

第 30 届国际地质大会论文集



第 15 卷

火 成 岩
岩 石 学

艾永德 主编



地 质 出 版 社

第 30 届国际地质大会论文集

第 15 卷

火成岩岩石学

艾永德 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本卷的主题为板块内特别是大陆板块内岩浆作用及其形成机制的多样性与复杂性。内容涉及一些值得进一步关注的问题,如相对稳定的克拉通大陆和相对活动的小块体拼合的大陆,两者岩浆作用的相似性和差异性;大陆板块内活化带和裂谷型岩浆作用形成条件的联系和区别;大陆高钾钙碱性火山岩与岛弧钙碱性火山岩、大陆粗安质火山岩与成熟岛弧的橄榄安粗岩特征的相似性和差异性,形成机制是否相同等。

本书可供从事岩石学、地球化学、大地构造学、同位素地质学、实验岩石学、矿物包裹体等学科的研究人员和地质院校的教师以及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火成岩岩石学/艾永德主编.-北京:地质出版社,1998.11

(第30届国际地质大会论文集;第15卷)

ISBN 7-116-02674-6

I. 火… II. 艾… III. 火成岩石学-国际学术会议-文集 IV. P588.1-53

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第28275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:赵俊磊 周继荣

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:257000

1998年11月北京第一版·1998年11月北京第一次印刷

印数:1—500册 定价:26.00元

ISBN 7-116-02674-6

P·1935

(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)

第 30 届国际地质大会论文集英文版共 26 卷,已由荷兰国际科学出版社(VSP)于 1997 年全部出版。中文版由第 30 届国际地质大会组织委员会编辑,地质出版社出版。

第 30 届国际地质大会论文集卷目

- 第 1 卷: 地球的起源和历史
- 第 2 卷: 地学与人类生存、环境、自然灾害
- 第 3 卷: 全球变化
- 第 4 卷: 岩石圈构造和深部作用
- 第 5 卷: 现代岩石圈运动 地震地质
- 第 6 卷: 全球构造带 超大陆的形成与裂解
- 第 7 卷: 造山带 地质填图
- 第 8 卷: 盆地分析 全球沉积地质学 沉积学
- 第 9 卷: 21 世纪能源矿产和矿产资源 矿床地质 矿产经济学
- 第 10 卷: 地学新技术方法
- 第 11 卷: 地层学
- 第 12 卷: 古生物学 地史学
- 第 13 卷: 海洋地质学 古海洋学
- 第 14 卷: 构造地质学 地质力学
- 第 15 卷: 火成岩岩石学
- 第 16 卷: 矿物学
- 第 17 卷: 前寒武纪地质学和变质岩石学
- 第 18 卷: 化石燃料地质——石油、天然气和煤
- 第 19 卷: 地球化学
- 第 20 卷: 地球物理
- 第 21 卷: 第四纪地质
- 第 22 卷: 水文地质
- 第 23 卷: 工程地质
- 第 24 卷: 环境地质
- 第 25 卷: 数学地质和地质信息
- 第 26 卷: 比较行星学 地质教育 地质学史

前 言

1996年8月6~9日,在第30届国际地质大会期间,举行了火成岩岩石学专题学术讨论会,共分9个专题:火山作用与地质构造背景;与碰撞造山作用有关的岩浆活动;大陆板内和被动陆缘岩浆作用;金伯利岩、钾镁煌斑岩、碳酸岩和其他碱性岩的岩石学、矿物学和地球化学;花岗岩的热流系统、包裹体和构造背景;岩浆的生成、分离、上升、储存和喷发;岩浆硅酸盐熔体的结构及物理性质;岩浆作用过程中水和其他挥发分的作用以及实验岩石学的新进展。会议共收到论文摘要362篇,在专题学术讨论会中宣读的论文113篇,展讲的论文129篇。

本卷《火成岩岩石学》论文集的主题为板内特别是大陆板内岩浆作用及其形成机制的多样性和复杂性。内容涉及一些值得进一步关注的问题:相对稳定的克拉通大陆和相对活动的小块体拼合大陆,两者岩浆作用的相似性和差异性;大陆板内活化带和裂谷型岩浆作用形成条件的联系和区别;大陆高钾钙碱性火山岩与岛弧钙碱性火山岩、大陆粗安质火山岩与成熟岛弧的橄榄安粗岩(shoshonite)特征的相似性和差异性,形成机制是否相同等,都有待于进一步探讨和研究。

J. Pearce, S. Kanisawa, S. Haggerty, M. Brown, M. Wilson, L. N. Kogarko, 王德滋、张安棣、陈正宏、刘林根、从柏林、洪大卫、林盛中、莫宣学、马昌前和夏林圻等教授审阅了提交给专题讨论会的论文摘要,特在此致以诚挚的谢意。

李兆霖 戚建中 张招崇

目 录

前言

- 青藏北部新生代火山岩与岩石圈演化的关系…………… 邓万明(1)
- 中国东部上地幔富铝矿物相转变实验研究及其意义 ……………
…………… 樊祺诚,刘若新,林卓然,谢鸿森,张月明(11)
- 中国东南部陆缘裂谷带中双峰火山岩的双岩浆源模型——元素及钨、铅、铀同位素
证据 …………… 方中,陶仙聪,夏邦栋,张根娣,李惠民(18)
- 衰减地幔熔融大洋中脊玄武岩玻璃和交代地幔熔融碱性玄武岩中铂族元素和金的
丰度…………… G. Hartmann(30)
- 硫化物-碳酸盐-硅酸盐和碳酸盐-硅酸盐流体不混溶性在钙碳酸岩成因中的作用 ……
…………… L. N. Kogarko(37)
- 中国大陆火山岩组合、时空分布及其与壳幔结构和组成的关系 …………… 李兆霖,王碧香(48)
- 金刚石碳同位素组成和成因 …………… 刘观亮,韩友科,翟丽娜,苗青,车锋(62)
- 大别山造山带中生代上升隆起时侵入岩的垂向化学变化 …… 马昌前,杨坤光,许长海(76)
- 东太平洋隆起北部地区下面地幔源的极不均匀性——近洋脊海山的痕量元素证据 …
…………… Y. L. Niu, R. Batiza(82)
- 复式岩浆房的补给过程——以内华达州 Aztec Wash 深成侵入体中的岩浆构造为例…
…………… D. W. Patrick, C. F. Miller(94)
- 埃塞俄比亚高原和裂谷岩浆演化过程中的分离结晶作用、岩浆混合作用和地壳同化
作用…………… A. Peccerillo, Y. Gezahegh, M. Bekele, T. W. Wu(107)
- 早前寒武纪阿尔丹地盾在晚新生代的再活化:俄罗斯西伯利亚乌多坎山脉地下岩浆
源微量元素的定位 …………… S. Rasskazov, A. Ivanov, A. Boven, L. Andre(121)
- 中朝克拉通 2300~2400Ma 宽甸杂岩地球化学研究——古元古代大陆裂谷存在吗?
…………… 孙敏,张立飞,吴家弘,R. Kerrich(135)
- 中国金刚石矿床中榴辉岩矿物包裹体的地球化学研究 ……………
…………… Wang Wuyi, Shigeho Sueno, Hisayoshi Yurimoto, Eiichi Takahashi(146)
- 冀北水泉沟偏碱性杂岩体的起源与两种岩浆演化趋势 …………… 张招崇,李兆霖(159)

青藏北部新生代火山岩与岩石圈演化的关系^①

邓 万 明

(中国科学院地质研究所,北京 100029)

摘 要 在青藏高原北部发育了一条巨大的新生代火山岩带。它是世界上有名的陆内火山岩带之一。根据火山岩的形成时代、岩石组合系列、地球化学特征和同位素成分可以将其划分为两个亚带,即位于南侧的羌塘亚带和位于北侧的昆仑亚带。这些岩石以特别富集 K_2O 和 REE 为特征。这两条亚带在成因上分别与渐新世—中新世的初始板内裂谷带和更新世的板内俯冲带有密切的关系。有意义的是,第四纪的富钾熔岩与中国东部的同时代火山岩相比显示了高的 ($^{87}Sr/^{86}Sr$)_i 值 (0.7089~0.7105) 和 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值 (18.711~18.834)、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 值 (15.087~15.701)、 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 值 (38.900~39.191), 低的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值 (0.5121~0.5123)。这些特征可能说明火山熔岩的初始岩浆是来自 EMII 型的不均一富集地幔源的部分熔融。在它们上升和喷发的过程中曾受到了陆壳的混杂。自新生代以来,青藏高原经历了一系列重要的演化阶段,新生代火山岩的时空分布及岩石-地球化学特征与岩石圈的构造演化有密切的内在联系。

关键词 青藏高原 新生代 火山作用 岩石圈 昆仑山 羌塘 隆升

1 引言

在青藏高原北部及邻近的昆仑山地区发育了一条相当强烈的新生代火山活动带。这条沿昆仑山造山带近东西向展布的火山岩带是青藏高原上一大地质特色。该地区的火山活动也是自新生代以来发生在亚洲大陆内部的非常重要的事件之一。该区海拔均在 4500m 以上,加之恶劣的气候和交通条件,至今仍是地球上研究很差的地区。然而新生代火山岩分布、产状、岩石学、地球化学和同位素年代学的研究对于认识青藏高原的形成和隆升不仅有重要的科学意义,而且将为探寻与火山活动有关的矿产资源提供新的依据。本文叙述了火山岩的主要岩石-地球化学成分的特点并讨论了火山活动与岩石圈构造演化的关系。

2 火山岩的分布和时代

近年来的考察发现,这一条火山岩带沿北羌塘、昆仑山和可可西里山呈近东西向延伸长达 1500 km,多数岩区位于昆仑山以南和羌塘地块以北的地区,仅少数在昆仑山中和它的北侧(图 1)。

① 国家自然科学基金资助项目(编号 49472102)。

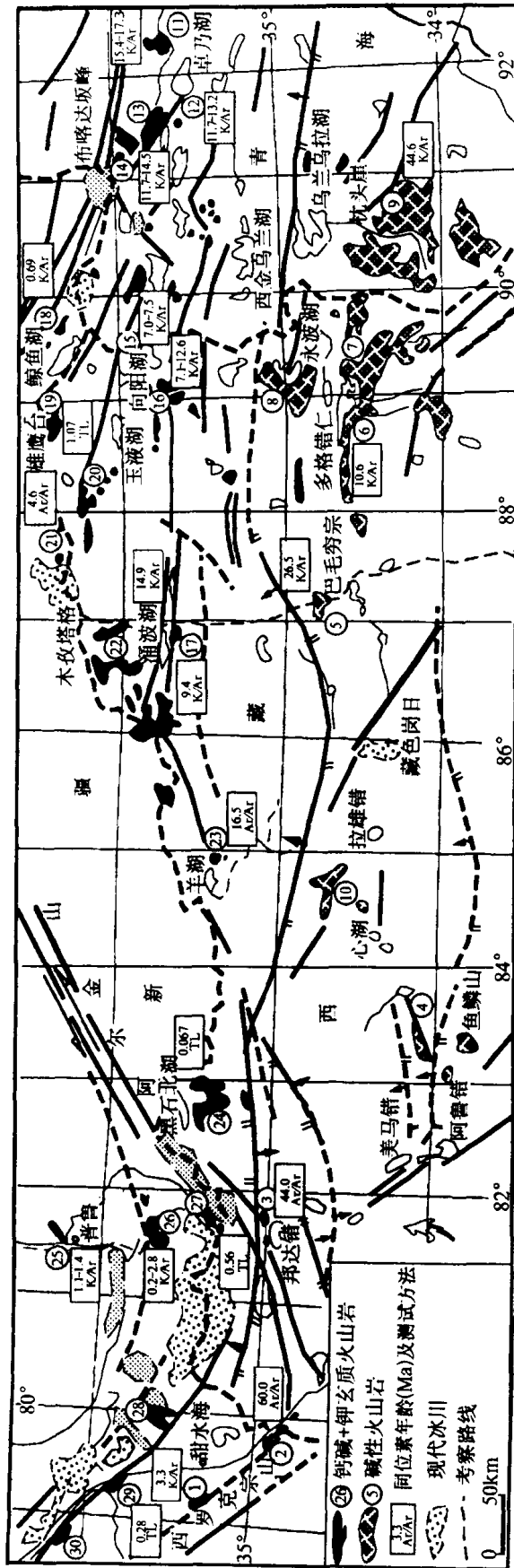


图1 青藏高原北部新生代火山岩分布略图

(据邓万明,1991、1993、1996;Deng,1991、1992;潘桂堂等,1990;张以雍等,1994;成都地矿所,1988及新疆、西藏、青海等区测资编)

火山区: 1—通天桥; 2—红山湖; 3—邦达错; 4—鱼鳞山; 5—巴毛穷宗; 6—多格错仁; 7—太平湖; 8—永波湖; 9—枕头崖; 10—心湖; 11—大帽山; 12—科考湖(东); 13—科考湖(东北); 14—五雪峰; 15—黑驼峰; 16—向阳湖; 17—涌波错; 18—鲸鱼湖; 19—雄鹰台; 20—雪梅湖; 21—木孜塔格; 22—羌巴欠; 23—羊湖;

24—黑石北湖; 25—普鲁; 26—阿什库勒; 27—阿塔木帕下; 28—泉水沟; 29—大红柳滩; 30—康西瓦

前古生代和古生代地层主要分布在昆仑山地区,组成了昆仑和羌塘地体的基底。中生代地层广泛分布于羌塘地体,其中又以三叠系和侏罗系最为发育。白垩纪红层不整合在前述老地层之上。新生代的火山岩就覆盖在这些地层之上。火山喷发活动主要受区域性的一些大断裂带所控制,其中有的断裂目前仍有活动性。

这一条新生代火山岩带由若干个岩省和数十个熔岩区所组成。根据火山岩的形成时代、岩石组合和地球化学特征可以将其划分为两部分,即南侧的羌塘亚带(包括西羌塘和北羌塘两岩省,简称南亚带)和北侧的昆仑亚带(包括可可西里、中昆仑和西昆仑三岩省,简称北亚带)。这两条亚带有许多相同的方面,但彼此之间又有一些重要的差异。

笔者搜集了大量的关于这些火山岩同位素定年的资料(表 1)。可以发现,最早的火山

表 1 藏北新生代火山岩的年龄

岩省	岩区	编号	年龄值/Ma	测试方法	资料来源	备注	
西羌塘	红山湖 邦达错	1	60.0	Ar/Ar	张玉泉(1993,未刊)		
		3	44.0	Ar/Ar	张玉泉(1993,未刊)		
北羌塘	巴毛穷宗	5	20.0,28.0,27.8 28.3,28.6	K/Ar	邓万明(1989)	平均 26.5Ma	
		6	10.6	K/Ar	李才等(1989)		
	9	44.66,4.27	K/Ar	张以菲等(1984)			
可可西里	大帽山	11	17.3,15.39	K/Ar	邓万明等(1996)	平均 16.35Ma	
		12	13.2,11.7	K/Ar	邓万明等(1996)	平均 12.45Ma	
	可考湖东 可考湖北东	13	17.6,19.6,26.5,17.04 11.7,14.47	K/Ar	张以菲等(1984) 邓万明等(1996)	平均 17.82Ma	
		14	21.24,32.9,53.3 24.55,41.9	K/Ar	张以菲等(1984)	平均 34.78Ma	
	黑驼峰	15	12.5,18.3	K/Ar	张以菲等(1984)	平均 12.62Ma	
			7.09,12.6	K/Ar	邓万明等(1996)		
	向阳湖	16	7.49,6.95	K/Ar	邓万明等(1996)	平均 7.50Ma	
13.3,13.0,11.8,9.6,9.4 8.5,5.6,3.6,0.5,0.3			Ar/Ar	Simon Turner et al. (1993)			
涌波湖	17	9.4	K/Ar	李才等(1989)			
中昆仑	鲸鱼湖	18	0.69	K/Ar	新疆地矿局(1982,未刊)		
	雄鹰台	19	1.08	热释光	邓万明(1991)		
	木孜塔格	21	4.6	Ar/Ar	Molnar, P. et al. (1987a)		
	羌巴欠	22	14.9	K/Ar	邓万明(1989)		
	羊湖	23	16.5	Ar/Ar	张玉泉(1993,未刊)		
	黑石北湖	24	0.067	热释光	邓万明(1989)		
西昆仑	普鲁	25	3.27,4.64 1.1,1.4,1.24 1.43,1.21	K/Ar K/Ar K/Ar	新疆地矿局(1993) 刘丛强等(1989) Liu, et al. (1989)	平均 2.60Ma 平均 1.28Ma	
		阿什库勒	26	0.44,0.28,0.67,0.20 1.65,0.52,0.58,0.31 0.60,0.50,0.12,2.8 1.19,1.23,1.43	K/Ar K/Ar K/Ar	刘嘉麒、买买提依明(1989)	平均 0.79Ma
			阿塔木帕下 泉水沟	27	0.074 0.56	热释光 热释光	邓万明(1993) 邓万明(1991)
	28			5.6,6.4,3.6,5.1,5.3 5.84	K/Ar K/Ar	Arnaud, N. O. et al. (1992) 新疆地矿局(1993)	平均 5.20Ma
	大红柳滩	29	0.28	热释光	邓万明(1989)		

活动出现在西羌塘岩省,而最年轻的火山喷发是在西昆仑岩省,其它岩省处于上述两岩省之间;此外,在北羌塘、可可西里、中昆仑和西昆仑岩省都有几个喷发期或阶段。一般羌塘亚带的火山岩比昆仑亚带老,前者主要是喷发于始新世到中新世,而后者主要是在上新世至更新世。在昆仑亚带中火山岩的时代由东向西由老变新。

3 火山岩的岩石学、岩石化学和地球化学

南北两条亚带除了年龄上的差别外,在岩石学和岩石组合系列上也有明显的不同。巴毛穷宗岩区(图 1,⑤)是南亚带的一个典型代表。在巴毛穷宗主峰的北东方向有一个形态保存完好的火山口。喷发的熔岩是一套超碱性的岩石,包括辉石石榴岩、假白榴石斑岩、石榴石响岩、黝方石响岩、粗面岩以及正长斑岩等^[1]。在火山岩分类的 TAS 图解上(图 2a),它们投影在碱性区属于碱性系列岩石。比较而言,北亚带的火山岩 SiO_2 含量高、变化范围大,因此主要是投影在粗面安山岩和玄武粗面安山岩上,也有少量落在粗面岩和流纹岩的区域中。此外,北亚带的所有的分析点均投影在钾玄岩(为主)系列和高钾 CA 系列(图 2b)。

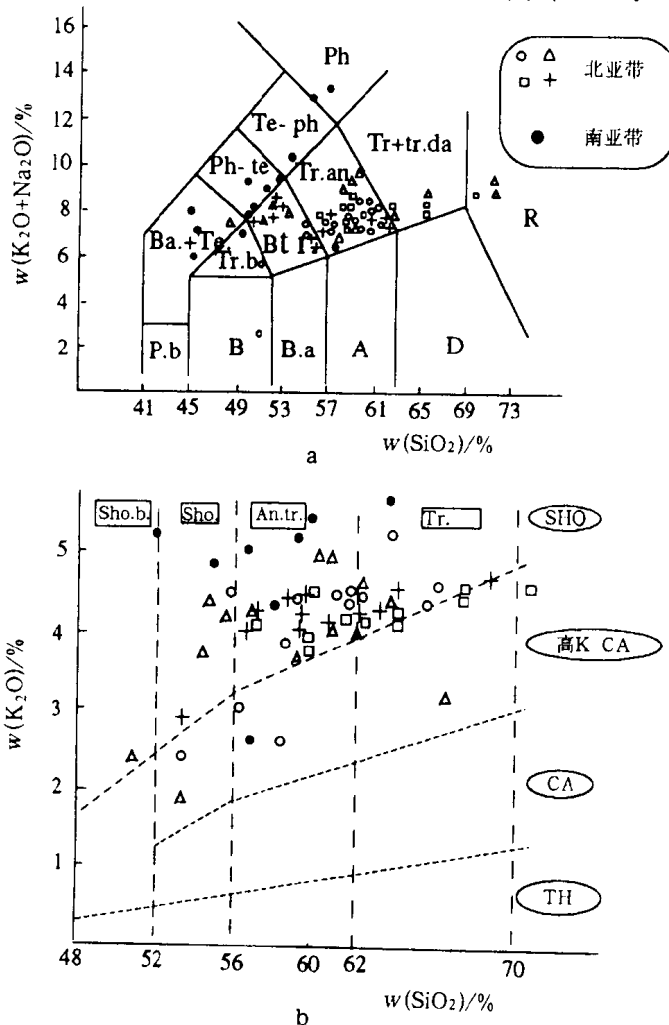


图 2 藏北火山岩化学分类的 TAS 图解(a)和 $w(\text{K}_2\text{O})$ - $w(\text{SiO}_2)$ 投影(b)

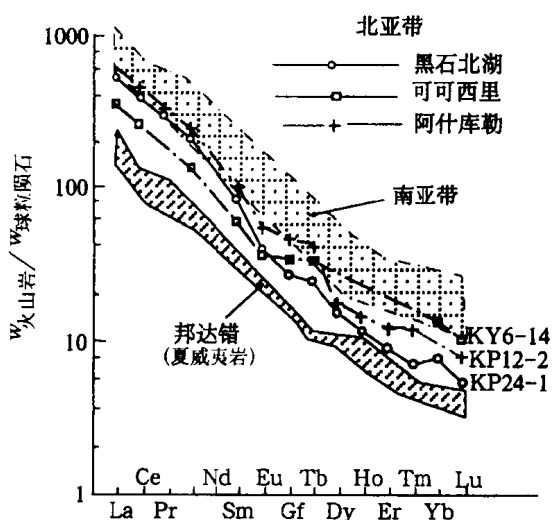
(图 a 据 Le Maitre, 1989; 图 b 据 Peccerillo and Taylor, 1976)

在球粒陨石标准化的 REE 分配图解上,两个亚带的岩石都呈现为非常富集 LREE 的分配型式(图 3)。南亚带的富集程度更强。总的看来本区的新生代火山岩以富集总碱、LREE 和 LILE 为显著特征。

在 MORB 标准化的蛛网图(略)上,这两个亚带的岩石都明显地有 Nb、Ta、Ti 等高场强元素和所有过渡金属元素的亏损以及 Rb、Ba、Th 的正异常。因此这些火山岩都是喷发在典型的碰撞后的构造环境。

4 造岩矿物

藏北两个亚带的火山岩的一个共同和基本的特征是具斑状结构,有的岩石含少量的火山玻璃。橄榄石、辉石、角闪石和长石是最重要的斑晶矿物。笔者进行了大量的造岩矿物化学成分的电子探针分析。橄榄石作为斑晶广泛出现在西昆仑岩省的岩石中。一般可识别两个世代:第一世代的橄榄石为粗大的自形粒状结构,第二世代呈次级斑晶或产于基质中与其它微晶矿物共生。橄榄石的含量达 2%~5%,Fo 在 71~86,定为贵橄榄石。发现第三纪熔岩的橄榄石 Fo 比第四纪熔岩要高(平均值分别为 85 和 76),说明前者更加富 MgO。



凡是有橄榄石和辉石两种斑晶时 图 3 藏北新生代火山岩球粒陨石标准化的 REE 分配型式
辉石总是出现在橄榄石结晶之后。与
辉石经常共生的矿物是斜长石。富钙的单斜辉石普遍地出现在第四纪的熔岩中,贫钙的斜方辉石次之。通常可以划分出 2~3 个世代(斑晶和基质)且大多数是自形晶。在中昆仑岩省的许多岩区的安粗岩都有两种辉石与斜长石共生的现象。根据辉石的化学成分分类所有的斜方辉石均为紫苏辉石。单斜辉石是研究区钾质熔岩最重要的造岩矿物之一,往往具有自形柱状晶形。采自邦达错夏威夷岩和巴毛穷宗白榴岩中的单斜辉石的平均成分为 En 38.6 Wo 49.7 Fs 11.7,而其它岩区第四纪熔岩的单斜辉石的平均成分为 En 45.3 Wo 41.2 Fs 13.5。第四纪熔岩中单斜辉石的富钙、贫镁意味着岩浆的演化趋势是 MgO 的增加和 CaO 的降低。富 MgO 的辉石产于中昆仑岩省的东部,富铁的辉石则产于西部。根据实验岩石学的研究,辉石中的 Al₂O₃ 有重要的岩石成因意义。研究表明,在邦达错岩区岩浆的结晶分异作用在高的压力条件下(相当于石榴子石地幔岩的深度)已经开始(大约为 82~98km),而其他岩区的岩浆房可能是处在中压甚至低压地壳中(Deng, 1992)。

斜长石是安粗岩和粗面安山岩最常见的斑晶,通常为半自形到自形晶板状结构。带状构造比较少见,但钠长石双晶很普遍。在石英斑岩和流纹斑岩中常有一些 An=10~20 的钠长石和更长石的酸性斜长石存在。不过大多数岩区的斜长石除与橄榄石共生(如普鲁岩区)的

以外(落在拉长石的范围)都是中长石,平均成分为 An 45 Ab 45.9 Or 8.5(Deng, W. M., 1992)。钾长石只在第四纪熔岩中才出现。大帽山岩区的安粗岩和粗面岩中碱性长石的平均成分为 Or 52.6 Ab 45.7 An 1.7,为数厘米长的巨斑,其成分为钠透长石。

5 火山岩的同位素成分

火山岩的 Sr、Nd、Pb 同位素成分是在中国科学院地质研究所和法国 Clermont-Ferrand 测定的。所有的样品都含有放射性成因的 Sr 和非放射成因的 Nd。研究区新生代火山岩的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值变化在 0.704634~0.710540 的大范围中。可以将这些资料分为三组:第一组以邦达错、通天桥等第三纪火山岩为代表,它们有最低的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值(0.704634~0.706296);第二组包含一部分北亚带的火山区,它们具有中等 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值(0.707537~0.708960);第三组的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值最高(0.709832~0.710540),它们是西昆仑岩省阿什库勒火山群最年轻火山岩的明显的特征。在 Sr-Nd 的蛛网图解上(图 4)第四纪和一些第三纪的火山岩投影在全球总成分的下方,倾向于地壳成分端元。与西班牙 Roman 地区的高钾熔岩一致也和刘丛强等(1989)、Arnaud 等(1992)的分析结果相一致。但是第三纪的熔岩(比如邦达错和通天桥)等接近于地球的总成分,这是这两个时代火山岩的又一差别。换言之,前者是以高的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值、低的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为特征,而后者正好相反,它们的 Sr、Nd 同位素成分也和东非裂谷带的碱性岩类似。上述第四纪和少数第三纪熔岩的 Sr、Nd 同位素成分表明,它们的原始熔体不是来源于正常大陆地幔源的部分熔融而可能暗示了一个地球化学不均一的富集地幔源。也许这样的异常地幔源就是近年来地球物理测深发现的所谓“壳-幔混合层”或“壳-幔过渡带”(肖序常等,1988;吴功建等,1989)。在图 5 上第四纪熔岩的 Sr、Nd 成分清楚地限定了一个 EMII 地幔源,这与中国东北五大连池第四纪钾质熔岩所在的 EM I 明显不一样。EMII 异常地幔源的成因可能是一部分大洋沉积物在古缝合带形成时沿着俯冲带被带到了地幔增生楔内,这样地壳物质与地幔岩在 Moho 面附近发生了化学混合作用的结果。

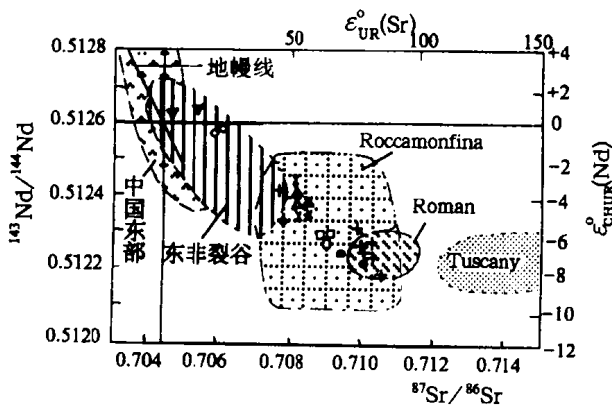


图 4 火山岩的 Sr-Nd 同位素成分
(引自邓万明,1993)

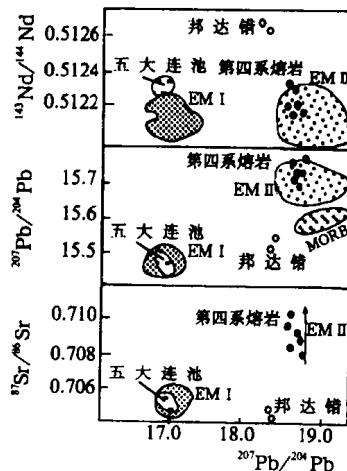


图 5 火山岩的 Sr-Nd-Pb 同位素成分

6 火山岩岩石成因探讨及岩石圈构造演化

6.1 羌塘亚带火山岩的初始板内裂谷成因

青藏高原的地质演化经历了漫长和复杂的历史过程。老第三纪是从多块体的相继拼接向强烈隆起转变的一个重要阶段。当时本区的海拔并不是很高,高原地壳比相邻的地区要轻和热,因此也非常容易变形。老第三纪的火山活动与印度板块的向北挤压并不存在直接的联系。否则我们应该看到在过去的 40Ma 以来高原的广大范围内都有大面积的火山岩分布。有迹象表明,在第三纪由于沿老缝合带的薄弱地段相邻块体之间在隆起的时间、幅度上的不一致,就会产生断块的差异运动。这些构造的进一步发展,将导致上地幔物质的上拱和初始裂谷带的形成。老第三纪的南亚带的火山活动可能是与这一构造背景有关。这些火山岩独特的岩石学、地球化学和 Sr、Nd、Pb 同位素地质学特征表明,原始岩浆是从位于 Moho 面附近的“壳-幔混合层”的部分熔融而来。但是,这一裂谷带的寿命不长,未能得到充分的发育,原因可能是新第三纪至第四纪以来构造应力场的改变和快速的隆起。目前我们还可以看到沿南亚带一线分布着一些断陷盆地、断陷湖泊的地貌现象,可能是初始裂谷带的遗迹。

6.2 板内俯冲和昆仑亚带火山岩的形成环境

自晚上新世以来,整个青藏高原和昆仑山地区都是处于快速的上升状态。昆仑山的一些老的构造又重新复活并有较大尺度的走向滑移断层、逆冲断层和推覆构造相继出现。尤其重要的是这些地质事件与青藏高原的形成是紧紧相伴的。因此,北羌塘和昆仑山地区的强烈的新生代火山活动是该区新构造运动的表现形式之一。有证据表明,昆仑亚带的火山岩在成因上与昆仑山和塔里木地块之间的边界构造有密切的联系。这些岩石的时、空分布、岩石学、地球化学和同位素成分的特征都可以用板内俯冲的模式来解释。还有证据表明,昆仑山的新构造抬升与塔里木的下沉是差不多同时发生的。青藏高原受到来自印度板块向北的持续挤压又受到了来自塔里木地块向南的阻挡,导致了高原岩石圈在南-北方向上的缩短和加厚。高原的北部边缘势必会逆冲在塔里木地块南缘之上。换言之,刚性的塔里木地块向南俯冲于青藏高原地壳之下可能是昆仑山上升和强烈的北亚带第四纪火山活动的重要机制。这些火山岩岩石学、地球化学和同位素地质学的特征证明,熔体是来自由于陆内俯冲导致的“壳-幔过渡带”的断裂-挤压重熔。一些酸性的岩浆也可能是陆壳部分熔融的产物。昆仑山的快速隆起是发生在晚上新世至早更新世期间。不过,整体性和大尺度的隆升也许是在早更新世晚期至中更新世早期。在这个时期塔里木地块向南的俯冲及火山喷发也最为强烈。有大量的证据说明塔里木地块向青藏高原北缘的板内俯冲至今仍在进行。野外地质调查发现,昆仑山北缘有向北倒转的一系列逆冲断层。沿这些逆冲断层一些老的地层冲在塔里木地块南缘的第三纪或第四纪的年轻地层之上,就像喜马拉雅岩系沿 MBT 逆冲在西瓦里克和恒河冲积平原之上一样。此外,根据地球物理的研究,塔里木地块南缘的地壳厚度是大约 40 km,向着高原的方向很快增加到 50~70km,即在很短的平面距离内存在一个地壳厚度的陡变带。这就意味着 Moho 面向南倾斜。从西面的兴都库什山经喀喇昆仑山至东面的昆仑山是一条强烈的地震活动带。地震滑动面是以大约 60°的倾角向南倾。由地震的断层面解可得知,主压应力轴的方向是北东-南西或南北向,这正好与昆仑山和火山岩带的走向相垂直(滕吉文等,1984)。新构造运动的研究支持塔里木地块和昆仑山之间目前还在以每年 $6\text{mm} \pm 4\text{mm}$ 的速度汇聚

着(Molnar, et al., 1987b)。

6.3 新生代以来岩石圈构造演化及其与火山活动和高原隆升的关系

新生代以来青藏高原处在被印度板块、扬子板块和塔里木板块的包围之中,来自南、北、东面的构造应力均指向高原方向。这样一种构造框架对高原岩石圈的演化及隆升有非常重要的动力学意义,并导致了一系列地质事件相继发生(图 6)。

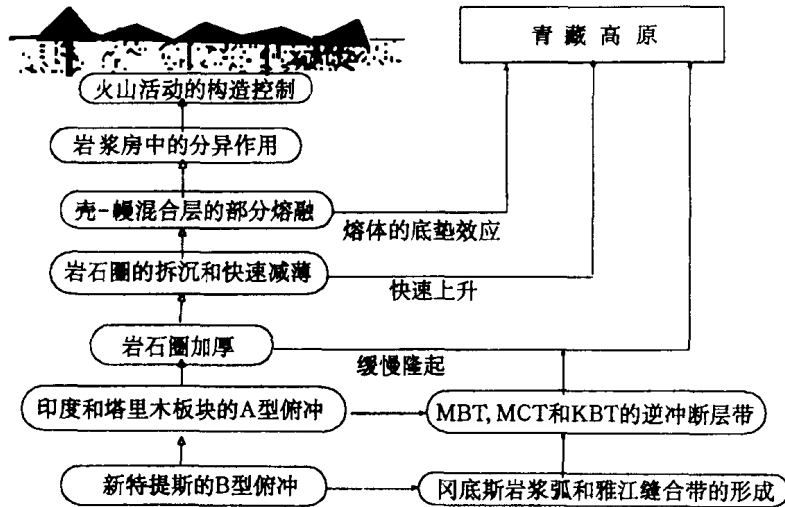


图 6 新生代以来青藏高原岩石圈演化的构造-火山活动链

(据邓万明,1995)

首先,雅鲁藏布缝合带的形成是大约 45~50Ma 以前。它标志着新特提斯洋的封闭和诸微板块向欧亚古陆增生历史的结束。第二,可能羌塘火山岩沿一条初始裂谷带得以形成。从那以后,由于来自印度和塔里木地块的双向挤压沿着 MBT 和 KBT(昆仑边界逆冲断层)的 A 型俯冲带开始活动并使得青藏高原的地壳逐渐缩短、加厚和缓慢地隆升。第三,自晚更新世至第四纪,加厚的岩石圈地幔由于拆沉作用(delamination or decollement)遭受到突发性的减薄,在软流圈物质上涌和拆沉岩石圈底部的热侵蚀作用下诱发了“壳-幔混合带”的部分熔融。在重力均衡和熔体的垫托作用下势必导致了青藏高原的快速抬升。第四,由补偿熔融形成的岩浆必然会向上运移,在岩浆室中的分异作用之后将沿着一些活动断裂很快地喷向地表。昆仑山亚带的火山岩可能是以这种方式形成的。最后的断裂带的活动非常重要,因为它决定了在何时和何地出现火山爆发。假如没有这一条件,这些熔融体将长时间地保存在厚的地壳中并缓慢地冷却结晶。目前大地电磁测深方法揭示出的分散和多层的“低速层”以及高原上强烈的地热活动被普遍解释为与这些潜在的熔融体有关。

7 结论

广泛分布于藏北高原的碰撞后钾质火山岩可划分为羌塘和昆仑两条亚带。它们的共同之处是富 K_2O 、LREE、LILE。但在岩石学、地球化学和同位素地质学及形成时代上两者有明显的差异。羌塘亚带火山岩主要表现为与一条不成熟的板内裂谷有成因联系,而昆仑亚带的火山岩可能与塔里木地块向昆仑山的板内俯冲作用有关,这两条带的火山岩浆都是来自于 EMII 型的“壳-幔混合层”的部分熔融。

本区新生代火山活动是新构造运动的表现形式之一。自新生代以来高原经历了一个复杂的演化历史:包括高原南、北两侧强烈的 A 型俯冲作用;岩石圈大幅度的缩短和加厚;岩石圈底部的构造拆沉和高原近期的快速隆升;壳-幔边界混合层的部分熔融以及沿一系列活动断裂带出现区域性的强烈的火山爆发等。

青藏高原的形成和隆起不仅是新生代以来发生于亚洲大陆内部的重大和崭新的地质事件,而且在全球构造中也占有独特的地位。对火山岩的研究可以提供关于深部地质和地球动力学的大量信息。

参 考 文 献

- [1] 邓万明,1978,藏北第四纪火山岩岩石学和岩石化学初步研究,地质学报,第 2 期,148~162。
- [2] 邓万明,1989,西藏阿里北部的新生代火山岩——兼论陆内俯冲作用,岩石学报, No. 3, 1~11。
- [3] 邓万明,1991,中昆仑造山带钾质火山岩的地质、地球化学和时代,地质科学,第 3 期,201~213。
- [4] 邓万明,1993,青藏北部新生代钾质火山岩微量元素和 Sr、Nd 同位素地球化学研究,岩石学报,第 9 卷,第 4 期,379~387。
- [5] 邓万明,1995,青藏高原新生代岩浆活动与岩石圈演化,攀登丛书“青藏高原形成演化,环境变迁与生态系统研究”,1994 年学术论文年刊,科学出版社,288~296。
- [6] 邓万明、郑锡澜、松本征夫,1996,青海可可西里地区新生代火山岩的岩石特征和时代,岩石矿物学杂志,第 15 卷,第 4 期,289~298。
- [7] 李才、范和平、徐锋,1989,青藏高原北努新生代火山岩岩石学化学特征及其构造意义,现代地质, Vol. 3, No. 1: 58~69。
- [8] 刘丛强、谢广轰、中井俊一等,1989,新疆于田县康苏拉克新生代火山岩 Sr、Nd、Ce、O 同位素及微量元素地球化学,科学通报, 23:1803~1806。
- [9] 刘嘉麒,1989,“对新疆普鲁火山岩及其时代的归属”一文的质疑,岩石学报,(2):95~97。
- [10] 吴功建、肖序常、李廷栋,1989,青藏高原亚东-格尔木地学断面,地质学报, Vol. 63.4, 285~296, 1989。
- [11] 肖序常、李廷栋、李光岑等,1988,喜马拉雅岩石圈构造演化总论,地质出版社, 1~210, 1988。
- [12] 张以蒺、郑建康,1994,青海可可西里及邻区地质概论,地震出版社, 105~137。
- [13] 潘桂堂、王培生、徐耀荣等,1990,青藏高原新生代构造演化,地质出版社。
- [14] 滕吉文、孙克忠、魏斯禹等,1984,中国青藏高原及其边缘地带的地震活动特征,见:喜马拉雅地质(Ⅰ)中法合作喜马拉雅地质考察,1981 年成果之一,地质出版社, 311~329。
- [15] Arnaud N. O., Ph. Vidal, P. Tapponnier, Ph. Matte and Deng Wanming, 1992, The high-K₂O volcanism of north-western Tibet: Geochemistry and tectonic implications. Earth. Plane. Sci. Lett., 111, 351~367.
- [16] Deng Wanming, 1991, Cenozoic volcanism and intraplate subduction in northern margin of the Tibetan plateau. Chinese. J. of Geoch. Vol. 10, No. 2, 140~152.
- [17] Deng Wanming, 1992, Petrological and geochemical characteristics of potassic volcanic rocks in north Tibetan plateau. In: Exploration of volcanoes and rocks in Japan, China and Antarctica. Commemorative papers for Prof. Yukio Matsumoto. 451~459.
- [18] Deng Wanming, 1992, Mineralogical features of rock-forming minerals in Cenozoic volcanic rocks from north Tibet, China. Scientia Geologica Sinica. Vol. 1 No3/4, 135~147.
- [19] Liu Jiaqi and Maimaiti Yiming, 1989, Distribution and ages of Ashikule volcanoes on the West Kunlun Mountains, west China. Bulletin of Glacier Research, 7, 187~190.
- [20] Le Maitre, R. W. (ed), 1989, A classification of igneous rocks and glossary of geological terms, Blackwell, Oxford, 193.
- [21] Molnar, P., B. Clark Burchfiel, Zhao Ziyun et al., 1987a, Geologic Evolution of Northern Tibet: Results of an Expedition to Ulugh Muztagh. Science, Vol. 235, 299~3059.
- [22] Molnar, P., B. Clark Burchfiel, Liang K'uangyi & Zhao Ziyun, 1987b, Geomorphic Evidence for active faulting

in the Altyn Tagh and northwestern Tibet and qualitative estimates of its contribution to the convergence of India and Eurasia, *Geology*, 15, 249~253(a).

[23] Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976, Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, *Contr. Miner. Petr.*, 58, 63~81.

[24] Simon Turner, Chris Hawkesworth, Jiaqi Liu, Nick Rogers, Simon Kelley and Peter van Calsteren, 1993, Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks. *Nature*, Vol. 364, 50~53.

中国东部上地幔富铝矿物相转变 实验研究及其意义^①

樊祺诚 刘若新 林卓然

(国家地震局地质研究所,北京 100029)

谢鸿森 张月明

(中国科学院地球化学研究所,贵阳 550002)

摘 要 中国东部新生代玄武岩中尖晶石/石榴子石二辉橄榄岩捕虏体和大别山—苏北—胶东超高压变质带中贫铝石榴子石二辉橄榄岩,为我们直接提供了发生于大陆上地幔条件下的尖晶石向石榴子石和辉石向石榴子石相转变的天然样品。采用新生代玄武岩中地幔橄榄岩的矿物、全岩样品,进行上述相转变的高温高压实验研究,提供了不同 p - T 条件下相转变的岩相学特征和矿物化学成分变化的实验结果,指出中国东部大陆上地幔 55~70km 深处存在几公里至十几公里厚的尖晶石二辉橄榄岩与石榴子石二辉橄榄岩相转变带,随着深度加大,石榴子石橄榄岩将从富铝石榴子石橄榄岩(70~120km)转变为贫铝石榴子石橄榄岩(>120~150km)。

关键词 尖晶石-石榴子石相转变 辉石-石榴子石相转变 高温高压实验 上地幔

1 实验方案

研究地幔富铝矿物相转变在地幔物质组成、矿物组合与分层结构,以及由相转变引起的岩石与构造变形方面都有重要的动力学意义。尖晶石二辉橄榄岩与石榴子石二辉橄榄岩的相转变是发生于上地幔条件下最重要的富铝矿物相转变之一。超高压条件下(>5.0GPa)则发生铝辉石向石榴子石+贫铝辉石的相转变^[1]。本文关于上地幔富铝矿物相转变实验研究分两部分,第一部分是尖晶石向石榴子石相转变的实验研究,第二部分是辉石向石榴子石相转变的实验研究。

实验用初始样品选择中国东部新生代玄武岩中不含流体包裹体的铬尖晶石二辉橄榄岩和铝尖晶石辉石岩,经破碎挑选出顽火辉石(En)、铬尖晶石(Cr-Sp)和铝尖晶石(Al-Sp)。根据设计的实验方案,不同实验物料按比例称重后粉碎并研磨至约 200 目,采取两种组装方式,目的是保证实验样品与外界隔离,阻止外界组分,特别是阻止 Al_2O_3 与实验样品接触发生交换反应。第一种组装方式(用于不加水样品):样品装在由钽片作衬里的 Al_2O_3 管内,管的两端再用钽片加封, Al_2O_3 管外套三层不锈钢片导电加热;第二种组装方式(用于加水样

① 国家自然科学基金资助课题。