

青藏高原北缘 火山作用与构造演化

赖绍聪 邓晋福 赵海玲 著

陕西科学技术出版社

国家自然科学基金 资助
地矿部地学断面基金

青藏高原北缘 火山作用与构造演化

陕西科学技术出版社

(陕)新登字 002 号

内 容 提 要

本书是关于青藏高原北部新生代火山岩以及北祁连、柴达木北缘、阿尔金山古生代海相火山岩的全面系统性的研究成果。从岩石大地构造学的角度,依据地质历史进程中不同时代岩浆活动形成的岩石学记录,利用地质、岩石、岩石大地构造及地球化学相结合的方法,回溯火山作用的古构造环境,反演造山带的形成及演化过程,提出了北祁连奥陶纪多岛洋构造体制、阿尔金断裂岩块镶嵌体系的新认识,并最终建立了青藏高原新生代造山带扩展的三阶段造山隆升模式。

全书学术思路新颖,研究方法独特,成果丰富,可供有关科研、生产人员及大专院校的师生们阅读使用。

青藏高原北缘火山作用与构造演化

赖绍聪 邓晋福 赵海玲 著

陕西科学技术出版社出版发行

(西安市北大街 131 号)

西安地质学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 21 万字

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

ISBN7-5369-2525-5/P·41

定 价:10.00 元

序 言

80年代以来,大陆岩石圈的成因、演化及其动力学一直是国际地球科学界研究的中心课题。自板块构造登上大陆以后,研究的热点已转向大陆内部,人们试图通过对大陆内部具体构造认识上的突破,建立大陆动力学新模式。

青藏高原位于亚洲大陆的南部,地处巨型特提斯—喜马拉雅构造域的东段。它是地球表面一个独特的地理单元,高出海平面近5 km,并具有一个两倍于正常厚度的地壳。该区被认为是印度和欧亚大陆碰撞的结果,是世界上碰撞构造的最重要实例。青藏高原是古生代以来的地质活动区,具有多类型的沉积建造,频繁的岩浆活动和变质作用,以及复杂的地质构造格局。因此,长期以来就引起了国际地学界的瞩目,被誉为“打开地球奥秘的金钥匙”。

青藏高原北缘界线的划分存在广义和狭义两种看法。北缘西段分界一般划在塔里木盆地与昆仑山脉的界线处。东段界线则有两种看法:一种认为河西走廊南缘与北祁连的分界构成青藏高原的北缘东段界线;一种则认为应以柴达木盆地南缘为界。由于阿尔金山与祁连山连接自然,以及阿尔金山与塔里木盆地、祁连山与河西走廊之间均以崖壁为界。因此,青藏高原东北边界定在祁连山与河西走廊接壤处的广义方案,已为众多的地质、地理工作者所接受。

青藏高原北部广泛发育有新生代陆相火山岩和古生代海相火山岩。新生代火山岩与青藏高原的隆升有着密切的成生联系。而古生代海相火山岩从板块构造的观点来看,它包括洋中脊、洋岛、岛弧与大陆边缘弧、边缘海火山岩,对它们的识别与划分仍是国际上岩石学-地球化学研究中的一个难题。70年代以来,确定板块构造环境的火成岩化学元素判别图解得到广泛应用,随着研究的深入,人们发现单纯运用这种图解会造成环境的错误判断。为了正确判断构造环境,必须把元素判别图解与地质学、岩石学研究结合起来。

本文主要涉及青藏高原北部及三江地区新生代火山岩,北祁连古生代海相火山岩,柴达木北缘古生代海相火山岩-蛇绿岩及阿尔金构造带火山岩与蛇绿岩四大部分。试图从岩石大地构造学的角度,通过地质历史进程中不同时代岩浆活动形成的岩石学记录,利用地质、岩石及地球化学相结合的方法,回溯火山活动的古构造环境,反演造山带的形成过程及板块构造的演化,并最终建立青藏高原造山隆升机制及祁连造山带的岩石学模型。

在本文的写作过程中莫宣学教授自始至终给予了极大的帮助;微量元素测试过程中得到中国科学院高能物理研究所杨瑞英副研究员的指导和帮助;文中部分岩石化学及地球化学图解由西北大学地质系隆平同志计算并绘制;野外工作中得到青海省地质矿产局第一区调队,甘肃省地矿局酒泉地质调查大队的大力支持;青海省地质科学研究所周天祯高级工程师、王云山高级工程师,甘肃省地质科学研究所金松桥高级工程师协助完成了全部野外地质调查;本文挂靠国家自然科学基金

基金会重点资助项目、地矿部“八五”重点科技攻关项目：“格尔木—额济纳旗地学断面多学科调查研究”，“青藏高原北缘构造变形动力学研究”，得到了项目组杨建军副研究员、崔军文研究员的大力支持和通力协作，在此一并表示最衷心的感谢。

作者

1996年3月

目 录

第一章 北祁连山海相火山岩及其构造背景	(1)
第一节 北祁连山古生代陆—陆碰撞构造混杂岩带地质地球化学解析	(1)
第二节 关于火山岩的分类命名及主要岩类岩相学特征	(7)
第三节 北祁连山洋脊型火山岩	(9)
第四节 北祁连山洋岛(海山)型火山岩	(19)
第五节 北祁连山岛弧型火山岩	(26)
第六节 火山作用与板块构造演化	(42)
第二章 柴达木北缘古生代海相火山岩与蛇绿岩及其构造背景	(47)
第一节 柴达木北缘古生代海相火山岩及其构造背景	(47)
第二节 柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造背景	(60)
第三节 柴达木北缘大型韧性剪切带及其构造特征	(70)
第四节 火山作用与板块构造演化	(72)
第三章 阿尔金构造带蛇绿岩与火山岩岩石地球化学特征及其构造背景 ..	(74)
第一节 区域地质背景	(74)
第二节 安南坝——红柳沟古生代火山岩与蛇绿岩	(74)
第三节 索尔库里元古代变质火山岩及其构造背景	(88)
第四节 讨 论	(92)
第四章 青藏高原北部新生代火山岩及其构造背景	(95)
第一节 研究历史及现状	(95)
第二节 地质构造背景	(96)
第三节 岩石学特征	(97)
第四节 岩石化学特征	(100)
第五节 矿物化学特征	(106)
第六节 长石及石榴子石巨晶	(110)
第七节 微量元素地球化学特征	(115)
第八节 稀土元素地球化学特征	(120)
第九节 岩浆起源与演化	(124)
第十节 火山作用的构造环境与板块构造演化	(127)
第五章 结 语	(134)
参考文献	(136)

第一章 北祁连山海相火山岩及其构造背景

祁连山系是巨大中亚高原的一个重要组成部分,构成青藏高原的东北边缘。其西北接阿尔金山,东南湮灭于六盘山以西静宁、通渭及陇西一带黄土高原之下,西南临柴达木盆地,南东段隔渭水与秦岭相望,北瞰河西走廊。全长约 1 200 km,宽为 250~400 km,面积约 11 000 km²。

在地质上,祁连山系属昆仑—秦岭地槽褶皱区的祁连褶皱系,自北而南可分为四个带:Ⅰ. 走廊过渡带;Ⅱ. 北祁连优地槽褶皱带;Ⅲ. 祁连中间隆起带;Ⅳ. 南祁连地槽带。

北祁连是祁连山系的主要组成部分之一,它以独特的地质构造特征和地貌景观,展现在祁连山系的北部,对它的形成和地质发展史的研究受到中、外地质学者的重视和关注。黄汲清以多旋回构造观点,将北祁连划为加里东优地槽褶皱带,并视为一个典型的多旋回褶皱区;李四光以地质力学理论,将区内北西西向构造划为祁吕贺山字型构造的西翼;李春昱以板块观点,将本区划为祁连板块;肖序常等人认为是“深海沟型地槽”;夏林圻等认为北祁连古生代时期为一典型的活動大陆边缘沟—弧—盆体系(黄汲清,1979;李四光,1973;李春昱,1979;肖序常,1978;夏林圻等,1991)。

第一节 北祁连山古生代陆—陆碰撞构造 混杂岩带地质地球化学解析

多年来,众多的研究者一直将北祁连山系古生代海相火山岩作为一套火山岩层序相对完备的、在空间上时间上具有规律性变化的、近东西向带状展布的火山岩带(北祁连—北秦岭铜硫成矿带区划协作小组,1983;左国朝,1986,1987;张蓓莉,1986等)。并依据火山岩所在地层的地理分布、区域构造格局,将其划分为北、中、南三个构造—火山岩带:走廊南山北坡—毛毛山—南华山复向斜构造—火山岩带(北带);走廊南山南坡—马雅山—白银厂复背斜构造—火山岩带(中带);托莱山—门源—静宁复向斜构造—火山岩带(南带)。其中每一个构造—火山岩带又可进一步区分为若干亚带(图 1-1,表 1-1)。

并据此认为北祁连山早古生代的火山活动及其所形成的海相火山岩在时间上显示了完好的多旋回特征,火山活动自下而上可划分为七个时期(张之进,1983):中寒武世,晚寒武世,早奥陶世,中奥陶世,晚奥陶世,早志留世及中志留世。

上述对北祁连山古生代海相火山岩地质、地层时空分布规律的划分方法具有直观、便于野外地质研究、填图的优点,但有几个问题值得商讨:

(1) 北祁连山古生代海相火山岩是一套变质海相火山岩,经历过强烈的地质变动,火山岩原始层理及其标志已经历过强烈的改造,如何识别火山岩原始层理和划分火山岩层序特征?

(2) 世界上许多著名造山带都存在逆冲推覆构造。我们的野外地质调查也证实,北祁连山古生代海相火山岩经历了强烈的构造变形,火山岩带中广泛发育有高角度逆冲式韧性剪切构

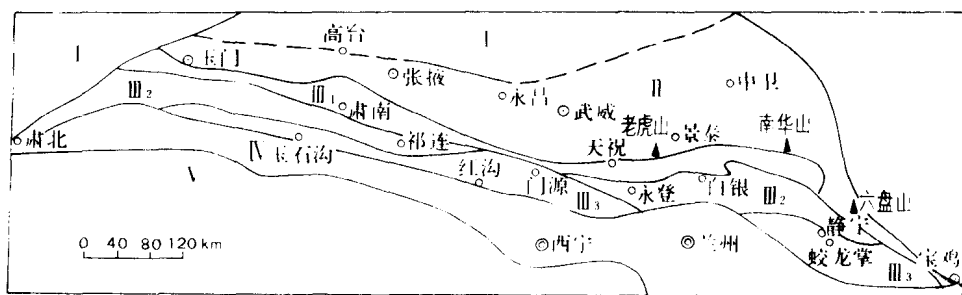


图 1-1 北祁连山构造—火山岩带分布略图

I. 塔里木—华北板块; II. 河西走廊过渡带; III₁. 北构造—火山岩带(走廊南山北坡—毛毛山—南华山复向斜); III₂. 中构造—火山岩带(走廊南山南坡—马雅山复背斜); III₃. 南构造—火山岩带(托莱山—门源—静宁复向斜); IV. 中祁连山隆起(微古陆); V. 南祁连古洋板块

表 1-1 北祁连山构造-火山岩带(亚带)分区和特征简表

构造—火山岩带		火山岩时代		主要发育区(带)	蛇绿岩套发育情况
带	亚带	主	次		
北带	走廊南山北坡—毛毛山复向斜				
	苏优河—扁都口	O ₂	O ₃	肃南苏优河	
	照壁山—雪大坂	O ₁ -O ₂	O ₃ -S ₁₋₂	玉门南阴沟、妖魔山	东段出现小超基性岩体及个别辉长岩体
	东水峡—马氏河脑	O ₂		肃南东水峡—格尔莫沟	零星出露超基性及基性岩体
	错沟—景阳岭	O ₁ -O ₂	Є ₃ (?) S ₁₋₂	肃南石居里及景阳岭北侧水关河(S ₁₋₂)	白泉等地集中分布基性、超基性岩体,东段零星出露
	冷龙岭	O ₁ -O ₂		冷龙岭地段	零星超基性岩体
中带	走廊南山南坡复背斜				
	大泉—香毛山	Є ₂₋₃		肃北大泉鹰嘴山	
	边麻沟—俄博	Є ₃	Є ₃	祁连边麻沟—百经寺一带	似为蛇绿混杂岩
	朱国寺—富强堡	O ₂	O ₁ (?) S ₁	天祝—永登	
南带	托莱山—门源—静宁复向斜				
	吊大坂—玉石沟—川刺沟	O ₁	Є ₂₋₃	祁连玉石沟—川刺沟一带	典型完整的早奥陶世蛇绿岩套
	大坂山	O ₃		门源红沟	晚奥陶世蛇绿岩套
	蛟龙掌	O ₃	S ₂₋₃ (?)		

据张蓓莉等(1986),向鼎璞等(1985)及北祁连—北秦岭铜硫成矿带区划协作小组(1983)的资料综合编制

造和低角度逆掩推覆构造。火山岩原始层理难以识别,火山岩原始空间分布状态已遭受了强烈的破坏,已有的野外地质剖面所展示的“层面”、“层理”可能更多地反映了某次构造变形的置换面,即“片理”、“面理”构造;它们具有构造期次划分的意义,但不具有火山岩层序划分的意义。

(3) 在祁连山古生代海相火山岩中,具有截然不同的地球化学特征的火山岩可以在空间上紧密伴生,具有不同大地构造背景及不同岩浆演化趋势(地球化学研究显示)的火山岩块体可以在空间上紧密伴生;成熟度差异很大的弧火山岩出现在同一构造带中。

(4) 北祁连造山带横向变形程度有所差异,强变形域片、面理构造十分发育,岩石原始分布状态难以恢复;弱变形域片、面理构造发育程度较低,火山岩层位具有相对完备性。

(5) 野外地质观察表明,不同特征(岩性不同,酸性程度不同)火山岩块体常以构造滑动面为接触边界,形成不同特点火山岩构造块体的复杂组合。

在我们所观察的野外地质剖面中均反映了上述特点。

一 昌马南疏勒河剖面

疏勒河东岸地质剖面可划分为五个岩石—构造单元,片(面)理以倾向 NE,NNW 为主(图 1-2),各岩石—构造单元大多以构造滑动面为接触界线。

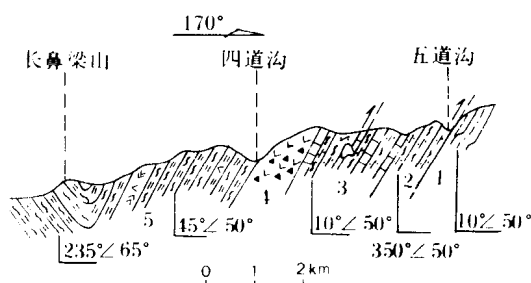


图 1-2 昌马南疏勒河东岸倍手剖面

(1) 该岩石-构造单元为前寒武糜棱岩及构造片岩,矿物组合为 $\text{Chl} + \text{Ms} + \text{Q} + \text{长石}$ 等,并夹有碳酸盐构造透镜体。

(2) 蓝片岩岩石-构造单元(ϵ_2)片理发育程度不均匀,强片理化带和弱变形域(片理不发育)相间出现,见有少量硅质岩构造角砾。

(3) 蓝片岩与大理岩(大理片岩)构造混杂带(ϵ_2)大理岩已明显片理化,并在大理片岩中见到蓝片岩的构造岩片,局部夹少量千枚岩。

同样,在蓝片岩中亦见有大理岩构造岩片。上部见有少量蛇纹片岩块体。

(4) 蓝片岩(绿片岩)与硅质岩构造混杂带(ϵ_2),常呈构造角砾岩。

(5) 为千枚岩、板岩夹绿片岩(ϵ_3),并见有蛇纹岩构造岩片。

该剖面中,1、2、3 岩石-构造单元主要表现为韧性剪切变形,第 4 岩石-构造单元以脆性变形(构造角砾岩)为主。这说明蓝片岩可能由于俯冲作用曾经进入地壳或地幔深层次;而绿片岩和硅质构造角砾岩主要应为地壳浅层次的脆性变形,千枚岩、板岩也属地壳浅层次的变质变形单元,这说明不同温压条件下形成的岩石单元以逆冲推覆构造为接触界面,混杂堆积。暗示了北祁连山可能为一陆-陆碰撞构造混杂岩带,它由蛇绿岩与蓝片岩(俯冲的洋壳)以及陆壳剪切变形岩石和俯冲杂岩共同组成。

二 祁连县清水沟剖面

该剖面可以划分为七个岩石-构造单元:

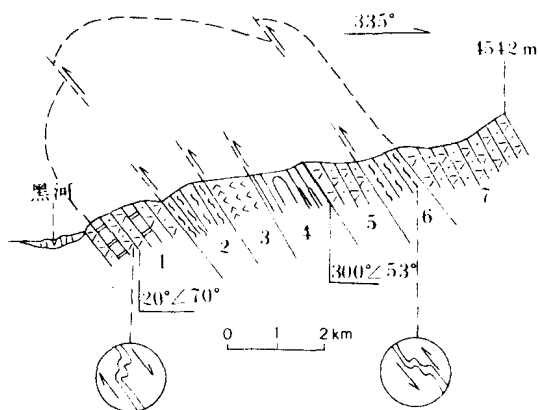


图 1-3 清水沟信手剖面

褶皱枢纽。

说明本地区曾经历过复杂的构造变形作用,除韧性推覆剪切作用外,还存在韧性平移剪切机制。

(3) 蛇纹岩段:蛇纹岩强烈片理化,形成蛇纹片岩,并在蛇纹片岩中出现基性变质火山岩构造块体。

(4) 条带状石英岩(ϵ_2^b):构成一个同斜的核部。内夹砂质千枚岩,两侧为石英岩层与绿片岩互层,石英岩中含有硅质岩、大理岩透镜体,有的呈假砾岩,砾石为原有的硅质岩、大理岩、部分石英透镜体。反映了一种陆源碎屑岩+灰岩,即陆缘或岛弧火山-沉积特征。

(5) 中酸性火山岩及硅质灰岩(ϵ_2^b):片理化强烈,剪切褶皱发育。

(6) 蓝闪绿片岩带:该带向 SE 方向延伸至百经寺,具有蓝片岩向绿片岩过渡的特点。

(7) 中基性火山岩段。从该剖面中可以看到,北祁连构造运动十分复杂,可能已不仅仅是一个简单的蛇绿混杂带,而是与陆-陆碰撞作用有关的一个复杂的构造混杂带。

三 小八宝石棉矿剖面

该剖面可以分为 9 个岩石-构造单元(图 1-4);各单元间大多以高角度逆冲断裂为接触界面。

(1) 前寒武片麻岩、夹角闪岩、角闪片岩等。

(2) 花岗岩(γ_3^1):它与前寒武片麻岩呈断层接触。界面处,花岗岩明显显示糜棱岩化,并且在花岗岩中见有前寒武片麻岩构造岩片。

(3) 蛇纹岩:与花岗岩断层接触,值得注

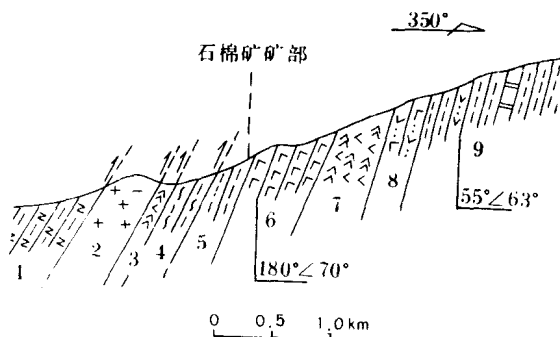


图 1-4 小八宝石棉矿区信手剖面

意的是,边界处花岗岩强烈糜棱岩化,形成糜棱岩带;而接触边界靠蛇纹岩一侧,蛇纹岩强烈片理化,形成典型的蛇纹片岩,并在花岗岩中出现蛇纹岩构造岩片。这可能反映一种较深层次的构造混杂作用。同时,花岗岩与蛇纹岩直接接触也是陆-陆碰撞混杂构造带的一个重要证据。

- (4) 前寒武($An\in$)片麻岩,混合岩。
- (5) 煤系地层(C)+红色板岩、千枚岩(S)。
- (6) 枕状熔岩(O_3)。
- (7) 石棉矿化蛇纹岩。
- (8) 安山质、玄武质火山岩(O_3)。
- (9) 板岩、千枚岩夹安山质火山岩、结晶灰岩(O_3)。

四 肃南石菊里沟剖面

该剖面可分为 3 个岩石—构造单元(图 1-5):

- (1) 煤系地层(C)。
- (2) 蓝片岩。
- (3) 块状熔岩(O_1)。

蓝片岩逆冲在石炭系地层之上,而奥陶系块状熔岩则逆冲在蓝片岩之上。均以构造滑动面为接触界面。另外,在祁连县黄藏寺蓝片岩中见有二次韧性变形形成的迭加褶皱。第一期韧性变形表现为由北向南的高角度推覆及走滑;第二期变形则表现为由南向北的低角度逆冲推覆。出露于边麻沟的奥陶系枕状熔岩具典型的倒转层序,在变形强烈地段,枕状熔岩被压扁拉长,形成饼状体。

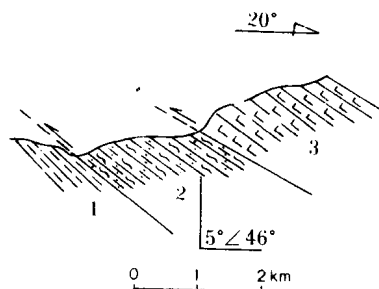


图 1-5 石菊里沟信手剖面

上述野外地质证据表明:

① 北祁连山古生代海相火山岩系经历过复杂的构造变动和多期韧(脆)性变形。

② 不同构造背景及不同构造层次的岩石单元以构造块体的形式混杂堆积,形成北祁连陆—陆碰撞构造混杂带。

地球化学特征同样显示了北祁连山古生代海相火山岩具有的复杂的地质构造背景。在 $\log r - \log \delta$ 图解上(图 1-6),投影点较为分散,A 区、B 区及 C 区均有,其中中酸性火山岩大多位于 B 区,可能大多属岛弧型火山岩,而基性岩具有复杂的分区,部分岩石样品位于 A 区,表征一种板内环境的火山岩,可能与大洋板内洋岛及海山火山岩相类似;部分基性岩样品位于 B 区,它可能有二种构造

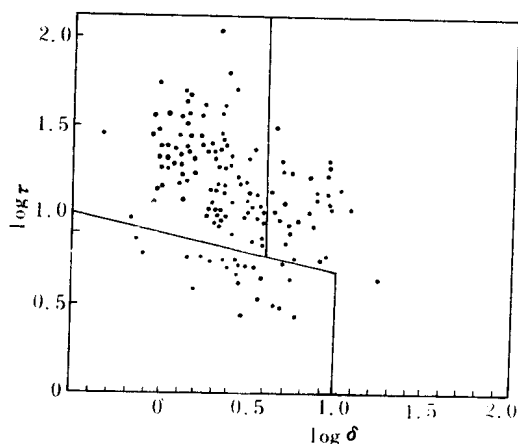


图 1-6 北祁连山海相火山岩
 $\log r - \log \delta$ 图解

背景含义,即洋脊拉斑玄武岩或岛弧拉斑玄武岩;位于C区的基性岩样品,也存在三种不同的可能来源,一是由岛弧拉斑玄武岩分异演化而成;二是洋岛及海山拉斑玄武岩分异演化而成;三是由洋脊拉斑玄武岩分异演化而成。为了进一步区分北祁连海相火山岩的构造背景,我们采用了 $\text{TiO}_2\text{-MnO} \times 10\text{-P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解(图 1-7)。

从图中可以看出,北祁连基性海相火山岩显然具三种不同的来源:一是洋岛(海山)碱性及拉斑玄武岩;二是大洋拉斑玄武岩;三是岛弧钙碱系列及岛弧拉斑系列玄武岩。值得注意的是, $\text{TiO}_2\text{-MnO} \times 10\text{-P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解上位于洋岛区的样品,在 $\log \tau\text{-}\log \delta$ 图解上大多位于A区,部分位于C区;而位于岛弧区的岩石样品,几乎均位于 $\log \tau\text{-}\log \delta$ 图解上的B区,部分点位于C区;而 $\text{TiO}_2\text{-MnO} \times 10\text{-P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解上位于洋脊(MORB)区内的岩石样品,则位于 $\log \tau\text{-}\log \delta$ 图解中的B区及A区的界线附近,且主要位于B区。这表明,尽管北祁连古生代海相火山岩经受过绿片岩相浅变质以及海水蚀变(如细碧岩化)作用,但其Ti、Mn、P组分以及部分主要成分仍能反映其形成的构造背景。在 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图上,我们可以看到,北祁连古生代海相火山岩(岛弧火山岩)主要以低钾(拉斑)系列和钙碱系列为主,很可能有钾玄岩系列火山岩存在(图 1-8)。

从上述地质地球化学分析可以看出,北祁连山古生代海相火山岩具有复杂的构造背景和多种来源,且由于陆—陆碰撞构造混杂作用而使得该套火山岩并不具备完备的、系统的火山岩

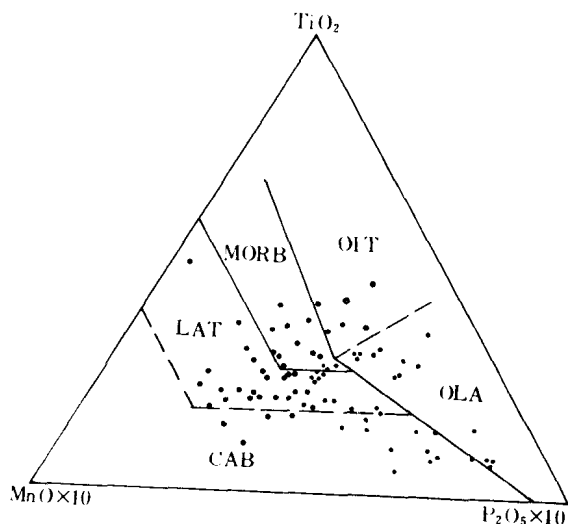


图 1-7 北祁连山海相火山岩
 $\text{TiO}_2\text{-MnO} \times 10\text{-P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解
(据 Ellen D. Mullen, 1983)

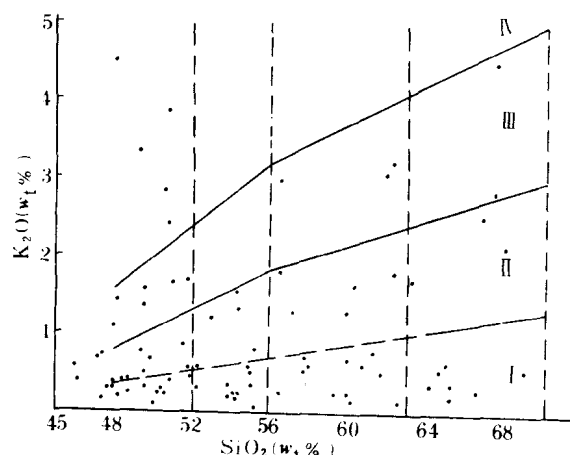


图 1-8 北祁连山海相火山岩
 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图解

层序和原始的空间分布特征。因此,我们认为对于该套火山岩必须加以区分,采用地质地球化学的方法将它们区分为洋岛、洋脊、岛弧等不同构造背景的火山岩组合分别加以讨论(因为它们各自具有不同的岩浆起源和演化特征),这样才能真正地反映该套火山岩的地质、地球化学特征,并进而恢复古构造演化特征及祁连陆—陆碰撞造山带的形成模式。划分原则如下:

(1) 蛇绿岩套表征古洋壳,发育与不发育大洋俯冲的岩浆活动是鉴别活动与被动大陆边缘的主要标志。

(2) 以俯冲杂岩与蛇绿岩的构造岩片为主构成的构造混杂岩带是识别陆—陆碰撞的主要标志。并常发育有高压变质带(蓝

片岩、榴辉岩)。它们是识别碰撞过程中具体机制的主要标志,高压变质带表征洋壳的仰冲。

(3) 大洋(洋脊)拉斑玄武岩为高 Ti 低 K, $\log \tau$ - $\log \delta$ 图解上位于 B+A 区; TiO_2 - $\text{MnO} \times 10$ - $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解上位于 MORB 区。

(4) 岛弧火山岩具有低 Ti 高 K 特点, $\log \tau$ - $\log \delta$ 图解上位于 B 区(少数位于 C 区)。 TiO_2 - $\text{MnO} \times 10$ - $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解上位于 IAT 及 CAB 区。

(5) 洋岛及海山火山岩需在 $\log \tau$ - $\log \delta$ 图解及 TiO_2 - $\text{MnO} \times 10$ - $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解上具有一致的构造背景,即前者应处在板内及稳定区(A 区)范围内,后者则应位于 OIT 或 OIA 范围内。

(6) 对于岛弧火山岩,如果在 SiO_2 - K_2O 图解上处在钾玄岩系列范围内,则结合其它岩石、地球化学特征综合判别其是否属于钾玄岩系列。

(7) 对初步划分结果进行全面的地质、岩石、地球化学特征分析,并将分析结果反馈,以检验初步划分的正确性并加以修正。

本文将依据上述原则对北祁连山不同构造背景(洋岛、洋脊、岛弧)的古生代海相火山岩分别加以讨论。

第二节 关于火山岩的分类命名及主要岩类岩相学特征

一 火山岩系列的划分

根据北祁连地区火山岩的实际情况划分为以下 4 个火山岩系列:即亚碱性系列:a. 拉斑系列,b. 钙碱性系列;碱性系列;钾玄岩系列。系列划分原则参照三江地区火山岩系列划分的经验(莫宣学等,1993):

(1) 利用 SiO_2 -($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)图解确定碱性与亚碱性系列。在确定为碱性系列后,尽可能利用微量元素判别图(如 SiO_2 -Zr/ TiO_2 、Nb-Y、Zr- P_2O_5 或 TiO_2 -Zr/ P_2O_5 等)进行检验。

(2) 确定为亚碱性系列后,利用 FeO^*/MgO - SiO_2 、 FeO^* - FeO^*/MgO 或 AFM 图划分拉斑和钙碱性两个系列。

(3) 钾玄岩(Shoshonite)系列的鉴别标志参照 Morrison(1981)的有关规定。

二 火山岩的命名

细碧-角斑岩系火山岩的命名原则参照夏林圻等(1991);其它系列火山岩命名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 Le Bas 等(1986)的全碱-硅(TAS)图解,矿物成分分类标准参照王德滋等(1982)。

三 主要岩类岩相学特征

依据上述分类命名标准,北祁连山古生代海相火山岩主要有以下岩石类型(夏林圻等,1991):

(一) 细碧-角斑岩类

1 细碧岩和细碧玢岩

具斑状及无斑隐晶结构,斑晶主要为钠长石及少量单斜辉石。基质具填间结构和脱玻间隐结构,长条状、弯曲状钠长石板晶构成格架,绿泥石、单斜辉石等充填于格架间。部分岩石中矿物具明显淬火结构,表现为:

(1) 中空骸晶结构的钠长石微晶呈细长条中空板状骸晶,其中充填有玻璃质(现已脱玻为绿泥石),边部呈锯齿状,微晶间充填有绿泥石、单斜辉石与金属矿物雏晶。

(2) 放射、平行状鬣刺结构:由平行束状和淬火羽状单斜辉石骸晶组成,单斜辉石间为钠长石微晶和绿泥石。岩石中次要矿物有榍石、绿帘石、绢云母、金属矿物(钛铁矿、钛磁铁矿、磁铁矿)、葡萄石、黑硬绿泥石、纤闪石及碳酸盐等。

2 钠长粒玄岩

矿物成分与细碧岩和细碧玢岩相同,结晶粒度较粗,常具辉绿、辉长辉绿、间粒及微晶结构等,当矿物成分中出现单斜辉石时,称为辉石钠长粒玄岩。

3 钠长辉绿岩

为细碧岩类的次火山岩相,具辉绿结构、嵌晶含长结构及含长结构,岩石中单斜辉石含量较高(40%左右),一般受后期蚀变比较轻微。

4 角斑岩

斑晶主要为钠长石,偶见角闪石斑晶。角闪石斑晶具暗化边,受熔蚀比较明显。基质具填间结构,交织结构,微粒-隐晶质结构;主要由钠长石组成,次要矿物有绿泥石、绢云母、韭闪石、黑云母、绿帘石-黝帘石、黑硬绿泥石、榍石、白钛石、磷灰石、金红石、钛磁铁矿、钛铁矿、磁铁矿、石英及碳酸盐等。

5 石英角斑岩和石英钠长斑岩

具斑状和聚斑状结构,斑晶由石英及钠长石组成。基质具微粒-霏细状结构,由近于等量的钠长石和石英组成。次要矿物有绢云母、黑云母、绿泥石、绿帘石、黝帘石、磷灰石、榍石、白钛石、磁铁矿及碳酸盐等。

(二) 亚碱性火山岩类

1 玄武岩类

具斑状结构,斑晶由富钙辉石(据夏林圻等,川刺沟玄武岩辉石成分为: $\text{En}_{44-47}\text{Wo}_{42-43}\text{Fs}_{12-13}$)构成,基质具间粒结构,中基性斜长石(An_{42-68})构成格架,格架间充填有普通辉石($\text{En}_{41-45}\text{Wo}_{41-44}\text{Fs}_{14-16}$)微晶和绿泥石、白钛石、钛磁铁矿等。杏仁状构造发育,杏仁孔内充填有绿泥石。

2 辉绿岩

具辉绿结构,斜长石(An_{37-74})长板条状晶体组成格架,格架间充填有普通辉石($\text{En}_{46}\text{Wo}_{39-40}\text{Fs}_{15}$)、绿泥石、伊丁石、磷灰石及金属矿物等。普通辉石中含较多金红石包裹体,边缘遭受角闪石化。

3 安山岩类

具斑状结构,斑晶由环带状斜长石构成,环带中心为中长石(An_{37-39}),环带边缘为更长石(An_{28}),基质具交织结构,更长石微晶(An_{27})呈半平行状排列。

(三) 碱性火山岩类

主要分布在石灰沟和白银厂一带。

1 碱性粒玄岩

具粒玄结构,碱性长石(透长石、歪长石)构成格架,格架间充填有一个或数个普通辉石($\text{En}_{44}\text{Wo}_{44}\text{Fs}_{12}$)及少量钛磁铁矿。个别单斜辉石颗粒较粗,呈斑晶产出,其中包含有碱性长石,显嵌晶含长结构。

2 粗面玄武岩

具斑状和聚斑结构,斑晶由钠长石($\text{An}_{2-3}\text{Or}_{1-2}\text{Ab}_{95-97}$)、歪长石($\text{An}_5\text{Or}_{61}\text{Ab}_{34}$)和普通辉石($\text{En}_{42-43}\text{Wo}_{43-44}\text{Fs}_{14}$)构成。基质具脱玻间隐结构,透长石和钠长石微晶杂乱交织构成格架,格架间分布有普通辉石微晶、脱玻化玻璃、钛磁铁矿、白钛石和碳酸盐。

3 白榴碱玄岩

具斑状结构,斑晶由白榴石、碱性长石、单斜辉石组成。白榴石已为正长石、钠长石、绢云母、绿泥石或碳酸盐集合体所代替,为假白榴石,其中常包裹有较多的钛磁铁矿颗粒。基质具间粒及脱玻间隐结构。板条状透长石和钠长石微晶构成格架,格架间充填有粒状次透辉石、脱玻化玻璃、钛磁铁矿等。岩石中假白榴石含量5%~40%。

4 白榴方沸岩

斑状结构,斑晶由方沸石(50%),单斜辉石(10%),假白榴石(20%)构成。单斜辉石环带结构明显。假白榴石由正长石、钠长石、绢云母、绿泥石和绿帘石等集合体组成。磷灰石呈独立斑晶产出或被包裹于单斜辉石、方沸石和假白榴石之中,基质具玻晶交织结构;针条状透长石微晶、假白榴石及磷灰石微晶分布于黑色玻璃之中。部分基质已脱玻化,呈霏细—微粒结构。

5 白榴粗面斑岩和黑云白榴粗面斑岩

斑状结构,斑晶由假白榴石、正长石、磷灰石、黑云母和少量单斜辉石构成。基质具粗面结构和微晶结构,由钠长石、透长石和歪长石微晶、磷灰石和尘状磁铁矿组成。

第三节 北祁连山洋脊型火山岩

一 地质分布及岩石特征

北祁连山洋脊型火山岩主要发育在青海玉石沟一带,另外在苏优河、九个泉等地也有零星分布。其中以玉石沟地区发育最为完整、典型,以枕状玄武岩、枕状细碧岩为主,并与新鲜程度很高的纯橄榄岩、方辉橄榄岩共生。它们可出现于火山岩底部或定位于火山岩及其共生的岩石中,玉石沟洋脊型火山岩其枕状构造有压扁拉长现象,并呈倒转层序,表明其经历过较强的构造运动。玉石沟洋脊型玄武岩、细碧岩岩石组合与世界洋脊型火山岩相似,形成一套蛇绿混杂岩组合。洋脊型火山岩时代主要集中在奥陶系,少量(熬油沟)属元古代。

二 火山岩系列划分

北祁连山洋脊型火山岩化学成分列于表1-2中。

表1-2 北祁连山基性(洋普)火山岩化学成分 (wt.%)

样号	时代	产地	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O+	CO ₂	Mg	总量	来源
87-76	O ₂₊₃	老虎山	粒玄武岩	48.07	1.98	13.58	3.57	9.16	0.22	6.69	8.91	0.60	3.31	0.25	2.82	0.22	0.45	99.38	①
88-87	O ₁	川刺沟	玄武岩	43.83	2.57	14.71	3.11	9.66	0.21	7.32	9.58	1.15	2.55	0.27	4.48	0.00	0.52	99.44	①
	O ₁	玉石沟	玄武岩	45.40	3.17	12.58	6.84	11.30	0.32	6.33	5.75	0.09	3.63	0.24	3.41		0.40	99.06	[8]
			细碧岩	46.80	2.92	14.23	4.60	10.44	0.20	6.52	4.91	0.07	3.75	0.22	3.85		0.45	98.51	
			玄武岩	52.72	1.75	14.42	2.87	9.09	0.38	4.54	7.01	0.08	3.57	0.20	2.50		0.41	99.13	
			玄武岩	49.40	1.67	13.19	2.87	9.72	0.27	5.52	7.65	0.16	3.60	0.16	3.38		0.45	97.59	
			细碧岩	52.45	1.94	13.69	3.79	9.31	0.21	5.74	2.44	0.10	5.00	0.18	3.28		0.45	98.13	
			细碧岩	49.28	1.90	13.47	2.18	11.54	0.20	5.55	5.55	0.14	4.67	0.13			0.43	94.61	
	O ₂	九个泉	玄武岩	47.99	1.14	15.00	2.77	7.50	0.17	7.87	9.41	0.67	3.20	0.13			0.59	95.85	⑥
			细碧岩	48.40	1.63	15.52	3.28	8.72	0.20	7.25	5.74	1.22	4.18	0.23	3.24	1.40	0.53	101.01	⑦
	O ₂₊₃	苏优河	玄武岩	42.88	1.27	14.87	1.47	7.72	0.14	9.83	9.70	0.74	2.66	0.15	5.00	3.97	0.66	100.40	⑦
			玄武岩	47.73	1.24	16.07	2.67	7.38	0.14	7.99	7.68	1.08	2.75	0.19	4.02	1.45	0.60	100.39	
	Pt ₂	熬油沟	细碧岩	50.98	2.52	12.50	3.97	11.08	0.21	4.54	4.69	0.40	3.72	0.21	2.52		0.36	97.34	[8]
			玄武岩	48.09	1.75	11.78	7.11	9.74	0.24	6.72	5.24	1.21	2.64	0.18	3.27		0.43	97.97	
			玄武岩	45.60	3.22	12.33	8.88	10.54	0.27	6.39	3.67	1.58	1.92	0.19	4.12		0.39	98.71	

资料来源同表1-11说明。

根据 $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图(图 1-9)可以看出,火山岩投影点大多分布于分界线附近,跨越碱性及亚碱性区。去水后的投影点向高硅高碱方向偏移,但偏移量很小,对图解判别结果影响不大。

需要指出的是,北祁连山古生代海相火山岩大多受到了强弱不等的蚀变作用,许多组分产生程度不等的变化,其中最为敏感的是碱质组分,它们往往增高。这样,如果接硅-碱图的划分界线,那么有些受蚀变的亚碱性火山岩将可能被误归为碱性火山岩。反过来,原来为碱性系列的火山岩(若在蚀变过程中碱质没有减少)将不会被误归为亚碱性火山岩。由此看来,受蚀变或变质(碱质,主要是 Na_2O 增高)的火山岩在硅-碱图上若投入亚碱性区,则表明其原岩很可能为亚碱性火山岩;若投入碱性区域,那么其原岩可能为亚碱性,也可能是碱性的。从图 1-10 中也可以更清楚地看到,岩石中全碱的增高主要与 Na_2O 的迅速升高有关。考虑到蚀变过程中 Na_2O 的明显带入,如果扣除这部分 Na_2O ,那么岩石在硅-碱图上的投影位置将向亚碱性区移动。据此推断,北祁连山洋脊型火山岩可能主要是一套亚碱性火山岩。

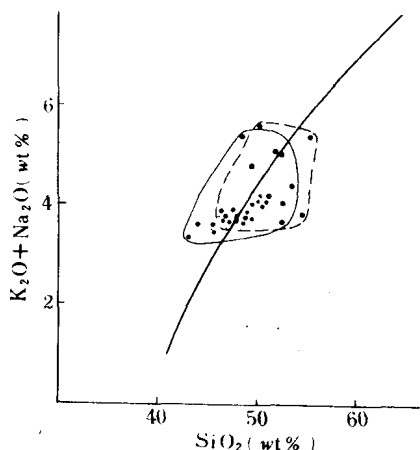


图 1-9 北祁连山洋脊型火山岩
 $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图解
(据 Irvine 等,1971)

—未去水投影点 —去水后投影点

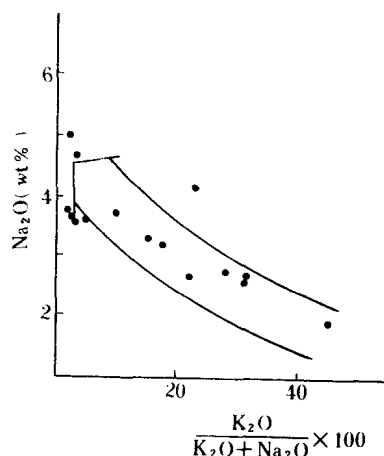


图 1-10 北祁连山洋脊型火山岩
 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图解

三 地球化学

(一) 主要元素地球化学特征

如前所述,北祁连山古生代海相火山岩是海底火山作用产物,受到海水蚀变,并经历了大致相当于绿片岩相的区域变质作用。Mottl(1983)的海水-岩石(玄武岩)反应实验证明,蚀变过程中 CaO 明显带出,而 Na_2O 带入,并伴有 K 、 Si 、 Fe 、 Mg 等组分的较低程度变化。Hamilton(1989)认为海水蚀变作用(细碧岩化)对岩石成分的最主要影响是 Na_2O 升高, CaO 降低,与此相伴,岩石中的 H_2O 、 CO_2 含量增高。化学成分分析结果(见表 1-2)表明,北祁连山洋脊型火山岩主要元素有以下特点:

(1) 高 TiO_2 低 K_2O 含量, TiO_2 在 1.2%~3.2% 之间,与现代大洋洋脊拉斑玄武岩 TiO_2 含量及变化范围十分类似(表 1-3); K_2O 低,但变化范围较宽,其中以玉石沟一带洋脊玄武岩