

埃达克岩和花岗岩： 挑战与机遇

Adakite and Granite:
Challenge and Opportunity

张旗 王焰
熊小林 李承东 著

埃达克岩是一个崭新的岩石类型，是20世纪末期最重要的学术进展之一；

花岗岩是一种古老而与人类息息相关的岩石，人们就居住在花岗岩上；

板块构造是现代地球科学占统治地位的理论；

埃达克岩是对花岗岩的挑战，花岗岩是对板块构造的挑战，创新思维是对传统文化的挑战



中国大地出版社

本书得到下述实验室和项目的资助:

印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用(2002CB412601)项目

中国科学院矿产资源研究重点实验室

国家自然科学基金重大研究计划(90714011)项目

中国科学院广州地球化学研究所“百人计划”启动基金

埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇

张 旗 王 焰 熊小林 李承东 著

中国大地出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇/张旗等著. —北京:
中国大地出版社,2008. 11

ISBN 978-7-80246-145-1

I. 埃… II. 张… III. 火成岩—研究 IV. P588. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 171460 号

责任编辑:胡建平

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话:010-82329127(发行部) 82329120(编辑部)

传 真:010-82329124

网 址:www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印 刷:北京大地印刷厂

开 本:889mm×1194mm 1/16

印 张:22.5

字 数:700 千字

版 次:2008 年 11 月第 1 版

印 次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1-2000 册

书 号:ISBN 978-7-80246-145-1/P·109

定 价:98.00 元

版权所有·侵权必究

谨将本书献给：

工作在地质、找矿和勘探第一线的地质人员和地学领域的年轻人。前者默默奉献，工作最辛苦，经验最丰富，最需要理论的哺育；后者思维最活跃，最富创新精神，是中国地质科学进步的希望。

楔子

了解埃达克岩研究在中国是怎样开始的？从中可以悟出什么？可能对于阅读本书是有益的，故在本书正文之前简要述之，是为楔子。

1 我们是怎样开始研究埃达克岩的

埃达克岩的第一篇文章是 Defant and Drummond (1990) 发表的，中国的埃达克岩研究 10 年之后才开始(王焰等, 2000; 王强等, 2000; Xu *et al.*, 2000)。但是，据作者了解，中国最早的埃达克岩文章是 1994 年发表在《海洋石油》杂志(第 5 期第 31 ~ 35 页)上的介绍菲律宾岛弧的短文(作者: F. G. Sajona, 译者: 方孝悌)。译者在文中将 adakite 译为“埃达克岩”，与后来的翻译不谋而合。

我大约在 1997 或 1998 年读到 Defant and Drummond (1990) 的文章，并且认同他们的见解。于是联想到古亚洲洋内应当保存许多洋内俯冲带，如果能够在古亚洲洋内找到埃达克岩，即表明存在洋内俯冲作用。后来发现陈斌等(1996)报道的内蒙古苏左旗白音宝力道花岗岩具有埃达克岩的特征，即把这一想法与当时正在攻读博士学位的王焰进行交流，请她注意，于是她看了一些文献，我们合作撰写了一篇短文(王焰等, 2000)，以白音宝力道为例，介绍埃达克岩的特征及其意义，目的只是希望引起国人的关注，并没有更多的想法。

王焰等(2000)的文章属“无心插柳”之作，并没有引导我走上埃达克岩研究之路。我的上路纯属偶然，事情要从 2000 年说起。当我与周国庆教授合作大体完成了《中国蛇绿岩》一书之后，我已经过了退休的年龄。我很茫然，不知道今后应当干什么。恰在这时，王元龙副研究员邀请我参加刚刚启动的“973”课题，一道研究宁芜地区的火山岩。于是我欣然接受，从此踏上了另一个研究领域。当我们 2000 年夏去宁芜地区野外考察时，意外发现中生代的铜陵花岗岩很多具有埃达克岩的地球化学特征，推测可能是加厚的下地壳部分熔融形成的。这个发现使我们异常兴奋，因为，终于找到了新的突破口。回到北京以后，我无意中发现，大别山中生代花岗岩也类似埃达克岩。于是，我开始收集中国东部中生代花岗岩和火山岩的资料，从此一发而不可收拾。

与此同时，中国科学院广州地球化学研究所许继峰等人也对介绍和研究埃达克岩做出了贡献。许继峰 1999 年 3 ~ 4 月在美国访问期间知道了 adakite，联系到自己以往的研究，撰写了第一篇中国人在国外发表的埃达克岩论文(Xu *et al.*, 2000)。许继峰有关埃达克岩的信息启发了当时正在做博士后的王强。王强从他本人的研究以及前人的研究中发现了许多岩石具有埃达克岩的特征，敏锐地感觉到埃达克岩可能非常重要，需要彻底了解它，为此他阅读了几乎所有有关 adakite 的文献，并开始撰写了国内第一篇有关北大别灰色片麻岩具埃达克岩特征的文章(王强等, 2000)。

受许继峰的影响，赵振华和熊小林等也很快投入到埃达克岩的研究中，于是，在中国科学院广州地球化学研究所很快形成了一支极具实力的埃达克岩研究队伍(许继峰、赵振华、熊小林、王强、张海祥、牛贺才、蔡志勇、李武显、肖龙和李伍平等)，对推进国内埃达克岩研究做出了不可磨灭的贡献。

据了解，在 20 世纪 90 年代后期，不少人(主要是年轻人，其中许多是正在攻读硕士、博士学位和博士后研究的年轻人)也从不同角度知道了 adakite 的术语，并联系自己的研究作出了不同的判断。但是他们中的大多数人最终没有能够与自己的研究联系起来，究其原因，主要是受制于 Defant and Drummond (1990) 关于埃达克岩形成于岛弧的结论。

罗照华教授可能是最早从事埃达克岩研究的岩石学家了。他大概是在 1992 年负责内蒙古苏尼

特左旗等八幅 1:5 万联测的火成岩工作时就从检索文献中开始对 Defant 的文章感兴趣,认为这是继 Bowen(1928)同源岩浆演化理论发布之后最重要的科学发现。遗憾的是,直到 2002 年才在《地质通报》发表了他的第一篇埃达克岩文章,前后经历了 6 年的时间,可见其研究之艰辛!

2 中国埃达克岩研究的坎坷之路

将中国东部中生代许多中酸性岩浆岩定为埃达克岩可能会引起争论,这是我们开初就想到的。我们头两篇论述中国东部埃达克岩的文章(张旗等,2001a, b)的合作者之间就存在不同的认识。当时,我们考虑了三种方案:①称其为埃达克质岩(adakitic rock)或似埃达克岩(adakite-like);②另起炉灶,以较典型的岩体命名,如八达岭岩、涑源岩等;③什么也不说,单纯描述。许多人建议采用第 2 种方案,考虑良久,我们选择了第 1 种方案。原因是:①中国东部大量的类似埃达克岩的资料说明埃达克岩至少可以形成在两种环境:板块俯冲带和加厚的下地壳底部,不应把埃达克岩仅仅局限于岛弧环境;②国外对埃达克岩的成因也有不同的认识,如 Atherton and Pitford(1993)认为秘鲁安第斯花岗岩具有埃达克岩的特征,是加厚地壳重熔形成的;③用 adakite-like 以示与岛弧 adakite 在形成环境上的区别,但本质上仍然是 adakite,符合我们的本意。

此外,我也有私心,怕应付不了争论。因为,我毕竟不是花岗岩专家。我在蛇绿岩研究方面可以说已经驾轻就熟,如果在我不熟悉的埃达克岩问题上翻了车,很不值得。我当然不希望埃达克岩成为我的“滑铁卢”。为此,文章压了 3 个月,我坐立不安,反复斟酌,最后确信埃达克岩形成于下地壳底部的认识是有道理的,我们的想法不会错,才将文章投出去。论述中国东部高原的文章投给了《地质科学》杂志,得到编辑部的鼓励,文章顺利刊登。而投给《岩石学报》杂志的关于埃达克岩研究特征和意义的文章却遭到强烈的批评,评审人写了长长的批语,对该文全盘予以否定。审稿人不同意该文刊登的理由其实很简单,即 adakite 形成于岛弧,中国东部中生代岩浆岩不是岛弧环境,因此,不是埃达克岩或埃达克质岩。为此,我与评审人辩论了 2 个小时,谁也说服不了谁。在我的坚持下,幸亏《岩石学报》编辑部的宽宏大量,该文才没有胎死腹中。

不出我们所料,文章出来后,立即引来批评如潮,许多人在各种场合对中国东部埃达克岩提出了尖锐的批评,但同时这一观点也得到了许多方面的支持。无论如何,埃达克岩毕竟打开了一个缺口,许多人迫切希望交流埃达克岩研究的问题。2000 年冬,许继峰提议召开一次埃达克岩研讨会,交流国内埃达克岩研究的思路和问题。在研讨会筹备过程中,基金委地学部建议我们邀请几位国际知名的埃达克岩专家,请他们为中国的埃达克岩把脉。在许继峰的努力下,会议邀请了 4 位美国学者与会。会议于 2001 年 12 月 1~2 日在北京举行,这次会议也是国际上第 1 次埃达克岩的专题研讨会。会上我作了主题报告,吴福元研究员作了总结。令我想不到的是,中国埃达克岩研究得到了与会国外多数学者的认可,尤其是 Defant 在了解了许多中国的埃达克岩资料后,坦诚他早先把 adakite 限制在仅与洋壳板片的俯冲有关可能是有问题的,认为中国东部的埃达克岩可能与下地壳加厚有关,而不是与板片有关(详见本书附录)。

经过几年的努力,随着研究的深入,资料的积累,认识的提高,埃达克岩已经为越来越多的人所接受。但是,争论仍然存在,这种争论可能还要持续十几年或几十年,这不是坏事。有人告诉我,埃达克岩引起争论就对了,如果没有争论你就失败了。因为,没有争论表示没有人感兴趣。争论是学术界再正常不过的事情了,唯有争论,才能发展,真理越辩越明。虽然争论使部分人受到伤害,但是,无论如何,我们都从争论中学到了很多东西,有些甚至可能是终生受用的。

张旗

2008 年 9 月 14 日于北京

前 言

本书分为三篇,代表了我们研究经历的三个阶段。

第一个阶段是埃达克岩,是我们起步的阶梯。埃达克岩是花岗岩研究历史上十分重要的一步。在2003年我们曾经指出,“埃达克岩是20~21世纪之交地球科学最重要的发现之一,是花岗岩研究史上一个重要的里程碑,是岩石学领域内一颗璀璨的明珠”(张旗等,2003a)。在埃达克岩研究的短短几年中,我们做了以下一些事情:

(1)回应对埃达克岩的质疑。埃达克岩问题在中国提出后,引发了中国学术界的大争论,争论主要聚焦于两个问题:①中国东部中生代高钾钙碱性花岗岩是否埃达克岩?②中国东部是否存在高原?第一个问题与埃达克岩的定义有关,是争论得最厉害的。看来这场争论可能还要持续许多年。

(2)我们从识别中国东部埃达克岩之初,即领悟到埃达克岩之所以有魅力的两个问题:①由埃达克岩的时空分布可以识别出在中国东部中生代时期曾经存在过一个高原;②埃达克岩与Cu、Au等斑岩型矿床有密切的关系。对于第二个问题,我们组织了一期专集在《岩石学报》上讨论。高原的问题也取得了新的进展,不仅肯定了中国东部高原,而且顺藤摸瓜还发现了许多山脉(见本书第7章和第8章)。

(3)由埃达克岩引申出赞岐岩问题,将赞岐岩引入中国。

(4)由中国东部高原问题引申出下地壳拆沉问题以及燕山运动问题,华北岩石圈减薄问题,大陆深俯冲问题等,对国内外拆沉的模式进行了比较,提出了新的下地壳拆沉模式。

(5)在埃达克岩研究之初,着重于埃达克岩与非埃达克岩的区别,强调高Sr低Yb与低Sr高Yb花岗岩的不同;2004年发现了低Sr低Yb类型的花岗岩,遂引申出花岗岩不同Sr-Yb含量与花岗岩源区压力的关系,提出了花岗岩按照压力分类的方案。

上述情况表明,随着研究工作的进展,埃达克岩研究领域的不断扩大,研究的深度不断深入,触及到越来越多的问题。埃达克岩研究在阿留申开花,在华北结果。中国人的贡献是将埃达克岩的研究持续下去,推广开去,将其意义扩大和延伸下去。近20年的研究(从1990年开始)表明,板片形成的埃达克岩的意义是有限的,而下地壳底部熔融的埃达克岩的意义是极其丰富的。中国不仅许多地方有埃达克岩(华北、华南、大兴安岭、中亚造山带、青藏高原、昆仑-秦岭),而且有各种各样的埃达克岩(与俯冲有关的、与下地壳熔融有关的、与蛇绿岩有关的、与钾玄岩有关的等),而且有许多许多的埃达克岩(如华北中生代的大多数花岗岩),而且还有与铜和金矿有关的许多埃达克岩(冈底斯、天山、长江中下游、胶东、小秦岭、藏东等)。

第二个阶段是花岗岩。从埃达克岩研究的艰难历程,我们开始反思:是我们把埃达克岩搞错了?还是花岗岩研究出了问题?思考的结果是提出了对花岗岩几个基本问题(如花岗岩混合问题、分离结晶问题、构造环境问题和源区问题等)的重新评价。当然,有些问题不是今天才发现的,2001年我们曾经探讨过花岗岩研究中存在的几个问题(张旗等,2001),现在看来,花岗岩研究的现状是很难令人满意的,花岗岩需要反思,需要寻找新的路子。

第三个阶段是大陆构造学。对花岗岩的思考使我们认识到,花岗岩不同于玄武岩,花岗岩主要产于大陆,而玄武岩主要产于海洋。板块构造(加上后来的地幔柱构造)很好地解决了玄武岩问题,而花岗岩问题似乎不能依靠板块构造理论得到解决。其次,在探讨中国东部中生代岩浆活动构造背

景时,我们发现许多人都关注其与古太平洋板块的关系,许多外国人也几乎众口一词地认为其与古太平洋板块消减作用有关。问题的焦点很明确:中国东部中生代地质与板块构造有什么关系?我们应当如何考虑板块构造的影响?实际上,花岗岩从根本上来说是大陆地质问题,而不是板块构造问题。因为,花岗岩大多在陆地上。板块构造解决的是海洋地质问题,玄武岩依靠板块构造(但是,板内玄武岩除外,板内玄武岩依靠地幔柱构造),花岗岩不能依靠板块构造。因此,创立独立于板块构造学说之外的大陆构造学说,是我们必须面对的,舍此不能解决花岗岩的根本问题。

20世纪50年代盛行的是槽台论,但是,槽台论解释不了“槽”的问题。20世纪60年代兴起的板块构造学说解决了“槽”的问题,宣告了槽台论的末日。上个世纪末板块构造登陆试图解决“台”的问题被证明是失败了,板块构造解释不了“台”的问题。我们现在创建大陆构造学说,就是要着力解决“台”的问题。事物发展的规律就是这样的否定之否定:板块构造否定了槽台论(确切说是否定了“槽台论”的有关“槽”的部分的理论),大陆构造要否定的是板块构造关于“台”的部分的理论。新的大陆构造学说不是槽台论的起死回生,而是吸收槽台论合理内核基础上的创新。

本书不是纯学术著作,也谈思想和文化问题。本书不单单是我们多年研究的堆砌,而且要进行深层次的思考。本书的书名为什么叫《埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇》,这里有三个层次的内容:①埃达克岩的提出是对花岗岩的挑战;②花岗岩的思考是对流行的花岗岩理论和板块构造的挑战;③创新思维是对以儒家学说为核心的传统文化的挑战。挑战的同时也带来了机遇,即发展新的花岗岩理论和大陆构造学说的机遇。

本书是国内也是国际上第一部有关埃达克岩的专著,本书企图表达的主要思想是:埃达克岩开启了花岗岩研究的新的里程碑;花岗岩研究的某些理论和说法应当重新思考和评价;花岗岩与压力关系可能是花岗岩今后研究的新的亮点;创建新的独立于板块构造学说之外的大陆构造学说的任务历史地赋予了中国地球科学家;为了迎接新的挑战,抓住千载难逢的机遇,我们必须从学术和文化两个方面进行革新。

本书的大部分取自我们已经发表的论文,部分有或大或小的修改,部分是重新撰写的,如第1、2、6、7、8、19和20章。本书作者分工如下:第1篇的第3章由熊小林执笔,第6章和第9章由张旗和熊小林执笔,其余各章由张旗执笔;第2篇各章均已发表,收入本书时由张旗和李承东作最后的润色;第3篇的第18章由张旗和李承东执笔,第19章和第20章由张旗执笔。由于第19章和第20章的特殊性,有时以第一人称叙述,张旗文责自负。王焰承担本书的英文部分并最后订正全书。本书所有作者均参与了全书的修改和校对工作,我们之间在某些问题的提法、文笔以至措词方面也有过很多争论,全书最终文稿由张旗负责,刘惠云全程跟踪了本书的立项、编辑、排版和出版工作。

作 者

2008年9月21日

目 录

第 1 篇 埃达克岩:概念与应用

第 1 章 埃达克岩与高镁安山岩	(3)
1.1 埃达克岩	(4)
1.1.1 埃达克岩的主要特征	(4)
1.1.2 埃达克岩定义的争论	(4)
1.1.3 埃达克岩的含义	(6)
1.2 高镁安山岩	(7)
1.2.1 赞岐岩	(8)
1.2.2 玻安岩	(11)
1.2.3 高镁埃达克岩	(12)
1.2.4 TTG	(15)
1.3 小结	(17)
第 2 章 埃达克岩的分类	(19)
2.1 埃达克岩的分类	(20)
2.1.1 西湾型埃达克岩	(20)
2.1.2 阿留申型埃达克岩	(21)
2.1.3 华北型埃达克岩	(24)
2.1.4 可可西里型埃达克岩	(25)
2.2 讨论	(26)
2.2.1 西湾型埃达克岩的成因	(26)
2.2.2 阿留申型埃达克岩的成因	(29)
2.2.3 华北型埃达克岩的成因	(30)
2.2.4 华北型富镁埃达克岩的成因	(31)
2.2.5 可可西里型埃达克岩的成因	(34)
2.2.6 高硅埃达克岩和低硅埃达克岩问题	(34)
2.3 小结	(35)
第 3 章 埃达克岩的实验研究	(37)
3.1 埃达克岩和 TTG 研究现状	(38)
3.1.1 埃达克岩和埃达克质岩石	(38)
3.1.2 太古代 TTG	(38)
3.2 关于 TTG/埃达克熔体产生条件的争论	(39)
3.3 金红石稳定性对 TTG/埃达克岩形成条件的制约	(40)
3.3.1 金红石是 TTG/埃达克岩浆必要的残留矿物	(40)
3.3.2 金红石稳定条件对 TTG/埃达克熔体形成压力的制约	(41)
3.4 矿物-TTG 微量元素分配以及 TTG/埃达克岩成因模型	(41)

3.4.1 石榴石、角闪石、单斜辉石和金红石 - TTG 熔体微量元素分配系数测定	(41)
3.4.2 微量元素模拟结果对前人 TTG/埃达克岩成因模型的修正	(42)
3.5 小结	(44)
第 4 章 花岗岩的 Sr-Yb 关系及其应用:(1)花岗岩的分类	(45)
4.1 Sr 和 Yb 的地球化学行为	(46)
4.2 Sr、Y 和 Yb 关系的演变	(47)
4.3 花岗岩按照 Sr-Yb 的分类	(48)
4.3.1 高 Sr 低 Yb 的埃达克岩	(49)
4.3.2 低 Sr 低 Yb 的喜马拉雅型花岗岩	(49)
4.3.3 高 Sr 高 Yb 的广西型花岗岩	(52)
4.3.4 低 Sr 高 Yb 的浙闽型花岗岩	(53)
4.3.5 非常低 Sr 高 Yb 的南岭型花岗岩	(53)
4.4 花岗岩 Sr-Yb 图的应用	(55)
4.4.1 斜长花岗岩	(55)
4.4.2 S 型花岗岩	(59)
4.4.3 A 型花岗岩	(60)
4.4.4 淡色花岗岩	(63)
4.4.5 正长岩	(64)
4.5 花岗岩与压力的关系	(65)
4.6 小结	(67)
4.6.1 初步的结论	(67)
4.6.2 几点思考	(68)
第 5 章 花岗岩的 Sr-Yb 关系及其应用:(2)与碰撞或造山有关的花岗岩	(69)
5.1 术语的简要回顾	(70)
5.1.1 “碰撞”和“造山”的差别	(70)
5.1.2 “造山前”和“碰撞前”的含义	(71)
5.1.3 “造山后”和“碰撞后”的含义	(71)
5.2 造山前、造山和造山后花岗岩的区分	(72)
5.2.1 造山前、造山和造山后的概念	(72)
5.2.2 如何区分造山前、造山和造山后花岗岩	(72)
5.2.3 不同造山阶段与地壳厚度及花岗岩的关系	(73)
5.3 几个实例	(74)
5.3.1 非洲 Tuareg 地盾	(74)
5.3.2 土耳其安纳托利亚高原	(75)
5.3.3 巴西东南部 Apiai 地区	(76)
5.4 青藏高原碰撞的历史记录	(77)
5.4.1 青藏高原抬升的历史	(77)
5.4.2 碰撞开始的时间	(78)
5.4.3 造山(碰撞)前阶段	(79)
5.4.4 造山(碰撞)阶段	(81)
5.4.5 青藏高原是否进入造山后(碰撞后)垮塌阶段了	(83)

5.5 不同造山阶段花岗岩的多样性	(84)
5.6 小结	(85)
第6章 O型埃达克岩	(87)
6.1 太古代 TTG	(88)
6.2 新元古代埃达克岩	(90)
6.3 古生代埃达克岩	(92)
6.3.1 中亚造山带埃达克岩	(92)
6.3.2 秦祁昆造山带埃达克岩	(93)
6.4 中生代埃达克岩	(94)
6.5 小结	(94)
第7章 埃达克岩(及相关岩石)与山脉	(95)
7.1 早中生代的华北北部山脉(简称华北北山)	(96)
7.1.1 华北北缘和东北各类花岗岩的时空分布	(96)
7.1.2 华北北山的时空分布	(98)
7.2 三叠纪的西秦岭-东昆仑山脉	(100)
7.3 晚三叠世-早侏罗世的松潘-中甸山脉	(101)
7.4 中侏罗世的湘赣山脉	(101)
7.5 早侏罗世-早白垩世的额尔古纳山脉	(101)
7.6 早白垩世的湘赣山脉	(104)
7.7 中新世的羌塘-哀牢山山脉	(104)
7.8 山脉的构造意义	(104)
7.9 小结	(105)
第8章 埃达克岩(及相关岩石)与高原	(107)
8.1 中侏罗世-早白垩世的中国东部高原	(108)
8.1.1 中国东部高原:中酸性岩浆岩的资料	(108)
8.1.2 中国东部高原:其他方面的资料	(108)
8.1.3 高原的演化	(112)
8.1.4 高原垮塌的标志	(116)
8.1.5 高原垮塌的原因	(120)
8.1.6 高原的启示	(121)
8.1.7 关于高原的争论	(123)
8.2 三叠纪的湖南山地	(128)
8.3 小结	(129)
第9章 埃达克岩(及相关岩石)与成矿	(131)
9.1 埃达克岩与金铜成矿作用的关系	(132)
9.1.1 洋壳:埃达克岩的源区	(133)
9.1.2 角闪石分解的意义	(133)
9.1.3 高氧逸度条件	(133)
9.1.4 挥发份的出溶	(134)
9.2 造山带金铜找矿问题	(134)
9.2.1 中亚造山带	(135)
9.2.2 秦祁昆造山带	(136)

9.2.3 环太平洋造山带·····	(136)
9.2.4 重点找矿方向·····	(136)
9.3 陆内金、铜、钨、锡找矿问题 ·····	(137)
9.3.1 与金铜有关的花岗岩·····	(137)
9.3.2 与钨锡有关的花岗岩·····	(139)
9.3.3 成矿源区深度探讨·····	(139)
9.3.4 “上山”找金铜 ·····	(141)
9.3.5 “下山”找钨锡 ·····	(146)
9.3.6 找矿思路上的突破·····	(147)
9.3.7 几点启示·····	(148)
9.4 与埃达克岩有关的金铜找矿方法 ·····	(151)
9.4.1 早期的找矿方法·····	(151)
9.4.2 现行的找矿方法·····	(151)
9.4.3 新的与埃达克岩有关的找矿方法·····	(151)
9.5 小结 ·····	(153)
第10章 埃达克岩与下地壳拆沉 ·····	(155)
10.1 下地壳拆沉的3个条件 ·····	(156)
10.1.1 地壳加厚 ·····	(157)
10.1.2 下地壳部分熔融 ·····	(157)
10.1.3 岩石圈地幔转变为软流圈地幔 ·····	(157)
10.2 下地壳拆沉的过程和效应 ·····	(158)
10.2.1 下地壳拆沉的过程 ·····	(158)
10.2.2 下地壳拆沉的效应 ·····	(159)
10.2.3 下地壳拆沉与大规模岩浆活动的关系 ·····	(159)
10.2.4 中国东部中生代岩石圈地幔向软流圈地幔转化的可能性 ·····	(160)
10.3 几种拆沉模式评述 ·····	(161)
10.3.1 “下地壳+岩石圈地幔拆沉”模式 ·····	(161)
10.3.2 华北岩石圈减薄问题 ·····	(164)
10.3.3 大陆深俯冲问题 ·····	(168)
10.4 大陆下地壳拆沉模式 ·····	(169)
10.5 小结 ·····	(170)
第11章 回顾和展望 ·····	(171)
11.1 中国埃达克岩文献为什么多 ·····	(172)
11.2 中国对埃达克岩研究的贡献 ·····	(172)
11.3 存在的问题 ·····	(175)
11.4 今后研究方向 ·····	(175)
11.5 小结 ·····	(176)

第2篇 花岗岩:问题与出路——与玄武岩对比的启示

第12章 花岗岩混合作用 ·····	(179)
12.1 花岗岩混合作用的流行观点 ·····	(180)
12.2 岩浆黏性对混合作用的限制 ·····	(181)

12.3	不同岩浆混合作用的对比	(182)
12.4	花岗岩中的暗色微粒包体	(183)
12.5	岩浆混合的能干性问题	(184)
12.6	花岗质岩浆的熔融、迁移和定位过程	(185)
12.6.1	花岗质岩浆的熔融	(185)
12.6.2	花岗质岩浆的迁移	(186)
12.6.3	花岗质岩浆的定位	(186)
12.7	关于岩浆房对流模式	(186)
12.8	花岗岩混合的缘由	(188)
12.9	混合的模拟计算问题	(189)
12.10	小结	(190)
第 13 章	花岗岩结晶分离作用问题	(191)
13.1	岩浆结晶分离作用的制约因素	(192)
13.2	基性岩浆的结晶分离作用	(193)
13.3	中性岩浆的结晶分离作用	(194)
13.4	酸性岩浆的结晶分离作用	(195)
13.5	斜长石结晶分离问题	(199)
13.6	关于哈克图解	(200)
13.6.1	哈克图解的意义	(200)
13.6.2	如何正确使用哈克图解	(201)
13.6.3	哈克图解举例	(201)
13.7	鲍文反应原理	(203)
13.8	某些描述和观点的评述	(204)
13.9	小结	(205)
第 14 章	花岗岩构造环境问题	(207)
14.1	玄武岩构造环境判别的依据	(208)
14.1.1	构造环境研究的方法和思路	(208)
14.1.2	玄武岩构造环境判别的基础	(209)
14.2	花岗岩能够判别其形成的构造环境吗	(210)
14.2.1	Pearce <i>et al.</i> (1984b) 判别方法评述	(211)
14.2.2	Barbarin (1999) 研究成果评述	(214)
14.2.3	花岗岩能够判别其形成的构造环境吗	(214)
14.3	碰撞和碰撞后花岗岩问题	(216)
14.4	构造与岩浆的关系	(216)
14.5	花岗岩的全球分布	(217)
14.6	花岗岩如何研究构造环境	(218)
14.7	小结	(219)
第 15 章	花岗岩源区问题	(221)
15.1	花岗岩源区问题	(222)
15.1.1	幔源和壳源花岗岩问题	(222)
15.1.2	幔源和壳源花岗岩的来历	(223)
15.1.3	壳幔混合源问题	(224)

15.1.4 花岗岩的变质围岩能够作为花岗岩的源岩吗	(224)
15.2 I型和S型花岗岩问题	(225)
15.3 花岗岩源区分类	(226)
15.4 几个实例	(228)
15.5 小结	(229)
第16章 花岗岩研究的误区	(231)
16.1 误区之一:不恰当地仿效玄武岩的理论和方法	(232)
16.2 误区之二:不恰当地用板块构造学说解释大陆花岗岩问题	(233)
16.3 误区之三:太过重视地球化学研究而忽视基础地质研究	(234)
16.3.1 花岗岩地球化学研究是有边界条件的	(234)
16.3.2 花岗岩地球化学研究应当与基础地质研究相结合	(235)
16.3.3 投图不能代替地球化学研究	(235)
16.4 花岗岩研究为什么会陷入误区	(236)
16.4.1 我们缺少自己的扎实的研究基础	(236)
16.4.2 我们对板块构造的理解不深	(237)
16.4.3 我们对花岗岩的复杂性认识不足	(237)
16.5 小结	(237)
第17章 21世纪的花岗岩研究,路在何方	(239)
17.1 对现有的花岗岩理论、流行的说法以及术语等进行清理和反思	(240)
17.1.1 抛弃不合时宜的、不符合花岗岩实际的、过时的和错误的理论	(240)
17.1.2 清理不合理和不科学的术语	(241)
17.1.3 花岗岩研究中的逻辑错误	(242)
17.2 今后花岗岩研究什么	(242)
17.2.1 开展花岗岩立典式的研究	(243)
17.2.2 将花岗岩研究与古老地壳的研究结合起来	(244)
17.2.3 将花岗岩物理性质研究与地球化学研究结合起来	(244)
17.2.4 开展广泛的实验岩石学研究	(247)
17.2.5 汶川大地震的启示	(248)
17.2.6 创建新的“大陆构造学”理论	(248)
17.3 我们现在怎样做	(249)
17.3.1 如何清理花岗岩的理论和术语	(249)
17.3.2 如何开展立典式研究	(249)
17.3.3 花岗岩地球化学如何研究	(251)
17.3.4 开展一场关于花岗岩的大辩论	(253)
17.4 小结	(256)

第3篇 挑战与机遇

第18章 “蓝色风暴”与“红色革命”:板块构造与大陆构造	(259)
18.1 “蓝色风暴”与“红色革命”	(260)
18.2 大陆构造学研究的现状、目标、任务、切入点和前景	(263)
18.2.1 中国大陆构造研究的现状	(263)
18.2.2 大陆构造学研究的目标	(263)

18.2.3 大陆构造学研究的任务	(265)
18.2.4 大陆构造学研究的切入点	(266)
18.2.5 大陆构造学研究的前景	(266)
第 19 章 创新思维与传统文化	(267)
19.1 中国学术界的弊病	(268)
19.2 孔儒思想批判	(269)
19.3 “黄色文明”和“麻将文化”	(270)
19.4 科学与民主	(271)
19.5 打破旧文化,创立新文化.....	(271)
19.6 科学创新与 SCI 崇拜	(272)
19.7 我们的责任	(274)
19.8 小结	(275)
第 20 章 研究思路与研究方法	(277)
20.1 做学问的方法	(278)
20.1.1 “大胆地想象,小心地求证”	(278)
20.1.2 “怀疑一切”	(279)
20.2 做学问的 5 个层次	(279)
20.3 科学创新之路	(281)
20.4 给年轻人一个宽松的环境	(283)
20.5 小结	(284)
附录:埃达克质岩及其地球动力学意义学术研讨会纪要(北京,2001)	(285)
Adakite and Granite: Challenge and Opportunity(abstract)	(295)
参考文献	(299)
后记	(341)
感谢	(343)

第 1 篇 埃达克岩:概念与应用

埃达克岩是一个含义深远且争议很大的问题,近几年几乎成为国内学术界关注的焦点。肖庆辉等(2007)最近撰文提出花岗岩的三个层次问题,指出 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:第一个层次是发现花岗岩成因受源岩控制,将花岗岩分为 I 型和 S 型(Chappell and White, 1974);第二个层次是根据板块构造理论提出的花岗岩构造环境分类(Pitcher, 1979);第三个层次是提出花岗岩是大陆生长过程的产物(美国 NSF 的大陆动力学计划, 1993),是对流地幔(软流圈)物质向地壳输入的过程(邓晋福等, 1999;肖庆辉等, 2003)。我们认为,第三个层次应当是以埃达克岩的提出(Defant and Drummond, 1990)为标志,它解决了花岗岩的来源深度问题。I 型和 S 型花岗岩的提出,开辟了花岗岩地球化学研究的新方法,在 30 多年的时间内几乎成为花岗岩研究的主流,现在看来,它主要探讨的是花岗岩与源区的关系问题,虽然争论不断,但是仍然具有活力。花岗岩构造环境问题也一度成为花岗岩研究的热门话题,甚至成了许多研究者追逐的目标。但是,现在看来,这个命题有致命的弱点,它不适合大多数花岗岩,我们应当予以重新审视(见本书第 2 篇第 14 章)。相比之下,埃达克岩是一个最新提出的、具有提升花岗岩研究深度的、极具创新性的提法,它开创了花岗岩与压力关系研究的新思路,其生命力和意义还远远没有被揭示。

与埃达克岩有关的问题很多,限于作者的水平,本篇仅就埃达克岩的概念和应用作一些论述。

概念者,主要回答埃达克岩是什么的问题,就中国的情况而言,主要是埃达克岩的定义问题,其次是埃达克岩的成因问题,成因问题很复杂,我们着重论述实验研究的某些进展。国外发现和研究的埃达克岩大多是 O 型的,中国既有 O 型的,也有 C 型的。O 型埃达克岩不能判断构造环境,出露于造山带中的 O 型埃达克岩并非统统是板片熔融的,O 型埃达克岩最有价值之处可能是它与斑岩铜矿的密切关系。中国的研究表明,C 型埃达克岩对花岗岩有重要的启示,它开启了花岗岩与压力关系研究的新领域,将推动花岗岩研究进入新时代。

应用者,主要指埃达克岩的意义,它能够引伸出什么问题?能够解释什么问题?对解决哪些问题有帮助?书中分别讨论了埃达克岩(及其相关岩石)与山脉、高原、成矿和拆沉的关系。花岗岩分类本应放到第 2 篇去讨论,但是,由于本书的分类是从埃达克岩的概念引伸出来的,故仍然放在这里。同样,与碰撞和造山有关的花岗岩,由于它与压力的密切关系,也是由埃达克岩的概念引伸出来的,也放在本篇。至于中国东部高原问题、下地壳拆沉问题、燕山运动问

题、岩石圈减薄问题以及大陆深俯冲问题等,由于埃达克岩的研究也有了新的解释。

8 年来,中国对埃达克岩研究作出了重要的贡献,主要有:提出了 C 型埃达克岩问题;发现了中生代的中国东部高原;发现了西湾型埃达克岩;发现了喜马拉雅型花岗岩;厘定了南岭型花岗岩;提出了埃达克岩按照 K 含量及 Na/K 比值的分类;提出了花岗岩按照 Sr-Yb 含量的分类;实验研究对埃达克岩形成压力的限定等。但是,我们的研究还存在许多不足,争论还很大,问题还很多,下面一一道来。