

铜陵中酸性侵入岩同源 包体特征及岩浆动力学

周珣若 吴才来 黄许陈 张成火

(中国地质大学, 北京 100083) (安徽省地矿局 321 地质队, 铜陵 244033)

主题词 铜陵 浅源包体 深源包体 岩浆动力学

提 要 铜陵地区中生代中酸性侵入岩的钙碱性系列岩石中, 发育同源浅源包体 (闪长质微粒包体), 而碱性系列岩石中发育同源深源包体 (辉石岩和角闪石岩)。它们在矿物化学、稀土微量元素地球化学特征方面与其寄主岩石具有相似性, 但在形成的物理化学条件和岩浆动力学特征方面存在一定的差异。反映了它们是同源岩浆在不同岩浆作用阶段的产物, 即深源包体来自深位岩浆房中的堆积岩碎块, 而浅源包体则来自浅位岩浆房的冷凝边碎块。

1 概述

铜陵地区位于长江中下游铁、铜成矿带的中部, 区内燕山期中酸性侵入岩浆活动频繁, 构成宽约 25 km 的、近东西向的构造—岩浆活动带。出露的岩体产状为岩株、岩墙、岩床、岩枝等, 面积一般为 2—5 km², 最小者 < 1 km², 最大者约 10 km²。可分为碱性及钙碱性岩石系列: 前者岩石类型主要为辉石二长闪长岩、二长闪长岩、石英二长岩; 后者为石英二长闪长 (玢) 岩、花岗闪长 (斑) 岩、花岗斑岩。前者主要发育深源的同源包体 (辉石岩及角闪石岩包体), 以及异源的角岩、砂岩、矽卡岩包体等; 后者主要发育浅源的同源包体 (闪长质微粒), 以及异源的角岩包体等。

本文在对该区中生代中酸性侵入岩岩石学研究的基础上, 对不同系列岩石中的同源包体进行了专门研究。

2 包体特征及矿物化学

2.1 包体特征

深源包体: 球状—椭球状, 块状构造, 堆积及镶嵌结构。

1) 辉石岩包体: 黑色, 最大直径为 7 cm。主要矿物为单斜辉石 (粒度 6—8 mm), 含少量角闪石及富铝尖晶石。

2) 角闪石岩包体: 灰黑色, 最大直径为 25 cm。主要矿物为角闪石 (粒度 8—12 mm), 含少量辉石及黑云母。

本文于 1991 年 12 月收到, 1992 年 5 月改回。

本文得到国家计委及地矿部〈七·五〉国家科技攻关项目 (75—55—02) 及高等学校博士学科点专项科研基金的资助。

此外,与深源包体伴生的还有辉石及角闪石巨晶,其颜色、粒度等与深源包体中的同名矿物相似,它们有相同的成因。

浅源包体:为闪长质细粒块状构造,半自形粒状结构,绿灰色,。包体大小不一,大者可达 35 cm,小者几 cm,一般为 10—20 cm。除球状、椭球状外,并见棱角状者。

2.2 矿物化学

包体、巨晶及寄主岩中的主要造岩矿物为单斜辉石、角闪石、黑云母及长石,经电子探针分析,其化学成分及特征如下:

单斜辉石:包体、巨晶及寄主岩中的单斜辉石端员组分变化不大(表 1),皆属次透辉石。

表 1 辉石的阳离子系数及端员成分

Table 1 Cation coefficients and endmembers of pyroxene

顺 序 号		1	2	3	4	5	6	7
岩 石 名 称		寄 主 岩		深 源 包 体		巨 晶		
		辉石二长闪长岩	石英二长闪长岩	辉 石 岩				
以氧原子数为 6 计算的阳离子系数	Si	1.966	1.972	1.988	1.942	1.880	1.870	1.873
	Ti	0.017	0.020	0.001	0.015	0.022	0.024	0.024
	Al	0.069	0.061	0.016	0.160	0.190	0.160	0.182
	Fe	0.260	0.249	0.232	0.285	0.264	0.230	0.233
	Fe ³⁺	0.008	0.025	0.044	0.000	0.032	0.082	0.054
	Fe ²⁺	0.253	0.224	0.188	0.285	0.232	0.156	0.180
	Mn	0.027	0.026	0.014	0.008	0.010	0.007	0.007
	Mg	0.720	0.701	0.735	0.643	0.672	0.724	0.743
	Ca	0.890	0.902	0.951	0.882	0.932	0.941	0.898
	Na	0.040	0.063	0.057	0.021	0.027	0.031	0.031
	K	0.002	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	P	0.000	0.000	0.006	0.005	0.000	0.000	0.001
	Cr	0.000	0.000	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000
	Ni	0.003	0.000	0.000	0.002	0.003	0.004	0.008
	Σ	3.995	4.000	4.002	3.966	4.002	3.992	4.001
端 员 成 分	Wo	47.59	48.70	49.58	48.73	49.89	49.66	47.92
	En	38.50	37.86	38.32	35.52	35.98	38.20	39.65
	Fs	13.91	13.44	12.10	15.75	14.13	12.14	12.43

从辉石岩包体及辉石巨晶到寄主岩石的次透辉石, Si 与 Al^{IV}呈反相关; Si 愈多, Al^{IV}愈低,这与本区岩石酸度增大,结晶深度降低是一致的。

单斜透辉石在 Ti—Na—Al^{IV}图解(图 1)中的投点表明,深源包体及巨晶中的单斜辉石位于玄武岩浆中巨晶与堆积岩的辉石区,表明它们相当于中压条件下分离结晶的产物。

角闪石:包体及寄主岩中的角闪石均属钙质角闪石($(Ca+Na)_B \geq 1.34$, $Na_B < 0.67$, $Ca_B > 1.34$)(表 2)。在 Si—Mg/(Mg+Fe²⁺)图解(图 2)上投点表明:辉石岩包体中的角闪石为钙镁角闪石,角闪石岩中的角闪石及角闪石巨晶为钙镁闪石,闪长质微粒包体中的为镁角闪石,而寄主岩中的则为阳起角闪石。

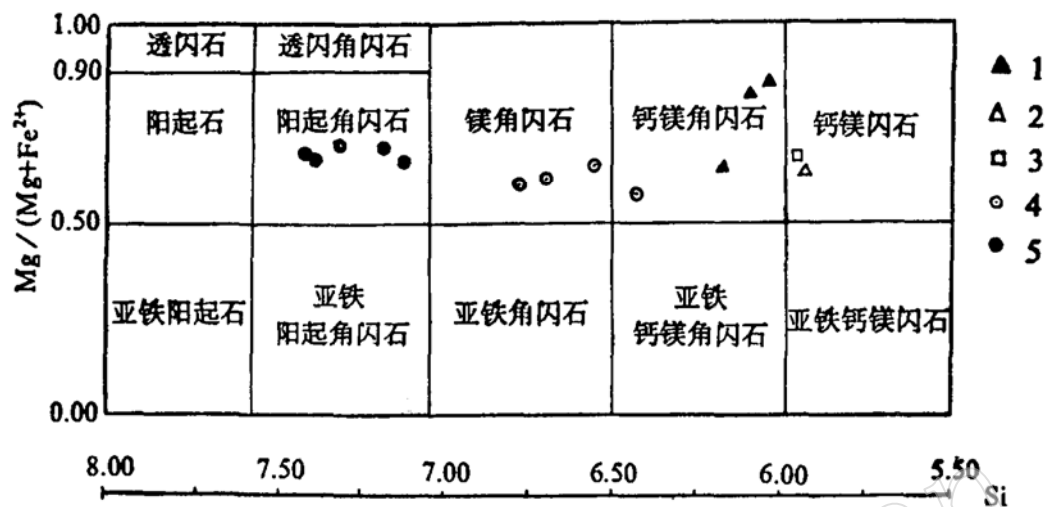


图 2 钙质角闪石成分投点 (据里克, 1978)

Fig. 2 Diagram showing composition of calc amphibole
1—辉石岩包体; 2—角闪石岩包体; 3—角闪石巨晶; 4—闪长质微粒包体; 5—寄主岩

表 3 黑云母的阳离子系数及端员成分

Table 3 Cation coefficients and endmember of biotite

顺 序 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
岩 石 名 称		寄 主 岩						浅源包体		深源包体	
		辉石二长闪长岩			石英二长闪长岩			闪长质细粒包体		角闪石岩	辉石岩
以氧原子数为 11 计算的阳离子系数	Si	2.874	2.870	2.894	2.935	2.747	2.997	2.742	2.780	2.874	2.858
	Ti	0.249	0.260	0.273	0.250	0.254	0.270	0.205	0.293	0.295	0.260
	Al	1.252	1.296	1.254	1.189	1.366	1.141	1.350	1.238	1.275	1.345
	Fe	1.150	1.090	1.076	1.065	1.248	1.132	1.263	1.322	1.204	1.081
	Fe ³⁺	0.371	0.323	0.271	0.324	0.481	0.181	0.250	0.467	0.212	0.297
	Fe ²⁺	0.778	0.768	0.805	0.741	0.768	0.952	1.013	0.856	0.992	0.285
	Mn	0.028	0.009	0.011	0.039	0.025	0.013	0.078	0.029	0.010	0.012
	Mg	1.345	1.457	1.503	1.524	1.383	1.481	1.748	1.345	1.406	1.464
	Ca	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.002	0.002
	Na	0.022	0.048	0.060	0.048	0.000	0.007	0.016	0.109	0.000	0.054
	K	0.958	0.936	0.896	0.940	0.953	0.940	0.567	0.853	0.925	0.924
	P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
	Cr	0.010	0.009	0.004	0.013	0.002	0.000	0.003	0.011	0.008	0.000
	Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.007	0.000	0.009	0.000	0.000
	Σ	7.887	7.976	7.972	8.003	7.948	7.989	7.995	7.990	7.999	8.003
端 员 成 分	Fe ³⁺	24.15	25.11	22.98	23.25	28.04	19.40	16.15	25.86	21.41	25.16
	Fe ²⁺	28.42	26.05	27.10	25.98	26.22	31.80	32.22	29.42	32.70	26.38
	Mg	47.43	48.84	49.92	50.77	45.73	48.80	51.62	44.71	45.89	48.46

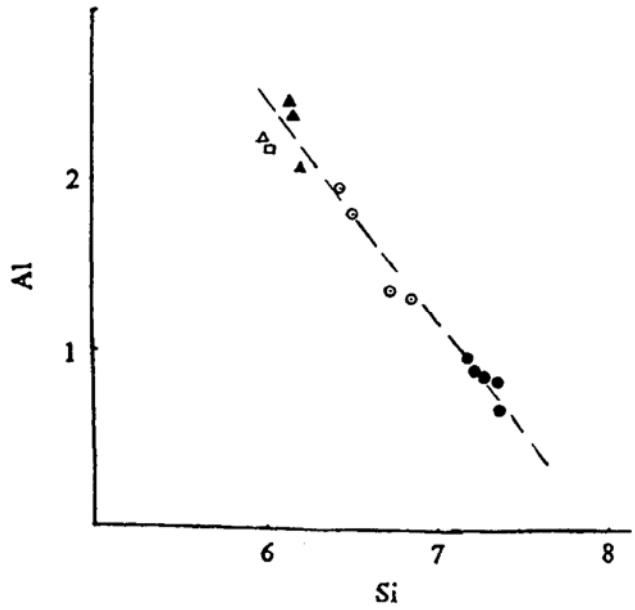


图 3 角闪石 Si—Al 变异图 (图例同图 2)

Fig. 3 Si—Al diagram of amphibole

表 4 长石的阳离子系数及端员成分

Table 4 Cation coefficients and endmember of feldspar

顺 序 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
岩石名称		寄 主 岩							浅 源 包 体			
		石 英 二 长 闪 长 岩							闪 长 质 细 粒 包 体			
矿物名称		斜 长 石				正 长 石			斜 长 石		正 长 石	
以氧原子数为 8 计算的阳离子系数	Si	2.700	2.660	2.651	2.756	3.033	2.936	2.987	2.658	2.704	3.029	3.020
	Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.030	0.009	0.002	0.002	0.000	0.000
	Al	1.293	1.381	1.348	1.244	0.967	1.043	1.002	1.325	1.285	0.960	0.968
	Fe	0.009	0.006	0.005	0.006	0.013	0.002	0.006	0.005	0.011	0.003	0.006
	Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
	Fe ²⁺	0.009	0.006	0.005	0.006	0.013	0.002	0.006	0.000	0.011	0.003	0.006
	Mn	0.001	0.000	0.002	0.000	0.002	0.010	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000
	Mg	0.009	0.007	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ca	0.337	0.300	0.343	0.276	0.000	0.000	0.003	0.334	0.283	0.000	0.000
	Na	0.592	0.550	0.610	0.664	0.082	0.077	0.092	0.668	0.689	0.114	0.093
	K	0.015	0.017	0.026	0.012	0.830	0.900	0.870	0.012	0.015	0.878	0.900
	P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	Cr	0.001	0.006	0.000	0.002	0.007	0.000	0.004	0.001	0.009	0.001	0.000
	Ni	0.001	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.003	0.005
	Σ	4.958	4.933	4.989	4.960	4.935	5.004	4.981	5.019	4.998	4.988	4.993
端 员 成 分 (%)	Or	1.54	1.96	2.66	1.26	91.01	92.12	90.16	1.18	1.52	88.51	90.63
	Ab	60.59	63.44	62.30	69.75	8.99	7.88	9.53	65.88	69.81	11.49	9.37
	An	34.49	34.60	35.04	28.99	0.00	0.00	0.31	32.94	28.67	0.00	0.00

为更中长石，呈板状；钾长石为正长石，呈它形粒状。

3 元素地球化学

3.1 稀土元素：辉石岩包体的稀土元素总量较低，而角闪石岩包体、闪长质微粒包体与寄主岩中者则较高（表 5）。但它们的稀土配分型式则基本相似（图 4），均为轻稀土富集、重稀土平缓型。说明它们应为同源岩浆产物。

由包体到寄主岩，随着 La 的增大，La/Sm 比值基本不变（图 5），表明它们还是同一母岩浆分离结晶作用的产物。

3.2 微量元素：由表 6 可见，闪长质微粒包体比其寄主岩中的 V、Cr、Co、Ni 高，Rb、Sr、Ba 低，均表明包体结晶较早，相容元素优先进入先晶出的暗色矿物中，而不相容元素则更多地留在熔浆中。

表 5 包体及寄主岩的稀土元素含量及有关参数
Table 5 REE contents and related parameters of inclusions and host rocks

顺 序 号		1	2	3	4	5	6	7
岩 石 名 称		寄 主 岩			浅 源 包 体		深 源 包 体	
		辉石二长 闪长岩	石英二长 闪长岩	花岗闪长岩	闪长质微粒包体		辉石岩	角闪石岩
稀 土 元 素 含 量 (ppm)	La	53.8	39.7	30.3	42.2	24.2	12.6	25.8
	Ce	99.9	75.7	57.2	80.0	47.9	28.6	58.4
	Pr	13.0	9.1	6.5	9.5	5.3	3.3	8.9
	Nd	45.0	32.1	23.6	33.6	23.1	14.0	37.6
	Sm	8.5	5.9	4.4	6.8	4.5	2.5	8.0
	Eu	2.2	1.5	1.2	2.3	1.3	0.5	2.4
	Gd	5.8	4.0	2.8	4.7	3.6	1.8	6.7
	Tb	1.0	0.6	0.4	0.7	0.6	0.3	1.1
	Dy	4.8	2.6	2.0	3.3	2.6	1.5	4.7
	Ho	1.0	0.5	0.4	0.6	0.5	0.3	0.9
	Er	2.3	1.3	1.0	1.6	1.2	0.8	2.2
	Tm	0.0	0.2	0.0	0.3	0.2	0.1	0.4
	Yb	2.3	1.2	0.9	1.5	1.1	0.7	1.7
	Lu	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3
	Y	23.8	13.7	9.6	16.6	11.0	7.6	20.6
	ΣREE	263.6	188.4	140.4	203.9	128.0	74.4	179.6
有 关 参 数	LREE/ HREE	5.40	6.77	7.18	5.91	4.90	4.10	3.67
	La/Yb	14.13	19.02	20.01	16.47	13.17	11.48	9.22
	δEu	0.99	0.99	1.05	1.30	1.05	0.82	1.07
	δCe	0.77	0.80	0.82	0.81	0.85	0.91	0.80
	La/Sm	3.97	4.19	4.29	3.90	3.33	3.19	2.00
	Ga/Yb	1.57	1.97	1.93	1.90	2.02	1.74	2.49

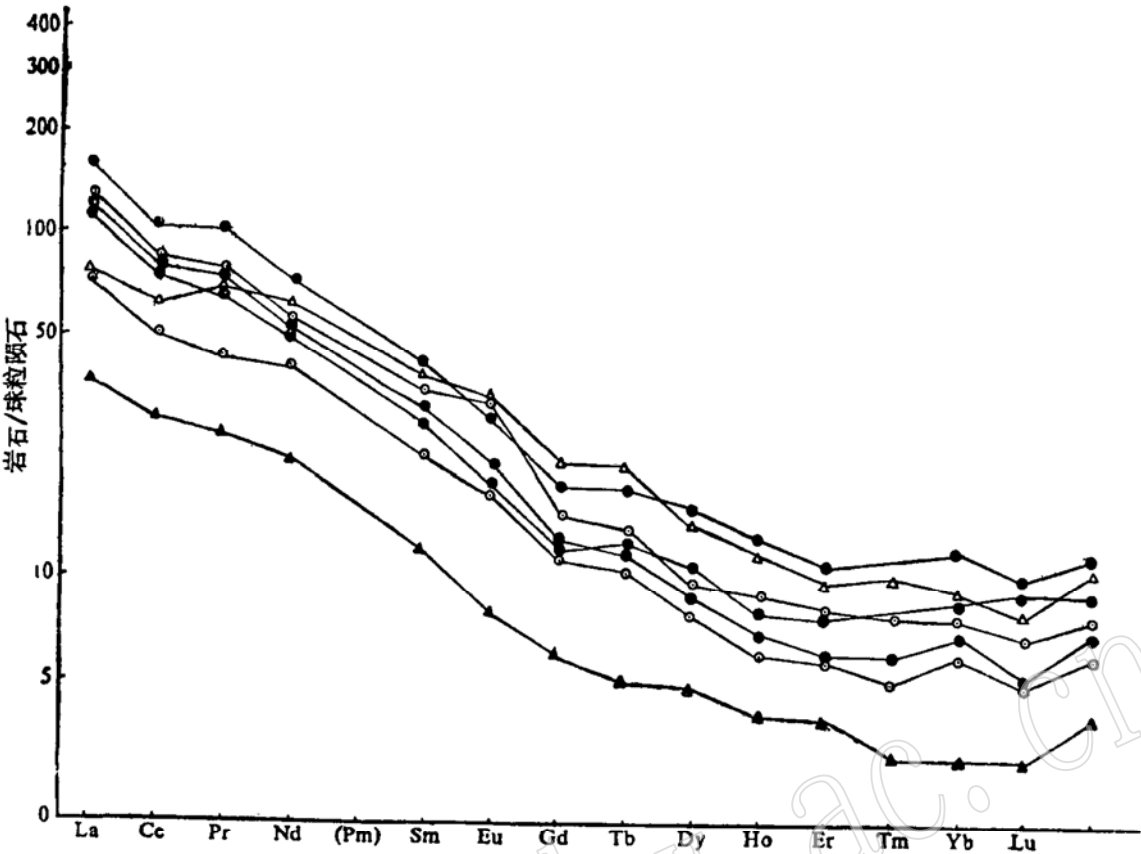


图 4 包体及其寄主岩稀土配分型式图

Fig. 4 Chondrite—normalized REE patterns of inclusions and host rocks
1—辉石岩包体；2—角闪岩包体；3—闪长质微粒包体；4—寄主岩

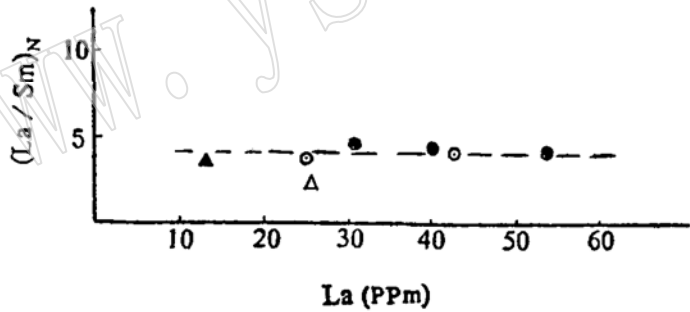


图 5 包体及寄主岩 $(La/Sm)_N$ —La 图

Fig. 5 $(La/Sm)_N$ —La diagram of inclusions and host rocks

表 6 包体及寄主岩中微量元素含量

Table 6 Trace element contents of inclusions and host rocks

产地	编号	微量元素																
		V	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Au	W	Sn	Mo	Bi	Nb	Rb	Sr	Ba	Th
铜官山	1	3.28	102.0	20.1	32.4	230	27.1	96.5	0.0012	0.83	1.71	1.38	0.08	12.9	36.2	870	564	8.9
	2	2.00	13.7	9.1	12.3	123	22.1	40.3	0.0056	0.83	1.35	1.31	0.08	14.3	72.1	1089	1015	12.2

1—闪长质微粒包体（浅源包体），2—石英二长闪长岩（寄主岩）

4 包体形成的温度及压力条件

根据矿物化学资料, 进行地质温度计及压力计估算 (表 7)。

表 7 包体及寄主岩结晶温度、压力计算结果

Table 7 Crystallization temperatures and pressures of inclusions and host rocks

包体及 寄主岩		温 度 计 (℃)			压 力 计 (GPa)			
		单斜辉石 (据邱家骥, 1987)	角 闪 石 (据D. H. Green, 1976)	平均 (℃)	单斜辉石 (据邱家骥,1987)	角 闪 石 (据Hammarstran, 1987)	角闪石—黑云母 (据AH Cuuoho- ba, 1979)	平均 (GPa)
深源包体		1112—1134	1128—1130	1126	0.71—0.91	0.68—0.86	0.69—0.90	0.80
矿物巨晶		1128	1008	1068	0.86	0.76	—	0.81
浅源包体		—	992—1001	997	—	0.29—0.56	0.31—0.54	0.43
寄 主 岩	A	1009—1047	—	1032	0.07—0.12	0.04—0.08	—	0.08
	B	—	978—982	980	—	0.04—0.10	0.70—0.09	0.07

A—辉石二长闪长岩, B—石英二长闪长岩

4.1 温度 由包体和寄主岩中辉石、角闪石温度计估算的结晶温度 (表 7) 可知: 深源包体及巨晶的温度较高, 浅源包体次之。而寄主岩温度最低。

4.2 压力 由辉石、角闪石、黑云母压力计计算的包体及寄主岩结晶压力 (表 7) 可知: 深源包体及巨晶的压力最大, 浅源包体的压力次之, 它们的寄主岩压力最小。以 $0.1 \text{ GPa} = 0.33 \text{ km}$ 估算, 它们结晶时的深度分别为 22—30 km、10—20 km、1—3 km。已知本区莫霍面深度约为 32 km, 康氏面深度约为 20 km。不难分析, 本区深源包体结晶的深度相当于下地壳范围内的深位岩浆房; 浅源包体结晶的深度相当于上地壳下部的浅位岩浆房; 而包体的寄主岩则侵位于上地壳上部, 相当于浅成相的侵入岩。

根据上述 T 、 P 计算结果, 投绘了包体、巨晶及寄主岩的 T — P 图解 (图 6)。不难看出, 本区深源包体 (包括巨晶) → 浅源包体 → 寄主岩, 压力明显地可分为三段。它反映了深、浅岩浆房及侵位的三个深度, 也反映了岩浆成分的不同酸度 (玄武质、安山质、安山流纹质)。

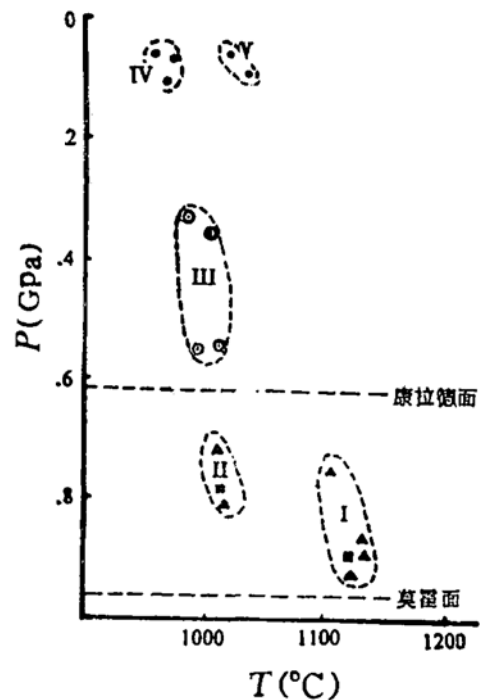


图 6 包体和寄主岩 T — P 图解

Fig. 6 T — P diagram of inclusions and host rocks

深源包体: I—辉石岩包体及辉石巨晶; II—角闪石岩包体及角闪石巨晶; 浅源包体: III—闪长质微粒包体; 寄主岩: IV—石英二长闪长岩; V—辉石二长闪长岩

从包体的岩相学、矿物化学以及地球化学综合分析可知：深源包体为下地壳深位岩浆房的堆积岩被寄主岩浆携带上来的碎块，这种深位岩浆房的厚度约为7.6 km（压力变化范围0.23 GPa）；浅源包体则为上地壳下部浅位岩浆房冷凝边的破碎产物，该浅位岩浆房的厚度约为8.9 km（压力变化范围0.27 GPa）；浅成相的岩体直径大小约为2 km（压力变化范围为0.06 GPa）。

5 包体形成的岩浆动力学机制

根据包体及寄主岩的化学成分，按 Y. Bottinga 等（1970）方法^[2]、H. R. Shaw 阿氏关系法^[3]，可计算岩浆的密度（ ρ_1 ）、岩石与包体的密度（ ρ_s ）及岩浆的粘度（ η ），如表8所列。下面就岩浆动力学方面的问题，进行定量估算与成因分析。

深部岩浆房中辉石、角闪石晶体能否下沉及下沉速度问题：深部岩浆房中结晶的辉石、角闪石能否下沉形成堆积岩，主要取决于岩浆的粘度（ η ）、晶体的大小（ r ）、晶体与岩浆的密度差（ $\Delta\rho$ ）和岩浆的屈服强度（ σ_0 ）。Maaloe. S（1985）^[4]认为晶体在岩浆中下沉，必须克服岩浆的屈服强度，即 $r \times g \times \Delta\rho/3 > \sigma_0$ （ g 为重力加速度）。本区深位岩浆房中基性岩浆的屈服强度（ σ_0 ）为 3 Nm^{-2} （ $\sigma_0 = k_1 x^3$ ， k_1 为具应力量纲常数， x 为岩浆中所含球状晶体的体积份数）^[5]。根据包体中辉石、角闪石的大小计算出的 $r \times g \times \Delta\rho/3$ 分别为12.25和13.13，即均大于 σ_0 （ 3 Nm^{-2} ）。所以，深位岩浆房中早期结晶的辉石、角闪石完全可以克服岩浆的屈服强度而下沉成为堆积岩，尚未下沉者即为巨晶。

表 8 包体及寄主岩成分、密度、粘度计算结果

Table 8 Composition, density and viscosity of inclusions and host rocks

氧 化 物	寄 主 岩		浅 源 包 体	深 源 包 体	
	辉石二长闪长岩	石英二长闪长岩	闪长质微粒包体	辉石岩包体	角闪石岩包体
SiO ₂	53.09	62.68	54.63	46.62	39.78
TiO ₂	1.14	0.56	1.04	0.73	2.95
Al ₂ O ₃	17.98	16.78	15.82	7.35	13.12
Fe ₂ O ₃	3.59	1.92	4.24	1.16	4.66
FeO	4.51	2.19	3.90	7.22	7.23
MnO	0.09	0.09	0.06	0.29	0.15
MgO	2.80	1.46	4.70	11.40	12.95
CaO	8.93	5.29	7.06	22.86	11.85
Na ₂ O	4.24	4.89	4.67	0.35	2.45
K ₂ O	3.14	2.83	1.69	0.04	1.08
P ₂ O ₅	0.52	0.28	0.27	—	0.01
H ₂ O	0.76	0.53	0.92	—	—
Σ	100.79	99.50	99.00	98.02	96.23
$\rho_s(10^3 \text{ kgm}^{-3})$	2.84	2.67	2.85	3.21	3.23
$\eta(\text{Pa}\cdot\text{s})$	610.80	25645.04	—	—	—
$\rho_1(10^3 \text{ kgm}^{-3})$	2.53	2.42	—	—	—

注：深源包体按辉石、角闪石的电子探针分析结果估算，其余均为全岩化学分析结果。

含有晶体的岩浆属非牛顿型熔体,故晶体下沉的速度按 $U_c = 2g\Delta\rho(\gamma - 15\sigma_0/4g\Delta\rho)^2/9$ 公式^[5]计算。其结果为:辉石、角闪石下沉的速度分别为1.44米/秒和1.13米/秒。若深位岩浆房的垂直厚度为7.6 km,则从中部下沉到底部形成堆积岩,分别需要109天22小时和140天3小时。由此可见,辉石下沉速度比角闪石快,再结合辉石结晶早于角闪石的特点,辉石岩应先堆积,而后堆积角闪石岩。

浅部岩浆房中岩浆对流后的成分变化及对流速度问题: 由于岩浆房中心及其边部的散热速度和结晶速度的差别,所以存在着温度差(ΔT)和成分浓度差(ΔC),导致岩浆产生双扩散对流作用,其中温度差的影响更为显著。在水平方向上,岩浆的对流加速了冷凝速度,尤其是加速了岩体边部的结晶速度、形成岩浆房的冷凝边。岩浆房冷凝边的形成,是岩浆对流条件下索列效应的产物。岩浆对流过程中,不同组分的索列系数(σ)不同, $\sigma < 0$ 的组分从岩浆房边部向中心运移, $\sigma > 0$ 的组分则相反。本区浅位岩浆房中,各组分的索列系数按 $\Delta C/C_0 = \sigma \times \Delta T$ 进行了计算(ΔC 为对流前后组分浓度差, C_0 为对流前原始浓度),则 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 MgO 、 CaO 的索列系数分别为 -7.67×10^{-3} 、 -3.03×10^{-3} 、 -2.36×10^{-3} 、 -3.37×10^{-2} 、 2.47×10^{-2} 、 3.45×10^{-2} 、 1.25×10^{-2} 。可见, SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 趋向于向岩浆房中心移动,而 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 MgO 、 CaO 则向岩浆房边部移动,最终导致基性的冷凝边形成。在垂直方向上,岩浆能否发生对流及冷凝边能否形成,则取决于无量纲瑞利数(R_a)的大小。当 $R_a > 1700$ 时,岩浆才能发生对流($R_a = L^3 \alpha \beta \rho g / \mu k$, L 为垂直厚度, α 为等压热膨胀系数 $1/\rho(\partial\rho/\partial T)_p K^{-1}$, β 为垂向上的温度梯度,即 $\Delta T/L$, K 为岩浆热扩散系数)。本区浅位岩浆房的 $R_a = 7.9 \times 10^{13}$,远远大于1700,所以在垂直方向上岩浆也发生对流。岩浆的对流速度按 $U_0 = 0.258 K/LR_a^{1/2}$ 计算,求得浅位岩浆房中岩浆的对流速度为 0.0166 cm/S 。

寄主岩浆上升速度及冷凝速度问题: 寄主岩中所含包体的大小与岩浆上升速度有关,只有岩浆的上升速度大于包体的下沉速度时,包体才能从深处被携带到地壳浅处。因此,包体的下沉速度可以代表岩浆上升的最小速度。

本区碱性系列的辉石二长闪长岩,是深部岩浆房中玄武岩浆分离结晶成堆积岩之后,其残余岩浆侵位到地壳浅处冷疑结晶的产物。岩浆在上升过程中,温度降低,晶体含量增多,其有效粘度(U_e)和屈服强度相应地增大。因此,按公式 $U_e = U_0(1 - 1.67C)^{-2.5}$ 计算出有效粘度为 $825.18 \text{ Pa}\cdot\text{S}$,并取其屈服强度为 80 Nm^{-2} ^[5],岩体中的深源包体最大直径为20 cm,按公式 $U = 0.222 g\Delta\rho/\eta(R - 15\sigma_0/4g\Delta\rho)^2$,可计算出该岩浆上升的最小速度为10.29米/小时,即从深部岩浆房(平均深度26.2 km)携带深源包体上升到岩体的最浅处(1 km),约需102天1小时。侵位后冷疑结晶时间(按 $t = 4.4 \times 10^{-3} L^2/K$ 计算^[6], L 为岩体冷热边界层之间的距离)为1116年67天(岩体出露面积约 3 km^2 , L 为2000 m)。

钙碱性系列的石英二长闪长岩,为浅部岩浆房中分离结晶基性冷疑边后,其残余岩浆侵位到地壳浅处的冷疑结晶产物。闪长质微粒包体为浅部岩浆房冷疑边的碎块,其最大直径为35 cm,按上述岩浆上升速度公式计算,可求得其岩浆上升速度为 0.972 m/小时 。岩浆从浅处岩浆房(平均深度14.02 km)上升到地壳浅处(深1 km)约2511年152天(岩体出露面积约 7 km^2 , L 为3000 m)。

可见,碱性系列岩浆上升速度及岩浆侵位后的冷疑速度均比钙碱性系列岩浆快。

综上所述,可以得出如下结论:

- 1) 包体及其寄主岩均为岩浆成因,属同源岩浆分离结晶的产物。
- 2) 寄主岩形成的温度为 980—1032℃,侵位深度为 2—3 km,属浅成相侵入岩。
- 3) 深源包体形成的温度较高 (1112—1134℃),深度较大 (22—30 km),相当于下地壳环境。玄武质母岩浆早期分别结晶的辉石、角闪石巨晶,多数能够下沉形成堆积岩,然后又被残余岩浆冲碎并携带到地壳浅处侵位。残余岩浆的上升速度为 10.29 米/小时。侵位后冷凝时间为 1116 年 67 天。
- 4) 浅源包体形成的温度较低 (992—1001℃),深度较大 (10—18 km),相当于上地壳环境。推测该包体是浅位岩浆房的冷凝边,被寄主岩浆冲碎、携带并侵位到地壳浅处。该寄主岩浆的上升速度为 0.972 米/小时,侵位后的冷凝结晶时间为 2511 年 152 天。

参 考 文 献

- 1 邱家骥等.中国东部新生代玄武岩中低压单斜辉石的矿物化学及岩石学意义.岩石学报,1987,3(4):1—9.
- 2 Bottinga Y and Mell D F. Densities of liquid silicate systems calculated from partial molar volumes of oxide components. Am. J. Sci. 1970, 269, 169—182.
- 3 Shaw H R. Viscosities of magmatic silicate liquids: An empirical method of prediction. Am. J. Sci. 1972, 272: 870—893.
- 4 马昌前.岩浆活动中某些动力学参数的估算方法.地质科技情报,1986,5(3):47—54.
- 5 马昌前.硅酸盐熔体的粘度、密度及其计算方法.地质科技情报,1987,6(2):142—150.
- 6 马昌前.结晶分异作用的岩浆动力学条件.地球科学,1989,14(3):245—251.

Characteristics of Cognate Inclusions in Intermediate-Acid Intrusive Rocks of Tongling Area and Their Magmatic Dynamics

Zhou Xunruo, Wu Cailai

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Huang Xuechen, Zhang Chenghuo

(No. 321 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province)

Key words: Tongling; shallow-source inclusion; deep-source inclusion; magmatic dynamics

Abstract

The Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks in Tongling area have within them lots of cognate inclusions, with rocks of calc-alkaline series contain-

ning shallow-source inclusions(particulate dioritic ones)whereas those of alkaline series containing deep-source inclusions(pyroxinite and hornblendite ones). These inclusions are similar to their host rocks in mineral chemistry and geochemistry of rare earth elements and trace elements but somewhat different from them in physical-chemical conditions for their formation and magmatic dynamic features. This suggests that they are comagmatic products formed under different conditions, that is, the shallow-seated inclusions came from the chilled border of the upper magmatic chamber while the deep-seated inclusions from the accumulative rocks of the lower magmatic chamber.

www.yskw.ac.cn