

祁连山及邻区火山作用与成矿

夏林圻 夏祖春 任有祥 左国朝 邱家骧 等著

地质出版社



祁连山及邻区火山作用与成矿

夏林圻 夏祖春 任有祥 左国朝
邱家骧 彭礼贵 王大为 杨巍然 著
邬介人 夏卫华 覃功炯 于浦生

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以研究北祁连山、南祁连山(拉鸡山及柴达木北缘)和甘肃北山公婆泉地区的火山岩和有关成矿作用为主线,同时进行区域构造-火山岩浆演化的动力学研究,总结了上述地区各个时代的不同构造环境下海相火山活动的特点,对有关矿产的区域成矿远景进行了分析预测;运用海底火山构造-热卤水循环动力学理论,在研究火山作用、火山机构、热水体系与成矿关系的基础上,建立了成矿模式和找矿模式,对不同类型铜多金属矿产的成矿条件进行了分析,指出了找矿靶区。

本书适于地质领域科研、教学及找矿工作者参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

祁连山及邻区火山作用与成矿/夏林圻等著.-北京:地质出版社,1998.3

ISBN 7-116-02531-6

1. 祁… I. 夏… III. ①火山作用-祁连山②火山成因矿床-祁连山 N. P611.1

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第02402号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:叶丹

责任校对:田建茹

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:14 字数:340000

1998年3月北京第一版·1998年3月北京第一次印刷

印数:1—600册 定价:21.00元

ISBN 7-116-02531-6

P·1872

(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)

前 言

本书是“八五”国家科技攻关计划项目“紧缺矿产勘查与评价研究”(编号: 85-901) 下属一级研究专题“祁连山地区与海相火山岩有关的铜、多金属矿成矿条件和找矿预测研究”(编号: 85-901-02-02) 的研究成果。该专题由地质矿产部西安地质矿产研究所、甘肃省地质矿产局及中国地质大学(武汉) 三个单位负责, 负责人为夏林圻、夏祖春。参加工作的单位有: 甘肃、青海二省地质矿产局所属有关研究所、地质队(甘肃地矿局地质科学研究所、西部地质矿产研究室、区域地质调查队、物探队, 青海省地矿局第二地质队), 中国地质科学院西安地质矿产研究所、矿床地质研究所及地质力学研究所, 中国地质大学(武汉、北京), 西安地质学院及白银有色金属公司地质队等 12 个单位。专题下设 4 个二级专题, 12 个三级专题, 如下表所列:

编 号	二级专题名称	负责单位	参加单位	负责人	三级专题数	三级专题负责人
85 901 02-02-1	北祁连山早古生代沟-弧-盆系细碧角斑岩形成演化及其与铜、多金属矿产成矿关系	西安地矿所		夏林圻 夏祖春	3	夏祖春 夏林圻 张瑞林
85-901- 02-02-2	北祁连山与海相火山岩有关的铜、多金属矿产成矿模式及找矿预测研究	西安地矿所	甘肃地矿局、白银有色金属公司地质队、中国地质大学(北京)、地质力学所、地科院矿床所、青海地矿局、西安地质学院	任有祥 邬介人 彭礼贵	4	彭礼贵 任有祥 邬介人 马鸿文 范子英
85 901- 02-02-3	甘肃公婆泉一带海相火山岩及其与铜、多金属矿产成矿关系研究	甘肃地矿局		左国朝	2	左国朝 王大为
85 901- 02-02-5	南祁连山(拉鸡山及柴达木北缘)早古生代海相火山岩及其与铜、多金属矿产成矿关系研究	中国地质大学(武汉)		邱家骥	3	邱家骥 杨巍然 夏卫华

专题工作地区包括北祁连山、南祁连山（拉鸡山和柴达木北缘）和甘肃省北山公婆泉地区。研究工作的目的是阐明研究区内早古生代区域地质构造演变过程中海相火山岩的成因、海相火山活动与成矿作用的关系以及建立与海相火山作用有关的铜、多金属矿床的成矿模式；在此基础上，对区域成矿远景进行战略预测，并指出找矿有利地段及找矿靶区。

研究工作运用区域构造-火山岩浆演化动力学研究方法，从研究区域海相火山岩自然共生组合、岩浆系列、地质构造环境与成矿系列的关系入手，总结工作区内各个时代、不同构造环境下海相火山活动特点，对有关矿产的区域成矿远景进行了分析预测；运用海底火山构造-热卤水循环动力学理论，在研究火山作用、火山机构、热水体系与找矿关系的基础上，建立成矿模式和找矿模式，进行不同类型铜-多金属矿产成矿条件分析，指出找矿靶区，及时对部分靶区进行物、化探和钻探验证。

研究工作历经四年时间，取得的主要进展如下：

（1）研究、查明了祁连山地区从新元古代至早古生代，以前寒武系为基底，曾发生的强度不一的裂谷拉张，及经历了大陆裂解，洋盆形成、消减、闭合等阶段形成的北祁连山、拉鸡山和柴达木北缘三个造山带。

（2）建立了北祁连山造山前区域构造和火山岩浆作用、成矿作用演化关系的格架，指出从以前寒武系为基底发生主动裂谷式拉张开始，经大陆裂解，洋盆形成、扩张、俯冲-消减，直至洋盆闭合的造山前期过程的地质历史记录在北祁连山保存得非常完整。海底块状硫化物矿床的形成几乎无一例外地与拉张环境有关，不同类型块状硫化物矿床的产出位置和特征与古火山机构关系密切。在上述认识的基础上，指出北祁连山的区域找矿战略前景：①产于新元古代—寒武纪的大型主动陆裂双峰式火山岩穹应为该区工业块状硫化物矿床的主要找矿远景区；②产于洋盆闭合初期，由于弧-陆碰撞过程中的反弹作用诱发产生的晚奥陶世被动裂谷型火山岩系，也具有寻找大型工业块状硫化物矿床的潜在远景；③海底扩张强烈，蛇绿岩套发育且具规模的中晚奥陶世弧后盆地火山岩系应当做为有希望的找矿方向予以重视；④奥陶纪岛弧火山岩带的西段，应当进一步加强区域火山岩研究，注意寻找是否有弧间裂谷型双峰式火山岩系存在，并进而开展找矿研究。

（3）北祁连山造山带是我国以及世界上最重要的块状硫化物矿床成矿省之一，区内已发现 54 处矿床和矿点。按成矿环境、成矿时代、含矿火山岩特点及成矿类型，可以分为三类：①产于新元古代—寒武纪大陆裂谷型双峰式火山岩穹中的白银厂型矿床。②产于中—晚奥陶世弧后扩张脊蛇绿岩套中的塞浦路斯型矿床。③产于晚奥陶世被动裂谷型双峰式火山岩系中的红沟型富铜矿床。

（4）南祁连山地区寒武纪至奥陶纪经历了完整的开合旋回。拉鸡山于中—晚寒武世发生裂谷拉张，历经大陆裂谷—陆间裂谷型小洋盆—火山弧消减带—小洋盆闭合的演化过程，相伴发育碱性与拉斑玄武岩系火山岩、蛇绿岩套型火山岩以及岛弧火山岩系。柴达木北缘于晚奥陶世早期发生裂谷拉张，发育双峰式火山岩套；晚奥陶世中晚期裂谷闭合，有中—基性钙碱质火山岩岩浆喷发，造山期有花岗质岩浆侵入活动。

（5）甘肃北山公婆泉地区位于塔里木板块东北缘的奥陶纪—志留纪活动大陆边缘，发育有完整的志留纪沟-弧-盆体系，北侧为窑洞努如—公婆泉水下火山岛弧带，南侧为野马井—通畅口弧后盆地。位于窑洞努如—公婆泉岛弧带东部火山穹隆之中的公婆泉铜矿田，成

因上属于和中一晚志留世钙碱性英安斑岩、花岗闪长斑岩密切相关的岛弧型斑岩铜矿床。在野马井—通畅口弧后盆地火山岩内发现火山喷发沉积-热液叠加改造型铜矿床。

(6) 提出 21 个预测找矿靶区。其中, 白银矿田内 4 个, 清水沟—白柳沟矿田内 4 个, 公婆泉及通畅口一带 13 个。其中的部分靶区, 已经物探或初步工程验证, 证实确为找矿有利地段。

值得提出的是, 在本专题报告提交后, 1995 至 1996 年期间, 在白银矿田的找矿预测区内, 经钻探验证, 发现了一些新的工业矿体。

研究成果揭示了祁连山不仅有丰富的矿产资源, 而且是一个极为理想的进行古火山岩浆学和成矿作用研究的野外实验室。本书清晰地勾画出该区造山之前地质成矿演化过程的全貌, 并雄辩地证明, 对于祁连山这样一个大至超大型复合造山带而言, 其造山之前的大范围海相火山作用及与之紧密相关的铜多金属成矿作用, 乃是该区基础地质和找矿研究中两个最为关键的应给予特别关注的重点研究课题。研究成果不仅为祁连山火山岩及有关铜多金属矿产的地质找矿研究建立了一套比较完整的理论基础和应用体系, 而且也提出了一系列富有新意的基础理论和应用研究课题, 诸如古大陆裂解和古洋壳形成、发展、消亡过程中的火山作用和地幔动力学机制, 不同拉张环境(主动与被动大陆裂谷、大洋裂谷、弧间裂谷等)下铜多金属矿床的形成机制和找矿预测等, 无疑具有十分重要的理论意义和实际价值。

专题研究工作是在地质矿产部科学技术司、中国地质科学院以及西安地质矿产研究所、甘肃省地质矿产局、中国地质大学(武汉)领导下进行的, 工作中得到了各参加单位的大力支持, 尤其是得到了地矿部科技司及中国地质科学院主管部门翟冠军、王瑞江、陆春榕等负责同志的深入指导和关怀, 使工作得以顺利完成。

国家科委社会发展司委托地质矿产部科学技术司主持对本专题成果的评审和验收工作, 于 1995 年 9 月在北京召开评审和验收会议。验收委员会由左汝强、王志雄、彭维震、翟冠军、郑善文、沈建中、孙延绵、孙建宏、陆春榕、张瑞林等有关主管部门领导组成。评审委员会由宋叔和院士、陈鑫教授级高级工程师、莫宜学教授、戴自希研究员、孙延绵研究员及叶庆同研究员组成。两委员会认为, 此专题研究成果达到国际先进水平, 同时也提出了宝贵的意见。值此专题成果正式出版之际, 谨对他们致以衷心的感谢!

本书是在各二、三级专题报告基础上编写的, 执笔者如下: 前言和第一、二章, 夏林圻、夏祖春; 第三章, 任有祥、彭礼贵、邬介人、覃功炯、于浦生; 第四章, 邱家骧、杨巍然、夏卫华; 第五章, 左国朝、王大为; 第六章, 夏林圻、夏祖春。最后, 由夏林圻和夏祖春统编和审定全文。由不同作者编写的各章节之间均有内在联系, 但亦保持相对的独立性, 各章的观点基本相同, 但对某些问题, 本着求同存异, 提倡争鸣的精神, 保留了不同见解。

参加 85-901-02-02 科技攻关专题研究工作的人员有(以姓氏笔划为序):

马天林	马鸿文	于浦生	王大为	王文龙	王永寿	王兴安	王志博	王泽华
王思源	王毅民	邓清禄	左国朝	冯志文	冯永忠	冯铁全	申少宁	任仲文
任有祥	刘 焰	刘丹英	刘晓明	刘德利	孙立茜	朱云海	李 剑	李向民
李国和	李绍雄	李贵书	李智佩	严增礼	何世全	宋学信	邬介人	邱家骧
邹治平	陈惠人	吴茂炳	金松桥	钟元芳	张 伟	张玉平	张志坚	张旺生

张景凯	张瑞林	张鲜宇	周 雁	范子英	胡能高	段焕章	赵江天	赵启贤
徐兴旺	徐学义	徐庆生	晏银丑	夏卫华	夏元祁	夏林圻	夏祖春	秦锡江
黄玉春	彭礼贵	曾广策	喻学惠	董 喧	覃功炯	雷伟志	傅 军	杨隕成
杨巍然	裴先治	滕汉仁						

目 录

前 言

第一章 概论	夏林圻 夏祖春	1
第二章 北祁连山海相火山岩成因及成矿远景分析	夏林圻 夏祖春	4
一、引论		4
二、新元古代—寒武纪 (679~514Ma) 大陆裂谷型火山作用		5
三、寒武纪末—早奥陶世 (522~495Ma) 洋脊-洋岛型火山作用		18
四、奥陶纪 (486~445Ma) 沟弧盆系火山作用		26
五、晚奥陶世—志留纪 (445~428Ma) 海盆闭合期火山作用和泥盆纪磨拉石盆地		46
六、小结		53
参考文献		55
第三章 北祁连山块状硫化物矿床成矿模式与找矿预测		
..... 任有祥 彭礼贵 郭介人 章功炯 于浦生		59
一、区域成矿环境		59
二、白银矿田矿床成矿模型与成矿模式		66
三、九个泉地区成矿类型与成矿模式		78
四、红沟矿床地质特征及其成矿条件分析		89
五、区域成矿前景分析与矿床找矿预测		98
六、小结		107
参考文献		109
第四章 南祁连早古生代海相火山岩及铜、多金属矿床成矿条件及找矿方向		
..... 邱家骥 杨巍然 夏卫华		111
一、区域地质背景及火山岩时空分布		111
二、火山岩主要特征及成因机理		113
三、火山岩盆地 (分布区) 构造特征及构造演化		134
四、铜、多金属矿产成矿地质条件及找矿方向		154
五、小结		162
参考文献		163
第五章 甘肃公婆泉一带海相火山岩及其与铜多金属成矿的关系		
..... 左国朝 王大为		166
一、区域地质及成矿背景		166
二、志留纪海相火山岩类型及沉积环境		175
三、志留纪海相火山岩岩石化学、地球化学、岩浆系列特征		186
四、志留纪海相火山岩成矿作用		194

五、志留纪板块构造及成矿.....	202
六、成矿单元划分.....	205
七、找矿预测.....	208
八、小结.....	210
参考文献.....	210
第六章 结论..... 夏林圻 夏祖春	212

第一章 概 论

祁连山地跨甘肃、青海两省，处于我国南、北大陆板块缝合带内，是一条著名的大陆造山带，它对我国大陆岩石圈的形成、演化有重要意义。同时，在这一地区广泛发育与海相火山活动有关的铜、铅、锌、金、银等多种金属矿产，成为我国铜、多金属矿产的主要成矿省之一。因此，对祁连山造山带的研究不仅具有很高的学术价值，而且对开发矿产资源，振兴西部经济也有明显的实际意义。

祁连山造山带呈北西西—南东东向分布(图 1-1)，其北侧以深大断裂与华北板块相隔，东南与秦岭造山带相接，西北以阿尔金断裂与塔里木板块相邻，西南侧则为柴达木板块。

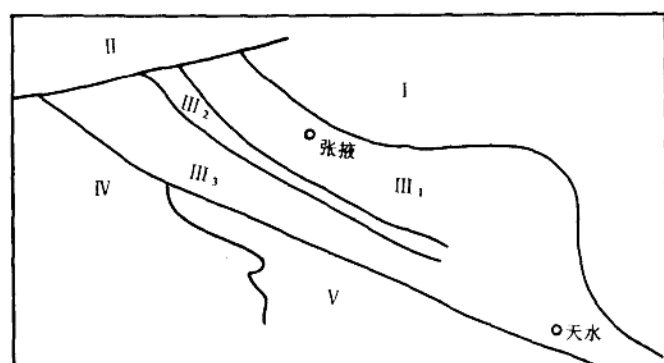


图 1-1 祁连山造山带大地构造位置略图

1. 华北板块；II. 塔里木板块；III. 祁连山造山带；III₁. 北祁连造山带；III₂. 中祁连隆起，
III₃. 南祁连造山带；IV. 柴达木板块；V. 西秦岭造山带

自新元古代以来，祁连山经历了大陆裂谷和板块作用等两种构造体制，俯冲造山、碰撞造山和陆内造山等三种不同的造山作用，最终形成复合型“祁连山造山带”。

祁连山造山带内可分为北、中、南三部分(图 1-1)：北部为北祁连造山带，中部为以前寒武纪地层为主的中祁连隆起，南部为南祁连造山带。北祁连造山带中，早古生代海相火山岩非常发育，且保存良好，与海相火山作用有关的铜、多金属矿产资源也十分丰富。因此，北祁连造山带是本书研究和论述的重点。早古生代海相火山岩及有关矿产在祁连山南部的拉鸡山及柴达木北缘两造山带中也有分布，它们也是本次研究的对象。

除祁连山造山带外，本书还论述了甘肃北山公婆泉地区志留纪海相火山作用、构造演化及有关的成矿作用。

现代板块构造理论为探讨火成活动的不同样式和地球化学特点提供了极好的格架。作者强调了区域上不同特点火山岩的形成均与构造环境有关。采用“将今论古”的法则，研究和了解现代火山岩的岩石地球化学特征与特定的构造环境之间的关系，并利用和借鉴这

些研究成果去对比较古老火山岩系的古构造环境,对于显生宙($<600\text{Ma}$)基本上是正确的(Wilson, 1989)。即便如此,对于那些遭受过比较强烈后期变动的古老火山岩系也仍然需持谨慎态度,因为强烈的变质和变形有可能掩盖了它们的原始大地构造特征。幸运的是,研究区的早古生代海相火山岩经受后期变质比较轻微,它们对造山带形成前各个阶段特征的火山活动地质历史记录保存得相当完整,为“将今论古”法则的运用奠定了良好的地质基础。在一定的地质构造单元内,与海相火山活动有关的成矿作用也必然受特定的构造环境和具特征的火山作用制约。因此,建立区域构造-火山岩浆作用的格架是研究成矿模式的前提与基础。下面将概略综述研究区各造山带区域构造演化与火山岩浆作用的关系,以期为读者建立一个整体概念。

北祁连山加里东洋盆开合的历史及演化过程:自新元古代开始,在前寒武系基底上发生裂谷拉张,到寒武纪形成完善的裂谷。裂谷火山作用十分发育,形成了双峰式火山岩套以及大量大陆拉斑玄武岩系火山岩($679\sim 514\text{Ma}$)。随着裂谷作用的进一步加强,至寒武纪末期到早奥陶世,大陆发生裂解,形成洋盆($522\sim 495\text{Ma}$),洋盆宽约 $1080\sim 2142\text{km}$,为一规模不算很大的有限洋盆。洋盆中,洋脊、洋岛和洋内弧型火山作用发育齐全,火山岩系产于蛇绿岩层序的上部。随着洋盆扩张,大洋板块冷却,逐渐变得致密起来,继而自南西向北东向华北大陆板块之下俯冲。这种俯冲作用几乎贯穿了整个奥陶纪始末($486\sim 445\text{Ma}$)。深海沟俯冲带分布在走廊南山南坡,由蓝闪石片岩带、基性—超基性岩块、火山岩岩片、混杂堆积岩、放射虫硅质岩残片以及滑塌堆积、浊流沉积及复理石等组成。在古海沟俯冲带的北东侧,陆缘岛弧火山岩带十分发育,东西延展超过 800km 。岛弧火山岩类型齐全,下部为岛弧拉斑玄武岩系,中部为岛弧钙碱火山岩系,上部为橄榄玄粗岩系($486\sim 445\text{Ma}$)。随着俯冲作用的强化,至中晚奥陶世,在岛弧火山链的后方,发生弧后拉伸,并相应发生弧后盆地型火山作用($469\sim 454\text{Ma}$),在弧后拉张强烈的地区,发育一些具有完整蛇绿岩层序的弧后扩张脊型海相火山岩。由于大洋板块的不断消减,导致洋盆闭合($445\sim 428\text{Ma}$),至晚奥陶世晚期发生陆-弧碰撞,于残余海盆中堆积了厚度大于 3000m 的初始磨拉石建造(马营沟群),主要由陆源碎屑岩组成,夹少量火山碎屑岩。在洋盆闭合初期,由于弧-陆碰撞中发生的局部反弹作用,导致岩石圈拉伸,形成小规模被动型裂谷,并相应发育裂谷火山岩浆作用。早志留纪的火山作用十分零星,具大陆型火山岩特点。泥盆纪南北陆块(南为中祁连陆块,北为华北大陆板块)碰撞造山。从石炭纪至今,又发生了陆内造山运动,形成今日之北祁连造山带。北祁连山虽历经造山运动,但从裂谷—洋盆—俯冲消减,直至洋盆闭合的造山前期过程的地质记录保存得十分良好,从南至北,依次分布着洋脊火山岩带、俯冲杂岩带、岛弧火山岩带及弧后盆地火山岩带,新元古代—寒武纪大陆火山岩则呈残留块体断续出露(参见图2-1)。

拉鸡山造山带发育于中寒武世至志留纪,海相火山岩主要产于寒武纪和奥陶纪。中一晚寒武世,在元古宙变质基底上发生裂陷拉张,以狭长条带楔入中祁连隆起(参见图4-1),与裂谷作用相伴,产生碱性玄武岩及拉斑玄武岩等两个系列的火山岩。进一步的拉张作用形成陆相小洋盆,其打开距离仅约为 130km ,有不典型的蛇绿岩套出现。至奥陶纪,洋盆闭合,经消减挤压形成陆间裂谷型造山带,相应产生以钙碱系及橄榄玄粗岩系为特征的岛弧火山岩系,并有造山期及造山期后的O型和A型花岗岩出现。柴达木北缘裂陷海盆发育于晚奥陶世。于晚奥陶世早期,裂谷拉张,形成陆间小海盆,其拉张距离仅约 64km ,相伴

有海相双峰式火山岩套出现。至晚奥陶世中期，小海盆闭合，发育以中性火山岩为主的钙碱系火山岩。

位于祁连山之北，甘肃省北山一带的公婆泉地区，在大地构造位置上是处于塔里木板块东北缘的奥陶纪—志留纪活动大陆边缘，那里发育着完整的志留纪沟-弧-盆体系。从北至南，分布着岛弧带及弧后盆地带（参见图 5-1）。在窑洞努如—公婆泉岛弧带出现以钙碱性安山岩和英安岩为主的火山岩系及次火山相的钙碱性英安岩和花岗闪长岩。在野马井—通畅口弧后盆地中的火山岩则以玄武岩为主，弧后盆地边缘有蛇绿岩呈残片产出。

第二章 北祁连山海相火山岩成因 及成矿远景分析

一、引 论

现代火成岩石学研究是地球科学或全球动力学研究的一个重要组成部分。其中,区域火山岩石学研究正处于这一领域的前沿。它以查明区域火山岩构造组合为核心,以追索不同构造环境火山岩浆的起源、演化及其深部过程为关键,已成为当代探索地球起源和演化的一个重要支柱。

现代板块构造理论为探讨火成活动的不同样式和地球化学特点提供了极好的格架。本章只是从研究区域火山岩的角度探索北祁连山古板块构造体制与火山岩浆作用的关系,着重强调区域上不同特点火山岩的形成直接与构造环境有关。

作者近十年的研究(夏林圻、夏祖春等,1991,1996)业已查明,地跨我国甘肃、青海二省的北祁连山系内,分布着一套类型十分齐全的早古生代海相火山岩系,东西绵延千余公里。它们经受后期变动比较轻微,对北祁连山造山带成形前的各个阶段特征火山活动的地质历史记录保存得相当完整,为开展区域火山岩岩石学研究奠定了十分有利的地质前提。

研究揭示,北祁连山早古生代海相火山岩以细碧岩-角斑质火山岩系为主,正常系列海相火山岩较少。本章拟根据作者的分类(夏林圻、夏祖春,1987,1991)对细碧-角斑岩系进行命名。正常系列海相火山岩的命名,系采用化学成分和矿物成分相结合的原则。化学成分分类,依据国际地科联火成岩分类委员会的火山岩化学分类 TAS 图解(Le Bas et al., 1986),矿物成分分类,主要参照《火成岩岩石学》(王德滋、周新民,1982)一书有关章节进行。在此应强调指出,作者无意于将细碧-角斑质火山岩系当做一个原生火山岩石系列或一个独立的源岩浆系列来看待。它只是正常的海底火山岩浆在穿过海底沉积盖层上升时,当沉积盖层很厚、岩浆上升速度缓慢,遭受海底对流循环的热卤水混染而产生的次生改造型混染岩浆结晶演化的产物。沉积物很薄,压力较低,以及岩浆上升过速、冷却很快,没有充足时间停滞于沉积物中等两种情况都会对岩浆混染作用产生抑制。因此,并非所有的海底火山岩均为细碧-角斑岩系。有关细碧-角斑质火山岩系的成因问题,作者在以往的论著中(夏林圻等,1985;夏林圻、夏祖春,1987,1988,1989;夏林圻等,1991)已作过比较详细的讨论,本章中不再赘述。

针对研究区内早古生代火山岩曾经受不同程度变质的特点,我们特别强调惰性元素、微量元素、同位素地球化学和岩浆包裹体等研究手段,综合运用矿物学、岩石学、岩石地球化学和火山岩浆学等研究方法,在借鉴现代板块动力学理论和重视现代海洋火山学研究成果的同时,始终把握住重塑区域古板块构造-火山岩浆作用机制这一主线开展研究。

自 70 年代中期以来,若干大地构造学者(王荃等,1976;肖序常等,1978、1988;左国朝等,1987; Zhang et al., 1984; 许志琴等,1994)曾从多种角度对北祁连山造山带的构造演化进行了探讨。概括起来,有两种认识:一种认为北祁连山曾是古特提斯洋的一部分,其构造演化应纳入到古特提斯构造带的范畴之中;另一种认为它曾经是华北大陆板块(或中朝克拉通)南缘的一个有限洋盆,是由陆缘拉张,进一步大洋化,尔后再进行拼合形成的造山带。我们的区域火山岩研究成果倾向于后一种认识,并于 90 年代初(夏林圻、夏祖春等,1991,1992)首次明确提出,北祁连山海相火山岩系应是新元古代至寒武纪,在相当于现今华北大陆板块南缘的位置,发生裂谷拉张及进一步裂解、大洋化的基础上,洋盆扩张继而向北俯冲消减、碰撞拼合过程中所形成的大陆边缘沟弧盆系火山活动产物,它类似于现代西太平洋的构造-火山岩浆活动格局。

近四年来(1991~1995),针对前期研究中的不完备和疏漏之处,我们又对北祁连造山带中数十条路线剖面进行了更为详细地观察研究,在着重区域构造-岩石地球化学研究的基础上,特意加强了火山熔岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 法年龄测定。目前,根据区域海相火山岩成因研究(夏林圻、夏祖春、徐学义,1996),我们已经比较准确地查明了北祁连山加里东洋盆开合的历史,及其相伴火山活动的发生、演化过程和时空展布格局(图 2-1),并对其成矿远景取得了更为明晰的认识,现叙述如下。

二、新元古代—寒武纪 (679~514Ma) 大陆裂谷型火山作用

从新元古代开始,由于地球深处地幔柱(Mantle plume)物质底辟上涌,它们来自于洋岛玄武岩源地幔,极有可能始源于 670km 深处的上、下地幔界面处(Wilson, 1989),导致北祁连山进入以前寒武系为基底发生裂谷断陷拉张、陆壳变薄向洋壳转变的过程(图 2-2-a)。这种过程一直延续到寒武纪晚期。裂谷断陷作用初期,陆壳引张处于初始阶段,产生部分熔融程度低的不饱和碱性玄武岩浆,由此而形成的大陆碱性玄武岩系在白银厂、清水沟—白柳沟、黑石山、小黑茨沟和面碱沟等地均有发育,主要产于火山岩剖面基性熔岩部分的下部。随着拉张程度增大,导致部分熔融程度高的饱和性拉斑玄武质岩浆溢出,构成本区新元古代—寒武纪海相基性火山岩的主体,它们较为稳定地产出于火山岩剖面的上部。

北祁连山新元古代—寒武纪大陆裂谷型海相火山岩,目前主要以残留块体的形式存在于北祁连山早古生代海相火山岩系之中。它们呈狭长状地质体,沿 NWW-SEE 方向,集中分布于甘肃省玉门市昌马一带、青海省祁连县及甘肃省天祝县至白银市等地段(图 2-1)。按产状可分为如下两类:一类为由中心式爆发—喷溢—侵入—侵入形成的大型火山岩穹;另一类为由裂隙式爆发—喷溢形成的层状火山岩流。

前述新元古代—寒武纪基性火山岩的 Sr、Nd 同位素成分(表 2-1)投点,部分落于 Sr-Nd 同位素地幔阵列的洋岛玄武岩(OIB)区域内,其余投点偏离地幔阵列,向 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比增大的方向发生位移(图 2-3)。这表明,它们应当源自于一种和 OIB 源相似的相对富集地幔柱物质的部分熔融,但由此而产生的玄武质岩浆在上升通往地表的途中,曾明显地受到地壳物质的混染,从而导致 Sr 同位素比值增高(Depaolo and Wasserburg, 1979)。此

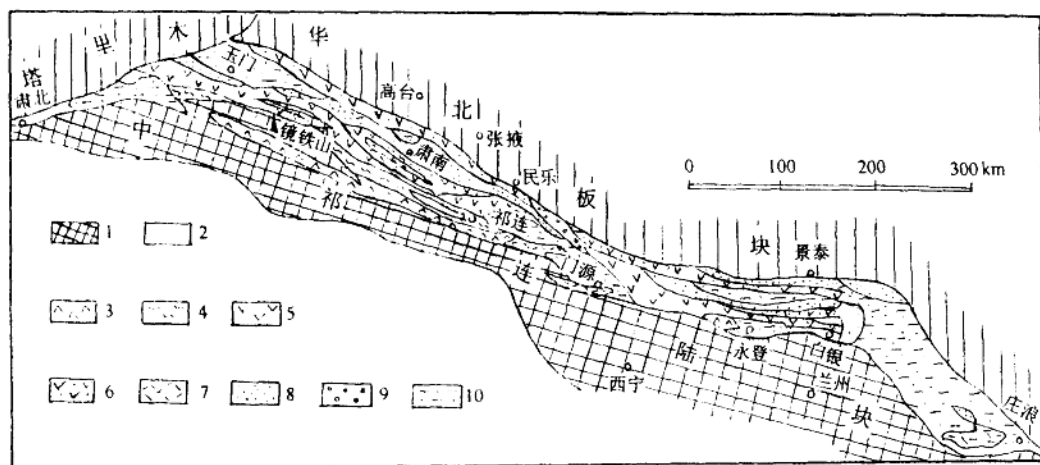


图 2-1 北祁连山早古生代构造火山岩带略图

1. 前寒武纪镜铁山推覆体；2. 新元古代—寒武纪陆裂火山岩；3. 寒武纪末—早奥陶世洋脊-洋岛型火山岩带；4. 海沟俯冲杂岩带；5. 奥陶纪岛弧火山岩带；6. 中—晚奥陶世弧后盆地火山岩带；7. 晚奥陶世残余海盆火山岩；8. 志留纪残余海盆（含零星大陆火山岩的复理石建造，代表海盆闭合阶段产物）；9. 泥盆纪磨拉石盆地（碰撞造山产物）；10. 上叠盆地（石炭系至第四系，代表山体长期隆升中形成的断陷及拗陷）

表 2-1 北祁连山新元古代—寒武纪火山岩锶、钕同位素数据

序号	样号	产地	岩石	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$\epsilon_{\text{Sr}}(0)$	ϵ_{Sr}	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	ϵ_{Nd}
1	92-94(4)	白	钾 细 碧岩	1.66932	0.717564 ± 0.000058	0.705134 ± 0.000988	185.44	17.64	0.1173	0.512335 ± 0.000024	-5.91	-0.6
2	92-94(6)								0.0769	0.512202 ± 0.000011	-5.31	-0.51
3	91-44	白 银 厂	钾质 钠长 粒玄岩	0.63031	0.712051 ± 0.000031	0.707357 ± 0.000364	107.182	49.23	0.1162	0.512366 ± 0.000023	-5.31	0.07
4	91-33(1)		石 英 角 斑 岩	1.2858	0.71390 ± 0.00009	0.703018 ± 0.000194	133.43	-11.24	0.1141	0.512631 ± 0.000010	-0.14	6.14
5	91-33(5)			0.5115	0.70908 ± 0.00010	0.704751 ± 0.000103	65.011	13.38	0.1224	0.512651 ± 0.000032	0.25	5.90
6	91-33(7)			1.1386	0.71294 ± 0.00010	0.703303 ± 0.000241	119.80	-7.18	0.1105	0.512601 ± 0.000024	-0.72	5.83
7	91-33(9)	面 碱 沟	辉 石 细 碧 玢 岩	1.3965	0.71443 ± 0.00011	0.702611 ± 0.000198	140.95	-17.02	0.1143	0.512604 ± 0.000067	-0.66	5.60
8	91-13(2)			0.8113	0.71422 ± 0.00012	0.706873 ± 0.000116	137.97	44.22	0.1651	0.512705 ± 0.000023	1.31	3.51
9	91-13(3)			0.2351	0.70904 ± 0.00012	0.706911 ± 0.000118	64.44	44.76	0.1941	0.512657 ± 0.000019	0.37	0.55
10	91-13(4)			1.1541	0.71468 ± 0.00009	0.704229 ± 0.000084	144.50	6.65	0.2053	0.512697 ± 0.000016	1.15	0.55
11	91-13(7)			0.4839	0.71086 ± 0.00009	0.706478 ± 0.000087	90.28	38.61	0.1544	0.512693 ± 0.000025	1.07	4.03

注：分析者：地矿部西安地质矿产研究所方克昌、宋忠宝、侯福良、冀楠、邱德明（Rb-Sr 同位素），中国科学院地质研究所黄堂等（Sm-Nd 同位素）。白银厂基性火山岩 Sm-Nd 等时线年龄为 522.4Ma；白银厂酸性火山岩 Sm-Nd 等时线年龄为 593.5Ma；面碱沟基性火山岩 Sm-Nd 等时线年龄为 545.1Ma。 ϵ_{Sr} 计算中采用 $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{CHUR}} = 0.0816$ ， $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{CHUR}} = 0.7045$ ； ϵ_{Nd} 计算中采用 $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$ ， $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$ ， $\lambda_{\text{Sm}} = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$ 。

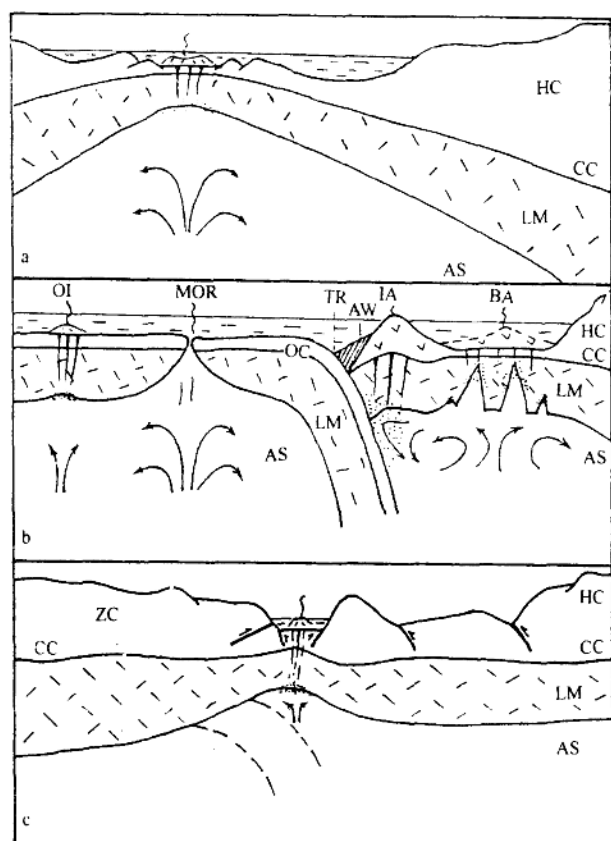


图 2-2 北祁连山早古生代火山岩浆活动演化示意图

a—新元古代—寒武纪大陆裂谷型火山作用；b—寒武纪末—奥陶纪沟-弧-盆系火山作用；c—晚奥陶世—志留纪海盆闭合期火山作用；CC—陆壳；OC—洋壳；LM—岩石圈地幔；AS—软流圈；OI—洋岛；MOR—洋脊；TR—海沟；AW—增生楔沉积；IA—岛弧；BA—弧后盆地；HC—华北大陆板块；ZC—中祁连陆块

类特点同样亦为微量元素地球化学研究结果所证实。如图 2-4、图 2-5、图 2-6 所示，本区新元古代—寒武纪基性火山岩微量元素洋脊玄武岩标准化分配型式均显示大陆裂谷玄武岩（包括碱性玄武岩和拉斑玄武岩）特有的“大隆起”特征。特别应当指出的是，许多图解（如图 2-5 和图 2-6）都呈现受地壳混染作用而引起的“穗齿状”分配型式，Nb-Ta 槽清楚，但不如与消减带有关的火山岩显示得那么强烈。这是由于易熔的地壳岩石通常较洋岛玄武岩更富 Ba、Rb、Th、K 和 LREE，但具有相似或较低的 Nb、Ta、P、Zr、Hf、Y 和中稀土元素丰度（Thompson et al., 1984）。因此，具有与洋岛玄武岩类似特点的本区新元古代—寒武纪基性岩浆，在其上升通往地表的过程中，受地壳物质混染后就可以产生一种如图 2-5 和图 2-6 中所显示的“穗齿状”分配型式。

在相当一些地区（如白银厂和清水沟—白柳沟等地区），由上地幔部分熔融产生的基性岩浆上升速度比较缓慢。当它们进入至陆壳之后，引起陆壳下部发生深熔作用，产生钙碱性富硅质岩浆。这种富硅质岩浆首先上升、喷发，形成钙碱质酸性火山岩系，尔后是偏下

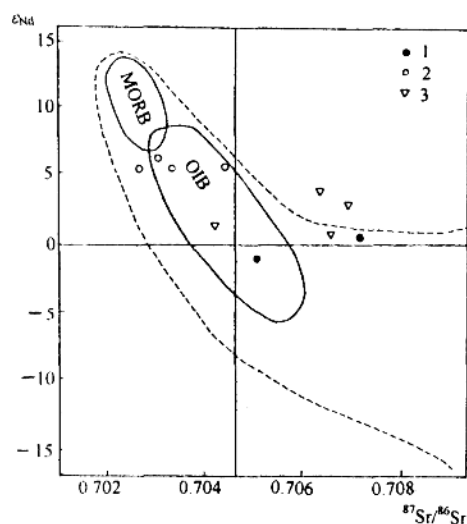


图 2-3 白银厂及面碱沟大陆裂谷火山岩

ϵ_{Nd} - $^{87}Sr/^{86}Sr$ 变异图

MORB—洋脊玄武岩, OIB—洋岛玄武岩; 虚线示根据幔源捕虏体确定的大陆岩石圈地幔的 Sr、Nd 同位素范围 (据 Zindler and Hart, 1986)。1. 白银厂细碧岩; 2. 白银厂石英角斑岩; 3. 面碱沟细碧岩

部的基性岩浆上升、喷发, 形成层位偏上的基性火山岩, 二者构成典型的双峰式火山岩组合。这些酸性火山岩和我国北方太古宇麻粒岩 (沈其韩等, 1992) 具有十分相似的球粒陨石标准化分配型式 (图 2-7), 证明它们极有可能是下部陆壳底部基性麻粒岩部分熔融的产物。由于太古宇麻粒岩常具有较高的 Nd 同位素比值和较低的 Sr 同位素比值, 例如我国华北大陆板块太古宇麻粒岩的 $\epsilon_{Nd} = +0.5 \sim +4.4$ (沈其韩等, 1992)、 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7007 \sim 0.7038$ (孙荣圭, 1989), 因此由它们部分熔融产生的酸性火山岩也继承性地同样具有类似的同位素成分, 例如, 白银厂石英角斑岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7026 \sim 0.7048$ 、 $\epsilon_{Nd} = +0.56 \sim +6.14$ (表 2-1、图 2-3)。相反, 清水沟—白柳沟和黑石山等地区的酸性石英角斑岩的 Sr 同位素初始比值较高, 为 $0.7071 \sim 0.7129$ (夏林圻、夏祖春等, 1996), 意味着它们有可能是下地壳上部岩

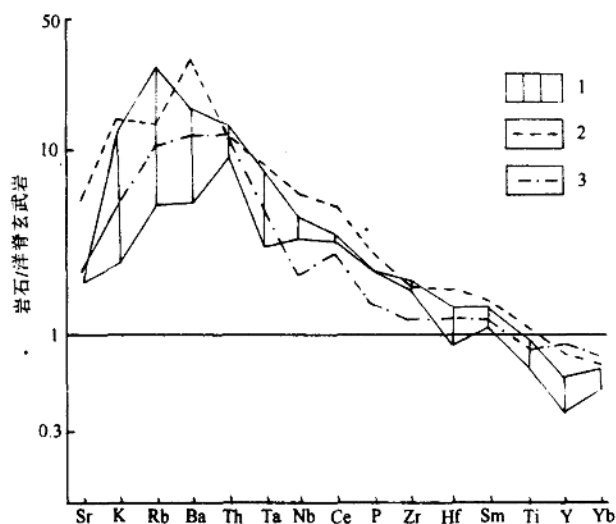


图 2-4 小黑茨沟细碧岩类微量元素洋脊玄武岩标准化分配型式

(标准化数值据 Pearce, 1982)

1. 小黑茨沟细碧岩类; 2. Rio Grande 大陆裂谷碱性玄武岩 (Basaltic volcanism study project, 1981);
3. 大陆拉斑玄武岩平均值 (Wood, 1979)