

江西科技师范大学
资助出版

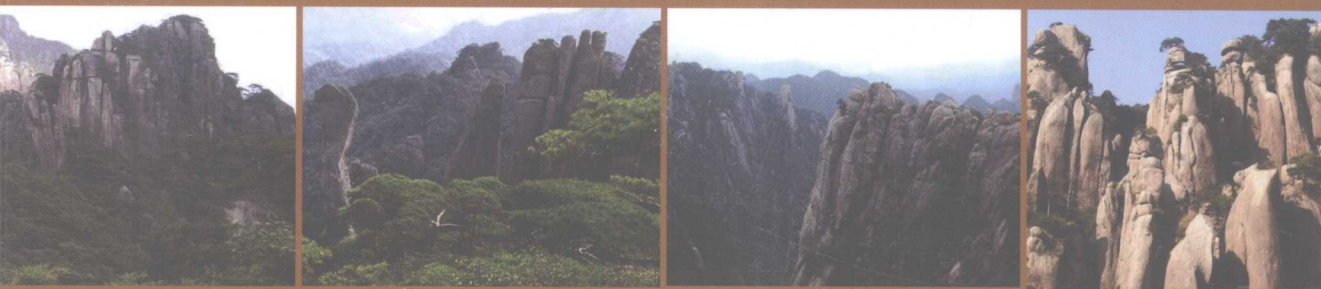
江西科技师范大学 2015 年出版资助基金项目

The funded projects of Jiangxi Science and Technology University published in 2015

江西三清山

地质地貌特征及其形成机制研究

◎ 叶张煌 曹迎春 著



地质出版社

江西三清山地质地貌特征 及其形成机制研究

叶张煌 曹迎春 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 摘 要

江西三清山地质公园展现了花岗岩地质地貌和生态人文的完美融合,“三清山式”花岗岩地貌的形成是多因素耦合的结果。本书总结了三清山重大地质事件的遗迹,将地质遗迹划分为5大类。各相带主量及微量元素分析结果表明三清山系A型花岗岩,指示俯冲已结束,三清山岩体可能是造山后的拉张环境下成熟度较高的壳源变泥质岩部分熔融的产物,是太平洋古板块向北西俯冲引起左行剪切走滑构造和中生代东部岩石圈减薄的具体响应。首次运用磷灰石裂变径迹对三清山的隆升剥蚀过程进行了量化研究,通过对比,认为裂变径迹技术能为地貌阶段划分提供定量的约束手段,丰富了地貌学的研究方法。本书在花岗岩地貌景观成因对比的基础上,全球划分出8个经典代表性花岗岩地貌类型。本书可供地学旅游研究者、社会公众和三清山管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

江西三清山地质地貌特征及其形成机制研究 / 叶张煌, 曹迎春著. —北京: 地质出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-116-09442-0

I. ①江… II. ①叶… ②曹… III. ①山-区域地质-研究-上饶市②山-地貌学-研究-上饶市 IV. ①P942.563.76

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第235884号

Jiangxi Sanqingshan Dizhi Dimao Tezheng jiqi Xingcheng Jizhi Yanjiu

责任编辑: 李凯明

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路31号, 100083

咨询电话: (010)66554528 (邮购部); (010)66554581 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010)66554582

印 刷: 北京京科印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 6.25 图版: 8面

字 数: 160千字

版 次: 2015年11月北京第1版

印 次: 2015年11月北京第1次印刷

定 价: 50.00元

书 号: ISBN 978-7-116-09442-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

江西三清山地质公园展现了花岗岩地质地貌与生态人文的完美融合。笔者有幸作为三清山申报世界地质公园的成员之一，全程参与了申报材料的编写、野外地质现象的科学解释、联合国专家考察路线指南的编制及专业材料的翻译等工作。本专著的写作与出版就是本着科学普及和科学研究目的而完成的，期待三清山世界地质公园能够在江西省科普旅游发展中起到引领作用。

(一)

本专著的出版具有以下几个方面的意义。

(1) 科普意义：本书将探讨三清山花岗岩的演化历史和微地貌的形成机制，这对我国众多以花岗岩地貌为主的地质公园有良好的示范作用和科普意义。

(2) 学术价值：对一个以中山花岗岩地貌著称的世界地质公园而言，三清山的隆升作用和造山后的剥露作用是亟待解决的科学问题。本书运用低温年代学原理，进行了磷灰石裂变径迹实验，对此进行了科学回答。目前毗邻的安徽黄山山体应用裂变径迹技术进行了隆升和剥露历史的相关研究，获得了初步的研究成果（袁万明等，2011）。与黄山山体的研究结论进行对比，处于同一造山带，岩石类型和地貌类型又相同的三清山是否具有相同的隆升和剥蚀过程？如果不同，又有哪些动力学因素影响了这个过程？

20世纪90年代以来，盆山耦合是地学界的研究热点，而山体剥蚀作用与盆地充填作用是研究重点之一。本专著的出版将为后续进一步研究赣东北造山带隆升剥露作用与毗邻沉积盆地填充作用之间的内在联系提供依据。

(3) 应用价值：本书将有利于宣传和带动三清山的科普旅游，这对于江西省旅游业实现跨越式发展和转型升级有重要的参考价值。

(二)

本书在全面收集和充分总结前人研究成果的基础上，针对以前研究的不足之处，通过野外地质遗迹调查、手标本鉴定、显微镜观察、主量及微量元素分析、热低温年代学、第四纪地质地貌等方法 and 手段，主要研究了三清山花岗岩体的地质特征、岩相学特征、主量及微量元素特征、山体的隆升剥蚀机制、地貌特征、地貌区划、微地貌景观类型、景观的发育机制、花岗岩地貌分类等内容，在对比国内外花岗岩景观地貌的基础上，建立三清山成岩→成山→成景的模式。

本著作将具有以下几个创新和独到之处。

(1) 地质遗迹的系统调查分类。结合申报世界地质公园的需要,野外系统调查了三清山地区具有重要科普意义和研究价值的重大地质事件的遗迹,并首次对地质遗迹进行了明确的分类。这将为地质遗迹数据库的建立提供支持,为地质旅游资源的开发和保护提供科学依据。

(2) 将花岗岩地貌研究与花岗岩岩石学、地球化学研究相结合。通过野外观察、系统采样、岩石手标本描述,显微镜鉴定和主微量元素分析等手段,分析了三清山花岗岩地质地貌之间的关联,并与毗邻的黄山山体进行对比,找到判断三清山花岗岩形成构造环境的完整证据链。

(3) 通过裂变径迹年代学首次进行了三清山隆升剥蚀的定量研究。磷灰石的裂变径迹年代学定量反演了新构造运动期间三清山在独特的“隆上隆”构造背景下快速隆升的特点。分析表明,裂变径迹数据对三清山、黄山的地貌发育不同阶段和三清山所处的独特“隆上隆”构造环境有重要约束意义。

(4) 建立了三清山成岩→成山→成景模式和花岗岩地貌分类方案。在世界范围内的花岗岩地貌景观进行对比的基础上,按经典代表性模式建立了代表不同气候区的8种类型。研究表明,三清山尖峰陡坡式花岗岩地貌的形成是多因素耦合的结果,并构建了“三清山式”成岩→成山→成景模型。

(三)

本专著是笔者从2010年在三清山地质公园开展工作以来,近5年科研成果的总结,融汇了一系列科考报告、学位论文和科研论文的成果。江西师范大学曹迎春博士帮助查找了大量外文资料,执笔完成了第7.2节的写作。本书力求理论通俗化,突出科普性与科学性,以便读者和广大地学旅游爱好者能通俗易懂理解地学的专业词汇和术语。

本研究得到了江西三清山地质公园管理委员会(横向基金)、中国地质大学(北京)(中央高校基本科研业务基金)、江西科技师范大学(博士启动基金)等单位的项目支持,并由江西科技师范大学资助出版。

陈安泽研究员和三清山管理委员会为野外工作的顺利的开展提供了大量帮助,刘嘉麒院士和尹国胜教授级高级工程师亲自前往三清山进行野外工作指导,在本专著的写作过程中也得到了他们的关怀指导,在此深表感谢!

地质公园研究所涉及的领域十分广阔,还有许多问题有待进一步深入探讨。由于笔者水平有限,书中还一定存在不足和缺陷,殷切希望广大读者提出宝贵意见,共同促进江西省科普旅游业的发展,提高地学旅游的科学内涵。

叶张煌

2014年11月

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究现状和存在的问题	(1)
1.2 技术路线和主要创新点	(6)
第 2 章 区域地学背景及地质遗迹	(8)
2.1 自然地理概况	(8)
2.2 区域地质背景	(9)
2.2.1 区域地质演化	(9)
2.2.2 区域地层	(11)
2.2.3 区域构造	(13)
2.2.4 区域岩浆岩	(15)
2.2.5 区域重大地质事件记录	(18)
2.3 三清山地质遗迹	(20)
2.3.1 地貌遗迹	(20)
2.3.2 地层遗迹	(21)
2.3.3 构造形迹遗迹	(23)
2.3.4 古生物化石遗迹	(23)
2.3.5 典型岩石遗迹	(23)
2.4 本章小结	(24)
第 3 章 三清山花岗岩体特征	(25)
3.1 岩体地质特征	(25)
3.2 岩相学特征	(27)
3.3 地球化学特征	(29)
3.3.1 样品描述和分析方法	(29)
3.3.2 主量元素特征	(32)
3.3.3 微量元素特征	(33)
3.3.4 稀土元素特征	(34)
3.4 岩石成因讨论	(35)
3.4.1 岩石成因类型、源区和构造环境	(35)
3.4.2 源区特征	(36)
3.4.3 构造环境	(37)
3.5 本章小结	(39)

第4章 三清山山体隆升剥蚀特征	(41)
4.1 低温年代学基本原理综述	(41)
4.2 样品和实验	(43)
4.3 地质热历史模拟	(47)
4.4 冷却幅度和速率	(48)
4.5 隆升幅度和速率	(49)
4.6 剥蚀幅度和速率	(49)
4.7 本章小结	(50)
第5章 三清山地貌特征、类型和区划	(52)
5.1 三清山地貌概况和特点	(53)
5.2 三清山地貌成因分类	(54)
5.3 三清山地貌景观区划	(56)
5.4 三清山花岗岩微地貌景观类型	(57)
5.4.1 花岗岩峰峦	(57)
5.4.2 花岗岩峰墙	(57)
5.4.3 花岗岩峰丛	(57)
5.4.4 花岗岩峰柱	(59)
5.4.5 花岗岩峡谷	(59)
5.4.6 其他花岗岩造型石	(59)
5.5 本章小结	(60)
第6章 “三清山式”花岗岩地貌景观发育机制和演化模式	(61)
6.1 三清山花岗岩地貌景观的发育机制	(61)
6.1.1 花岗岩地貌景观发育的构造背景	(61)
6.1.2 花岗岩景观发育的物质基础	(68)
6.1.3 花岗岩地貌景观发育的外动力条件	(69)
6.1.4 外动力作用的变化	(70)
6.2 花岗岩地貌景观的形成演化模式和发育阶段	(70)
6.3 本章小结	(73)
第7章 花岗岩地貌景观对比和分类	(75)
7.1 花岗岩地貌景观的国内对比	(75)
7.2 花岗岩地貌景观的国际对比	(78)
7.3 花岗岩地貌景观类型探讨	(79)
7.4 本章小结	(84)
结 论	(85)
参考文献	(87)
图 版	(95)

第1章 绪 论

三清山位于江西省东北部的上饶市，是一个以典型的花岗岩峰林中山地貌为主体，蕴含丰富地质遗迹的世界级地质公园和国家级风景区。该地很好地展现了花岗岩地质地貌与人文生态的完美融合，具有无可替代的科学价值和国际对比意义。

三清山地质公园于2008年7月召开的第三十二届世界遗产大会上正式成为中国第七个江西省第一个世界自然遗产地。2012年9月在葡萄牙举行的第十一届世界地质公园大会上，三清山被联合国教科文组织正式列入世界地质公园名录，成为我国第二十七处世界地质公园。笔者作为三清山申报世界地质公园的成员之一，全程参与了申报材料的编写、野外地质现象的科学解释、联合国专家考察路线指南的编制及专业材料的翻译等工作。

本书在全面收集和充分总结前人研究成果的基础上，通过野外地质遗迹调查、手标本鉴定、显微镜观察、主量及微量成分分析、热低温年代学、第四纪地质地貌等方法 and 手段，主要研究了三清山花岗岩体的地质特征、岩相学特征、主微量元素特征、山体的隆升剥蚀机制、地貌特征、地貌区划、微地貌景观类型、景观的发育机制、花岗岩地貌分类等内容，在对比国内外花岗岩景观地貌的基础上，建立了三清山成岩→成山→成景的模式。

1.1 研究现状和存在的问题

地貌研究是以地貌演化为线索展开的 (Chorley et al., 1964)。以地貌的演化模式而言，可分为两派：一是以 Davis, Penck 和 King 为代表的学者认为，地貌演化按一定的演化序列进行，按地貌组合变化可以划分不同的发育演化阶段，代表著作有《河流发育循环》和《地貌循环》，提出了著名的“侵蚀循环”理论，成为近代地貌学的理论核心；二是以 Hack 为代表的另一些学者则认为整个陆地表面是自我调整和自我适应的过程，当一个因素改变，其他因素通过自我调整实现动态平衡，物质和能量的变化不会导致总体地貌形态的改变，即“稳定平衡”理论。

以地貌学的研究手段而言，研究初期受到客观条件和认识水平的限制，研究多停留在描述性的感知认识上，但这些通过地貌考察得到的结论可为定量方法提供理论指导。近年来，地球科学的新思维和科学技术的进步，地貌研究中引入了遥感技术和定量计算方法，通过山体隆升剥蚀幅度和速率的计算，将动力的侵蚀、搬运和堆积数量化 (李琼, 2008; 傅建利, 2009; 琚存勇, 2009; 姜勇彪, 2010; 崔之久等, 2007; 袁万明等, 2011)。这是地貌学的发展方向之一，也是一门学科走向成熟的标志。

以地貌学的研究对象而言，主要集中在三大的地貌类型：丹霞地貌、喀斯特地貌和花岗岩地貌。丹霞地貌是中国走向世界的“民族品牌”，我国以丹霞地貌为主体的地质公园数量众多。2010年8月江西龙虎山、广东丹霞山、湖南崀山、浙江江郎山、福建泰宁、

贵州赤水等六处地质公园共同捆绑,用“中国丹霞”的名称成功申报为中国第八个世界自然遗产。由于得天独厚的因素,中国学者对丹霞地貌的研究居于世界领先地位。花岗岩地貌是世界上最重要的地学旅游资源,中国是世界上花岗岩景区最多的国家,具有类型多、美学价值高、特征突出等特点。在全球七个花岗岩类地貌世界地质公园中,中国独占六处。2006年7月,在江西三清山召开了第一届国际花岗岩地质和地貌景观会议,国内外100多名花岗岩地质地貌专家参加,并出版了论文专辑,成立了花岗岩景观研究中心。可以说,中国是全球花岗岩地貌研究中不可或缺的重要成员。

花岗岩地貌的分类是地貌学家经常讨论但难以达成共识的热点之一。在众多花岗岩地质地貌景区中,具有景观各异、成因多样、分类众多等突出特点。

早在20世纪60年代,我国著名地貌学家曾昭璇先生在《岩石地形学》一书中,划分了高山花岗岩地形、热带花岗岩地形、干燥区花岗岩地形、石蛋地形和冲沟地形等五种类型(注:此处地形等同于地貌)。

有的学者按成因的主导因素将花岗岩山体划分为五类:湿润区中高山花岗岩水蚀型地貌、湿润区低山丘陵花岗岩侵蚀-堆积型地貌、干旱区花岗岩风蚀型地貌、高寒区花岗岩冰雪剥蚀型地貌、海岸区花岗岩海蚀地貌(卢云亭,2007)。在这一方案中,三清山属于湿润区中高山花岗岩水蚀型地貌类型。

有的学者从旅游服务的角度提出了花岗岩旅游地貌的分类方案,共11类:(高山)尖峰花岗岩地貌,(高山)断壁悬崖花岗岩地貌,(低山)圆丘(巨丘)花岗岩地貌,石蛋花岗岩地貌,(低丘)花岗岩石柱群地貌,(低山)塔峰花岗岩地貌,崩塌叠石花岗岩地貌,海蚀崖、柱、穴花岗岩地貌,风蚀蜂窝花岗岩地貌,犬齿状岭脊花岗岩地貌,圆顶峰长岭脊花岗岩地貌(陈安泽,2007)。在这一方案中,三清山属于(高山)尖峰花岗岩地貌类型。

有的学者从风化剥蚀作用的角度把花岗岩地貌分为四大类:化学风化壳类、化学风化壳剥露类、化学风化+抬升下切类、物理风化剥蚀类;又进一步分成八个亚类:侵蚀丘陵沟谷型、露突岩型、中小露突岩型、中小凹地型、残留石蛋-独立巨峰型、抬升下切巨峰型、寒冻剥蚀型、风化-风蚀型(崔之久等,2007)。崔之久先生把三清山划入化学风化+抬升下切类。

《Granite Landscapes of the World》(Migon, 2006)提出了与世界花岗岩景观可对应的8种主要地貌成因类型的分类方案,包括节理谷、多重凹陷、平原和低山、平原、多重凹陷、陡坡、切割高原,各种类型之间相互演化,见图1.1。Migon认为,有些花岗岩地形可以兼有不同地貌成因类型的因素,因此虽然不能将三清山完全对应于某种地形,但三清山山体形态确实代表了“陡坡”(all-slopes)地形,同时还具有“切割高原”和“节理谷”地形的特点。

根据Twidale(1982)和Campbell(1997)的划分方案,将花岗岩地貌划分为大型地貌和小型地貌:①大型地貌可划分为四类:巨石(boulder)、岛山(inselberg)、尖顶山(all-slopes topography)、花岗岩平原(granite plains)。巨石有核岩、碎砾、摇摆石和坡栖漂砾四个亚类;岛山包括残山、基岩残丘、城堡岛山三个亚类;尖顶山含四周倾斜山、峰林两个亚类;花岗岩平原含掩埋和剥露平原、刻蚀平原、山前侵蚀平原、准平原、阶梯状平原等五个亚类。②小型地貌可划分为四类:缓倾斜地貌(gentle slopes)、陡倾斜地貌

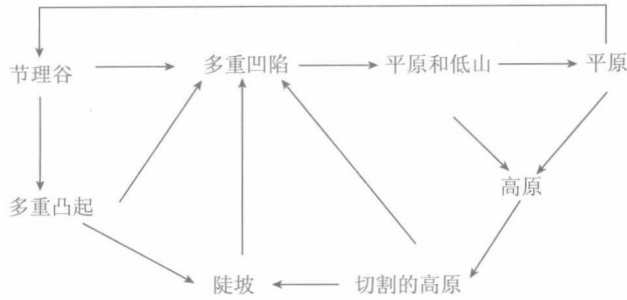


图 1.1 花岗岩景观演化路线图
(据 Migon, 2006)

(steep slopes)、洞穴和蜂窝穴 (caves and tafoni)、碎裂石 (cracked blocks)。缓倾斜地貌含岩盆、蘑菇石、岩环、浅沟四个亚类，陡倾斜地貌分喇叭型倾斜、底部侵蚀倾斜、浪蚀台地、崖麓凹陷、山麓角、槽沟六个亚类，洞穴和蜂窝穴分为洞穴和蜂窝穴两个亚类，碎裂岩包含分裂岩、片状岩、多边型碎裂岩、位移块四个亚类。

还有学者建议依照一定的标准进行分类，通过对比研究建立花岗岩景观系列中的标准型式 (杨明桂等, 2009; 尹国胜等, 2007)，类似地层学标准剖面的金钉子。

花岗岩地貌的发育机制是花岗岩地貌的研究重点。地貌的经典定义是“地貌系地球内外营力共同作用于地表的结果”。基于此形成了气候地貌学和构造地貌学两大分支，很多教科书也是沿这个思路编写的 (杨景春等, 2005; 张根寿, 2005; 高抒等, 2006)。但值得注意的是，这个定义中忽视了地貌的物质组成——岩石应有的地位。曾昭璇 (1960) 认为“地貌是岩性、动力相互作用的发育阶段表现”。综上所述，花岗岩地貌主要受构造、岩石、气候等因素的影响，这与其他类型的岩石地貌成因控制因素并无太大差异，花岗岩地貌发育的三大控制因素也得到多数地貌学者的认同 (Campbell, 1997; 尹国胜, 2007; 浦庆余, 2007; 魏罕蓉等, 2007; 董传万等, 2007)。到具体的地貌景观区，只不过是再加上时间和空间的维度，具体情况具体分析。既然花岗岩是形成花岗岩地貌的基础，这里不得不提一下花岗岩 (类) 的研究进展。这也是花岗岩地质地貌相互交叉的具体体现。

花岗岩类一直是地质工作者的重要研究对象之一，对其认识也取得了重要的进展，主要可以划分为以下几个主要阶段。

第一阶段是 Chappell & White (1974) 按物质来源，将花岗岩划分为 I 型和 S 型，中国学者徐克勤则把花岗岩划分为陆壳改造型、同熔型和幔源型三种类型，揭开了花岗岩源岩研究的序幕；

第二阶段是 Pitcher (1979, 1983, 1997) 把花岗岩类的成因类型和构造环境相结合，提出了 A 型花岗岩的划分，花岗岩的研究深入到岩体形成构造环境的探讨阶段；

第三阶段是美国大陆动力学计划 (NSF, 1993) 提出花岗岩实际上是大陆生长过程的产物，是壳幔相互作用的过程，中国学者也认为壳-幔相互作用，特别是下地壳、岩石圈地幔/软流圈系统相互作用对花岗岩的成因有重要的控制作用 (洪大卫, 1994, 2000; 莫宣学, 2002; 王德滋等, 1999; 王涛, 2000; 邓晋福等, 1996; 吴福元, 1997; 肖庆辉等, 2002)，从而开启了从软流圈地幔物质向地壳输送的新视角研究花岗岩形成与大陆生

长关系的新阶段。

中国学者通过大量的工作，基本查清了我国花岗岩类的时序和空间分布规律，具有如下的一些特点。

第一，时代上，花岗质岩浆活动时代漫长，从太古宙到新生代呈多幕式旋回侵入，以中生代为最高潮。前寒武纪出露的花岗岩面积占 11%，古生代占 37%，中生代占 40%，新生代占 12%（张德全，2002）。每个花岗岩带都由多个时代的花岗岩组成。如南岭花岗岩带，从元古宙开始活动，历经古生代、中生代的三叠纪，到侏罗纪、白垩纪达到高潮。北方的天山 - 内蒙古 - 大兴安岭花岗岩带，从元古宙开始活动，早古生代到晚古生代达到高潮，至白垩纪还有微弱岩浆活动。甚至在这一个大型的岩基内也出现多旋回演化的特点，万洋山 - 诸广山花岗岩基就是一个多时代复式岩体（洪大卫，2007）。

第二，空间上，中国是世界上花岗岩类分布最广泛的国家之一，面积达 $86 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占陆地国土面积的 9%。以秦岭 - 昆仑山以北，主要出露太古宙至晚古生代的花岗岩；以大兴安岭 - 太行山 - 武陵山一线以东和西南三江地区主要发育中生代的花岗岩；西藏和滇西地区发育有新生代花岗岩；以贺兰山 - 龙门山一线为界，东、西部花岗岩的空间展布具有明显差异。西部的花岗岩呈明显的带状分布，受板块俯冲、碰撞作用的控制，发育于刚性地块之间的结合带。东部以面状分布为主，受伸展构造控制，发育于板内构造环境（洪大卫，2007）。广东、福建、广西、江西、湖南 5 省区的出露面积最大，前两者花岗岩面积占全国的 30% ~ 40%，后三者占 10% ~ 20%（崔之久，2007）。所谓“世界的花岗岩看中国，中国的花岗岩看东部”。

第三，岩性上，中国花岗岩类岩石的成分从太古宙到新生代由偏基性向偏酸性、偏碱性的方向演化。根据对 750 个较大面积花岗岩体 6080 件样品 768 件组合样的加权统计， SiO_2 、 K_2O 含量有增高的趋势， Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 TFeO 含量有降低的趋势（史长义等，2007），同地壳在垂向上由硅镁质逐渐向硅铝质转化的趋势一致（程裕淇，1994），这可能代表了地壳物质组成的演化规律。

第四，从与构造环境关系的角度看，不同的构造环境常常有不同花岗岩类的组合。有的花岗岩是同板块俯冲碰撞作用有关，有的花岗岩是形成于碰撞之后的板内环境，相应地，花岗岩类的组合也不同。如南岭中生代花岗岩是二长花岗岩 - 钾长花岗岩 - 二云母花岗岩 - 花岗闪长岩组合，华北地台的中生代花岗岩是闪长岩 - 石英闪长岩 - 花岗闪长岩 - 花岗岩 - 石英二长岩组合，喜马拉雅带是白云母花岗岩 - 电气石花岗岩组合，冈底斯带是花岗岩 - 花岗闪长岩组合。岩石组合不同决定了它们的岩石化学、地球化学性质也有显著差异（史长义等，2007）。同时，由于同一地区在不同的时期有不同的构造环境，往往出现不同类型花岗岩的重叠、交错和转换的现象。如中国东南沿海地区，白垩纪时由于太平洋板块的俯冲，形成闽浙沿海一带的 I 型花岗岩。之后构造环境从挤压转化为拉张环境，形成 A 型花岗岩，两种花岗岩在空间上紧密共生在一起（洪大卫等，2007）。

赣东北地区的地质调查和地质研究工作始于 20 世纪 30 年代。这里回顾一下赣东北地区地质和三清山地貌的研究历史。

1939 年，老一辈地质学家刘辉泗在玉山县 - 贵溪市一带开展 1:25 万地质调查工作，首次在本区建立了地层系统，并对岩浆岩、火山岩作了初步研究。自 1954 年以来，地质、冶金、建材系统所属地质队以及科研、院校等单位对本区开展了较为系统的地质矿产调查

和科学研究工作。

1954—1959年,地矿部中南地质局409队对德兴铜厂、朱砂红等地进了踏勘和勘探,发现并探明了德兴超大型斑岩铜矿。

1975—1978年,江西省地质局组织了德兴铜矿大会战,新增铜储量 $350 \times 10^4 \text{t}$,并对斑岩铜矿进行了系统的总结和研究,1983年,朱训等出版了《德兴铜矿》专著。

1959—1980年,北京地质学院、浙江区测队、江西省区测队开展了上饶市幅1:20万区域地质调查,基本建立了测区的地层层序、岩浆岩活动顺序和区域构造格架,积累了丰富的基础地质资料。

1976—1981年,江西省水文地质工程地质大队开展了上饶市幅1:20万水文地质普查工作,初步查明工作区水文地质、工程地质条件和地下水资源状况。

1983—1988年,赣东北地质大队开展了紫湖口幅、玉山县幅、古城幅1:5万地质矿产调查,对三清山花岗岩侵位机制、形成时代进行研究。

1993年,江西省城乡规划设计研究院编制了《三清山风景名胜区总体规划》;2000年,三清山管理委员会邀请同济大学风景科学研究所,进行了《三清山风景名胜区总体规划》的修编工作;2003年1月—2004年3月,江西省城乡规划设计研究院对《三清山风景名胜区总体规划》进行了再次修编,为三清山的开发与保护提供了科学的依据。

2000—2002年,江西省地质调查研究院进行了上饶市幅1:25万区域地质调查,根据同源岩浆演化序列,将三清山花岗岩划归为怀玉山构造岩浆小区,建立了岩石谱系单位系统,进一步提高了三清山的地质科学研究程度。

1985年7月—1986年8月,江西省地质调查研究院对三清山开展了专项旅游地质调查。

1999—2003年,江西省地质调查研究院在进行江西省地质遗迹调查工作期间,对三清山花岗岩峰林地貌进行了概略调查和评价。

2002—2004年,南昌大学与江西师范大学的学者与三清山管委会合作完成了《三清山志》的编纂,系统研究了跨越1921个年度,从西晋太康四年(即公元283年)至2004年上半年有关三清山的历史资料。重点突出了旅游资源、自然地理及历史文化遗产等方面的研究。

2005—2006年,江西省人民政府组织不同专业学科的专家和聘请了国内外地质科学顾问,对三清山自然遗产进行研究,侧重于生物学和生态学的研究,并开展了三清山自然遗产科学价值的国际对比研究,著名生态学家林英(1986)曾指出,江西是东亚—北美植物区系中中国植物区系的一个重要发源中心,是这些植物在中国的核心分布区。

2005—2006年,中国地质科学院、江西省地质调查研究院等单位对三清山地质公园内的地质遗迹景观进行了比较全面的调查和初步研究,并提出了“三清山式”花岗岩景观的概念。

应该说三清山所在区域的地质研究程度很高,成果也很多(陈思本等,1986;邓国辉等,2005;李献华等,1994,李献华,2000;陆松年,1998;马长信,1991;王一先等,1999;邢凤鸣等,1992;徐备,1990;徐备等,1989,1992;赵建新等,1995;赵崇贺等,1997;曾勇等,2002;周国庆,1991),归纳起来,最重要的成果有三个:德兴铜矿的发现;赣东北深大断裂带规模、延伸和成因的研究;赣东北中新元古代蛇绿混杂岩带

的发现。可以看出,对赣东北的研究多集中在该地区前寒武纪的古造山带及其构造格架、古老变质岩及其年代学、元古宙蛇绿岩混杂岩带及其地质意义。赣东北与成矿作用相关的花岗岩也是研究热点之一(朱训,1983;杨明桂等,2004;金章东等,2007;芮宗瑶等,1984;王强等,2007;袁忠信,1988)。但对三清山景区花岗岩进行的科学定量研究不多,相关文献也多为三清山地质旅游资源的介绍或花岗岩景观的描述(刘细元等,2005,2006;杨明桂等,2007)。三清山是花岗岩微地貌的天然博物馆,记录了地球中生代以来地壳的演化历史,在成山成景机理上,传统上都解释为内动力使地壳不断隆升,外动力沿节理裂隙不断风化剥蚀塑造成各种惟妙惟肖的微型景观。但与作为物质基础的花岗岩本身有何关系?在中国东部岩石圈减薄作为一个被公认科学认识的前提下,中国东部众多花岗岩山体的形成与中国东部岩石圈减薄有何关系?是形成于挤压环境还是拉张环境?三清山山体隆升与剥蚀过程的有哪些特点?与处于同一造山带,具有相同岩石类型和地貌类型的黄山相比,三清山是否具有相同的隆升和剥蚀过程?

陈安泽先生曾指出:花岗岩专家不研究花岗岩地貌,而地貌学家则对花岗岩岩石学知之甚少,对花岗岩地貌与地质的关系也无法解释,这种把地质地貌分成两张皮的做法是不可取的。地貌学家要懂得地质学的基础知识和前沿研究领域,地质公园的研究者也应明白地质公园只是研究的载体,研究的内容可以是岩石学、地貌学、地球化学、地球物理和构造学,等等。花岗岩地貌是研究地质演化过程的重要证据(陈安泽,2007),因为地貌包含着过去地质历史时期里环境变化的相关信息,有助于了解地球环境变化的历史,更重要的是还可以为预测未来变化的方向和趋势提供科学依据(李琼,2008)。前苏联地貌学家马尔科夫(1948)就研究了地貌过程中的岩浆运动。在第一届国际花岗岩地质地貌研讨会论文专辑(《地质论评》,第53卷,增刊)中就有洪大卫、肖庆辉、张招崇、罗照华等岩石学家发表的论文,这是一个好的开端,有助于地貌和岩石工作者的讨论交流。但总体而言,花岗岩地貌在研究地质演化历史上没有得到应有的重视。正是基于这样的考虑,本专著将研究三清山的岩石地球化学,三清山山体隆升剥蚀的低温年代学约束,三清山的地貌特征和成因机制等几个方面的内容。

1.2 技术路线和主要创新点

选择研究程度较低三清山,从地球系统科学和壳幔相互作用的观点出发,解密花岗岩“黑匣子”所储存的地球演化信息,揭示“电子探针”所探视的深部过程和低温年代学所揭示的山体隆升剥蚀规律,探讨三清山花岗岩的地质地貌特点和形成机制。按照“研究区地质背景分析→野外考察和系统采样→科学测试分析→室内总结研究区地质特征→构建三清山成岩成山成景模式”的总体技术路线开展研究工作。

本专著的主要创新点有:

(1) 地质遗迹的系统调查分类。结合申报世界地质公园的需要,系统调查了三清山地区具有重要科普意义和研究价值的重大地质事件的遗迹,并首次对地质遗迹进行了明确分类,这将为地质遗迹数据库的建立提供支持,为地质旅游资源的开发和保护提供科学依据。

(2) 将花岗岩地貌研究与花岗岩岩石学、地球化学研究相结合。通过野外观察、系

统采样、岩石手标本描述,显微镜鉴定和主微量元素分析等手段,分析了三清山花岗岩地质地貌之间的关联,并与毗邻的黄山山体进行对比,找到判断三清山花岗岩形成构造环境的完整证据链。

(3) 通过裂变径迹年代学首次进行了三清山隆升剥蚀的定量研究。磷灰石的裂变径迹年代学定量反演了新构造运动期间三清山在独特的“隆上隆”构造背景下快速隆升的特点。分析表明,裂变径迹数据对三清山、黄山的地貌发育不同阶段和三清山所处的独特“隆上隆”构造环境有重要约束意义。

(4) 建立三清山成岩→成山→成景模式和花岗岩地貌分类方案。在世界范围内的花岗岩地貌景观进行对比的基础上,按经典代表性模式建立了代表不同气候区的八种类型。研究表明,三清山尖峰陡坡式花岗岩地貌的形成是多因素耦合的结果,并构建了“三清山式”成岩→成山→成景模型。

第2章 区域地学背景及地质遗迹

2.1 自然地理概况

三清山位于中国东南部,江西省上饶市玉山、德兴两县(市)交界处,具体的位置在上饶市玉山县紫湖镇、怀玉乡、南山乡和德兴市坂下乡范围内,地理位置为北纬 $28^{\circ}48'22''\sim 29^{\circ}00'45''$ 、东经 $117^{\circ}58'20''\sim 118^{\circ}08'28''$ 。因山有玉京、玉华、玉虚三峰,宛如道教玉清、上清、太清三位尊神列坐于其巅,故名三清山。海拔一般为 $1000\sim 1800\text{m}$,为中山地形,主峰玉京峰海拔为 1819.9m ,也是怀玉山脉的最高地质地貌景观。三清山南北狭长,东、南、西三面山势陡峻,北面稍缓,地势高差大。景区总面积为 229km^2 ,核心保护区面积为 71km^2 。

三清山具有良好的区位优势,是江西省的东北门户。多条铁路、国道和高速公路与景区旅游专线紧密相连,特别是2011年9月昌德高速公路建成通车,高速公路可直通景区。连接南昌、杭州和上海的动车均在上饶停靠。东达沪杭,距浙江省衢州市 90km ,南通闽粤,距福建省武夷山市 115km ,西距上饶市 78km ,北望苏皖,距安徽黄山市 263km 。处在黄山、龙虎山、龟峰、武夷山等名山和婺源风景区的中心位置。

三清山地处亚热带湿润季风气候区,四季分明,春秋季节漫长,夏季凉爽,冬季飞雪。同时又具有海洋性气候和高山气候的特征,年平均气温介于 $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ 之间,7月份平均气温最高,为 21.8°C ,极端高温可达 37.3°C ;1月份平均气温最低,为 -0.6°C ,极端低温达 -16°C ,无霜期达288天。年平均降水量在 1900mm 以上,多集中在4月、5月、6月3个月,年平均蒸发量在 1300mm 左右,相对湿度较高,达82%。

三清山水系,分别属于长江中游鄱阳湖水系信江流域和钱塘江流域。南部水系主要汇入信江与乐安江,后注入鄱阳湖,北部水系汇入钱塘江,后注入东海。地表水以沟谷溪流网为主,季节性变化明显,雨季水源丰沛,旱季水源不足。

三清山的生物多样性和珍稀物种都具有很高的保护意义。

三清山的植物资源异常丰富,以亚热带湿润常绿阔叶林为主,保存有大量的草本类植物,可谓天然的植物园。

古树名花是三清山自然景观的四绝之一,具有很高的经济价值和观赏价值。根据调查鉴定,三清山的珍稀树种有三清松、白豆杉、香果树、华东黄杉、华东铁杉、福建柏、木莲、高山黄杨等。其中世界罕见的华东黄杉有大面积分布,为江西首次发现。三清山花开四季,种类繁多,色彩各异,主要品种有杜鹃花、天女花、木海棠、瑞香、红茶花、玉兰、樱花、梅花、含笑、凤仙、萱草、二月兰、蕙兰、吊兰、独蒜兰、水晶兰、黄精、百合花、山桃花、六月雪、扁枝越橘及野牡丹等,其中最珍贵的是天女花。天女花是

世界珍稀花卉，也是三清山群芳之冠。数量最多的是杜鹃花。另外三清山有 300 多种药用植物。

根据普查资料记载，三清山共有各种飞禽走兽 300 余种，其中不少为珍稀动物，如金钱豹是国家一级保护动物。

2.2 区域地质背景

三清山为怀玉山地体的一部分，位于欧亚板块东南部、华夏与扬子古板块碰撞结合带，即赣东北古缝合带。

2.2.1 区域地质演化

以三次大海侵为标志，可以把三清山地区 10 亿多年的地质演化发展历史分为三大的演化阶段，若干个演化时期，见表 2.1。

表 2.1 三清山地区构造运动演化

代	纪	年龄/Ma	主要地质遗迹	构造旋回	主要地质事件	
新生代	第四纪	2		喜马拉雅旋回	喜马拉雅运动	
	新近纪					
	古近纪					
中生代	白垩纪	65	上统有恐龙蛋化石，下统为陆相火山岩	燕山旋回	燕山运动	
	侏罗纪	146	硅化木		印支运动	
	三叠纪	199				
古生代	二叠纪	251		海西-印支旋回	东吴运动	
	石炭纪	299			加里东运动	
	泥盆纪	359				
	志留纪	416				
	奥陶纪	443		加里东旋回	晋宁运动	
	寒武纪	488				笔石动物化石群
		542				缺氧事件，生命大爆发
新元古代	震旦纪	1400	碳酸盐岩帽	晋宁旋回		
	南华纪		雪球事件，裂谷-双峰式火山岩			
	青白口纪		蓝片岩，蛇绿混杂岩带			

(据杨明桂等, 2009; 章森桂等, 2009 修改)

(1) 从中元古代到震旦纪中期

距今 1400Ma 的中元古代，当时三清山地区的地壳运动处于沉降阶段，海水浸没达 4 亿年之久，沉积数千米厚的复理石沉积建造，并夹杂有海底火山喷发物。晋宁运动才结束了三清山的沉降历史，地壳开始逐渐抬升为陆地，三清山地区进入相对稳定的地台发展阶段。

距今 1000Ma 的新元古代, 三清山地区是华南洋中的一个岛弧, 北为扬子古板块、南为华夏古板块。约 900Ma 前后, 扬子古板块与华夏古板块碰撞, 成为罗迪尼亚 (Rodinia) 超大陆的组成部分, 洋盆消失, 形成了赣东北古板块结合带, 留下了珍贵的古洋壳残迹, 即蛇绿混杂岩带和蓝闪石片岩 (是古板块对接的重要见证)。

距今 800Ma 左右, 三清山地区进入裂谷期, 罗迪尼亚超大陆裂解, 三清山位于扬子大陆板块与华南裂谷海盆之间的过渡带, 形成海相磨拉石、复理石和双峰式火山岩建造。区内处于陆表海的沉积环境, 以碎屑建造为主; 随着“雪球地球”事件出现, 留下了古冰川活动遗迹——南沱组冰碛砾岩。

(2) 震旦纪晚期到晚奥陶世

在距今 600Ma 的震旦纪晚期, 海水又浸没了三清山地区达 1.6 亿年之久, 一直延续到奥陶纪末期。震旦纪晚期, 陆壳基本固结, 气候转暖, 冰雪消融, 并形成了广泛的海侵, 其间沉积超过 4000m 厚的浅海相砂岩和碳酸盐岩建造, 并出现了三叶虫、笔石和海绵等海相古生物。

早寒武世, 三清山地区为半障壁性质的潮下浅水海盆, 属缺氧环境, 形成了富含钒、铀、硫、磷等元素的黑色页岩, 底部夹石煤层。早寒武世晚期—晚寒武世, 海侵范围扩大, 沉积了约数百米厚的浅海相碳酸盐岩和钙泥质沉积物, 并发生了生物大爆发, 三叶虫、腕足类生物大量出现。

奥陶纪早中期, 海洋水体比较稳定, 有利于笔石动物的繁衍, 形成了笔石页岩建造。奥陶纪晚期沉积了介壳相碳酸盐岩建造。奥陶纪末, 地壳总体处于逐渐抬升状态, 水体变浅。加里东造山运动第一幕使三清山地区再次“变海为陆”。

(3) 早志留世到第四纪

在距今 440Ma 的志留纪早期, 发生第三次大海侵。志留纪早中期, 沉积了具类复理石构造特征的碎屑建造。加里东运动使地壳整体抬升, 遭受较长时期的剥蚀夷平, 因而三清山地区缺失志留纪中后期、泥盆纪早中期的沉积。

晚泥盆世时, 古特提斯海水侵入华南古大陆, 三清山地区在晚泥盆世至三叠纪早期沉积了以滨浅海相泥砂质建造、碳酸盐岩建造、海陆交互的碎屑建造和含煤建造。

中三叠世末, 印支运动强烈作用, 结束了包括三清山在内的大规模海侵历史, 欧亚板块与太平洋板块发生强烈碰撞并产生挤压抬升, 盖层继而发生强烈褶皱与断裂, 发生了区域性地壳隆升, 形成了中、上三叠统间普遍的角度不整合接触。华南古大陆成了欧亚大陆板块的组成部分 (程裕淇等, 1994; 马丽芳等, 2002)。印支期我国的地质构造应力场发生转变, 构造应力场以北西西向为主, 中国大陆结束了南海北陆的状况, 开始东西分异 (黄定华等, 1999)。

距今 180Ma 的燕山运动也是我国地质构造发展的另一个新阶段。燕山期中国东部地区岩浆活动十分强烈, 中期达到顶峰, 并伴有大规模的酸性火山喷发和岩浆侵入活动。晚侏罗世至早白垩世, 随着太平洋板块的俯冲挤压, 三清山地区发生中酸性岩浆喷发活动, 形成钙碱性的中酸性火山岩组合, 可划分为石溪和周家店两个岩浆活动旋回 (同位素年龄为 91.7 ~ 110.8Ma 与 119.2 ~ 128.3Ma, 王勇等, 2002)。早白垩世在拉张的构造环境下, 三清山地区酸性岩浆大规模强烈上侵冷凝, 形成了大面积的“三清山花岗岩体” (张星蒲, 2001)。三清山花岗岩体的物质基础从此形成, 三清山进入内陆发展的新阶段。可