

国家三〇五项目系列丛书

中国新疆花岗岩

王中刚 朱笑青 毕 华 王元龙 著
吴柏青 邹天人 赵振华 桂训唐

地质出版社

· 北 京 ·

国家三〇五项目系列丛书是 全体科技人员辛勤劳动的结晶！

国家三〇五项目：

“七五”国家科技攻关 75-56 项目“加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理、地球化学综合研究”

“八五”国家科技攻关 85-902 项目“加速查明新疆黄金、有色金属大型矿产资源基地的综合研究”

“九五”国家科技攻关 96-915 项目“加速查明新疆优势金属矿产资源及大型矿床的综合研究”

主 持 部 门：

新疆维吾尔自治区人民政府

联合实施部门：

国土资源部(原地质矿产部)

中国科学院

中国有色金属工业总公司

国家教育委员会(教育部)

原冶金工业部

国家自然科学基金委员会

国家三〇五项目系列丛书得到：

新疆维吾尔自治区人民政府

中 国 科 学 院 特别资助

国家自然科学基金委员会

国家三〇五项目系列丛书

总 主 编：涂光炽 孙 枢 肖序常 陈毓川 何国琦

国家三〇五项目系列丛书编辑委员会

主 任：涂光炽 孙 枢

副 主 任：肖序常 陈毓川 何国琦

委 员：(按姓氏笔划)

马映军 马福臣 王宝林 王京彬 王金良

刘益康 孙 枢 孙肇钧 肖序常 李庆昌

吴乃元 何国琦 陈毓川 张良臣 张洪涛

涂光炽 徐 新 范蔚茗

执 行 委 员：徐 新 郝 杰

丛书编辑组：白 铁 王大军 邢瑞玲 李凯明

沈 镭 郝梓国 余宏全 朱明玉

王江海 刘建三

总 序

在 20 世纪 80 年代初期,为贯彻党中央提出的国家经济建设重点逐步西移的战略构想,提前为西部大开发作好矿产资源准备,国家专门在新疆设立了国家级地学科技攻关项目。国家计委、国家科委以计科(1985)305 号文批复将新疆地质矿产综合研究列为“七五”国家科技攻关项目,从此“国家三〇五项目”就成为一个约定俗成而被正式使用至今的名称。

国家三〇五项目包括从 1986 年开始实施的一系列国家科技攻关项目,即 75-56“加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理、地球化学综合研究”、85-902“加速查明新疆黄金、有色金属大型矿产资源基地的综合研究”、96-915“加速查明新疆优势金属矿产资源及大型矿床的综合研究”和 2001BA609A07“新疆优势矿产资源勘查评价研究”。

在国家科委(科技部)领导下,国家三〇五项目由新疆维吾尔自治区人民政府与国土资源部(原地质矿产部)、中国科学院、中国有色金属工业总公司、国家教育委员会(教育部)、原冶金工业部、国家自然科学基金委员会等部门联合实施并提供资金支持,在项目总体设计、攻关队伍的组织、目标管理与过程管理、研究网络的构建和科技经济一体化运行等方面进行了不断的探索和实践。全国 21 个省市、103 个单位、1500 余名科技人员先后参加了科技攻关。至 2000 年,共开展了 24 个课题、262 个专题的研究工作,提交 400 多份研究报告,发表学术论文 516 篇(国内核心期刊 210 篇、国外刊物 69 篇),出版地质矿产专著 22 部(未含此次出版的系列专著);先后有 40 余项成果获得省(区)部级科学技术进步奖。

国家三〇五项目在一个地质研究和矿产勘查程度很低的大区域启动,为查明大型矿床成矿的地质背景,在现代大陆地质与成矿学理论指导下,进行了大量的野外调查和室内测试分析,结合运用高精度的地球化学、地球物理、航天航空遥感、计算机数据模拟等现代技术,把新疆地质矿产研究提高到新的水平。15 年地学科技攻关取得的丰硕成果,可以概括为以下几个方面。

在新疆地壳结构与地质演化方面,研究了多期次蛇绿岩、基性-超基性杂岩、高压变质岩、不同类型花岗岩、海相与陆相火山岩、广泛发育的富碱岩带和多处深源岩石包体,揭示了新疆古生代洋陆格局变迁和地壳增生过程,提出了陆间洋盆、多块体聚合、显生宙地壳增生、后造山伸展、陆内造山和盆山耦合的“中亚型造山带”演化框架,碰撞后地壳垂向增生在中亚岩石圈演化过程中具有重要意义。多条贯通全区的地球物理综合剖面,初步显示出造山带与盆地的岩石圈、软流圈的结构特征与耦合关系。十多年地学科技攻关表明,新疆及中亚地质构造具有显著的区域特色,其古生代洋陆格局、造山带演化与陆壳增生机制比环太平洋、喜马拉雅-阿尔卑斯等世界级造山带更为复杂多样。

在中亚造山带成矿作用方面,初步完成了新疆主要地质和成矿事件年表,揭示中新元古代、早古生代和晚古生代有多次重要成矿期,特别是提出了石炭纪末至二叠纪初存在着大规

模的成矿事件。与环太平洋带及特提斯带以中—新生代为主要成矿期不同,中亚造山带以晚古生代为主要成矿时期。大型—超大型矿床多期多阶段富集特征明显,基底的成矿预富集作用对大型—超大型矿床的形成具有重要意义,块体边缘与缝合带是成矿元素大规模聚集的有利场所,古陆壳多次裂解时期和挤压构造的伸展部位有利于大规模成矿物质的聚集。特色矿床类型主要与陆壳裂解伸展作用有关,如基性—超基性铜镍硫化物矿床、海相火山岩有关的块状硫化物矿床、陆相火山岩浅成低温热液金矿床、与含炭碎屑岩有关的穆龙套型金矿床和与富碱岩系有关的稀有(金)矿床等。中亚造山带成矿类型丰富,成矿机制多样,成矿过程复杂,不能被其他造山带成矿模型所涵盖。由此,提出“中亚成矿域”的概念,初步揭示了中亚成矿域的全球构造背景和成矿作用特点,为大陆成矿理论创新提供了条件。

对加速查明新疆矿产资源做出了开拓性的贡献。先后发现和圈定了 41 条重要矿带、200 余处找矿靶区和 50 多处评价基地,特别是阿尔泰南缘金多金属矿带、吐拉苏金矿带、天格尔金矿带、察汗萨拉梯银矿带、康古尔塔格金矿带等成矿带的发现更具有开拓性意义。提交科研预测储量(333~334 资源量):金 895 吨、铜镍 698 万吨、铅锌 1080 万吨、钾盐 2.5 亿吨。地球化学研究圈出地球化学单元元素异常 36947 个、综合异常 2423 个,在快速查证中发现数百处可供地勘部门开展工作的普查基地。

与地勘部门合作推进科技成果转化,形成可供开发的大型矿产地 10 余处,有力地推动了新疆矿业经济的发展,并为矿产普查开辟了广阔前景。在阿尔泰南缘和东天山—伊犁地区,一系列重要矿产地先后发现和陆续开发,包括多纳那萨依、赛都、萨尔布拉克、萨尔阔布、阔尔真阔腊、康古尔塔格、马头滩、马庄山、望峰、萨日达拉、阿希、伊尔曼得、京西、恰布坎卓它等大中型金矿,喀拉通克、阿舍勒、科克塔勒、黄山、喇嘛苏、土屋等大型有色金属矿床,初步形成两条黄金—有色金属产业带。罗布泊超大型钾盐矿床的发现,是我国继察尔汗钾盐矿之后钾盐勘查的最重要的进展,首选开发的罗北矿区,KCl 资源量在 2.5 亿吨以上,资源保证程度高,卤水可采性好,可生产高质量的硫酸钾,将成为我国的大型钾盐开发基地。

国家三〇五项目为适应成矿靶区筛选与评价的需要,先后引进和开发了 38 种矿产勘查新方法、新技术,与常规的技术方法相结合,形成了项目研究方法组合模式和快速评价新技术系列,在“区域选带、带中选段、段中求矿”的连续跟踪、高效勘查中发挥了重要作用。此外,在金属矿采矿选冶技术工艺开发方面有应用实绩,如高纯金属锂试制成功,技术工艺达到世界先进水平;非金属矿产(膨润土、蛭石、高岭土、沸石、地开石等)应用研究和深加工工艺技术开发取得系列成果。

国家三〇五项目野外工作地区,在新疆的三大山系和戈壁荒漠,环境艰险,有些地方被称之为“生命禁区”。攻关队伍履险如夷,有不少可歌可泣的事迹。在艰苦卓绝的奋斗拼搏中,老一辈地质学家亲自担纲、言传身教,一批青年地质科研人员成长为学术带头人和技术骨干,形成了一支大陆地质科学与中亚成矿域研究的跨世纪人才梯队。根据对 62 个专题的调查,在读的研究人员 210 人,培养出硕士 87 人、博士 56 人、博士后 10 人;晋升技术职称的 359 人,晋升教授、研究员和教授级高级工程师的 98 人,晋升副教授、副研究员及高级工程师的 151 人,晋升讲师、助理研究员和工程师的 110 人。据此推算,总计培养博士、硕士和晋升高技术职称者应在千人以上。

从当今我国西部大开发战略的实施,回顾国家三〇五项目的科技攻关,人们不能不敬佩我国地质界巨子和国家科技计划决策者的远见卓识。国家三〇五项目的持续实施,在 165

万平方公里的广袤国土上成长起一项先导性科技工程,对加速新疆矿产资源勘查、引导矿产资源合理开发产生了重大作用,对促进我国矿产资源接续基地建设、维护我国资源安全将有深远影响。人们不会忘记那些为国家三〇五项目实施做出过杰出贡献的发起者、组织者和领导者,国家三〇五项目的成功实施会给他们带来由衷的喜悦和欣慰。对曾经为国家三〇五项目呕心沥血的先逝者,我们愿以这套系列专著作为对他们的纪念。

即将付梓的系列专著,是国家三〇五项目 1986~2000 年研究工作的结晶,是千余名地质科学工作者近 20 年辛勤劳动和共同奋斗的结果。在编辑委员会领导下,系列专著的撰写者和编审者付出了巨大的辛劳,积锲而不舍之功,完成著作 16 部、论文集 3 本、图件及说明书 3 册。其书目如下:《中国新疆地壳结构与地质演化》、《中国新疆优势金属矿产成矿规律》、《中国新疆金矿床》、《中国新疆铜矿床和镍矿床》、《中国新疆铅锌矿床》、《中国新疆稀有及稀土金属矿床》、《中国新疆非金属矿床》、《中国新疆花岗岩》、《中国新疆地壳演化主要地质事件年代学和地球化学》、《中国新疆北部富碱火成岩及其成矿作用》、《中国新疆阿尔泰成矿带矿床地质、成矿规律与技术经济评价》、《中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿》、《中国新疆地质概要》、《中国新疆区域成矿作用年代学》、《中国新疆南部(青藏高原北缘)盆山构造及其演化》、《中国新疆阿尔泰-准噶尔-天山地质断面综合探测与研究》、《中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集》、《中国新疆天山地质与矿产论文集》、《中国新疆昆仑-阿尔金地质与矿产论文集》、《中国新疆及邻区大地构造图》及说明书、《中国新疆天山-塔里木-昆仑山地质断面》及说明书、《中国新疆阿尔泰-准噶尔-天山地质断面》及说明书。

系列专著的出版,得力于国家科技部、新疆维吾尔自治区人民政府、中国科学院、国土资源部、国家自然科学基金委员会等部门的鼎力支持,也得到有关方面专家、学者的热诚关怀。在此,一并表示衷心的感谢。

国家三〇五项目系列丛书编辑委员会

2003 年 3 月 20 日

前 言

1983年,我去新疆开会,借此机会考察了久负盛名的可可托海3号伟晶岩脉,考察了位于柯鲁木特的101号脉。在返回阿勒泰市的路上,我们还看到各种各样出露极好的花岗岩,尤其是那种似层状产出的片麻状花岗岩以及成千上万条的花岗伟晶岩脉,连绵数公里,露头鲜活、气势恢宏。途中休息的时候,我对同伴们说,如果有机会能在新疆研究花岗岩那才是一件幸运的事情。

事隔不久,国家为了实施西部开发的战略,在“七五”期间(1986~1990年)确立了“加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理和地球化学综合研究项目”,简称“国家三〇五项目”,“阿尔泰花岗岩及其含矿性的研究”是其中的一个课题,并采取面向全国招标的方式确定各个课题承担单位和负责人。我经过充分准备,如愿以偿地获得了研究阿尔泰花岗岩的机会。经过课题组成员在5年时间里的共同努力,于1990年我们按时提交了“阿尔泰花岗岩类及其成矿关系”的研究报告。嗣后在“八五”(1991~1995年)和“九五”(1996~2000年)期间我分别又获得“新疆北部晚古生代花岗岩陆相火山岩及其含矿性”和“昆仑-阿尔金岩浆活动与成矿作用”两个课题的研究任务。这样,我便有条件从北到南,从东到西对新疆的花岗岩进行了全面的考察,在连续做了15年的研究工作之后,的确有了一些新的发现和认识。正好国家三〇五项目办公室也注意到要将15年来在各个方面取得的成果进行专题总结并以专著的形式出版,其中关于花岗岩专题的总结工作便交给了我,当然,我是乐于接受这项任务的,尽管是没有多少经费的支持。

对新疆花岗岩的研究,在实施“三〇五项目”之前,原已有一个较好的基础,表现在:①全疆大部分地区完成了1:20万区域地质测量,对各个测区花岗岩类的分布、形成时代及岩石特征等做了详细的研究,取得了基础性的资料;②开展了一些地区性的专题研究,出版了专著或发表了论文,如新疆第一区域地质调查队(1985)的《天山花岗岩》;汪玉珍等(1987)的《喀喇昆仑花岗岩类时空分布规律的初步探讨》,芮行健、吴玉金(1984)的《中国阿尔泰花岗岩的成因》;③当时已编纂完成并于1989年出版的《新疆地质志》,其中对全疆的花岗岩作了综合性的分析与记述。在实施“三〇五项目”过程中,于1986~1990年期间,设置了“阿尔泰花岗岩及其含矿性”和“东天山花岗岩及其含矿性”两个关于花岗岩的

课题(分别由中国科学院地球化学研究所和南京大学地质系负责承担);在 1991~1995 年期间,又设置了“新疆北部晚古生代花岗岩、陆相火山岩及其含矿性”和“新疆东准噶尔富碱花岗岩类及其成矿作用”两个课题(分别由中国科学院地球化学研究所和桂林冶金地质学院负责承担);在 1996~2000 年期间还设置了“昆仑-阿尔金岩浆活动及成矿作用”课题(由中国科学院地球化学研究所负责承担)。除了这些研究花岗岩的专题外,还有一些区域或矿区的课题实际上也做了大量的研究花岗岩的工作,并取得了许多实际资料和新的认识,如“哈图金矿”、“博乐钨锡矿”、“西天山多金属成矿带”、“可可托海伟晶岩”等。还有在此期间出版的一些专著,如姜春发等(1992)撰写的《昆仑开合构造》、何国琦等(1994)撰写的《新疆古生代地壳演化及成矿》、丁道桂等(1996)撰写的《西昆仑造山带与盆地》、高长林等(1995)撰写的《天山微板块构造与塔北盆地》等,显然,这些工作无疑为本次花岗岩专著的撰写奠定了良好的基础。因此,本专著的撰写与出版除了作者有限的研究工作外,更多的是吸纳了在新疆工作的,尤其是进行过花岗岩研究的广大地质工作者的重要成果。

有人说,在新疆搞地质工作最惬意。是的,我同意这种说法,因为在戈壁地区很少有植被覆盖,岩石露头极佳,你只要登上山坡望一望,那岩石、那褶皱、那断层,清清楚楚,尽收眼底。除了这个自然条件,更由于“三〇五项目”的实施,吸引了国内许多高水平的研究队伍到这里工作,相互间的交流与切磋,使我们在这里做研究工作更是感到受益匪浅。

偌大一个新疆,偌大一片花岗岩,如何系统地归纳它、描述它、演绎它,是我在编写本书时的一件颇费思虑的事情。以往的一些专著和报告,多半是按时代、按地区来描述它的,但这样做难以避免有许多重复,也不可能把每一个岩体的时代定得很准确,并且也难以反映新疆花岗岩的特点。新疆花岗岩有 4 个重要的特点:一是大面积超变质作用形成的地壳交代型片麻状花岗岩的广泛分布;二是与蛇绿岩有关的斜长花岗岩具有典型幔源岩浆分异的特点;三是成带分布的碱性花岗岩为全国之最;四是与花岗岩有关的矿产种类繁多而且有的也很重要。因此,我选择了以花岗岩的成因类型及其与成矿的关系为重点来论述新疆花岗岩,这一点希望能得到读者们的认可。

全书由王中刚执笔;分析数据的整理、计算及图件的编制由朱笑青完成。吴柏青、邹天人、赵振华、桂训唐编写了第八章的部分内容;毕华、王元龙、朱笑青编写了第九章的部分内容。

在本书即将完稿之际,我想借此机会对国家三〇五项目办公室和中国科学院资环局、地球化学研究所给我的支持和帮助,以及中国科学院涂光炽院士、孙枢院士、新疆地矿局科研所成守德高级工程师、新疆有色地质研究所田培仁高级工程师、北京大学何国琦教授、南京大学顾连兴教授、西北大学姜常义教授、

桂林冶金地质学院刘家远教授等对我的支持和帮助表示深切的谢意。感谢三〇五项目办公室徐新副主任的支持和鼓励。也要感谢多年合作共事的课题组成员吴柏青高级工程师、康旭、赵剑峰教授、邹天人、赵振华、桂训唐、于学元、洪文兴、黄智龙研究员、朱笑青、侯鸿泉、董振生、吴明清副研究员、毕华、王元龙、张杰、杨富贵、张传林博士、张凤祥工程师等。在撰写本书的时候,使我经常回忆起和他们一起在荒漠里跋涉,在风雪中兼程以及加班加点整理样品和编写报告时的情景。我深信,没有以上各个方面的支持、帮助与合作,撰写本书的任务是难以完成的。

谨以作者绵薄之力,奉献于浩瀚的新疆地质研究工作。



2003 年 7 月 30 日

绪 论

从网络资料统计,在 1994~2001 年间,国内主要刊物发表有关花岗岩研究的论文有 600 多篇,所占的比例不小,说明从 20 世纪 70 年代以来对花岗岩的研究经久不衰。为什么对花岗岩的研究这样重视并有着浓厚的兴趣呢?我觉得可能有以下方面的原因:

- 1)花岗岩分布广泛,它是许多区域内的主要岩石单位;
- 2)花岗岩与多种金属矿床有成因联系,不仅涉及的矿种多,如 Fe、Cu、W、Sn、Bi、Mo、Li、Rb、Cs、Be、REE、Nb、Ta、Zr、Hf、U、Th、Au、宝石、水晶、白云母等,而且涉及矿床类型也多,如岩浆矿床、伟晶岩矿床、矽卡岩矿床、云英岩矿床、斑岩矿床、热液矿床甚至风化壳矿床等;
- 3)花岗岩是一定地质条件下的产物,反过来从它的不同特征又能演绎其形成时的地质构造环境,因此,研究大陆岩石圈的结构、组成和演化,必然会涉及花岗岩;
- 4)不断有新创意的成岩成矿理论的提出,例如从成岩机制(原始岩浆、花岗岩化、地壳重熔……)到 I 型、S 型花岗岩的推出,再到成岩构造环境(造山-非造山、俯冲、碰撞……)的演绎,从而使对花岗岩的研究保持了旺盛的生命力而经久不衰。

20 世纪 80 年代,有关花岗岩问题的国际学术会议就举行过 5 次,它们是:1982 年在我国南京举行的花岗岩地质及其成矿作用学术会议;1985 年在加拿大渥太华召开的与花岗岩有关的矿床-地质学、岩石成因和构造环境国际会议;1986 年在巴西萨尔瓦多举行的花岗岩及伴生的矿化作用学术会议;1987 年在阿根廷图库曼举行的国际环太平洋显生宙花岗岩专题讨论会;同年在我国广州召开的花岗岩成岩成矿作用学术会议。此外,各类杂志发表的有关花岗岩的文章也很多。不难看出,近 20 年来国内外对花岗岩研究是不遗余力的,可以说是研究花岗岩的鼎盛时期,而其研究内容主要为以下 5 个方面:①花岗岩的成岩物质来源;②花岗岩的形成机理;③构造环境对花岗岩形成的制约;④花岗岩类型的划分;⑤花岗岩的成矿作用。

Chappell 和 White(1974, 1984)在研究澳大利亚东南部拉克兰褶皱带古生代花岗岩时,根据成岩物质来源的不同而将花岗岩划分为 S 型和 I 型。按其原意,

S 型花岗岩是由地壳沉积岩经部分熔融而形成, I 型则是由未曾出露地表(未风化过)的火成岩经部分熔融而成, 更为重要的是他们还提出了一套区分这两种有着不同源岩物质的花岗岩的矿物与地球化学标志。

上述两类花岗岩都是起源于地壳的, 至于有没有直接来源于地幔的花岗岩是个有争议的问题, 过去有些学者把铈初始值低的花岗岩都看成是地幔来源, 这并不恰当。地幔物质的重熔是不能直接产生花岗质岩浆的, Jahn(1981)用 $(La/Yb)_N-(Yb)_N$ 图解表明上地幔物质的部分熔融不能直接得到花岗质岩浆。Ringwood(1975)曾经指出, 地壳中存在的来自上地幔的火山岩, 它们具有低的铈同位素初始值, 若在其形成后不久就受到重熔, 结果所产生的花岗岩亦会具有铈同位素初始值低的特征。但与超基性岩组合有关的花岗岩, 如蛇绿岩套中及大洋岛屿中的斜长花岗岩或在层状侵入体顶部见到的花岗斑岩则有可能是来源于地幔的, 但是这种幔源花岗岩只是指那些从地幔上升的基性-超基性岩浆侵入到地壳后获得充分分异条件才能得到最后的少量的花岗岩浆并形成斜长花岗岩。新疆准噶尔地区及天山地区就有很多这种来源于地幔的超基性岩浆分异产生的斜长花岗岩。

A 型碱性花岗岩也具有幔源的特征。A 型花岗岩源于 3 个以 A 字起头单词的特征, 即 Alkaline(碱性的)、Anhydrous(无水的)和 Anorogenic(非造山的), 现在却不完全受此限制, 尤其是按其构造环境来说已进一步划分为非造山的(Anorogenic)和后造山的(Post-orogenic)两类(Bonin, 1990; Eby, 1990, 洪大卫, 1995), 并且给出了区分它们的判别标志。但是这一类花岗岩的形成过程要复杂得多, 至今还没有一个完全令人信服的解释, 因为这种解释必须同时说明碱性花岗岩的 3 个基本特征: ①它经常与 I 型花岗岩共生; ②不含水或极少含水, 而挥发分氟与氯的含量却很高; ③高价阳离子 Nb^{5+} 、 Zr^{4+} 、 Ce^{3+} 、 Y^{3+} 的含量高。一些学者曾提出过交代模式、分异模式及部分熔融模式来解释碱性花岗岩的成因, 其中被大多数人接受的是部分熔融模式, 因为交代模式与碱性花岗岩体的高度均匀性相矛盾, 而长英质 I 型熔体的分异作用, 其结果是由于早期无水相的晶出则导致含水熔体形成, 这亦与碱性花岗岩不含水的特征相矛盾。关于部分熔融模式也还有不同的见解。Harris 和 Marriner(1980)提出, 幔源富含卤素的挥发分的大量流入, 导致源岩熔融, 使花岗岩的碱质和高场强元素高度富集; Collins 等(1982)认为, A 型花岗岩是由基本上无水的源岩在温度升高($>830^{\circ}C$)时通过部分熔融而形成的, 其源岩的水由于受低程度部分熔融的 I 型岩浆的萃取而耗尽, 这种麻粒岩源富含氯是由于富含这些元素的云母和角闪石在早先的熔融过程中脱气分解而增加了稳定性的缘故。Andersen(1985)指出, A 型花岗岩也可以由已脱水的变沉积岩源岩的熔融而派生。

花岗岩形成机理的研究已不再停留在争论花岗岩究竟是岩浆结晶作用形

成的还是混合岩化、花岗岩化作用形成的了,人们认识到从混合岩化到形成熔融岩浆是一个不断演化、逐渐过渡的过程,是不同地质与物理化学条件下的产物,因此,更着眼于探讨各类花岗岩的形成过程,用物理化学实验及微量元素定量模式去探讨花岗岩形成的全过程。

提起花岗岩实验岩石学方面的发展,总不免想起著名的鲍文反应系列,这一经典的实验研究至今对认识岩浆演化仍有指导意义。近年来,除了一些成矿实验的内容外,随着重熔成因理论的提出,人们对不同条件岩石和矿物的初始熔融温度感兴趣,获得了不少有价值的实验数据,此外,王联魁等(1994)用实验证实了在富 Li、Na、F 花岗岩浆中存在不混溶现象,对研究花岗岩浆的演化,注入了新的内容。

从动力学角度研究花岗岩是一个新的方向,在宏观上,岩石大地构造学早已把岩浆岩的形成与区域构造活动及地球化学环境的变迁联系起来。在较小尺度上以流体动力学中常用的概念来定量地描述花岗岩浆分凝、运移、对流、定位等过程,逐渐形成了“岩浆动力学”这一新的分支学科。

在分析测试技术日益进步的今天,如何用好每一个数据,获得更多的信息,是一件很重要的事情。

Petersen(1980)在对挪威西北部紫苏辉石花岗岩成因的研究中,应用稀土元素分异结晶模型的计算,获得了很好的效果。该岩体由含辉石的紫苏花岗岩相、含角闪石的二长花岗岩相及黑云母花岗岩相组成,它们的稀土元素分布模式显示从正锶异常到负锶异常的逐渐变化。经计算表明,原始岩浆在第一阶段通过结晶分异作用分出含 70% 斜长石、18% 斜方辉石、12% 钛铁矿及 0.22% 磷灰石的苏长岩后,便得出相当于紫苏辉石花岗岩的稀土元素分布模式;在第二阶段,通过分出二长岩的成分后得到了含角闪石二长花岗岩相的稀土分布模式;最后,由于上述岩相的分出,便得到黑云母花岗岩的稀土元素分布模式。计算模拟与实际结果的吻合,令人信服地认为,过程就是那样。

岩石学与地球化学的结合是研究岩浆岩,尤其是在研究玄武岩和花岗岩中的一个重要特色。Rollison(1992)的著作《岩石地球化学》为此作了全面的概括。Batchelor 等(1985)用主元素的 R_1 - R_2 因子对花岗岩构造环境的判别图解, Pearce 等(1984, 1987)用微量元素对构造环境的判别图解已被广泛应用。

同位素的地球化学在岩石学研究中的应用除了其定年的重要价值外,岩浆岩的同位素比值可以表征其源区的特征,这个简单的事实引起了同位素地球化学在岩石学研究中两个方面的重要发展,即成岩的源区以其特征的同位素组成而能够被识别;同位素组成各异的源区间在成岩过程中混合作用(混杂程度)亦能够被识别。由古老地壳重熔形成的花岗岩给出的模式年龄也可以代表古老基底的年龄等等,已在岩石学和大地构造学中被广泛地应用了。

20 世纪 80 年代以前对花岗岩就已经有过各种成因分类,其着重点在于花岗岩的形成深度、形成方式及与造山运动的关系;而 80 年代后提出的花岗岩分类则更侧重于成岩物质来源及构造环境。

根据成岩物质来源对花岗岩进行分类的代表作是 Chappell 和 White 提出的 I 型和 S 型,这在上文中已经论述过了。

徐克勤等(1984)根据物质来源、形成方式及构造位置将花岗岩划分为三大类:①陆壳改造型,是由地槽沉积物经混合岩化、花岗岩化和有关的再生-重熔作用最终形成的花岗岩类,它们主要是正常的黑云母花岗岩,一般不与基性或中性侵入体伴生,也不和对应的同源火山岩伴生;②同熔型,这类花岗岩形成于构造活动带,由上地幔衍生的安山质岩浆的上升,引起硅铝层地壳部分重熔,形成同熔岩浆,经混染作用,结果导致中性至酸性的侵入岩及对应的火山岩的形成;③幔源型,通常与超镁铁质岩石及海相基性火山岩有成因联系。

涂光炽等(1984)根据成岩物质来源及成分特征,除了划分出壳型、壳幔型及幔型外,还特别提出了一个富碱侵入岩型,后者包括狭义的碱性岩(正长岩、霞石正长岩、辉石正长岩等)和碱性花岗岩,它们受深大断裂控制,产生于断裂处在拉张状态时,并可能与板块晚期发育历史有关。

董申葆(1984)首先根据物质来源及形成方式将花岗岩分为两大类,即地壳重熔花岗岩及地幔分异花岗岩,然后将前者再划分为混合花岗岩及岩浆花岗岩,将后者再划分为与超基性岩有关的花岗岩及与钙碱性火山岩有关的花岗岩。

迪迪埃等(1984)根据花岗岩中包体为变沉积岩还是变火成岩而把花岗岩划分为 Cs(地壳沉积岩型)、Ci(地壳火成岩型)及 M(地幔)型。

与各国研究者们热衷于花岗岩物质来源分类的研究不同,英国皇家学会会员、英国地质学会前理事长 Pitcher(1983)根据板块构造学说,提出了对花岗岩进行构造环境分类的方法,从而使花岗岩的分类研究进入了一个新的境界。

“不同成因类型的花岗岩代表不同的活动带”,这是 Pitcher 的基本思想,也就是说,特定的构造环境将产生特定的花岗岩,因此,他把花岗岩分成 5 种类型:

①海洋岛弧型(M 型),以大洋岛弧型斜长花岗岩为主;②活动大陆板块边缘型(科迪勒拉 I 型),以辉长岩-石英闪长岩-英云闪长岩组合为代表;③造山期后隆起区型(加里东 I 型),以花岗闪长岩和花岗岩为主;④克拉通褶皱带和大陆碰撞带型(S 型),为过铝质花岗岩组合;⑤稳定褶皱带和克拉通的隆起-裂谷型(A 型),为碱性花岗岩组合。

王德滋与周金成(1999)提出,运用岩石大地构造学研究方法分析造山带花岗岩的形成和演化是有效的研究手段之一。其基本原则是将岩浆作用、构造作用与构造环境三者联系起来建立花岗岩的构造岩浆组合。概括起来亦分为 5

类:

①俯冲(B型俯冲)消减型构造-岩浆组合,包括与蛇绿岩套有成因联系的幔源型花岗岩(M型),以及与岛弧和活动大陆边缘有关的I型花岗岩类;②碰撞型(A型俯冲)构造-岩浆组合,主要是过铝质S型花岗岩;③陆缘伸展减薄型构造-岩浆组合,包括双峰式火山岩与后造山A型花岗岩;④陆内断裂拗陷(类裂谷)型构造-岩浆组合,出现I型和A型花岗岩;⑤裂谷型构造-岩浆-组合,主要是板内A型花岗岩。

值得提到的是 Batchelor 和 Bowden(1985)将 Roche 用于岩石种类划分的多阳离子 R_1 - R_2 图解与 Pitcher 对花岗岩的构造环境分类揉为一体,提出了一个鉴定花岗岩形成环境的 R_1 - R_2 图解。

随着花岗岩成因类型的划分,就相继提出了不同类型花岗岩与不同类型矿化的关系。

拉梅尔等(1984)将花岗岩看作是深成型岩系演化的终端(趋同性演化),并指出:拉斑质岩系和钙碱性奥长花岗岩系常常伴有硫化物矿床,有时还有块状硫化物矿床;钙碱性岩系(花岗闪长岩趋势)产生多种斑岩铜钼矿床,其周围常有铅锌石英脉;二长岩系的晚造山花岗岩有辉钼矿矿化或铀、钍矿物的富集;碱性岩系有稀土、铌、锆的矿化;活化岩(Mobilizate)及有关花岗岩则有钨、锡、铌、稀土、铀等重要矿化。

原苏联学者 Козлов 和 Свядковская(1977)曾提出过判别花岗岩含矿性、潜在含矿性的微量元素图解。我们亦曾注意到华南许多与钨、锡及稀有金属成矿有关花岗岩具有特征的稀土元素分布模式。

关于花岗岩区填图方法的研究,值得注意的是 Pitcher 等在秘鲁海岸带花岗岩区创立了花岗岩单元-超单元填图法。他们把因岩浆分异而形成的一套在时间上、空间上和成因上有密切联系的岩石组合看成是一个单元,同一造山带内不同深成岩体上述单元的多次重现,就可以建立一个超单元。花岗岩区单元-超单元填图,实质上是岩石地层学方法在花岗岩区的应用。

在简略地回顾和介绍了当前国内外对花岗岩研究的动向后,我们最深的感受是:不同地区有不同的花岗岩成因和类型特征,许多作者在一个地区做了深入的研究之后,自然会得出关于这个地区花岗岩成因、分类的一系列见解,正如大家所熟悉的 Chappell 和 White(1974)对澳大利亚拉克兰地区所划分的S型和I型花岗岩;石原舜三对日本地区所划分的磁铁矿系列与钛铁矿系列;徐克勤等对华南地区所划分的陆壳改造型、壳幔同熔型和幔源型。我们所研究新疆地区的花岗岩也有它的特征,就是与造山作用的紧密联系的从地壳交代型向地壳重熔型转化的系列和与深断裂作用密切相关的幔源岩浆(M)-(A)系列的广泛成带发育。它既不同于华南成熟地壳中孕育的花岗岩系列,也不同于冈底斯-喜马拉雅

雅岩带的年轻花岗岩。它不像澳大利亚拉克兰褶皱带那样单纯,也没有尼日利亚那样特殊的裂谷构造环境,因此,我们在绪论中要说的是,新疆花岗岩就是新疆花岗岩。

目 录

总 序

前 言

绪 论

第一章 新疆地质构造及其演化 (1)

第二章 花岗岩地质 (6)

第一节 地质构造演化与花岗岩的形成 (6)

第二节 新疆花岗岩的时空分布特点 (10)

第三节 花岗岩的分类 (17)

第三章 地壳交代型花岗岩 (25)

第一节 地质产状 (25)

第二节 岩石学与岩石化学特征 (27)

第三节 微量、稀土元素及同位素组成特征 (32)

第四节 典型岩体——平顶山混合花岗岩 (35)

第五节 地壳交代型花岗岩的成矿作用 (40)

第四章 地壳重熔型花岗岩 (41)

第一节 地质产状 (41)

第二节 岩石学与岩石化学特征 (42)

第三节 微量、稀土元素及同位素组成特征 (46)

第四节 典型岩体 (50)

第五节 有关矿床 (60)

第五章 壳幔同熔型花岗岩 (61)

第一节 岩石学与岩石化学特征 (61)

第二节 微量、稀土元素及同位素组成特征 (64)

第三节 典型岩体——红其拉甫花岗闪长岩 (69)

第四节 壳幔同熔型花岗岩的成矿作用 (72)

第六章 幔源分异型斜长花岗岩 (74)

第一节 地质产状 (74)

第二节 岩石学与岩石化学特征 (77)

第三节 微量、稀土元素及钕、铽同位素特征 (81)

第四节 斜长花岗岩的形成机制 (84)

第五节 典型岩体——阿拉塔格斜长花岗岩	(86)
第七章 幔源重熔分异型碱性花岗岩	(88)
第一节 地质产状	(88)
第二节 岩石学特征	(93)
第三节 岩石化学	(100)
第四节 微量、稀土元素特征	(106)
第五节 同位素地球化学	(110)
第六节 新发现的最古老的碱性花岗岩体	(113)
第七节 典型岩体——大加山碱性花岗岩	(119)
第八节 成岩构造环境、成岩过程与成矿作用	(125)
第八章 阿尔泰山花岗岩	(133)
第一节 花岗岩地质概况	(134)
第二节 花岗岩的地质时代	(138)
第三节 造岩矿物	(139)
第四节 副矿物	(145)
第五节 微量、稀土元素地球化学	(147)
第六节 同位素地球化学	(151)
第九章 昆仑-阿尔金山花岗岩	(159)
第一节 区域地质发展演化历史	(159)
第二节 构造-岩浆演化史	(161)
第三节 岩石学与岩石化学	(169)
第四节 典型岩体	(172)
第五节 造岩矿物与副矿物	(188)
第六节 微量元素地球化学	(198)
第七节 成矿作用、矿床类型与找矿前景	(212)
第十章 花岗岩类与成矿的关系	(225)
第一节 花岗岩类与各种金属矿床形成的关系	(227)
第二节 典型矿床实例	(230)
第三节 花岗岩成矿可能性的判别	(267)
结论	(270)
参考文献	(272)
英文摘要	(277)
附录1 国家三〇五项目“七五”、“八五”、“九五”期间项目委员会、专家委员会 名单	(281)
附录2 国家三〇五项目专题承担单位和主要研究人员 照片及说明	(284)