

中国地质调查局

《中国花岗岩重大地质问题研究》项目成果之一

项目编号: 200113900018

花岗岩研究思维与方法

中国地质调查局花岗岩地质研究室

肖庆辉 邓晋福 马大铨 洪大卫 莫宣学 卢欣祥 等著
李志昌 汪雄武 马昌前 吴福元 罗照华 王 涛

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书敏锐地抓住当代地质科学发展的前沿方向,紧密结合新一轮区域地质大调查的要求,根据花岗岩动力学和大陆地壳生长研究的新思维和新方法,系统地论述了花岗岩的构造环境判别方法,岩浆混合作用的识别与研究方法,花岗岩研究的同位素地球化学方法、同位素定年方法,花岗岩体定位机制,岩浆动力学过程模拟,以及成矿作用等等;同时对中国花岗岩的重大基础问题进行了专题研究;讨论了火成岩的分类命名及相关术语和名词的真正内涵。

本书可供从事全国区域地质大调查工作的科研、生产人员,花岗岩地质研究人员,以及有关大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

花岗岩研究思维与方法:中国地质调查局《中国花岗岩重大基础研究》项目
成果/肖庆辉等著;中国地质调查局花岗岩地质研究室.-北京:地质出版社,
2002.4

ISBN-7-116-03536-2

I. 花... II. ①肖...②中... III. 花岗岩-研究
IV. P588.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002)第 021430 号

责任编辑:张义勋 郁秀荣 李光岑

责任校对:黄苏晔

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)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.25

字 数:465 千字

印 数:1—1200 册

版 次:2002 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价:48.00 元

ISBN 7-116-03536-2/P·2254

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

随着科学技术的发展,现代地质学的研究正以前所未有的深度和广度发生着革命性的变化,地质学家传统的思维方式将有很大的改变。中国地质调查局花岗岩地质研究室在宜昌举办的花岗岩地质调查与研究高级研讨班,敏锐地抓住了当代地质科学发展的前沿方向,在火成岩分类命名、花岗岩构造环境判别、岩浆混合作用、构造-岩浆序列判别、定位机制、岩浆动力学过程模拟、成矿作用等方面进行了全面的研讨。会议开得非常及时,对于提高我国花岗岩研究水平,促进基础地学服务于经济建设和社会可持续发展具有重要意义。这个研讨班吸引了国内一流的地学工作者踊跃参加,其研讨范围和规模都达到了一定的水平,许多同志认为这是地学研究兴旺发达的重要标志之一。

岩石圈是构成人类生存环境的四大层圈之一。岩石学是研究岩石圈物质构成和运动过程的重要基础学科。花岗岩研究是岩石学的重要方面,是人类了解地球深部信息的有效探针。迄今,人类对花岗岩的研究已有相当悠久的历史,经典花岗岩理论在近代地质史中有着举足轻重的重要作用。到 20 世纪上半叶,魏格纳(Wegner)的大陆漂移理论开始极大地影响了花岗岩成因的岩石学理论体系。20 世纪 60 年代兴起的板块构造革命,又给予了岩石学全新的概念,人类的认识深入到岩浆的初始物质来源、岩浆形成过程、成岩温压条件和所处大地构造环境等。现代实验、模拟手段使人们可以更加直接和精确地了解岩石的矿物组成、物理化学、同位素、稀有和稀土元素构成等细节,研究视野从传统岩石学发展到壳-幔作用过程。1983 年,美国 NASA 成立了地球系统科学委员会,将地球作为一个不同组分之间相互作用的过渡系统加以研究,知识领域大大拓宽,视点也扩展到与将来的地球环境和行为相关的全球变化,代表了人类对岩浆乃至地球起源研究的新阶段的开始。到 20 世纪 90 年代,板块构造理论从岩石圈板块的运移及其地质影响,转变为地幔对流的作用力和流体作用等全球地质作用。随着空间技术的进步,人类对岩浆作用的认识将在本质上进一步提升。中国花岗岩类型多样,特色鲜明,时空分布广泛,形成环境复杂,在全球地

质研究中占有举足轻重的地位。新中国成立以后,特别是改革开放以来,中国花岗岩研究有了飞跃的发展,不仅完成了超过全国陆地面积 72% 的 1:20 万区域地质调查,还出版了大量的专题性和区域性总结,积累了丰富的资料,研究水平也有了很大的提高。但是,不容忽视的是,我国花岗岩研究的总体水平、区域调查工作中花岗岩地区调查与研究的结合还是不尽如人意的,特别是花岗岩地质调查思路和方法,与国际先进水平相比仍有相当大的差距,与我国这样一个花岗岩大国的地位极不相称,阻碍了当前对花岗岩地质调查的顺利开展。希望借此次以花岗岩研究思维和方法为主题的研讨班的东风,能在地质调查和研究工作的思维和方法上迈上一个新台阶。花岗岩地质调查和研究工作要多学科协作攻关,在各课题研究成果基础上不断综合,发现和解决关键科技问题。

本书汇集了这次研讨班讲课的主要内容,该书的出版将促进我国花岗岩地质调查和研究工作向更高的层次不断发展。

中国地质调查局副局长

张洪涛

2002 年 2 月

前 言

20 世纪 90 年代以来,受大陆动力学及大量高新实验测试技术与先进研究方法的推动,新的花岗岩研究思潮又悄然来临。它使花岗岩地质研究从过去以岩体岩相学为主的研究阶段,逐渐转入到从构造和地球化学方法入手,以壳-幔相互作用为突破口,探索花岗岩带形成演化及其动力学的新阶段。近几年来,围绕壳-幔相互作用探索花岗岩动力学和大陆地壳生长问题的国际会议频繁召开,如:1997 年 3 月在法国召开了“碰撞后岩浆作用”会议;1998 年 8 月在巴西召开了“花岗岩:地壳演化与相关矿产”会议;1999 年在法国召开了“花岗岩与有关岩石学”会议以及在加拿大举行的“地壳生长中的构造作用和岩浆作用”研讨会。因此,从大陆生长及大陆动力学的视角进行花岗岩地质研究已经成为国际地学研究的重大前沿。围绕这一重大前沿问题,当今国际花岗岩地质研究,不仅花岗岩区域地质调查的内容发生了很大变化,而且其研究思维和方法也正在不断发展和更新,能否抓住这个机遇,使我国花岗岩研究迈上一个新台阶是对我国花岗岩地质学家的严峻考验。

虽然我国的花岗岩研究在 1:20 万和 1:5 万区域地质调查中取得了丰硕成果,在地质调查方法方面也做了重大改进,但由于种种原因,我国花岗岩研究至今基本上仍停留在岩体岩性调查阶段,与当今国际先进水平差距甚大。究其原因,主要是我国地质调查和研究人员的知识结构、研究思维和方法难于适应当前新一轮地质大调查的需要,特别是这场围绕花岗岩动力学和大陆地壳生长的新的花岗岩研究思潮的到来,要求花岗岩地质调查和研究工作需要更新思维和方法,不然,将严重影响新一代我国花岗岩地质调查成果的质量和研究队伍的成長。为此,在中国地质调查局直接领导下,在宜昌地质矿产研究所支持下,中国地质调查局花岗岩地质研究室于 2001 年 11 月在宜昌市召开了中国花岗岩地质调查和研究的高级研讨班。研讨班以花岗岩研究思维和方法为主题,邀请了 9 位不同学科的专家讲课(他们是肖庆辉、邓晋福、马大铨、洪大卫、莫宣学、李志

昌、卢欣祥、马昌前、王涛),来自 40 多个单位近 130 名花岗岩学者听了讲课,并参加了学术交流,其中 20 多位来自不同部门的学者交流了自己的最新成果和认识,受到了好评,本书就是这些老师讲课内容和部分交流文章的汇集。

本书是中国地质调查局花岗岩地质研究室专家组和部分学员共同研究的集体成果。参加撰写的人员来自全国 9 个单位,他们是宜昌地质矿产研究所、中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)、中国地质科学院地质研究所、吉林大学、国土资源部信息中心、南京地质矿产研究所、河南省地质调查院、广东省地质调查院、黑龙江省地质调查总院齐齐哈尔分院等。本书的写作分工是:第一章邓晋福、肖庆辉;第二章肖庆辉、卢欣祥;第三章莫宣学、罗照华、肖庆辉、喻学惠、刘成东、赵志丹、周肃;第四章洪大卫、谢锡林、张季生;第五章李志昌;第六章邓晋福、汪洋、赵海玲、肖庆辉、邱瑞照、苏尚国、赵国春、吴宗絮、李凯明、刘翠;第七章王涛;第八章马昌前;第九章吴福元、葛文春、孙德有;第十章卢欣祥、肖庆辉、尉向东、董有、于在平;第十一章罗照华、马大铨、庄文明、姜耀辉、张昱、汪雄武、谢才富等;第十二章汪雄武、王晓地;第十三章肖庆辉、邓晋福、马大铨、洪大卫、莫宣学、卢欣祥等。

本书各章内容紧密结合新一轮区调工作的要求,前后有序,各有重点。

第一章 火成岩的分类命名及相关术语和名词。旨在从分类命名与相关术语名词的历史沿革入手,讨论有关术语、名词的真正内涵,现今通用的名词与历史上的差异,现今多种分类方案及其内涵等,以使区调工作在同国内外学术交流中有更多的共同语言。

第二章 花岗岩构造环境判别方法。区调工作需要通过花岗岩来厘定构造环境,同时这亦是当代花岗岩研究的前沿之一。本章通过对目前应用最广的 Pearce 花岗岩构造环境判别的评述,提出不能单纯依靠地球化学图解来判别构造环境,而要从区域构造的研究入手,紧密结合岩石学、矿物学和地球化学的研究,才能有效地判别构造环境,由此介绍了两种较好的方法。本章还着重讨论了后碰撞(post-collision)构造的当今内涵及其识别标志。它对中國大陸花岗岩研究具有特别重要的意义,因为后碰撞环境的花岗岩在中国的分布十分广泛。

第三章 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的识别与研究方法。由于长期以来受岩浆结晶分离作用模式的统治,对于岩浆混合作用的重要意义认识不足。

本章详细介绍了岩浆混合作用在野外宏观露头 and 室内岩石学、矿物学、地球化学上的识别标志,并指出通过岩浆混合作用的研究,可对壳-幔相互作用、大陆地壳生长的方式和成因等提供重要途径。

第四章 花岗岩研究的同位素地球化学方法——以华南花岗岩为例。近几十年来,由于应用同位素地球化学方法,使花岗岩研究获得了长足进步,尤其是对于花岗岩源区的性质、源区从地幔中分离出来的年龄、壳-幔相互作用等重大问题提供了新途径。与一般地球化学论文不同,本章以华南花岗岩为例,紧密结合区域构造、变质基底时空展布、区域成矿规律、区域地球物理场等,对于如何抽取以 Sr-Nd-Pb 同位素示踪系统中的成因信息进行了详细论述,讨论了中下地壳的组成、性质和演化,地壳物质的再循环在陆壳演化中的重大意义。由此,从陆壳的深部尺度的视角讨论了华南大地构造的演化及其相关的重大地质构造问题。

第五章 花岗岩同位素定年方法。作为第四章的姊妹篇,本章侧重于方法的论述,详细论述了同位素定年方法和示踪系统的基本原理,从野外如何取样,如何辨认假等时线,每种同位素体系所适用的对象、范围等做了详细讨论。这些,对于新一轮区调工作的正确实施有重要意义。

第六章 岩浆-构造-热事件序列 pTt 轨迹与造山-深部过程。它是对造山带研究的新思路。地质事件序列的厘定是区调工作的一项最基本内容,把花岗岩的形成及其组合含义放入整个区域构造演化的框架内,才能真正弄清花岗岩形成的构造环境。本章提出,把变质作用 pTt 轨迹看作造山-深部过程的岩石学记录;把岩浆-构造-热事件序列反演的 pTt 轨迹看作造山-深部过程的地质学记录;两者在地区上和深度上可呈互补性,最终可为三维空间内造山过程和深部过程提供有效途径。

第七章 花岗岩体定位机制研究。这是区调中花岗岩体填图和研究的一个重要内容。本章对若干流行的定位机制进行了评述,并提出了“复合定位机制”的新思路。通过若干典型岩体的解析,从野外填图方法直至室内研究的方法进行了详细论述,进而提供岩体生长方式、形成过程和区域构造运动学图案。

第八章 数值岩石学:从岩石化学计算到岩浆动力学过程模拟。它代表了当今把花岗岩研究引向定量化的一个重要前沿方向。本章对其原理、方法、途径进

行了详细论述,侧重于主元素、微量元素和同位素,直至岩浆动力学过程的模拟。

第九章 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义。埃达克岩是最近几年才被人们认识的、具有独特的地球化学特点和构造背景的岩石。已引起国内外关注,本章阐述了埃达克岩概念、识别标志及其地质意义。

第十章 秦岭造山带花岗岩及其成矿作用。以秦岭为例,通过地质学、岩石学、微量元素和同位素地球化学、矿床学和找矿实践,详细论述了3个类型的花岗岩及其成矿作用,即浅源深成型、深源浅成型和深源深成型的主要特征、识别标志及其成矿专属性。

第十一章 花岗岩浆作用与区域岩石学。本章拟从岩浆作用的基本要素出发,通过几个具体的地质问题,探讨花岗质岩石分布区的工作思路与方法。作为典型实例,在区调工作中具有重要的示范意义。

第十二章 花岗岩类岩浆作用与成矿流体。本章主要侧重于岩浆作用与成矿流体的形成、性质和演化的论述,作为一个中间过程,它把岩浆作用与成矿作用的成生关系连接起来。

第十三章 中国花岗岩重大基础问题研究。简述了结合新一轮区调工作的进行,将把花岗岩的研究置于大陆地壳生长的框架内。大陆地壳生长中两种极端的方式是,从地幔中分离出新生的(juvenile)地壳物质和由已生成的地壳自身的再循环(recycling)形成的再生地壳物质。大陆地壳又常常是这两种极端类型的不同比例的混合。作为这一轮研究的开始,提出中国大陆内5个典型区段的研究方案。

本书在写作过程中,得到原中国地质调查局叶天竺局长、张洪涛副局长、王宝良副总工程师、庄育勋副主任、于庆文处长、刘凤山处长、陈克强教授、高振家教授,宜昌地质矿产研究所副所长李金发、副所长彭轩明,国土资源部信息中心资源科技室主任刘树臣、副主任施俊法,以及中国地质调查局实物资料馆马君高级工程师等同志指导和帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

肖庆辉 邓晋福

目 录

序

前 言

第一章 火成岩的分类命名及相关术语和名词	(1)
一、岩类学 (或岩相学) (Petrography)	(1)
二、化学参数	(2)
三、岩石相平衡 (Petrological phase equilibrium)	(3)
四、火成岩系列 (Igneous rock series)	(4)
五、与构造环境有关的花岗岩类	(8)
六、与大陆碰撞有关的名词术语	(9)
第二章 花岗岩构造环境判别方法	(12)
第一节 巴尔巴林 (Barbarin) 的构造环境判别方法	(12)
一、花岗岩类类型的划分和它所代表的构造环境	(12)
二、不同类型花岗岩类的矿物学、岩石学判别特征	(13)
三、不同类型花岗岩类的化学和岩浆来源的判别标准	(15)
四、花岗岩类类型与地球动力学环境的关系	(17)
五、巴尔巴林的花岗岩类类型与其他岩石成因分类的关系	(19)
第二节 Maniar 和 Piccoli 的五组图解判别构造环境的方法	(21)
一、花岗岩构造环境类型划分	(21)
二、构造环境的判别流程及其判别方法	(22)
三、判别图解时应注意的几个问题	(27)
四、用本方法判别花岗岩构造环境的实例	(28)
第三节 后碰撞 (post-collision) 构造环境及其识别标志	(30)
一、后碰撞 (post-collision) 构造环境及相关术语的定义	(30)
二、后碰撞花岗岩的判别标志	(32)
三、后碰撞花岗岩的实例	(33)
第四节 后碰撞强过铝 (SP) 花岗岩的构造环境及其判别标志	(36)
一、强过铝 (SP) 花岗岩的定义及基本特征	(36)
二、SP 花岗岩的构造环境	(37)
三、后碰撞强过铝花岗岩的类型	(37)
四、后碰撞 SP 花岗岩的化学成分特征	(39)
五、如何判断后碰撞 SP 花岗岩源区的成分和形成温度	(41)
六、两种主要类型过铝花岗岩类的判别标准及其成因	(45)
第五节 讨论	(50)
第三章 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的识别与研究方法	(53)
一、引言	(53)
二、花岗岩体中包体的类型	(53)

三、镁铁质微粒包体的宏观特征及其成因解释	(54)
四、镁铁质微粒包体显微结构构造中的成因信息	(56)
五、花岗岩类岩石中岩浆混合作用的岩石化学与地球化学标志	(58)
六、岩浆混合作用的控制因素	(61)
七、研究岩浆混合作用的意义	(63)
第四章 花岗岩研究的同位素地球化学方法——以华南花岗岩为例	(71)
一、引言	(71)
二、岩浆演化的同位素示踪体系	(71)
三、华南花岗岩的同位素地球化学和地壳演化	(79)
第五章 花岗岩同位素定年方法	(102)
第一节 Rb-Sr 法在花岗岩研究中的应用	(102)
第二节 U-Pb 法在花岗岩研究中的应用	(106)
第三节 K-Ar 法在花岗岩研究中的应用	(111)
第四节 花岗岩成因与大陆壳演化	(112)
第五节 岩体冷却史、抬升速率研究	(118)
第六章 岩浆-构造-热事件序列 pTt 轨迹与造山-深部过程	(121)
一、变质作用 pTt 轨迹：造山-深部过程的岩石学记录	(121)
二、岩浆-构造-热事件序列的 pTt 轨迹：造山-深部过程的地质学记录	(123)
三、讨论	(125)
第七章 花岗岩体定位机制研究	(128)
第一节 花岗岩体定位机制的主要类型及研究进展	(129)
第二节 复合定位机制	(130)
第三节 花岗岩体定位中三种最主要的机制——三元复合机制的端元机制	(131)
第四节 花岗岩体定位机制研究实例分析	(134)
一、灰池子岩体的复合定位机制及定位空间研究	(134)
二、Jackass Lakes 岩体	(139)
三、亚干变质核杂岩同构造花岗岩体的定位机制——伸展构造体制下的花岗岩主动定位	(140)
第五节 花岗岩体定位机制研究的内容、方法及应注意的问题	(142)
第六节 小结	(145)
第八章 数值岩石学：从岩石化学计算到岩浆动力学过程模拟	(148)
第一节 主要元素换算方法 ^[2]	(148)
一、重(质)量/重(质)量转换	(148)
二、重(质)量/摩尔量的转换	(149)
第二节 岩浆作用的地球化学模拟	(152)
一、主要元素的质量平衡计算	(152)
二、微量元素和同位素模拟	(153)
三、协变图解和岩石包体的成因意义	(154)
第三节 开放系统的岩浆动力学过程模拟综述	(156)
第四节 与花岗岩类有关的一些地质温压计	(159)
一、温度计	(159)
二、逸度计	(166)

三、压力计·····	(168)
第九章 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义 ·····	(172)
一、埃达克岩的概念·····	(172)
二、埃达克岩的识别·····	(173)
三、埃达克岩的岩浆源区特征及成因·····	(175)
四、关于埃达克岩的争议·····	(179)
五、埃达克岩提出的科学意义·····	(182)
六、中国东部晚燕山期“埃达克质岩”问题·····	(182)
七、结束语·····	(189)
第十章 秦岭造山带花岗岩及其成矿作用 ·····	(192)
第一节 研究现状·····	(192)
第二节 秦岭花岗岩的成因类型·····	(193)
第三节 秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用·····	(195)
第四节 浅源深成型花岗岩的成矿作用·····	(199)
一、“花岗岩型”金矿——产于花岗岩体内的金矿·····	(199)
二、产在花岗岩体外的金矿·····	(202)
第五节 构造演化对秦岭大型 Mo、W、Au 矿床形成机制的控制作用·····	(211)
第十一章 花岗岩浆作用与区域岩石学 ·····	(215)
第一节 岩浆作用的热力学基础·····	(215)
一、封闭体系·····	(216)
二、开放体系·····	(217)
三、元素地球化学·····	(218)
第二节 岩浆作用与侵入岩谱系单位·····	(219)
第三节 同源岩浆演化理论不能解释的若干现象·····	(220)
第四节 内蒙古苏尼特左旗东苏岩石系列的成因与演化·····	(222)
第五节 西昆仑造山带花岗岩岩石系列及成因类型·····	(226)
一、区域构造及花岗岩时空分布·····	(226)
二、花岗岩岩石系列·····	(227)
三、花岗岩成因类型·····	(230)
四、结论及意义·····	(231)
第六节 黄陵花岗岩基地质·····	(231)
一、区域地质背景·····	(231)
二、岩基内岩套、单元划分及其特征·····	(233)
三、岩石系列划分, 化学成分特点及演化趋势·····	(235)
四、稀土元素地球化学特征·····	(237)
五、副矿物组合特征·····	(240)
六、黄陵岩基的侵入和定位·····	(240)
七、存在问题·····	(243)
第七节 广东佛冈岩体的地质调查研究进展和问题讨论·····	(243)
一、主要进展·····	(244)
二、问题讨论·····	(246)

第八节	伊春地区晚印支期花岗岩类特征及成因探讨	(247)
一、	基本地质特征	(248)
二、	岩相学及岩石地球化学	(249)
三、	岩浆成因及演化	(252)
四、	关于构造-岩浆活动的背景讨论	(253)
第十二章	花岗岩类岩浆作用与成矿流体	(257)
第一节	与花岗岩岩浆活动有关的热液系统	(257)
第二节	亲花岗岩元素的富集和沉淀过程	(259)
一、	亲花岗岩元素的地球化学性质	(260)
二、	亲花岗岩元素的富集和沉淀过程	(262)
第三节	花岗岩及有关矿床的分类	(265)
第四节	花岗岩岩浆作用对成矿作用的控制	(270)
第十三章	中国花岗岩重大基础问题研究	(276)
第一节	华南过铝花岗岩与构造环境	(277)
第二节	秦岭-昆仑造山带造山型环斑花岗岩带及其构造环境	(280)
第三节	兴蒙造山带大规模的“幔源”(正 ϵ_{Nd} 值)花岗岩和显生宙大陆地壳生长	(282)
第四节	燕山造山带花岗岩与大陆地壳改造和生长	(284)
第五节	东昆仑造山带混源花岗岩及其调查方法研究	(288)

Contents

Preface	Zhang Hongtao
Introduction	Xiao Qinghui, Deng Jinfu
Chapter 1 About the classification of igneous rocks and related nomenclature and terminology	Deng Jinfu, Xiao Qinghui (1)
Chapter 2 Discrimination for tectonic setting of granitoids	Xiao Qinghui, Lu Xinxiang (12)
Chapter 3 Evidence of magma mixing in granitoids plutons and the way of investigation	Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui, Yu Xuehui, Liu Chengdong, Zhao Zhidan, Zhou Su (53)
Chapter 4 Isotopic geochemical approach to study granites — the case study of the granites in southern China	Hong Dawei, Xie Xilin, Zhang Jisheng (71)
Chapter 5 Isotopic dating method on granitoids	Li Zhichang (102)
Chapter 6 The pTt path of magmatic-tectonic-thermal event sequences and orogenic-deep processes ...	Deng Jinfu, Wang Yang, Zhao Hailing, Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Su Shangguo, Zhao Guochun, Wu Zongxu, Li Kaiming, Liu Cui (121)
Chapter 7 Studies on emplacement of granitic plutons	Wang Tao (128)
Chapter 8 Numerical petrology: from petrochemical calculation to magma dynamical modeling	Ma Changqian (148)
Chapter 9 The definition, discrimination of adakites and their geological role	Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou (172)
Chapter 10 The granitoids and metallogenesis in Qinling orogenic belt	Lu Xinxiang, Xiao Qinghui, Wei Xiangdong, Dong You, Yu Zaiping (192)
Chapter 11 Magmatism and regional petrology	Luo Zhaohua, Ma Daquan, Zhuang Wenming, Jiang Yaohui, Zhang Yu, Wang Xiongwu, Xie Caifu et al. (215)
Chapter 12 The granitoids and their metallogenic fluid	Wang Xiongwu, Wang Xiaodi (257)
Chapter 13 Future highlights of granitoids in China	Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, Hong Dawei, Mo Xuanxue, Lu Xinxiang et al. (276)

第一章 火成岩的分类命名及 相关术语和名词

由于火成岩分类命名和相关术语、名词的历史沿革，常常是同一个名词有不同的含义和内容，不同的作者用法不同。在国内，又由于“翻译”等问题，而增加了一层复杂性。加之东方语言与西方语言的差异，常常对某些术语产生不正确的理解，由于错误的理解还可能导致错误的结论^[1,2]，由此造成了一些不必要的混乱与误解，妨碍了正常的学术交流。本章旨在从分类命名与相关术语、名词的历史沿革，讨论有关术语、名词的真正内涵；现今通用的名词与历史上的差异；现今多种分类方案及其内涵等，希望能引起同行们的关注和进一步讨论，以便在学术交流中有更多的共同语言。

一、岩类学（或岩相学）（Petrography）

火成岩的分类命名建议采用 1989 年出版的国际地科联（IUGS）火成岩分类学委员会推荐的方案^[3]（于 1991 年出版中译本^[4]）。

syenogranite 在有的教科书中译为钾长花岗岩是不对的，在《英汉地质词典》中译为正长花岗岩是对的。“syeno”是词头，来自 syenite（正长岩），意指在 QAP 分类图解中，符合于正长岩的碱性长石（A）和斜长石（P）的比例的花岗岩叫 syenogranite。按中文含义，“钾长”词头意指钾长石，则为钾长花岗岩，就相当于 QAP 分类图解中的 2 区，即碱长花岗岩。另外，如再将这个中文词义翻译为英文时，就不是 syenogranite 了。在文献中还常见一种名词“正长闪长岩（syenodiorite）”，这是早年用过的术语，按 QAP 分类建议不再使用，因为在正长岩和闪长岩之间有一类岩石叫二长岩，所以，含有正长石的闪长岩应改为二长闪长岩（monzodiorite）。英文文献中的 granite（S.S.）为严格含义（in the strict sence，简写为 S.S.）或狭义的花岗岩，而 granitoid（花岗岩类）和 granitic rocks（花岗质岩石）为同义语，常指包括石英闪长岩到石英正长岩在内的一个广义的集合性的总称。

在火山岩的 TAS 分类中，需要注意 S1，S2，S3 和 T 区实际上应有两个岩石名称。即在 TAS 分类中确定一个总名称后，还要根据 $\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \leq$ 或 $\geq \text{K}_2\text{O}$ 的参数进一步确定名称，如在粗面安山岩区 trachyandesite（S3）实际包括歪长粗面岩（benmoreite）（ $\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$ ）和安粗岩（latite）（ $\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \leq \text{K}_2\text{O}$ ）两种岩石，这两种岩石常常出现于完全不同的构造环境中，如洋岛火山岩组合中发育歪长粗面岩，而造山带则发育安粗岩。因此，有时有些岩石名称本身就可以大体反映产出的构造背景。但许多文献中，包括博士论文和高级学术刊物中，常常只有粗面安山岩的总称。

pyrolite 一词，是由 Ringwood 于 1962 年提出的，用来表示熔出玄武质岩浆之前的原始上地幔岩石，用 pyroxene（辉石）+ olivine（橄榄石）的词头构成，所以，它不是一种真正的

实际的岩石名称。在国内文献的英文摘要或英译文中有时可见把上地幔岩石译为 pyrolite, 这是不对的, 它会引起国外读者的误解。

二、化学参数

(一) 以 SiO_2 为参考标准的参数

以硅酸盐组分为主的火成岩, SiO_2 含量最高, 所以常把它作为分类的基础。按 SiO_2 含量常把火成岩分为超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩。需要注意, 这里没有碱性岩的位置。有人把正长岩列入碱性岩类, 按 SiO_2 含量它们则属于中酸性岩类。辉石岩类在教科书中常常并入超基性岩类, 但按 SiO_2 含量, 它们不属于超基性岩类, 由于它们以铁镁矿物占绝对优势, 被称为超镁铁岩, 这样, 超基性岩与超镁铁岩不能完全划等号。同样, 苦橄玄武岩、碧玄岩常常并于玄武岩类, 但按 SiO_2 含量, 苦橄玄武岩和部分碧玄岩属于超基性岩类, 而不属于基性岩类。

火成岩矿物常可分成两组, 一组与石英共存, 称为饱和矿物, 如长石、辉石、角闪石、黑云母、铁橄榄石等; 另一组不与石英共存, 称为不饱和矿物, 如似长石、富镁橄榄石、富 Al、Ti 普通辉石。需要注意, 上述是指全晶质岩石, 相平衡实验表明, 岩浆在快速冷却条件下, 镁橄榄石和白榴石可与 SiO_2 过饱和的玻璃或石英共存。

Shand^[5] 按这两组矿物把 SiO_2 饱和度概念引入火成岩分类中, 过饱和 (over-saturated) 岩石含石英; 饱和岩石 (saturated) 不含石英, 亦不含不饱和矿物; 不饱和 (under-saturated) 岩石不含石英, 但含不饱和矿物, 包括含似长石的碱性岩与含橄榄石的全晶质岩石两大类。必须注意, 按 SiO_2 含量, SiO_2 饱和度和按矿物学 3 个标准分类的岩石之间不能完全精确地相互对应。例如, 辉长岩属于基性岩, 主要为 SiO_2 饱和类型, 但其中含橄榄石的变种属 SiO_2 不饱和类型, 而含石英的变种属过饱和类型。含似长石的碱性岩属不饱和类型, 但按 SiO_2 含量可分别属于超基性岩、基性岩和中性岩。含碱性暗色矿物的花岗岩, 广义上亦属于碱性岩类, 但按 SiO_2 含量属于酸性岩, 按饱和度属于过饱和类型。花岗岩由于含有多量的石英, 在碱升高的情况下, 是不可能出现似长石类碱性矿物的, 但可出现碱性暗色矿物。所以, 它与超基性岩、基性岩、中性岩类在碱性升高时常常出现似长石类碱性矿物的碱性岩不能精确地对应起来。可以看出, 碱性岩类不等于 SiO_2 不饱和岩类。又例如, 橄榄岩 SiO_2 低, 它属于不饱和类型, 有人就据此以为岩石 SiO_2 饱和度仅仅取决于 SiO_2 的含量, 这是一种错误的理解。因为, 不饱和类型中还有含似长石的碱性岩一类, 它们的 SiO_2 含量变化大 (从超基性直至中性)。对我们来说, 为了正确地使用名词和术语, 最重要的是要正确地了解不同标准规定下的分类, 有它们自己特定的含义与一套相应的名称。

(二) 以 Al_2O_3 为参考标准的参数

火成岩中除 SiO_2 含量之外, 另一个含量高的是 Al_2O_3 。Shand^[5] 仿照 SiO_2 饱和度的概念, 把 Al_2O_3 饱和度引入分类中。过铝质 (peraluminous) 为, $N(\text{Al}_2\text{O}_3) > N(\text{K}_2\text{O}) + N(\text{Na}_2\text{O}) +$

$N(\text{CaO})$ (或 $A/\text{CNK} > 1$) (N 为分子数)^①, 标准矿物中出现刚玉 (C), 特征矿物是原生白云母、黑云母、刚玉、电气石、黄玉、石榴子石、红柱石、堇青石。过碱质 (peralkaline) 为 $\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, 标准矿物中出现锥辉石、钠或钾硅酸盐, 特征矿物是霓石、霓辉石、钠闪石。请注意, 过铝质实质为铝过饱和, 过碱质实质为碱过饱和或铝不饱和, 但用 “per” 词头表示 “过”, 而不用以 SiO_2 为参考标准时对过饱和用的 “Over” 词头。偏铝质 (metaluminous) 为 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < \text{Al}_2\text{O}_3 < \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$, 标准矿物中以 An 为主。特征矿物是角闪石、黑云母、普通辉石、原生绿帘石。亚铝质 (subaluminous) 为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, 标准矿物中 An 少量, 特征矿物是辉石、橄榄石。

过碱质指碱质已超过构成长石和似长石所需要的数量, 而进入暗色矿物中, 所以, 碱性暗色矿物的出现表征岩石为过碱质。这样, 霞石、白榴石等似长石不是碱过饱和的矿物, 而是富碱、铝的 SiO_2 不饱和矿物。所以, “富” 与 “过饱和” 不能划等号。似长石一般称为强碱性矿物, 但它不是过碱性矿物, 所以, “强碱性” 与 “过碱性” 不能划等号, 它们是两个含义完全不同的名词。按矿物学而论, 霓石、霓辉石、钠闪石为碱性暗色矿物, 但它们可与石英共存, 而似长石亦为碱性矿物, 一般来说, 它们不能与石英共存。因此, 碱性矿物不等于 SiO_2 不饱和矿物。同理, 碱性岩不等于 SiO_2 不饱和的岩石。含似长石的碱性岩为 SiO_2 不饱和的岩石; 不含似长石, 但含碱性暗色矿物的碱性花岗岩类为 SiO_2 过饱和的岩石, 又是碱过饱和的岩石; 含碱性暗色矿物的, 又含似长石的碱性岩是 SiO_2 不饱和、碱过饱和的岩石。

三、岩石相平衡 (Petrological phase equilibrium)

subsolidus, 《英汉地质词典》常译为 “亚固相线”、“半固相线”、“准固相线”、“次固相线” 等, “sub” 这个词头, 除表示 “亚” “准” “次” “半” 含义之外, 还表示 “在 ... 下面”, “低于 ...” 的含义。在岩石相平衡研究中, solidus 为固相线, 指岩石开始发生局部熔融的 p - T - x (压力-温度-组成) 条件, 或者指岩浆结晶作用过程中残余岩浆最终消失之前一刹那的 p - T - x 条件。subsolidus 的正确含义是指在相平衡图解中, 低于固相线, 但邻近固相线的那一个区域的平衡状况。所以, 译为 “低于固相线” 更为确切。subsolvus, 在《英汉地质词典》中译为 “次熔线的”。在相平衡图解中, solvus 为不混熔线或固熔体分界曲线, 即指低于固相线的区域内矿物固熔体发生不混熔而分离为两个矿物相的 p - T - x 条件。“sub” 在这里仍然是 “在 ... 下面”, “低于 ...” 的含义。所以, subsolvus 理解为 “低于不混熔线” 更确切。

liquidus mineral 在很多教科书和科研报告、论文中常译为 “液相矿物”, 这是不对的, 应译为 “液相线矿物”。液相线一词 liquidus 由 liquid 加后缀 us 构成, 它与液体 (liquid) 是完全不同的两个概念。在岩石相平衡研究中, liquidus 指岩石熔融作用结束, 即固体全部转换为液体那一瞬间的 p - T - x 条件, 或者反过来说, 是岩浆刚刚开始发生结晶作用的 p - T - x 条件。而液体 (liquid) 是指物质的主要物理状态 (固、液、气) 中的液相性质。“液

① 过去习惯用分子式代表物理量, 按照国家新标准, 在分子式前应加入物理量符号 N , 用 N 代表分子数。