

铜陵鸡冠山岩体中的堆晶淬冷包体

邢凤鸣 徐 祥

(安徽省地质科学研究所, 合肥 230001)

主题词 堆晶淬冷包体 辉石岩 铜陵鸡冠山

提 要 安徽省铜陵市鸡冠山岩体中发现一种新型的岩石包体——堆晶淬冷包体。这是一种辉石堆晶岩, 中粒, 含辉石80%, 磷灰石8%, 磁铁矿4%, 基质8%。基质只存在于部分辉石粒间, 以斜长石为主, 细粒结构, 向包体边缘变为微粒结构的淬冷边。这是辉石等矿物堆积后, 粒间熔体尚未固结时, 被对流岩浆冲碎带向浅部骤冷形成的。包体与寄主岩石具有一致的辉石成分和Nd、Sr同位素初始比值, 表明包体属同源包体。

安徽铜陵地区中生代侵入体中, 发现较多的岩石包体, 以闪长质暗色包体为主, 也见到少量超镁铁质岩石包体——辉石岩包体。我们在鸡冠山岩体中发现的磷灰石辉石堆积岩就属于后者。因为堆晶辉石粒间的基质具明显的淬冷结构, 是一种未见报导有特殊成因意义的岩石包体, 故介绍如下, 并对其成因机制做一讨论。

1 堆晶淬冷包体辉石岩的岩石学特征

辉石岩包体产于碱长辉长岩中, 黑色似球形, 直径10cm左右, 与寄主岩石分界清楚。镜下观察, 辉石约占80%, 短柱状, 自形到半自形, 长2—6mm, 淡绿色, 多色性很弱, 二轴正晶, $2V$ 近 60° , 正延长, $CANg=42^\circ$, 最高干涉色可达二级, 属透辉石, 包含自形到半自形磷灰石和磁铁矿。探针分析, 其端员组分为 $W_o=48.7-49.9$, $E_n=35.5-38.2$, $F_s=12.1-15.8$, 与寄主岩石中的辉石成分一致($W_o=47.6-49.6$, $E_n=37.8-38.5$, $F_s=12.1-13.9$)^[1]。磷灰石占8%±, 自形到半自形柱粒状, 长0.5—2.0mm, 比较粗大, 大部被辉石包裹(照片1), 少数在基质中呈斑晶出现(照片3)。磁铁矿占4%±, 自形到半自形粒状, 0.1—0.5mm, 有时与磷灰石共边, 亦被辉石包裹(照片1)。岩石具增堆积结构, 部分辉石粒间有细粒基质矿物存在(不是间隙矿物, 后述)(照片2、3), 以板条状斜长石为主, 长0.1mm±, 伴生有少量辉石、磷灰石、磁铁矿及微量黑云母、榍石、绿帘石等(照片D)。基质矿物向岩石包体边缘变细, 成为微粒集合体, 粒径0.03mm±, 即淬冷边, 厚度约2—3mm(照片3、4)。这明显是二阶段结晶的产物。堆晶辉石与基质矿物的粒度相差1—2个数量级。

寄主岩石为碱长辉长岩, 主要由斜长石($An=45\%\pm$), 次透辉石和钾长石组成, 中细粒辉长—辉绿结构。四个薄片的平均矿物含量见表1。从表1可以看出, 辉石岩包体与寄主

本文为国家八五科技攻关课题85-901-03-04的部分内容。
本文于1993年11月收到, 1994年2月改回。

表 1 辉石岩与寄主碱长辉长岩的矿物组成(%)
Table 1 mineral compositions of pyroxenite and host
alkali-feldspar gabbro

岩 石	斜长石	辉 石	钾长石	磷灰石	磁铁矿	黑云母	榍石	其它
辉石岩	8	80		8	4			
碱长辉长岩	63	16	13	0.3	3.5	4	0.1	0.1

岩石在矿物组成上有明显的差别。辉石岩的矿物成分十分简单,这正是堆积岩的基本特征。如果不考虑基质矿物(它们不是堆晶相),其矿物组成只有辉石、磷灰石和磁铁矿三种,它们都是寄主岩石的早期结晶相。另一个重要特点是二者都不含角闪石。

2 堆晶淬冷包体辉石岩的地球化学特点

辉石岩包体(AC-49)与寄主岩石碱长辉长岩(AC-213)的岩石化学、微量和稀土元素丰度及Nd、Sr同位素组成,列于表2。

据周泰禧等^[2]安徽沿江及皖南地区中生代侵入岩大致集中在二个年龄段:137—140Ma和122—125Ma,铜官山地区为137Ma,属第一个年龄段,故鸡冠山岩体取137Ma。后者与铜官山岩体一样,形成重要的矽卡岩型铜矿床。

从表2可以看出,辉石岩包体有独特的化学组成,不同于任何种属的已知岩浆岩,因而不可能是某种独立岩浆的冷却产物。其SiO₂的含量为42%,应属于超基性岩,但低的MgO含量和高的P₂O₅丰度,相当低的Cr、Ni和Co的丰度,以及REE的高含量和右倾的配分型式,又与一般的超基性岩大相庭径。这些都与其独特的矿物组成有关。CaO含量高与次透辉石与磷灰石有关;P₂O₅与REE含量高与磷灰石有关;而中稀土丰度较高则主要是辉石的影响;占12%±的磷灰石和磁铁矿几乎不含SiO₂,导致岩石的SiO₂含量偏低。MgO与Cr、Ni的丰度低,是安徽沿江中生代侵入岩的共同特点,估计与橄榄石和斜方辉石的早期分离有关,形成鸡冠山岩体及辉石堆积岩的岩浆已不是原始岩浆,而是经过早期结晶分离后的产物,正因为如此,当岩浆结晶时,正处在CaO浓度最高的时候,所以有大量富钙的次透辉石结晶出来,形成辉石堆积岩。当辉石堆积岩形成,岩浆中ΣFe、MgO、CaO、P₂O₅明显降低,而SiO₂、Al₂O₃、Na₂O和K₂O则明显增高,这正是寄主岩石所具有的特点。

过渡族金属元素在辉石岩中的丰度,高于在寄主岩石中的丰度,但在Mason球粒陨石值标准化过渡族元素配分型式图上,二者具有相似的配分型式,均具有Cr、Ni、Co负异常的W型,唯寄主岩石的负异常更大。W型的配分型式表明它们都是岩浆成因。值得注意的是,包体和寄主岩石都具有比一般岩石更大的Cr、Ni负异常,异常值达0.006—0.0003之间(图1),这种情况,只有简单分离结晶作用才能达到,而AFC模式,会随着分离结晶的进行,Cr、Ni经常可以达到一个稳定值而不会无限制地减少下去^[3]。

辉石堆积岩与寄主岩石有相似的稀土元素配分型式和铈异常(图2),但与过渡元素相反,寄主岩石的REE丰度比堆积岩高,这可能与寄主岩石高钾富碱有关。安徽沿江地区,

表 2 鸡冠山岩体堆晶淬冷包体(AC-49磷灰石辉石岩)和寄主碱长辉长岩(AC-213)成分表
 Table 2 Compositions of cumulate-quenched inclusion(AC-49,apatite pyroxenite)
 and host alkali-feldspar gabbro(AC-213)from Jiguanshan pluton

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	H ₂ O ⁺	CO ₂	总量	Rb	Sr	Ba	Rb/Sr	Sm/Nd
AC-49	42.07	1.52	7.63	6.42	6.84	0.26	9.38	19.99	1.47	0.22	2.32	0.82	1.26	0.55	100.75	8	408	81	0.020	0.209
AC-213	52.35	1.21	17.31	4.56	3.23	0.18	3.11	9.41	4.14	2.70	0.65	0.17	0.30	0.18	99.50	68	1426	755	0.048	0.186
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sc		
AC-49	31.9	61.05	34.53	8.99	2.36	0.87	1.65	0.21	8265	312	21.4	1407	83600	29.0	13.5	32.4	113	36.2		
AC-213	68.99	136.8	55.68	9.99	2.78	1.30	2.46	0.39	7106	168	16.5	1059	52200	17.3	4.19	111	114	11.5		
	年龄 (Ma)	Sm	Nd	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{142}\text{Nd}}$	INd	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	Sr	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	ISr	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	Sr	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	ISr	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$
AC-49	137	8.72	41.82	0.1260	0.512065 ± 19	0.511952	-10.0	12.626	189.77	0.07431	0.70693 ± 5	0.70679	+34.8							
AC-213	137	7.05	37.97	0.1122	0.512024 ± 14	0.511923	-10.5	71.802	1101.8	0.18786	0.70741 ± 2	0.70704	+38.3							

注: 单位: 常量元素 × 10⁻², 微量元素 × 10⁻⁶, 岩石全分析: 安徽省地质实验研究所李文华等; 微量元素, 北京国家地质实验测试中心, 陶松娇, ICP-AES, RFE, Rb, Sr, Ba; 成都地质学院马英杰, 中子活化分析; 同位素分析: 宜昌地质矿产研究所同位素室李志昌(Nd)、沈利辉等(Sr)。

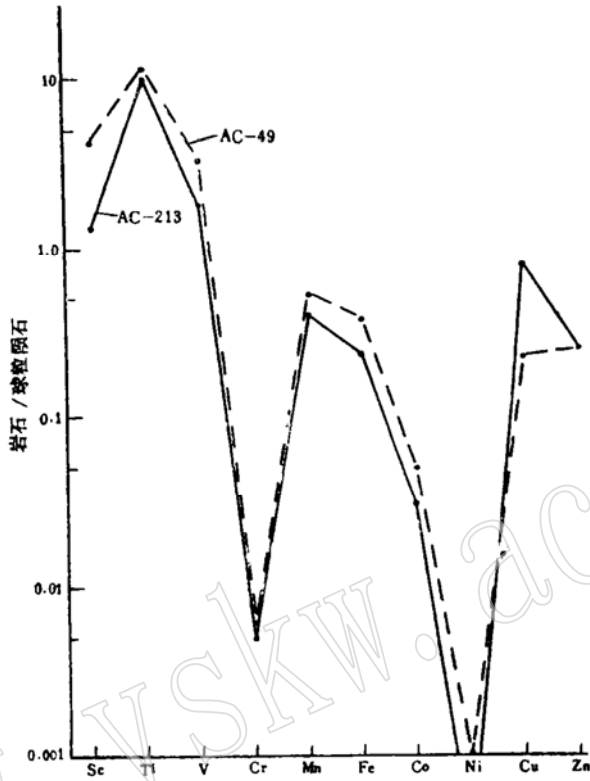


图 1 过渡族元素球粒陨石标准化配分型式

Fig. 1 Chondrite-normalized transition element patterns

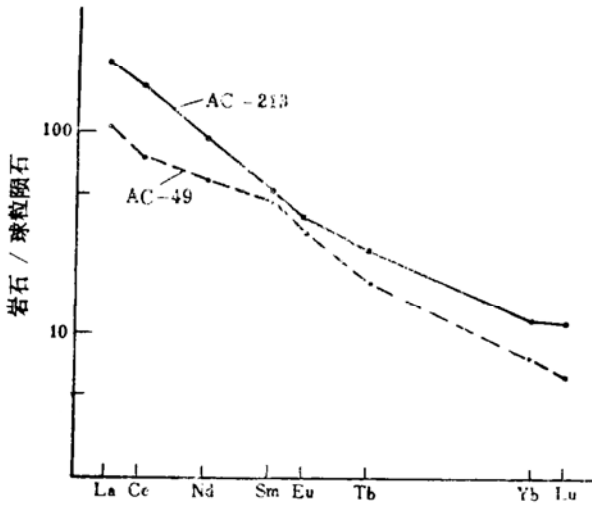


图 2 球粒陨石标准化REE配分型式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns

无论是侵入岩还是火山岩，钾碱度与REE丰度正相关，具有普遍性。中科院地化所在研究华南花岗岩时得出结论^[4]，一般富含稀土元素及其矿物的花岗岩，其 $(K+Na)/Al$ 均高于0.8，而 $(K+Na)$ 值主要取决于K。多元回归计算也表明稀土元素与钾有着更密切的关系。

二个样品的Nd和Sr同位素比值由地矿部宜昌地质矿产研究所同位素室测定。 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 的分析误差均为 2σ 。Sr和Nd的同位素比值分别标准化到 $^{86}Sr/^{88}Sr=0.1194$ 和 $^{146}Nd/^{144}Nd=0.7219$ 。同位素分析获得的一个重要的结果是岩石包体与寄主岩石具有几乎一致的Nd和Sr的同位素初始比值(表2)，表明它们是同一岩浆分离结晶的产物。

3 讨论和结论

3.1 辉石岩包体是岩浆分离结晶作用形成的堆积岩包体 堆积岩的基本特点是矿物成分简单，具堆积结构。鸡冠山岩体的辉石岩包体的矿物成分简单，只有次透辉石、磷灰石和磁铁矿，它们都是母岩浆的早期结晶相。辉石岩的结构主要是由辉石组成的增堆积结构(照片1)。

除了堆晶之外，在辉石粒间有时有微细粒矿物充填，以斜长石为主，伴生少量辉石、磁铁矿、磷灰石、榍石等。后者与堆晶大小悬殊，相差1到2个数量级(照片2、3)，明显是二阶段结晶的产物，因而它们不是堆晶岩中常见的间隙矿物，而是基质。我们知道，间隙矿物是堆积晶体之间未排除掉的粒间熔体结晶的产物，它在堆晶间分布较均匀，成分较简单，与堆晶同源、同地、准同时结晶，粒度常比堆晶大，往往形成巨大的嵌晶。如橄榄石堆积晶体被大的斜长石嵌晶包嵌；众多的橄榄石堆积晶体被大的辉石晶体所包嵌；钛磁铁矿堆积晶体被钛普通辉石包嵌，等等^[5]。通过对比可知，鸡冠山岩体辉石岩的部分结构，与常见的斑状和似斑状结构没有什么差别，它们不可能是与堆积晶体在原地准同时结晶的产物。

基质结构有二种情况，一种完全封闭在辉石粒间，形成细辉结构(照片2)；一种与寄主岩石接触(照片3)，粒度出现差异，在包体内侧粒度较大，为细粒结构，而靠近寄主岩石一侧，粒度变细，只有 $0.03\text{mm}\pm$ ，构成一个约 2.5mm 的冷边，这实际上是一种淬火边。正是这种结构，为我们提供了重要的成因和岩浆动力学信息。我们对这种信息的解译是：基质部分原是被堆晶圈闭的粒间熔体，当构造作用下岩浆发生对流时，堆积岩被冲碎并以很高的速度被卷上来，随寄主岩浆上升到浅部。这时，粒间熔体在上升过程中快速结晶成细粒结构，而直接与岩浆房上部较冷的对流岩浆相接触的粒间熔体，则结晶更快更细，形成微粒结构的淬火边。

这种在稳定条件下早期岩浆矿物发生堆积，在构造变动条件下粒间熔体发生骤冷、淬火所形成的岩石包体，我们命名为堆晶淬冷包体。这种两阶段结晶作用形成的岩石包体，比一般岩石包体有更多的地质信息。

3.2 辉石堆积岩与寄主岩石碱长辉长岩是同一母岩浆结晶分异的产物 同名矿物辉石均为次透辉石；堆积岩的矿物相辉石、磷灰石、磁铁矿，也是寄主岩石的主要造岩矿物和付矿物(表1)，但含量要少得多。寄主岩石中出现大量斜长石，是堆积相中未见的矿物。矿物相在包体和寄主岩石中的这种反消长关系，正是结晶分异机制的特点。斜长石没有进入堆晶相，

说明结晶分异机制的特点。斜长石没有进入堆晶相,说明结晶分异发生在大于20公里的地壳深部。在上地壳,斜长石将与铁镁矿物同时结晶^[6]。Depaolo, D. J.^[3]也认为,斜长石的分离极少,可能接近地壳底部。寄主岩石与辉石岩包体相比, SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 和 K_2O 的含量增高,而 ΣFe 、 MgO 、 CaO 和 P_2O_5 的含量降低, Mg 值也由63.2下降为51.2,这与原始岩浆中辉石、磷灰石和磁铁矿的结晶分离一致。按照晶体场理论,强相容元素Cr、Ni具有最大的八面体稳定能,最容易进入早期结晶相中,加之其分配系数高,因而少量的分离结晶便可使残余岩浆中的Cr、Ni丰度明显降低,Co的情况类似。从表2看, Cr、Ni和Co确有下降,但除Ni以外,下降不多,正如前面所分析的,形成辉石岩的原始岩浆,并非原生岩浆,很可能在早期已经过一次橄榄石和斜方辉石的分离结晶,因为堆晶相的Cr、Ni丰度已经很低。总之,在岩浆演化过程中,过渡族元素丰度降低, Cr、Ni负异常增大,仍然反映出分离结晶的趋势。最后,结晶分异不会明显改变其不同形成物的Nd和Sr同位素初始比值。包体与寄主岩石的Nd和Sr的初始比值一致(表2),更是它们起源于同一母岩浆的有力证据。

3.3 结晶分异促进了铜的富集成矿 从表2可以看出,由于辉石的分离结晶,导致寄主岩石高钾富碱,从而铜也随之富集起来,铜的丰度增长了2倍,这就为铜的富集成矿奠定了基础。

3.4 堆晶淬冷包体是一种新型岩石包体 岩石包体的研究由来已久,基本上分为二支。一支以研究玄武岩中的超镁铁质岩包体为主,是为深源包体,它提供了大量上地幔的信息;一支以研究花岗岩类岩石中的包体为主,它提供了大量成因和演化的信息,近年来随着岩浆动力学的发展,它又为岩浆动力学做出了贡献。

在国外,最早对花岗岩类中岩石包体做出系统研究和总结的是Didier^[7],他已从成因分类角度提出捕虏体(Xenolith)、捕虏晶(Xenocryst)、残影体(Shialish)、异离体(Schliern)、残留体(rescite)、同源包体(autolith),以及含义广泛的微粒包体(microgranular enclaves)。近年来,Chapell, B. W.等^[8]和Chen, Y. D.等^[9]详细研究了残留体,认为它能提供源区地体的基本组成特征。Ballhaus, C. G.等^[10]研究了岩浆混合作用和淬冷作用,通过计算确定二种岩浆的液相温度(Liquidus temperatures)相差100℃时,便可出现淬火。Campbell, I. H.^[11]等对岩浆房的喷泉作了实验研究,为岩浆混合机制和淬冷提供了理论依据。

在国内,黄福生(1987)最早对岩石包体进行了分类^[12]。他将花岗岩类中的岩石包体按成因和来源分为:捕虏体、冷凝边包体、析离体、残留体、残影体五类。与Didier不同的是提出了有明确成因含义的冷凝边包体。徐夕生等^[13],又增加了二个新的类型:淬冷包体(quenched inclusion)和残浆包体(residual magma inclusion)。1990年,王德滋和周新民^①又增加了不混溶包体,从而将花岗岩类中岩石包体系统化七类:捕虏体、残影体、残留体、同源包体、淬冷包体、不混溶包体、残浆包体。后来,周新民等^[13]又对淬冷包体做了详细研究。

从上述简略的岩石包体研究历史中可以看出,花岗岩类中岩石包体的研究已日趋完善,但如本文所提出的具有复合成因特征的堆晶淬冷包体,则是一种少见的、尚未见报导的新型岩石包体。

① 王德滋、周新民. 花岗岩类中岩石包体的研究意义. 花岗岩中岩石包体学术讨论会论文摘要集, 1990.

参 考 文 献

- 1 周珣若、吴才来、黄许陈、张成火. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(1): 20—31.
- 2 周泰禧、陈江峰、李学明. 安徽省印支期岩浆活动质疑. 岩石学报, 1988(3): 46—53.
- 3 Depaolo D J. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, 1981, 53: 189—202.
- 4 中国科学院地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1979.
- 5 张树业等. 火成岩结构构造图册. 地质出版社, 1982.
- 6 马昌前. 岩浆动力学及其实用意义. 全国首届地学大学生、研究生、青年工作者学术讨论会论文选集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 15—21.
- 7 Didier J. *Granites and their enclaves*. Amsterdam's Elsevier, 1973.
- 8 Chappell B N, White A J R and Wyborn D. The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *J. of petrol.* 1987, 28(6): 111—1138.
- 9 Chen Y D, Price R C and White A J R. Inclusions in three S-type granites from southeastern Australia. *J. of Petrol.* 1989, 30(5): 1181—1218.
- 10 Ballhaus C G and Glikson A Y. Magma mixing and intraplutonic quenching in the Wingellina Hills intrusion, Giles complex, Central Australia. *J. of petrol.* 1989, 30(6): 1443—1469.
- 11 Campbell I H and Turner J S. Fountains in magma chambers. *J. of petrol.* 1989, 30(4): 885—923.
- 12 黄福生、岩石包体. 岩浆岩成因导论(林景任主编). 北京: 地质出版社, 1987, 194—210.
- 13 周新民, 朱云鹤. 江绍断裂带的岩浆混合作用及其两侧的前寒武纪地质. 中国科学B辑, 1992, (3): 296—303.

Cumulus-Quenched Inclusions in the Jiguanshan Pluton of Tongling, Anhui Province

Xing Fengming, Xu Xiang

(Anhui Institute of Geological Sciences, Hefei 230001)

Key words: cumulus-quenched inclusion; pyroxenite; Jiguanshan of Tongling

Abstract

A new type of inclusions, cumulus-quenched rock inclusions, was discovered in the Jiguanshan pluton of Tongling, Anhui Province. Being a kind of cumulus rock with fine-grained texture, the inclusions consist approximately of 80% pyroxene, 8% apatite, 4% magnetite and 8% groundmass. The groundmass, noted for the domination of plagioclase and fine-grained texture, is merely present among some pyroxene grains and grades into a quenched rim towards the edge of an inclusion. This rim was formed by quenching when a pyroxene inclusion was broken and brought to the shallow place after the cumulation of pyroxene but before the crystallization of intergranular melt. The inclusions are consistent with the host rocks in pyroxene composition and initial Nd and Sr isotopic ratios, suggesting that they are cognate inclusions.