

www.yskw.ac.cn

江苏宁镇花岗岩体中暗色岩脉的 岩浆包裹体研究*

王学成 陈思松

(江苏省地质矿产局, 南京 210018)

主题词: 暗色岩脉, 岩浆包裹体, 逆向岩浆活动

提 要: 江苏宁镇花岗岩体中的辉长岩脉和方沸碱煌岩脉中的辉石、橄榄石斑晶中含有大量的原生岩浆包裹体, 多数为发育良好的含有辉石、钛铁矿、黑云母和钾长石等子晶矿物的演化

* 国家自然科学基金资助项目。

型岩浆包裹体,此外,还含有一定数量的CO₂流体包裹体。岩浆包裹体的均一温度为1220—1270℃。均一化包裹体电子探针分析结果显示,早期结晶的辉石斑晶所捕获的岩浆的酸性程度明显高于全岩。结合其它资料,认为包裹体的这一成分特点代表了岩脉成岩过程中的液态不混溶作用,同时为解释逆向岩浆活动的层状岩浆房假说提供了微观上的证据。

近年来,关于火成岩特别是玄武岩中岩浆包裹体的研究,国内外许多学者做了大量工作,使包裹体理论日臻完善。但有关暗色岩脉中岩浆包裹体的研究工作尚未见报道。这方面的工作对研究这类岩脉的初始岩浆成分、岩浆演化机制以及岩脉形成的物理化学条件无疑是最有效的方法之一。位于江苏南京、镇江之间的宁镇岩体中暗色岩脉十分发育,为这一研究提供了极其有利的条件。宁镇岩体为复式杂岩基,总出露面积达700km²。主要岩性为花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、石英闪长斑岩、二长花岗岩。形成时代为燕山晚期(K-Ar法年龄:142—102Ma),成因类型隶属于同熔型,(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)₀=0.7058—0.7086。本文对其中发育岩浆包裹体的方沸碱煌岩脉和橄榄辉长岩脉进行了研究。方沸碱煌岩脉侵入于花岗闪长斑岩中,脉宽约50cm。岩石呈灰黑色,斑状结构,斑晶为橄榄石(35%)、少量钛普通辉石;基质由普通辉石(18%)、更长石(11%)、透长石(13%)及方沸石(14%)组成。橄榄辉长岩脉之围岩为花岗闪长岩,脉长数百米,宽约30m。岩石呈暗灰色,斑状结构。斑晶由橄榄石、辉石聚晶(10%)组成;基质由辉石(35%)、橄榄石(5%)、斜长石(35%)及少量钾长石(8%)组成。

一、岩浆包裹体特征

所研究的两条岩脉中的岩浆包裹体按照夏林圻的分类方案^[1]多属于演化—弱演化型,少量为非演化型。

(一) 橄榄辉长岩脉中的岩浆包裹体特征

岩浆包裹体发育于单斜辉石大斑晶中,绝大多数为呈辉石负晶形出现的演化型岩浆包裹体。其它矿物中包裹体基本不发育。

1. 分布特征

辉石斑晶不同部位岩浆包裹体的分布特征有所差异。在斑晶边部,包裹体沿晶体生长面发育,环绕晶体排列(照片1),包裹体个体较小,通常在10μ左右,其形态各式各样,以辉石负晶形者居多。包裹体的长轴方向都平行于生长纹;在晶体的中间部位为负晶形包裹体群(照片2),包裹体个体较大,一般在40—80μ,最大的长轴方向可达100μ以上。虽然包裹体的排列无规律可寻,但其长轴方向基本一致,平行于(100)面(照片2)。从晶体中心到边部的过渡部位,分布着零散的中等大小的负晶形包裹体。上述包裹体在辉石斑晶部位分布特征的差异代表了岩浆结晶过程中结晶条件的变异,进而反映了岩浆作用过程中岩浆成分或岩浆状态的变化。

2. 形态特征

树枝状含CO₂岩浆包裹体如照片3所示。通常由玻璃和液相CO₂两相组成。在冷台上降低温度时,个别包裹体的液相CO₂中可出现气泡。

串珠状、蠕虫状CO₂流体包裹体:这类包裹体通常个体很小,在0.2—5μ之间,镜下呈串珠状、蠕虫状的不透明斑点(照片4),很难观察其内部的相态组成。这类包裹体与

E. Roedder⁽²⁾ 在深源岩石包体中所见到的原生 CO₂ 流体包裹体特征 极其相似, 应属同一类。

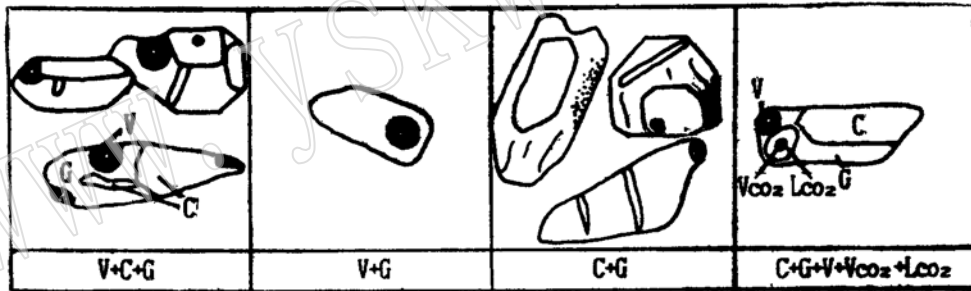
负晶形含子晶岩浆包裹体: 绝大多数的岩浆包裹体都属于这一类型, 其典型特征是具有相当规则的辉石晶体外形、并且含有晶形完好的辉石子晶。按相态组成可进一步区分为:

a、玻璃 (65%) + 子晶 (28%) + 收缩泡 (7%): 以含有子晶和圆形的收缩泡为特点。根据晶形、光性以及电子探针成分分析结果, 子矿物主要是辉石, 少数为斜长石、钾长石。辉石子晶内还常常含有富铁质的不透明子矿物。个别包裹体收缩泡四周的玻璃发育收缩裂纹 (图 1、照片 6)。

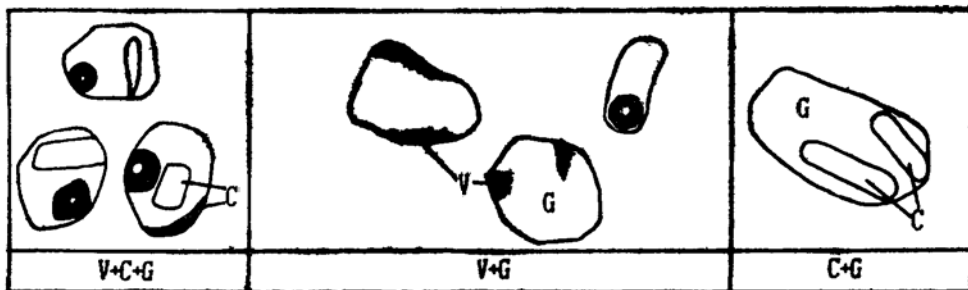
b、玻璃 (88%) + 收缩泡 (12%): 以不含子晶为特点。这一类型包裹体较少 (图 1)。

c、玻璃 (70%) + 子晶 (30%): 这类包裹体不含收缩泡, 挥发分弥散于玻璃之中, 加热时可出现气泡 (图 1、照片 5)。

d、子晶 (50%) + 玻璃 (30%) + 液相 CO₂ (13%) + 气相 CO₂ (2%) + 收缩泡 (5%): 这是一类含有 CO₂ 的演化型岩浆包裹体, 由五相组成 (图 1、照片 7)。低温下液相 CO₂ 呈圆环状围绕气相 CO₂ 气泡分布, 两相界线分明, 用电热吹风加温后, 圆环消失、并为一相。



橄榄辉长岩脉



方沸碱煌岩脉

图 1 暗色岩脉中的不同类型岩浆包裹体

Fig. 1. Different types of magmatic inclusions of dark dikes

V—收缩泡, G—玻璃, C—子晶

(二) 方沸碱煌岩脉中的岩浆包裹体

岩浆包裹体仅零星地分布于橄榄石中, 大小在50 μ 左右, 呈橄榄石负晶形和不规则状形态。按照相态组成可分为:

a、玻璃(52%) + 子晶(31%) + 收缩泡(17%): 子晶矿物呈褐色, 镜下可观察到微弱的多色性, 推测为黑云母(照片8)。根据电子探针分析结果, 子晶矿物还包括单斜辉石和钛铁矿(图1)。

b、玻璃(72%) + 子晶(28%): 由于矿物辉石和玻璃相组成(图1)。

c、玻璃(71%) + 收缩泡(29%): 气相有两种存在形式, 一种是圆形的收缩泡, 另一种呈不规则的弥散状(图1)。

除上述三类包裹体外, 在橄榄石中也发现类似橄榄辉长岩脉中呈串珠状、微小的CO₂流体包裹体群, 它们多分布于矿物裂隙面附近。

二、岩浆包裹体的均一化温度

岩浆包裹体的均一化温度测定是采用淬火法。使用的淬火装置是南京生产的LGHS-1型高温淬火炉。测温过程中进行缓慢升温、阶段恒温、阶段淬火观察。升温速率为5 $^{\circ}$ C/分钟, 恒温时间一般控制在二小时左右, 升温间隔为50 $^{\circ}$ C。个别包裹体视具体情况可大于或小于50 $^{\circ}$ C。由于所研究的样品形成于地壳较浅部位, 压力不大, 加之由升温间隔所决定的测量误差较大, 所测均一化温度未进行压力校正。此外, 因测温装置中的热电偶不是位于样品室中, 使表头指示温度不能完全准确地反映样品的实际温度, 为此, 利用另一台同型号的仪器将热电偶直接放入样品室中, 通过反复试验, 求出了误差值(误差值为60 \pm 10 $^{\circ}$ C), 对测得的温度进行了校正。

用于测温的岩浆包裹体为个体较大、相态分明、无泄漏痕迹的原生包裹体。在升温过程中, 首先发生变化的是收缩泡。其变化包括: 气泡的迁移、扩散和聚集, 气泡的分裂或合并以及气泡的生成。上述几种情况均表明包裹体已发生初熔。随温度的持续上升, 总的变化规律是气泡体积的逐渐缩小直至消失, 或气泡在某一临界温度之上, 个数、体积保持不变。上述两种情况都表明, 包裹体已经达到均一。均一后的个别包裹体棱角部分已发生不同程度的圆化。测温结果表明, 橄榄辉长岩脉中岩浆包裹体的均一温度在1220—1270 $^{\circ}$ C之间。方沸碱煌岩脉中的岩浆包裹体在加温至800 $^{\circ}$ C时, 因主矿物氧化成黑色, 未测得均一温度。

图2、照片9分别是岩浆包裹体在加温过程中相态变化特征的素描图和照片。

三、岩浆包裹体的成分特征

作者对均一化前、后的岩浆包裹体分别进行了电子探针测定。对均一化前岩浆包裹体晶相子矿物和玻璃成分测定旨在了解包裹体各相化学成分特征; 而均一化后包裹体测定结果可有助于了解主矿物结晶时周围岩浆的化学成分。表1、图3分别给出了分析结果及测点位置。两条岩脉中岩浆包裹体成分特征可总结如下:

(一) 均一化前岩浆包裹体晶相子矿物、玻璃相化学成分

橄榄辉长岩脉中的包裹体基本上由辉石子晶、铁质物(推测为磁铁矿)以及少量钾长

岩性	矿物	初始状态	加温过程中岩浆包裹体的相态变化	均一温度℃
方沸碱煌岩	橄 榄 石		770. 870. 800 °C时因主矿物氧化成黑色, 测温终止	>870
			770. 870. 同上	>870
			770. 870. 同上	>870
橄 榄 辉 长 岩	普 通 辉 石		1020 1070 1120 1190 1220 1270	1270
			1020 1070 1120 1170 1220 1270	1270
			1020 1070 1120 1170 1220 1270	1270
			920 970 1020 1070 1170 1200 1220	1220

图 2 加温过程中岩浆包裹体的相态变化特征

Fig. 2 Phase transition of magmatic inclusions being heated

表 1 岩浆包裹体电子探针分析结果

Table 1 Electrical microprobe analyses of magmatic inclusions

		测点	主矿物	包体号	分析对象	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量	
橄 榄 辉 长 岩	均 一 前	1	单斜辉石	1	子晶(钾长石)	74.03	0.03	20.01	0.39	0.31	—	0.03	0.52	0.65	2.43	98.40	
		2	单斜辉石	1	子晶(辉石)	51.64	0.73	3.27	0.28	6.58	0.11	15.12	21.83	0.30	—	99.86	
		3	单斜辉石	2	子晶(辉石)	50.98	0.89	4.40	0.54	6.70	0.13	14.38	21.51	0.28	—	99.81	
		4	单斜辉石	3	主晶辉石 残余玻璃	50.71	1.16	4.29	0.07	8.82	0.23	13.45	20.33	0.44	—	99.49	
	均 一 后	5	单斜辉石	4	均一玻璃	40.20	4.54	14.01	0.22	14.04	0.19	10.41	11.81	2.51	0.65	98.58	
		6	单斜辉石	4	均一玻璃	56.67	1.19	15.56	0.15	6.46	0.05	5.19	9.09	1.70	2.24	98.30	
		7	单斜辉石	4	均一残余 计算后均一成分 全岩	55.31	1.26	15.25	0.17	6.51	0.13	5.75	10.04	1.87	2.09	98.38	
方 沸 碱 煌 岩	均 一 前	8	橄榄石	5	子晶(辉石)	27.58	1.11	12.91	4.71	33.82	0.23	11.62	4.43	2.03	0.97	99.41	
		9	橄榄石	5	子晶(钛铁矿)	55.14	1.23	15.33	0.30	7.31	0.09	5.65	9.42	1.78	2.13	98.38	
					全岩	50.70	1.17	17.14	—	8.44	0.17	6.07	9.20	3.42	1.60	97.91	
					8	橄榄石	44.28	4.70	9.35	0.21	7.78	0.09	10.53	21.32	0.65	—	98.91
					9	橄榄石	0.12	24.25	1.05	0.21	66.08	0.54	0.81	0.05	0.03	—	93.14

测试单位: 中国地质科学院矿床地质研究所(周剑雄)。

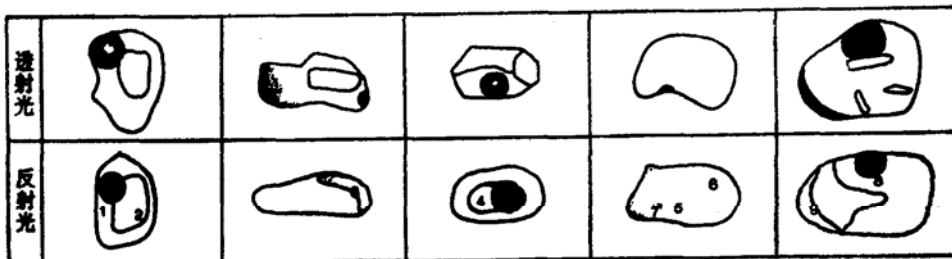


图 3 岩浆包裹体测点位置示意图

Fig. 3 Sketch map showing the analyses points of magmatic inclusions

石子晶和残余玻璃组成。辉石子晶与主晶辉石成分上相当一致。残余玻璃基性程度较高, SiO_2 含量仅为40.20%。和均一化后包裹体成分相比, 其 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 低于均一玻璃, 而 FeO 、 MgO 、 CaO 和 TiO_2 明显高于均一玻璃, 反映了封闭体系下的岩浆结晶过程中, 子晶相辉石、钾长石晶出对残余熔体成分的制约作用。

方沸碱煌岩脉中的橄榄石因加温过程中的氧化作用, 没有获得完全均一的岩浆包裹体。对均一前包裹体测定结果表明, 其中子晶矿物主要是辉石、钛铁矿(表1)。

(二) 橄榄辉长岩中的均一化后岩浆包裹化学成分

由于包裹体(图3)中所含有的不透明铁质物与熔体间未达到完全均一化, 在电子探针分析过程中, 对均一后包裹体两侧进行了对比测定(图3中的点5、点6), 结果表明, 两点上的成分相当一致(表1中的测点5、6), 表明包裹体确已达到部分均一。对均一后的包裹体照片通过网格求积换算出均一残余物的体积百分比约为3%。然后, 根据均一玻璃与均一残余成分分析结果利用二元混合公式求得整个包裹体的均一成分(表1)。

对比换算后的均一包裹体成分和全岩成分, 两者在基性组分方面含量比较一致, 而在酸性组分上存在明显的差别。包裹体均一成分以高 SiO_2 、 K_2O , 低 Al_2O_3 、 Na_2O 区别于全岩。一般认为早期矿物相中所捕获的岩浆包裹体的化学成分可以代表结晶形成主岩的岩浆的初始化学成分^[3,4,5], 它们与主岩的全岩化学成分相近或更偏基性些。本文的测定结果提供了相反的例子: 早期矿物中捕获的熔体成分的酸性程度明显高于全岩, 隶属于中性岩范畴。

在岩浆演化过程中, 归纳起来, 有四种作用可以导致初始岩浆化学成分的改变: 岩浆结晶分异作用, 岩浆与围岩之间的同化混染作用, 岩浆的液态不混溶作用以及不同成分岩浆的混合作用。很显然, 岩浆结晶分异作用, 由于早期贫 SiO_2 暗色矿物的析出, 只会使熔体向酸度增大方向演化。世界上许多杂岩体的岩石共生组合以及人工硅酸盐实验都证明了这一点。同样, 由于所研究岩浆的围岩为花岗闪长岩, SiO_2 含量均在60%以上, 如果同化混染作用确曾发生的话, 也不会促使岩浆向基性方向转化。因此, 能够使岩浆由酸性向基性转化的成岩机制只能是岩浆的液态不混溶作用或岩浆混合作用。对宁镇岩体中花岗闪长斑岩的熔融实验结果表明, 实验产物中普遍存在不同形式的液态不混溶现象^[6]。据此并结合岩脉宏观、微观结构上的均一性, 我们倾向认为包裹体均一成分与全岩成分的上述差异代表了一种成岩过程中的液态不混溶作用, 即橄榄辉长岩脉中的辉石斑晶最初是在较酸性的熔体中结晶的, 在以后的岩浆演化过程中, 由于物理化学条件的变化, 发生了液态不混溶作用, 该岩脉就是这一不混溶作用中的较基性端员上升侵位形成的。

(三) 地质意义

长期以来, 人们发现了许多逆向岩浆活动或者不同成分岩浆交替活动的地质实例, 最典型的莫过于花岗岩地区岩浆作用晚期广泛发育的暗色岩脉了。在宁镇岩体的局部地区除暗色岩脉的其它岩石也显示了这种逆向岩浆活动的特点^①。针对这一地质现象, 人们提出了许多假说和模式, 其中之一就是层状岩浆房理论。该理论认为原本均一的岩浆房由于重力或其他因素形成液态层状分异, 上部为酸性成分, 下部为基性成分, 在岩浆侵位过程中, 形

① 牛贺才、陈思松, 1991, 岩浆的逆向演化与成矿作用(待刊稿)。

成先酸性后基性的逆向岩浆活动。本文暗色岩脉中岩浆包裹体的成分特点为这一假说提供了微观上的证据。

参 考 文 献

- [1] 夏林圻等, 1984, 硅酸盐熔体包裹体的一种新分类。科学通报, No. 9。
[2] Roedder, E., 1965, Liquid CO₂ inclusion in Olivine-bearing nodules and phenocrysts from basalt. Am. Mineral., Vol. 50。
[3] 夏林圻等, 1988, 岩浆包裹体化学成分研究。岩石矿物学杂志, Vol. 7, No. 1。
[4] 夏林圻, 1984, 硅酸盐包裹体均匀化过程的动力学性质。地质科学, No. 3。
[5] 夏林圻, 1985, 岩浆包裹体的成因和意义。中国地质科学院院报, No. 11。
[6] 牛贺才等, 1990, 宁镇地区花岗闪长斑岩熔融实验研究。江苏地质, No. 4。

A Study on Magmatic Inclusions of Dark Dikes of Ningzhen Granitic Body in Jiangsu

Wang Xuecheng, Chen Sisong

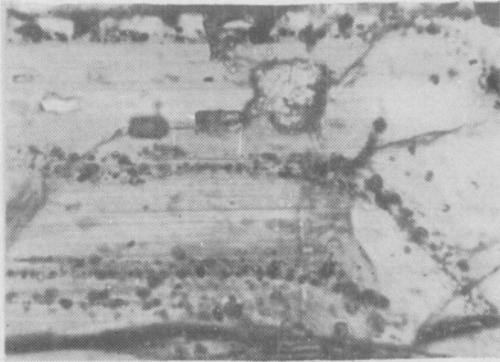
(Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangsu Province, Nanjing 210018)

Key words: dark dikes; magmatic inclusions; reversed magmatic activity

Abstract

The Ningzhen granitic body is situated between Nanjing and Zhenjiang, formed in the Late Yanshanian period and belongs genetically to syntectonic granitoids. Its major rock types are granodiorite porphyry, granodiorite, quartz diorite-porphyry and so on. This paper deals with the magmatic inclusions developed in two dark dikes—olivine gabbro dike and monchiquite dike intruding into the granitic body. These inclusions are enclosed in clino-pyroxene and olivine phenocrysts. Most of them are well-developed primary magmatic inclusions of evolution type, consisting of daughter minerals such as pyroxene, ilmenite, biotite and potassium feldspar. Some CO₂ fluid inclusions are also observed. The homogenized temperatures of the magmatic inclusions are between 1220–1270°C. The results of electron microprobe analyses of homogenized inclusions indicate that magmas trapped in the early crystallized pyroxene phenocrysts are evidently more acidic than host rocks. Combined with other evidences it suggests liquid immiscibility took place during the formation of the dikes, thus providing an evidence for the hypothesis of layered magma chamber to explain reversed magmatic activity.

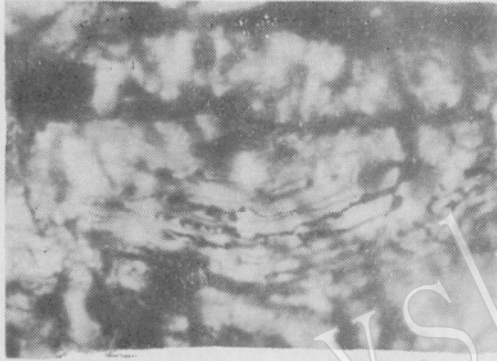
王学成：江苏宁镇花岗岩体中暗色岩脉的岩浆包裹体研究



照片 1 沿辉石生长纹呈环状分布的岩浆包裹体，
×144



照片 2 辉石中心部位的负晶形含子晶
的岩浆包裹体群，×36



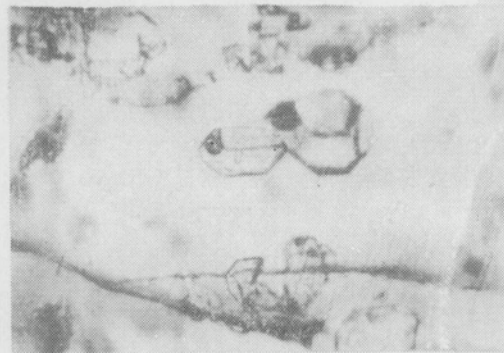
照片 3 树枝状含CO₂岩浆包裹体，×360



照片 4 蠕虫状含CO₂岩浆包裹体，×225



照片 5 子晶(C)和玻璃(G)两相岩浆包裹体，×144



照片 6 子晶加玻璃加收缩泡三相岩浆包裹体，×144

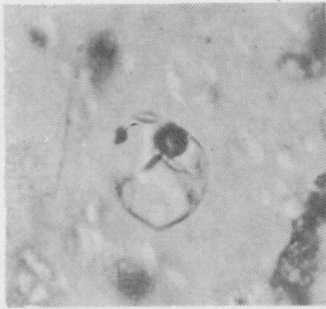


照片 7 含两相CO₂的五相岩浆包裹体，×144

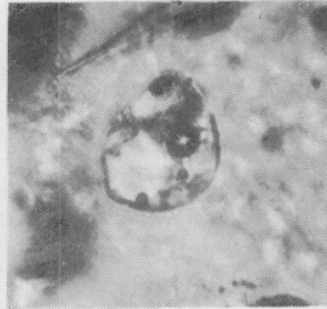


照片 8 含黑云子晶的三相岩浆包裹体，×360

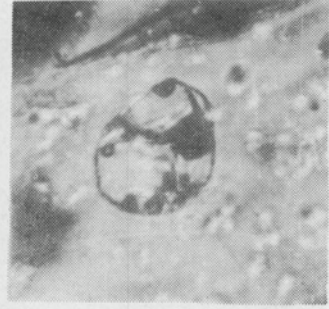
王学成：江苏宁镇花岗岩体中暗色岩脉的岩浆包裹体研究



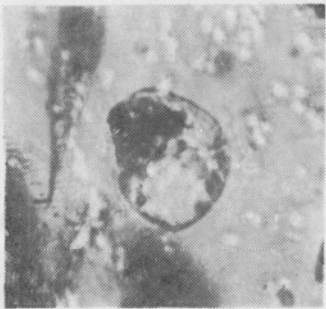
初始



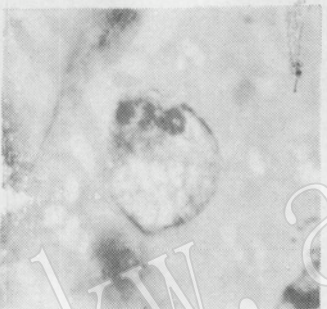
850°C



1070°C



1120°C



1190°C



1270°C

照片9 加温过程中岩浆包裹体的相态变化特征

www.yyskw.ac.cn