

中国地质调查局

《中国花岗岩重大地质问题研究》项目成果之二

项目编号: 200113900018

中国典型造山带花岗岩与 大陆地壳生长研究

肖庆辉 王 涛 邓晋福 等著

地质出版社

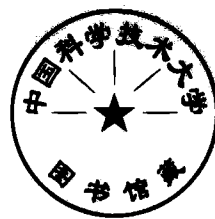
中国地质调查局

《中国花岗岩重大地质问题研究》项目成果之二

项目编号：200113900018

中国典型造山带花岗岩与 大陆地壳生长研究

肖庆辉 王 涛 邓晋福 莫宣学 卢欣祥 等著
洪大卫 谢才富 罗照华 邱瑞照 王晓霞



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书根据我国花岗岩独特的地质条件, 选定五个具有全球地质意义的、独具特色的花岗岩带, 通过重点区段的深入研究、解剖, 从建立重点区段花岗岩构造事件的时序, 总结中国不同成因类型花岗岩的形成构造环境研究工作基础上, 运用花岗岩与大陆生长的新理论和研究思路的新视角, 探索中国花岗岩与大陆生长相关的重大科学问题, 提出了不同花岗岩带大陆生长方式。

本书可供从事地质构造、岩石地球化学、造山带演化研究的科技人员以及相关专业的高等院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国典型造山带花岗岩与大陆地壳生长研究/肖庆辉等著. —北京: 地质出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 116 - 06249 - 8

I. 中… II. 肖… III. 褶皱带-花岗岩-地质构造-研究-中国 IV. P588. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 124083 号

责任编辑: 祁向雷 白 峰

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

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京长宁印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张: 34

字 数: 810 千字

版 次: 2009 年 8 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 78.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 06249 - 8

(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)

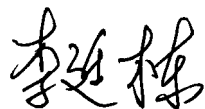
序

大陆生长和演化是地球科学长期研究的前沿问题之一，也是大陆动力学研究的重要科学问题。近年来的研究发现，大多数花岗岩浆的发育和演化受软流圈地幔物质向岩石圈输入作用的制约，从软流圈地幔物质向地壳输入的新视角研究花岗岩形成过程与大陆生长关系已成为重要的研究方向。因此，花岗岩在大陆生长与地球深部过程的研究中扮演了重要角色，为大陆形成演化和花岗岩研究开辟了一条全新的研究思路和研究领域。近十多年来，这个新的研究方向从大陆生长及大陆动力学的层次去认识花岗岩的成因，以期建立起一个它们之间相互关联的关系，并进一步通过这一关系追索它们形成时热能传递的机理及其体制。因此，研究花岗岩不仅可以获得花岗岩物质来源和构造环境的信息，而且可以获得壳幔物质运动的状态、过程、动力学、深部能量（热能）的传导、转化的重要信息。探索和解译这些信息，对于认识大陆生长具有纲举目张的作用，是解决当今大陆地质演化、建立大陆动力学的关键，是继花岗岩物质来源、构造环境研究之后花岗岩研究的第三个里程碑，因而具有重要的理论意义。

本专著根据我国花岗岩独特的地质条件，选定五个具有全球地质意义并独具特色的花岗岩带，通过重点区段的深入研究、解剖，在建立重点区段花岗岩构造事件的时序，研究、总结中国不同成因类型花岗岩形成的构造环境基础上，运用花岗岩与大陆生长的新理论和新研究思路，探索中国花岗岩与大陆生长相关的重大科学问题，提出了不同花岗岩带大陆生长方式，使我国花岗岩地质调查研究工作从偏重于岩性描述，开始步入构造研究的新阶段。

以肖庆辉研究员为首的研究集体，立足于国内几个典型造山带，对花岗岩的成因与大陆的生长进行了深入系统的研究，取得了可喜可贺的成绩和创新性成果。即将出版的这本专著就是他们多年来研究成果的总结和集成，是他们对中国几个典型造山带花岗岩的新认识和新见解，是一部有重要参考价值的著作。可以确信，这个专著不仅有助于读者了解花岗岩与大陆生长的研究现状和最新进展，而且将引起他们对花岗岩中某些深层次问题的思考。

总之，该专著资料翔实，内容丰富，论证严谨，见解新颖，它的出版将引起地质同仁的广泛关注和兴趣，并将促进我国对花岗岩与大陆生长研究的深入开展。



2008年10月6日

前 言

《中国典型造山带花岗岩与大陆地壳生长研究》是中国地质调查局的基础地质综合研究项目“中国花岗岩重大地质问题研究”（任务书编号：70101204028，项目编号：200113900018）的综合研究成果。项目负责单位是中国地质科学院地质研究所、宜昌地质矿产研究所，协助单位有中国地质大学、北京大学、吉林大学、河南省国土资源科学研究所和东华理工大学等单位。

项目总体目标：根据我国花岗岩独特的地质条件选定五个具有全球地质意义的、独具特色的花岗岩带，通过重点区段的深入解剖研究，从地壳生长的角度总结中国花岗岩的形成构造环境、大陆地壳生长方式，建立重点区段花岗岩浆构造事件的时序，并探索中国花岗岩与大陆生长相关的一些重大科学问题，为中国地质调查局今后进行全国性花岗岩综合研究、长期稳定部署花岗岩地质调查提供知识保障。

20 世纪 70 年代以来，地质学家在认识花岗岩成因方面先后经历了三个认识层次。第一个层次是 1974 年 Chappell 和 White 发现，花岗岩成因受成岩物质源岩控制，将花岗岩划分为 I 型和 S 型，在花岗岩研究中掀起了研究花岗岩源岩的思潮；第二个层次是 1979 年 Pitcher 根据板块构造理论，把按源岩划分的不同成因类型花岗岩与不同构造环境结合，提出了花岗岩形成的构造环境分类，使花岗岩研究深入到探索构造环境的新阶段；第三个层次是 1993 年美国制定大陆动力学计划时，提出岩浆的形成、运移和侵位是大陆生长的基本过程，使人们认识到大多数花岗岩浆的发育和演化受地幔作用过程的制约。从此，开创了把壳-幔作用研究与花岗岩形成演化紧密结合的新方向。这个新的研究方向试图从地幔物质和热注入地壳使大陆生长的大陆动力学的层次去认识花岗岩成因，以期能建立起一个它们之间相互关联的框架，并进一步通过这一框架追索大陆生长形成时地幔物质和热能注入大陆的机理及其体制。因此，研究花岗岩不仅可以获得花岗岩物质来源和构造环境的信息，而且可以获得壳幔物质运动的状态、过程、动力学、深部能量（热能）的传导、转化的重要信息。探索和解释这些信息，对于认识大陆生长具有纲举目张的作用，是解决当今大陆地质演化以及建立大陆动力学关键问题之一，因而具有重要的战略意义。

大陆的生长和演化是地球科学长期研究的前沿问题之一，也是大陆动力学研究的重要科学问题。近年来的研究发现，花岗岩在大陆生长与地球深部过程中扮演了重要角色，为大陆形成演化和花岗岩研究都开辟了一条全新的研究思路 and 新的研究领域。

花岗岩在大陆生长中主要通过两种方式使大陆增生。一种方式是主要通过幔源岩浆底侵（underplating）作用和幔源岩浆与壳源岩浆的混合作用使大陆发生增生。幔源岩浆与壳源岩浆的混合作用即以幔源岩浆为载体的地幔物质通过岩浆混合作用形成混源花岗岩这种方式为大陆生长提供物源。例如，西欧海西造山带，由壳、幔源岩浆混合形成的花岗闪长岩分布广泛，它是在造山作用中大量幔源物质通过巨量的花岗闪长岩加入到地壳中，造成一次重要的地壳生长。这种生长并不是基性物质的底侵，而是广泛的基性岩浆与地壳物

质（岩浆）之间的相互作用。这一地壳生长事件在尺度上可与元古宙地壳生长事件类比，并与主造山作用同期，即地壳生长主要发生在造山过程中。又如，在阿拉巴-努比亚地盾，在 790 Ma 的裂谷活动到 740 Ma 的碰撞造山过程中，花岗岩浆中 LILE（大离子亲石）元素富集的早期演化阶段被高度地幔熔融作用所打破，意味着地幔柱的到来，代表了一次地壳生长事件。在安第斯山脉地壳生长中，中生代花岗岩也提供了重要的物质贡献。中国的昆仑和秦岭造山带，大量后碰撞花岗岩属壳-幔混合成因，也显示有源于地幔的物质组分，代表了一次重要的陆壳垂向生长。据王涛估算，秦岭造山带核部在晋宁期和加里东-海西期，通过壳幔岩浆混合作用形成的混合型花岗岩浆进入地壳的幔源物质质量可能分别约 630 km^3 和 4400 km^3 。中国东南沿海一带大量的 I 型花岗岩的形成也与地幔源基性岩浆的底侵及壳幔相互作用有关。这些实例说明，幔源物质通过壳-幔混合作用形成花岗岩进入地壳也是一次重要的大陆生长事件。因此，除了板块会聚造成的地壳的水平增生外，幔源物质通过基性物质的底侵与形成壳-幔混合花岗岩进入地壳引起大陆内部体积增大也是一个很重要的大陆生长作用，特别是在造山作用期间。随着对基性物质的底侵与岩浆混合成因花岗岩的不断研究和幔源组分的识别，相信这种方式造成的大陆生长将得到进一步重视。另外，壳-幔混源型花岗岩的大量发育也可作为识别壳幔相互作用及幔源岩浆底侵的标志之一。

第二种方式则是通过幔源玄武岩岩浆底侵作用使下部大陆融壳发生部分熔基性形成花岗岩而使大陆发生改造和垂向生长。在冰岛人们发现，灰色片麻岩的奥长花岗岩-英云闪长岩源岩是早先已存在的玄武岩堆积体受到新的玄武岩岩浆底侵作用的影响而发生脱水部分熔融形成的。这就是说，大量的花岗类岩石是通过玄武岩底侵作用使下部大陆基性壳发生部分熔融而成的。那么，这种玄武岩岩浆底侵的空间范围及其热源有多大？它们又通过什么方式与中下地壳发生相互作用形成花岗岩？地球物理资料表明，前寒武地盾岩石圈厚度要比年轻的古生代或中生代造山带厚得多，而且其下地壳的反射特征有别于较年轻的地壳反射特征，表明在大陆碰撞形成大陆壳以后有一种或多种岩浆底侵作用使较老的地盾岩石圈或地壳生长长大。这种作用是幕式的岩浆底侵作用，这种底侵作用给广泛的元古宙非造山花岗岩-流纹岩，特别是代表岩石圈生长的环斑花岗岩提供了物质和热源。最近研究还表明，软流圈或地幔上涌从空间上来看，往往控制岩浆底侵和拆沉作用，现在需要解决的是软流圈或地幔上涌如何控制和转变成底侵岩浆？它们之间是否有成因联系？

人们根据许多巨量的花岗质岩浆来源于下地壳这一认识普遍认为，相当大量的幔源岩浆以底侵方式囤积在地壳底部附近形成岩浆池（pond）。这种囤积作用带来的地幔热源引起下部地壳大规模变质作用和深熔作用，形成巨量花岗岩使大陆物质发生循环增生，并因此引发和维持了地壳岩浆系统。据 Brown 研究，从花岗岩与大陆生长关系来看，造山带可区分为两种类型：一类是造山作用造成的地壳加厚作用使地温增加，随后的剥蚀减压导致加厚地壳岩石的脱水熔融形成花岗岩浆；另一类是由于岩石圈发生拆沉减薄，软流圈上涌导致玄武岩岩浆的底侵作用，使大陆中下地壳发生改造重熔形成花岗岩。

花岗岩与大陆生长关系的另一个研究方向是大陆主体是何时生成的？传统的大陆生长模型认为，大陆地壳主要形成于地球历史的早前寒武纪，以太古宙最为重要，显生宙大陆生长可以忽略不计，并认为大陆生长主要通过发生在会聚板块边界上的弧岩浆作用和弧杂岩增生来实现，即以水平增生为主。然而，我国新疆北部、内蒙古、东北大兴安岭及哈萨

克斯坦、蒙古、俄罗斯远东，即中亚造山带广泛分布的晚古生代-中生代的巨量花岗岩，它们以正 ϵ_{Nd} 为鲜明特色，反映了显生宙重要的地壳生长事件，对传统地壳生长观点提出了挑战。Sengor 曾提出古生代的 Altaid Tectonic Collage（即中亚造山带）大陆增生面积达 $5.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，其中地幔来源的新生陆壳物质几乎占了一半。显生宙陆壳生长在加拿大科迪勒拉和北美东北部亦有重要显示。毋庸置疑，显生宙大陆生长非常重要，中亚造山带是地球上显生宙大陆生长的最重要地区。显生宙大陆生长已引起了国际地学界的普遍关注，联合国教科文组织从 1997 年开始设立了国际地质合作项目 IGCP-420（显生宙地壳增生——来自中亚的证据）。2000 年在巴西召开的第三十一届国际地质大会专设了显生宙地壳增生的专题讨论会。自 IGCP-420 对比计划开展以来，人们已把花岗岩 Nd 同位素研究与地壳生长联系起来。但是，对于这些花岗岩的成因和地壳生长关系至今仍在探索争论中，提出了一系列模型。诸如由新生的新元古代地壳深熔形成古生代-中生代“花岗岩洋”；高度分异的幔源岩浆与古老地壳物质混合；新生的基性地壳物质与古老地壳物质混合；幔源基性岩浆同化地壳物质并同时发生结晶分异；幔源岩浆底侵作用和直接分异等。随着新的观察事实的积累，将对这些模型提供更多制约，最终达到比较正确的认识。

根据近年来对大陆岩石圈三维结构的研究发现，上述两种陆壳垂向生长的物质和热源不仅与壳-幔相互作用有关，而且可能与更深部的来自上地幔的岩石圈和软流圈的相互作用以及与软流圈物质上涌有关。如在幔隆或软流圈上涌的地方，壳、幔物质往往可以发生大面积的相互作用。美国盆岭省 50% 的地壳是镁铁质的，其中 25% 是由这种方式形成的，澳大利亚昆士兰陆壳的 20%（约 8 km）也是由这种作用形成的。这些作用大多发生在由软流圈上涌引起的伸展构造活跃的地区，是探讨大陆岩石圈演化的重要地区。中国东部是中生代以来构造岩浆作用十分活跃的地区，也正是研究软流圈上涌导致岩石圈和软流圈相互作用及巨量花岗岩形成的最好的天然实验室。

值得一提的是，近年来花岗岩成因研究发现，大多数花岗岩的形成是地幔软流圈上涌导致壳-幔相互的作用结果。通过对花岗岩的研究能追踪软流圈壳-幔相互作用的演化轨迹，进而研究大陆生长、演化的历史，这已经变成花岗岩研究的一个重要前沿，成了今后研究探索花岗岩与大陆生长和深部过程的基本内容。在这种情况下，今后要解决花岗岩的成因，首先要解决大陆岩石圈深部三维结构和演化过程，查明导致花岗岩形成的软流圈上涌物质的来源和热源。在这方面今后需要解决的科学前沿问题是：花岗岩岩浆在哪里生成？当它们通过地壳上升时是如何演变的？花岗岩浆的产生如何受软流圈上涌或软流圈控制？板块构造理论已使我们认识到，一部分地壳曾进入地幔再循环。这一认识与麻粒岩地壳岩石几十亿年都保持不循环的认识相悖。花岗岩形成以后是否发生过进入软流圈上涌地幔的再循环？以捕虏体和岩浆岩化学分析为基础，可以研究不同时代花岗岩再循环的可能性，辨别出有多少物质是再循环和有多少物质是新生的。此外，软流圈上涌的玄武岩浆底侵作用如何及何时形成，它们与花岗岩岩浆形成有什么关系？另外，以底侵方式添加到地壳中的初始岩浆绝大部分是基性的，而大陆地壳的平均成分却是中酸性的。基性岩浆如何转化成中酸性岩浆，这一涉及大陆生长机制的基本问题始终困扰着地学界。通常认为，这些起源于软流圈上涌的基性地壳的分异和再改造在大陆地壳形成过程中必然是个重要的过程。问题是基性地壳后来是通过什么方式和过程转化成中酸性地壳的？而且，在何种时间尺度上？是什么机制促成这种转化？近些年，拆沉和底侵作用对大陆地壳增生（特别是

垂向增生)的意义受到高度关注。一些学者提出,大量中酸性花岗岩(富钠)是由于软流圈上涌导致幔源岩浆底侵引起基性下地壳物质再次发生部分熔融而形成,熔融残留体(含石榴石斜长角闪岩或榴辉岩)可能通过拆沉的方式重新返回地幔,从而使大陆地壳不断生长分异并趋于成熟而克拉通化。这一模式得到一些学者对基性岩的熔融实验的有力支持:基性岩经过20%~40%的部分熔融可形成富钠的中酸性熔体(英云闪长岩-花岗闪长岩),但熔体的地球化学特征与熔融压力和含水条件(决定源区是否有石榴子石和斜长石等残留)有密切关系。如何用实验去检验这一实验结果并科学评价上述模式的地质意义也将成为科学家们关注的重点。

总之,要解决花岗岩成因问题,要从以往偏重于岩性和地球化学研究,扩宽到应用物理学知识和手段研究花岗岩,即通过花岗岩地质、地球化学特征和地球物理相结合,揭示地球动力学过程。而且要把花岗岩形成和演化与相应的区域构造形成与演化以及动力学环境结合起来,这样才能使花岗岩研究真正成为“岩石大地构造学”,在理论上有所创新。

本专著共六章。第一章,华南过铝花岗岩与陆壳生长演化,由谢才富、马昌前、付建明、彭松泊、钟玉芳等编写;第二章,燕山造山带花岗岩与大陆地壳改造和生长,由邓晋福、苏尚国、赵国春、吴宗絮、刘翠编写;第三章,兴蒙造山带花岗岩及大陆地壳生长,由洪大卫、王涛、吴福元、张季生、童英编写;第四章,中国西部造山型环斑花岗岩与造山运动终结标志,由卢欣祥、王晓霞、肖庆辉、孙延贵、王非、邢作云、尉向东编写;第五章,东昆仑花岗岩带的时空结构、特征及岩浆底侵作用和混合作用,由莫宣学、罗照华、周肃、喻学惠、刘成东、廖忠礼、黄圭成、朱云海、拜永山、辛后田等人编写;第六章,花岗岩类与大陆地壳生长初探——从中国几个造山带花岗岩类岩石的形成角度看,由肖庆辉、邓晋福、邱瑞照、刘勇、冯艳芳等人编写。最后为结语,阐述研究工作已取得的进展和存在的主要问题,由肖庆辉编写。

研究工作过程中曾得到中国地质调查局叶天竺、张洪涛、庄育勋、翟刚毅、于庆文、彭齐鸣、卢民杰、刘凤山,宜昌地质矿产研究所李金发、彭轩明、姚华舟、汪雄武,中国地质科学院地质研究所汪东波、耿元生、王宗起、姚培毅等自始至终予以关心和指导。在工作过程中,特别是在阶段评议过程中,曾得到李廷栋、沈其韩、常印佛、任纪舜、马宗晋、张国伟、刘敦一、陆松年、陈克强、高振家等一批院士和专家的指导,使我们从中受到启迪。此外,本书还受国家自然科学基金项目40234048以及40572053资助,借此机会,向所有支持过我们研究工作的同志和单位表示最诚挚的谢意。

本专著全体成员在经费严重不足条件下仍任劳任怨,坚持努力工作,取得了丰硕的第一手资料,并在室内、外研究工作基础上完成了本专著,尽管专著中显示出研究工作获得了不少可喜的进展,也提出了一些新认识,并颇有发现,但毋庸讳言仍然存在着大量的问题需要我们进一步探索,就本专著研究而言,也可能存在一些疏漏甚至错误之处,衷心希望所有阅读此专著的专家、领导和同行提出批评和建议,我们将认真考虑大家的宝贵意见,对本专著作进一步修改和完善。

目 次

序

前 言

第一章 华南过铝花岗岩与陆壳生长演化	(1)
第一节 区域地质背景	(1)
第二节 华南过铝花岗岩及相关侵入岩的年代框架与构造-岩浆旋回划分	(2)
第三节 九岭新元古代花岗岩锆石 U - Pb 年代学和地球化学	(6)
一、地质概况	(6)
二、锆石 SHRIMP U - Pb 年代学	(7)
三、花岗岩的地球化学特征	(14)
四、Sm - Nd 和 Rb - Sr 同位素地球化学特征	(18)
五、九岭新元古代花岗岩的成因和构造环境探讨	(19)
第四节 加里东期花岗岩	(24)
一、加里东期花岗岩带空间分布与时代	(24)
二、加里东期花岗岩主要特征	(28)
三、加里东期花岗岩形成构造背景	(39)
第五节 华南海西-印支期侵入岩及其对造山带形成演化的制约	(41)
一、时空分布	(41)
二、岩石学特征	(46)
三、地球化学特征	(47)
四、岩石成因讨论	(64)
五、形成构造环境及地球动力学演化	(70)
六、对大地构造格局及缝合带位置的制约	(76)
第六节 华南内陆燕山期花岗岩类及大陆裂解	(77)
一、华南内陆燕山期花岗岩总体特征	(78)
二、燕山期玄武岩岩浆底侵作用与花岗岩大爆发	(79)
三、华南内陆燕山早期铝质 A 型花岗岩的厘定及成因分析	(83)
四、壳幔岩浆的混合作用——以湖南骑田岭花岗岩为例	(95)
五、燕山早期花岗岩形成的大地构造背景及动力学机制探讨	(107)
第二章 燕山造山带花岗岩与大陆地壳改造和生长	(119)
第一节 华北燕山造山带岩浆-构造事件序列与造山过程	(119)

一、地质学与同位素定年的相互约束	(119)
二、华北燕山造山带岩浆构造事件序列	(121)
三、华北燕山造山带造山幕与造山过程	(123)
四、讨论	(124)
第二节 燕山造山带结构要素组合	(125)
一、与前造山伸展构造有关的结构要素组合	(125)
二、与初始造山收缩构造有关的结构要素组合	(125)
三、与 J_2 早期同造山上隆伸展有关的火山盆地	(127)
四、与 J_2 晚期收缩构造有关的结构要素组合	(127)
五、与 J_3 早期同造山上隆伸展有关的火山盆地	(129)
六、与 J_3 晚期收缩构造有关结构要素组合	(129)
七、与 K_1 早期 (K_1^1) 晚期造山有关的结构要素组合	(129)
八、与 K_1 晚期 (K_1^2) 后造山伸展有关的结构要素组合	(130)
第三节 燕山造山带中生代火成岩岩石学、矿物学及元素地球化学特征	(130)
一、岩相学特征	(130)
二、矿物学特征	(145)
三、岩石化学特征	(146)
四、地球化学特征	(153)
五、燕山地区中生代花岗岩形成的构造环境	(159)
第四节 燕山造山带中生代火成岩同位素地球化学特征	(162)
一、概述	(162)
二、Sr - Nd - Pb 同位素地球化学特征	(162)
三、燕山造山带中生代火成岩源区讨论	(163)
第五节 燕山期对流地幔注入大陆和华北克拉通陆壳的改造	(165)
一、概述	(165)
二、华北地台前寒武花岗岩类、陆壳演化与克拉通岩石圈根的形成	(168)
三、燕山期对流地幔注入大陆, 华北东部克拉通陆壳的改造和燕山期造山带陆壳的形成	(177)
第六节 结论和讨论	(191)
一、与华北燕山造山带形成演化有关的几个重要边界	(191)
二、“燕山运动”影响的深度	(192)
三、燕山造山带演化可能的动力学模型	(193)
第三章 兴蒙造山带花岗岩及大陆地壳生长	(199)
第一节 引言	(199)
第二节 北疆阿尔泰花岗岩与地壳生长	(201)
一、阿尔泰造山带大地构造位置	(201)

二、阿尔泰造山带花岗岩研究概况及存在的问题	(201)
三、阿尔泰造山带同造山、后造山岩浆事件的时间限定——新的锆石 U-Pb 年龄证据	(203)
四、阿尔泰造山带构造岩浆演化的年代学格架	(222)
五、阿尔泰造山带花岗岩、基性侵入岩地球化学特征	(224)
六、讨论	(236)
第三节 内蒙古中部苏尼特左旗—锡林浩特地区的花岗岩	(240)
一、区域地质概况	(240)
二、花岗岩的年代学格架	(242)
三、Sm-Nd 同位素特点	(255)
四、内蒙古东部地球物理特征与地壳密度结构	(259)
五、讨论	(263)
第四节 辽源-吉林中部地区显生宙花岗岩时代与形成背景	(265)
一、东北地区区域地质背景	(266)
二、吉林-辽源地区花岗岩形成的同位素年代学研究	(269)
三、辽源-吉林中部地区花岗岩岩石组合	(274)
四、吉林-辽源地区中生代花岗岩形成的构造背景	(283)
五、结论	(288)
第四章 中国西部造山型环斑花岗岩与造山运动终结标志	(300)
第一节 环斑花岗岩的研究历史及现状	(300)
一、世界环斑花岗岩的研究历史及进展	(300)
二、中国环斑花岗岩研究现状	(303)
三、造山型环斑花岗岩的研究现状及意义	(305)
第二节 秦岭-昆仑造山带构造演化	(306)
一、秦岭造山带构造演化	(306)
二、东昆仑及柴达木北缘造山带地质构造概况	(308)
第三节 秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩地质特征	(310)
一、秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩的分布	(310)
二、岩体时代	(311)
三、岩体地质	(315)
四、主要造岩矿物	(323)
第四节 秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩地球化学特征及岩石成因类型	(332)
一、秦岭-昆仑环斑花岗岩地球化学特征	(332)
二、暗色岩浆包体地球化学特征	(344)
三、环斑花岗岩的成因类型	(352)
第五节 岩浆混合作用及环斑结构成因	(354)
一、秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩与岩浆混合作用	(355)

二、秦岭-昆仑环斑花岗岩是地幔与地壳两个端元的混合	(360)
三、环斑结构的成因	(361)
第六节 秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩与造山运动终结	(363)
一、环斑花岗岩的时代滞后造山带主造山的峰期	(364)
二、岩体形态产状显示后造山特征	(365)
三、环斑花岗岩与碱性岩、碱性(A型)花岗岩产在同一构造带中	(365)
四、岩石地球化学的判据为后造山环境	(365)
五、秦岭-昆仑造山带的环斑花岗岩属高钾花岗岩	(366)
六、稀土元素Eu的变化	(367)
七、环斑花岗岩是造山旋回终结的岩石学标志	(367)
八、中元古宙鹰峰环斑花岗岩的形成构造环境	(368)
第七节 环斑花岗岩的分类与地壳生长	(369)
一、环斑花岗岩的分类意见	(369)
二、环斑花岗岩与地壳增长	(371)
三、造山型环斑花岗岩研究的意义	(371)
第九节 结语	(372)
第五章 东昆仑花岗岩带的时空结构、特征及岩浆底侵作用 and 混合作用	(393)
第一节 区域地质背景、岩石圈结构及花岗岩的时空分布	(393)
一、区域地质背景	(393)
二、岩石圈结构	(395)
三、花岗岩的时空结构	(396)
第二节 东昆仑造山带东段花岗岩的特征	(406)
一、东昆仑东段花岗岩的地质特征	(406)
二、东昆仑东段花岗岩的分类	(407)
三、东昆仑东段花岗岩类的岩石学特征	(407)
四、东昆仑东段花岗岩中主要造岩矿物的特征	(412)
五、东昆仑东段花岗岩的地球化学	(421)
第三节 东昆仑造山带西段祁漫塔格地区花岗岩特征	(436)
一、地质背景及花岗岩的地质特征	(437)
二、花岗岩的分类及岩石矿物学特征	(437)
三、东昆仑西段花岗岩类的地球化学	(454)
第四节 东昆仑造山带的岩浆混合作用和岩浆底侵作用	(466)
一、东昆仑造山带的岩浆混合作用	(466)
二、岩浆底侵作用	(479)
第五节 东昆仑造山带花岗岩的成因	(484)

一、花岗岩形成的构造环境	(484)
二、东昆仑造山带花岗岩类岩石的成因类型	(488)
第六节 东昆仑造山带的造山旋回及地壳生长	(489)
一、东昆仑造山带前寒武纪基底的性质	(489)
二、东昆仑早古生代造山旋回	(492)
三、东昆仑带晚古生代—早中生代造山旋回	(493)
四、东昆仑带晚中生代—新生代造山作用	(495)
五、东昆仑造山带显生宙地壳生长	(495)
第七节 结论	(497)
第六章 花岗岩类与大陆地壳生长初探——从中国几个造山带花岗岩类岩石的形成 角度看	(504)
第一节 玄武质岩浆底侵作用与大量壳源花岗岩/流纹岩岩浆的形成	(505)
一、玄武质岩浆底侵作用的主要证据	(505)
二、玄武质岩浆底侵对大陆地壳加热的热模拟	(505)
三、大陆地壳自身构造加厚条件下的热模拟	(507)
四、小结	(509)
第二节 壳幔相互作用在大陆地壳生长和花岗岩类形成过程中的意义	(509)
一、花岗岩类形成的端元岩浆：源区与难熔残余	(509)
二、几个造山带的火成岩构造组合的壳幔相互作用以及大陆地壳生长	(511)
三、壳幔相互作用中的岩浆混合作用与同化分离结晶作用	(514)
四、小结	(519)
第三节 大陆地壳的形成与演化及其成熟度	(520)
第四节 下地壳的拆沉作用	(522)
一、拆沉作用的必要条件和效应	(522)
二、造山带下地壳的拆沉作用	(523)
第五节 大陆地壳的生长方式与类型	(523)
一、阿尔泰式成熟的岛弧或成熟的大陆边缘（靠洋一侧）陆壳	(523)
二、东昆仑式成熟大陆边缘弧（包括从向洋一侧→向陆一侧的完整的大陆边缘弧）陆壳	(526)
三、东北式成熟的大陆边缘弧（具时间上的明显的组成极性）的陆壳	(526)
四、华北燕山式改造太古宙陆壳的新生（J-K）再改造陆壳	(527)
五、南岭式陆内俯冲型再改造的新生陆壳	(527)
第六节 讨论	(527)

第一章 华南过铝花岗岩与陆壳生长演化

第一节 区域地质背景

本书研究的华南过铝花岗岩限于政和-大埔断裂以西、九万大山-十万大山以东、江南古陆（含江南古陆）以南、三亚以北的广大地区，地理坐标为北纬 $18^{\circ} \sim 30^{\circ}30'$ ，东经 $106^{\circ}30' \sim 120^{\circ}$ ，面积约 90 万 km^2 。

研究区包括扬子和华夏两大古板块及其结合带，地壳组成和结构十分复杂。扬子陆块内部三元结构十分明显，下部结晶基底主要分布于鄂西等地，以崆岭杂岩为代表，经历了高角闪岩相—低麻粒岩相变质作用，主体为 TTG 岩套或灰色片麻岩，时代为太古宙；变质表壳岩为一套古元古代的孔兹岩系；结晶岩系和变质表壳岩之间为韧性剪切带接触。变质褶皱基底在区内分布较广，下部以四堡群为代表，时代为中元古代，在扬子陆块东缘以出现大量的科马提岩为典型特征；上部以板溪群为代表，形成于新元古代，与下部褶皱基底呈明显的角度不整合接触关系。震旦纪—中三叠世，扬子陆块区地层发育较全，除江南地区在不同时期形成了一些类复理石或复理石建造外，大部属稳定型碎屑岩、碳酸盐岩建造。侏罗纪—新生代，扬子陆块区主体为陆相沉积。华夏陆块是中国古陆块群中组成和结构最为复杂、岩浆再造最为强烈的大地构造单元，在长期的地壳演化过程中，发育不同阶段各具特色的（火山）沉积—（变质）建造：新太古代—古元古代地层出露于武夷山一带，是一套中深变质岩，原岩以砂泥质岩为主夹基性、中酸性火山岩；中元古代地层广泛出露于武夷—云开及赣中—海南地区，前者原岩以碎屑岩为主夹中酸性火山岩，后者原岩以中基性火山岩为主，都遭受了中深变质；晚元古代地层为一套（中）浅变质的类复理石建造，局部夹有较多火山岩；震旦纪—早古生代地层主要为浅变质类复理石建造，局部为浅变质火山岩系；晚古生代—中三叠世地层主要为浅变质类复理石建造、碎屑岩建造、碳酸盐岩建造、硅质岩建造夹浅变质火山岩系，其中海南地区早三叠世已是陆相沉积；华夏晚三叠世—新生代地层以陆相盆地火山—沉积物为主，局部有海湾—潟湖相沉积。

区内侵入岩非常发育，约占总面积的 20% 左右绝大多数为花岗岩类。可划分为元古宙、加里东期、海西—印支期、燕山期等四期（图 1-1）。其中以燕山期花岗岩出露面积最大，约占 72%，其次为海西—印支期（约 13%）和加里东期（约 11.5%）。成因类型主要为壳源重熔型（C 型）、壳幔混合型（H 型）、A 型。

本区有色、稀有、稀土和贵金属矿产十分丰富，是世界上有色、稀有矿床最集中的产地。西北部为扬子成矿域，东南部为华南成矿域。具体划分为 4 条成矿带：上扬子汞—锑—金—铅—锌成矿带、江南地块金—锑—钨—铅—锌—锡成矿带、湘粤桂赣琼钨—锡—稀土—铀—铅—锌成矿带、右江铅—锌—金—银—锑—锡成矿带。

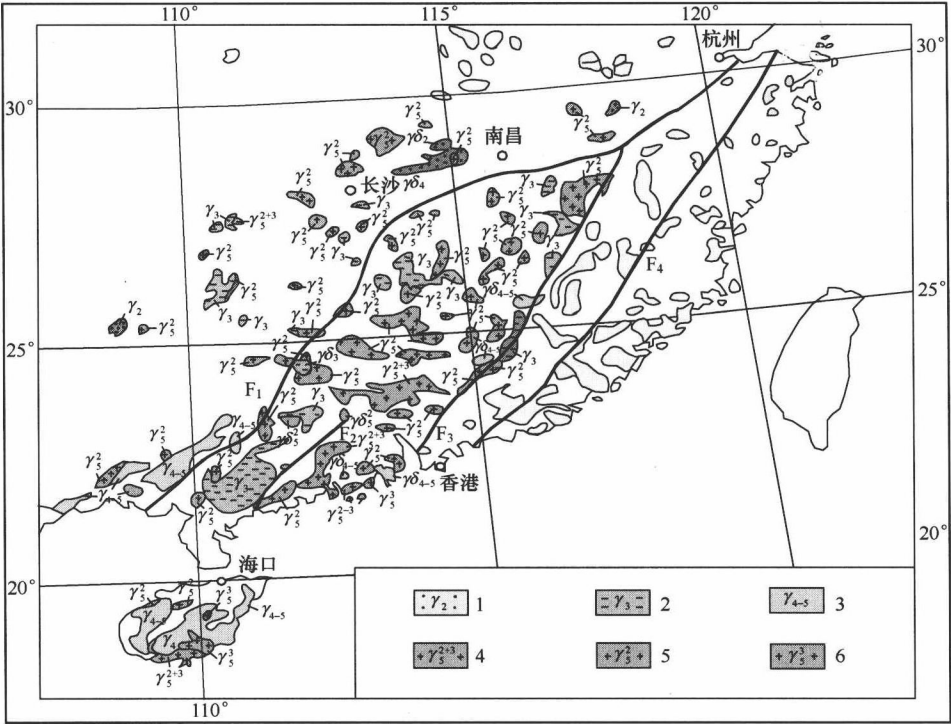


图 1-1 华南各时代花岗岩类空间分布略图

1—元古宙花岗岩；2—加里东期花岗岩；3—海西-印支期花岗岩；4—燕山期花岗岩；5—早燕山期花岗岩；6—晚燕山期花岗岩；F₁—绍兴-江山-萍乡-郴州-北海断裂；F₂—吴川-四会断裂；F₃—邵武-河源断裂；F₄—丽水-政和-大埔-海丰断裂

第二节 华南过铝花岗岩及相关侵入岩的年代 框架与构造-岩浆旋回划分

通过本次对九岭新元古代花岗岩、云开加里东期花岗岩、海南琼中地区海西-印支期花岗岩、九嶷山-骑田岭燕山期花岗岩的详细地质调研和高精度同位素测年，结合华南其他地区过铝花岗岩及相关岩石的地质与同位素年代资料，初步建立华南过铝花岗岩及相关侵入岩的精确年代框架（表 1-1），再根据侵入岩类与构造运动的相互关系，划分为吕梁期、四堡期、晋宁期、加里东期、海西-印支期、燕山期等 6 个构造-岩浆期。

吕梁期（古元古代）花岗岩类出露很少，见有浙西南淡竹、花桥花岗闪长岩体（同位素年龄 1837 ~ 2059 Ma；王银喜等，1992；甘晓春等，1995）、闽西北上坪超单元片麻状石英闪长岩-英云闪长岩（锆石蒸发法 Pb - Pb 年龄 (1714 ± 20) Ma，福建地勘局，1998）和赣南安远县片麻状花岗岩（锆石蒸发法 Pb - Pb 年龄 (1848 ± 20) Ma 和 (1776 ± 20) Ma，刘邦秀，私人通信），属准铝-过铝钙碱性岩。

四堡期（中元古代）花岗岩目前仅见于琼西地区，面积小于 100 km²。岩性为片麻状似斑状黑云母二长花岗岩及片麻状（含斑）黑云母钾长花岗岩，锆石蒸发法 Pb - Pb 年龄

表 1-1 华南过铝花岗岩及相关侵入岩构造-岩浆事件序列表

代	纪	地质年龄 Ma	构造 期	构造环境	侵入岩（及共生火山岩）组合	同位素 年龄/Ma
新生代	第三纪		喜马拉雅期			
中生代	白垩纪	65	燕山期	大陆裂谷	A 型及壳源、壳幔混合花岗岩，双峰式火山岩	130 ~ 80
				+ 弧后	花岗斑岩脉、花岗岩小岩体、碱性岩	145 ~ 137
	侏罗纪	145		裂解陆缘（裂谷）	壳幔混合型及 A 型花岗岩，双峰式火山岩	165 ~ 151
					双峰式火山岩、A 型花岗岩、壳幔混合花岗闪长斑岩	180 ~ 170
	三叠纪	200	印支期— 华力西期	后造山	壳源（准铝-强过铝）、壳幔混合花岗岩、A 型花岗岩，拉斑系列镁铁质岩，强过铝流纹岩	250 ~ 210
晚古生代	二叠纪	251		后碰撞	壳源（强过铝）、壳幔混合花岗岩，钾玄质、高钾钙碱性镁铁质侵入岩	278 ~ 250
				同碰撞	准铝-强过铝壳幔混合花岗岩	290 ~ 278
				岛弧	高钾钙碱性辉长岩、闪长岩、石英闪长岩-英云闪长岩-花岗闪长岩	315 ~ 290
	石炭纪	299				
	泥盆纪	359				
早古生代	志留纪	416	加里东期	俯冲-碰撞造山-后造山	眼球状花岗岩、环斑状花岗岩、紫苏花岗岩、二云母花岗岩、含石榴花岗岩、角闪黑云母花岗闪长岩-二长花岗岩，镁铁质侵入岩	510 ~ 395
	奥陶纪	444				
	寒武纪	488				
	震旦纪	542				
新元古代		680				
	南华纪			大陆裂解	钙碱花岗岩-流纹岩，镁铁质岩	785 ~ 745
	青白口纪	820	晋宁期	后碰撞-后造山	强过铝花岗闪长岩及花岗岩、高铝 TTG，镁铁质侵入岩，双峰式火山岩	831 ~ 800
中元古代	蓟县纪	1000		板块俯冲	中酸性岩（含埃达克质花岗岩）	1050 ~ 870
	长城纪	1400	四堡期	碰撞拼贴	壳源强过铝花岗岩	1457 ~ 1407
古元古代		1800	吕梁期		石英闪长岩-花岗岩闪长岩、花岗岩	2058 ~ 1776
新太古代		2500				

为 (1407 ± 20) Ma 及锆石 U-Pb 上交点年龄为 $1457 \pm {}^{84}_{66}$ Ma (马大铨等, 1998), 锆石 SHRIMP 年龄为 (1436 ± 7) Ma 和 (1431 ± 5) Ma (Li et al., 2002), 属强过铝钙碱性花岗岩。

区内晋宁造山期时(中元古末—新元古代), 1050 ~ 870 Ma 的岩体出露较少, 目前仅在赣东北见西湾埃达克质花岗岩(锆石 SHRIMP 年龄 968 ± 23 Ma, Li W X, 2003), 浙江江山见有石英闪长岩(颗粒锆石 U-Pb 稀释法年龄 924 ± 23 Ma, 董传万等, 2005)^①, 闽西北浦城—建阳、闽西南上杭、闽东福清见片麻状似斑状黑云母二长花岗岩—正长花岗岩(锆石蒸发法 Pb-Pb 年龄分别为 906、865、796 Ma, 福建地勘局, 1998), 江西安远见片麻状花岗岩(锆石蒸发法 Pb-Pb 年龄 (996 ± 29) Ma, 刘邦秀, 私人通信)。此外, 在浙北见双溪坞群酸性火山岩(锆石 SHRIMP 年龄 887 Ma, 王剑, 2000)。但是, 目前已获得了大量该时期的残留(捕获)锆石年龄, 如皖南岩带继承锆石 SHRIMP 年龄为 (877 ± 9) Ma ~ (892 ± 14) Ma (吴荣新等, 2004), 我们在九嶷山—骑田岭地区花岗岩体大量具有岩浆成因特征(自形、有结晶环带、较高的 Th/U 比)的残留锆石获得 SHRIMP 年龄为 900 ~ 970 Ma, 九岭花岗岩体中具岩浆成因特征的残留锆石获得 SHRIMP 年龄为 869 ~ 896 Ma (个别为 955 Ma), 云开地区加里东花岗岩获得大量 850 ~ 1050 Ma 残留锆石 SHRIMP 年龄; 十万大山—大容山海西—印支期花岗岩也获得了较多 1000 Ma 左右的残留锆石 SHRIMP 年龄。所以, 1050 ~ 870 (或 850) Ma 间的岩浆侵入活动, 可能沿武夷—云开及九岭—九嶷山两带展布, 并可能在大容山一带会合, 但该时期具有精确年龄依据的岩浆岩地质实体出露较少, 目前只有浙北双溪坞群火山岩及赣东北西湾埃达克质花岗岩, 其余的或者并无精确年龄及地质依据, 或者虽获得了较准确的捕获岩浆锆石年龄但无相应的岩浆岩体在地表出露。

831 ~ 800 Ma 的花岗岩体出露较多, 如江西九岭—皖南岩带及桂北的本洞、三防、元宝山等岩体。其中九岭岩体锆石 SHRIMP 年龄为 831 ~ 818 Ma (Li X H, 2003; 钟玉芳, 2004); 本洞、三防和元宝山岩体锆石 SHRIMP 年龄为 820 ~ 825 Ma (李献华, 1999); 皖南歙县、休宁、许村岩体的锆石 SHRIMP 年龄为 815 ~ 823 Ma (吴荣新等, 2005)。从上述年龄结果看, 830 ~ 815 Ma 时在江西九岭—皖南、桂北九万大山地区存在较强的花岗岩浆活动是无疑的, 且普遍属强过铝钙碱性岩类(同时包括含堇青石花岗岩和含白云母花岗岩两类), 并在幕阜山西南侧见有高铝 TTG, 与邻区宜昌黄陵的新元古代高铝 TTG (马大铨等, 2002) 相似。

785 ~ 745 Ma 时区内主要出露了镁铁质—超镁铁质岩和双峰式火山岩, 尚未见花岗岩体出露。但邻区如宜昌黄陵、四川康定等地有该时期花岗岩发育。

华南加里东期花岗岩不少都有确切的地质依据, 如白马山、彭公庙、万洋山、苗儿山、越城岭、雪花顶、海洋山、上犹、七星岩等岩体, 它们侵入寒武系、奥陶系甚至志留系, 又被中或下泥盆统不整合覆盖。并且有不少岩体所测定的同位素年龄也与地质依据相吻合。但云开地区的加里东期花岗岩在形成时代的归属上有过较大反复。早先曾普遍认为是早加里东期(Z—Є或Є—O₂)的混合岩—混合花岗岩(莫柱孙等, 1980; 地矿部南岭项

① 董传万等. 浙江江山石英闪长岩体的锆石 U-Pb 年龄与岩石地球化学. 杭州, 2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要. 155 ~ 156.