

火山岩熔融、结晶、 淬火实验及其岩石学意义

周珣若 白志民

(中国地质大学, 北京 100083)

主题词 实验岩石学 火山岩 熔融 结晶 淬火

提 要 本文对我国福建、江西、河南等地某些典型玄武岩和部分安山岩以及意大利威苏维火山的白榴响岩质碱玄岩进行了实验研究,其中包括熔融、结晶、淬火实验。根据实验结果,分析了熔浆成分对首晶矿物的影响,阐明了晶体形态与结晶温度、生长速度及成核密度的关系,研究了斜长石、白榴石的晶出及其矿物学、岩石学意义,论述了橄榄石、辉石的成分特征及其晶出后熔浆成分的演化趋势,讨论了单斜辉石的淬火效应与压力效应。

1 概述

福建省新生代玄武岩发育,它以拉斑系列与碱性系列共生,包体与巨晶常见,并以产有蓝色刚玉与红色锆石等宝石而闻名国内外。该地区玄武岩均呈带状分布于NE向深切地幔的断裂带上。沿海带以龙海牛头山为代表,以拉斑系列为主,并以其时代较老(19.2—11.7Ma)、来源较浅(约69km)为特征;内陆带以三明明溪为代表,以碱性系列为主,并以其时代较新(4.96—0.74Ma)、来源较深(约83km)为特征^[1]。本文分别对其进行了高温熔融及结晶实验。同时,对河南二郎坪早古生代的海相高铝玄武岩、江西广丰中生代陆相安山岩以及意大利威苏维现代火山的白榴响岩质碱玄岩也作了相同的实验研究,并对它们进行了综合对比。上述岩石的时代、喷发环境、系列和名称见表1。

表1 实验岩石的产地、时代、喷发环境、名称和系列

Table 1 Localities, ages, eruptive environment, names and sequences of experimental rocks

岩石编号	I	II	III	IV	V
产地	江西广丰	河南二郎坪	福建明溪	福建牛头山	意大利威苏维
时代	早白垩世	寒武纪	新第三纪—第四纪	新第三纪	现代
喷发环境	陆相	海相	陆相	陆相	陆相
岩石名称	安山岩	高铝玄武岩	碱性苦橄玄武岩	橄榄拉斑玄武岩	白榴响岩质碱玄岩
岩石系列	亚碱性 钙碱性系列	亚碱性 钙碱性系列	碱性 碱性玄武岩系列	亚碱性 拉斑玄武岩系列	碱性 副长石岩系列

除II由岩石化学定名外,其它根据熔融玻璃电子探针分析结果定名。

本文由高等学校博士学科点专项科研基金(9249114)资助。
本文于1995年11月收到,1996年1月改回。

2 火山岩人工玻璃的化学成分和物理性质

根据化学成分(表2)的投点,可将本区火山岩及其在高温下熔融淬火玻璃(简称火山岩人工玻璃)划分为碱性和亚碱性两个系列(图1),属于玄武岩及安山岩类(图2)^[2]。

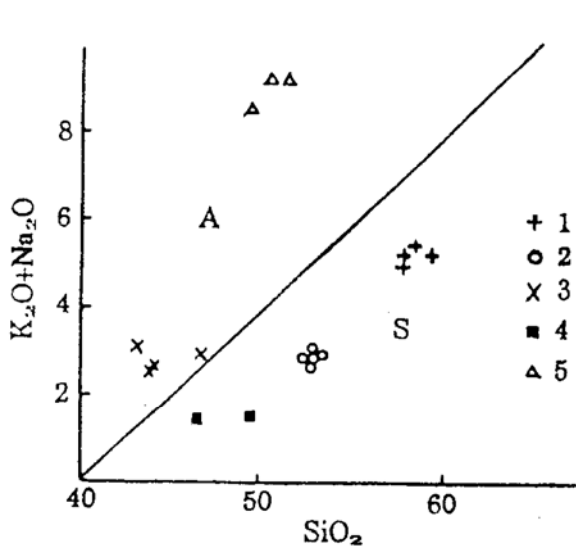


图1 SiO₂-Alk 图

(据 Irvine 等, 1971)

Fig. 1 SiO₂-Alk diagram

A—碱性系列; S—亚碱性系列

图例: 1、2、3、4、5 分别为 I、II、III、IV、V (岩石编号) 人工玻璃的投点

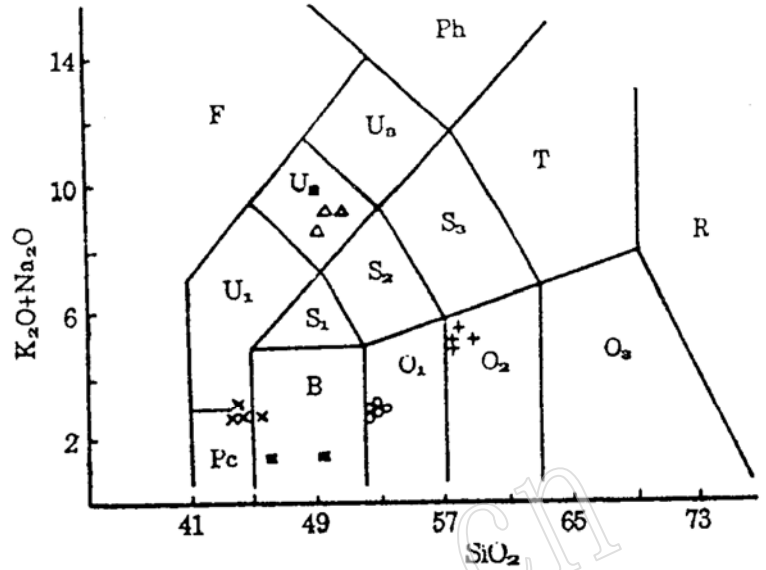


图2 TAS 图

(据 Le Bas 等, 1986; IVGS, 1989)

Fig. 2 TAS diagram

Pc—苦橄玄武岩; U₁—碧玄岩、碱玄岩;

U₂—响岩质碱玄岩; B—玄武岩;

O₁—玄武安山岩; O₂—安山岩

(图例符号同图1)

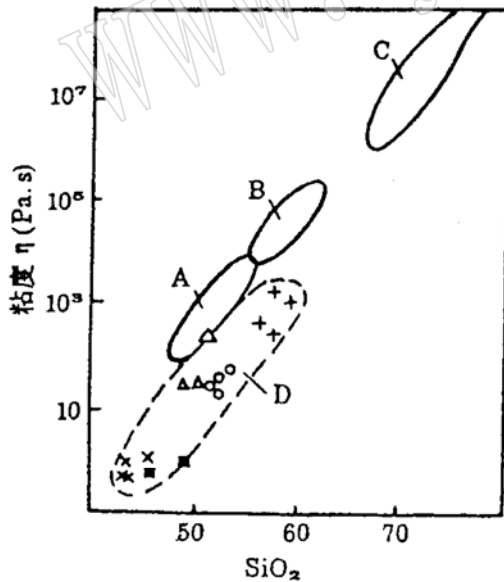


图3 粘度—SiO₂ 图

(据 Flint 等, 1974)

Fig. 3 Viscosity—SiO₂ diagram

A—玄武质熔浆; B—安山质熔浆;

C—流纹质熔浆; D—本文投点范围

(图例符号同图1)

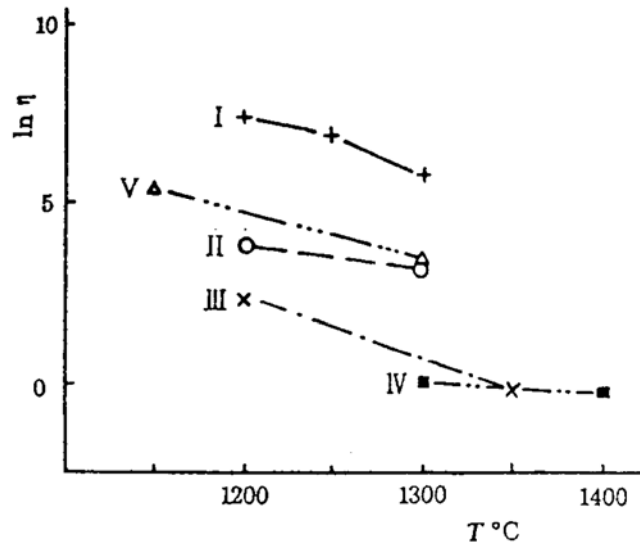


图4 粘度—温度图

(据 Le Bas 等, 1986; IVGS, 1989)

Fig. 4 Viscosity—temperature diagram

(图例符号同图1)

表 2 火山岩人工玻璃的化学成分

Table 2 Chemical composition of man-made glass of Volcanic rocks

序号	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																																																																																																																																																																																																							
	I																		II																		III																		IV																		V																																																																																																																																																																	
岩石编号	1300																		1250																		1200																		1300																		1200																		1350																		1200																		1400																		1300																		1300																		1150																																																					
温度℃	1300																		1250																		1200																		1300																		1200																		1350																		1200																		1400																		1300																		1300																		1150																																																					
SiO ₂	58.19	57.78	59.31	57.78	52.02	52.21	52.78	53.19	52.56	43.67	43.09	43.87	46.66	46.40	49.38	50.16	49.36	51.40	1.56	1.43	1.66	1.35	0.77	0.96	0.76	0.87	1.24	3.11	2.92	2.98	3.34	0.74	1.00	1.34	1.15	1.29	17.23	17.29	16.26	16.71	16.66	15.89	16.35	13.75	13.13	11.12	10.74	11.04	12.01	11.48	15.20	18.73	18.92	19.04	6.41	5.76	4.86	5.69	8.73	9.09	9.04	9.91	10.73	11.47	11.14	11.64	8.82	13.08	9.83	8.04	7.99	6.90	0.00	0.51	0.37	0.37	0.17	0.14	0.35	0.38	0.31	0.11	0.10	0.08	0.22	0.36	0.00	0.36	0.18	0.24	3.24	2.94	3.10	3.03	7.12	6.74	7.00	8.42	8.31	13.40	13.49	13.28	9.32	16.88	14.59	3.00	2.95	2.84	6.31	6.24	6.14	6.39	11.32	11.09	11.16	10.18	10.05	12.23	12.26	12.64	13.85	6.13	6.10	8.84	8.77	9.05	2.15	1.96	1.78	1.79	2.47	2.63	2.71	2.59	2.46	0.69	1.06	0.66	0.67	1.32	1.31	2.06	2.05	2.40	3.24	3.14	3.38	3.11	0.46	0.35	0.32	0.35	0.39	1.85	1.99	1.95	12.25	0.15	0.25	7.06	6.53	6.73	0.98	0.66	0.33	0.86	0.08	0.00	0.00	0.00	0.14	1.01	0.82	1.49	1.28	0.00	0.14	0.83	0.52	0.78	0.12	0.00	0.00	0.05	—	0.14	0.00	0.00	0.03	0.15	0.23	0.08	0.11	0.12	0.17	0.09	0.06	0.00	0.14	0.00	0.00	0.13	—	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.17	0.08	0.24	0.00	0.25	0.01	0.15	0.00	99.59	97.73	97.89	97.26	100.00	99.25	100.51	99.64	99.35	98.84	98.01	99.52	98.78	96.66	98.82	100.50	98.65	100.67

* 岩石由湖北省地矿局中心实验室分析;火山岩人工玻璃由中国地质大学(北京)电子探针室分析。

根据火山岩人工玻璃的化学成分,计算出不同温度下的熔体粘度、密度及玻璃密度^[3,4](表3)。各种岩石的液相线温度(表3)是应用高温显微镜并结合高温熔融结晶实验结果确定的。

表3 火山岩人工玻璃性质及岩石的液相线温度

Table 3 Physical properties of man-made glass of basalt as well as temperature of liquid phase line of rocks

岩石编号	I			II		III		IV		V	
SiO ₂ 平均值(%)	57.27(4)			52.76(4)		43.32(4)		47.89(2)		50.31(2)	
实验温度(T℃)	1300	1250	1200	1300	1200	1350	1200	1400	1300	1300	1150
熔体粘度(Pa·S)	342	1063	1553	22	43	0.80	11	0.80	0.91	31	238
熔体密度(g/cm ³)	2.48	2.48	2.50	2.63	2.66	2.76	2.70	2.75	2.69	2.55	2.56
玻璃密度(g/cm ³)	2.99	2.96	2.97	3.15	3.18	3.50	3.13	3.37	3.22	3.16	3.13
液相线温度(T℃)	1263			1275		1325		—		1240	

由表3及图3、4可知:熔体粘度与SiO₂含量为正相关;熔体与玻璃的密度多与其酸度呈反相关;玻璃密度比熔体密度高。

岩石的液相线温度除与岩石的酸度基本上为反相关外,还与原岩的结晶程度有关,例如意大利威苏维火山的白榴响岩质碱玄岩基本为玻璃质,其液相线温度也最低。

3 首晶矿物的成分、形态及晶体生长

3.1 成分及形态

不同温度下的首晶矿物有斜长石、白榴石、橄榄石、斜方辉石及单斜辉石。它们晶出的温度、成分及形态见表4。

实验结果表明,首晶矿物的种类与熔浆成分关系密切(图5):

高镁玄武岩类(1、2类)

以MgO高、Al₂O₃低为特征,首晶矿物为Ol及Cpx。当熔体的酸度变大时则Ol可变为En:

①SiO₂平均为43.32%的碱性苦橄玄武岩中,Ol与Cpx共生。

②SiO₂平均为47.89%的橄榄拉斑玄武岩中,则只见有En。这些岩石主要产于板内区,结晶温度高(1150—1400℃)。

高铝玄武岩类(3、4类)

以MgO低、Al₂O₃高为特征,首晶矿物为Pl。这些岩石主要产于火山弧区,结晶温度低(1200—1250℃)。由于火山岩中酸度变大,其斜长石An端员组分也减少,种属发生变化:

①SiO₂平均为50.31%的白榴响岩质碱玄岩,其斜长石为An=83.91%的倍长石。

②SiO₂平均为52.76%的玄武安山岩,其斜长石为An=62.3—70.05%的拉一倍长石。

③SiO₂平均为57.27%的安山岩,其斜长石为An=56.22—63.05%的拉长石。

在中性岩高温熔浆中,不是晶出中长石,而是基性斜长石此与火山岩早结晶的斑晶成分相似。

表 4 结晶矿物的种属、形态和成分
Table 4 Species, forms and composition of crystallized minerals

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	I			II			V			III			IV			
岩石编号	1250			1200			1150			1200			1150			
实验温度(℃)	1250			1200			1150			1200			1150			
矿物名称	环带状		拉长石			倍长石			石榴石			透辉石		普通辉石		
	内带	外带	长柱状	放射状	短柱状	长柱状	短柱状	短柱状	核晶	核晶	核晶	“钟部”	“砂部”	长条状微晶	核晶	核晶
矿物形态	环带状		长柱状	放射状	短柱状	长柱状	短柱状	短柱状	核晶	核晶	核晶	“钟部”	“砂部”	长条状微晶	核晶	核晶
SiO ₂	55.79	54.90	53.34	52.75	52.04	52.17	46.56	58.14	58.25	41.82	44.73	50.16	43.23	45.39	46.94	
TiO ₂	0.08	0.80	0.26	0.26	0.00	0.00	0.17	0.15	0.12	0.08	2.10	1.10	2.64	0.27	0.46	
Al ₂ O ₃	27.76	21.72	29.11	27.54	28.07	28.12	32.21	22.65	22.78	0.00	6.38	3.65	8.44	6.42	8.71	
ΣFeO	0.58	3.31	0.93	2.72	3.17	3.30	2.03	1.40	1.33	1.57	10.01	6.10	10.91	4.52	4.90	
MnO	0.18	0.22	0.05	0.00	0.09	0.07	0.04	0.09	0.00	0.24	0.14	0.18	0.10	0.09	0.00	
MgO	0.20	1.61	0.29	0.25	0.55	0.45	0.18	0.17	0.18	55.22	13.37	16.73	12.70	38.10	31.89	
CaO	11.08	9.94	12.88	12.44	14.03	13.93	17.32	0.11	0.00	0.36	23.21	21.94	20.63	3.00	4.12	
Na ₂ O	4.33	3.34	3.85	3.83	3.47	3.29	1.40	0.90	0.83	1.12	0.44	0.55	0.35	1.47	1.65	
K ₂ O	0.67	1.46	0.49	0.50	0.00	0.00	0.66	16.67	17.45	0.01	0.00	0.00	0.17	0.04	0.04	
F ₂ O ₃	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.11	1.01	0.00	0.11	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.18	0.36	0.27	
NiO	0.15	0.00	0.06	0.05	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.14	0.21	0.38	0.31	
Σ	100.93	98.84	101.20	100.45	101.61	101.61	100.59	100.27	100.94	100.70	100.57	100.55	99.92	100.05	99.23	
端员组成(%)	An56.22	56.08	63.05	62.31	68.08	70.05	83.91	—	—	Fa 1.57	Wo 46.76	43.89	44.10	5.10	7.90	
	Ab37.55	34.10	34.10	34.72	30.75	29.95	12.28	—	—	Fo 98.43	En 37.49	46.58	37.70	89.00	84.80	
	Or4.03	9.82	2.85	2.97	0.57	0	3.81	—	—	—	Fs 15.75	9.53	18.20	5.90	7.30	

* 矿物成分由中国地质大学(北京)电子探针室分析。

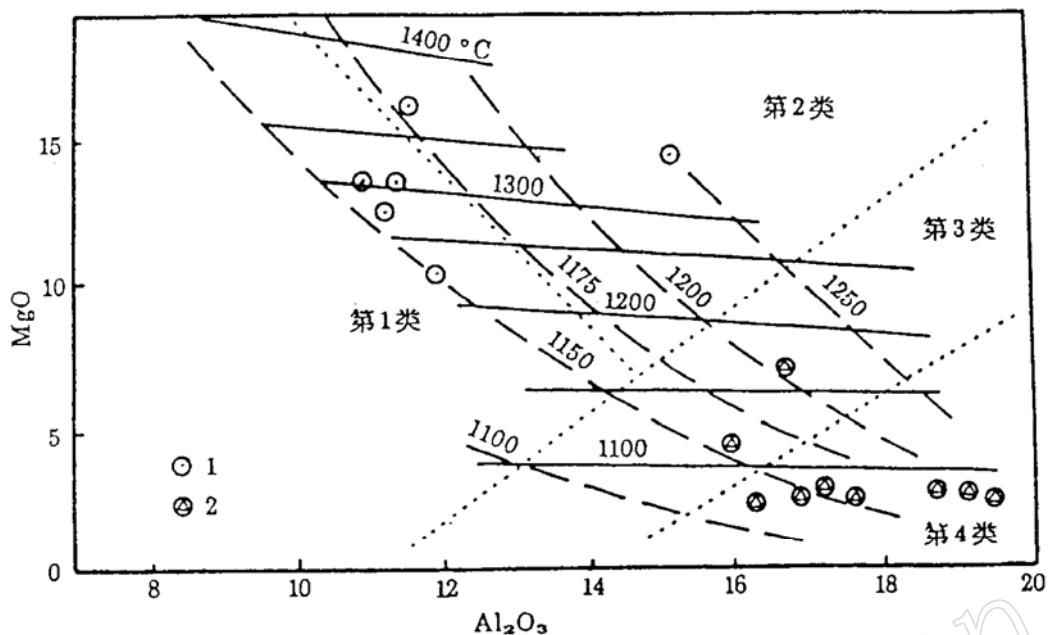


图5 MgO—Al₂O₃—T 相关图

(据 French 等, 1981^[5])

Fig. 5 MgO—Al₂O₃—T correlogram

实线为Ol结晶温度线; 断线为Pl结晶温度线; 点线为分类界线; 第1类, Ol→Cpx→Pl; 第2类, Ol→Pl→Cpx; 第3类, Pl→Ol→Cpx; 第4类, Pl→Cpx→Ol, 图例1—Ⅲ、Ⅳ的投点; 2—Ⅰ、Ⅱ、Ⅴ的投点

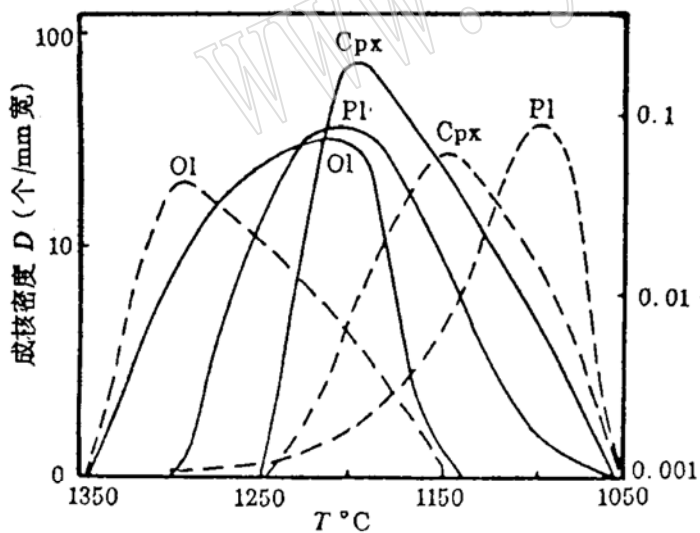


图6 成核密度—生长速度—温度关系图

Fig. 6 Nucleus formation density—growth speed—temperature diagram

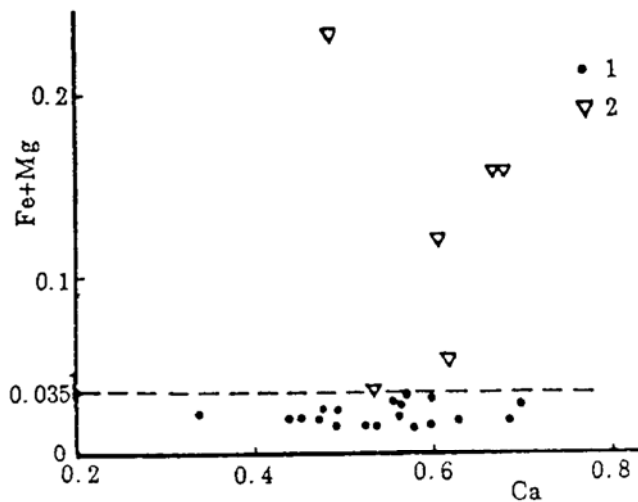


图7 (Fe+Mg)—Ca 相关图

Fig. 7 (Fe+Mg)—Ca correlogram

1—天然岩石中斜长石;
2—本次实验晶出的斜长石

3.2 晶体生长

矿物的结晶程度与熔浆的结晶温度(T)、成核密度(D)及晶体生长速度(V)有关^[6]。现将本次实验不同温度下,橄榄石、单斜辉石及斜长石的结晶程度、成核密度及生长速度列于表5中。

表5 不同温度下矿物的结晶程度,成核密度及生长速度

Table 5 Crystallization degree, nucleation density and growth speed of minerals at different temperatures

实验温度(℃)		1350	1300	1250	1200	1150	1100
橄 榄 石 Ol	结晶程度	玻璃质	球粒状雏晶	柱状骸晶 — 雏晶	柱状、节状、 麦穗状骸晶		
	成核密度(D)	0	15	10	6		
	生长速度(V)	0	0.025	0.06	0.08		
单 斜 辉 石 Cpx	结晶程度			玻璃质	六边形—方形斑 晶具砂钟构造	长柱状—三角 架状微晶	菊花状雏晶 棒状骸晶
	成核密度(D)			0	5	25	16
	生长速度(V)			0	0.3	0.06	0.01
斜 长 石 Pl	结晶程度		玻璃质	长柱状微晶	柱状骸晶	针柱状雏晶	束状雏晶
	成核密度(D)		0	5	10	33	80
	生长速度(V)		0	0.05	0.10	0.014	0.002

注: D ,个/mm宽; V ,mm宽/个。橄榄石及单斜辉石以Ⅲ号样为代表,斜长石以Ⅱ号样为代表。

由表5及图6可以看出:温度从高到低,结晶从开始到结束,大致呈微晶→骸晶→雏晶的变化趋势;成核密度的温度区间依次为:Ol(1350—1150℃)、Pl(1300—1050℃)、Cpx(1250—1050℃),其中以Ol的成核开始温度最高,Pl的成核区间最大。它们的生长速度高峰温度为:Ol,1250—1200℃;Cpx、Pl,1200—1150℃,在此温度范围内,结晶程度亦高。

4 浅色矿物的晶出特征及其意义

本次实验晶出的浅色矿物有斜长石、白榴石。由于熔浆中多数富硅($\text{SiO}_2 = 52.56\% - 57.99\%$)、贫钾($\text{K}_2\text{O} = 0.30\% - 3.38\%$),因此,斜长石在多数实验中均能晶出。但在个别富钾($\text{K}_2\text{O} = 6.53\% - 7.06\%$)、贫硅($\text{SiO}_2 = 49.76\% - 51.40\%$),则晶出了白榴石。

4.1 斜长石

斜长石的组成 斜长石是首晶、高温、低压、淬火矿物,无序性强,不混溶范围小,不相容元素易于混入。

① 铁镁组分的混入 基性斜长石中,含有较多的钙,但铁镁组分在天然产出的斜长石中含量甚少,一般均小于0.035(图7)。而在本次实验晶出的斜长石中,则含量较多,一般均大于0.035,含量最多的比天然晶出者可大10倍左右。因此,不相容元素在无序斜长石中的混入,不容忽视。

② 钾组分的混入 斜长石成分中,以Ab、An两端员为主,Or端员很少,尤其在侵入岩中更少。但在本次实验晶出的斜长石中,Or端员组分则较高(图8),它们以富钾(Or)的“三员”及富钾的基性(拉、倍)斜长石为主;而且结晶温度愈高的斜长石,混入的Or组分愈多。

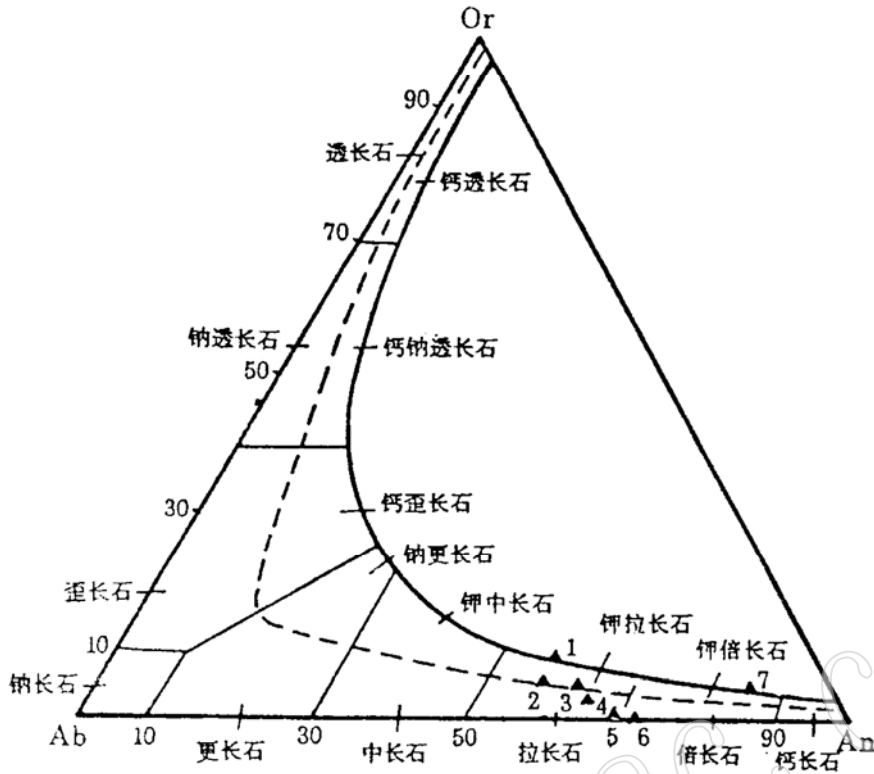


图8 长石分类图

Fig. 8 Classification of feldspars

(据 Smith, 1974; Irving, 1974 等)

1—7 投点为本次实验晶出的斜长石, 序号同表 4

③ 二郎坪早古生代海相玄武岩中, 斜长石均已细碧岩化而变为钠长石。在本次细碧岩化岩石熔融结晶实验中, 晶出的并非钠长石而仍为拉长石。从而为细碧岩化岩石的原岩及其中原斜长石的恢复, 提供了重要依据。

斜长石晶出对熔浆成分的影响 (以二郎坪高铝玄武岩为例) 说明如下:

该熔浆在 1300—1200℃ 时, 晶出斜长石, 使残余熔浆中 SiO_2 及 ΣFeO 增大, Al_2O_3 及 CaO 减少, 而 Alk 变化甚小(图 9)。由此, 可使高铝玄武岩浆酸度变大, 并演化为玄武安山岩浆及拉斑玄武安山岩(冰岛岩)浆。不难看出, 钙碱性基性岩浆因斜长石的分离结晶残浆酸度将变大, 但由于碱度变化不大, 只能演化为中性的钙碱性或拉斑系列的岩浆。从而为天然的钙碱性基性岩浆的成分演化, 提供了实验依据。

4.2 白榴石

白榴石的晶出 岩石中富钾不一定就晶出白榴石。经国内外对大量含与不含白榴石玄武岩的判别表明, 要晶出白榴石必须是低硅、高钾的熔浆(图 10)。在本次实验中, 意大利威苏维火山的白榴响岩质碱玄岩熔浆成分符合晶出白榴石的条件, 因此晶出了白榴石。对我国黑龙江省五大连池、科洛、二克山富钾火山岩中白榴石与火山岩成分关系的研究^[9,6] 表明, 在岩石中 K_2O 含量相似的情况下, 白榴石的晶出主要与 SiO_2 含量有关:

① 在白榴苦橄岩中, SiO_2 较低, 白榴石为主要稳定矿物, 在斑晶(13.6%—18.1%)及微晶(8.7%—10.2%)中均大量出现。个别钠多的岩石还可晶出霞石, 并含有 15% 的钾霞石分子。

② 在白榴碧玄岩中, SiO_2 中等, 白榴石也基本是稳定矿物, 主要形成斑晶 (2.1%), 微晶少见 (0%—0.7%)。

③ 在白榴玄武岩中, SiO_2 较高, 白榴石是不稳定矿物, 它在内部相早期可晶出, 但在晚期多与残浆中 SiO_2 反应形成交代矿物—碱性长石 ($\text{Or}_{18.16-59.35}\text{Ab}_{38.37-66.35}\text{An}_{2.28-16.48}$)。

意大利威苏维火山岩硅、钾平均 (3 个样品) 含量为: $\text{SiO}_2 = 50.31\%$, $\text{K}_2\text{O} = 6.77\%$; 我国科洛的白榴苦橄岩平均 (14 个样品) 含量为: $\text{SiO}_2 = 43.53\%$, $\text{K}_2\text{O} = 4.15\%$, 白榴碧玄岩平均 (117 个样品) 含量为: $\text{SiO}_2 = 50.97\%$, $\text{K}_2\text{O} = 5.07\%$ [9]。不难看出, 威苏维火山岩的 SiO_2 与我国白榴碧玄岩相近, 而 K_2O 比白榴苦橄岩、白榴碧玄岩高, 因此, 威苏维火山岩能够晶出稳定的白榴石, 而不会被碱性长石替代。

白榴石的组成

白榴石的组成与火山岩的成分有关。例如, 我国科洛的白榴苦橄岩 SiO_2 平均含量低 (43.53%), 而本次实验的威苏维白榴响岩质碱玄岩 SiO_2 平均含量高 (50.31%), 因此, 结晶的白榴石 SiO_2 含量, 也应较前者低、后者高。已知白榴石分子式计算的 SiO_2 理论值为 55.02%, 以之为基准线划分 (图 11), 科洛天然白榴石 ($\text{SiO}_2 =$

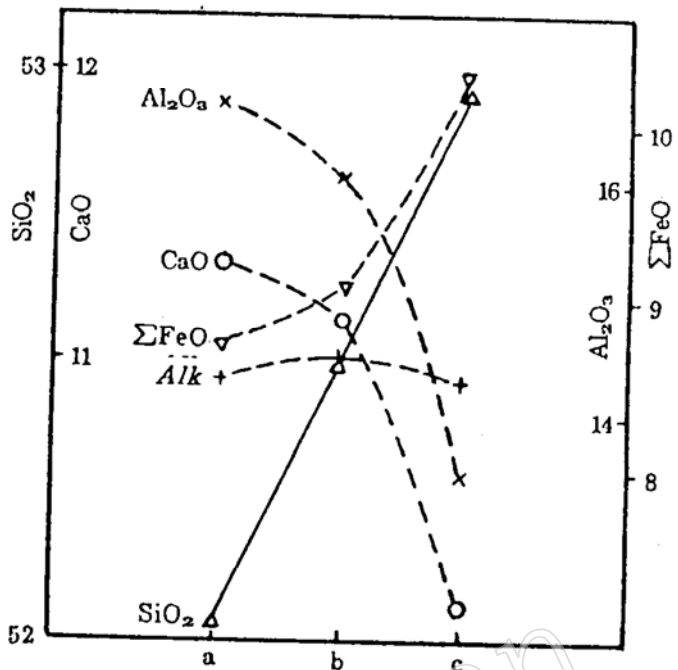


图9 高铝玄武岩熔浆成分变化趋势
Fig. 9 Compositional variation trend of high-alumina basalt melt
a—天然岩石; b—熔浆 (1300°C);
c—晶出斜长石的熔浆 (1200°C)

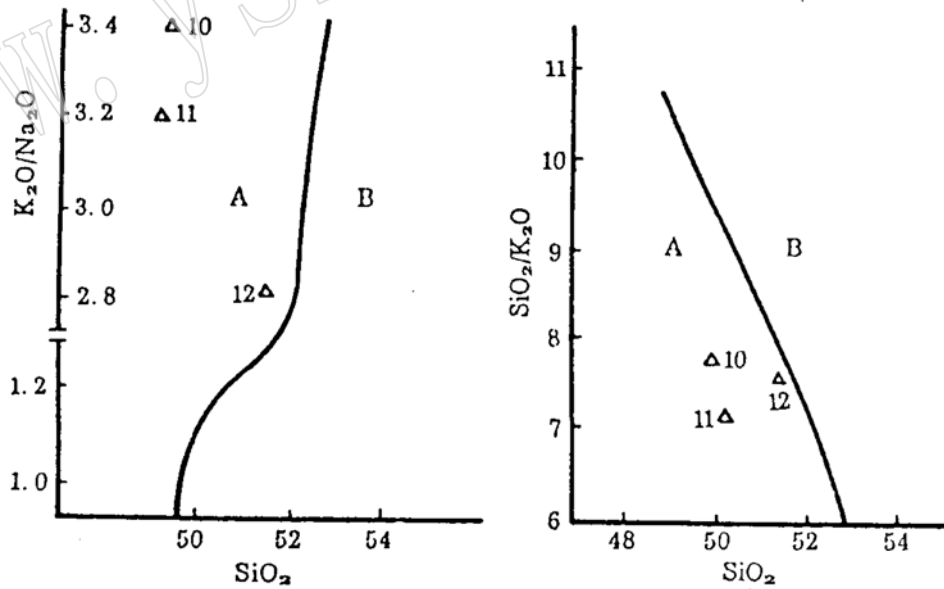


图10 SiO_2 — $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 和 SiO_2 — $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 相关图

Fig. 10 SiO_2 — $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ correlogram

A—含白榴石玄武岩, B—不含白榴石玄武岩, 10-12—投点为本次实验晶出白榴石的玄武岩, 序号同表 2

52.74%—54.87%) 低于理论值, 威苏维实验白榴石 ($\text{SiO}_2 = 58.14\%$ — 58.25%) 则大大高于理论值。此外, 威苏维实验白榴石中的 ΣFeO (1.33%—1.40%) 也高于科洛天然白榴石中

的 ΣFeO (0.66%—0.99%),而前者的 K_2O (16.67%—17.45%)则低于后者(18.9%—20.8%)。

5 暗色矿物的晶出特征及其意义

本次实验晶出的暗色矿物有橄榄石、单斜辉石、斜方辉石。本文就橄榄石、辉石的晶出条件及其组成,单斜辉石的淬火效应及压力效应,暗色矿物的晶出对熔浆成分的影响等分述如下。

5.1 橄榄石、辉石的晶出条件及其组成

① 实验晶出的暗色矿物是首晶、高温、低压、淬火矿物。因此,橄榄石以 MgO 高(高于一般玄武岩、包体及金伯利岩中的橄榄石)而 ΣFeO 低;斜方辉石以 W_0 较高、见于不混溶区(图 12);单斜辉石以富 Ti 和 Al^{IV} 、贫 Na 的低压相(图 13)为特征。

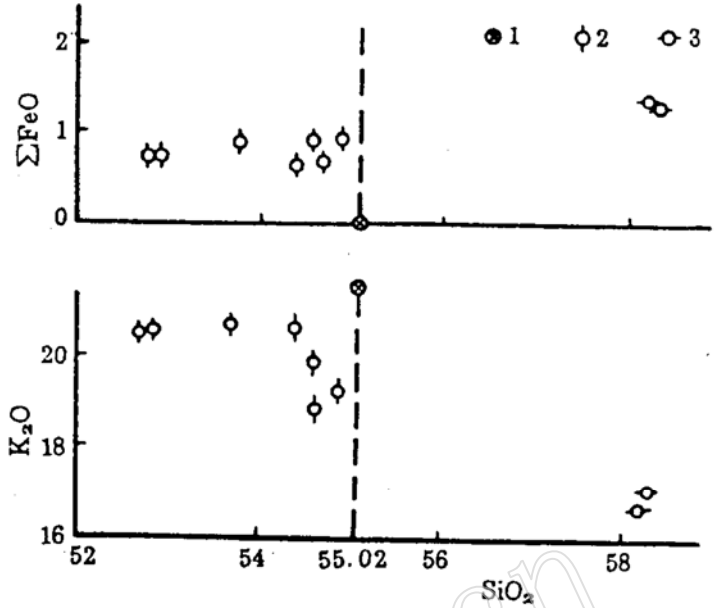


图 11 $\text{SiO}_2\text{—K}_2\text{O}$ 和 $\text{SiO}_2\text{—}\Sigma\text{FeO}$ 相关图

Fig. 11 $\text{SiO}_2\text{—K}_2\text{O}$ and $\text{SiO}_2\text{—}\Sigma\text{FeO}$ correlogram

1—白榴石理论计算值;2—科洛天然白榴石;
3—威苏维实验白榴石

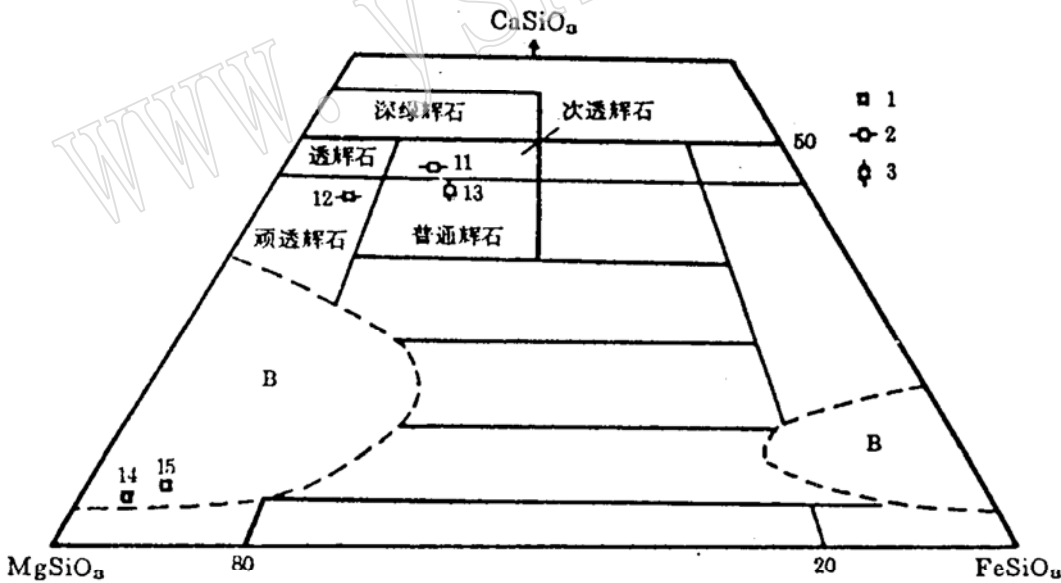


图 12 辉石分类图

Fig. 12 Classification of pyroxenes

(据 Poldervart 等, 1951; Tröger, 1971)

B—不混溶区;1—斜方辉石, 1400℃ 晶出的鲕骨状骸晶;2—单斜辉石, 1200℃ 晶出的具砂钟状结构的斑晶;
3—单斜辉石, 1150℃ 晶出的长条状微晶;11—15 序号同表 4

② 橄榄石为镁橄榄石($\text{Fo}_{98}\text{Fa}_2$) 骸晶;单斜辉石为富钙辉石(包括普通辉石、次透辉石、顽透辉石),呈微晶及砂钟状斑晶;斜方辉石为贫钙辉石(顽火辉石) 骸晶。此与该区天然玄

武岩中的实际暗色矿物组合基本一致。

③ 辉石的不同组合,反映了玄武岩的不同系列:碱性系列玄武岩(福建明溪)中仅见富钙的单斜辉石,不见贫钙的斜方辉石或单斜(易变)辉石;而在拉斑系列玄武岩(福建牛头山)中,则可见到二辉石——富钙的单斜辉石与贫钙的斜方辉石或易变辉石的共生现象。

5.2 单斜辉石的淬火效应及压力效应

单斜辉石成分随着物理化学条件的变化也将发生变化。据此,可将物理化学条件的变化分为两类:淬火(铸石)效应^[10];压力(汤普逊)效应^[11]。这两种不同的效应在图 14 中表现为 Al₂O₃ 与 TiO₂ 有不同的变化,可以箭头的位置、长度、方向予以表示:

① 淬火(铸石)效应 见于低压相铸石或火山岩中斑晶到微晶,或斑晶环带中心到边缘的成分变化。斑晶形成于岩浆房中,是在相对稳定条件下结晶的;微晶形成于火山喷出的基质中,是在常压骤冷条件下,即淬火条件下快速晶出的。从斑晶到微晶(从箭头起点到末端),Al₂O₃、TiO₂ 含量普遍增大,形成指向右上方的箭头。TiO₂ 的升高是由于低压,而 Al₂O₃ 的升高,是由于在地表淬火条件下,Cpx 比 Pl 易于先晶出,熔浆中的 Al₂O₃ 进入 Cpx 的也多,使辉石微晶比斑晶中的 Al₂O₃ 含量高。

② 压力(汤普逊)效应 见于玄武岩的中压相巨晶单斜辉石及 II 型(堆积岩)包体具环带结构的单斜辉石中。Cpx 环带的核心部分是在深位岩浆房条件下结晶的,而环带的边缘部分是在寄主玄武岩浆上升降压过程中结晶的,即二者形成于不同的压力条件下。压力低时,结晶的 Cpx 含 Al₂O₃ 较低而 TiO₂ 较高,投点箭头指向右下方。当压力高时,Cpx 含 Al₂O₃ 高的原因是熔浆首晶的是 Cpx,而不是 Pl,因此,熔浆中的 Al₂O₃ 易于进入 Cpx,导致 Cpx 中的 Al₂O₃ 含量与压力呈正相关。

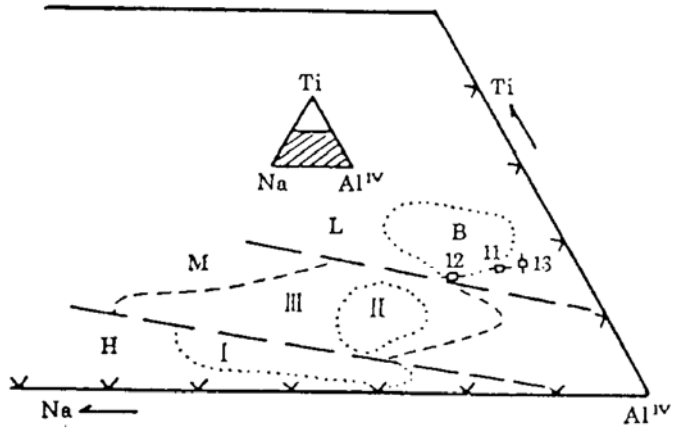


图 13 单斜辉石 Na - Ti - Al^{IV} 图
(据 Warren, 1979; 邱家骧等, 1987)

Fig. 13 Na—Ti—Al^{IV} diagram of clinopyroxenes
I—高压相 Cpx; II—中压相 Cpx; B—低压相 Cpx;
III—我国巨晶 Cpx; 11—砂钟状辉石“钟部”; 12—砂钟状辉石“砂部”; 13—1150℃ 晶出的辉石

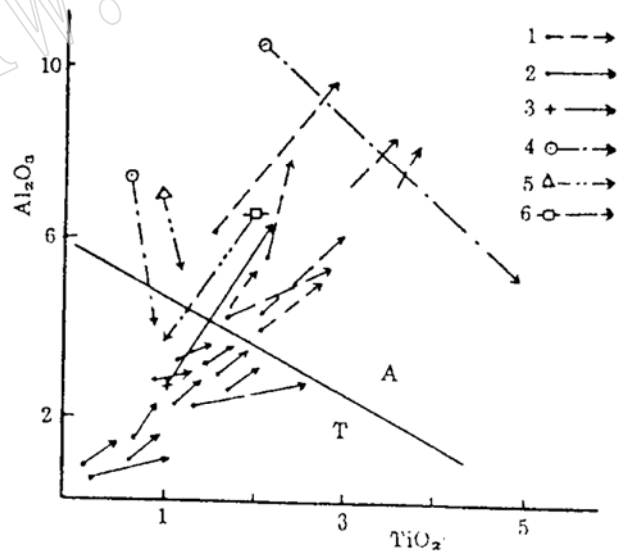


图 14 辉石 Al₂O₃—TiO₂ 相关图

Fig. 14 Al₂O₃—TiO₂ correlogram of pyroxenes
A: 碱性玄武岩系列; T: 拉斑玄武岩系列
我国: 1—碱性玄武岩系列(斑晶→微晶); 2—拉斑玄武岩系列(斑晶→微晶); 3—斑晶环带(核心→边缘); 4—巨晶(核心→边缘); 5—堆积岩中辉石(核心→边缘);
本文: 6—砂钟状辉石(“钟部”→“砂部”)

在本次实验中,由碱性苦橄玄武岩熔浆晶出的具砂钟结构的 Cpx,是在 1200℃ 恒温条件下形成的。其中,“钟部”形成略早,TiO₂ 及 Al₂O₃ 较多;而“砂部”形成较晚,TiO₂ 及 Al₂O₃

较少,它们在图14的投点箭头指向左下方,与淬火效应的方向相反,与压力效应的方向亦不同,名为“等温效应”,是否为一种新的效应,值得进一步研究、验证。

5.3 暗色矿物的晶出对熔浆成分的影响

玄武岩熔浆由于暗色矿物的晶出,使残余熔浆成分发生变化。例如,福建明溪碱性苦橄玄武岩熔浆由于Fo与Cpx的晶出,残余熔浆中的MgO、 ΣFeO 降低,而 SiO_2 、CaO、 Al_2O_3 升高,使其由碱性苦橄玄武岩熔浆(1350℃)演化为橄揽拉斑玄武岩熔浆(1200℃),如图15所示。此外,在演化过程中, Na_2O 由0.80%变化到0.67%, K_2O 由1.93%变化到2.25%。 Alk 从2.73%→2.92%,结合 SiO_2 从43.54%→46.66%及Ne从2.10→0,Ol从26.36→7.27等等来分析,明溪地区的玄武岩熔浆,酸度从小到大(从超基性变为基性),碱度(δ)从13.8→2.32(从中等地中海型的碱性岩变为中等太平洋型亚碱性岩)。

此实验结果,不仅为该区碱性与拉斑系列玄武岩的共生提供了成因依据,也为碱性岩系列超基性岩浆可通过分离结晶作用演变为基性拉斑系列岩石提供了实验例证。

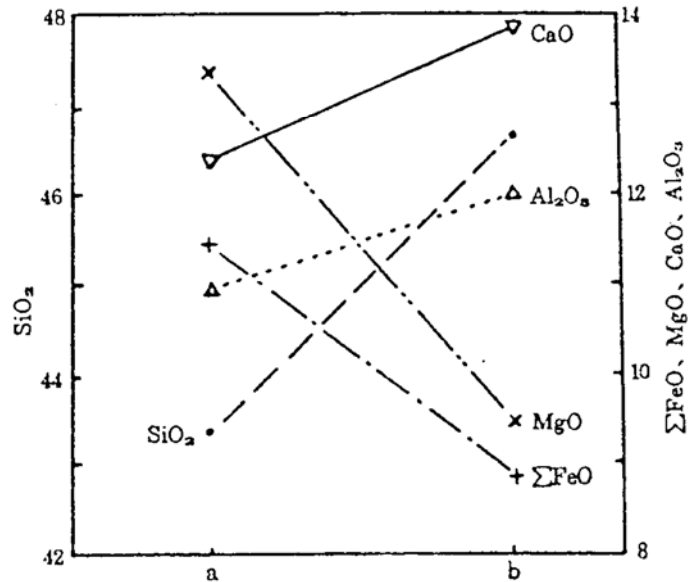


图15 苦橄玄武岩熔浆成分变化趋势

Fig 15 Compositional variation trend of magmatic melt composition of picrite basalt

a: 1350℃, Fo, Cpx 晶出前的熔浆成分(相当于碱性苦橄玄武岩); b: 1200℃, Fo, Cpx 晶出后的熔浆成分(相当于橄揽拉斑玄武岩)

参考文献

- 1 刘若新主编. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 地震出版社, 1992, 1—29.
- 2 Le Maitre R W. A classification of igneous rocks and glossary of terms, Recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematic of Igneous Rocks. London: Blackwell Scientific Publication. 1989, 35—46.
- 3 周若, 吴国忠等. 岩浆岩的熔点、粘度及其与化学成分的关系. 岩石学报, 1987, (1): 77—85.
- 4 邱家骧, 林景仔主编. 岩石化学, 地质出版社, 1991, 151—153.
- 5 French W J et al. Calculation of the temperature of crystallization of silication from basalt melts. Miner. Mag. 1981, (44): 19—26.
- 6 周若, 金志云. 五大连池、尚志等地新生代碱性玄武岩的实验岩石学研究. 地球化学, 1991, (2): 164—169.
- 7 鲍亦冈, 白志民等. 北京燕山期火山地质及火山岩. 地质出版社, 1995, 86—90.
- 8 张明. 黑龙江省火烧山、老黑山石龙岩岩石学特征. 地球科学, 1984, (1): 87—99.
- 9 印家骧, 廖群安. 黑龙江省五大连池、科洛、二克山火山群富钾火山岩中浅色矿物. 地球科学, 1990, (4): 357—366.
- 10 郑学正, 叶大年. 一种过冷却结晶效应——不平衡状态下的假高压效应. 中国科学, 1978, (4): 492—451.
- 11 Thompson R N. Some high pressure pyroxenes, Miner. Mag., 1974, (39): 768—787.
- 12 邱家骧, 曹广策. 中国东部新生代玄武岩中低压单斜辉石的矿物化学及其岩石学意义. 岩石学报, 1987, (4): 1—9.

Melting, Crystallization, Quenching Experiments of Volcanic Rocks and Their Petrological Significance

Zhou Xunruo, Bai Zhimin

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: experimental petrology; Volcanic Rocks; melting; crystallization; quenching effect

Abstract

Melting, crystallization and quenching experiments were conducted on some typical basalt and andesite samples from Fujian, Jiangxi and Henan as well as columbretic tephrite samples from Vesuvius of Italy. According to results of the experiments, the present paper has analysed the effects of magmatic melt composition on initially – crystallized minerals, illustrated the relationship of crystallization temperature, growth speed and nucleus formation density to crystal form, studied crystallization features of plagioclase and leucite as well as their mineralogical and petrological significance, dealt with compositional characteristics of olivine and pyroxene as well as the evolutionary trend of magmatic melt composition after their crystallization and, finally, probed into the quenching effects and pressure effects of clinopyroxene.