘陀石及其它怪石，如二龟听法石、白步沙师石、扁舟石、水牛石等，都是花岗岩石蛋。

花岗岩石蛋是花岗岩球状风化的结果。受原生或/和次生构造节理影响，花岗岩岩体被分割成一块

块单独的大岩块,它们棱角部分最易被风化、崩削,逐渐圆化,形成石蛋。表层风化产物长石、石英等,经波浪流水等冲蚀、搬运,在潮间带便形成匀净细沙滩。因此在花岗岩岛屿,石蛋常与沙滩等伴生。类似的花岗岩石蛋地貌,也发育在浙江沿海桃花岛、嵊泗列岛、南麂岛及福建厦门鼓浪屿等花岗岩岛屿上。在这些岛屿上还发育一些花岗岩海蚀地貌,如花岗岩海蚀崖、海蚀柱、海蚀洞等。

在浙江内陆一些花岗岩山体上,也常可见到石蛋地貌。花岗岩石蛋地貌的发育状况,与现代侵蚀强度有关(周学军等,2004;张根寿,2005)。石蛋出露部分较少,石蛋之间保存着红土或网纹层,表征地表处于轻度侵蚀状态;若石蛋出露较多,石蛋之间仅保有沙土层,说明地表已遭中度侵蚀;若石蛋全部显现于地表,石蛋之间以碎石相连,反映出地表已经强度或极强度侵蚀,水土流失严重,预示该地自然环境的变化及人类活动对自然要素的干扰已相当严重。

2.4　花岗岩崩塌堆积地貌

在浙江的花岗岩地貌中,还有一种特殊的地貌类型,即崩塌堆积型地貌,它们发育在浙西北和浙西南等地,以浙西南的浮盖山为典型。

浮盖山位于浙闽二省交界处,距江山市约68km。浮盖山最高处海拔932m,山体呈东西走向,由燕山晚期粗粒黑云母花岗岩组成。浮盖山花岗岩体被多组不同方向的裂隙,尤其是一组近水平产状裂隙切割成似层状岩块。这些岩块崩塌、位移、堆积在一起,组合成各种崩塌堆积地貌,如倒石或滚石堆,有的岩块被搬运到谷地,形成“石河”。一些没有位移的岩块原地堆积,经风化作用,岩块棱角被磨圆、裂缝扩大,形成叠石地貌,如浮盖山三叠石,高约20余米,三石叠置成反“E”或“3”字形,大石在上,小石在下,衔接稳固;有的大小石块相互叠置,形成陡崖峭壁,高达40多米。巨石的互相叠置、堆砌、支撑,又营造出一处处奇妙的堆石洞群,这些洞群大小不一,形态各异,洞洞相通,构成崩塌堆积岩洞。当然,经数千万年的日晒雨淋、风化剥蚀,它们也可呈球状或浑圆状形态,构成花岗岩石蛋地貌。

在浙江各花岗岩山体中,还有大量的怪石、造型石。它们似人似物,造型各异,惟妙惟肖。如大明山的“和尚取经”,一石酷似披着袈裟的老和尚,正朝着西天翻山越岭;“金蟾望月”,一只千吨石蟾坐在山顶,望着日月星辰,步换景移,它又变成了千年石猴。普陀山的“二龟听法石”,二石呈龟形,一石龟蹲踞崖顶,回首顾盼,另一龟昂首延颈,沿壁奋力攀登,神韵兼备。诸如此类的象形石在浙江各花岗岩山体中十分丰富,构成花岗岩造型地貌。花岗岩造型地貌是花岗岩地貌景观中重要组成部分,具有很高的观赏价值,也是重要的旅游资源。

3　控制和影响花岗岩地貌发育的因素

地貌是地球内、外动力地质作用对地壳综合作用的结果。地貌的发育和发展,受组成地貌的物质、地质构造和气候条件等的制约或影响(张根寿,2005;Twidale, 1986;Леонтьев,等,1982)。

岩石是形成地貌的物质基础,岩石的性质在一定程度上决定着地貌形态的发育。不同的岩石类型可以形成不同的地貌,各具鲜明的地貌特色。如由红色砂砾岩组成的丹霞地貌,具有顶平、坡陡、麓缓的地貌特色,而由火山岩组成的火山岩地貌,则发育火山口、火山锥等火山地貌景观。即使同为花岗岩类,有时也由于其矿物组合、结构构造的差异,有可能产生不同的微地貌景观。如浙江的A型花岗岩,多发育晶洞构造,它们又常在浙江沿海、岛屿中产出,受流水、海浪的侵蚀,易形成凹坑、壶穴,如普陀山、天台山所见。同一岩体的不同相带,如边缘相,常为细粒、似斑状结构,斑杂状构造,岩性不很均一,而原生节理可能比较发育,容易碎裂,经风化作用,较易形成石蛋,甚至峰丛,如大明山峰丛即发育在千亩田花岗岩的边缘相。

构造作用,特别是区域性升降运动、断裂作用,在花岗岩地貌的形成过程中起决定性的作用。构造抬升、断裂构造发育,特别是直立节理裂隙密集时,花岗岩体容易破碎、崩塌,易形成花岗岩峰林或峰丛地貌,如大明山峰丛地貌。当几组构造节理同时发育时,岩石被分割成多面体岩块,可以形成原地堆积或崩塌堆积地貌,如浮盖山;被分割的岩块经球状风化,则形成花岗岩石蛋地貌。而当构造节理不强烈或不发育时,则常形成浑圆的馒头形山丘地貌。

气候条件是决定花岗岩地貌类型的又一重要因素。在温暖潮湿的气候环境中,化学和生物化学风化作用强烈,组成花岗岩的重要造岩矿物长石、云母等,容易发生化学分解,变成粘土类矿物;花岗岩容易风化形成厚的红色风化壳。风化壳的红土层、网纹层被剥蚀以后,细小颗粒被雨水、风等搬运流失,留下大块的花岗岩岩块,即构成石蛋地貌。在干旱或温差较大的气候条件下,花岗岩以物理风化为主,容易发生机械破坏作用,形成花岗岩峰丛、峰林地貌。现代冻融作用,植物根劈等亦有助于机械侵蚀,

大明山花岗岩峰丛和黄山花岗岩峰林的发育，就与冻裂作用、植物的根劈等有关(张根寿，2005)。

当然，在花岗岩地貌区，造成地貌重大差异的，主要还是地质构造和自然气候条件，它们互相影响和促进，形成不同的地貌景观；岩性对地貌的影响，可能主要表现在某些微地貌的形成与变化过程中。此外，现代人类的活动，对地貌的改造也有重要影响。

4 结语

在众多的岩石地貌类型中，花岗岩地貌具有其鲜明的特色。我国许多名山，都是以花岗岩为主体，如西岳华山、南岳衡山、安徽黄山、山东崂山等。浙江的大明山、天台山、普陀山、莫干山、石耳山、浮盖山、瑞安仙岩等，以及沿海大部分岛屿，都是典型的花岗岩地貌，它们都是国家级或省级风景名胜区的主体景区或景点，具有很高的旅游价值，是地学旅游的重要资源。同时，花岗岩地貌又是重要的地质遗迹，是在地球发展演化的漫长地质历史过程中，由于各种内、外动力地质作用，在地壳表面形成并遗留下来的记录和痕迹，是一种不可再生、不可移动的自然遗产和独特资源。它们往往可以反映一个地区的地质历史、事件或演化过程，因而具有重要的科研价值。

本文仅对浙江的花岗岩地貌进行了初步的归纳和论述。在花岗岩地貌的研究过程中，仍有许多问题值得进一步研究和探讨，如相同的花岗岩地貌类型，同为花岗岩峰丛或峰林，黄山、大明山、三清山等有何区别和个性？不同的花岗岩类(I 型、S 型、A 型)和岩石品种对花岗岩地貌的形成有什么影响？不同时代的花岗岩体在不同的地质历史时期，其地貌又是如何演变和发展的？等等。许多科学问题和奥秘都等待着地貌学、地质学、岩石学等不同学科的专家去研究解决和探索。

参 考 文 献 / References

陈鸿冰，毛培琳. 2002. 花岗岩自然景观评价方法研究. 山东农业大学学报(自然科学版)，31(1)：60～66.

陈江峰，Fola K A. 1991. 浙东南某些中生代侵入岩体的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄测定. 岩石学报，(3)：37～44.

刘细元，马振兴，尹国胜，杨永革，张永忠，谢清辉. 2005. 江西三清山花岗岩峰林地质公园特征及评价. 资源调查与环境，26(4)：297～304.

潘圣明主编. 2006. 山水探秘——浙江大地精品游. 杭州：浙江人民出版社，77.

彭亚鸣，董传万. 1991. 浙江青田碱性花岗岩研究. 南京大学学报(地球科学版)，3(2)：138～147.

钱方，何培元，郝治. 2000. 花岗岩石林(阿斯哈图)：一种新的地貌景观. 地质力学学报，6(1)：90～94.

邱检生，王德滋. 1996. 浙江舟山桃花岛碱性花岗岩的岩石学和地球化学特征及成因探讨. 南京大学学报，32(l)：80～89.

水涛，徐步台，梁如华等. 1988. 中国浙闽变质基底地质. 北京：科学出版社，20～40.

王德滋，周新民等著. 2002. 中国东南部晚中生代花岗质火山—侵入杂岩成因与地壳演化. 北京：科学出版社，22～38.

王一先，赵振华. 1997b. 浙江花岗岩类地球化学与地壳演化(Ⅰ)：显生宙花岗岩类. 地球化学，26(5)：1～15.

王一先，赵振华. 1997a. 浙江花岗岩类地球化学与地壳演化(Ⅱ)：元古宙花岗岩类. 地球化学，26(6)：57～68.

曾昭璇. 1960. 岩石地形学. 北京：地质出版杜，21～34.

张根寿. 2005. 现代地貌学. 北京：科学出版社，150～167.

张晓琳，邱检生，王德滋，王汝成，徐夕生，陈小明. 2005. 浙江普陀山黑云母钾长花岗岩及其岩石包体的地球化学与岩浆混合作用. 岩石矿物学杂志，24(2)：81～92.

浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志. 北京：地质出版社，229～230.

周新民，朱云鹤. 1993. 中国东南部晚中生代碰撞造山带与地缝合带的岩石学证据. 见：李继亮. 主编. 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京：冶金工业出版社，87～97.

周学军，夏卫生. 2004. 衡山土壤加速侵蚀与花岗岩地貌发育问题研究. 土壤学报，41(4)：624～627.

Camphell E M. 1997. Granite landforms. Journal of the Royal Society of western Australian, 80: 101～121.

Twidale C R. 1986. Granite landform evolution: Factors and Implication. International Journal of Earth Sciences, 75(3): 769～779.

Twiddle C R. 1999. Characteristics in weathered granite. Geomorphology, 31: 29～45.

Леонтьев О К, Рычагов Г И. 朱新镁，译. 1982. 普通地貌学. 北京：人民教育出版社，27～35.

Characteristics and Forming Processes of Granite Landforms in Zhejiang Province

DONG Chuanwan[1)], YANG Yongfeng[1)], YAN Qiang[1,2)], ZHU Guoqiang[1)]

1) *Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou*, 310027;

2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

Abstract

Zhejiang is located at the East Asiatic continental margin, and is situated in the contact belt between the Jiangnan block and the Cathaysian block. Structural and magmatic activities, especially the Mesozoic magmatic ones, are extremely intensive, which form massive granitoids. The granitoids constitute materials of granite landform in Zhejiang Province. The Zhejiang granite landforms may be classified into the granitic peak cluster, granitic hill, granite nubbin and collapse pile landforms and so on. Taking the Daming mountain, Tiantai mountain, the Putuo mountain, the Fugai mountain etc. as the examples, the characteristics of the above granite landforms and their forming processes are analyzed, and the factors such as prospects of rocks, the structure and the climate which influence the development and evolution of granite landform are discussed as well.

Key words: granite landform; Mesozoic era; Zhejiang