

浙江青田花岗岩中岩石包体 特征及成因

董 传 万

(浙江大学地球科学系, 杭州 310027)

彭 亚 鸣

(南京大学地球科学系, 南京 210008)

主题词 寄主花岗岩 岩石包体 淬冷包体 岩浆混合作用

提 要 浙江青田燕山晚期黑云母花岗岩中有许多石英闪长质岩石包体, 它们大小不一, 形态各异, 以微细粒结构、具冷凝边构造、并发育针状磷灰石为特征。岩石包体与寄主花岗岩的主要氧化物、微量元素的变化趋势呈线性关系。岩石学、矿物学、岩石化学及地球化学等特征的研究表明, 石英闪长质岩石包体属淬冷包体, 由玄武质岩浆和花岗质岩浆通过不均匀的混合作用而形成。

花岗质岩石中常有各种各样的岩石包体, 它们可以提供花岗质岩石的岩浆生成、演化、花岗质岩石成因类型、定位机制、各种岩浆作用等方面的信息。

浙江东南沿海钙碱性花岗岩中, 如青田地区的青田花岗岩、海溪斑状花岗岩, 石前花岗闪长岩及舟山地区的普陀花岗岩等, 都存在着大量的细粒暗色岩石包体, 相当于迪迪埃(1984)所定义的微粒包体^[1]。对这类岩石包体进行研究, 有助于了解浙东南沿海地区花岗岩的成因、岩浆演化及各种岩浆作用。本文以青田花岗岩中的岩石包体为对象, 描述这类岩石包体的特征并进行成因探讨。

1 寄主岩——青田花岗岩体简介

青田花岗岩体位于浙江省东南部青田县城附近, 出露面积约 30km^2 。岩体侵入中生代下白垩统火山碎屑岩中, 为一复式岩体。它由早阶段的普通黑云母花岗岩和晚阶段的碱性花岗岩复合而成。岩石包体出现在早阶段形成的黑云母花岗岩中。黑云母花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 107.96Ma 。

黑云母花岗岩为中粗粒结构, 主要由石英、条纹长石、斜长石 ($An=14-20$)、黑云母等组成。副矿物组合为榍石-磷灰石型。岩石发育有晶洞构造。在岩石化学方面, 以富硅、富铝、贫钙、贫镁为特征, 中等碱含量, $K_2O > Na_2O$, 属铝(略)过饱和岩石系列。根据氧同位素温度计、二长石温度计计算和锆石群型分析, 青田黑云母花岗岩成岩温度 $640^\circ\text{C}-750^\circ\text{C}$, 侵位深度约 3.6km 。

野外地质、岩石学、岩石化学及地球化学等方面的研究表明, 青田花岗岩与周围火山岩同源, 由下部地壳部分熔融或上地幔派生岩浆在上侵过程中重熔并混染了大量的陆壳物质所形成, 属同熔型花岗岩。

2 岩石包体特征

2.1 一般特征

青田黑云母花岗岩中包体的岩石类型主要属石英闪长岩, 灰绿色至灰黑色, 与寄主岩有明显的色差。岩石包体的形态以椭球形、卵圆形为主, 也有的呈透镜状, 还有的呈平卧的反“J”字形等塑性变形形态(照片1)。岩石包体的直径一般在 $10-20\text{cm}$ 之间, 个别大的达 400cm , 小的仅 $1-2\text{cm}$ 。大部分岩石包体分散存在, 但离青田岩体不远的海溪花岗岩中包体成群出露(照片2)。

包体与寄主岩之间的界线一般都很清晰, 呈突变关系, 但包体的边缘常呈锯齿状。也有的包体与寄主岩之间呈弥散状(照片3)。包体中常见有与寄主岩成分相同的反向脉(back-vein)存在。大部分包体中心结晶较粗, 往边缘变细, 有的包体则明显地具有冷疑边或淬火边(照片4)。

2.2 结构与矿物学特征

岩石包体一般为细粒结构, 块状构造。少数包体因花岗质岩浆混杂而呈斑杂状。显微镜下观察, 包体常具“间粒”结构和嵌晶结构, 前者是板柱状斜长石搭成格架, 中间充填石英等颗粒, 类似粒玄岩中斜长石同其它镁铁矿物之关系; 后者是他形的较大的石英, 有时是钾长石或榍石, 包裹或半包裹细小的斜长石。当岩石包体受花岗岩混染, 其成分变为花岗闪长岩或二长花岗岩, 结构则变为斑状、似斑状结构, 这一类包体中, 斑晶主要是斜长石、碱性长石和石英。这些斑晶在寄主岩中都有对应矿物, 而且两者在形态、成分、光性上都有一致性, 尤其在包体与寄主岩的接触界线上常见到斑晶横跨两侧, 这充分说明这些斑晶是来自寄主岩。

岩石包体的成分虽然随着与寄主岩混合程度的不同而不同, 但总体上以石英闪长质为主。5个薄片统计的结果, 包体的平均矿物组成为: 石英10%, 斜长石45%, 钾长石20%, 角闪石15%, 黑云母10%。

斜长石：一般为板状或柱状，钠长石律双晶发育，常具环带构造。电子探针分析结果表明，核部 $An=62$ ，中部 $An=19$ ，边部 $An=12$ ， $\bar{C}=37$ ，属中长石。其边部的成分与寄主岩中斜长石的成分相当。

石英和钾长石以两种形式出现，一种是以细小的颗粒状充填于斜长石之间；另一种则以斑晶出现，这时钾长石的周边常有斜长石小颗粒的聚集。有的石英边缘有角闪石或黑云母围绕。

角闪石：绿色，针状或长柱状，长宽比达 10:1，形态完好，常与黑云母相互反应，其化学成分见表 1，投影于国际闪石分类中的阳起石区，属钙质闪石。

黑云母：棕色，细小鳞片状，多色性和吸收性均很明显，常有角闪石的逆反应边或构成角闪石的反应边。其化学成分与寄主花岗岩中黑云母的成分一样，同属镁质黑云母（表

表 1 岩石包体与寄主花岗岩中角闪石和黑云母的化学成分*

Table 1 The chemical compositions of hornblende and biotite from rock-inclusion and host-granite

序号	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	H ₂ O	F	总量
1	49.28	1.13	5.16	4.45	8.35	1.53	15.01	10.82	1.17	0.45	0.47	1.56	0.62	100.00
2	48.44	1.12	4.92	12.18		0.70	15.58	11.34	2.19	0.33			1.93	99.03
3	37.11	3.62	12.38	14.81		1.12	15.25	0.02	0.07	9.88			3.18	97.44
4	36.80	3.45	13.15	4.45	11.76	1.29	13.41	1.39	0.18	7.08	0.21	3.78	0.98	99.88
5	37.36	3.32	12.46	5.84	10.51	1.57	14.16	0.70	0.38	7.75	0.21	3.65	1.55	99.46

* 表中 1、2 为岩石包体中角闪石；3、4 为岩石包体中黑云母；5 为寄主花岗岩中黑云母。
(2、3 系电子探针分析结果，由马鞍山矿院电探室测定，其余样品由南京大学地球科学系分析中心测定)。

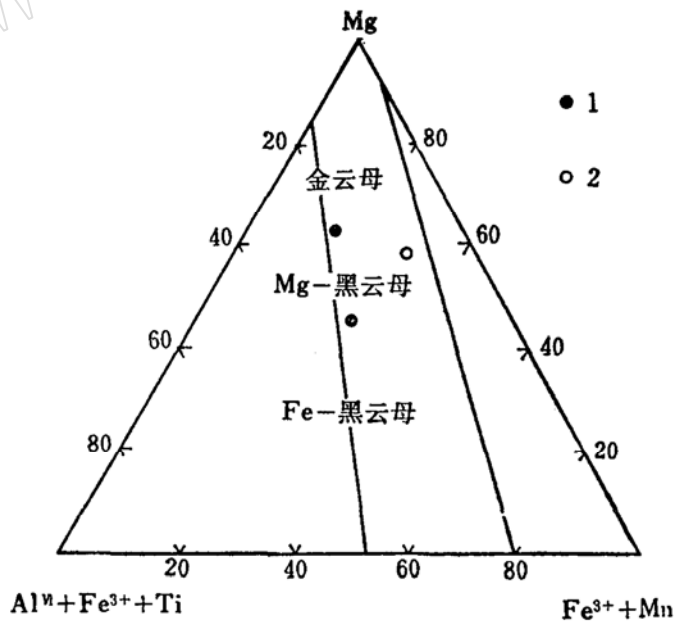


图 1 黑云母的 Mg—(Fe²⁺ + Mn)—(Al^{VI} + Fe³⁺ + Ti)图解 (仿M. D. Foster, 1960)

Fig. 1 Mg—(Fe²⁺ + Mn)—(Al^{VI} + Fe³⁺ + Ti) diagram of biotite

1—石英闪长质岩石包体中黑云母；2—寄主花岗岩中黑云母

1, 图1)。

石英闪长质岩石包体中副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石、钛铁矿、褐帘石、锆石等,完全类似于寄主花岗岩的副矿物组合。

在副矿物中,最为突出的是磷灰石,呈针状,长宽比大于30:1,并有清楚的底面解理(照片5),它可以连续穿过许多长石和其它矿物颗粒。这与寄主花岗岩的磷灰石明显不同,寄主岩中磷灰石都是短柱状,长宽比在2:1—3:1之间。Wylie (1962) 在进行 $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 系统的实验中发现,与液体或气体成平衡的缓慢结晶的磷灰石,发育成粗短的、具圆化边的晶体,长宽比从5:1到3:1。当与磷灰石共存的液体突然冷却时,则发现沿C轴延长的晶体,其长宽比为20:1,晶体平整,并具有清楚的底面解理^[2]。根据Wylie的实验资料,结合岩石包体颗粒细而且有冷凝边等特征,可以推断岩石包体是骤冷而形成。

3 岩石包体的化学成分和地球化学特征

岩石包体的化学成分和微量元素含量分别列于表2和表3,表中同时列出寄主花岗岩的化学成分和微量元素含量。

从表2中可以看出,岩石包体均属正常的钙碱性岩类, SiO_2 从57%变化到71%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 从4%变化到8%, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, A/NKC (铝指数) ~ 1.0 。与寄主花岗岩相比,包体的 CaO 、 MgO 、 FeO^* ($\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$)、 Al_2O_3 和 Na_2O 高,而 K_2O 比寄主岩低。利用有关氧化物对 SiO_2 作图(图2),可以看出岩石包体与寄主花岗岩的主要组分呈较好的线性变化趋势。这是岩浆混合作用的特征之一。

从表3可以看出,岩石包体中Ti、V、Co、Sr、Mn、Ba、Zr等含量较高,说明岩石包体相对富集难熔的基性物质。

石英闪长质岩石包体的稀土元素含量见表4。岩石包体的稀土元素含量比寄主花岗岩高,但两者的稀土配分曲线完全同步(图3),均为向右倾斜的平滑曲线,这反映了岩石包体与寄主花岗岩有成因上的联系。岩石包体中未出现铈亏损,表明它具有上地幔源区衍生的特性。

4 岩石包体的成因探讨

4.1 几种岩石包体的分类和成因概述

不同的学者根据各自的研究对象和对包体的不同认识而有各自的包体分类和成因假说。如迪迪埃(1984)将花岗岩中岩石包体分为捕虏体、富云母包体和微晶粒状包体^[1];林景仟(1987)按成因和物质来源将包体分为捕虏体、冷凝边包体、析离体(堆积体)、残留体(包括闪长质包体、超镁铁质包体、富云母包体)和残影体^[5]。徐夕生、周新民(1988)综合评述了花岗质岩石中各种岩石包体,除了保留捕虏体、残影体、残留体和同源包体四个包体术语外,新提出两种包体类型——淬冷包体和残浆包体,并指出淬冷包体以暗色、细粒或具冷凝边、浑圆状(可受扭曲)、火成结构、含针状磷灰石和/或具嵌晶结构为基本特点^[6]。

由于花岗质岩石中包体的多样性、复杂性,对包体的成因也有各种解释。其中对侵入

表 2 岩石包体和寄主花岗岩的化学成分和有关参数
Table 2 The chemical compositions and parameters of rock-inclusion and host-granite

岩性	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	烧失	总计	ANKC	A.R	D.I	
岩石包体	Q-2-4*	57.51	0.79	18.02	4.10	3.15	0.41	2.42	6.95	2.64	1.39	0.23	1.69	99.30	0.97	1.38	48.65	
	Q-11-3	60.57	0.51	17.10	3.48	2.17	0.47	2.20	4.72	4.72	2.19	0.55	0.85	99.53	0.91	1.93	60.39	
	Q-28-2	61.44	0.73	16.77	2.73	2.53	0.17	2.19	4.21	4.21	4.43	2.96	0.34	1.05	99.55	0.92	2.09	63.97
	Q-40	61.86	0.68	17.31	1.77	3.27	0.31	1.84	4.60	4.48	2.94	0.03	0.96	0.96	100.20	0.92	2.02	63.24
	Q-43-1	68.68	0.36	16.15	1.14	1.40	0.21	0.78	2.05	4.88	3.66	0.14	0.90	0.90	100.60	1.03	2.77	80.05
	Q-3-1*	69.29	0.30	14.65	1.77	2.33	0.17	0.61	1.27	4.36	3.98	0.07	0.70	0.70	99.38	1.07	3.22	84.98
	Q-3-3*	70.66	0.29	14.30	1.42	2.01	0.16	0.53	1.51	4.52	3.51	0.04	0.56	0.56	99.51	1.02	3.06	84.98
	O-11-1	74.91	0.09	13.25	0.78	0.55	0.08	0.27	0.90	3.80	4.69	0.13	0.36	0.36	99.81	1.02	3.32	90.85
	Q-37	76.38	0.15	12.79	0.34	0.30	0.09	0.05	0.50	2.04	4.86	0.01	0.52	0.52	99.09	1.35	1.89	88.38
	O-27-2	76.52	0.18	12.54	0.45	0.80	0.04	0.14	0.44	3.61	4.74	0.11	0.18	0.18	99.95	1.01	4.03	93.93
Q 8-2	77.89	0.04	11.75	0.55	0.32	0.06	0.20	0.35	3.33	4.69	0.07	0.36	0.36	99.61	1.05	3.45	94.40	
Q-12	79.20	0.05	12.23	0.75	0.32	0.04	0.20	0.39	3.60	3.46	0.12	0.36	0.36	100.72	1.19	3.54	93.63	
寄主花岗岩																		

* 引自姚玉鹏南京大学硕士论文《浙江省不同成因花岗岩及其岩石包体的研究》，1991，其余由江苏省地质矿产局中心实验室测试。
ANKC = Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O + CaO) (分子数); A.R = (Al₂O₃ + CaO + Alk) / (Al₂O₃ + CaO - Alk); D.I = O + Or + Ab.

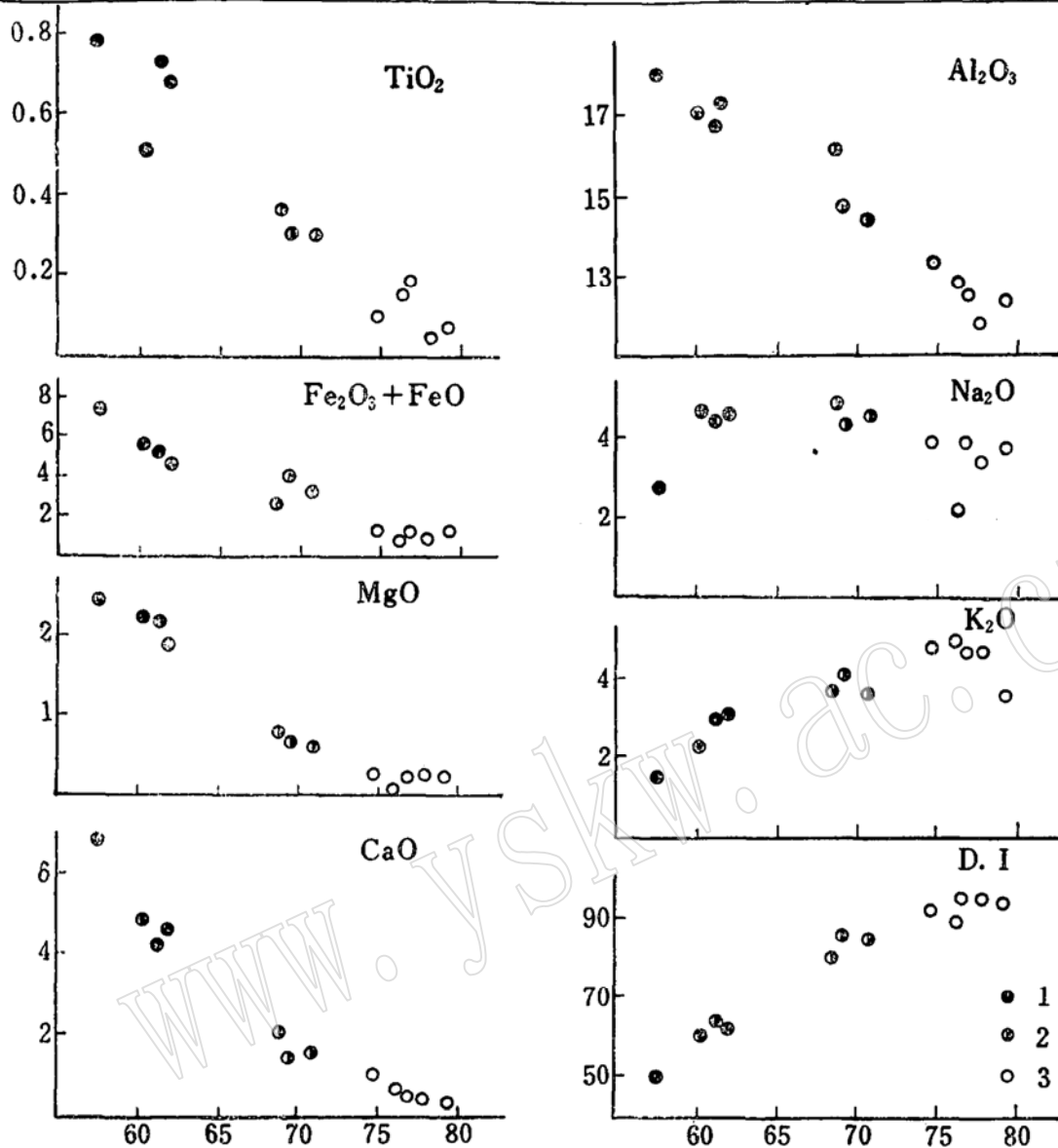


图 2 岩石包体和寄主花岗岩的主要氧化物对 SiO_2 变异图
 Fig. 2 Plots of major oxide versus SiO_2 for rock-inclusion and host-granite
 1—闪长质岩石包体; 2—较均匀混合之包体; 3—寄主花岗岩

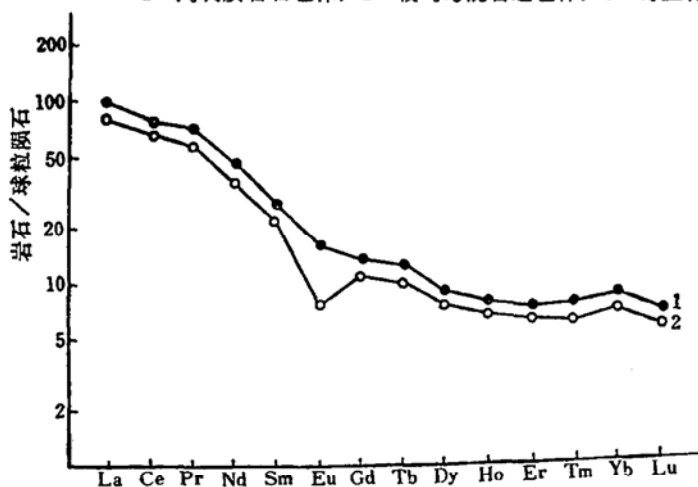


图 3 岩石包体 (1) 与寄主花岗岩 (2) 的稀土配分曲线
 Fig. 3 REE distribution patterns of rock-inclusion (1) and host-granite (2)

表 3 岩石包体和寄主花岗岩的微量元素含量(ppm)

Table 3 The contents of traceelements of rock-inclusion and host-granite

岩性	样号	Sr	Rb	Ba	Zr	La	Ce	Y	Ti	V	Co	Sc	Cu	Pb	Zn
岩石包体	Q-11-3	628	119	721	155	37	92	29	4971	89	9	10	6	18	139
	Q-40	618	123	795	308	40	83	21	3804	74	8	7	8	14	91
	Q-43-1	344	139	2121	156	54	91	19	2090	33	4	4	4	20	92
	Q-3-1*	254	171	1945	310	53	91	21							
	Q-3-3*	255	162	1840	320	63	99	23							
寄主花岗岩	Q-11-1	97	166	467	134	34	71	25	1163	9	2	4	3	28	43
	Q-37	20	179	109	123	35	63	24	861	4	1	4	5	23	29
	Q-28	79	162	473	124	36	64	24	1098	9	1	4	3	21	54
	Q-43-3	12	179	142	111	35	62	19	808	3	1	4	3	28	53

* 引自姚玉鹏《浙江省不同成因花岗岩及其岩石包体的研究》(硕士论文, 1991), 其余由江苏省地质矿产局中心实验室用等离子光谱法测定。

表 4 岩石包体与寄主花岗岩的稀土含量(ppm)及参数

Table 4 The REE contents and parameters of rock-inclusion and host-granite

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
1 石英闪长岩包体	37.07	75.83	9.70	31.95	6.37	1.42	4.20	0.74	3.70
2 寄主花岗岩	34.09	71.12	8.69	23.13	5.37	0.68	3.57	0.64	3.33
3 Leedy 球粒陨石	0.38	0.98	0.14	0.72	0.23	0.09	0.31	0.06	0.39
	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE/HREE	δEu	
1 石英闪长岩包体	0.72	2.03	0.34	2.13	0.31	176.50	11.47	0.79	
2 寄主花岗岩	0.67	1.92	0.33	2.06	0.30	158.89	11.40	0.45	
3 Leedy 球粒陨石	0.09	0.26	0.04	0.22	0.04				

表中样品由南京大学地球科学系分析中心测定。

型花岗岩中的暗色微粒包体的成因, 更是众说纷云。迪迪埃 (1973) 根据大量的文献资料和自己的研究, 对这类微粒包体曾归纳出五种成因假说, 即捕虏说, 残余说、析离成因、外部火成成因和同源火成成因^[7]。近年来许多岩石学家都持闪长质微粒包体是两种不同岩浆不均匀混合而成的观点^[3,8]。在国内, 对上述微粒包体的成因亦存在多种看法, 如张德全等 (1988) 认为中国东部大部分闪长质包体代表下地壳中基性变质岩部分熔融后的耐火残余^[9]。沙连堃 (1988) 提出广西大宁花岗闪长岩中暗色微粒包体是异源的火成岩捕虏体^[10]。徐夕生等 (1988) 认为淬冷包体是岩浆混合的产物^[6]。本文所研究的石英闪长质包体以前被认为是青田地区燕山晚期第一次侵入形成的岩石^①。

① 浙江省地矿局, 1979, 温州幅 (1:20万) 区域地质调查报告。

4.2 青田花岗岩中岩石包体的成因讨论

从以上对青田花岗岩中石英闪长质岩石包体的描述中可以得知,包体中没有出现高铝的特征变质矿物、不具花岗变晶、鳞片变晶和片理、片麻理等变质岩组构类型,所以它不是基底变质岩的残留体。岩石包体与寄主花岗岩成分上相差悬殊,而且大部分集中在岩体的内部相带,说明它不可能是岩浆早期结晶相或冷凝边的碎块或围岩的碎块。如果说石英闪长质岩石包体是岩浆早期结晶分异并堆积到岩浆房底部的堆积体,则难以解释包体的微细结构和冷凝边构造。若石英闪长质岩石包体代表早期岩浆侵入活动形成的岩石,则更难解释包体的塑变形态和淬火特征。岩石包体典型的火成结构、微细粒、冷凝边、针状磷灰石、角闪石的存在,都说明岩石包体是火成的,而且经过快速冷凝,属淬冷包体。岩石中石英、钾长石、榍石等来自寄主花岗岩的组分呈间粒状充填或包裹较基性斜长石,暗色矿物有逆反应边,斜长石具正环带构造等都说明岩石包体与寄主花岗岩之间发生过物质的交换或混合,并可推测岩石包体的原始成分可能更基性,属玄武质或安山玄武质岩浆。包体中具有与寄主岩成分相同的反向脉,它反映包体岩浆在淬冷结晶之后固化程度高于寄主岩浆,因结晶收缩或错动而出现裂隙,其附近的寄主岩浆因受包体岩浆的过热热量而变得更加活动,从而贯入包体的裂隙内所形成。反向脉的出现意味着包体岩浆与寄主岩浆结晶作用的近时性。根据以上现象可以得出青田花岗岩中岩石包体是由玄武质或安山玄武质岩浆注入到花岗质岩浆中被破碎分裂并发生岩浆混合作用而形成的结论。

岩石包体和寄主岩的化学成分和微量元素的演变也反映了岩浆混合作用的特征。主要氧化物对 SiO_2 的线性变化趋势(图2)符合岩浆混合的模式^[4,11], $\frac{\text{Sr}}{\text{Nb}} - \frac{\text{Rb}}{\text{Ba}}$ 图上显示双曲线,而在 $\text{Sr}-\text{Rb}$ 图上表现为直线(图4),同样反映出岩浆混合的特点^[12]。

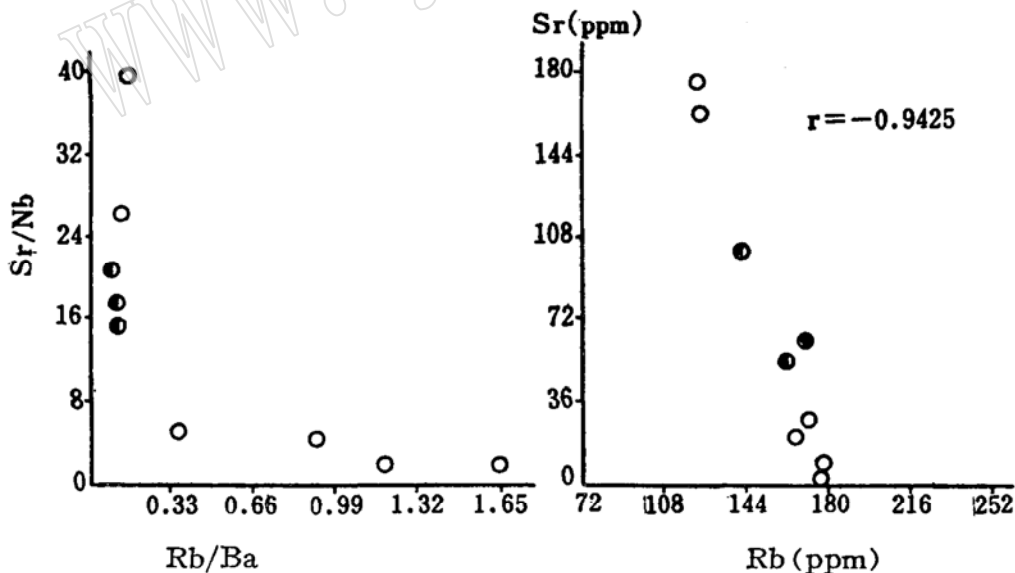


图4 岩石包体和寄主花岗岩 $\frac{\text{Sr}}{\text{Nb}} - \frac{\text{Rb}}{\text{Ba}}$ 、 $\text{Sr}-\text{Rb}$ 协变图(图例同图2)

Fig. 4 Plots of $\frac{\text{Sr}}{\text{Nb}} - \frac{\text{Rb}}{\text{Ba}}$, $\text{Sr}-\text{Rb}$ for rock-inclusion and host-granite

利用青田花岗岩中岩石包体和寄主岩的一些微量元素,进行共分母的三元素比值相关分析(9个样品,闪长质包体2个,混合得较均匀的包体3个,寄主岩4个),部分结果如下:

$$\text{Rb/Sr} = -0.3548 + 2.9525 \text{ Ce/Sr} \quad r = 0.9998$$

$$\text{La/Sr} = -0.0829 + 0.3155 \text{ Zr/Sr} \quad r = 0.9969$$

$$\text{Y/Sr} = -0.0428 + 0.1103 \text{ Rb/Sr} \quad r = 0.9913$$

$$\text{Zr/Sr} = 0.4648 + 0.6007 \text{ Rb/Sr} \quad r = 0.9958$$

$$\text{Ce/Sr} = -0.1311 + 0.5593 \text{ Zr/Sr} \quad r = 0.9965$$

相关计算表明,三元素比值呈线性相关,而且相关系数很高,这更是岩浆混合作用的一个有力佐证^{[13]①}。

所谓的岩浆混合作用,是指两种不同成分的岩浆之间的混合。由岩浆混合作用形成岩石包体,已有不少实例和实验资料^[4,14,15]。

从青田花岗岩中岩石包体的分布来看,它们大多集中在岩体内近北东的方向上,与本区出露的晚侵入的中基性岩墙平行。所以笔者认为石英闪长质岩石包体很可能是由中基性的岩浆脉动式地“注入”到尚未完全结晶的花岗质岩浆中,被花岗质岩浆分割并经不均匀地机械混合而成。至于中基性岩浆可能来自下地壳的更深部位,也可能是花岗质岩浆房底部由岩浆熔离作用而形成。造成中基性岩浆上侵和混合的动力,则可能与燕山晚期的火山作用有关。青田花岗岩体本身,就是燕山晚期火山侵入杂岩的深成部分。

青田花岗岩中石英闪长质岩石包体的形成模式概括如下:

钙碱性花岗质岩浆在结晶过程中有中基性岩浆“注入”到花岗质岩浆中,发生两种岩浆的混合。较粘性的花岗质岩浆与中基性岩浆混合时,平衡温度相对较低,后者就象悬浮在花岗质岩浆中的“固体”(熔浆团),不可能完全均匀化^[16],同时因中基性岩浆的温度相对较高,而正在结晶中的花岗质岩浆温度相对较低,因此促使熔浆团过冷而结晶,形成微细粒的岩石包体,并出现淬火冷凝边。针状磷灰石就是过冷结晶的矿物学标志。寄主花岗质岩浆的后继运动,还可使岩石包体变形。相对花岗质岩浆来讲,中基性岩浆体积较小,所以主要是花岗质岩浆对中基性岩浆的“混合”,而中基性岩浆对花岗质岩浆的影响较小。

本文是硕士论文的一部分,在导师孙鼎教授、彭亚鸣副教授的指导下完成。成文过程中得到陈克荣教授等的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 迪迪埃.花岗质岩石中的包体问题关于其成因新见解的评述.见:花岗岩地质与成矿关系(国际学术会议论文集)南京:江苏科学出版社,1984,91—96.
- 2 Wyllie P J, et al. The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks. *J. Petrol.*, 1962, 3(2): 238—243
- 3 Bloomfield A L, et al. Magma mixing in the San Francisco Volcanic Field. *Az Petrogenesis of the O'Leary Peak and Strawberry Crater Volcanics. Contrib. Mineral. Petrol.*, 1989, 102: 429—453.

① 杨浩,微量元素协变关系在花岗岩包体成因中的应用,矿物岩石地球化学通讯,1991,第1期,12—14。

- 4 Brown P E, et al. Fractionation, hybridisation and magma-mixing in the Kialineq centre East Greenland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1986, 92: 57—70.
- 5 林景仟. 岩浆岩成因导论. 北京: 地质出版社, 1987, 204—209.
- 6 徐夕生, 周新民. 花岗岩类中的岩石包体. *南京大学学报 (地球科学报)*, 1988, (1): 233-239.
- 7 迪迪埃 J. 花岗岩及其包体. 姜胜章译. 北京: 地质出版社, 1973. 203—211.
- 8 Didier J. 包体研究对认识花岗岩浆起源和演化的意义. 杨坤光译. *地质科技情报*, 1987, 7(2): 49—54.
- 9 张德全, 孙桂英. 中国东部花岗岩. 中国地质大学出版社, 1988. 39—67.
- 10 沙连堃. 花岗岩中不同成因类型包体的稀土元素定量模型. *地质论评*, 1988, 34(5): 389-399.
- 11 Langmuir C H, et al. A general mixing equation with application to Icelandic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1978, 37: 380—392.
- 12 Cox K G, et al. *The interpretation of igneous rocks*, George Allen & Unwin, London, 1979, 355—359.
- 13 Mac Caskie D R. Identification of petrogenetic processes using covariance plots of trace element data. *Chem. Geol.*, 1984, 42: 325—341.
- 14 Reid J B J, et al. Magma mixing in granitic rocks of the central Sierra Nevada, California. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1983, 66: 243—261.
- 15 Kouchi Akira, et al. A model for mixing basaltic and dacitic magma as deduced from experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1985, 89: 17—23.
- 16 Sparks R S J, Marshall L A. Thermal and mechanical constraints on mixing between mafic and silicic magmas. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, 1986, 29: 99—124.

The Features and Origin of the Enclaves in the Qingtian Granite, Zhejiang Province

Dong Chuanwan

(Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Peng Yaming

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Key words: host granite; enclaves; quenched enclaves; magma mingling

Abstract

There are a lot of microgranular enclaves in the late Yanshanian Qingtian biotite granite in southeast Zhejiang Province. The enclaves are generally round or sub-round with diameters from 10 to 20 cm. They are usually scattered but some of them occur in groups in the granite.

The enclaves are often gray or dark-gray in colour. Generally, there are clear boundaries between the enclaves and host granite, but some show diffusion contact. A few of enclaves show fine-grained margins, i. e. chilled margins.

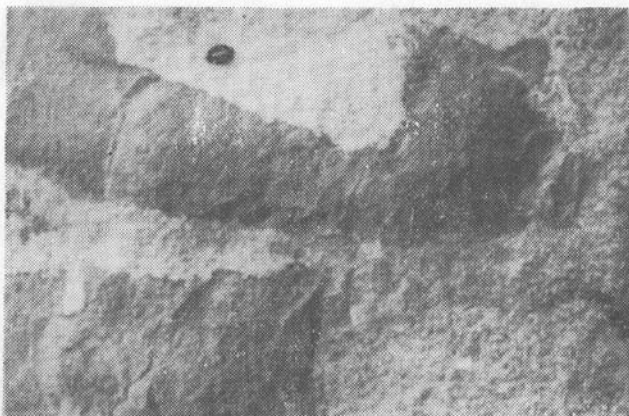
The enclaves are mainly composed of plagioclase ($An=37$), hornblende,

biotite, quartz, and K-feldspar. The plagioclase is zoned. Quartz and K-feldspar fill in the interval between plagioclase, or enclose the microcrystal plagioclase and hornblendes to form intergranular texture which is similar to that of dolerite, or poikilitic texture. The accessory minerals include magnetite, ilmenite, apatite, sphene, etc. The apatite is very long with the ratio of length to width up to 30:1, and has clear basal cleavage. According to Wylie this kind of apatite is formed by sudden cooling of the magma co-existing with the apatite.

Chemically, the enclaves belong to the calc-alkaline rock series with $\text{SiO}_2 = 60-68\%$, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, and $\text{A}/\text{NKC} < 1$. In comparison to the host granite, the quartz-dioritic enclaves have higher contents of Ti, V, Cr, Co, Ni, Zr, Sr, Ca, Mg and REE. On the variation diagrams of major oxides versus SiO_2 of the enclaves and the host granite, the plots show linear trends, and so do some pairs of trace-elements divided by other trace-elements.

There are different hypotheses about the origin of microgranular enclave in granitic rocks. The enclave may be regarded as xenolith, or the relict phase of partial melting of basement rocks, or a product of magma mixing, and so on. Based on field observations and petrological, geochemical, and mineralogical features of enclaves, the authors believe that magma mixing theory is most suitable for explaining the characteristics of the quartz-dioritic enclaves in the Qingtian biotite granite, namely, they were the products of mechanical mingling between basaltic or intermediate-basic magma and granitic magma.

董传万：浙江青田花岗岩中岩石包体的特征及成因



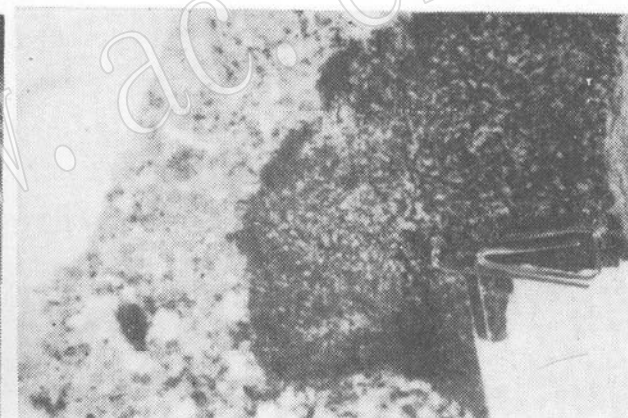
照片 1 青田黑云母花岗岩中横卧的反“J”字形岩石包体，反映了塑变形态（青田泥湾采石场）



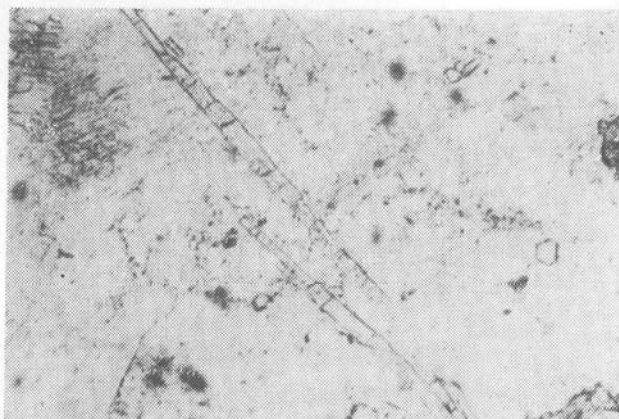
照片 2 海溪斑状花岗岩中扁平拉长的石英闪长质岩石中包体群（灰色部分）（海溪乡小河中）



照片 3 岩石包体与寄主花岗岩呈弥散状接触，显示出两种岩浆混合的特征（青田平演采石场）



照片 4 青田黑云母花岗岩中具冷凝边的暗色岩石包体（青田凤门亭）



照片 5 石英闪长质岩石包体中针状磷灰石，具清楚的底面解理