

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

广东普宁麒麟辉石岩幔源包体的
矿物学特征及其形成条件

赵海玲

(武汉地质学院北京研究生部)

广东普宁麒麟超镁铁岩集块角砾岩筒中, 含有大量的二辉橄榄岩-方辉橄榄岩、辉石岩 幔源包体。辉石岩包体共有三种类型: 尖晶石单辉岩、石榴石单辉岩和二辉岩, 其岩石学、岩石化学及微量元素特征的研究已另文发表^[1]。本文主要研究该区辉石岩包体的矿物学特征, 以及对其形成的热力学条件进行一些探讨。

表 1 本区辉石岩包体中斜方辉石
化学成分及光性数据

一、辉石岩包体的矿物学特征

(一) 矿物化学成分特征

辉石岩包体主要矿物成分比较简单, 而且稳定, 由单斜辉石、斜方辉石、角闪石、尖晶石和石榴石组成了岩石的主体。岩石最大的特点是矿物成分均一, 这可能是由于处在上地幔条件下长期均匀化的结果。矿物无环带结构, 说明是在平衡条件下形成的, 可能与形成于高温高压环境有关。

下面分别叙述各矿物的特点, 以提供一些岩石成因的信息。各矿物晶体化学式中阳离子系数根据氧原子法^[2]算得。

1. 斜方辉石 其化学成分和有关光性数据列于表1。为古铜辉石, Al₂O₃含量较高, 这是高压下形成的标志。

2. 单斜辉石 其化学成分和有关光性数据见表2。不是表明堆晶成因的辉石岩中所特有的铝质普通辉石, 而是透辉石, 浅灰色, Cr₂O₃含量低, 变化于0.01—0.33%之间。本区辉石岩中单斜辉石含硬玉分子低(0—3.1%), 与榴辉岩中单斜辉石明显不同^[3](图1)。

3. 角闪石 其化学成分和有关光性数据见表3。根据国际矿物学会新矿物名称委员会的闪石

顺序号	1	2		1	2
样号	I-4-2	I-II-27*	阳离子系数(O=6)		
SiO ₂	52.79	54.06	Si	1.861	1.862
Al ₂ O ₃	5.19	13.74	Al ^{IV}	0.139	0.138
Fe ₂ O ₃	1.72	1.88	Al ^{VI}	0.077	0.417
FeO	7.68	8.04	Fe ³⁺	0.047	0.050
MgO	30.28	21.37	Fe ²⁺ +M ^I	0.109	0.080
CaO	1.20	0.52	Fe ²⁺ +M ²	0.118	0.162
Na ₂ O	0.11		Mg ^{M^I}	0.765	0.362
K ₂ O	0.00		Mg ^{M²}	0.825	0.734
H ₂ O ⁺	(0.49)*		Ca	0.445	0.019
TiO ₂	0.06	0.22	Na	0.009	
P ₂ O ₅	0.01		Ti	0.002	0.006
MnO	0.22		Mn	0.006	
Cr ₂ O ₃	0.22		Cr	0.004	
NiO	0.04		Ni	0.002	
Σ	100.01	99.83	% { Ca Mg Σ Fe Mg' 值 种属	2.3	1.3
光 性 数 据				83.1	77.9
Ng	1.6063			14.6	20.7
Nm	1.6790			85.3	79.0
Np	1.6752			古铜	古铜
2V	89°			辉石	辉石

* 为能谱分析结果, 由北京钢铁研究院分析; 其余为化学分析结果, 由武汉地质学院北京研究生部杨凤华分析。
Mg' 值 = $\frac{100Mg}{Mg + \Sigma Fe}$, 以下诸表相同。

表 2 本区辉石岩包体中单斜辉石化学成分和光性数据

顺序号	1	2	3	4	5	6	7
样 号	I—II—4	I—4—2	I—II—27	I—017	I—4—2*	I—II—27*	I—017*
SiO ₂	49.42	50.31	47.62	48.79	51.56	50.91	50.87
Al ₂ O ₃	8.61	7.25	8.09	8.64	7.36	7.79	9.60
Fe ₂ O ₃	1.85	2.19	2.93	2.58			
FeO	2.24	2.58	4.34	2.98	3.50	5.10	3.78
MgO	14.21	14.68	14.41	14.45	15.13	13.87	13.81
CaO	20.73	20.85	18.56	18.64	20.10	21.14	20.17
Na ₂ O	1.00	1.23	1.02	1.43	0.78	0.68	0.77
K ₂ O	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	1.11		0.13	0.60			
TiO ₂	0.31	0.27	1.18	1.26	0.18	0.90	1.22
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.07	0.03			
MnO	0.06	0.18	0.04	0.09	0.02	0.15	0.00
Cr ₂ O ₃	0.12	0.33	0.01	0.03	0.09	0.07	0.03
NiO	0.05	0.05	0.03	0.04			
Σ	99.75	99.95	99.45	99.57	98.75	100.61	100.25

光 性 数 据

Ng	1.7098	1.7073	1.7113				
Nm	1.6874	1.6870	1.6935				
Np	1.6787	1.6817	1.6857				
2V	58°	64°	59°				
NgAC	39°	44°	45°				

	1	2	3	4	5	6	7
阳离子系数 (O = 6)							
Si	1.818	1.832	1.781	1.795	1.874	1.842	1.827
Al ^{IV}	0.182	0.168	0.219	0.205	0.127	0.158	0.173
Al ^{VI}	0.189	0.147	0.136	0.166	0.193	0.170	0.232
Fe ³⁺	0.053	0.061	0.081	0.071	0.039	0.057	0.043
Fe ²⁺ M1	0.059	0.069	0.108	0.076	0.056	0.083	0.058
Fe ²⁺ M2	0.009	0.009	0.027	0.017	0.011	0.013	0.013
Mg ^{M1}	0.683	0.710	0.643	0.652	0.685	0.649	0.605
Mg ^{M2}	0.095	0.086	0.159	0.141	0.134	0.098	0.132
Ca	0.817	0.813	0.744	0.735	0.783	0.819	0.774
Na	0.071	0.088	0.072	0.102	0.056	0.048	0.052
Ti	0.009	0.009	0.034	0.035	0.007	0.024	0.032
Mn	0.002	0.007	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000
Cr	0.004	0.009	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
Ni	0.002	0.002	0.000	0.002			
Ca	47.6	46.5	42.2	43.4	43.4	47.7	47.6
Mg	45.3	45.5	45.5	46.9	48.4	43.5	45.4
Σ Fe	7.1	8.0	12.3	9.7	6.2	8.9	7.0
Mg' 值	86.3	84.5	78.8	82.7	88.6	82.6	86.6
Jd(%)	1.8	2.6	0	3.1	1.8	0	0.9
Ca—Ts(%)	16.9	13.6	13.9	13.5	14.9	14.1	17.6
种 属	透辉石	透辉石	顽火透辉石	透辉石	透辉石	透辉石	透辉石

* 为电子探针分析结果, 由中国地质科学院矿床研究所黄进分析; 其余为化学分析结果, 由武汉地质学院北京研究生部化学分析室杨风华分析。

表 3 本区辉石岩包体中角闪石化
学成分及光性数据

顺序号	1	2		1	2
样 号	I-II-27	I-002			
SiO ₂	40.59	40.49	C	Cr	0
Al ₂ O ₃	15.72	15.38		Fe ³⁺	0.3679
Fe ₂ O ₃	3.31	4.10		Mg	3.3460
FeO	6.19	6.32	B	Fe ²⁺	0.3518
MgO	15.38	14.56		Fe ²⁺	0.4015
CaO	10.37	11.04		Mn	0.0088
Na ₂ O	3.02	2.47	A	Ca	1.5897
K ₂ O	0.13	1.25		Na	0.0232
H ₂ O ⁺	1.55	1.69		Ca	0.0307
TiO ₂	2.88	2.21	A	Na	0.8409
P ₂ O ₅	0.14	0.16		K	0.0175
MnO	0.08	0.11		OH	1.5066
F	0.07	0.06		F	0.0350
NiO	0.02	0.02	种属	非 闪 石	
Cr ₂ O ₃	0.01	0.00	Mg' 值	74.8	71.9
Σ	99.43	99.83	Mg 值	81.6	80.4
阳离子系数(O=24)			光性常数		
T	Si	5.9212	Ng	1.6859	1.6863
	Al ^{IV}	2.0788	Nm	1.6814	1.6793
	Al ^{VI}	0.6190	Np	1.6550	1.6636
	Ti	0.3153	2V	-80	-64
			NgAC	17	18

由武汉地质学院北京研究生部化学分析室 杨 凤 华 分

析。Mg 值 = $\frac{100Mg}{Mg + Fe^{2+}}$ ，以下诸表相同。

名称分类^[4]，本区辉石岩中的角闪石为 韭 闪 石。在Ti对Al图解(图2)上投在幔源角闪石成分区域内^[5]，反映了本区辉石岩中角闪石具有幔源成因的特点(关于本区角闪石的详细研究将另文发表)。

4. 尖晶石 辉石岩中的尖晶石为 镁 铁 尖晶石，化学成分及其阳离子系数计算结果列于表4。利用环形屏蔽法作了碎屑油浸，测得折射率值为1.7701(I-II-4)和1.7700(I-II-27)。尖晶石Cr含量较低，Fe含量较高，在Fe³⁺-Cr-Al关系图(图3)中落在世界碱性橄榄玄武岩捕虏体中尖晶石成分范围内^[6]，并位于富Al一端。

辉石岩中尖晶石有两种类型，一种呈粒状，另一种为单斜辉石的出溶叶片。从表4可以看出两者成分极为相近，说明它们有相同的

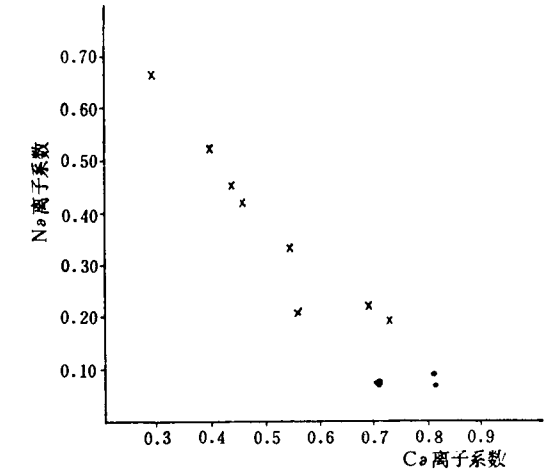


图 1 单斜辉石Na离子系数对Ca离子系数关系图
•-本区辉石岩包体中单斜辉石投影点；x-榴辉岩包体中单斜辉石投影点(据文献^[3])

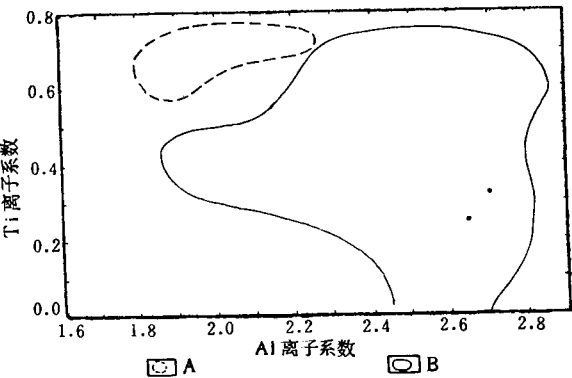


图 2 角闪石中Ti对Al离子系数图解
A-Monteregian山Quebec和Tahital浅部地壳侵入体中钛角闪石成分^[5]，B-幔源角闪石成分^[5]，•-本区辉石岩包体中的角闪石

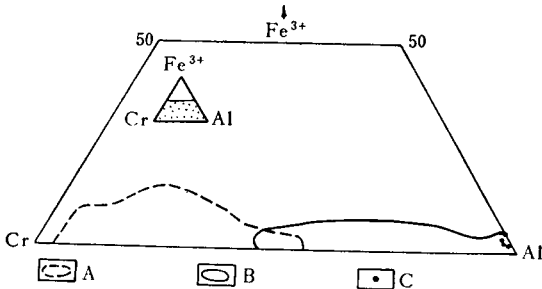


图 3 幔源包体中尖晶石Fe³⁺-Cr-Al关系图
A-世界金伯利岩包体中尖晶石成分范围^[6]，B-世界碱性橄榄玄武岩包体中尖晶石成分范围^[6]，C-本区辉石岩包体中尖晶石投影点

表 4 本区辉石岩包体中尖晶石化学成分

	1	2	3	4
样 号	I-II-4	I-II-27	I-4-2*(1)	I-4-2*(2)
SiO ₂	1.19	0.94	0.04	0.10
Al ₂ O ₃	65.18	60.55	68.77	67.50
Fe ₂ O ₃	1.89	5.22		
FeO	9.73	15.96	11.10	10.80
MgO	21.19	16.90	21.12	20.13
CaO	0.00	0.09	0.05	0.10
Na ₂ O	—	—		0.02
TiO ₂	0.07	0.33	0.02	0.04
MnO	0.08	0.11	0.02	0.11
Cr ₂ O ₃	0.58	0.10	0.78	0.64
NiO	0.36	0.10		
Σ	100.27	100.00	101.90	99.44

阳离子系数(O=4)

Al	1.900	1.853	1.971	1.982
Cr	0.012	0.003	0.015	0.012
Fe ³⁺	0.054	0.103	0.048	0.048
Fe ²⁺	0.201	0.340	0.180	0.180
Mg	0.782	0.653	0.765	0.747
Mn	0.001	0.002	0	0.002
Ni	0.007	0.002		
Ti	0.001	0.006	0	0
Ca	0	0.003	0.002	0.003
Mg值	80	66	81	81
$\frac{100\text{Cr}}{\text{Cr}+\text{Al}}$	0.62	0.16	0.75	0.60
$\frac{100\text{Cr}}{\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+}}$	0.61	0.15	0.73	0.58

* 为电子探针分析结果, 由中国地质科学院矿床研究所黄述分析, 其余为化学分析结果, 由武汉地质学院北京研究生部化学分析室杨凤华分析。I-4-2(1)为粒状尖晶石, I-4-2(2)为单斜辉石中尖晶石出溶叶片。

成因, 前者可能是后者经过聚集重结晶作用而形成的。

5. 石榴石 为粉红色镁铝榴石。利用环形屏蔽法测得折射率值为1.7462(I-II-4)和1.7512(I-II-27)。化学成分见表5。按里克沃德顺序^[2]计算的端元组分(表5), Pyr: 57.6—70.2%, GrO: 8.9—11.7%, Alm: 16—26.2%, 其端元组分投于图4, 均落在与金伯利岩、纯橄岩和橄榄岩共生的A类榴辉岩区内, 这反映了本区石榴石具有上地幔条件下形成的特点。和福建明溪二辉橄榄岩中的石榴石¹⁾相比, 其Cr、Mg含量低, Ca、Fe含量高。

(二) 矿物的晶胞参数

对本区辉石岩包体的单矿物选作了X射线分析, 其中斜方辉石, 单斜辉石和角闪石是采用四圆单晶衍射仪法, 直接获取晶胞参数 a_0 、 b_0 、 c_0 和 β 。尖晶石和石榴石采用了粉晶X射线照相法

表 5 本区辉石岩包体中石榴石化学成分

	1	2	3
样 号	I-II-4	I-II-27	I-4-2*
SiO ₂	41.81	41.09	43.61
Al ₂ O ₃	23.68	22.84	23.62
Fe ₂ O ₃	1.59	1.84	
FeO	8.38	12.34	9.03
MgO	17.77	15.27	19.38
CaO	6.06	5.57	4.95
TiO ₂	0.07	0.16	0
P ₂ O ₅	0.10	0.13	
MnO	0.24	0.45	0.55
Cr ₂ O ₃			0.10
Σ	99.70	99.69	101.24

阳离子系数(O=12)

Si	2.996	3.083	3.048
Al	1.997	1.967	1.944
Fe ³⁺	0.086	0.097	0.068
Fe ²⁺	0.504	0.755	0.458
Mg	1.894	1.660	2.016
Ca	0.465	0.435	0.369
Ti	0.004	0.009	0
Mn	0.013	0.031	0.030
Mg'值	75.9	65.3	78.4

端元组分 里克沃德顺序编号

Ura			0.45
And	4.49	5.09	3.55
Pyr	65.87	57.59	70.16
Spe	0.42	1.04	1.03
Gro	11.69	10.08	8.86
Alm	17.54	26.20	15.95

分析方法及分析单位同表 4。

1) 据张德全, 1982, 福建明溪县大洋窝新生代火山岩及上地幔包体的研究(武汉地质学院北京研究生部刊印)。

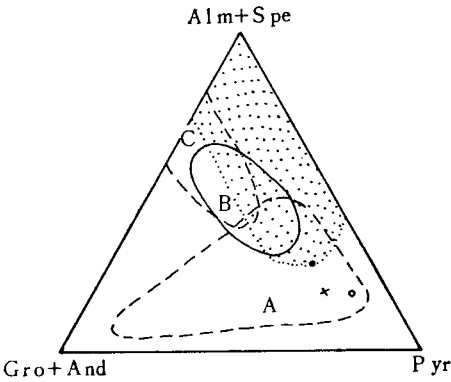


图 4 A、B、C类榴辉岩及麻粒岩（黑点区）的石榴石成分⁽⁷⁾

A类为与金伯利岩、纯橄岩和橄辉岩共生；B类为角闪岩相石榴石；C类为蓝闪石片岩相石榴石；○-二辉岩中石榴石投影点；×-石榴石单辉岩中石榴石投影点；•-尖晶石单斜辉岩中石榴石投影点

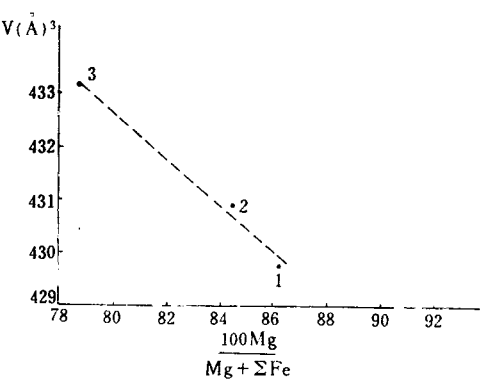


图 5 单斜辉石中 $\frac{100Mg}{Mg + \Sigma Fe}$ 与单位晶胞体积 (V) 关系图

(1) I-II-4 号样；(2) I-4-2号样；(3) I-II-27号样

表 6 本区辉石岩包体中斜方辉石、单斜辉石、角闪石、石榴石和尖晶石晶胞参数

矿物名称		斜方辉石	单斜辉石			角闪石					石榴石		尖晶石	
顺 序 号		1	2	3	4	5	6	7	8*	9*	10	11	12	13
样 号		I-4-2	I-II-4	I-4-2	I-II-27	I-002	I-II-27	I-4-2			I-II-4	I-II-27	I-II-4	I-II-27
晶胞参数	a (Å)	18.196	9.672	9.670	9.709	9.852	9.809	9.823	9.906	9.950	11.4957	11.5494	8.1004	8.1574
	b (Å)	8.779	8.811	8.847	8.847	17.956	17.955	17.910	17.986	18.14				
	c (Å)	5.179	5.255	5.251	5.253	5.292	5.285	5.273	5.265	5.33				
	β°		106.3	106.45	106.26	105.27	105.16	105.21	105.30	105.3				
	V (Å³)	827.3	429.8	430.0	433.2	903.2	898.4	895.2	904.7	928.0	1519.2	1540.6	531.5	542.8

由武汉地质学院北京研究生部X光分析室马喆生等分析。*8.9号样分别为韭闪石富镁端元和富铁端元，据W. G. Ernst⁽⁹⁾

(相机直径57.3mm；铁靶；工作电压32kV和电流9mA)，对a₀的求解采用了高精度的柯亨法^[8]。本区所获取的矿物晶胞参数和单位晶胞体积列于表6。

图 5 是辉石岩中单斜辉石的 Mg'值和单位晶胞体积关系图，从该图看出，单斜辉石的单位晶胞体积与Mg'值呈负相关，这一方面是由于铁含量的增加引起了单位晶胞体积的加大，另一方面是由于压力的降低所引起的。这说明了辉石岩包体中的单斜辉石单位晶胞体积的变化，主要决定于压力和岩浆组成。

辉石岩包体中的角闪石为韭闪石，其晶胞参数与W. G. Ernst (1968)^[9]获得的韭闪石富镁端

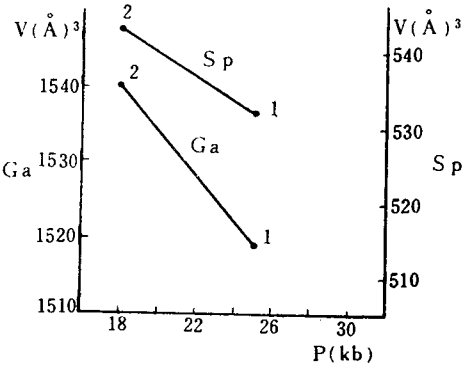


图 6 辉石岩包体中石榴石 (Ga) 尖晶石 (Sp) 单位晶胞体积 (V) 与形成压力关系图
(1) I-II-4 号样；(2) I-II-27号样

元的(表6)相近。从表3,该区韭闪石均含有一定量的铁而并非富镁端元。将其b轴与韭闪石富镁端元b轴比较,其长度均小,其体积亦小,表明本区角闪石是在高压条件下形成的。

用辉石岩中尖晶石、石榴石的单位晶胞体积(见表6)及其形成的压力(见表9)分别作图(图6),可看出,辉石岩中尖晶石、石榴石的单位晶胞体积与其形成的压力成反比。说明压力的增加,使尖晶石、石榴石的单位晶胞体积缩小。

二、辉石岩岩浆和辉石岩包体形成的热力学条件

(一) 辉石岩岩浆形成的热力学条件

通过对辉石岩的岩石化学和地球化学研究^[1],获得辉石岩和方辉橄榄岩在化学成分上有很好的互补关系,反映了辉石岩岩浆和方辉橄榄岩之间处于平衡。辉石岩和方辉橄榄岩之间稀土元素分配系数的计算结果^[1],也说明了辉石岩岩浆和方辉橄榄岩之间处于平衡。据此表明,辉石岩包体和方辉橄榄岩包体有成因联系,方辉橄榄岩是熔出辉石岩岩浆后的残余。这意味着,在辉石岩岩浆起源的源区,方辉橄榄岩和辉石岩岩浆曾处于热力学平衡。因此,利用矿物-熔浆平衡的热力学计算,可获得辉石岩岩浆起源的温压条件。本文采用了Carmichael等人提出的缓冲剂反应估算了本区辉石岩岩浆形成时的温压。根据Carmichael等给出的热力学参数^[2],本文利用了如下的缓冲反应^[2]:



首先用橄榄石-熔浆、辉石-熔浆平衡的实验成果^[2],算出1巴下岩浆结晶的橄榄石、辉石液相线温度和液相线矿物的理论组成,根据上述二者的平均温度,用斜长石-熔浆平衡,采用无 CaAl_2O_4 熔浆组分的模型,求出基质斜长石的理论组成。据此计算出了本区辉石岩岩浆的淬火温度和橄榄石、单斜辉石、斜长石的理论组成(表7)。

表7 本区辉石岩岩浆率火温度和基质组成

样号	I-II-4		I-II-27		I-4-2	
岩性	石榴石单辉岩		尖晶石单辉岩		二辉岩	
淬火温度(℃)	1235		1252		1292	
基质组成	Ol	Fo0.9529 Fa0.0471	Fo0.9448 Fa0.0552		Fo0.9540 Fa0.0460	
	Cpx	Ca0.6128 Hg1.3118 Fe0.0520 Al0.0234	Ca0.6222 Mg1.3024 Fe0.0610 Al0.0144		Ca0.3544 Mg1.5696 Fe0.0606 Al0.0154	
	Pl	Ab0.1815 An0.8185	Ab0.1951 An0.8049		Ab0.1247 An0.8753	

1) 据赵海玲,1983,广东普宁县麒麟上地幔岩包体及其寄主玄武岩的研究(武汉地质学院北京研究生部)。

2) 邓晋福,熔浆-矿物平衡热力学(武汉地质学院北京研究生部)。

根据表 7 所列数据, 算出 1 巴下熔浆组分的活度和熔浆自身的 ϕ_i 值¹⁾ (表 8)。然后根据与辉石岩岩浆平衡的方辉橄榄岩的矿物成分, 计算出各反应的 $\ln \pi a_{\text{sol}}$, 再根据相应的热力学参数即可求出各反应的 P, T 方程。根据这些方程作出相应的 P, T 曲线 (见图 7), 从而可交会出辉石岩熔浆和橄榄岩包体平衡时的 P, T (表 9)。据此可知, 辉石岩岩浆起源的温度、压力为: $T=1490-1570^\circ\text{C}$, $P=22-27\text{kb}$ 。

表 8

	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4(\text{Fe}_2\text{SiO}_4)$			$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$		
	$\ln \hat{X}$	$\ln a$	ϕ	$\ln \hat{X}$	$\ln a$	ϕ
I-II-27	-1.8288	-0.1131	-2586.1070	-0.7474	-0.5357	-882.8787
I-II-4	-1.8408	-0.0965	-2684.6005	-0.7702	-0.5502	-1010.8718
I-4-2	-1.3390	-0.0942	-2992.0114	-1.0300	-1.0907	-981.5875

	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$			SiO_2		
	$\ln \hat{X}$	$\ln a$	ϕ	$\ln \hat{X}$	$\ln a$	ϕ
I-II-27	-3.1316	-1.6342	3085.8813	-0.8278	4.0235	2155.8771
I-II-4	-3.0837	-1.7065	2774.0168	-0.8283	3.5545	1393.4168
I-4-2	-3.3115	-2.0818	2966.9789	-0.8479	4.0402	2340.5402

表 9

顺 序 号	平 衡 对	平 衡 条 件	
		$T(^{\circ}\text{C})$	$P(\text{kb})$
1	I-II-27~I-2-1	1570	27
2	I-II-27~I-005	1530	24
3	I-II-4~I-2-1	1500	24
4	I-II-4~I-005	1500	22
5	I-4-2~I-2-1	1500	26
6	I-4-2~I-005	1490	25

将辉石岩岩浆起源的温压投于图 8, 落在了橄榄岩固相线附近, 说明了该计算方法是合理的。并且表明, 当时该区上地幔的热状态相当于洋中脊地温^[10]。

(二) 辉石岩包体形成的热力学条件

笔者所收集适合于本区辉石岩的温压计, 多为石榴石-辉石的温压计。使用过程中感到其方法不甚成熟, 精度亦较差, 如 A. Raheim 和 H. Green (1974) 以及 Herzberg (1978), 从图 9 可见这两种方法所计算的 P, T 曲线差距较大, 两直线 (线 1 和线 2) 的斜率明显不同, 为避免较大误差, 用交会法来求解辉石岩形成的温压显然更为合理。本文采用了 Wood 和 Banno (1973) 二辉石地质温度计²⁾, Boyd (1966) 单斜辉石地质温度计²⁾, Wood 和 Banno (1973) 斜方辉石-石榴石地质压力计²⁾, A. Raheim 和 D. H. Green (1974) 石榴石-单斜辉石地质温度计^[11], Herz-

1) 邓晋福, 1983, 熔浆-矿物平衡热力学 (武汉地质学院北京研究生部)。

2) 邓晋福, 1980, 岩石物理化学 (武汉地质学院北京研究生部)。

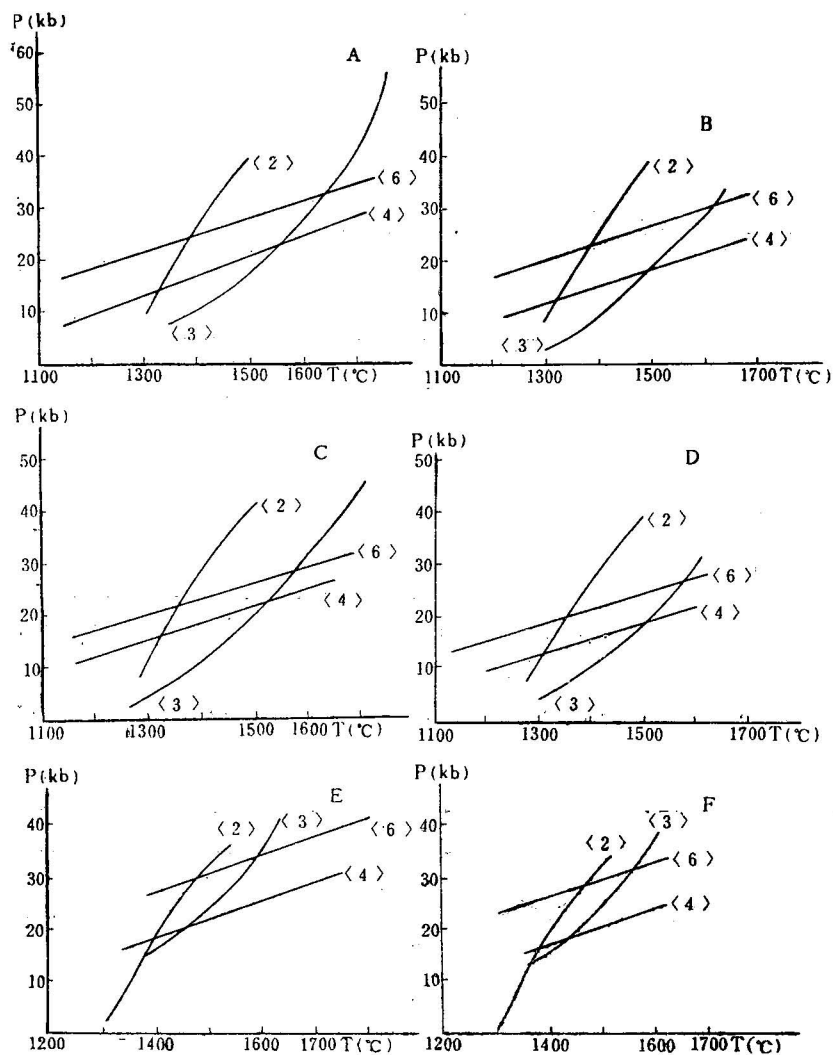
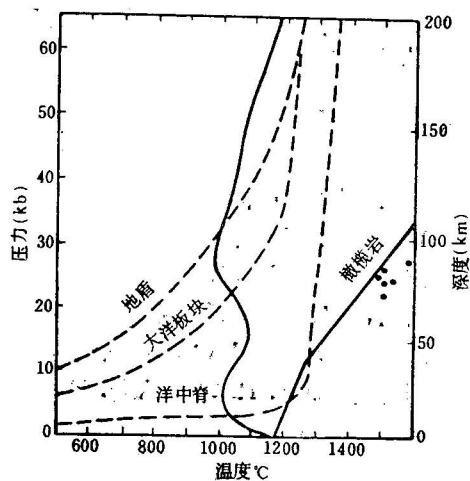


图 7 辉石岩包体与方辉橄辉岩包体平衡温压曲线

(A) I-II-27与I-2-1; (B) I-II-27与I-005; (C) I-II-4与I-2-1; (D) I-II-4与I-005; (E) I-4-2与I-2-1; (F) I-4-2与I-005; I-2-1和I-005均为方辉橄辉岩; <2><3><4><6>P.T. 曲线分别代表文中相应的缓冲反应

图 8 超镁铁岩与熔浆平衡时PT图解⁽¹⁰⁾
—本区辉石岩



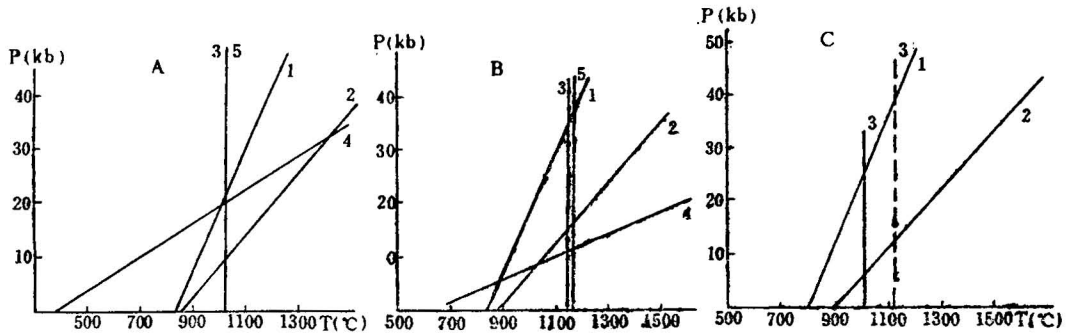


图 9 辉石岩包体固相线温压

1—A. Raheim和D. H. Green (1974) Ga-Cpx地质温度计；2—Herzberg (1978) Ga-Cpx地质压力计；3—Boyd (1966) Cpx地质温度计 (3'是由3外推而得)；4—Wood和Bonno (1973) Ga-Opx地质压力计；5—Wood和Bonno (1973) 二辉石温度计

A—二辉石岩 (I-4-2)；B—尖晶石单斜辉石岩 (I-II-27)；C—石榴石单斜辉石岩 (I-II-4)

berg (1978) 石榴石—单斜辉石地质压力计^[12]，计算的单变平衡曲线进行交会 (图 9)，所求出的辉石岩包体形成的温压：二辉岩 (I-4-2) 为 $T=1027^{\circ}\text{C}$ ， $P=20\text{kbar}$ ；尖晶石单辉岩 (I-II-27) 为 $T=1,100^{\circ}\text{C}$ ， $P=18\text{kbar}$ ；石榴石单辉岩 (I-II-4) 为 $T=1127^{\circ}\text{C}$ ， $P=25\text{kbar}$ 。

将上述辉石岩包体形成的温压投在图10上，可看出，二辉岩投影点落在角闪石稳定区，这与该样品中角闪石未发生分解的岩石学研究结果¹⁾相符合；尖晶石单辉岩的 P 、 T 投影点落在角闪石分解曲线上，是与岩石中角闪石普遍发生分解的现象相吻合的；石榴石单辉岩 P 、 T 投影点落在角闪石不稳定区，表明该岩石一直处于角闪石不稳定的物理化学环境下，不可能生成角闪石，这与岩石学研究时未见到角闪石是一致的。由上述可知，用交会法估算出的辉石岩形成温压和岩石学研究结果是相吻合的，从而说明该法的应用是合理的。同时，辉石岩形成温压为其生成于上地幔的论点提供了热力学依据。

将估算的辉石岩和二辉橄榄岩¹⁾ 形成的温压数据投在图11，可看出本区上地幔岩包体形成的

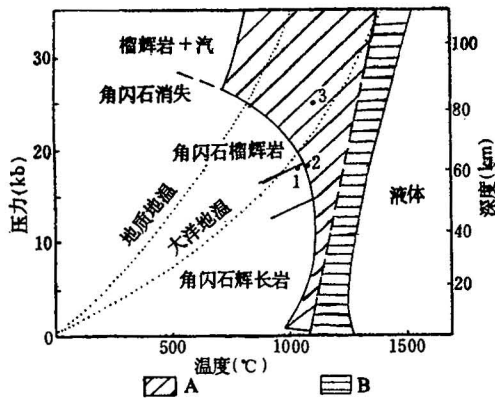


图 10 在0.1%水存在下辉石岩熔融图解 (Wyllie, 1970)^[13]

左侧弧形线为角闪石分解曲线；A—只可能有中性的微量液体存在；B—可产生基性熔体；·—本区辉石岩投影点；1—二辉岩 (I-4-2)；2—尖晶石单斜辉石岩 (I-II-27)；3—石榴石单斜辉石岩 (I-II-4)

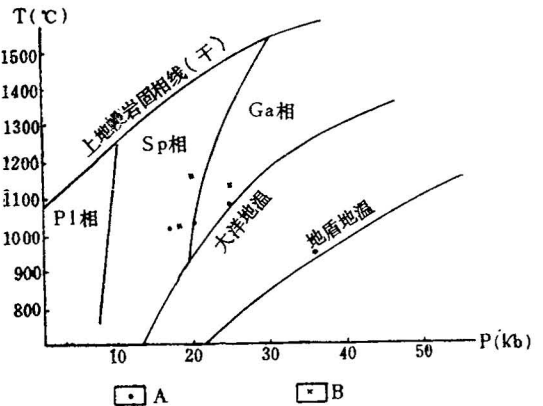


图 11 上地幔岩固相线、地温线及相变界限^[15]

A. 本区二辉橄榄岩包体；B. 本区辉石岩包体

温压集中在大洋地温线之上。若以包体平衡的温压代表该区上地幔的温压,则说明了本区上地幔具有大洋地温的特点,这与我国东部地区上地幔所具有的大洋地温特点^[14]是一致的。上地幔的这种高热状态可能是本区中生代以来处于构造活化的根本原因。

本文是作者硕士研究生论文的一部分,导师邓晋福副教授作了全面的指导,池际尚教授和鄂莫岚副研究员进行了审阅,工作中还得到杨凤华、马喆生、邵道乾和林培英等老师的帮助、褚良荣同志代为清绘图件,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 赵海玲, 1985, 广东普宁麒麟辉石岩幔源包体的岩石学特征. 岩石学报, 第1卷, 第1期。
- [2] 叶大年、从柏林主编, 1981, 岩矿实验室工作方法. 地质出版社。
- [3] Deer, W. A., 1978, Single-chain silicates. Vol. 2A, Second edition, Longman.
- [4] Compiled by Bernard E. L., 1978, Nomenclature of amphiboles. Amer. Miner., Vol. 63, No. 11-12, pp. 1023-1052.
- [5] Best, M. G., 1974, Mantle-derived amphibole within inclusions in alkaline-basaltic lavas. J. Geophys. Res., Vol. 79, No. 14, pp. 2107-2113.
- [6] Basu, A. R., 1975, Chromite spinels from ultramafic xenoliths. Geochim. et Cosmochim. Acta, Vol. 39, pp. 937-945.
- [7] Winkler, H. G. F., 1976, Petrogenesis of metamorphic rocks. Fourth Edition, Springer-Verlag.
- [8] 南京大学地质系矿物岩石学教研室编, 1980, 粉晶X射线物相分析. 地质出版社。
- [9] Ernst, W. G., 1968, Amphiboles. p. 61, Springer-Verlag, New York. Verlag,
- [10] Wyllie, P. J., 1979, Magmas and volatile components. Amer. Miner., Verlag, Vol. 64, pp. 469-500.
- [11] Roheim, A. and Green, D. H. 1974, Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene. Contrib. Miner. petrol., Vol. 48, No. 3, pp. 179-204.
- [12] Herzberg, C. T., 1978, The bearing of phase equilibria in simple and complex systems on the origin and evolution of some well-documented garnet-websterites. Contrib. Miner. Petrol., Vol. 66, No. 4, pp. 375-382.
- [13] 威利P. J., 1971, 动力地球学. 地质出版社。
- [14] 邓晋福、鄂莫岚、路凤香, 1980, 中国东部某些地区碱性玄武岩中包体的温度、压力的计算. 地质论评, 第38卷, 第2期。
- [15] A. E. 林伍德, 1975, 地幔的成分与岩石学. 地震出版社。

MINERALOGICAL CHARACTERISTICS AND FORMATION
CONDITIONS OF MANTLE-DERIVED PYROXENITE
XENOLITHS FROM QILIN, PUNING COUNTY,
GUANGDONG PROVINCE

Zhao Hailing

(Beijing Graduate School, Wuhan College of Geology)

Abstract

This paper deals with the mineralogical characteristics of mantle-derived pyroxenite xenoliths in basalts from Qilin, Puning county, Guangdong province, and the thermodynamic condition of their formation. The mineral assemblage of the pyroxenite xenoliths consist of orthopyroxene; clinopyroxene, amphibole, spinel and garnet. Orthopyroxene is bronzite, with a high Al_2O_3 content; clinopyroxene is Cr-poor diopside; amphibole is pargasite; spinel is Cr-poor spinel; garnet is pyrope.

Study of the unit-cell parameters of these minerals shows that the minerals in the pyroxenite were formed under high pressures and that the pyroxenite was formed by magmatic crystallization.

Thermodynamic calculation shows that the pyroxenitic magma originated at temperatures of $1490^{\circ}\text{--}1570^{\circ}\text{C}$ and pressures of 22–27 kb and that the pyroxenite was formed at temperatures of $1027^{\circ}\text{--}1127^{\circ}\text{C}$ and pressures of 18–25 kb.