

矿物学岩石学论丛

3



地质出版社

内 容 简 介

本辑共汇集了14篇学术论文。其中,岩石学方面的有9篇,矿物学方面的有5篇。

有关岩石学方面的文章涉及到火山岩、变质岩及岩浆岩等学科。作者们利用岩相实验、化学分析、X射线粉晶分析、电子探针分析、光谱分析、费氏台法及镜下观察等手段,对岩石、单矿物及包体进行了大量的测试;并通过恰当的图解分析及合理的公式计算或模拟,对现代火山岩、变质岩、岩浆岩的岩石化学特征及成岩、成矿机理进行了研究。

在矿物学方面,作者们通过对矿物晶体化学特征、晶胞参数、物理性质、特征谱线等方面的研究,探讨了一些矿物的物理化学特征及标型性,从而为找矿及矿床成因分析提供了信息。

矿物学岩石学论丛

(3)

武汉地质学院矿物学岩石学论丛编辑部 主编

责任编辑:王章俊

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $11^{1/8}$ 字数: 271,000
1987年3月北京第一版·1987年3月北京第一次印刷
印数: 1—2,000册 国内定价: 2.65元
统一书号: 13038·新370

矿物学岩石学论丛编委会

按姓氏笔划为序

主 编: 邱家骧

副 主 编: 王 濮、薛君治

编 委: 王 濮、王人镜、王方正、王文魁、王根元、池际尚
沈今川、陈光远、李兆乃、李家振、吴利仁、苏良赫
余素玉、邱家骧、张瑞锡、何镜宇、周新民、曾允孚
董申葆、游振东、潘兆桢、薛君治、穆克敏

常委编委: 王人镜、王方正、王根元、沈今川、余素玉、邱家骧
薛君治

沉痛悼念本刊原主编彭志忠教授

中国共产党优秀党员，武汉地质学院北京研究生部教授，第三、第五和第六届全国人大代表，地质矿产部特等劳动模范，著名结晶矿物学家，“矿物学岩石学论丛”主编彭志忠同志，因患癌症经多方抢救无效，于1986年3月31日8时6分在北京不幸逝世，终年53岁。

彭志忠同志1932年9月生于湖北省天门县。1952年清华大学地质系毕业并留校任教，后转到北京地质学院。1954年就开始为研究生讲课并与其他同志合编出我国第一本《结晶学教程》。1957年，在唐有祺教授指导下，在世界上首次测出了复杂的葡萄石结构，突破了国际上研究晶体结构的权威布瑞格三十年代所建立起来的硅酸盐晶体结构分类体系，被国际结晶学权威评为“不寻常”的成就。1960年，他领导建立了我国第一个矿物晶体结构实验室，带领几位20多岁的年青教师，在大家的帮助下，日夜苦干，仅用了三十五天就测定了一个晶胞含有184个原子的复杂晶体结构，比国外同时进行这项研究工作的机构提前五个月发表了研究成果，再次震动了国际结晶矿物学界。这期间，他们测定出了十多种矿物晶体结构，发现了许多新矿物，发表了二十多篇论文，同时编著出版了《X射线分析》等著作。在第一届全国科学大会上，他领导的实验室获得先进集体奖，他个人被评为先进工作者。党的十一届三中全会以后，彭志忠同志更是勤奋工作。自1978到1985年，他和他所领导的实验室又发现和与其他同志共同发现了三十种新矿物与矿物新变种，测定了四十多种矿物的晶体结构，在世界上新发现了十余项具有重要意义的晶体结构现象，在国内外发表了60多篇科研论文。在研究“五次对称轴”和“准晶体”这个世界性的重大科研课题中取得了重要成果，首次提出了“准晶体具有分数维结构”的理论，提出了“微粒分数维结构模型”，提出了准晶体的两个构筑原理，这是对物质结构认识的一个突破，具有深远的影响。

彭志忠同志的逝世，是科技界、教育界、地质界的一大损失。我们沉痛悼念彭志忠同志，要化悲痛为力量，学习他的优秀品质和崇高精神，为培养和造就大批优秀人才和发展科学事业做出新的贡献。为实现四个现代化而努力奋斗！

彭志忠同志的高尚品格和献身精神永垂不朽。

目 录

现代陆缘火山弧的实例——墨西哥Colima火山1982年熔岩的岩石学研究莫宣学 叶德隆 邵道乾 任迎新 毕先梅 (1)	
变余单斜辉石的化学成分特点——判断绿片岩原岩母岩浆系列的标志李青一 (27)	
玲珑花岗岩形成的温压条件定量估计.....桑隆康 (35)	
河北迁安孟家沟—北屯矿区迁西群变质岩两期变质作用.....刘庆祥 (43)	
河北遵化中性斜长岩成因初探.....李平凡 (55)	
福建龙海牛头山区新生代玄武岩中的巨晶.....夏 佳 (64)	
湖南千里山花岗岩岩石学、地球化学特征及成因探讨.....白志民 (74)	
广西栗木稀有金属花岗岩中长石的某些特征.....徐启东 (89)	
河北平泉某金矿床矿物成因及找矿标型性研究.....邵洁涟 吕瑞英 梅建明 (102)	
与大冶铁矿矿浆成矿有关的 $\text{FeO-KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\text{F}_2\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaMgSi}_2\text{O}_6$ 四元系液相不混溶性的实验研究.....吴瑞华 (115)	
钛榴石的红外光谱及其因子群分析.....江加济 (124)	
东秦岭大理岩带的沥青铀矿.....徐海江 (131)	
论磁铁矿的标型特征.....王顺金 (139)	
海南岛石碌铁矿亚铁普通角闪石的研究及其意义.....王寒竹 (155)	

CONTENTS

Colima 1982 Lava, Mexico. An Example of Recent Volcanism of Continental Margins.....	<i>Mo Xuanxue et al.</i> (25)
The Chemistry of Relict Clinopyroxenes—An Indicator of Parental Magma Series for Protolithoof Greenschists.....	<i>Li Qingyi</i> (34)
The Quantitative Estimation of Temperature-Pressure Condition of the Formation of Linglong Granite.....	<i>Sang Longkang</i> (42)
The Polymetamorphism of Qianxi Group in Menjiagou-Beitun Mining Area, Qianan, Hebei Province.....	<i>Liu Qingxiang</i> (54)
Preliminary Study on the Origin of the Intermediate Anorthosite from Zunhua Area in Hebei Province.....	<i>Li Pingfan</i> (63)
Megacrysts in Cenozoic Basalt in Niutoushan District, Longhai, Fujian Province.....	<i>Xia Jia</i> (72)
Petrological, Geochemical Characteristics and the Origin of Qianlishan Granites, Hunan.....	<i>Bai Zhimin</i> (88)
The Some Features of Feldspars in the REE-Bearing Granite from Limu, Guangxi.....	<i>Xu Qidong</i> (100)
The Study of the Genetic and Prospecting Typomorphism of Minerals from a Gold Deposit in Pingquan, Hebei.....	<i>Shao Jielian et al.</i> (114)
The Experimental Study of Liquid Immiscibility in the Quaternary System $\text{FeO-KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\text{F}_2\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaMgSi}_2\text{O}_6$ Related to Ore Magma Origin of the Daye Iron Deposit.....	<i>Wu Ruihua</i> (122)
Infrared Spectra of Titanian Garnets and Factor-group Analysis	<i>Jiang Jiaji</i> (130)
Uraninite in the Marble Zones in the East Qinling Mountains	<i>Xu Haijiang</i> (138)
Typomorphic Peculiarities of Magnetite	<i>Wang Shunjin</i> (154)
A Research on the Ferro-hornblende in the Shilu Iron Deposit of Hainan Island and Its Significance.....	<i>Wang Hanzhu</i> (171)

现代陆缘火山弧的实例——墨西哥Colima 火山1982年熔岩的岩石学研究

莫宣学 叶德隆 邵道乾 任迎新 毕先梅

(武汉地质学院)

墨西哥Colima火山是中、北美历史最悠久的活火山,据历史记载,已有400余年活动期,包括4个喷发旋迴,是研究现代陆缘-岛弧型火山活动一个典型地区。自1871年以来,许多地质学家先后对它进行过研究,其中最出色的应推Luhr和Carmichael 1980, 1981, 1982)的工作。他们对该火山1976年以前的活动进行了系统详尽的研究和总结。

1982年1月,Colima火山又开始了一次新的熔岩喷发,持续半年之久,形成了一个向东南流动的新的安山岩熔岩流(照片1)。喷发方式是岩穹式的岩浆脉动溢出,伴以巨大的烟柱。岩浆缓慢地沿着原来的火山通道上升,到达地表后向火口的东南方向溢出,一部分半凝固的岩浆破碎,大量火红的熔岩碎块沿山坡滚落,在黑夜中宛如阵阵焰火,颇为壮观。

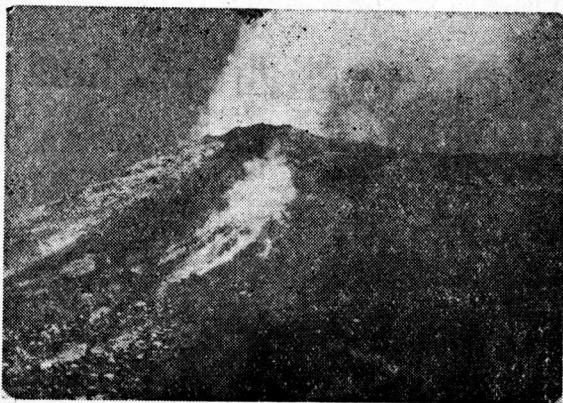
1982年3月8日10时,作者之一随同卡迈克尔(Carmichael)教授到实地考察并采集样品,随后在美国劳伦斯伯克利实验室,在 $p = 101325\text{Pa}$ 条件下,对此样品进行了熔融平衡实验。其余全部室内研究和测试工作,均是作者们在国内完成的。

本文将总结Colima火山1982年喷发熔岩的岩石学特征,探讨其成因、形成条件以及整个火山的演化趋势。

一、火山地质概况和喷发历史

Colima火山位于中美洲墨西哥火山带的西端,北与Colima地堑最南端相接(图1)。墨西哥火山带大体呈东西向展布,横贯墨西哥全境,主要由第四纪以来的安山质复合火山,间以小的火山碎屑锥和熔岩锥,加上少量流纹质火山杂岩组成。它的形成被认为与可西里板块沿中美洲海沟向北美板块俯冲有关。海沟走向为 110° ,与火山带的主轴线成 15° 夹角。据Molnar和Sykes (1969)研究,东端的俯冲速度比西段快,俯冲带在墨西哥以下可达250公里深。Colima地堑呈南北向延伸,长达90公里,其南端与Colima火山相接,其北端与另一东西向地堑和北西向断裂带相接,构成大陆裂谷发展早期所特有的三叉断裂构造型式,其中发育着碱性系列的火山岩和过渡型玄武岩。

Colima火山是一个复合的安山质火山(图2)。原始破火山口直径约4.5公里,在破火山口中,可见若干较晚的熔岩锥。现在的火山口海拔4000米,高于破火山口底1—1.3公里,比地堑底高2.4—2.7公里。Colima火山以北,还有另两个安山质复合火山。三个火山沿南北向排成一线,长约20公里,火山的时代愈向南愈新,表明火山活动中心随时间有逐渐



照片 1 Colima火山1982年3月5

日喷发实况

图中暗色部分为熔岩流

Photo 1 Eruption of Volcan Colima
on the 5th of March, 1982. The
dark area is the lava flow

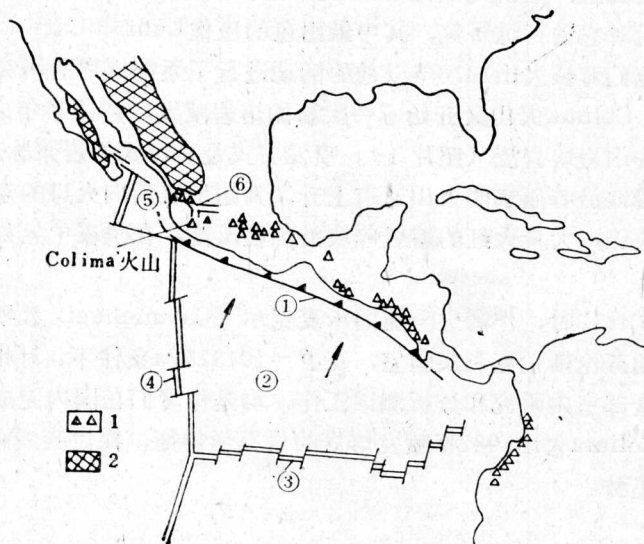


图 1 Colima火山大地构造位置

(据 Luhr 和 Carmichael, 1980)

1—墨西哥复合火山及碎屑锥；2—第三纪流纹凝灰岩；①—中美洲海沟；②—可可西里板块；③—格拉帕哥斯中脊；④—东太平洋隆起；⑤—雷维拉板块；⑥—Colima地堑

Fig. 1 Generalized tectonic map of Mexico and Central America, especially indicating Volcan Colima (After Luhr & Carmichael, 1980).

1—composite volcanoes and cinder cones in Mexico; 2—Tertiary rhyolite tuffs; ①—Middle America Trench; ②—Cocos Plate; ③—Galapagos Ridge; ④—East Pacific Rise; ⑤—Rivera Plate; ⑥—Colima Graben

向海沟迁移的趋势 (Luhr和Carmichael, 1980)。类似的趋势在墨西哥火山带东端及智利、日本也可见到，但在阿留申弧，火山活动中心迁移的趋势是背向海沟的。

根据Luhr和Carmichael (1980) 的研究，从有历史记载的最早时间 (1576年) 起，Colima火山已经经历了三个喷发旋回，现在正在进行着第四旋回的活动。每个旋回均以熔岩的缓慢溢出开始，由强烈的大规模火山灰流的爆发达到高潮而结束，持续时间95—210年不等，成分均为角闪安山岩。三次标志旋回结束的火山灰流爆发年代分别为1611年、1818

年和1913年。现在仍然活动着的火山口基本上是在1913年的爆发式喷发之后形成的。估算破火山口的年龄应老于2500年。在破火山口中还见到两期早于1576年的橄榄石安山岩流。

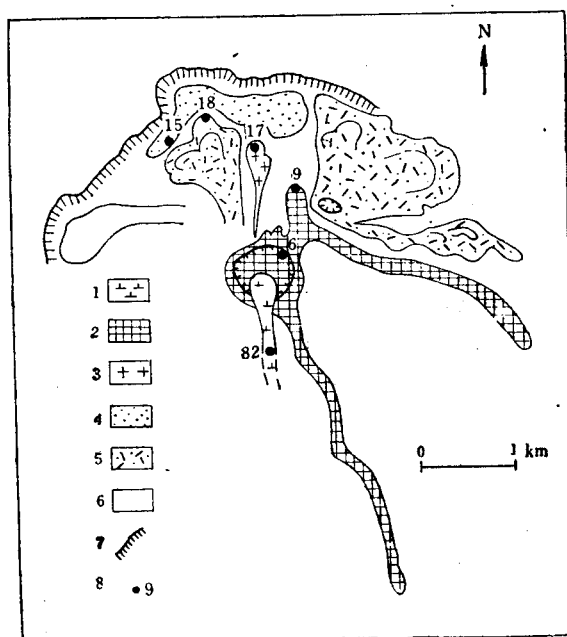


图 2 Colima火山地质简图

(据Luhr和Carmichael, 1980, 略有修改)

1—1982年块状安山熔岩 (1982.3.5.时的位置); 2—1975—1976年块状安山岩熔岩; 3—1961—1962年块状安山岩熔岩; 4—1913年安山质火山灰流; 5—1869年块状安山岩熔岩; 6—史前块状橄榄安山岩熔岩; 7—破火山口壁; 8—样品位置和编号

Fig. 2 Generalized map of the summit of Volcan Colima indicating sampled, post-caldera flows (After Luhr & Carmichael, 1980, modified.)

Luhr和Carmichael发现, 随着时间的推移, 破火山口以后的火山活动中, 成分变化的总趋势是, 愈来愈偏酸性, 逐渐富 SiO_2 、Ba、Cs而贫 TiO_2 、全FeO、MgO、Ni、Cr、Sc和 H_2O 。但在每个旋回的末期, 由于火山喷发物 (火山灰流) 的成分向基性方向反转, 上述向酸性演化的总趋势不时中断。他们认为, Colima火山成分的演化, 是由于分离结晶作用和岩浆混合作用的综合结果。

第四旋回, 是于1962年以角闪安山岩熔岩喷发为标志开始的。13年之后 (从1975年12月—1976年6月), 又有第二期角闪安山岩熔岩喷发, 比第一期熔岩偏酸性。1982年熔岩代表本旋回第三期喷发, 虽然亦为角闪安山岩, 但是 SiO_2 含量只有58.69%, 明显低于前两期熔岩 (分别为60.41%和61.02%)。本旋回三期熔岩与前一旋回熔岩相比, 角闪石含量大大降低 (从4—5%降至小于1%), 斑晶含量明显增加。

二、1982年熔岩的岩石类型及化学成分特征

鉴于Colima安山岩的暗色矿物中橄榄石与角闪石不平衡共生的特点, Luhr和Carmichael (1980) 把它划分为橄榄安山岩和角闪安山岩两类。为了便于对比, 本文仍沿用这

种命名法。

1982年熔岩为角闪安山岩，岩性均一，变化不大。岩石具斑状结构，斑晶矿物为斜长石、斜方辉石（有时含橄榄石的反应残余）、单斜辉石及少量褐色角闪石；基质具安山结构，由斜长石微晶（约占1/3）、铁钛氧化物及含大量雏晶的火山玻璃组成。根据岩石薄片51条线的定量统计，岩石含斑晶46.7%，其中斜长石为34.2%，斜方辉石（及橄榄石反应残余）为7.1%，单斜辉石为4.9%，角闪石为0.5%；含基质53.3%。

岩石的化学分析结果见表1。为了对比，表中还列出了本旋回前两期熔岩和上一旋回末期火山碎屑岩的成分。与本旋回前两期熔岩相比，1982熔岩的主要组分中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量降低，而 MgO 及全 FeO 则明显地增高，总成分接近于第三旋回末期的火山碎屑岩。这表明本旋回火山岩的成分开始出现了向基性方向反转的演化趋势（图3）。与前

表 1 Colima火山熔岩化学成分

Table 1. Whole rock wet chemical analyses and microprobe analyses (data for samples 3,4,5 from Luhr & Carmichael, 1980)

	1	2	3	4	5
SiO_2	58.69	58.43	60.41	61.02	57.57
TiO_2	0.68	0.69	0.72	0.64	0.79
Al_2O_3	17.06	17.81	17.17	17.72	17.42
Fe_2O_3	2.27	—	1.89	1.77	2.64
FeO	4.27	5.86	3.92	3.46	3.74
MnO	0.11	0.11	0.12	0.10	0.12
MgO	4.45	4.43	3.22	2.76	4.14
CaO	6.49	6.55	5.89	5.92	7.02
Na_2O	4.34	4.53	4.67	4.70	4.40
K_2O	1.18	1.13	1.40	1.40	1.16
P_2O_5	0.24	0.11	0.22	0.21	0.19
H_2O^+	0.02	—	0.13	0.06	0.49
H_2O^-	—	—	0.07	0.10	0.11
总和	99.80	99.62	99.83	99.86	99.79
CIPW标准分子					
Q	8.05	7.21	9.49	10.48	6.69
Or	7.24	6.68	8.26	8.25	6.86
Ab	38.56	40.15	41.87	42.10	39.58
An	23.66	25.06	21.72	23.07	24.40
Di	6.28	5.36	4.82	3.89	7.40
Hy	12.90	12.31	10.40	9.04	10.80
Mt	3.24	3.24	1.97	1.85	2.76
Il	1.37	1.37	1.00	0.89	1.10
AP	1.01	1.01	0.46	0.44	0.40

1. Colima火山1982年熔岩全岩化学分析结果（分析人杨凤华）；
2. Colima火山1982年熔岩熔融实验1300℃ 淬火玻璃电子探针分析结果（分析人莫宣学）；
3. Colima火山第四旋回第一期喷发熔岩化学成分（Col17）；
4. Colima火山第四旋回第二期喷发熔岩化学成分（Col9）；
5. Colima火山第三旋回末期火山碎屑岩化学成分（Col15）；
（3,4,5引自Luhr and Carmichael, 1985）

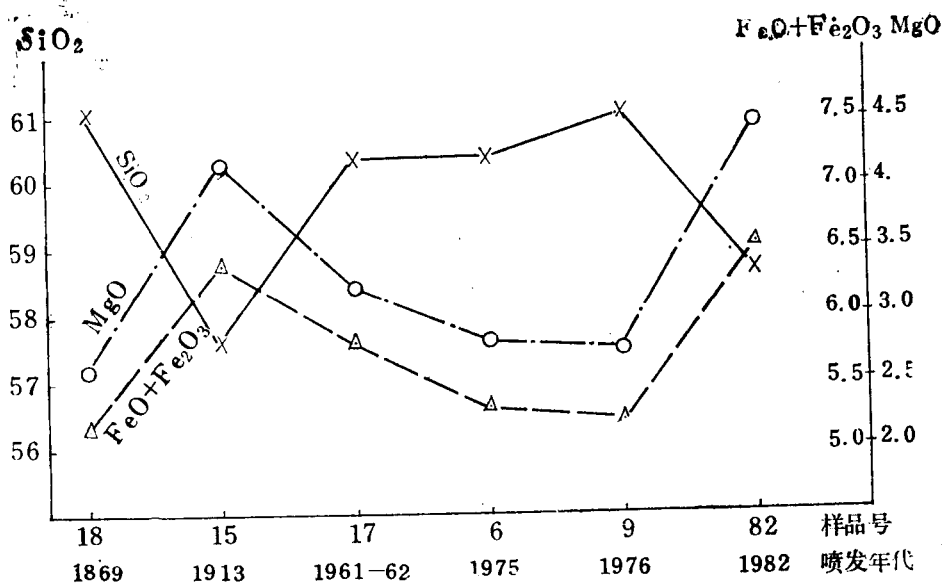


图 3 Colima火山第三、四旋回火山岩化学成分变异图

Fig. 3 Chemical variation diagram of the volcanic rocks in the third and the forth cycles of the Colima volcanism

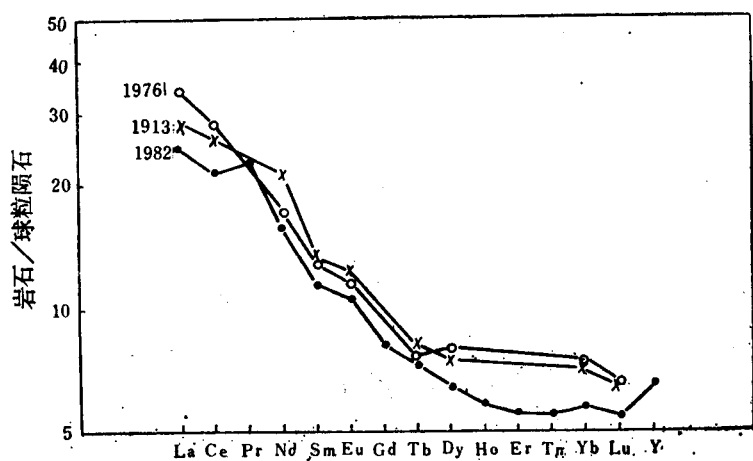


图 4 Colima火山熔岩稀土元素配分曲线

Fig. 4 REE distribution pattern

表 2 Colima火山熔岩微量元素和稀土元素分析结果 (ppm)

Table 2. Trace element and REE analyses of whole rock samples (data for samples 4, 5 from Luhr & Carmichael, 1980)

	1	4	5
Ti	2798	0.31(%)	0.40(%)
V	93.4	150	179
Cr	69.8	25	75
Mn	535	811	913
Ni	27.6	10	51
Cu	41.5	—	—
En	42.3	70	66
Rb	26.6	—	—
Sr	718	—	—
Ba	399	510	413
Er	135	—	—
Th	1.3	2.01	1.52
La	9.34	12.4	10.4
Ce	20.7	27.1	24.9
Pr	3.12	—	—
Nd	11.2	12	15
Sm	2.61	2.93	2.97
Eu	0.91	0.98	1.01
Gd	2.56	—	—
Tb	0.41	0.43	0.45
Dy	2.51	3.1	2.9
Ho	0.50	—	—
Er	1.40	—	—
Tm	0.22	—	—
Yb	1.42	1.83	1.77
Lu	0.21	0.25	0.25
Y	12.7	—	—

样品编号同表1;

1. Colima火山1982年熔岩 (分析者: 湖北地质实验室);

4. Colima火山第四旋回第二期喷发熔岩 (Col9);

5. Colima火山第三旋回末期火山碎屑岩 (Col5);

(4,5引自Luhr and Carmichael, 1980)

几个旋回不同的是, 这种反转趋势出现在末期火山灰流喷发之前。

岩石的微量元素和稀土元素的X荧光光谱分析结果见表2及图4。熔岩的稀土元素分配型式为轻稀土中度富集、重稀土平坦型, 同时具有轻度Eu正异常($Eu/E^* = 1.08$)。La/Yb比为6.58。稀土总量为69.81ppm, 为碳质球粒陨石的11.8倍。

图5为Colima火山第四旋回熔岩以及1982年熔岩相平衡实验产物的AFM图解。它表明, Colima火山具有明显的钙碱性系列岩浆的演化趋势, 即在演化过程中没有铁的富集。图中1982年熔岩的全岩成分点与其基质中玻璃成分点的连线, 代表着1982年岩浆的结晶分异路线。这条线穿过了本旋回早期喷发熔岩的成分点 (点17、6、9), 暗示着1982年熔岩与本旋回其他熔岩之间可能存在着分离结晶关系。

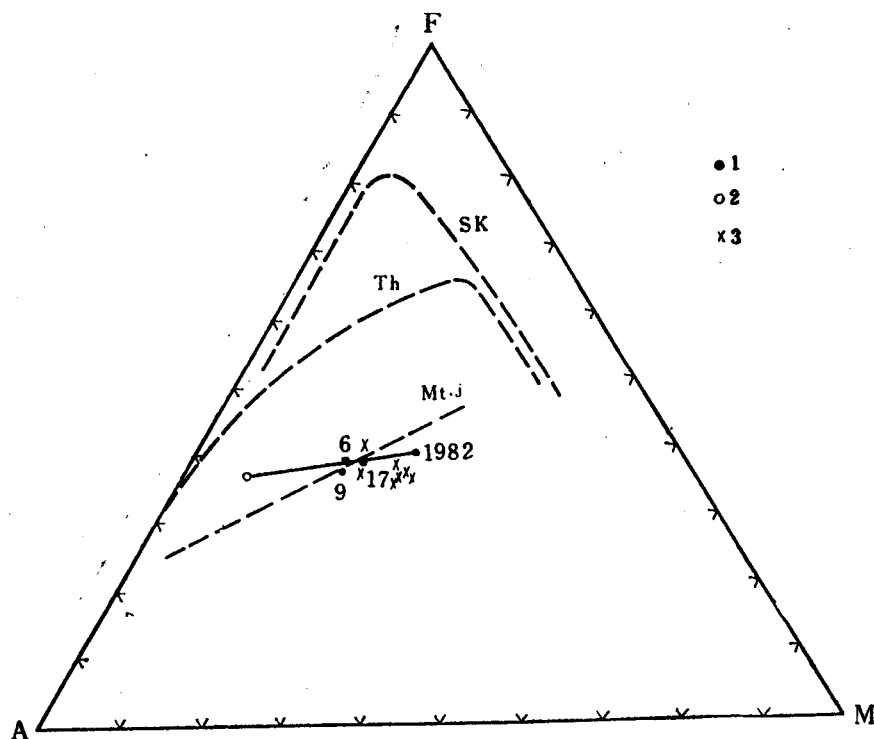


图 5 Colima火山熔岩的AFM图解 (按wt%)。Sk—Skaergaard拉斑玄武岩分异趋势; Th—Thingmuli拉斑玄武岩的分异趋势; Jefferson钙碱性火山岩演化趋势
1—全岩成分, 样品号17、6、9、1982分别代表1961—1962年、1975年、1976年及1982年喷发的熔岩; 2—1982年熔岩基质中的玻璃成分; 3—1982年熔岩的实验产物的成分; 实线—Colima火山的演化趋势

Fig. 5 AFM diagram showing analyzed whole rock and volcanic glass, and the trends for tholeiitic Skaergaard and Thingmuli suites and the calc-alkaline suite from Mt. Jefferson (transferred from Luhr & Carmichael, 1980)

1—Whole rock; 2—Glass in groundmass; 3—Experimental Products

三、1982年熔岩的矿物学特征

1. 斜长石

斜长石是熔岩中含量最高的矿物, 在斑晶和基质中均存在。斑晶斜长石由费氏台测得成分为An53—61, 有序度 $\delta=0.0-0.2$, 属高温无序型。据单矿物化学分析, 平均成分为An55.8, Ab43.1, Or1.1, 为拉长石。普遍发育有密集的环带, 环带数最多可达62个, 多为韵律性反环带, 即多数从核心向边缘成分变化的总趋势为由酸性向基性演化。成分变化范围为An47—An64.5。基质斜长石微晶成分, 用微晶消光角法测定, 多为An40—An50。斜长石的化学分析、电子探针分析结果见表3, 斜长石的成分演化见图6。

斜长石斑晶大小一般约为0.5—1mm, 少数可达2mm, 常呈聚斑状。部分斑晶中含有不规则状的火山玻璃包裹体, 集中在晶体的中间部位, 斑晶的边缘是一个不含包裹体的“净边”。玻璃包裹体的大小在0.02—0.05mm之间, 单个斑晶中玻璃包体的含量约占其面积的3—5%。由探针分析测得玻璃包体的成分 (表9), 其SiO₂含量比基质中和辉石中的玻

璃都低。证明斜长石比辉石结晶早。

与全岩化学成分相对应, 1982年熔岩中斜长石斑晶的成分, 比本旋回前两期熔岩中的斜长石斑晶成分偏基性, An含量高3—6%。

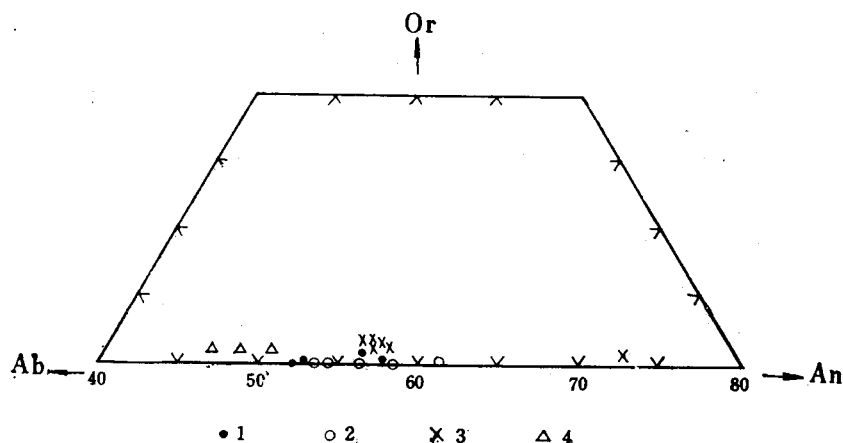


图 6 Colima火山熔岩斜长石成分图解

1—1982年熔岩天然岩石斜长石斑晶成分 (化学分析、电子探针分析); 2—1982年熔岩天然岩石斜长石斑晶成分 (费氏台测定); 3—1982年熔岩熔融实验斜长石成分 (电子探针分析); 4—样品17、6、9斜长石斑晶边部成分 (引自Luhr和Carmichael, 1980)

Fig. 6 Compositional diagram of plagioclase

Dots represent plagioclase phenocrysts of 1982 lava; circles, plagioclase phenocrysts of 1982 lava determined by universal stage; crosses, plagioclase in the experiments; triangles, the rims of plagioclase phenocrysts in samples Col 17, 6, 9 (from Luhr & Carmichael, 1980)

2. 斜方辉石

斜方辉石是熔岩中含量最高的暗色矿物, 主要呈斑晶存在, 颗粒大小为0.3—0.5mm, 具弱多色性, Ng为淡灰绿色, Np为淡黄色。据单矿物化学分析, 其平均成分为En78.5, Fs19.4, Wo2.1, 含钙量低。用费氏台测得其光性方位为Ng // c, Nm // a, Np // b, Ap // (100), $(-2v) = 62^{\circ} - 68^{\circ}$, 种属为古铜辉石。

斜方辉石斑晶常具环带结构, 有两种类型: (1) 反环带, 边部含MgO量比核部高2—2.5%, 含全FeO量比核部低5%左右 (根据能谱分析)。核部颜色较深, 多色性比边部明显; (2) 韵律性环带, 富Mg环带和富Fe环带交替出现 (见表4)。较小的斑晶不具环带。熔岩中所出现的斜方辉石的成分变化范围为En69.3—78.5, Fs19.4—27.9, Wo0.2—3.0。

在少数斜方辉石斑晶内, 可以见到若干孤岛状的橄榄石小颗粒, 为反应残余。橄榄石成分比较均一, 平均成分为Fo78.3, 属贵橄榄石。

斜方辉石与橄榄石之间Mg、Fe的分配系数 $K_{\text{DMg/Fe}}^{\text{Opx/Ol}} = 0.28$, 接近根据梅达里斯(1969)公式计算所得之值 (0.30), 说明这两种矿物基本上达到了平衡。

此外, 斜方辉石斑晶中, 还常有一些不规则的火山玻璃包裹体, 由探针分析测得其成分表明, 其基性程度介于基质玻璃与斜长石中玻璃包体之间。这三种玻璃反映了岩浆结晶作用的不同阶段 (表9)。

斜方辉石的化学分析、电子探针分析结果见表4和图7。橄榄石的电子探针分析结果见

表 3 斜长石的化学分析及电子探针分析结果

Table 3. Wet chemical analyses and microprobe analyses of plagioclase

	化学分析	电 子 探 针 分 析						
		1	2①	2②	2③	3 ①	3 ②	3 ③
SiO ₂	54.60	55.60	52.99	54.63	56.41	56.16	55.74	58.01
TiO ₂	0.05	0.07	0.02	0.04	0	0.02	0.03	0.04
Al ₂ O ₃	28.90	27.81	29.82	28.78	27.44	28.11	27.92	26.79
Fe ₂ O ₃ } FeO }	0.62	0.68	0.57	0.65	0.63	0.75	0.78	0.74
MnO	0	0	0	0	—	—	—	—
MgO	0	0.07	0.14	0.14	0.15	0.21	0.17	0.14
CaO	10.96	10.88	12.54	11.27	10.17	10.68	10.89	9.30
Na ₂ O	4.74	5.44	3.78	4.66	5.36	4.97	4.80	5.80
K ₂ O	0.17	—	0.02	0.08	0.08	0.09	0	0
P ₂ O ₅	0.06	0	—	—	—	—	—	—
BaO	—	—	0.02	0.10	0.03	0	0	0.02
总 和	100.10	100.54	99.90	100.34	100.27	100.99	100.31	100.84

以O=8为基础的阳离子数

Si	2.46	2.50	2.407	2.461	2.528	2.503	2.501	2.573
Ti	0.002	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0.001
Al	1.53	1.47	1.587	1.528	1.458	1.482	1.482	1.414
Fe	0.02	0.02	0.021	0.024	0.023	0.028	0.029	0.028
Mn	0	0	—	—	—	—	—	—
Mg	0	0.005	0.009	0.009	0.010	0.014	0.011	0.009
Ca	0.53	0.52	0.606	0.542	0.489	0.510	0.524	0.444
Na	0.41	0.48	0.333	0.406	0.465	0.429	0.418	0.498
K	0.01	—	0.001	0.004	0.005	0.005	0	0
P	0.005	0	—	—	—	—	—	—
An	55.8	52.0	64.5	56.9	51.0	54.0	55.6	47.1
Ab	43.1	48.0	35.5	42.6	48.5	45.5	44.4	52.9
Or	1.1			0.5	0.5	0.5		

①环带边部, ②环带中间部分, ③环带核部; (化学分析: 杨凤华, 电子探针分析: 邵道乾)

表 5。

就平均成分而言, 1982年熔岩中之斜方辉石, 不仅是本旋回而且是整个火山历史中最富MgO的斜方辉石。由图6可见, 本旋回前两期熔岩中的斜方辉石成分点是比较靠近的, 与1982年熔岩中斜方辉石的成分点相距较远。

3. 单斜辉石

单斜辉石的含量仅次于斜方辉石, 亦主要呈斑晶出现, 颗粒大小多为0.3—0.5mm, 个别大达1mm, 在薄片呈淡灰绿色。据单矿物化学分析得其平均成分为Wo40.7, En48.7, Fs10.6。成分变化范围Wo40—42.5, En43.5—49。用费氏台测得其光性方位为Nm // b, Ap // (010); (010)面上Ng∧C=42°—43°, (+)2V=60°, 种属为普通辉石。

单斜辉石的化学分析, 电子探针分析结果见表6和图7。

单斜辉石的环带结构不如斜方辉石发育, 从核部到边部的成分变化亦较小, Wo相差

表 4 斜方辉石化学分析及电子探针分析结果

Table 4. Wet chemical analyses and microprobe analyses of orthopyroxene

	化学分析	电 子 探 针 分 析											
		1	2 ①	2 ②	3 ①	3 ②	4 ①	4 ②	4 ②	4 ③	Col9r	Col6r	Col17r
SiO ₂	54.44	54.17	52.16	53.15	52.58	53.10	52.99	53.13	53.13	53.02	53.17	52.70	53.10
TiO ₂	0.22	0	0.19	0.20	0.28	0.28	0.12	0.11	0.20	0.10	0.26	0.30	0.29
Al ₂ O ₃	2.25	0	1.16	0.77	1.31	0.94	0.91	1.90	1.01	2.48	1.27	1.26	1.15
Fe ₂ O ₃	1.87												
FeO	10.76	12.26	17.98	18.41	17.45	17.55	17.09	13.92	17.38	14.58	17.90	17.74	17.36
MnO	0.31	0.56	0.80	0.83	0.77	0.65	0.56	0.46	0.59	0.33	0.52	0.60	0.47
MgO	28.61	26.71	25.41	25.69	25.48	25.60	25.71	28.28	25.51	28.08	25.30	26.02	26.21
CaO	1.23	0.13	1.55	1.45	1.48	1.51	1.50	1.27	1.38	1.28	1.25	1.35	1.33
Na ₂ O	0.27	0.41	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01	0.02	0	0	0	0.01
K ₂ O	0.09	0	—	—	—	—	—	—	—	—			
Cr ₂ O ₃	—	—	0	0	0	0.02	0	0	0.04	0.08			
NiO	—	0.01	0.18	0.24	0.16	0	0.39	0.02	0	0.44			
总 和	100.05	98.25	99.46	100.77	99.55	99.68	99.32	99.10	99.26	100.37	99.67	99.97	99.92
以O=6为基础的阳离子数													
Si	1.94	1.997	1.931	1.943	1.937	1.951	1.954	1.928	1.958	1.908			
Ti	0.006	—	0.005	0.005	0.008	0.008	0.003	0.003	0.005	0.003			
Al	0.09	—	0.051	0.034	0.057	0.041	0.042	0.081	0.046	0.105			
Fe	0.37	0.501	0.557	0.563	0.538	0.539	0.501	0.422	0.51	0.439			
Mn	0.01	0.018	0.025	0.026	0.024	0.020	0.017	0.014	0.017	0.010			
Mg	1.50	1.467	1.402	1.40	1.399	1.401	1.436	1.529	1.423	1.506			
Ca	0.04	0.005	0.062	0.057	0.058	0.059	5.557	0.049	0.052	0.049			
Na	0.01	0.03	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	—	0.002	—			
Cr	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	0.002			
Ni	—	—	0.005	0.007	0.005	—	0.011	0.001	—	0.013			
En	78.5	74.4	69.4	69.3	70	70	72	76.5	71.7	75.5	69.8	70.4	71
Fs	19.4	25.4	27.6	27.9	27	27	25.1	21.1	25.7	22.0	27.7	26.9	26.4
Wo	2.1	0.2	3.0	2.8	3	3	2.9	2.4	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6

注：1. Col 9r, 6r, Colima火山第四旋回第二期喷发熔岩中斜方辉石环带边部成分；Col17r, Colima火山第四旋回第一期喷发熔岩中斜方辉石环带边部成分（引自Luhr和Carmichael, 1980）。

2. ①为环带边部；②为环带中间部分；③为环带核部；

（化学分析：杨风华，电子探针分析：邵道乾）

约2%，En相差约1%，边部比核部略富Mg、贫Ca（见表6）。

单斜辉石常同斜方辉石在一起成群出现，形成聚斑晶。证明岩浆房内发生过结晶作用和结晶堆积。

两种共存的辉石之间Mg—Fe²⁺分配系数 $K_{\text{Mg}^{2+}/\text{Fe}^{2+}}^{\text{Opx}/\text{Fs}} = 0.72$ ，接近于Lindsley等(1974)^[1]在800°—810℃， $p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{H}} = 500\text{MPa}$ 下合成的斜方辉石—普通辉石对中的铁镁分配系数 $K_D = (X_{\text{Opx}}^{\text{Opx}} \cdot X_{\text{Fs}}^{\text{Fs}}) / (X_{\text{Fs}}^{\text{Opx}} \cdot X_{\text{Mg}}^{\text{Fs}}) \approx 0.690$ 。而且，单斜辉石中比共存的斜方辉石具有较高的Fe³⁺、Ti、Al^{IV}及Al^{VI}和较高的Mg/(Mg+Fe²⁺)，符合两种平衡共生辉石的一般规律。以上说明，熔岩中两种辉石是平衡共存的。

4. 普通角闪石

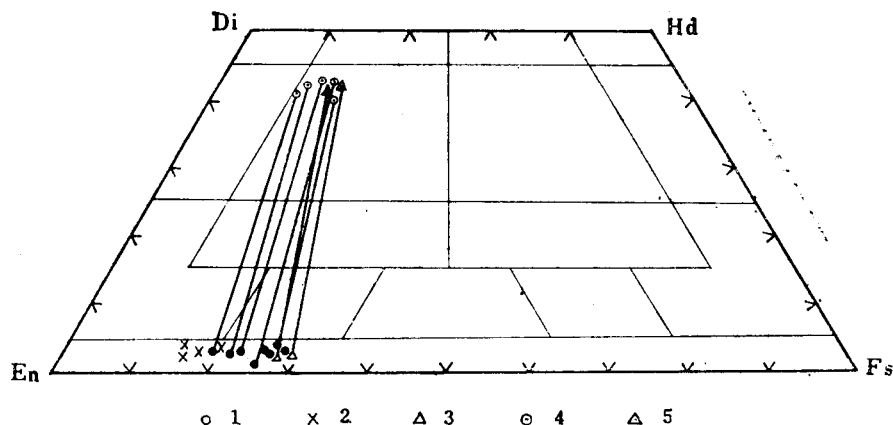


图 7 Colima火山熔岩辉石成分图解

1—1982年熔岩天然岩石斜方辉石斑晶成分；2—1982年熔岩熔融实验斜方辉石成分；3—17r、6r、9r斜方辉石斑晶边部成分；4—1982年熔岩天然岩石单斜辉石斑晶成分；5—17r、6r、9r单斜辉石斑晶成分

Fig. 7 Composition diagram of pyroxene

Dots represent Opx phenocrysts of 1982 lava; crosses, Opx in the present experiments; triangles, Opx rims in samples Col 17, 6, 9 (from Luhr & Carmichael, 1980); circles with dot Opx phenocrysts of 1982 lava; triangles with dots cpx phenocryst rims in samples Col 17, 6, 9

表 5 橄榄石电子探针分析结果

Table 5. Microprobe analyses of olivine

	1	2		1	2
SiO ₂	38.72	38.91	以O=4为基础的阳离子数		
TiO ₂	0	0.01	Si	0.99	0.989
TFeO	20.70	20.23	Fe	0.443	0.430
MnO	0.27	0.23	Mn	0.006	0.005
MgO	41.12	41.78	Mg	1.567	1.583
CaO	0.02	0.01	Ca	0.001	—
Cr ₂ O ₃	—	—	Ni	0.003	0.004
NiO	0.15	0.19	Fo	78	78.6
总 和	100.98	101.36	Fa	22	21.4

(分析者: 邵道乾)

普通角闪石在熔岩中含量很低, 均呈斑晶存在。褐色, 具明显的多色性, 颗粒较其他斑晶矿物大, 一般为0.5—2mm左右, 具有暗化边。暗化边由含钛磁铁矿、短柱状透辉石、斜长石等细小晶体集合而成。普通角闪石的电子探针分析结果见表7。其中 Al₂O₃ 含量为11.88—12.46%, 全FeO含量为11.02—11.86%, MgO 为14.43—14.47%, CaO 为10.79—11.01%, Na₂O为2.52—2.86%, H₂O及其它挥发分含量估计为1—2%, 成分比较均一。TiO₂的高含量(4.42—5.03%)是本期熔岩中角闪石的显著特点, 以前的火山岩中, 角闪石的TiO₂含量均小于3%, 表明本期角闪石结晶温度较高。此外, 本期角闪石较第四旋回