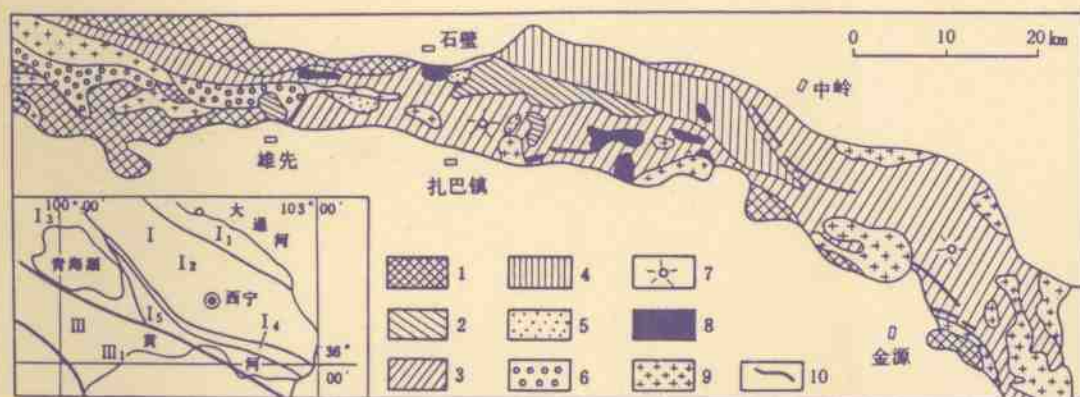


拉脊山早古生代海相 火山岩与成矿

邱家骧 曾广策 等著



中国地质大学出版社

拉脊山早古生代海相火山岩与成矿

邱家骧 曾广策 王思源 朱云海 著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书作者运用宏观与微观相结合及多学科、多手段结合分析的方法,对南祁连拉脊山早古生代火山岩进行了系统研究;运用国际上最新的岩石系列、类型划分方案对该区火山岩进行了类型、名称组合确定;运用地质资料与惰性元素分析了不同时代火山岩的构造环境及演化过程,并定量估算了陆间裂谷扩张、闭合的时间、速度与距离;探讨了火山岩浆的性质、来源及其演化,分析了其上升、喷发、流动速度;把火山岩、侵入岩、沉积岩与构造环境综合起来研究,提出了蛇绿岩的存在,并对其性质、特征及古地槽事件进行了讨论,新发现了高镁安山岩及钾玄岩系列岩石,分析总结了铜、金、多金属矿产的富集空间位置及找矿标志,指出了本区找矿方向和成矿有利地段。

本书可供岩矿专业、矿床专业的师生及相关专业的科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

拉脊山早古生代海相火山岩与成矿/邱家骥,曾广策等著. —武汉:中国地质大学出版社, 1997.6
ISBN 7-5625-1118-9

I. 拉…

II. 邱… ②曾…

III. ①古生代-海相-火山岩-研究-青海②古生代-海相-火山岩-成矿作用-青海
IV. P588.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 08869 号

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 刘士东 责任校对 徐润英 版面设计 阮一飞

印 刷 湖北省地质图印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 7.875 字数 260千字

1997年5月第1版 1997年6月第1次印刷 印数1-300册

定价:28.00元

前 言

祁连山是我国古海相火山岩分布的一个典型地区,也是铜、金、多金属矿产的富集地区。拉脊山即是南祁连山的一个以古海相火山岩为主体的裂谷造山带。经过前人的地质调查、普查找矿和科学研究,在拉脊山造山带查明了一些铜、金、多金属矿点和小型矿床的分布,积累了丰富的实际资料,但一直未找到一个具有工业价值的大型矿床。因此,对拉脊山地区开展早古生代海相火山岩及其与铜、多金属成矿关系的深入研究,不仅有其理论意义,也有重要实际意义。

1991年7月,我们承担了“拉脊山早古生代海相火山岩及铜、多金属矿产找矿方向研究”(编号为85-01-006-04-2)专题,开始了对拉脊山地区的科研工作。该专题负责人是邱家骥、曾广策,主要参加人有王思源、朱云海。专题开始属地质矿产部“八五”攻关项目“祁连山及邻区与海相火山岩有关的铜、多金属矿床成矿条件和预测研究”(85-01-006),后由于部攻关项目被列入“八五”国家科技攻关项目“紧缺矿产勘查与评价研究”(85-901)课题,我们的专题也随之被列入了国家攻关项目的二级分专题,编号改为85-901-02-02-5-2。该研究工作于1994年10月结束。

这次研究为本区新增了大量测试资料,获得了不少新的认识,主要有以下几个方面:

1. 对本区不同时代火山岩的分布、厚度、酸度、岩相、韵律,以及古火山的喷发指数、喷发类型、喷发中心等进行了总结与分析。

2. 本区寒武纪、奥陶纪火山岩,根据其形成环境与变质特点的不同,分别定为细碧角斑岩系与变火山岩系,并对其主要种属进行了详细的岩相学研究。

3. 应用电子探针对火山岩中主要造岩矿物长石、辉石、角闪石、绿泥石等进行了矿物化学研究,确定了它们的端元组分、种属名称,并对这些矿物所反映的成因条件和岩石变质程度进行了分析。

4. 新采集了一批样品,进行了岩石化学成分分析。根据一批较符合标准的岩石化学成分恢复了本区火山岩的原岩种属名称,划分了碱度系列、钾钠类型。在本区新发现了高镁安山岩和钾玄岩系列岩石。

5. 对代表性的火山岩、侵入岩、硅质岩等进行了稀土、微量元素与铅、氧同位素及K-Ar法年龄测定,对代表性的矿石进行了硫、氧、铅同位素测试及包裹体测温,为本区新增加了一大批测试数据,为本次研究和进一步的深入研究提供了大量的资料。

6. 对代表性的火山岩进行了系统的温、压、氧逸度估算,并首次进行了火山岩浆的粘度、密度及上升速度、喷发速度、流动速度等岩浆物理学与岩浆动力学定量估算与分析。

7. 首次系统论证了本区寒武纪时有小洋盆型蛇绿岩套存在,而奥陶纪时则为火山弧岩套;并分析了本区超镁铁—镁铁岩与花岗质侵入岩的时代、成分、类型及其与火山岩的成因关系。

8. 提出了拉脊山造山带是不同构造环境的叠加产物。以地质时代分析和用较稳定元素投影判别表明,本区是先开后合形成的“陆间裂谷造山带”,并定量估算了其开、合的时间、速度和距离。

9. 分析了本区上地幔的特点、类型、事件及演化过程,讨论了幔源原始岩浆类型,估算了其部分熔融程度。

10. 对本区幔源岩浆和壳源岩浆的来源深度、岩浆房深度及温度进行了估算,探讨了幔源岩浆与壳源岩浆的相互关系及岩浆的演化过程和演化机理。

11. 提出了拉脊山是一个铜、金、多金属和非金属的综合成矿地区,对铜、金、多金属矿产的成矿地质背景、典型矿床的地质特征、成矿条件进行了详细分析,建立了“幔源岩浆演化系统成矿模式”。

12. 总结了本区铜、金、多金属矿的找矿标志,指出了本区铜、金、多金属矿找矿和预测的有利地段,为深入研究重点矿化区段的成矿、找矿、预测、评价奠定了基础,建立了“拉脊山造山带区域构造演化成矿模式”。

研究工作结束后,提供了分专题的研究成果报告。报告由邱家骥、曾广策、王思源、朱云海编写,由邱家骥、曾广策统一审阅定稿。报告最后由以夏林圻(研究员)为主审,以夏林圻(研究员)、杨巍然(教授、博士生导师)、邬介人(研究员)、张以萁(教授级高级工程师)、章午生(教授级高级工程师)组成的评审组进行了评审。评审组对该研究成果给予了高度评价与肯定,并热心地提出了宝贵的修改意见。

本书是以原研究成果报告为基础,经过精简加工而成。其编写分工如下:前言,邱家骥、曾广策;第一、四、六章,朱云海;第二、三、五章,曾广策;第七、八、九章,邱家骥;第十、十一、十二章,王思源;主要结论,曾广策、邱家骥;王思源撰写了英文摘要,张文淮教授进行了审校;全书由曾广策统一修改定稿。

科研工作是在课题负责人夏林圻和二级专题负责人邱家骥(教授、博士生导师)、杨巍然的领导下进行和完成的。

在野外和室内的研究工作中,得到了西安地质矿产所夏林圻、夏祖春、邬介人、杨静华研究员,青海省地质矿产局张以萁教授级高级工程师,王继兴、王强、张尊启高级工程师,青海省有色地质勘查局王成球、轩友成、李永顺高级工程师以及本校王林森、柳建华等老师的大力支持帮助。在本书的出版工作中,刘士东副编审付出了辛勤的劳动。对此,我们表示衷心的感谢。

著者

1996. 6

目 录

第一章 地质学	(1)
一、概述	(1)
二、寒武纪火山岩	(1)
三、奥陶纪火山岩	(3)
四、火山岩时空分布规律	(4)
五、火山岩相、喷发类型	(5)
第二章 岩相学	(7)
一、海相火山岩的分类命名	(7)
二、主要岩石种属鉴定特征	(9)
三、寒武纪火山岩与奥陶纪火山岩的主要区别	(15)
第三章 造岩矿物及矿物化学	(16)
一、斜长石	(16)
二、钾钠长石	(17)
三、辉石	(22)
四、角闪石	(24)
五、绿泥石	(26)
第四章 岩石化学	(27)
一、化学成分	(27)
二、原岩种属名称的恢复	(27)
三、系列、类型	(36)
第五章 地球化学	(39)
一、稀土元素	(39)
二、微量元素	(42)
三、同位素	(46)
第六章 岩石物理化学及岩浆动力学	(49)
一、温度、压力	(49)
二、氧逸度	(52)
三、岩浆动力学参数	(53)
第七章 蛇绿岩套及古地幔	(57)
一、蛇绿岩套	(57)
二、古地幔	(65)
第八章 构造环境演化及定量估算	(67)
一、构造环境及其演化	(67)
二、开合作用定量估算	(71)
第九章 岩浆的来源及演化	(73)

一、幔源岩浆	(73)
二、壳源岩浆	(74)
三、混合(染)岩浆	(75)
四、分离结晶作用	(76)
五、本区高镁安山岩与钾玄岩系列岩石的特点与意义	(77)
第十章 区域成矿特征	(79)
一、矿床分布	(79)
二、地层与矿化	(79)
三、构造与矿化	(79)
四、岩浆与矿化	(81)
五、成矿时代	(82)
第十一章 成矿条件解析	(84)
一、成矿物质来源条件	(84)
二、流体条件	(90)
三、浆源条件	(92)
第十二章 成矿模式	(96)
一、成矿规律模式	(96)
二、成矿热力学模式	(96)
三、构造成矿动力学模式	(101)
四、区域构造演化控矿模式	(102)
五、成矿热电势模式	(102)
主要结论	(105)
参考文献	(109)
英文摘要	(113)

CONTENTS

Chapter 1 Geology	(1)
Section 1 Outline	(1)
Section 2 Cambrian volcanic rock	(1)
Section 3 Ordovician volcanic rock	(3)
Section 4 Distribution law of the volcanic rock on time-space	(4)
Section 5 Facies and type of the volcanic rock	(5)
Chapter 2 Facieology	(7)
Section 1 Classification and nomenclature of the marine volcanic rock	(7)
Section 2 Species and of feature of main rocks	(9)
Section 3 Important difference of Cambrian and Ordovician volcanic rock	(15)
Chapter 3 Rock-forming mineral and mineral chemistry	(16)
Section 1 Plagioclase	(16)
Section 2 K-Na feldspar	(17)
Section 3 Pyroxene	(22)
Section 4 Amphibole	(24)
Section 5 Chlorite	(26)
Chapter 4 Petrochemistry	(27)
Section 1 Chemical composition	(27)
Section 2 Restoration of protolith species	(27)
Section 3 Series and type of the rocks	(36)
Chapter 5 Geochemistry	(39)
Section 1 REE	(39)
Section 2 Minor element	(42)
Section 3 Isotope	(46)
Chapter 6 Physical chemistry and dynamics of the magma	(49)
Section 1 Temperature and pressure	(49)
Section 2 Oxygen fugacity	(52)
Section 3 Magma-dynamic parameter	(53)
Chapter 7 Ophiolitic suite and Paleo-mantle	(57)
Section 1 Ophiolite suite	(57)
Section 2 Paleo-mantle	(65)
Chapter 8 Evolution of tectonic setting and quantitative calculation	(67)
Section 1 Tectonic environment and evolution	(67)
Section 2 Quantitative calculation of opening and closing relates to the terrene	(71)

Chapter 9	Magmatic source and evolution	(73)
Section 1	Mantle-derived magma	(73)
Section 2	Crust-derived magma	(74)
Section 3	Magma hybridization	(75)
Section 4	Fractional crystallization	(76)
Section 5	Feature and significance of Mg-riching andesite and K-riching basalt	(77)
Chapter 10	Metallogenic feature in the region	(79)
Section 1	Distribution of ore deposits	(79)
Section 2	Stratigraphy with mineralization	(79)
Section 3	Tectonic belt with mineralization	(79)
Section 4	Mineralization Series corresponding with magma series	(81)
Section 5	Metallogenic epoch	(82)
Chapter 11	Metallogenic conditions	(84)
Section 1	Matter source condition	(84)
Section 2	Fluid source condition	(90)
Section 3	Magma source condition	(92)
Chapter 12	Metallogenic model	(96)
Section 1	Model of metallization series	(96)
Section 2	Thermodynamic model of metallization	(96)
Section 3	Tectonic-dynamic model of mineralization	(101)
Section 4	Tectonic evolution and its control mineralization model	(102)
Section 5	Pyroelectricity model of mineralization	(102)
Conclusions		(105)
References		(109)
Summary in English		(113)

第一章 地质学

一、概 述

拉脊山位于青海省东部，西宁市东南，是祁连山的重要组成部分。其分布范围西起日月山，东至民和县官亭，呈东西向的平缓“S”型展布，长约180km，宽约20~30km（图1-1）。拉脊山在构造上属祁连山褶皱系中的拉脊山优地槽褶皱带（青海省地质矿产局，1991）。其南、北两侧分别与化隆隆起带和中祁连中间隆起带的前寒武系结晶基底相接。南侧的结晶基底为古元古代湟源群（夏林圻等，1991），断续分布于西宁、乐都、民和盆地南缘；北侧的结晶基底为中元古代湟中群，主要出露于扎巴镇北石壁以西地区。火山岩与前寒武系结晶基底间主要呈深断裂接触。本区早古生代海相火山岩发育，火山岩系主要由中、上寒武统及奥陶系组成，它们构成拉脊山主体。中、西部地区局部见有少量白垩系。超基性、基性侵入岩及中酸性侵入岩均侵位于上寒武统火山岩系地层中。

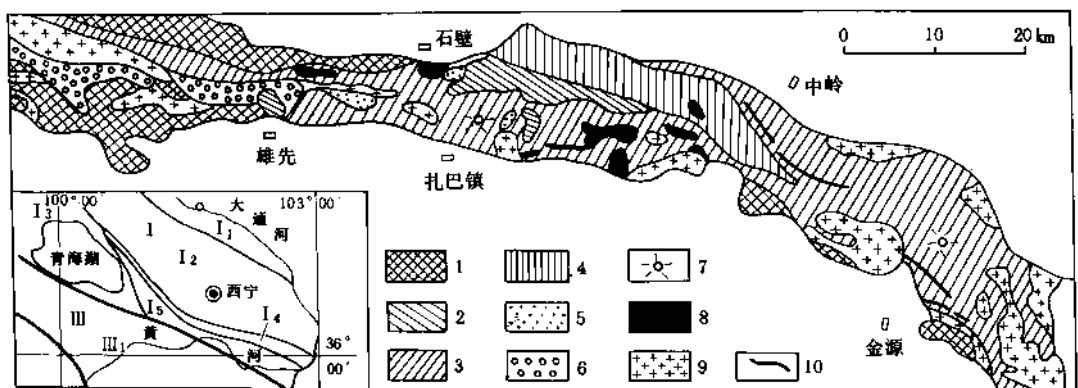


图1-1 拉脊山地区火山岩系地质简图①、②

1. 前寒武系；2. 中寒武统；3. 上寒武统；4. 下奥陶统；5. 中、上奥陶统；6. 下白垩统；7. 推测的火山喷发中心；8. 基性、超基性侵入岩；9. 中、酸性侵入岩；10. 断层。I. 祁连褶皱系：I₁. 北祁连优地槽褶皱带；I₂. 中祁连中间隆起带；I₃. 南祁连冒地槽褶皱带；I₄. 拉脊山优地槽褶皱带；I₅. 化隆隆起带。II. 秦岭褶皱系；III. 青海湖南山冒地槽褶皱带

二、寒武纪火山岩

寒武纪火山活动强烈，其火山岩分布广泛，全区均有出露。从火山岩厚度及分布情况看，晚寒武世火山活动最强，中寒武世较弱，未见早寒武世火山活动迹象。

① 青海省地质局、西北地质科学研究所，1975，青海拉脊山与火山岩有关的铜矿成矿远景的探讨。
② 青海省地质局，1976，扎巴幅、昂思多幅、中岭幅、金源幅1:5万区调报告。

(一) 中寒武世泥旦山群 (ϵ_2nd)

主要分布于拉脊山中段北侧东沟、泥旦山、杂什加地区及西段南侧雄先北部一带。火山岩规模较小,沿造山带南、北两侧分布。北侧火山岩厚度大,南侧厚度小。根据地层层序及岩石组合,可把泥旦山群分为上、下两个岩组,即下部熔岩组(ϵ_2nd_1)和上部碎屑岩、硅质岩组(ϵ_2nd_2)。下面以北侧为主予以简单介绍。

1. 下岩组 (ϵ_2nd_1)

在杂什加剖面中,该岩组厚度为1351m。岩石组合为基性、中基性熔岩,中基性角砾熔岩,集块熔岩和中基性火山角砾岩、凝灰岩。其中熔岩厚度为775m,火山碎屑岩厚度为576m。其喷出指数(指火山岩在地层中所占体积百分数)为100,说明火山活动较强,无沉积岩夹层。爆发指数 E (火山碎屑岩在火山岩中所占体积百分数)为43,反映其火山爆发强度较大,形成的火山碎屑岩较多。

自下而上,杂什加剖面可分为5个韵律层,每个韵律层均从中基性、基性熔岩开始到火山碎屑岩结束,反映火山活动经历了溢流→爆发的多次反复。

2. 上岩组 (ϵ_2nd_2)

该岩组在东沟和泥旦山剖面中总厚度为1494m。其岩石组合,下部为砂岩、砾岩,中、上部为中、基性熔岩和中基性凝灰岩,顶部为硅质板岩夹灰岩透镜体。其中熔岩厚度为764m,火山碎屑岩厚度为115m,沉积岩为615m。其喷出指数为58,说明火山活动较弱,火山岩系地层中沉积岩比例较高。爆发指数 $E=13$,反映其火山爆发强度小,以宁静的溢流为主。

南、北两侧中寒武统虽都分为上、下两个岩组,但南侧火山活动微弱,其下岩组火山岩厚度仅为233m,上岩组则以沉积岩为主,仅见少量熔岩夹层,反映中寒武世火山活动主要发生于北侧,南侧在开始时也受到一定的影响。

(二) 晚寒武世六道沟群 (ϵ_3ld)

晚寒武世火山岩多分布于拉脊山中部,呈近东西向展布,与山体走向一致。根据岩石组合、接触关系,可把晚寒武世火山岩划分为下、中、上3个岩组。

1. 下岩组 (ϵ_3ld_1)

该岩组主要分布于拉脊山中段,东段金源区缺失。在上寒武统中其厚度相对较小。在中段药水泉剖面中,该岩组厚度为719m,岩石组合以基性、中基性熔岩为主,夹火山碎屑岩。其中熔岩厚度为621m,火山碎屑岩厚度为98m。喷出指数为100,无沉积岩夹层。爆发指数 $E=14$,反映火山爆发强度不大,火山活动表现为以宁静的溢流为主。

该剖面可分为3个韵律层,每个韵律层均从火山碎屑岩开始到熔岩结束,具赫克拉式旋回特征,即每次喷发首先为火山碎屑岩(该阶段比较短),很快便被大量熔岩的溢出所代替(这一阶段持续时间较长)。因此,每一韵律层熔岩的厚度要比火山碎屑岩的厚度大得多。

2. 中岩组 (ϵ_3ld_2)

该岩组分布最广,从西部的八宝山、天重峡,经中部花石峡、青羊沟,一直延伸到东部的小西沟等地,构成拉脊山主体。火山岩分布与区域构造线一致,西部和中部近东西向展布,至东部明显向南弯曲。自西向东火山岩厚度迅速增大,至青羊沟达到最大(3591m),再向东略有减小。在东部的小西沟剖面中,该岩组厚度为2397m。岩石组合:下部为基性—中基性熔岩;中部为基性—中基性熔岩、角砾熔岩、集块熔岩互层;上部为中基性—中性熔岩夹绿泥

石英片岩、中酸性凝灰质板岩。火山岩总体以基性及中基性熔岩为主，向上火山岩酸度有所增加。其中熔岩厚度为1938m，火山碎屑岩厚度为285m，沉积岩厚度为174m。喷出指数为93，反映其火山活动强烈，沉积岩所占比例仅为7%；爆发指数 $E=13$ ，反映火山喷发以宁静的溢流为主。

该岩组自下而上，在小西沟剖面上可分为7个韵律层，每个韵律层均从中基性熔岩至火山碎屑岩，具有从溢流至爆发的变化规律。第4、6、7韵律层中夹有少量沉积岩，反映火山活动有间歇期，但沉积岩所占比例很小，说明火山间歇时间短。

3. 上岩组 ($\epsilon_3 d_3$)

其分布范围较中岩组小得多，只出露于东部地区。在东部小西沟剖面中该岩组厚度为1046m。岩石组合：下部为中性熔岩，中部为凝灰岩、大理岩、灰岩、板岩，上部为中性、中基性熔岩。其中熔岩厚度为433m，火山碎屑岩厚度为481m，正常沉积岩厚度为132m。喷出指数为87，反映其火山活动仍较强，但具有较多的沉积夹层。爆发指数 $E=53$ ，反映此时火山爆发强度较大，火山碎屑岩在火山岩中所占比例较高。火山活动具有熔岩→火山碎屑岩→沉积岩→熔岩的变化特征，反映火山活动处于时断时续的相持阶段。

三、奥陶纪火山岩

奥陶纪火山活动较寒武纪弱，其火山岩分布范围也较寒武纪小得多。早奥陶世火山岩主要分布于拉脊山中段北侧，中、晚奥陶世火山岩零星分布于拉脊山中段南侧。

(一) 早奥陶世火山岩 (O_1)

该时代火山岩分布于拉脊山中段北侧阿伊山一带，呈北西西向延伸，具一定的分布规模。根据岩石组合可分为花抱山组 (O_{1h}) 和阿伊山组 (O_{1a})。

1. 花抱山组 (O_{1h})

在阿伊山剖面中，该组厚度为1763m，其岩石组合：底部为一层酸性熔岩，中部以砂、砾岩为主夹中性熔岩，顶部为火山角砾岩。其中熔岩厚度为188m，火山碎屑岩厚度为329m，沉积岩厚度为1246m。喷出指数为29，反映火山活动微弱，岩石以沉积岩为主。爆发指数 $E=64$ ，反映其火山爆发强度较大，火山岩中火山碎屑岩居多。

2. 阿伊山组 (O_{1a})

在东沟剖面中该组厚度为1568m。岩石组合下部为酸性熔岩，继之为中性熔岩。熔岩成分按酸性→中性→基性→中性变化，以中性熔岩为主。剖面中熔岩占绝大多数。爆发指数 $E<10$ ，反映其火山活动以宁静的溢流为主。

(二) 中奥陶世查甫群 (O_2ch)

该岩群仅出露于拉脊山西段的才毛吉峡和中段的泥旦山一带。在才毛吉峡剖面中，其出露厚度为345m。岩石组合：底部为复成分砾岩，下部为砂岩、板岩夹砾岩，中部为基性、中性熔岩夹板岩，上部为中、基性熔岩与板岩互层。其中熔岩厚度为167m，火山碎屑岩厚度为25m，正常沉积岩厚度为153m。喷出指数为56，反映其火山活动不强，沉积岩较多。爆发指数 $E=13$ ，反映火山爆发强度不大，表现为以宁静的溢流为主。

(三) 晚奥陶世药水泉群 (O_3y)

药水泉群零星分布于才毛吉峡、窑路湾一带。在才毛吉峡剖面中，该岩群厚度为569m。岩

石组合：下部以碎屑岩为主，岩性为砾岩、砂岩、粉砂岩夹基性熔岩；上部以熔岩为主，岩性主要为中性、中基性熔岩夹砂岩、板岩。其中熔岩为245m，沉积岩为324m。喷出指数为43，反映其火山活动较弱。爆发指数 $E=0$ ，说明火山活动为宁静的溢流。

四、火山岩时空分布规律

(一) 火山岩时空分布

本区火山活动始于中寒武世，结束于晚奥陶世。形成的火山岩在时间和空间上分布不均匀。火山岩的厚度（表1-1）以拉脊山中段昂思多区最大（7794m），火山岩时代也以该段最全（ ϵ_2-O_3 均有）；向东、西两端火山岩厚度减小（3128~4638m），火山岩时代不全。

表1-1 拉脊山火山岩最大厚度（m）统计表

地 区		扎 巴	昂思多	中 岭	金 源
时 代					
ϵ_2	ϵ_2	290	2293	/	/
	ϵ_3ld_1	699	814	705	/
	ϵ_3ld_2	1385	2080	3591	2995
	ϵ_3ld_3	/	/	342	1659
	Σ	2084	2894	4638	4634
ϵ_{2+3}		2374	5187	4638	4634
O_1		/	2084	/	/
O_2		192	373	/	/
O_3		562	150	/	/
O		754	2607	/	/
$\epsilon+O$		3128	7794	4638	4634

注：表中数据由扎巴等4幅1:5万区调报告实测剖面综合而成。

不同时代火山岩分布范围与厚度也不同。中寒武世火山岩主要分布于拉脊山中段北侧（2293m），向西变薄（290m），东部缺失，火山岩分布范围不大。晚寒武世火山岩遍布全区，其中晚寒武世早期火山岩主要分布于拉脊山中段，分布范围较中寒武世明显增大，火山活动不强，火山岩厚度为699~814m；晚寒武世中期火山活动最强，火山岩分布范围最大，不仅在拉脊山中段有相当规模（3591m），而且在西段（1385m）和东段（2995m）均有相当规模；晚寒武世晚期火山活动中心东移，火山岩范围明显减小，仅限于拉脊山东段，火山岩最大厚度仅为1659m。早奥陶世火山岩主要分布于拉脊山中段北侧，分布范围较大，火山岩厚度为2084m。中、晚奥陶世火山岩只出露于拉脊山中段南侧，分布零星，火山岩厚度小，为150~562m。

(二) 火山岩分布与造山带演化

火山岩时空分布受造山带不同演化阶段构造环境的制约。根据火山岩时空分布、成分和厚度分析，本区是从中寒武世开始在陆壳基础上形成的陆间造山带，经历了大陆板内→大陆裂谷→小洋盆→火山弧→陆间造山带的演化阶段。地壳类型经历了陆壳→洋壳→陆壳的转变。

(1) 中寒武世时，本区由大陆板内转变为大陆裂谷。据苏明才（1982）^①资料，中寒武世泥

^① 苏明才，1982，拉脊山古裂谷构造带基本特征。

旦山群下部为陆相火山岩，向上相变为海相火山岩，说明本区中寒武世时是从陆壳基础上开始拉张的。当时拉张的中心位于拉脊山中段，裂开的幅度不大；火山岩分布范围小，主要出露于中段的南、北两侧。火山岩以偏碱性的基性岩为主，说明当时裂开的程度相当于大陆裂谷。晚期已有海水涌入，火山岩中有海相沉积岩夹层就说明了这一点。

(2) 晚寒武世，本区由大陆裂谷演化为小洋盆。在中寒武世大陆裂谷的基础上，晚寒武世继续拉张，盆地规模越来越大，至晚寒武世中期自西向东迅速扩大到全区，火山活动中心东移，中岭区火山岩厚度最大(3591m)。由于晚寒武世中期时拉张幅度较大，出现了洋壳物质，形成了由玄武岩、深海硅质岩、基性—超基性侵入岩共同组成的蛇绿岩套，说明此时盆地规模已达小洋盆。但小洋盆宽度不太大，故形成的蛇绿岩不很典型。晚寒武世晚期，自西向东，小洋盆开始收缩，西部至中部逐渐闭合，火山活动中心已东移至金源地区，火山活动强度明显减弱，形成的火山岩厚度较小(1659m)。晚寒武世早期和中期由于拉张速度较大，形成的火山岩基性程度较高；至晚寒武世晚期，发生应力松弛并开始闭合，形成了一套偏中性的熔岩和火山碎屑岩。

寒武纪本区总体构造背景为拉张环境，形成的火山岩具中心对称的分布规律：中寒武世火山岩分布于小洋盆两侧，晚寒武世火山岩分布于小洋盆中部。寒武纪从早到晚，本区地壳类型实现了由陆壳向洋壳的转换。

(3) 奥陶纪本区由小洋盆转变为火山弧。晚寒武世晚期小洋盆已开始逐渐关闭，至奥陶纪全区已处于挤压造山的环境。早奥陶世由于挤压，在北侧造成俯冲、消减，形成了一套厚度和规模均较大的以中性岩为主的中酸性火山弧型火山岩。中、晚奥陶世由于俯冲，在弧后局部地区形成张裂，从而形成一套具拉张特征的火山岩；火山岩分布范围很小，厚度不大。奥陶纪总体为挤压环境，与火山岩共生的沉积岩由海相逐渐转变为陆相及海陆交互相粗碎屑岩。奥陶纪本区地壳类型实现了由洋壳向陆壳的转变，并最终形成陆间造山带。

五、火山岩相、喷发类型

1. 火山岩相

火山岩根据其喷出时的地理环境可分为海相和陆相，进一步根据其岩石特征可分为3个相：喷出相、火山通道相和次火山相；喷出相再进一步还可分为3个相：溢流相、爆发相、侵入相。

本区寒武纪火山岩主要为海相。其依据为：

(1) 本区寒武纪火山岩颜色主要为灰绿色，一般氧化系数 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+}) < 0.5$ ，说明其形成于比较还原的环境；

(2) 火山岩常夹有含海相化石的正常沉积岩层，与火山岩共生的地层通常为硅质岩、结晶灰岩、大理岩；

(3) 火山岩常具枕状构造，且枕状熔岩与硅质岩共生，这是水下喷发的重要标志；

(4) 本区火山岩钠长石化普遍，部分钠长石化强烈者已为细碧岩—石英角斑岩系岩石。

奥陶纪火山岩也以海相为主，但还可能有陆相喷发。这体现在：

(1) 火山岩的颜色虽以灰绿色为主，但部分为紫红色；

(2) 与火山岩共生的沉积岩具有较多的硬砂岩、岩屑砂岩、砾岩等成熟度不高的碎屑岩。

进一步划分，本区以溢流相为主，爆发相较少。火山岩的爆发指数大多小于15，火山活动以宁静的溢流为其特征。在构造环境发生变化的阶段（如中寒武世时开始在陆壳基础上拉张，

晚寒武世晚期及早奥陶世在经历长时间拉张以后开始闭合),火山活动的爆发强度增大,爆发指数为37~53,爆发相和溢流相均较发育。

2. 火山喷发类型

本区火山喷发类型为火山喷发中心受线性断裂控制的裂隙式喷发。其依据如下:

(1) 火山喷发中心基本呈线性分布:根据粗火山碎屑岩的分布,大致确定了几个火山喷发中心,如八宝山、青纱山、泥旦山、小西沟等地,它们的分布基本和近东西向的构造线一致;

(2) 火山活动开始时表现为中心式火山爆发,随即便转为以溢流为主,故仅在古火山口附近堆积着粗火山碎屑岩;

(3) 火山岩呈条带状分布,其位置基本与拉脊山边界断裂平行,走向与断裂延伸方向一致。

第二章 岩 相 学

广义的岩相学研究内容包括甚广，由于火山岩的分布产状、化学成分、矿物化学及岩石种属的化学成分命名法等在其他章节里论述，本章重点描述岩石种属的鉴定特征，简要概述分类命名和岩石建造问题。

一、海相火山岩的分类命名

(一) 细碧-石英角斑岩类种属划分的困难性

拉脊山的火山岩系是寒武纪和奥陶纪形成的古火山岩系。寒武纪火山岩的矿物组合为钠长石+绿泥石+绿帘石+方解石±阳起石（或角闪石）等，很少见原生矿物残余。奥陶纪火山岩的矿物组合与寒武纪火山岩的有些类似，但变质程度相对较弱，岩石中普遍见有原生基性斜长石、辉石、角闪石的残余。按照夏林圻、夏祖春等（1991）关于细碧角斑岩“是一套含有钠质斜长石及低温矿物（绿泥石、绿帘石、方解石等）的火山岩”的简明定义，考虑到本区火山岩在化学成分上都具有高钠、高 H_2O 、高 CO_2 和低钙的特征，本区寒武纪火山岩主要是一套细碧-（石英）角斑岩系，而奥陶纪火山岩至少是一套细碧岩化的变质火山岩系。

对细碧-角斑岩系的分类命名，我国许多岩石学家（李兆蒲、王碧香等，1984；夏林圻、夏祖春等，1991；等等）都进行过研究。其主要意见是：细碧-角斑岩系是一套古海相火山岩，其基、中、酸性熔岩类的名称相应为细碧岩类、角斑岩类、石英角斑岩类，大致对应于新鲜火山岩的玄武岩类、安山岩（包括粗面岩）类、流纹岩（包括英安岩）类。

根据不同的标准，玄武岩类、安山岩类、流纹岩类各自可细分为不同的岩石种属。如玄武岩类按 CIPW 标准矿物可划分成石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩、橄榄玄武岩、碱性橄榄玄武岩、碱玄岩、碧玄岩，广义上还包括苦橄拉斑玄武岩、苦橄玄武岩和碱性苦橄玄武岩（Yoder 等，1962；林伍德，1981；邱家骧，1982；曾广策，1984、1988）。同样，作为相当于玄武岩类的古海相火山岩类——细碧岩类，从理论上和研究的需要上也应对它进行种属细分。但由于细碧-角斑岩系的物质成分偏离了原生岩石的物质成分，目前还没有对它们进行种属细分的详细方案。这对于细碧-角斑岩的组合系列、成因演化和形成时构造环境的探讨是不利的。

本区细碧岩的化学成分有一定的变化范围，岩石的变余原生结构表现为多样性，说明原生岩石并非单一种属，应该而且也需要将它们划分为不同的种属。但用什么作为划分种属的依据，这是一个非常棘手的问题。用化学成分吗？许多组分在变质（或成岩）过程中是活性的，现有成分不完全代表原生成分；用矿物成分吗？现已是变成矿物或蚀变矿物组合，原生矿物已不复存；用标准矿物吗？由于标准矿物的换算依据是化学成分，同样存在失真性。这大概就是长期以来，细碧-角斑岩系没有像新鲜岩石那样细分种属的主要障碍。

(二) 对细碧-角斑岩系进行种属划分、命名的建议

我们建议对细碧-石英角斑岩系的种属划分、命名采用下列方案。种属划分、命名的步骤如下：

(1) 含有钠质斜长石和低温矿物绿泥石、绿帘石、方解石等的火山岩称为细碧-(石英)角斑质火山岩(古海相火山岩)，其大类名称按酸度(由于岩石钠化，酸度适度加大)确定，基性($\text{SiO}_2=45\%\sim 55\%$)^{*}岩类称为细碧岩，中性($\text{SiO}_2=55\%\sim 70\%$)岩类称为角斑岩，酸性($\text{SiO}_2>70\%$)岩类称为石英角斑岩。

(2) 按化学成分(扣除 H_2O 、 CO_2 ，并进行必要的校正)或标准矿物组成恢复原生岩石种属名称。

①若按标准矿物组成：对于基性岩类最好采用Ol-Q-Nc-Hy命名图(曾广策，1984；邱家骧、曾广策，1988；曾广策，1996)，因为在该图中基性岩类的种属可得到较详细的划分和命名，而在QAPF图中，基性岩不仅不能细分种属，而且同安山岩类重叠在同一区中；对于中、酸性岩类，采用国际地科联(1979)的QAPF命名图确定原岩种属名称，但对部分种属名称应稍作修改。如图中4区最好称作流纹英安岩，8、9区是玄武岩向粗面岩过渡的多个种属投影区，可结合TAS图和岩石的 K_2O 、 Na_2O 含量详细定名(曾广策，1996)。

②若按岩石化学成分，采用Le Bas等(1986)的TAS图确定原岩种属名称(详见第四章)。

(3) 对于细碧-角斑岩化强烈、极少见或不见原生矿物的岩石，以岩类名称为词尾，作岩石种属名称的基本部分，以原生岩石种属名称作词头，称作“××质”，冠于基本部分之前，如橄榄拉斑玄武质细碧岩、碧玄质细碧岩、粗安质角斑岩、碱长流纹质石英角斑岩，等等。

(4) 对于细碧-角斑岩化较弱、常见有原生矿物的岩石，可按以下情况分别予以命名。

①若与海相地层共生，属于海相火山岩，其种属名称以原岩种属名称为词尾，作种属名称的基本部分，以岩类名称作词头，称作“××岩化”，冠于基本部分之前，如细碧岩化拉斑玄武岩、细碧岩化碧玄岩、角斑岩化粗安岩、石英角斑岩化碱长流纹岩，等等。

②若与陆相地层共生，属陆相火山岩，在原岩种属名称之前冠以“变”或“变质”词头，即为其种属名称，如变(质)橄榄拉斑玄武岩、变(质)安山岩、变(质)钾长流纹岩，等等。

采用上述方案，细碧-石英角斑岩系即可像现代火山岩一样进行详细的种属划分和命名，而且，广义上该方案也适用于变质的古陆相火山岩。

对细碧-角斑岩系的成因一直存在不同的观点。其中一部分学者认为它们是区域变质成因的，变质过程为等化学过程。另一部分学者认为，其变质过程中发生了化学成分的交流，是非等化学过程。若细碧-角斑岩系为等化学变质作用产物，则该分类、命名方案的适用性勿容置疑。若它们是非等化学变质作用的结果，则恢复的原岩种属名称与真正的原岩种属名称间存在偏差。我们认为，变质作用造成的偏差是系统的偏差，原岩种属之间成分的相对差异仍可保留下来，这些差异仍然是岩石学研究的重要信息，而且，样品的采集上和在化学分析结果的筛选上也可消除一部分变质作用的影响。因此，在更合理的方案找到之前，该方案是可试行的。

* SiO_2 含量为质量百分数，本书其他氧化物与之相同。