

国家三〇五项目系列丛书

中国新疆北部富碱火成岩 及其成矿作用

赵振华 白正华 熊小林 梅厚钧 等著

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,包括多拉那萨依、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)盆地构造及其演化》、《中国新疆阿尔泰-准噶尔-天山地学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-昆仑山地学断面》及说明书、《中国新疆阿尔泰-准噶尔-天山地学断面》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

1985年,为国家经济建设战略西移和西部经济发展作资源准备,原国家科学技术委员会设立了“七五”科技攻关项目:“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”(简称国家305项目)。随后的15年中,国家在3个五年计划中连续立项,开展多学科联合攻关。本书是305项目中由本书作者先后负责的“阿尔泰花岗岩类及其与成矿关系研究”、“新疆北部晚古生代花岗岩陆相火山岩及其含矿性研究”、“新疆北部与邻区超大型矿床成矿条件对比研究及其前景评估”、“新疆稀有金属、稀土矿和锡矿成矿规律与成矿预测”及“西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆活动与金铜多金属矿床成矿关系的研究”等5个专题中有关成果的总结,还收集了一些相关专题如“东准噶尔富碱花岗岩地质意义与含矿前景研究”、“新疆东准噶尔锡矿地质特征”、“额尔齐斯火山岩和成矿作用”、“西准噶尔地区金矿地质、物探、化探综合研究及找矿靶区优选”及“新疆北部造山带前寒武纪基底特点及其成矿前景”等专题中相关研究成果。因此,本书是国家305科技攻关项目系列成果的一部分。

本书作者在完成上述专题的多年研究工作中发现,新疆北部晚古生代富碱火成岩岩浆活动强烈,它们从阿尔泰向南到塔里木北缘呈多条岩带状展布,岩石系列包括了碱性高钾钙碱性岩系、橄榄玄粗岩系和碱性系列,岩石类型包括了碱性花岗岩、橄榄玄粗岩系火山岩和碱性岩(侵入的、喷出的),构成了独具特色的北疆富碱火成岩省。本书紧紧围绕北疆晚古生代富碱火成岩广泛分布这一特色,较系统总结了富碱火成岩的分布、岩石学、岩石化学、地球化学(微量元素、稀土元素、同位素)特征,及相关成矿作用,探讨了富碱火成岩的形成机理和相关岩石圈动力学演化特征。

全书共七章,各章节的撰稿人如下:第一章:赵振华;第二章:赵振华;第三章:赵振华,熊小林;第四章:赵振华,梅厚钧,白正华;第五章:熊小林,王强,赵振华;第六章:赵振华,刘伟,熊小林;第七章:赵振华,白正华,王强。全书最后由赵振华定稿。

本专著相关项目及专著本身的完成得到了国家305项目办公室、中国科学院资源环境局及中国科学院广州地球化学研究所等单位的大力支持。本书的完成也得益于国家305项目中相关专题的丰硕研究成果。在成稿过程中还得到国家攀登计划项目“与寻找超大型矿床有关的基础研究”和国家自然科学基金项目(编号:40373017)的支持。我所(中国科学院广州地球化学研究所)王一先研究员参加了部分研究工作,包志伟博士协助完成书稿中部分图件,乔玉楼研究员完成了书稿中部分图件并对书稿进行了统编,在此一并表示衷心感谢!

本书的完成仅仅是对新疆北部富碱火成岩研究的一个阶段总结。众所周知,富碱火成岩特殊的岩石学、地球化学特征,使之在地球动力学研究中成为重要的“岩石探针”,而与之密切相关的大型、超大型金、铜等矿床又使之具有重要的经济意义。因此,对富碱火成岩的研究无论在理论上,还是在经济上均具有重要意义,它已成为近代岩石学和地球化学研究中备受关注的的一个重要对象。我们相信,随着研究工作的不断深入,新疆北部晚古生代富碱火成岩的研究定会取得更丰硕的成果。

赵振华

2004年3月

目 录

总 序

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 富碱火成岩的概念	(1)
第二节 国内外富碱火成岩研究现状	(5)
第二章 富碱火成岩的分布	(12)
第一节 新疆北部的火山岩类	(12)
第二节 新疆北部的花岗岩类	(18)
第三节 新疆北部富碱火成岩的带状分布	(20)
第三章 富碱侵入岩的岩石学与地球化学	(27)
第一节 富碱侵入岩的岩石化学与岩石学	(27)
第二节 碱性花岗岩类的微量元素、稀土元素地球化学	(51)
第三节 碱性花岗岩类的同位素地球化学	(67)
第四章 富碱火山岩的岩石学与地球化学	(87)
第一节 富碱火山岩的岩石化学与岩石学	(87)
第二节 富碱火山岩的微量元素、稀土元素地球化学	(124)
第三节 富碱火山岩的同位素地球化学	(133)
第五章 富碱埃达克质岩石的岩石学与地球化学	(149)
第一节 地质概况和岩石学特征	(149)
第二节 埃达克质岩石的地球化学特征	(152)
第六章 富碱火成岩的形成与岩石圈动力学演化	(159)
第一节 新疆北部陆壳基底及上地幔	(159)
第二节 富碱火成岩的源区物质	(162)
第三节 富碱火成岩形成的构造环境	(166)
第四节 富碱火成岩形成的物理化学条件——化学动力学特征	(172)
第五节 富碱火成岩形成的动力学背景及演化	(199)
第七章 与富碱火成岩有关的成矿作用	(207)
第一节 与碱性花岗岩类有关的成矿作用	(207)

第二节 与富碱火山岩类有关的成矿作用(Au、Cu 矿)	(228)
第三节 与碱性岩类有关的成矿作用.....	(247)
第四节 富碱火成岩 Au、Cu 成矿机理研究	(251)
主要参考文献.....	(257)
英文摘要.....	(270)
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.....	(277)
附录 2 国家三〇五项目专题承担单位和主要研究人员	(280)
图版说明及图版.....	(301)

CONTENTS

General Preface

Preface

Chapter 1	Introduction	(1)
Section 1	Conception of alkali-rich igneous rocks	(1)
Section 2	Research aspects of alkali-rich igneous rocks	(5)
Chapter 2	Distribution of alkali-rich igneous rocks in North Xinjiang	(12)
Section 1	Volcanic rocks	(12)
Section 2	Granitoids	(18)
Section 3	Zoning distribution of alkali-rich igneous rocks	(20)
Chapter 3	Petrology and geochemistry of alkali-rich intrusive rocks	(27)
Section 1	Chemical composition and petrology of alkali-rich intrusive rocks	(27)
Section 2	Geochemistry of trace elements and rare earth elements (REE) of alkaline granites	(51)
Section 3	Isotopic geochemistry of alkaline granites	(67)
Chapter 4	Petrology and geochemistry of alkali-rich volcanic rocks	(87)
Section 1	Chemical composition and petrology of alkali-rich volcanic rocks	(87)
Section 2	Geochemistry of trace elements and rare earth elements (REE) of alkali-rich volcanic rocks	(124)
Section 3	Isotopic geochemistry of alkali-rich volcanic rocks	(133)
Chapter 5	Petrology and geochemistry of alkali-rich adakite	(149)
Section 1	Geology and petrology of adakite	(149)
Section 2	Geochemistry of adakite	(152)
Chapter 6	Generation of alkali-rich igneous rocks and related lithosphere geodynamics evolution	(159)
Section 1	Basement and upper mantle in North Xinjiang	(159)
Section 2	Source materials of alkali-rich igneous rocks	(162)

Section 3	Tectonic settings of alkali-rich igneous rocks	(166)
Section 4	Chemical kinetics characteristics of alkali-rich igneous rocks generation	(172)
Section 5	Geodynamics of alkali-rich igneous rocks generation	(199)
Chapter 7	Mineralization of alkali-rich igneous rocks	(207)
Section 1	Mineralization of alkaline granites	(207)
Section 2	Mineralization of alkali-rich volcanic rocks	(228)
Section 3	Mineralization of alkaline rocks	(247)
Section 4	Mineralization mechanism of Au and Cu of alkali-rich igneous rocks	(251)
References		(257)
Abstract		(270)
Appendix I	Name list of the National 305 item committee and specialist committee during “the seventh, eighth and ninth five years plan”	(277)
Appendix II	Name list of main researching units and researchers undertaken task from the National 305 Item	(280)
Photograph of thin section		(301)

第一章 绪 论

新疆处于欧亚大陆腹地,地跨中亚和古特提斯两大成矿域,阿尔泰、天山、昆仑三条巨型造山带穿越本区,准噶尔和塔里木两大盆地镶嵌其间。它以地层发育齐全、岩相建造多样、岩浆岩类型齐全和活动强烈、构造形式复杂和成矿作用强烈、矿种类型多样而闻名于世。它所构成的中亚型造山,区别于环太平洋型、喜马拉雅型和阿尔卑斯型而更为引人注目。在其岩石类型多样、活动强烈的岩浆岩中,新疆北部的富碱火成岩又以其分布广泛、岩类齐全而独具特色。本书较系统地研究了其分布、岩石学、地球化学特征及相关成矿作用,并探讨其成因和地球动力学意义。

第一节 富碱火成岩的概念

在岩石学上,最早曾提出碱性和亚碱性(非碱性)两大类分类(Iddings, 1892)。20 世纪初, Daly 等认为碱性岩是一岩相学类型,基本特征是:硅酸不饱和,碱质含量^①高($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$),在矿物成分上出现副(似)长石和碱性暗色矿物,不含石英。

一些学者则以岩石化学成分为主要指标划分碱性与非碱性。提出了多种岩石化学方法确定岩石的碱度,例如,20 世纪 30 年代的皮科克(Peacock)法是采用钙碱指数(又称皮科克指数)确定碱性程度。该方法以 SiO_2 作横坐标,以 CaO 及 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ($w_B/\%$)为纵坐标,划出一个系列的火成岩成分的 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 与 CaO 两条变异线,两条变异线的交点,即 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = \text{CaO}$ 处,此处对应的 SiO_2 值称为钙碱指数(CA)。皮科克以钙碱指数大小,将岩浆岩划分为 4 级: $\text{CA} < 51$, 碱性岩(过碱性岩); $\text{CA} = 51 \sim 56$, 碱钙性岩(碱性岩); $\text{CA} = 56 \sim 61$ 钙碱性岩; $\text{CA} > 61$ 钙性岩。1982 年吴利仁等曾用此方法对山东、张家口、大兴安岭、宁芜等地区火山岩类进行了划分。

20 世纪 50 年代的里特曼(Rittmann)法是采用组合指标 σ (里特曼指数)确定碱性程度。组合指数 $\sigma = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})^2 / (\text{SiO}_2 - 43)$, σ 值愈大,碱性程度愈高: $\sigma < 4$ 称钙碱性岩, $\sigma > 4$ 为碱性岩。根据 σ 值大小和 Na_2O 的相对含量可进一步划分亚类,如 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 的碱性岩称为大西洋型, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 的碱性岩称为地中海型或钾质碱性岩。

20 世纪 60 年代末的莱特(Wright)碱度率- SiO_2 图解法,碱度率(AR)计算公式为:

$$AR = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})}$$

以 SiO_2 为纵坐标, AR 为横坐标,作出碱度分区图,即钙碱性-碱性-过碱性 3 个区。

斯特里克森(Streckerson)标准矿物法则是根据岩石化学计算成标准矿物,然后作

① 如无附加说明,本书含量即指质量分数($w_B/\%$),下同。

QAFP 双三角图和 $Q'/F'-Anor$ 图。

随着分析测试方法的快速发展,积累了大量岩石化学资料,建立了相关数据库,Le Maitre (1984)在 2.4 万个新鲜火山岩分析数据基础上,提出了全碱($Na_2O + K_2O$)和二氧化硅(SiO_2)TAS 图解法。Le Bas 1986 年根据新资料作了些修改,1989 年国际地质科学联合会岩浆岩分类分委员会推荐使用此方法。此方法简单,而且给出了不同区域岩石分类名称。在该图中,不同学者对于碱性岩和亚碱性(非碱性)岩进行了划分。Rickwood 1989 年综合了不同学者的资料,给出了其划分界线,图 1-1 是 4 种不同划分法,一是 Macdonald 和 Kat-sara(1964)、MacDonald(1968),他们是以夏威夷玄武岩为基础;二是 Kuno (1966),他以东亚第三纪火山岩为基础;三是 Irvine 和 Baragar 1971;四是 Muller 在 2002 年提出的划分碱性与非碱性界线,他将 TAS 图中 S 区及以上的区域全部划分为碱性区,以下的玄武岩、玄武安山岩、安山岩及英安岩全为非碱性区。

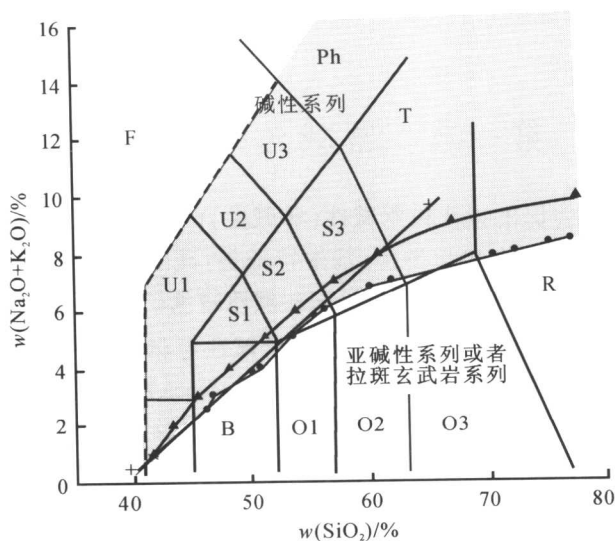


图 1-1 火山岩分类的全碱($Na_2O + K_2O$)- SiO_2 (TAS)图解

Fig.1-1 The Chemical classification and nomenclature of volcanic rocks using the total alkalis versus silica(TAS)diagram

B—玄武岩;O1—玄武安山岩;O2—安山岩;O3—英安岩;R—流纹岩;S1—粗面玄武岩;S2—玄武粗安岩;S3—粗安岩;T—粗面岩($Q < 20\%$),粗面英安岩($Q > 20\%$);Pc—苦橄玄武岩;U1—碱玄岩($O1 < 10\%$),碧玄岩($O1 > 10\%$);U2—响岩质碱玄岩;U3—碱玄质响岩;Ph—响岩;F—副长岩
B—basalt;O1—basaltic andesite;O2—andesite;O3—dacite;R—rhyolite;S1—trachybasalt;S2—basaltic trachyandesite;S3—trachyandesite;T—trachyte($Q < 20\%$);trachydacite($Q > 20\%$);PC—microbasalt;U1—basanite($O1 > 10\%$),tephrite($O1 < 10\%$);U2—phonotephrite;U3—tephriphonolite;Ph—phonolite;F—foiidite

TAS 图解也用于侵入岩,Wilson(1989)提出了侵入岩化学分类的 TAS 图解,该图采用 Cox (1979)设计的火山岩的界线,划分各种岩石类型的边界(图 1-2a),图中的黑体曲线为碱性与非碱性的界线。Middlemost(1994)提出了类似的用于火山岩和侵入岩的 TAS 图解,图中还划分出碱性辉长岩和各种碱性岩(图 1-2b)。

在岩石受到蚀变作用的情况下,需选用不活动的微量元素,如 TiO_2 、Zr、Y、Yb、Nb 等,常用的图解有 Winchester 等 1976 年提出的 Zr/TiO_2 -Nb/Y(图 1-3)。

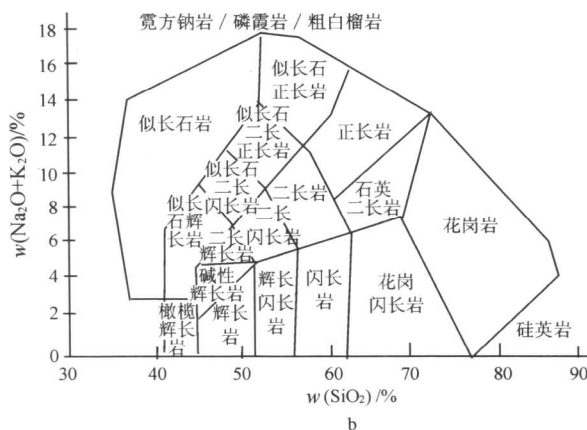


Fig.1-2 The Chemical classification and nomenclature of plutonic rocks using the total alkalis versus silica (TAS) diagram
a—Wikson 1989 年采用 Cox 等 (1979); b—Middlmost (1994)

图 1-3 受蚀变作用的火成岩的
岩石分类 Zr/TiO_2 -Nb/Y 图

Fig. 1-3 Zr/TiO₂ vs Nb/Y classification
of altered igneous rocks

1—碱流岩, 白碱流岩; 2—响岩; 3—粗面岩; 4—流纹岩; 5—流纹英安岩, 英安岩; 6—粗面安山岩; 7—安山岩; 8—安山岩/玄武岩; 9—亚碱性玄武岩; 10—碱性玄武岩; 11—碧玄岩, 霞石岩

1—pantellerite; 2—phonolite; 3—trachyte; 4—rhyolite; 5—rhyolitic dacite, dacite; 6—trachyandesite; 7—andesite; 8—andesite/basalt; 9—subalkali basalt; 10—alkali basalt; 11—tephrite, nephelinolite

似于碱性岩,又以高钾、低钛和铁而与之有区别。因此,它不能确切地归于碱性系列,很可能是一种独特的岩浆岩类型。

橄榄玄粗岩系是 Iddings(1895)研究美国黄石公园 Shoshonite 河的一种呈岩墙和熔岩产出的含有钾长石环边的拉长石的玄武岩(钾质粗面玄武岩或粗面玄武岩)时,首次用 Shoshonite 河命名此类岩石。起初,该名词曾不严格地用于含正长石的玄武岩,按 SiO_2 含量的增加,它包括了橄榄粒玄岩(Absarokite)-橄榄玄粗岩(Shoshonite)-橄云安粗岩(Banakite)。此后的近 70 年中,有的学者如 Rousome 1898 年提出了安粗岩(Latite);Johanssen (1938)建议取消此名词,她称之为橄榄玄粗岩系,作为玄武岩-粗面岩的组合,其 SiO_2 的含量达到 68%;Keller (1974)则把 $\text{SiO}_2 > 68\%$ 的酸性岩也包括在内;Paceerillo 和 Taylor(1976)研究土耳其始新世火山岩时,用 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图划分出橄榄玄粗岩系(Shoshonitic series)、高钾钙碱性系列和钙碱性系列及岛弧拉斑玄武岩系(图 1-4),其橄榄玄粗岩系的 SiO_2 限定在 $< 63\%$ 范围。尽管不同学者对橄榄玄粗岩系的 SiO_2 含量范围有不同认识,但可概括该岩系的特征(Morrison, 1980):富碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) $> 5\%$, 富 K, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值高(在 $\text{SiO}_2 = 50\%$ 时 > 0.6 , 55% 时 > 1 ; $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 关系在 SiO_2 $45\% \sim 57\%$ 时为正斜率(0.5),在 $> 57\%$ 时斜率为 0 或负);低 Ti($\text{TiO}_2 < 1.3\%$);高且变化的 Al(Al_2O_3 $14\% \sim 19\%$);高 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值(> 0.5);强烈富集大离子亲石元素(如 Rb、Sr、Ba、Pb、P 等)和轻稀土。另一方面是橄榄玄粗岩系列所属岩石系列,由于它富碱、高 K、高 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值、富大离子亲石元素而与拉斑玄武岩系和钙碱性系列有区别,也以高 K、低 Ti、Fe 而有别于碱性玄武岩,因此它可能是一种独立岩浆,有的将之称为钾质火成岩(Potassic igneous rocks)(Müller 等 1992; Nelson, 1992),包括橄榄玄粗岩系和高钾的岩石,但其标准也存在差异。

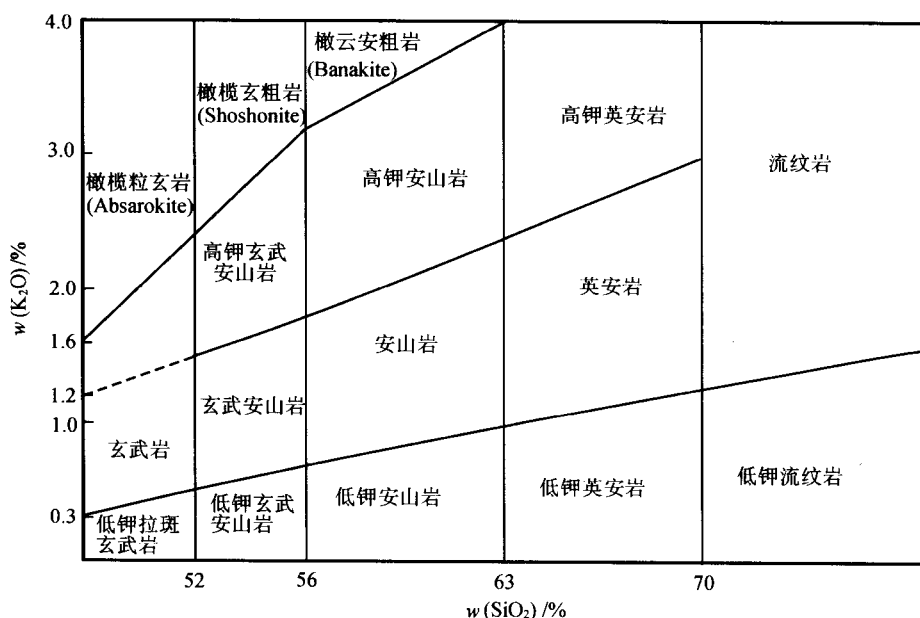


图 1-4 划分橄榄玄粗岩系与钙碱岩系的 SiO_2 - K_2O 图解

(Paceerillo 和 Taylor 1976)

Fig. 1-4 The subdivision of shoshonite series and calc-alkaline series using the K_2O vs SiO_2 diagram

我国对该岩系存在不同的认识:一是对岩系的译名不同,有橄榄玄粗岩系(王德滋等, 1991);钾玄岩系(从柏林, 1979;邱家骧, 1993;邓晋福等, 1992;张玉泉等, 1997);李献华等(1999)将钾玄岩系用于侵入岩;橄榄玄粗岩系(吴树仁, 1990;王碧香等, 1991;徐志刚等, 1999);安粗岩(鲍亦冈等, 1995)。二是对该岩系的划分标准不同,与国外相似,有的将 $\text{SiO}_2 > 63\%$ 的中酸性-酸性岩也包括在内,或 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值标准不一致;徐志刚等(1999)认为,这将橄榄玄粗岩系范围扩大化了。由于划分标准的差异,对该岩系在我国的分布也存在不同认识:徐志刚等认为不存在“中国东部橄榄玄粗岩省”和“晋北-冀北-北京-辽西安粗岩省”。第三,邓晋福等(1999)认为该岩系不仅有成分上限制,而且还有构造环境含义,“TAS 图上的钾玄岩是岩石定名用的,它与造山带钾玄岩不是一回事”。

Pecerillo 和 Taylor 1966 年提出用 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图(图 1-4)区分橄榄玄粗岩系(Shoshonite series)和高钾钙碱性系列岩石,其中橄榄玄粗岩系的 SiO_2 含量范围为 $48\% \sim 63\%$, 岩石名称为橄榄玄粗岩系。

在富碱侵入岩中最引起关注的是 A 型或碱性花岗岩,它是由 Loiselle 和 Wones 1979 年提出的非造山(Anorogenic)、碱性(Alkaline)、无水(Anhydrous)的花岗岩(即 3 个“A”)。“A 型花岗岩”的特征和成因一直存在争论。争论的原因主要有两个:一是 A 型花岗岩与花岗岩类的其它分类(如 I、S 型花岗岩)区分标准,如 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子比分别有 0.9, 0.95, >1.0 ; A 型花岗岩与长英质 I 型花岗岩的成分重叠;二是 A 型花岗岩已与其原始定义不一致,它并不只出现于非造山环境,还出现于后造山(post-orogenic)环境(Whalen 等, 1987)。从 A 型花岗岩产出的构造环境上来说,目前的分类包括两种:非造山(A_1 型,或 AA 型,即热点、地幔柱、裂谷)和后造山大陆边缘(A_2 型或 PA 型)(Eby, 1992);从成分特征上来说, A 型花岗岩已从“碱性、无水”的岩石拓宽到相对含水的偏铝质和微过铝质的岩石——铝质(Aluminous) A 型花岗岩(King 等, 1997)。这样, A 型花岗岩的 A 字已基本失去其意义,确切地含义应为碱性花岗岩类,它包括了碱性和过碱性花岗岩及与之共生(或伴生)的正长岩类(英碱正长岩、石英正长岩)。对其鉴定标准除手标本和岩石薄片中含有碱性暗色矿物(钠(铁)闪石、霓石)外,对于不含碱性暗色矿物的采用上述侵入岩的 TAS 图(图 1-2a),其 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量落入碱性区的被划为碱性花岗岩类。在研究过程中,还应辅助应用微量元素,例如 Ga/Al 比值对主元素, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$; $\text{Zr}-\text{Nb}-\text{Ce}-\text{Y}$ 对主元素, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ 或 FeO/MgO 的图解(Whalen, 1987)。

第二节 国内外富碱火成岩研究现状

富碱火成岩,特别是其中的富钾火成岩,自 20 世纪 80 年代以来受到了国内外广泛关注,这主要基于两个方面的原因:一是富碱火成岩产于特征的构造环境,源区物质来源较深(下地壳、上地幔),是研究地球动力学的“标志”型岩石和研究地球内部的“窗口”(Menzies, 1987)、“岩石珍品”(Petrological curiosities),或更形象地将碱性岩类比作火成岩岩石学的果蝇(Drosophila of igneous petrology);所有这些美称可归为一句话:富碱火成岩是研究地球内部及其动力学的“岩石探针”;二是由于自 20 世纪 80 年代以来,世界范围内相继发现了一批与富碱火成岩有关的 Au、Cu、Sn、稀有金属(如 Nb、Zr)、REE、U、Th 矿床,且多为超大型矿床,显示了富碱火成岩巨大的经济意义。

一、国际上对富碱火成岩的研究

1984年在英国爱丁堡召开了碱性火成岩国际会议,会后出版了“Alkaline Igneous Rocks”专辑(Fitton等,1987)。此后,研究重点主要集中于碱性花岗岩和橄榄玄粗岩系。

对于碱性花岗岩的研究,研究的总趋势是其概念已完全突破了原来 Loiselle 1979年所定义的“碱性、非造山和无水”,在成分上不仅限于 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (分子比) >1.0 ,也包括了比值为0.95,0.90甚至更低,还包括了相对含水的偏铝质和微过铝的铝质(Aluminous)花岗岩。在形成的构造环境上提出了 A_1 型——裂谷、热点、地幔柱; A_2 型——后造山(大陆边缘)(Eby,1992)。在成因上已趋于多成因模式,如**分离结晶**:正长岩浆分离结晶;I型岩浆分离结晶或基性到中性岩浆分离结晶。**部分熔融**:英云闪长质或花岗闪长质地壳火成岩部分熔融;亏损I型火成岩源的下部陆壳,下地壳部分熔融。**混合模型**:地幔碱性岩浆与地壳混合(Collins等,1982;Whalen等,1987)。

最受关注的是对橄榄玄粗岩系的研究,尽管从1895年开始此岩系名称经历了近一个世纪漫长的历程,人们对该岩系的定义仍存在分歧,但对其重要的理论和经济价值已取得共识。

Meen(1987,1990)从实验角度研究了玄武质岩浆形成橄榄玄粗岩的条件,指出在地壳厚35km、压力10kbar^①,经长时间、高程度分离结晶作用可形成橄榄玄粗岩浆。进入20世纪90年代,对橄榄玄粗质火成岩的研究主要在对其Sr、Nd、Pb同位素组成的研究(Nelson,1992a),发表了一些相关专著和召开了专题国际会议。Müller和Groves(1997)出版了《钾质火成岩和相关Au-Cu成矿作用》的著作,在书中他们提出的钾质火成岩(火山岩、浅成岩和侵入岩)包括了与俯冲有关的高钾钙碱性岩石和橄榄玄粗岩,板内高钾岩石、浅成高钾岩石(橄榄玄粗质和碱性煌斑岩)以及造山超钾岩石。他们在1992年工作基础上提出了钾质火成岩5种构造环境及其主、微量元素判别程序和图解(见本书第六章)。作者还详细论述了与钾质火成岩相关的斑岩型及浅成热液型Au、Cu矿床的成矿作用特点、找矿标志等。另一特别引起关注的是1997年3月欧洲地质联合会在法国Strasbourg召开的纪念R.Black教授、关于目前备受关注的后碰撞岩浆作用的讨论会,会后矿物岩石地球化学杂志“Lithos”于1998年出版了后碰撞岩浆作用专辑(Liegeois,1998),专辑中27篇文章中有4篇讨论碱性花岗岩,其余23篇均从岩石学、岩石化学、Sr、Nd、Pb同位素组成和同位素年代学等讨论了高钾钙碱性和橄榄玄粗质火成岩的成岩作用,特别是它们在板块运动的后碰撞阶段的重要意义。

新世纪伊始,富碱火成岩仍备受国际关注。国际矿床学杂志Mineralium Deposita 2002年第一期出版了碱性岩的Au-Cu成矿作用专辑(Müller,2002),全集8篇论文和1篇通讯均集中讨论了碱性,特别是富钾质火成岩的Au、Cu成矿,特别是超大型矿床的成矿作用。2001年在Strasbourg召开了主题为元古宙非造山作用的起源和演化——对大陆地壳演化的意义讨论会。Precambrian Research 2003年为此出版了专集,强调了A型花岗岩在元古宙地壳演化中的重要意义(Vander Auwera,2003)。

1. 富碱火成岩的构造分类及动力学背景

① 1 bar = 0.1 MPa,下同。