

# 钠长石花岗岩中雪球结构形成机理的研究<sup>\*</sup>

李福春 朱金初 金章东 李晓峰

(南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 南京 210093)

**主题词** 雪球结构 钠长石花岗岩 形成机理 控制因素

**提 要** 在某些富锂、氟含稀有金属花岗岩的石英和钾长石斑晶中常见(半)雪球结构。雪球结构的产出特征、雪球体中钠长石的电子探针分析结果以及其他间接证据都说明,雪球结构是在岩浆结晶分异过程中形成的。对矿物结晶顺序、石英和钠长石的生长速率以及固相线温度的研究表明,富锂、氟、钠的花岗质残余岩浆完全具备形成雪球结构的条件。岩浆熔体中较高的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值和 $\text{F}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 含量在雪球结构的形成过程中起着重要的作用: F的高含量使岩浆固相线温度降低,岩浆得以充分分异演化,形成接近端员组分的钾长石和钠长石; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值较大使钠长石首先结晶;较高的F和 $\text{H}_2\text{O}$ 含量使岩浆粘度降低,石英的生长速率相对加快并逐渐包裹钠长石形成雪球结构。

我国华南及世界许多地区广泛发育垂直岩相分带较为明显的复式花岗岩体,在其上部通常出现富含稀有金属元素和F、B、Li和P等挥发分的钠长石花岗岩。在这种钠长石花岗岩中,常常见到半自形-自形板条状钠长石晶体沿石英和钾长石斑晶的生长面发育而形成环带状晶体包裹体的现象,即所谓的雪球结构。关于钠长石花岗岩的成因问题,长期以来,一直存在着交代观点和岩浆观点的激烈争论,双方对雪球结构形成机理的认识也绝然不同,他们都把雪球结构作为支持各自观点的重要依据。因此,雪球结构的形成机理成了解决富锂、氟钠长石花岗岩成因的关键问题之一。

关于雪球结构的形成机理,早期的交代论者认为石英斑晶及其中的细小钠长石条晶都是交代形成的,石英斑晶在生长过程中把钠长石“捕获”进去<sup>[1]</sup>,还有人认为雪球结构是石英和钾长石发生钠长石化造成的<sup>[2]</sup>。蒙古翁岗岩及其中岩浆包裹体的发现有力地支持了岩浆成因观点,并使越来越多的学者站到岩浆成因说一边<sup>[3~6]</sup>,邹海波等还提出雪球结构是在远离平衡的非线性区形成的一种耗散结构的观点<sup>[6]</sup>。但是,他们对雪球结构形成机理的解释还仅限于一般推测,对岩浆成因可能性及其控制因素没有进行深入研究。本文系统描述了雪球结构的特征,从矿物结晶顺序、结晶动力学和温度条件的角度出发,分析了石英斑晶捕获细粒钠长石形成雪球结构的可能性,并探讨了控制雪球结构形成的重要因素。

## 1 雪球结构的特征

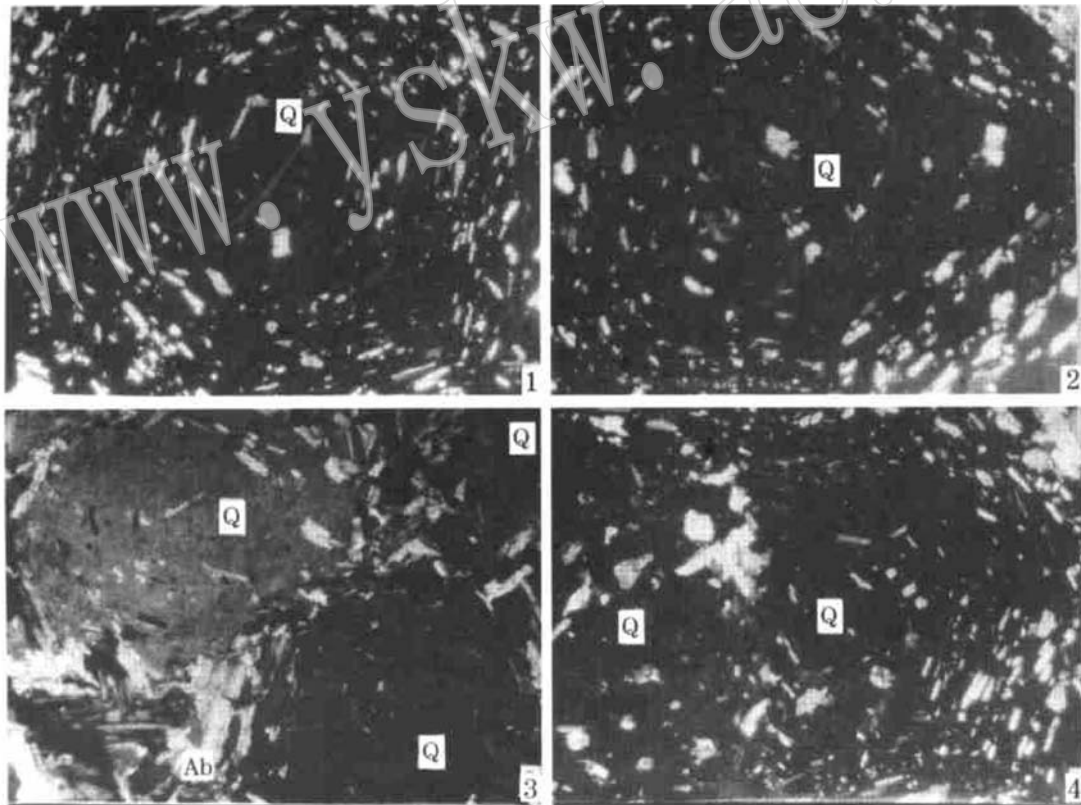
在含稀有金属花岗岩的石英和钾长石斑晶中,经常见到板条状钠长石晶体呈环带状出

<sup>\*</sup> 本文获国家自然科学基金(编号:49573185和49873017)资助。

第一作者简介 李福春,男,1964年生,地球化学专业博士生。

收稿日期 1999-09-08, 改回日期 1999-11-02

现的现象,在地质文献中称之为雪球结构或环带结构<sup>[1-6]</sup>。徐启东将雪球结构分为成熟型、半成熟型和未成熟型<sup>[4]</sup>。实际上,雪球结构是一种特殊的包含结构。在一般的包含结构和雪球结构之间存在着过渡类型,彼此之间不存在截然的界限。本文按斑晶中钠长石包裹体的发育程度将包含结构大致划分为三个等级:1)雪球结构,仅见于石英自形斑晶中。钠长石晶体粒度小、分布密度高,出现3~5个明显的环带。环带在横切面上接近正六边形(照片1),有时棱角不太分明而接近于圆形,在纵切面上则为沿石英斑晶c轴延长的六边形,可见到明显的六方柱状双锥的切面(照片2)。雅山白云母-钠长石花岗岩、松树岗黄玉碱长花岗岩和俄罗斯西伯利亚等地的白云母-钠长石花岗岩(含Be、W)、锂云母-天河石-钠长石花岗岩(含Ta、Nb、Sn)<sup>[11]</sup>中发育雪球结构;2)半雪球结构,主要见于石英(照片3)、钾长石斑晶中,偶尔见于黄玉斑晶中。钠长石包裹体的数量较少,其整体排列显示出环形轮廓但不太明显。在发育雪球结构的花岗岩中都可见到半雪球结构,此外,在栗木、仑山、尖峰岭、大吉山花岗岩以及俄罗斯西伯利亚等地的钠闪石-钠长石花岗岩(含Nb、REE)<sup>[11]</sup>中也可见到;3)一般的包含结构。数量更少的钠长石晶体被包裹在石英、钾长石和黄玉中而不显示规律性排列。这种结构在稀有金属花岗岩中普遍发育。一般的包含结构、雪球结构和半雪球结构的成因应该是相同的,它们在形态上的差异主要由钠长石晶体的数量决定。



#### 照片说明

- 1—石英斑晶的正六边形横切面,具雪球结构。正交,×22.5
- 2—石英斑晶的六边形纵切面,具雪球结构。正交,×22.5
- 3—三个含半雪球结构的石英斑晶横切面。正交,×22.5
- 4—两个含雪球结构的石英斑晶对接。正交,×22.5

在同一岩体的不同部位, 包含结构的表现形式存在明显差异。例如, 我们在观察雅山 zk34 的岩石薄片时发现, 由钻孔深部向浅部存在着由一般包含结构到半雪球结构再到雪球结构的变化趋势, 雪球结构的发育程度在岩体顶部明显比中下部要高, 有时在一个视域中可见到几个雪球体(照片 3)。

发育雪球结构的岩石一般为似斑状结构, 斑晶主要是石英和钾长石, 在岩体顶部可见到黄玉斑晶。基质主要是板条状的钠长石和少量它形石英、锂(白)云母、黄玉等。含有雪球结构的石英斑晶周围常被基质钠长石环绕包围, 它们的长轴与斑晶晶面近于平行, 形成包球结构。包球结构中的钠长石比雪球结构中的钠长石粒度大得多。雅山岩体石英斑晶中的钠长石与基质钠长石平均长度比在 1: 4~ 1: 10 之间, 宽度比在 1: 2. 7~ 1: 10 之间。同时, 钾长石中的钠长石比石英中的钠长石粒度要大些, 如雅山花岗岩石英和钾长石中的钠长石平均宽度比为 1: 1. 3; 大吉山为 1: 1. 5<sup>[5]</sup>。在不同岩体中, 雪球结构中的钠长石晶体形态也有一定差别。例如, 雅山岩体石英斑晶中钠长石为长条状, 其长宽比平均 2. 4: 1, 松树岗岩体石英斑晶中钠长石为板状, 长宽比 1. 7: 1。

我们统计了雅山钠长石花岗岩中 4 个雪球体中的钠长石粒度后发现, 由雪球体的内带到外带, 钠长石晶体的长度和宽度都有增大的趋势(图 1)。应该指出的是, 这里的内带、过渡带和外带是相对划分的, 实际上, 它们之间不存在截然的界线。

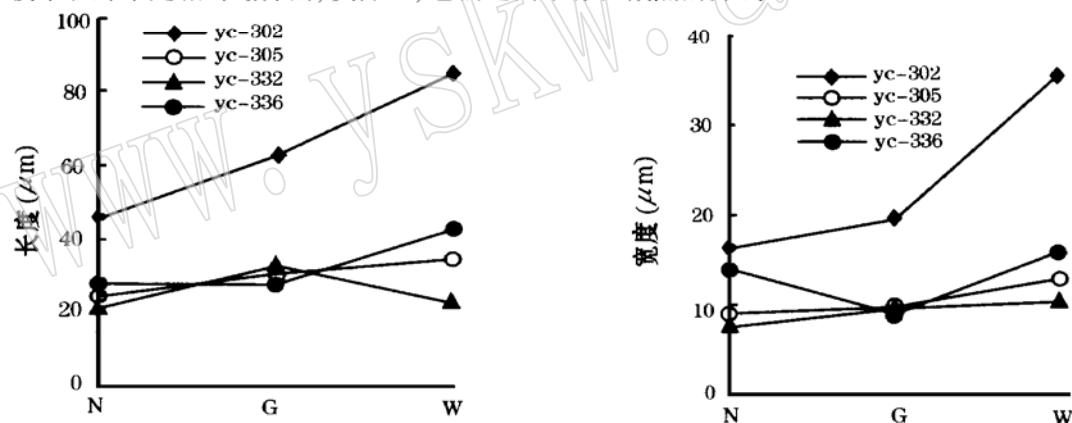


图 1 雅山花岗岩石英斑晶中钠长石包裹体的粒度变化图

Fig. 1 Variations of sizes of albite in quartz phenocrysts from Yashan granite

N—内带; G—过渡带; W—外带

刘昌实等用电子探针分析了钾长石中钠长石包裹体的  $P_2O_5$  含量, 发现  $P_2O_5$  含量从雪球体的核部向边缘有增高的趋势<sup>[7]</sup>(图 2)。这符合  $P_2O_5$  在晚期岩浆中富集的一般规律, 间接地反映了钠长石被包裹的先后顺序, 即核部的钠长石先被包裹, 边部的钠长石后被包裹。随着岩浆的演化, 晚阶段形成的斜长石更偏向酸性, 如雅山岩体由  $r_5^{2A} \rightarrow r_5^{2B-1} \rightarrow r_5^{2B-2} \rightarrow r_5^{2B-3}$ ,  $Ab$  分子数增高<sup>[8]</sup>(图 3)。石英中钠长石包裹体的电子探针分析结果(表 1)表明,  $Ab$  分子数并未显示明显的增高趋势(图 3)。这可能是先后形成的钠长石在主成分上没有明显差异, 主要差异反映在挥发分上的缘故。

表 1 雅山花岗岩石英斑晶中钠长石电子探针分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analyses of albite in quartz phenocrysts from Yashan granite

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Mn	FeO	总量	Ab	Or	An
1	9.977	-	20.157	69.562	0.100	0.198	-	-	-	99.994	97.2	0.7	2.1
2	9.255	-	20.278	70.832	0.110	0.198	-	-	-	100.666	97.0	0.8	2.2
3	10.489	-	19.896	70.147	0.118	0.093	-	0.038	0.039	100.820	98.3	0.7	1.0
4	10.358	-	19.919	68.292	0.166	0.173	-	-	0.004	98.912	97.2	1.0	1.8

1 2 3 4 为由雪球结构核部向边部的测序点。测试者: 南京大学成矿作用国家重点实验室赖鸣远。

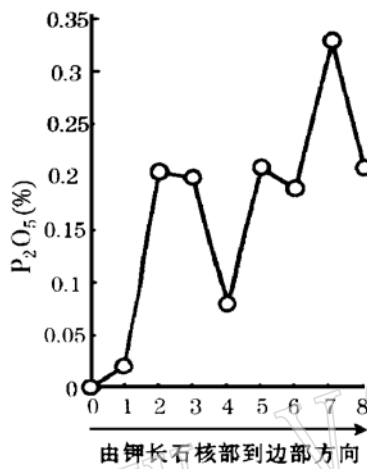


图 2 钾长石中钠长石包裹体 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量变化曲线(据文献[7])

Fig. 2 The phosphorus contents of albite inclusions in K\_feldspar from Yashan granite

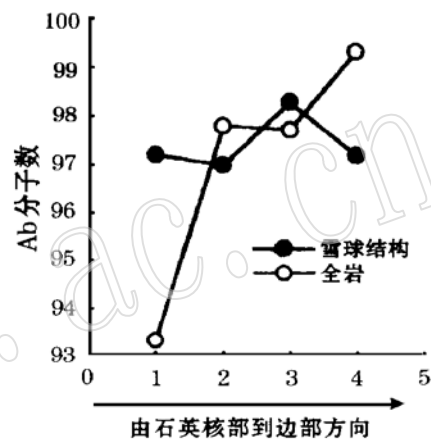


图 3 雅山岩体及其石英中钠长石包裹体 Ab 含量变化曲线(全岩数据据文献[8])

Fig. 3 The Ab percentage of albite in quartz or in rock from Yashan granite

此外,雪球结构还具有以下特征: 1) 含雪球结构的斑晶自形程度较好,在自形程度较差的斑晶中很少见到雪球结构。石英斑晶的六方柱状双锥纵切面和正六边形横切面很常见,这说明雪球结构不是钠质溶液交代石英或钾长石斑晶而形成的,更不可能是石英在“自净”过程中形成的。因为如果是这种交代作用造成的,则雪球结构的发育程度应该与自形程度无关。同时,自形斑晶本身就说明它们是在自由的生长空间即熔体中形成的; 2) 雪球结构往往同包球结构共生,不含雪球结构的斑晶周围也不发育包球结构,说明雪球结构形成于钠长石晶体特别发育的位置,一部分钠长石被斑晶包裹,另一部分未被包裹而继续生长; 3) 在雅山岩体顶部常见两个甚至三个含雪球结构的石英斑晶连生。当斑晶完全接合在一起时,常见钠长石环穿过两个石英斑晶的假象(照片 4),经仔细观察发现,其中的钠长石环不是同心的,即它们不是一个环,而是雪球体在两个石英斑晶中分别生长最后相接所致。当斑晶之间存在较小的间隙时,则间隙中常常被基质钠长石充填,这是未被斑晶包裹进去的钠长石继续生长的结果; 4) 雪球结构核部钠长石分布密度较低,边部密集,这可能是斑晶较小时其包容能力有限之故,也可能与晶体生长面呈螺旋状向外生长过程中的动力学状态有关; 5) 雪球结构仅在石英斑晶中发育,钾长石中仅有半雪球结构,黄玉中通常发育一般的包含

结构, 偶尔见到半雪球结构。这可能与矿物结晶顺序和生长速率有关; 6) 石英斑晶裂隙极不发育, 不具备供交代溶液流经的通道, 因此很难用交代假说解释雪球结构的成因。

值得注意的是, 雪球结构不仅在稀有金属花岗岩中发育, 在香花岭 431 岩脉翁岗岩的石英和钾长石斑晶中以及蒙古翁岗岩中也发育半雪球结构<sup>[9, 10]</sup>。翁岗岩岩脉以与围岩的侵入接触关系、冷凝边构造、流动构造以及熔浆包裹体的相继发现使其岩浆成因成为公认的事实<sup>[9-11]</sup>。

## 2 形成雪球结构的主导因素

为什么同是稀有金属花岗岩, 有的广泛发育雪球结构, 有的仅见半雪球结构, 有的则见不到雪球结构? 根据现有资料, 我们按照是否发育(半)雪球结构做出稀有金属花岗岩的  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{F}$  含量关系图(图 4)。结果发现, 发育(半)雪球结构的花岗岩主要落在图形的上部, 不发育的主要位于下部。显然, 熔体中  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值是影响雪球结构形成与否的重要因素, 当比值大于 1 时大多形成雪球结构, 小于 1 时则基本上不形成。从图上可以看出, 发育(半)雪球结构的岩体中 F 含量变化范围较大。但是, 在 F 含量大于 1.2% 时几乎都形成雪球结构, 说明 F 含量高有利于形成(半)雪球结构。有些发育雪球结构的岩体中 F 含量不高甚至很低, 是因为在岩浆结晶演化的晚期有相当一部分 F 进入岩浆热液之故。因此, 保存在岩石样品中的 F 含量已经不能代表岩浆熔体中 F 含量, 栗木水溪庙岩体(F 含量 0.26%) 地表广泛发育锂云母-萤石线脉带及香花岭岩体附近发育萤石矿等即是最有力的证明。

图 4 稀有金属花岗岩  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{F}$  投影图  
Fig. 4  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{F}$  diagram of raremetal-bearing granite

1—含(半)雪球结构; 2—不含雪球结构

资料来源: 雅山、栗木、大吉山、牛岭坳、仑山<sup>[8]</sup>, 苏州<sup>[12]</sup>, 431 岩脉<sup>[9, 11]</sup>, 松树岗<sup>[13]</sup>, 蒙古翁岗岩<sup>[10]</sup>, 西伯利亚等<sup>[11]</sup>

控制雪球结构形成与否的主要因素是岩浆熔体中  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值、F 和  $\text{H}_2\text{O}$  含量, 而且它们在雪球结构的形成过程中扮演着不同的角色。它们通过改变矿物结晶顺序、生长速率和固相线温度

等来控制雪球结构的形成与否。

### 2.1 矿物结晶顺序

实验表明, 体系中 F 等挥发分的存在可以大大地改变矿物的结晶顺序。而且, 矿物的结晶顺序还与所加第二挥发分的形式密切相关。Anfilogov 和 Gluk 等用花岗岩(白岗岩)分别加入 NaF、KF 和 HF 进行实验, 获得了完全不同的相图和矿物结晶顺序。例如, 在 F 含量 2% 时上述三种情况的结晶顺序分别是: 钠长石 → 石英 → 钾长石、钾长石 → 石英 → 钠长石和石英 → 黄玉 → 钠长石<sup>[14-16]</sup>。熊小林用钠长石花岗岩+ HF 体系进行了实验, 获得 F 含量 2% 时的结晶顺序是石英 → 碱性长石 → 钠长石+ 钾长石 → 云母 → 黄玉<sup>[17]</sup>。由此可以看出,

同样是花岗岩样品,在 F 含量一定(2%)的情况下,加入 NaF(实验体系中  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  为 1.4)可以使钠长石首先结晶,加入 KF HF 则首先结晶的分别是钾长石和石英。

夏卫华等在  $10^8\text{Pa}$  条件下用松树岗、雅山和水溪庙花岗岩分别进行了熔化实验,得到总体上的矿物消失顺序为黄玉+云母→钾长石→石英+钠长石<sup>[18]</sup>,这说明钠长石和石英同为岩浆早期结晶的产物。岩浆成因的香花岭 431 岩脉中,局部以钠长石斑晶为主,这可以看作是钠长石首先从岩浆中晶出的天然标本。

以上说明,钠长石是有可能在岩浆中首先结晶出来的,只是这种岩浆的化学成分特殊( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  大于 1)而已,这可能也是为什么雪球结构并不发育于所有含石英和钠长石的岩石中的主要原因。

## 2.2 钠长石和石英结晶动力学

现有的结晶动力学实验结果表明,成核和生长是互相竞争的两个发展趋势,成核速率和生长速率总体上具互为消长关系。影响矿物成核速率和生长速率的主要因素是过冷度,其次是  $\text{H}_2\text{O}$  含量, F 等挥发分对它们的影响目前还不是很清楚。一般来讲,随着过冷度增大,矿物成核密度增大,生长速率减小<sup>[19]</sup>。同时,每一种矿物都有各自的结晶动力学特点。 $\text{H}_2\text{O}$  对钠长石成核密度的影响较小,但对它的生长速率影响较大。在合成花岗岩体系(压力为  $5 \times 10^8\text{Pa}$ )中,大约在  $150\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$  的过冷度(相当于岩浆温度  $750\sim 650\text{ }^\circ\text{C}$ )范围内,钠长石生长速率最大,过冷度增大和减小都会导致生长速率的减小。钠长石生长速率随着体系中  $\text{H}_2\text{O}$  含量的增加而降低<sup>[20,21]</sup>(图 5)。不断进行的结晶作用使残余熔体中  $\text{H}_2\text{O}$  和其他挥发分含量升高<sup>[22]</sup>,同时,在相同压力条件下,随着温度的降低,钠长石熔体中水的溶解度略有升高的趋势<sup>[23]</sup>。因此,随着岩浆的演化,熔体中  $\text{H}_2\text{O}$  含量升高,而钠长石生长速率降低。

在合成花岗岩体系中,石英生长速率与过冷度的关系与钠长石的类似,生长速率曲线都呈正态式展布。但目前尚缺乏  $\text{H}_2\text{O}$  含量对石英生长速率影响的系统资料。London 进行了部分实验后指出, $\text{H}_2\text{O}$  含量对石英成核和生长的影响程度小于长石<sup>[19]</sup>。因此,我们认为:对于富水体系的钠长石花岗岩质岩浆来说,随着  $\text{H}_2\text{O}$  含量的升高,石英的生长速率可能高于钠长石。因此,石英可以包裹钠长石形成雪球结构。

根据 Kovalenko 等的研究,在翁岗岩斑晶含量由 5% 至 44% 这一结晶阶段,钠长石与钾长石、石英生长速率比为 1:1.8:16<sup>[10]</sup>。钠长石花岗岩中各主要矿物之间的生长速率比可能也接近此值。

以上结晶顺序和生长速率方面的资料可以说明为什么石英中常常发育雪球结构,而钾长石和黄玉中只形成半雪球结构或一般的包含结构,即石英较早结晶而且生长速率最快,钾长石稍晚结晶但生长速率较慢(略快于钠长石),黄玉结晶更晚(生长速率有待进一步研究)。

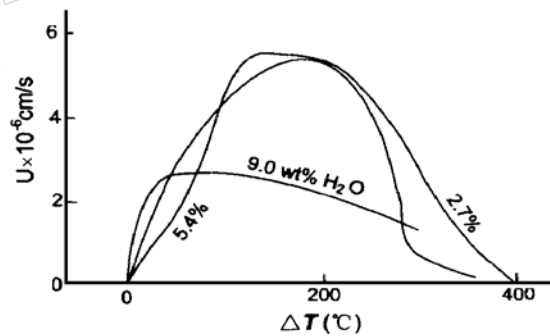


图 5 在压力  $5 \times 10^8\text{Pa}$  条件下钠长石生长速率与过冷度和  $\text{H}_2\text{O}$  含量关系曲线(据文献[20])

Fig. 5 Relation diagram of crystal growth rate of albite and liquidus undercooling and  $\text{H}_2\text{O}$  content of melt under  $5 \times 10^8\text{Pa}$

### 2.3 固相线温度

在发育雪球结构的钠长石花岗岩中, 钾长石和钠长石都接近于各自的端员组分。例如, 雅山钠长石花岗岩中钠长石的  $Ab$  99.34  $Or$  0.41, 钾长石  $Or$  88.45  $Ab$  10.96<sup>[8]</sup>, 充分说明它们是在温度较低条件下形成的, 因为如果温度较高则形成钾长石和钠长石二者的固溶体, 而不会形成端员组分。

我们在用钠长石花岗岩进行的碱性长石结晶动力学实验(温度为 650~750 °C, 压力为  $1 \times 10^8$  Pa)过程中也发现<sup>①</sup>, 除个别样品没有结晶相出现外, 其余 20 个样品的结晶产物全部是碱性长石(表 2)。这说明, 在该实验中温度不低于 650 °C 时不会出现钾长石和钠长石的分离结晶。

表 2 实验产物电子探针分析结果(%)

Table 2 Chemical compositions of experimental products by electron microprobe

样号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	总量	Ab	Or	An
J-06	3.286	0.009	18.732	64.405	13.526	-	0.010	0.002	0.296	100.266	24.0	76.0	0
J-21	9.874	0.006	16.020	70.242	1.922	0.064	0.008	0.196	0.519	98.852	87.8	11.5	0.7
J-19	8.017	0.017	19.542	67.847	4.417	0.004	0.023	0.023	0.518	100.407	73.4	26.6	0

测试者: 南京大学成矿作用国家重点实验室赖鸣远。

研究表明, 初熔温度可以近似地代表固相线温度。现将前人已进行的岩石熔融实验结果绘制成图(图 6)。可以看出, 华南五个主要稀有金属花岗岩和一个翁岗岩脉的熔化温度总体上低于其他类型花岗岩(主要是受 F 含量高的影响), 但是它们彼此之间也存在一定的差异。雅山钠长石花岗岩熔化温度最低, 其他岩体依次升高的顺序是: 431 岩脉(边缘相) → 水溪庙 → 癞子岭 → 尖峰岭 → 邓埠仙(第四期), 与雪球结构发育程度由高到低的顺序基本一致。这说明形成雪球结构需要有较低的固相线温度, 而稀有金属花岗岩恰好具备这一条件。

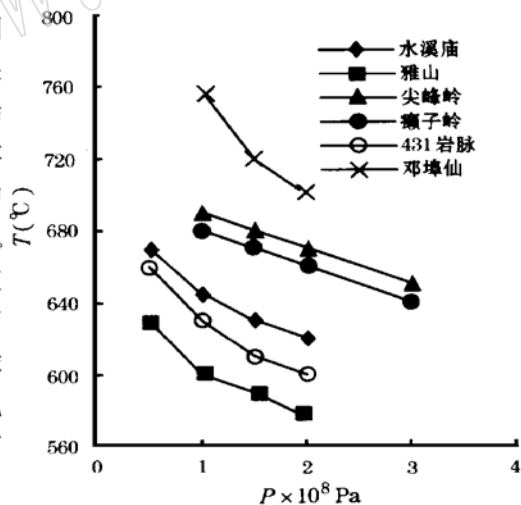


图 6 华南某些稀有金属花岗岩初熔曲线

Fig. 6 Start-melting curves of some rare metal-bearing granites in South China

资料来源: 雅山<sup>[24]</sup>, 尖峰岭<sup>[25]</sup>, 癞子岭<sup>[26]</sup>, 邓埠仙<sup>[27]</sup>, 水溪庙<sup>②</sup>, 431 岩脉<sup>③</sup>

## 3 结论

雪球结构的产出特征、雪球体中钠长石环带的生成关系、具有雪球结构的自形石英斑晶中发育岩浆包裹体以及翁岗岩中发育(半)雪球

① 李福春等. 碱性长石的结晶动力学实验研究, 待刊.

② 甘晓春. 南京大学硕士学位论文, 1989.

③ 刘伟新. 南京大学硕士学位论文, 1990.

结构等诸多地质事实都充分证明,雪球结构是在花岗质残余岩浆结晶过程中形成的一种特殊的包含结构。控制其形成的主要因素是  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值、F 含量和  $\text{H}_2\text{O}$  含量。F 含量升高会降低岩浆的粘度和固相线温度,使岩浆液相区扩大,并进行充分的分异演化,从而结晶出接近端员组分的钾长石和钠长石;同时,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值较大有利于在低温条件下首先结晶出钠长石;  $\text{H}_2\text{O}$  和 F 含量升高会使岩浆粘度降低,增强熔体组分的活动性,加快反应速率。在岩浆温度较低(或过冷度较大)、熔体中  $\text{H}_2\text{O}$  含量较高条件下,石英生长速率比钠长石快,在生长过程中石英逐渐包裹钠长石条晶,最终形成雪球结构。

综上所述,我们认为雪球结构的形成机理是:在富 F、富 Na、过 Al 的花岗质岩浆结晶初期,以高成核密度和低生长速率形成了大量的钠长石晶核(也可能同时形成少量石英晶核)。随着岩浆的演化,体系逐渐转变为适合钠长石、石英和钾长石同时生长,在  $\text{H}_2\text{O}$  含量较高的条件下石英的生长速率高于钠长石,相对快速生长的石英晶体在生长面呈螺旋状向外生长的过程中逐渐包容钠长石晶体,最终形成按斑晶晶面排列的雪球结构。雪球结构中内、外环钠长石反映了被斑晶包裹的先后顺序,即雪球结构中外环钠长石生长时间比内环略长,所以粒度也略大。基质钠长石是没有被斑晶包裹的钠长石继续生长的结果,因此其粒度明显大于雪球结构中的钠长石。

在作者进行野外调研和采样期间,得到了宜春 414 钽铌矿钱国文和彭世全、香花岭锡矿李建华、栗木锡矿梁伯海、邓埠仙鹤矿陈伯堂等地质同行的大力支持和帮助,电子探针分析由南京大学成矿作用国家重点实验室赖鸣远老师完成,在此一并表示衷心的感谢。

#### 参 考 文 献

- 1 А. А. Беус, Э. А. Северов, А. А. Ситнин и др. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). Издательство АН СССР, Москва, 1962: 1~ 87.
- 2 胡受奚. 交代蚀变岩岩相. 北京: 地质出版社, 1980, 173~ 214.
- 3 夏卫华, 章锦统. 关于华南稀有金属矿化花岗岩成因的几个问题. 地球科学, 1982(1): 119~ 128.
- 4 徐启东. 广西栗木稀有金属花岗岩中长石的成因与意义. 矿物岩石, 1989, 9(1): 15~ 26.
- 5 孙世华, 于洁. 钽花岗岩结构. 科学通报, 1990(9): 687~ 689.
- 6 邹海波, 徐洪武, 周新民. 钽花岗岩中雪球结构的成因研究. 科学通报, 1991(16): 1245~ 1247.
- 7 刘昌实, 黄小龙, 王汝成等. 江西雅山花岗岩长石中磷的分布及意义. 岩石学报, 1999, 15(2): 291~ 297.
- 8 林德松. 华南富钽花岗岩矿床. 北京: 地质出版社, 1996, 1~ 114.
- 9 朱金初, 刘伟新, 周凤英. 香花岭翁岗岩. 南京大学国家重点实验室年报, 1991~ 1992, 12~ 16.
- 10 Коваленко В И, Кузьмин М И, Ангипин В С и др. Топазосодержащий кварцевый кератофир (онгонит) — новая разновидность субвулканических жёлых магматических пород. Доклад АН СССР, 1971, 199(2): 430~ 433.
- 11 黄蕴惠, 杜绍华, 周秀仲. 香花岭岩石矿床与矿物. 北京: 北京科学技术出版社, 1988, 1~ 231.
- 12 王汝成, 朱金初, 徐士进等. 苏州花岗岩体中的钽矿化作用. 南京大学金属矿床成矿作用国家重点实验室研究年报, 1991~ 1992: 20~ 23.
- 13 章锦统, 夏卫华. 松树岗钨锡钽矿床地质和成矿机理的初步研究. 见: 南岭地质矿产文集. 北京: 地质出版社, 1985, 145~ 155.
- 14 Глюк Д С, Анфилогов В Н. Фазовые равновесия в системе гранит-  $\text{H}_2\text{O}$  - HF при давлении 1000кг/см<sup>2</sup>. Геохимия, 1973(3): 434~ 439.
- 15 Глюк Д С, Анфилогов В Н. Фазовые равновесия в системе гранит-  $\text{H}_2\text{O}$  - KF при давлении паров 1000кг/см<sup>2</sup>. Геохимия, 1973, 210(4): 938~ 940.



- 16 Анфилогов В Н, Глюк Д С, Труфанова Л Г. Фазовые отношения при взаимодействии гранита с фторидом натрия при давлении паров  $1000\text{kg/cm}^2$ . Геохимия, 1973(3): 434~ 439.
- 17 熊小林, 朱金初, 饶冰. 花岗岩-  $\text{H}_2\text{O}$ -  $\text{HF}$  体系相关性及氟对花岗质熔体结构的影响. 地质科学, 1997, 32(1): 1~ 9.
- 18 夏卫华, 章锦统, 冯志文等. 南岭花岗岩型稀有金属矿床地质. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989, 1~ 123.
- 19 London D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. Canadian Mineralogist, 1992, 30(3): 499~ 519.
- 20 Swanson S E. Relation of nucleation and crystal growth rate to the development of granitic textures. American Mineralogist, 1977, 62: 966~ 978.
- 21 Swanson S E, Fenin P M. The effect of F and Cl on the kinetics of albite crystallization: a model for granitic pegmatites? Canadian Mineralogist, 1992, 30: 549~ 559.
- 22 朱金初. 硅铝质熔浆体系中的水质流体. 南京大学学报(自然科学), 1997, 33(地质流体专辑): 11~ 20.
- 23 McMillan P F, Holloway J R. Water solubility in alumosilicate melts. Contrib. Mineral. Petrol., 1987, 97: 320~ 332.
- 24 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, 1~ 421.
- 25 陈德潜. 试论黄玉霏细斑岩的特征与成因. 岩石矿物及测试, 1984, (1): 1~ 17.
- 26 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1989, 1~ 444.
- 27 宋新华, 周旬若, 吴国忠. 邓埠仙花岗岩熔融实验研究. 地质科学, 1988, (3): 247~ 253.

## Formation Mechanism of Snowball Texture in Albite Granite

Li Fuchun, Zhu Jinchu, Jin Zhangdong, Li Xiaofeng

(State Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Key words:** snowball texture; albite granite; formation mechanism; growth rate; controlled factor

### Abstract

The snowball texture in quartz and K\_feldspar phenocrysts is commonly observed in some Li\_F enriched and raremetal\_bearing granites. The characteristics of its occurrence, the electron microprobe analyses of albite in snowball texture and other evidence indicate its genesis of magma crystallization differentiation. Based on the study of mineral crystallization sequence, solidus temperature and growth rates of quartz and albite, it suggests that Li\_F\_Na enriched granitic residual magma is qualified for the formation of snowball texture, and that high\_ratio of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  and contents of F and  $\text{H}_2\text{O}$  in the granitic melt are important to the formation of snowball texture. The increase of fluorine content might result in the drop of solidus temperature, thereby magma might be sufficiently differentiated, and K\_feldspar and albite of near end-member compositions are formed. The high\_ratio of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  leads albite to be crystallized firstly. The higher F and  $\text{H}_2\text{O}$  contents might decrease viscosity of magma and increase the growth rate of quartz. Consequently, the albite might be wrapped by quartz phenocrysts and finally the snowball texture formed.