

韭菜地等地的新生代玄武岩及其超镁铁岩包体的岩石学研究

肖增岳 王艺芬

(中国科学院地质研究所)

主题词: 碧玄岩, 碱性橄辉玄武岩, 超镁铁岩包体

提要: 韭菜地和鸡笼山两地的玄武岩为新生代的火山锥体, 主要岩石为碧玄岩和碱性橄辉玄武岩, 其中含有较丰富的超镁铁岩包体。玄武质岩石属碱性系列的钾质亚系, SiO_2 不饱和, Al_2O_3 较低且富含K、Ti和P等不相容元素, 具有 Al_2O_3/CaO 值较高、M值在60—70之间、固结指数近于40、熔融程度低(4%)等特征, 表明玄武质岩石是地幔橄辉岩低度熔融的产物。超镁铁岩包体中易熔组分与不饱和型包体组分相近, 其矿物化学特征为: 橄辉石的Fo值和斜方辉石的En值较低, 单斜辉石的 Al_2O_3 、 TiO_2 和 Na_2O 较高, 表明包体相对地富集易熔组分, 与原始地幔组分相似。估算包体的矿物平衡温度和压力分别为 $1050^\circ C$ 和 $21.6 \times 10^8 Pa$ 。

韭菜地和鸡笼山岩体分别位于广东省揭阳县五经富镇北约6 km和汕头市北西1.5 km处, 它们均呈孤立的玄武质熔岩火山锥体, 单个岩体面积不足 $0.2 km^2$, 属新生代火山喷发产物^①(图1)。

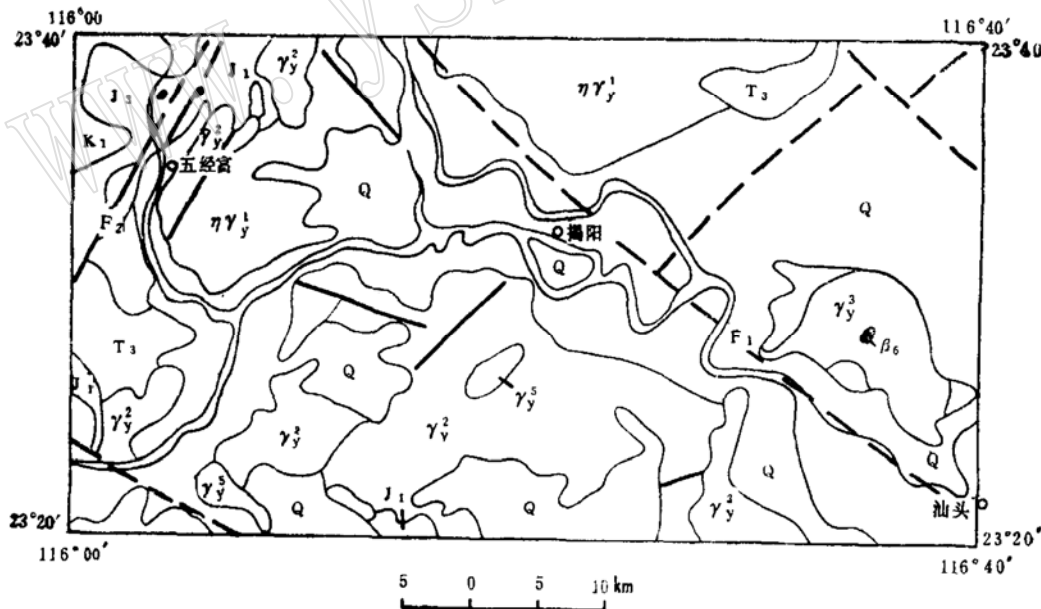


图1 玄武岩分布图

Fig. 1 General map showing distribution of basalts

Q—第四系; K_1 —下白垩统; J_3 —上侏罗统; J_1 —下侏罗统; T_3 —上三叠统; β_6 —喜山期玄武岩; γ_y^5 —燕山期细粒花岗岩; γ_y^4 —燕山期中粒花岗岩; γ_y^3 —燕山期黑云母花岗岩; $\eta\gamma_y^1$ —燕山期二长花岗岩; F_1 —榕江断裂; F_2 —汤坑至五经富断裂

① 据1/20万汕头幅区域地质调查报告, 1973, 广东省地质局。

韭菜地有两个玄武岩岩体, 出露于上侏罗火山岩地层中, 沿汤坑—五经富断裂展布, 岩石以碧玄武岩为主, 其次为碱性橄榄玄武岩, 其中均含有丰富的超镁铁岩包体和辉石、石榴石巨晶; 鸡笼山玄武岩体出露于燕山期花岗岩中, 似与榕江断裂相关。岩石以碱性橄榄玄武岩为主, 伴有玄武质火山角砾岩, 其中含有较小的超镁铁岩包体和橄榄石捕虏晶。由于两地玄武岩及其超镁铁岩包体极为相似, 又因资料所限, 本文仅以韭菜地资料为主, 着重讨论有关岩石学问题。

一、岩相学

按Yoder (1962)^[1]和Ringwood (1975)^[2]的标准矿物分类法, 可将本区含超镁铁岩包体的寄主岩分为碧玄武岩 ($Ne > 5\%$) 和碱性橄榄玄武岩 ($Ne < 5\%$)

碧玄武岩为灰、黑灰色, 具致密块状、疙瘩状和麻点状构造, 斑状结构。斑晶为橄榄石和普通辉石 (具环带构造)。基质为间粒—间隐结构, 由细条状斜长石 (20—25%)、它形霞石 (20—30%) 和碱性长石、粒状或短柱状辉石 (30—35%) 和橄榄石以及钛磁铁矿等组成。

碱性橄榄玄武岩为灰黑色或绿灰黑色, 具致密块状构造和斑状结构。斑晶以橄榄石 (6—7%) 和普通辉石 (1—2%) 为主, 呈自形粒状或柱状, 直径多为0.5—2 mm, 偶见斜长石斑晶。基质具间粒、交织结构, 由板条状斜长石 (45%)、普通辉石 (40%) 和少量橄榄石、磁铁矿和玻璃质等组成。

超镁铁岩包体仅以韭菜地的包体为例, 其岩石类型单一, 以尖晶石二辉橄榄岩为主。包体多呈次棱角状或浑圆状, 长轴一般4—8 cm。岩石为翠绿色—黄绿色, 全自形粒状结构, 粒径为1—4 mm, 由橄榄石 (60—75%), 斜方辉石 (20—25%), 单斜辉石 (10—15%) 和尖晶石 (2—3%) 组成。

超镁铁岩包体主要具不等粒和残斑状结构。前者以橄榄石和斜方辉石颗粒较大 (3—4 mm), 发育扭折带, 而单斜辉石颗粒较小且均匀 (1—2 mm), 矿物颗粒边界多呈圆滑曲线状, 矿物无明显方位为特征, 并偶见辉石出溶片晶; 后者, 残斑状结构的矿物粒度变化较大, 残斑以橄榄石为主, 矿物具有程度不同的拉长, 扭折带发育。残斑矿物的颗粒之间的重结晶矿物颗粒边界平直, 多呈120°三联线状。

二、岩石化学

从表1和图2、3、4中可看出, 寄主岩石均属碱性系列钾质亚系的碧玄武岩和碱性橄榄玄武岩, 其岩石化学以CaO、Na₂O、K₂O、TiO₂含量高, SiO₂不饱和, Al₂O₃含量较低为特征。

众所周知, P、Ti和K等元素为地幔橄榄岩主要矿物相的不相容元素。它们随着地幔橄榄岩熔融程度升高, 于溶体中浓度相对变低, 而本区寄主岩石富含这些不相容元素, 表明它们是地幔橄榄岩低度熔融产物。

寄主岩石的岩石化学的另一特点是Al₂O₃/CaO值较高 (1.46—1.65)。由于在地幔橄榄岩熔融过程中, Al比Ca更易进入溶体, 所以, 随着地幔橄榄岩熔融程度升高, 形成的玄武

表 1 玄武岩化学成分及标准矿物
Table 1 Chemical compositions and CIPW norm of basalts

产地	韭菜地			鸡笼山			
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	48.87	46.07	45.22	45.29	45.76	45.22	46.13
TiO ₂	2.07	2.10	2.00	2.22	2.25	2.23	2.30
Al ₂ O ₃	13.20	13.97	13.47	12.86	13.00	12.80	13.16
Cr ₂ O ₃	0.04			0.04	0.02	0.02	0.02
Fe ₂ O ₃	2.92	0.56	2.65	2.88	3.06	3.07	2.68
FeO	9.66	9.89	9.09	10.69	10.59	10.38	9.86
NiO							
MnO	0.19	0.22	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17
MgO	10.44	8.32	11.54	9.42	9.62	9.39	9.41
CaO	8.83	8.47	8.56	8.65	8.95	8.78	8.91
Na ₂ O	2.54	4.51	3.15	2.40	2.32	2.37	2.27
K ₂ O	1.73	1.67	1.80	2.22	2.24	2.23	2.30
P ₂ O ₅	0.62	0.87	0.65	0.71	0.72	0.70	0.72
H ₂ O	1.22			1.28	0.70	1.84	1.17
灼失量	0.66	1.62	1.19	0.46	0.61	0.19	0.81
总计	99.94	100.27	99.51	99.94	100.02	99.40	99.91

以6个氧为基础的阳离子数

Q							
Or	10.21	9.87	10.63	13.12	13.23	13.17	13.59
Ab	16.47	19.90	14.35	16.48	16.16	16.02	17.81
An	19.47	12.93	17.29	17.75	18.43	17.59	18.91
Ne	2.72	9.89	6.66	2.07	1.88	2.18	0.76
Di-Wo	8.46	9.77	8.74	8.57	8.88	8.89	8.59
-En	5.27	6.05	5.70	5.06	5.27	5.27	5.25
-Fs	2.68	3.14	2.44	3.08	3.15	3.17	2.87
Hy-En							
-Fs							
Ol-Fo	14.52	10.27	16.14	12.87	13.09	12.59	12.74
-Fa	8.14	5.87	7.61	8.64	8.63	8.43	7.67
Cm	0.06			0.06	0.03	0.03	0.03
Mt	3.64	3.07	3.40	3.93	3.95	3.89	3.63
Il	3.93	3.99	3.80	4.22	4.27	4.29	4.37
Ap	1.35	1.90	1.42	1.55	1.57	1.53	1.57
Al ₂ O ₃ /CaO	1.49	1.65	1.57	1.49	1.45	1.46	1.48
Mg/Mg+Fe ²⁺	0.66	0.60	0.69	0.61	0.62	0.62	0.63

〔注〕 2, 3号数据引自区域地质调查报告(汕头幅, 1973, 广东省地质局)。其它数据本文提供。2, 3号为碧玄岩, 其余为碱性橄榄玄武岩。

岩浆的 Al_2O_3/CaO 值应愈近于原始地幔的比值（相当于球粒陨石值 1 : 1）。 Al_2O_3/CaO 值较高，亦表明寄主岩石是地幔橄辉岩低度熔融的产物。

寄主岩石的M值 $100Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 为60—70，近于Ringwood(1975)、Garter (1970)和Nichlls (1967)提出的饱满型地幔橄辉岩（ $M = 87.4-89.3$ ，其橄辉石成分 $Fo = 86-90$ ）

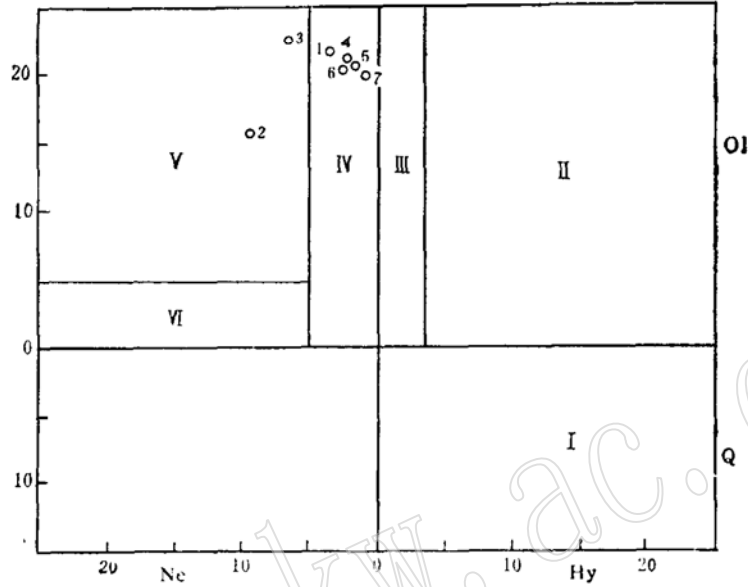


图 2 玄武岩的标准矿物命名图

Fig. 2 The nomenclature diagram based on norm minerals of basalts

I—石英拉斑玄武岩；II—橄辉拉斑玄武岩；III—橄辉玄武岩；IV—碱性橄辉玄武岩；V—碧玄武岩；VI—碱玄武岩；数字说明同表1（下同）

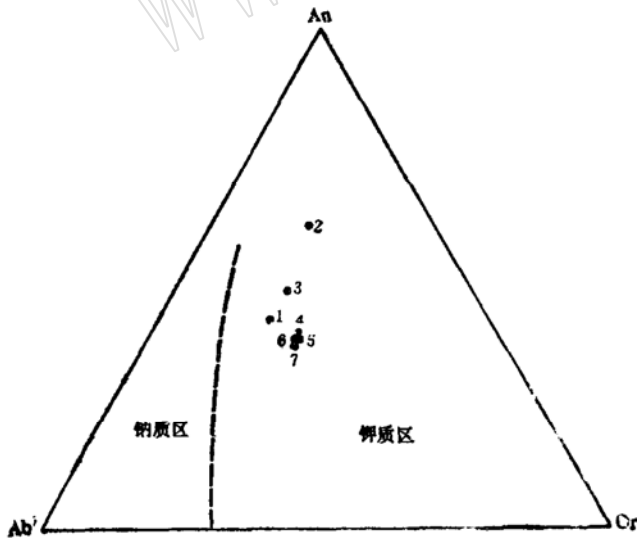


图 3 An—Ab'—Or三角图

Fig. 3 An—Ab'—Or triangle diagram
断线为 Irving (1971) 确定的钾质和钠质亚系的分界线

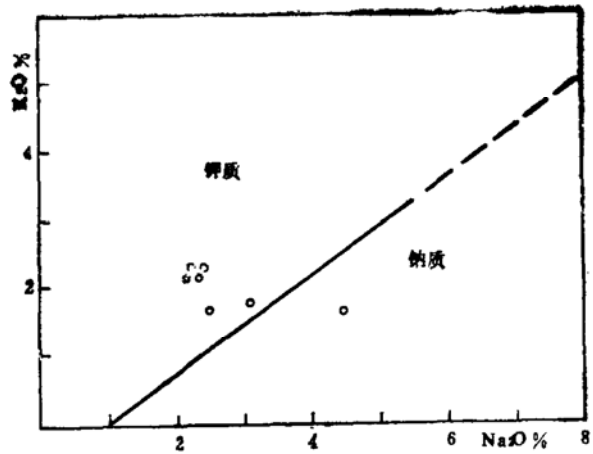


图 4 钠、钾系列的 Na_2O-K_2O 关系图
(据Middlemost, 1975)

Fig. 4 Relation between K_2O-Na_2O in K, Na series basalts

熔融形成的原始玄武岩浆M值(66—75),其固结指数近于40,表明寄主岩岩浆近于原始岩浆。

此外,本文采用扣除法^①估算了韭菜地原始地幔成分(表2):选用寄主岩石(表1中1号样)及与其共存的超镁铁岩包体中的MgO含量为横座标,其它氧化物为纵座标,并选取37.5%为原始地幔MgO含量时,估算出本区原始地幔成分近于Ringwood(1975)⁽²⁾提出的模拟地幔成分,进而可估算出寄主岩石的熔融程度为4%(表2)。这亦足以证明本区寄主岩石是地幔橄榄岩低度熔融的产物(图5)。

表2 本区超镁铁岩包体化学成分和原始上地幔组成的估算

Table 2 Chemical composition of ultramafic rocks and estimated composition of initial upper mantle in the region

	本区超镁铁岩包体	估算本区原始上地幔	Ringwood(1975)模拟上地幔
SiO ₂	44.57	44.58	45.16
TiO ₂	0.16	0.23	0.71
Al ₂ O ₃	3.52	3.91	3.54
FeO	6.86	6.97	8.04
Fe ₂ O ₃	1.66	1.71	0.46
MnO	0.14	0.14	0.14
CaO	2.86	3.10	3.08
MgO	38.57	37.45	37.47
K ₂ O	0.06	0.13	0.13
Na ₂ O	0.01	0.11	0.57
P ₂ O ₅	0.02	0.06	0.06
H ₂ O ⁺	0.70	0.72	
H ₂ O ⁻	0.05	0.06	
灼失	0.23	0.21	
Cr ₂ O ₃	0.367	0.35	
总计	99.78	99.76	
Mg/Mg+ΣFe	0.89		
玄武质岩石熔融程度		4%	

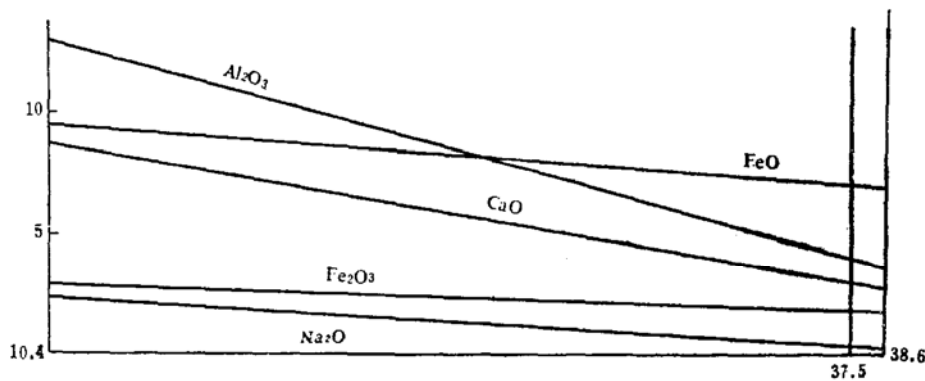


图5 扣除法确定的原始地幔成分和熔融程度

Fig. 5 Compositions and degree of partial melting for primary upper mantle determined by methods of deducting

① 据武汉地院研究生武殿英硕士论文《吉林伊通新生代玄武岩及其上地幔包体的研究》,1983。

三、矿物化学

寄主玄武岩的主要矿物组成为橄榄石、普通辉石和斜长石，其化学成分列于表 3 中。橄榄石经费氏台测定 $2V = +89-82^\circ$ ， $Fo = 67-85$ ，化学成分特征为： $Mg/(Mg + \Sigma Fe)$ 值为 70.1， Fo 值为 70%，属贵橄榄石和透铁橄榄石。据费氏台测定玄武岩中单斜辉石的 $2V = 46-64^\circ$ ， $C \wedge Ng = 40-55^\circ$ ，属普通辉石。 $Ca:Mg:(\Sigma Fe + Mn) = 49.2:38.3:12.5$ ，为透辉石质普通辉石。斜长石经费氏台测定多为中—拉长石 ($An = 35-68$)，从化学成分计算 $An = 55.8\%$ ，属拉长石。

超镁铁岩包体的矿物组成为橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和尖晶石，它们的化学成分列于表 4 中。橄榄石的 $Mg/(Mg + \Sigma Fe)$ 值为 88.8， Fo 值为 89%，属贵橄榄石。斜方辉石的 $+2V = 84-90^\circ$ ， $En = 80\%$ ，属顽火辉石， $Mg/(Mg + \Sigma Fe)$ 值较低 (88.6)。单斜辉石成分为： $Ca:Mg:(\Sigma Fe + Mn) = 44.9:49:6.1$ ，属透辉石。单斜辉石在 Jagoutz 等 (1979)^[3] 提出的 Al^{IV} 对 Al^{VI} 图解上 (图 6) 的投影点落于原始地幔区 (A 区) 与过渡地幔区 (B 区) 之

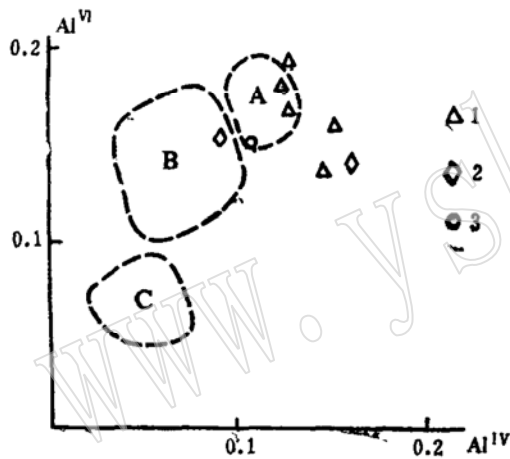


图 6 超镁铁岩包体的单斜辉石的 Al^{IV} 对 Al^{VI} 投影图

Fig. 6 Plot of Al^{IV} against Al^{VI} for clinopyroxenes in ultramafic inclusions

A—原始地幔；B—过渡地幔；
C—残留地幔 (Jagoutz 等, 1979)
1—六合县方山；2—六合县瓜埠山；3—本区

表 3 玄武岩中矿物的化学成分
Table 3 Chemical compositions of minerals in basalt

	单斜辉石	橄 榄 石	斜 长 石
SiO ₂	49.63	39.03	54.08
TiO ₂	1.92	0.04	0.11
Al ₂ O ₃	4.75	0.02	26.77
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.06
FeO	7.33	26.17	0.59
MnO	0.12	0.39	0.03
MgO	12.87	34.35	0.09
CaO	22.97	0.48	11.74
Na ₂ O	0.60	0.07	4.82
K ₂ O	0.01	0.01	0.48
总 量	100.22	100.56	98.77
	Ca: 49.2	Mg/(Mg + ΣFe)	Ab 41.46%
	Mg: 38.3	0.70	An 55.82%
	ΣFe + Mn: 12.5		Or 2.72%

表 4 超镁铁岩包体中矿物化学成分
Table 4 Chemical composition of minerals in ultramafic inclusions

	橄 榄 石	尖 晶 石	单 斜 辉 石	斜 方 辉 石
SiO ₂	41.29	5.44	51.41	54.39
TiO ₂	—	0.17	1.40	—
Al ₂ O ₃	0.06	48.11	5.58	3.84
Cr ₂ O ₃	0.24	9.23	0.68	0.34
Fe ₂ O ₃	0.36	11.54	1.16	0.68
FeO	9.90		2.35	6.15
NiO	0.37	0.98	0.06	0.10
MnO	0.18	0.62	0.10	0.18
MgO	45.52	23.47	15.70	29.42
CaO	1.98	0.38	20.02	4.68
Na ₂ O	—	—	1.21	0.14
K ₂ O	—	—	—	—
总 量	99.90	99.94	99.64	99.92
	Mg/Mg+ΣFe 0.89	Mg/Mg+ΣFe 0.80 Cr/Cr+Al 0.114	Ca 44.9 Mg 49 ΣFe+Mn 6.1	Ca 9.2 Mg 80.2 ΣFe+Mn 10.6

间,与方山、瓜埠山的单斜辉石投影点分布范围趋于一致,表明本区超镁铁岩包体基本代表了原始地幔成分。尖晶石是包体中的次要矿物,其成分为:Cr₂O₃ 9.23%, MgO 23.4%, 属含铬富镁尖晶石,有较高的 Mg/(Mg+ΣFe) 值(80)和较低的 Cr/(Cr+Al) 比值(11.4)。

综上所述,超镁铁岩包体的矿物化学具有橄榄石 Fo 值和斜方辉石 En 值较低,单斜辉石有较高的 Al₂O₃、TiO₂ 和 Na₂O 含量等特征,表明它相对地富集易熔组分。

四、超镁铁岩包体矿物平衡结晶P—T条件

通过对本区超镁铁岩包体的各矿物对的分配系数的计算,大体近于一致,表明其矿物组合基本达到平衡(表5)。

本文中采用了Mercier(1976)^[4]的单斜辉石温度计和压力计方法估算了超镁铁岩包体

表 5 超镁铁岩包体共生矿物对的KD_(Fe)值及其平衡结晶P—T条件

Table 5 KD values of coexisting mineral pairs and P—T condition of equilibrium crystallization from the ultramafic inclusions

KD _(Fe)	(Fe ²⁺ /Mg) ^{Opx}	(Fe ²⁺ /Mg) ^{Cpx}	(Fe ²⁺ /Mg) ^{O1}	(Fe ²⁺ /Mg) ^{Sp}	KD ^{Opx-Cpx} _(Fe)	KD ^{O1-Cpx} _(Fe)	KD ^{O1-Opx} _(Fe)	KD ^{O1-Sp} _(Fe)
值	0.117	0.085	0.122	0.249	1.376	1.435	1.043	0.492
P-T	温 度 (°C)		压 力 (Pa)		计 算 依 据			
条件	1050		21.6×10 ⁸ Pa		Mercier(1976)			
	1150				Wood-Banno(1973)			
	1018				Boyd(1966)			

平衡结晶温度和压力(表5)。对于温度又采用了Boyd(1966)单斜辉石温度计和Wood-Banno(1973)^[5]的二辉石温度计等方法加以对比,从表中可看出,各种方法估算的温度差值不大,均在允许的误差范围内。用两种辉石成分以Mercier法的压力值也近于一致。

五、稀土元素的地球化学

通过对玄武岩及其超镁铁岩包体的稀土元素(REE)的习性、浓度和相对丰度研究,可解释其岩浆形成与演化。将玄武岩及其包体的稀土元素丰度列于表6中。

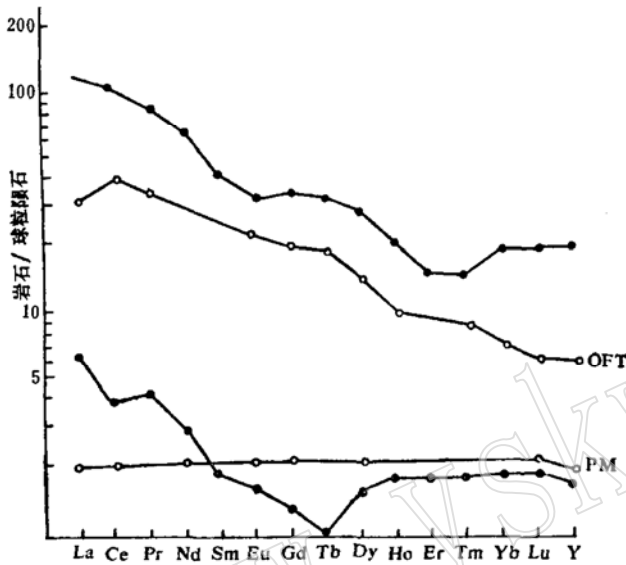


图7 玄武岩和超镁铁岩包体的REE分配型式(用Haskin等1966年的球粒陨石值标定)

Fig. 7 REE distribution patterns of basaltic rocks and ultramafic inclusions(normalized to Haskin's chondrites, 1966)

PM—原始地幔值(Jagoutz等, 1979);
OFT—大洋拉斑玄武岩值(Engle, 1965)

表6 韭菜地玄武岩和超镁铁岩包体的REE丰度(ppm)

Table 6 REE abundances of basalts and ultramafic inclusions(ppm)

	玄武岩	超镁铁岩包体
La	50	1.85
Ce	88	3.25
Pr	10.4	<0.5
Nd	38	1.68
Sm	8.6	0.38
Eu	2.4	0.12
Gd	11	0.43
Tb	1.6	<0.05
Dy	8.7	0.5
Ho	1.5	0.13
Er	3.2	0.38
Tm	0.49	0.06
Yb	3.2	0.33
Lu	0.59	0.06
Y	35	3.00
ΣREE	262.68	12.17
La/Yb	15.63	5.61
Ce/Yb	27.50	9.85

REE对地幔橄榄岩的矿物相来说, 轻稀土元素(LREE)为不相容元素, 重稀土元素(HREE)为相容元素, 因而, LREE随着地幔橄榄岩熔融程度的升高, 在溶体中浓度将被稀释。

从图7中可看出, 韭菜地碱性橄榄玄武岩的REE丰度较高, LREE相对富集, La/Yb值为15.63, 分离程度明显, 表明其为地幔橄榄岩低度熔融之产物。超镁铁岩包体的REE丰度与原始地幔值相比, HREE近于原始地幔值, LREE略微偏高, 这可能是地幔不均一性的一种表现。

总之, REE分配型的特征, 同前述的岩石和矿物的研究结论基本相一致。

六、结语

通过上述研究, 得出如下几点认识。

1. 从寄主岩石及其超镁铁岩包体的岩石学、矿物学、REE的分配图式的研究, 认为寄主岩石是近原始上地幔橄榄岩低度部分熔融的产物, 所形成的玄武岩浆虽然于早期经受过高压结晶分离作用, 但对岩浆性质的影响不大。

2. 超镁铁岩包体的REE丰度特点是LREE相对富集, HREE近于原始地幔值, 表明了原始地幔的不均一性。

3. 将估算的超镁铁岩包体的平衡结晶温度和压力投于图8上, 表明包体来自60km的上地幔。

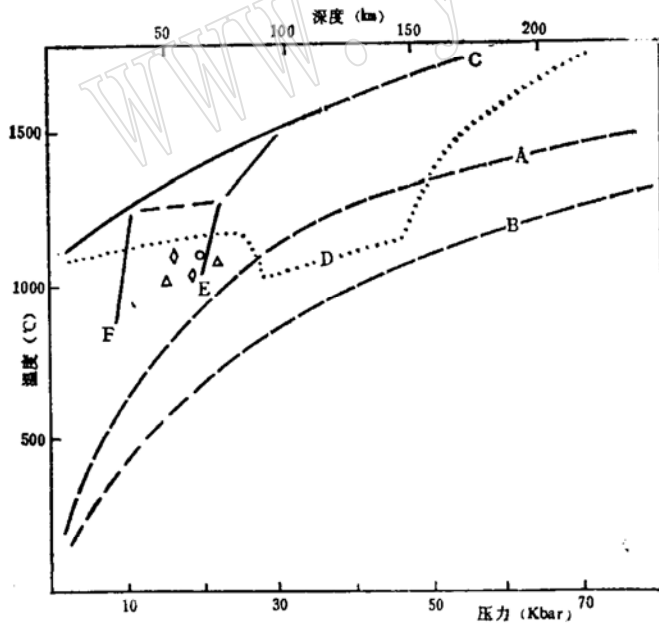


图8 超镁铁岩包体平衡温度和压力

Fig. 8 Equilibrium temperatures and pressures of the ultramafic inclusions

A、B—分别为大洋和地盾地温线 (Clark和Ringwood, 1974); C、D—分别为干的和含水0.1%的地幔岩固相线; E、F—分别为石榴石二辉橄榄岩, 尖晶石二辉橄榄岩和斜长二辉橄榄岩相界线 (Ringwood, 1975); 1Kb = 10^8 Pa; 其他图例同图6

本文的岩石、矿物及REE分析均由本所九室完成, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Yoder, H. S. and Tilley, C. E., 1962, Jour. Petrol., No. 3, 342—532.
 [2] Ringwood, A. E., 1975, Composition and petrology of the Earth's mantle, New York, P.618.

- [3] Jagoutz, E., Palme, H. and others, 1979, Proc. lunar Sci. conf., No. 10, 2031—2050.
[4] Mercier, J.-C. C., 1975, 1976, Am. miner., V. 61, 7—8.
[5] Wood, B. J. and Banno, S., 1973, Cont. mineral. petr., V. 42, 109—124.

Petrogenesis of Cenozoic Basaltic Rocks and Their Ultramafic Inclusions from Jiucaide and Jilongshan

Xiao Zengyue Wang Yifen

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Key words: basanite; alkali-olivine basalts; ultramafic inclusions

Abstract

Jiucaide and Jilongshan bodies are located at 6km to the north of Wuji-
ngfu town, Jieyang County and 15km to the northwest of Shantou City respec-
tively. They are both in form of volcanic cones with area less than 0.2 km².

The volcanic rocks are mainly consisted of basanites and alkali-olivine
basalts with abundance of ultramafic inclusions—spinel lherzolites which charac-
terised by inequigranular and porphyroclastic textures.

The basaltic rocks in composition belong to the potash subseries of alka-
line series and are characterized by higher CaO, K₂O + Na₂O and TiO₂, and lower
SiO₂ and Al₂O₃. Except for enrichment of the incompatible elements, such as
P, K and Ti, the basalts, have higher Al₂O₃/CaO ratio, with M value = 60—70,
index of consolidation nearly to 40 and degree of melting = 4%. All these features
indicate that the basaltic rocks are product driven from the mantle peridotite.

The fusible components of the ultramafic inclusions are similar to that of
fertile mantle. The olivines and the orthopyroxenes in the ultramafic inclusions
have lower Fo and En respectively, and the clinopyroxenes are characterized by
higher Al₂O₃, TiO₂ and Na₂O. The calculated temperature and pressure for the
lherzolites are confined to 1050°C and 21.6 × 10⁸ Pa respectively. The basa-
ltic rocks have a high REE abundance with enrichment of LREE, and La/Yb
= 15.63. The REE abundance of ultramafic inclusions approaches to that of the
primary mantle.