华南花岗岩的岩浆与岩浆-流体包裹体及其意义

卢焕章

（加拿大魁北克大学，Chicoutimi, P. Q. G7H7B1, Canada）

摘 要 对华南的壳源型重熔花岗岩，壳幔型花岗岩和碱性花岗岩的岩浆、岩浆-流体包裹体的研究结果，其岩浆包裹体可分为结晶质熔融色裹体、结晶质玻璃质熔融包裹体和玻璃质熔融包裹体3种。其均一温度的最佳值分别为850℃，900℃和925℃。花岗岩的岩浆包裹体成分与该岩石的化学成分相似，且含有一定量的挥发组分。在华南花岗岩，特别是含稀有元素的花岗岩中发现了代表从岩浆衍生出岩浆热液的不混溶过程的岩浆-流体包裹体。按其成分可分为4种，它比一般的岩浆包裹体更富含挥发分和易溶盐，其均一温度的最佳值为750℃。结果表明，华南3类花岗岩均为岩浆熔融的产物，但其成分和温度不相同。

关键词 花岗岩；岩浆包裹体，岩浆-流体包裹体；均一温度；包裹体成分；华南

中图号 P588.121；P588.111；P59

在中国广泛发育的各时代的花岗岩及其有关的成矿作用中，均存在着代表形成花岗岩的岩浆和形成各种矿床的成矿流体样品的包裹体。前者以岩浆包裹体（或称硅酸盐熔融包裹体），后者以流体包裹体为代表。本文主要涉及到华南地区的一些花岗岩类，包括不同时代的和不同成因（壳源、壳幔源、幔源）的花岗岩，同时也参考了我国北方和西藏地区花岗岩中包裹体研究的成果。本研究述及的岩体20个，除作者自己的工作成果外，还参阅了国内一些兄弟单位的工作成果[1~7]。研究样品主要采自华南，根据地质及同位素研究资料，这些样品可分为：

（1）壳源型重熔花岗岩 南方燕山期花岗岩属此类，为本次研究的重点，包括诸广山、西华山、千里山、五里亭、龙箱盖、行洛坑等岩体，此类岩体常与或矿作用关系密切。

（2）壳幔型花岗岩 常与深大断裂或古板块有关。

（3）碱性侵入花岗岩 东南沿海分布的晶洞花岗岩如魁岐岩体。

研究方法主要采用高温均一法（莱兹1350型热台）、淬火法、均一法和冷冻法（法国Chaixmeca冷热台）、电子探针分析等。

1995年3月27日收稿，10月17日改回。

作者简介：卢焕章，男，1940年出生，中国科学院地球化学研究所研究员，现就教于加拿大魁北克大学，教授，博士导师，地球化学专业。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

1 花岗岩类中的包裹体类型

花岗岩类中的包裹体可以分为4类，其特征见表1和图1。

第1类为结晶质熔融包裹体，由结晶的子矿物，结晶质和气泡组成。子矿物是这种包裹体捕获之后从熔融体中结晶出来的，经光学鉴定可能的子矿物为长石、辉石、石英等。魏家秀（1985）曾用电子探针确定子矿物为斜长石、钾长石、榍石、石英、石盐、钾盐等。结晶的熔融质系细小矿物所组成，目前尚很难用光学或电子探针方法进行鉴定。气泡常呈不规则状，充填于子矿物和结晶的熔融质之间（图版I-a），并且有时呈多个产出。该类型的熔融包裹体常见于石英、榍石和锆石中。第2类也是结晶质熔融包裹体，但常附于副矿物类如榍石、锆石等产出。也含有第1类相似的子矿物及气泡（图版I-b），第3类为结晶质玻璃熔融包裹体。其由玻璃质和结晶的子矿物所组成，常见于边缘相的石英中（图版I-c）。第4类包裹体为玻璃包裹体，常见于花岗岩、斑岩、火山岩或次火山岩中，玻璃质为均质体，有时见脱玻化，或者在玻璃中结晶出一些小的子矿物（图版I-d）。这4类包裹体代表了不同的热历史，即a、b类包裹体代表了岩浆侵入之后缓慢结晶的历史，而c、d类则表明相对冷却的速度较快。

这4类包裹体在3类花岗岩中分布不同。在壳源型花岗岩中常见到4类包裹体，而在壳慢源型中只见到a类和b类包裹体；在碱性侵入岩中除了见到熔融包裹体外还见到了代表岩浆向热液过渡的流体-熔融包裹体以及代表热液的流体包裹(含子矿物包裹体)、气体包裹体和液体包裹体。说明在碱性花岗岩中见到

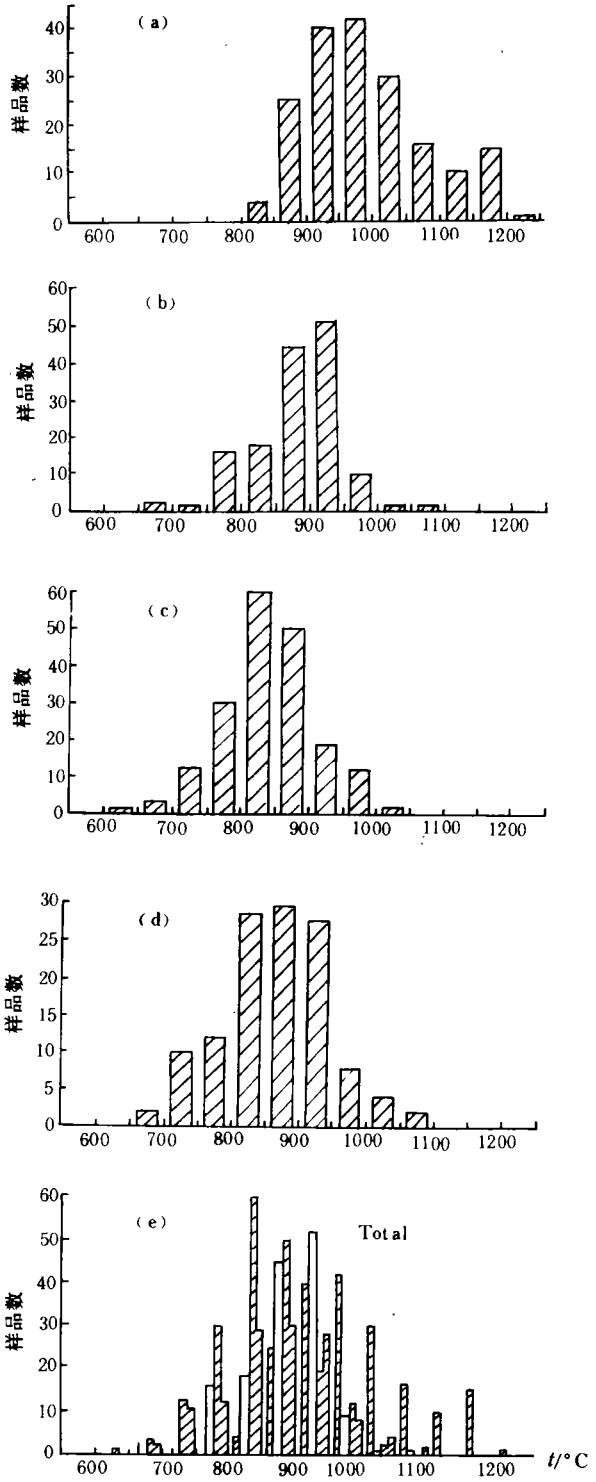


图1 花岗岩类和火山岩的均一温度

Fig. 1 Homogenization temperatures of melt inclusions in granites and volcanic rocks

a—火山岩；b—碱性花岗岩；c—壳源型花岗岩；d—壳幔型花岗岩；e—总计；

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

表 1　南岭地区部分花岗岩体中熔融包裹体特征对比

Table 1　Comparison of melt inclusions in several granites, south China

岩体	岩石类型	熔融包裹体类型	熔融包裹体特征	均一温度/℃ 始熔	均一温度/℃ 终熔	共生的流体包裹体	资料来源
癞子岭(香花岭)	黑鳞云母钾长花岗岩和香花岭岩	玻璃质熔融包裹体，玻璃质-晶质熔融包裹体，晶质熔融包裹体	具主矿物的负晶形，浑圆、椭圆状；气相占 10%～20%，具独立的液相水，见于黄玉	780	860	气相包裹体，气液包裹体，含液相 CO_2 流体包裹体和含 NaCl 子晶的流体包裹体	宜昌地质矿产研究所常海亮(1985)
邓阜仙	白云母碱长花岗岩	简单型熔融包裹体	浑圆形、不规则形，固相具裂纹，气相呈黑色，占 30%．一般为 20～30μm		840	具各种类型的流体包裹体	武汉地质学院矿床教研室(1985)
大吉山	白云母碱长花岗岩	简单型熔融包裹体	不规则状，孤立出现，气相占 30%，一般为 20μm		950	大量流体包裹体	武汉地质学院矿床教研室(1985)及本文
414	碱长花岗岩	晶质熔融包裹体和流体熔融包裹体	不规则状，孤立出现，气相占 30%		950	大量流体包裹体	武汉地质学院矿床教研室(1985)及本文
栗木	钾长花岗岩	晶质熔融包裹体和玻璃质熔融包裹体	多边形，浑圆形和不规则状，气相占 20%～40%．一般为 10～20μm	700			武汉地质学院矿床教研室(1985)
大厂	黑云母花岗岩	晶质熔融包裹体	浑圆形，不规则状和多边形，气相占 30%左右	700	1050	具各种类型的流体包裹体	本　文
钟腾	石英闪长岩	玻璃质熔融包裹体，少量脱玻化	四方形、椭圆形，气相占 10%～20%，一般为 6～20μm，气泡呈圆形、椭圆形，沿包裹体腔壁分布	900	1020 | 1056	气体包裹体和气液包裹体，前者均一温度为 380℃，后者为 200～180℃	王鹤年(1980)
大寺	花岗斑岩	简单型熔融包裹体和晶质熔融包裹体	呈石英的负晶形或不规则状，一般 20～30μm	700	1000	见有含 NaCl 子矿物的流体包裹体	本　文
银山	石英斑岩	玻璃质熔融包裹体	长方形，近六边形，不规则状，气相占 25%，玻璃质未脱玻化	1200± 10			中国科学院地质研究所(1985)
相山	碎斑流纹岩	晶质熔融包裹体，玻璃质熔融包裹体	呈主矿物的负晶形，六边形浑圆形，气相占 5%～25%	905～950 (± 100)			核工业部铀矿地质研究所(1984)
本洞	花岗闪长岩			1050～1100			王鹤年(1980)
魁岐	钠闪石晶洞碱性花岗岩	晶质熔融包裹体，玻璃质熔融包裹体，流体-熔融包裹体	具主矿物的负晶形，大小不一，大者 60μm，小者为 5～10μm，孤立分布	700	950	气液包裹体，气液包裹体和含有 KCl，NaCl 子矿物的高盐度气液包裹体	魏家秀(1989)本文

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

了从岩浆成岩到热液的一个连续的但又不同阶段(岩浆和热液)的过程。

2 岩浆包裹体的均一温度

对各类包裹体均一温度用淬火法和高温均一法进行了测定，所得结果如表2和图1，高温均一法是在莱兹1350热台上进行的。

表2 花岗岩类熔融包裹体的均一温度

Table 2 Homogenization temperatures of melt inclusion in granite and volcanic rocks, south China

岩性	测定矿物	均一温度/℃		
		测定数	范围	最佳值
壳源重熔花岗岩	石英、榍石、锆石	178	650～1050	850
壳幔源花岗岩	石英	51	700～1100	900
碱性花岗岩	石英	139	700～1100	925
火山岩	石英、长石	173	900～1250	1075

据王爱华等(1983); 李兆麟(1982); 魏家秀(1985); 夏卫华等(1989)及本文等资料综合.

从表2和图1可知，壳源重熔花岗岩大部分数据落在800～950℃范围，最佳值为850℃。幔源或壳幔源的包裹体大部分数据为850～950℃，最佳值为900℃，碱性花岗岩的大部分数据为900～950℃，最佳值为925℃。火山岩的大部分数据为950～1150℃，最佳值为1075℃。

3 鼓山岩体（钙碱性-碱性花岗岩）的包裹体研究

魏家秀曾对鼓山岩体进行包裹体研究[5]。该岩体位于福建省北部滨海地区，出露面积约1300km^2。岩体主要侵入于晚侏罗世南园组流纹质火山岩中，侵入的最新地层为早白垩世帽山群的流纹岩夹砂岩中（莫柱荪等，1980）。根据岩浆侵入的先后顺序，可划分为洞田花岗闪长岩、丹阳二长花岗岩（K-Ar同位素年龄88.4Ma)、福州黑云母花岗岩(K-Ar同位素年龄82.4Ma)、前洋黑云母晶洞花岗岩、魁岐钠闪石晶洞花岗岩（Rb-Sr同位素全岩等时线年龄为86～91Ma)、笔架山花岗斑岩等岩体，构成了自早到晚由钙碱性和偏碱性演化的碱性花岗岩系列。

魁岐钠闪石晶洞花岗岩岩体是福建沿海晚白垩世碱性花岗岩的典型代表，出露面积300km^2。它与西侧的福州黑云母花岗岩、北侧的丹阳二长花岗岩及侏罗系南园组火山岩均呈明显的侵入接触关系。岩石呈浅肉红色、紫灰色、褐灰色、蓝灰色或灰白色。晶洞构造发育，形态变化多端。晶洞直径一般为数毫米至数厘米，最大为30～50cm，晶洞以近于直立或陡倾斜成列分布，洞壁由钾长石、石英组成，晶洞中发育有由钾长石、石英、钠闪石、霓石、萤石等组成的晶簇。岩石具细粒-中粒花岗结构，但岩体顶部和边缘相的岩石具显微文象结构和花斑结构。主要矿物成分为：钾长石65%～75%；石英25%～35%；钠长石(An=0～5)少量；暗色矿物主要是钠闪石（0～2%）和霓石（0～2%）。副矿物有磁铁矿、榍石、变生锆石等。

鼓山复式岩体不同侵入阶段花岗岩类岩石中的包裹体种类齐全、形态多样，按其成因及物理相态可分为熔融包裹体和流体包裹体2大类，各自又可进一步分为若干个亚类。

3.1 熔融包裹体

熔融包裹体是岩浆结晶阶段主矿物结晶过程中捕获的岩浆熔融体形成的包裹体。该类包裹体可进一步分为晶质熔融包裹体，玻璃质熔体包裹和流体熔融包裹体3个亚类[4]。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

3.1.1 晶质熔融包裹体 其特征是在偏光镜下呈无色透明，边缘轮廓十分清楚；正交偏光下具非均质性，且其消光位与主矿物略有差异。其大小一般为10～30μm，小者5μm左右，最大可达50～60μm，多数具有规则的外形，一般呈主矿物的负晶形或浑圆形，少数为不规则状或棱角状。该亚类包裹体由晶质相和气相组成，其中气相一般占30%～10%。其晶质相主要为硅酸盐结晶质，折光率与主矿物相近或略低，鉴于其粒度非常细小，镜下很难确定其确切的矿物成分。所见多种子矿物主要为花岗岩的造岩矿物，如钾长石、斜长石、辉石、霓石(?)、石英等，还有磁铁矿、赤铁矿、榍石等，少数为NaCl，KCl等可溶性盐类。

3.1.2 玻璃质熔融包裹体 主要见于笔架山花岗斑岩体中，常孤立产出，少数成群出现，并与流体包裹体共生。

玻璃质溶融包裹体在单偏光下突起较高，多数为无色透明，少数因含铁、锰质而具暗灰色色调；其大小一般长7～30μm，大者可达40～50μm，常具有六边形、多边形等规则的几何外形，其边、棱、角多数呈浑圆状。在正交偏光下则为均质体，但部分玻璃包裹体因具有SiO_2雏晶而微带光性。镜下观察表明，该亚类包裹体一般由非晶质硅酸盐玻璃和气相组成。气相多呈浑圆的黑点，多位于玻璃相的边部，一般占5%～30%，多数构成一个气泡，但亦有少数玻璃包裹体具有双气泡。该亚类包裹体据其硅酸盐玻璃是否已脱玻化可进一步分为玻璃质熔融包裹体和脱玻化熔融包裹体2种。后者的气相往往很不发育，有时形成不具气相的脱玻化熔融包裹体。这种包裹体的突出特点是硅酸盐玻璃已脱玻化，在正交偏光下可见微弱光性。这是由于局部具有石英皱晶所致。

3.1.3 流体熔融包裹体 是指有液相存在的熔融包裹体[1~2]。其可能是在岩浆结晶的晚期阶段捕获的，基本特征与前述晶质熔融包裹体相似，但以出现液相为特征。流体熔融包裹体内的液相介于晶质硅酸盐相及气相之间，它们大多分布于气相的周围。这类包裹体一般长10～35μm，无色透明，折光率低于主矿物。它们由晶质硅酸盐相、液相和气相组成。一般气相占20%～30%，液相占5%～10%，晶质硅酸盐相占60%～75%。其晶质硅酸盐相一般颗粒十分细小，镜下难以确定其确定切的矿物成分，经电子探针分析，该亚类包裹体中的子矿物主要为长石、霓石(?)等，少数为NaCl和KCl子晶。

3.2 流体包裹体

鼓山复式岩体不同侵入阶段形成的花岗岩中，除熔融包裹体外，还普遍发育有多种流体包裹体，尤其是在魁岐等晶洞花岗岩中的石英（水晶）、霓石、长石、萤石等矿物内更为发育。该类包裹体是岩浆演化的晚期阶段至岩浆期后热液阶段的产物。广义上，它们仍属于整个岩浆作用的一部分。从形成的物理化学条件和成分分析证明，它们与熔融包裹体之间具明显的继承性。

根据流体包裹体的相态，该类型包裹体可进一步分为4个亚类：（1）气液包裹体。以液相为主，其气相小于50%，一般为10～40%。（2）含子矿物的多相气液包裹体。其子矿物为NaCl子晶、KCl子晶，或为NaCl子晶+KCl子晶。应当指出，该亚类流体包裹体主要见于形成较早的丹阳、福州和前洋等岩体中，而在形成较晚的笔架山岩体中则少见或未见。（3）含液相CO_2的气液包裹体。主要见于福建沿海晶洞钾长花岗岩带南端的金刚山岩体中，而在鼓山复式岩体中比较少见。其各相所占的比例是，气相10%～20%，液相85%～60%。液相$CO_2$5%～20%，（4）气体包裹体以气相为主（>50%），一般为70%左右，最多可达90%。主要见于福州、魁岐岩体及其晶洞水晶中，常与气液包裹体

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

共生。

福建沿海燕山晚期的偏碱性、碱性花岗岩类中的熔融包裹体在500℃以下，基本保持其原有的状态。随着温度的继续升高，熔融包裹体中的子矿物石英首先熔融消失，继之是气相开始变形、位移并收缩。此时，意味着熔融包裹体已达到了始熔状态，此时的温度即为熔融包裹体的始熔温度。进一步升高温度，熔融包裹体中的霓石(?)、榍石、斜长石、钾长石等子矿物相继熔融消失，气相也随之进一步收缩变小，一般晶质熔融包裹体在900℃左右，玻璃质熔融包裹体在800～870℃，气相完全消失，整个包裹体达到完全均一，成为均一的硅酸盐熔体相。此时的温度即为熔融包裹体的终熔温度。

在熔融包裹体500℃以上的均一化过程中，常可见到以下现象。

(1) 气泡变形、位移　表现为气泡形态发生改变和位移，有时则可见一个气泡分裂为数个小气泡。

(2) 净化　表现为熔融包裹体中的晶质硅酸盐相或玻璃相变得干净、明亮，从而整个包裹体变得更清晰。

(3) 气扩　随着熔融包裹体的熔融，一般可见气泡扩大的现象。当包裹体中原来有多个气泡时，则可逐渐合并成为一个气泡。

(4) 裂纹（龟裂）　随着包裹体的熔融，部分包裹体，特别是玻璃质熔融包裹体产生裂纹（龟裂)。

(5) 岩浆分熔　当熔融包裹体接近均一时，晶质硅酸盐相或玻璃相中出现一块块麻点状与原固相界线清晰的熔浆，温度继续升高，熔浆不断扩大，最终构成均一的熔体相。有时，当气相完全消失后，硅酸盐熔浆中仍然存在有一小块与原固相界线分明的物质，这便是岩浆分熔。

鼓山复式岩体中含子矿物的晶质熔融包裹体中子矿物的熔融顺序是：石英→霓石→（榍石）→钾长石→斜长石。子矿物与气相的熔融顺序一般是子矿物先消失，有时则两者几乎同时消失。鉴于熔融包裹体中子矿物的熔融消失时的温度近似反映了该矿物在岩浆中的结晶温度，因此，由上述子矿物消失的先后顺序可知，该复式岩体中矿的结晶顺序为斜长石→钾长石→（榍石）→霓石→石英；这与岩石学研究所得出的结论是相吻合的（刘英俊、李兆麟，1983；Crawford, 1981)。

3.3 熔融包裹体的均一温度

从测定结果（图2）可知，该复式岩体中熔融包裹体的始熔温度为620～790℃，终熔温度为770～1020℃，且其不同岩体花岗岩类中熔融包裹体均一温度并不完全相同。其中最早形成的洞田花岗岩长岩中的熔融包裹体的始熔温度为670～780℃（一般在700℃以上)；其终熔温度为880～1020℃（峰值在950℃左右)。稍后形成的丹阳二长花岗岩中熔融包裹体的均一温度略低，其始熔温度为680～750℃，终熔温度则多数在940℃以下，仅个别可达1010℃。该复式岩体中的福州黑云母花岗岩形成于中期，其熔融包裹体的始熔温度一般为700～710℃，最高为760℃，大体与洞田和丹阳岩体中的熔融包裹体的始溶温度相近，但其终熔温度较低，最高仅为970℃，而绝大多数则在880～900℃之间。该复式岩体中的前洋和魁岐晶洞花岗岩中的熔融包裹体，始熔温度最低为650℃，最高为730℃，一般为700～720℃；其终熔温度一般在950℃左右，但其变化范围相对较宽（800～970℃)。该复式岩体中最晚形成的笔架山花岗斑岩熔融包裹体的均一温度最低，其始溶温度为620℃，最高

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

为700℃，多数在660～670℃之间，而其终熔温度多数为780～800℃，个别可达870℃。总之，从早期到晚期，其熔融包裹体的均一温度有依次降低的趋势。

3.4. 流体包裹体的特征

鼓山各岩体花岗岩类岩石中与熔融包裹体共生的流体包裹体主要是岩浆晚期-岩浆期后热液阶段的产物。该复式岩体中的流体包裹体按其均一温度大致可分为：>640℃、640～490℃、490～370℃和<370℃ 4组。其中：>640℃的流体包裹体比较少见，它们主要是气相（占60%～80%）的气体包裹体，因而显然是在岩浆晚期阶段（固相线以上）捕获的一种流体包裹体。均一温度介于640～490℃的流体包裹体比较常见，它们主要是气相小于50%的气液包裹体，往往与气体包裹和含KCl、NaCl子晶的多相气液包裹体共存。这些包裹体分布密集而不具定向性，其大小悬殊，但其均一温度近似，有的还与熔融包裹体共存，其突出特点是含有沸腾的流体相。因此，其主要是在由封闭向开放体系转变过程中骤然减压条件下捕获的沸腾包裹体群，均一温度为490～370℃的流体包裹体及气相占50%～30%的气液包裹体。

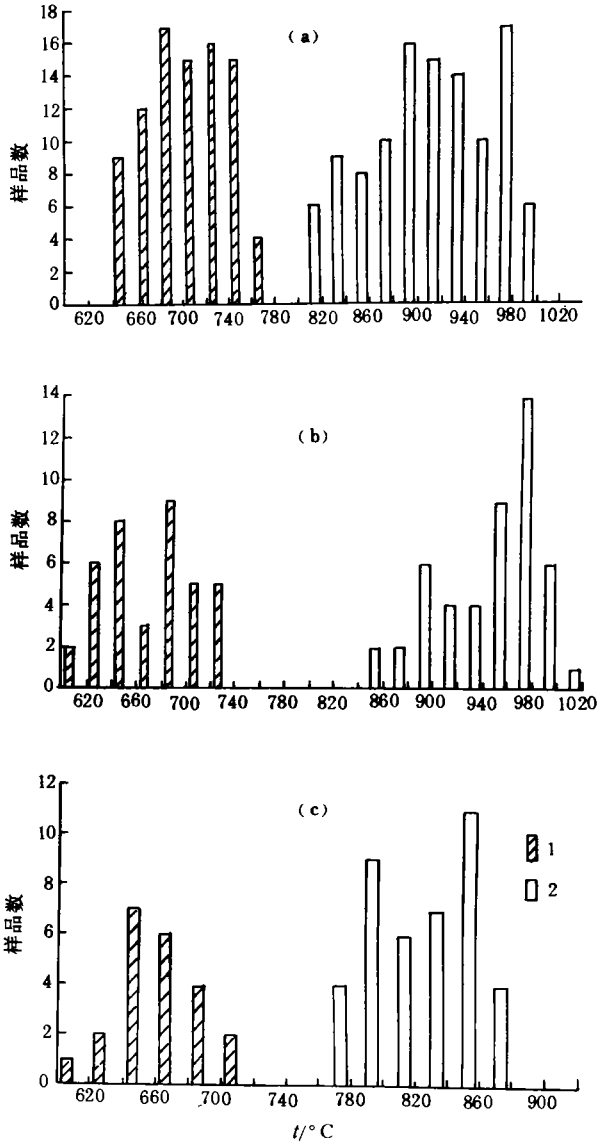


图2　鼓山复式花岗岩类中熔融包裹体均一温度直方图

Fig. 2 Homogenization temperatures of melt inclusion in Gushan complex

1—始熔温度；2—终熔温度；a—涧田、丹阳岩体；b—福州、前洋和魁岐岩体；c—笔架山岩体

据测定，鼓山复式岩体流体包裹体的盐度为5%～23%（w_{NaCl}，下同）。晶洞中水的晶流体包裹体的盐度为3%～15%。由表3可知，该岩体中流体包裹体的盐度从早期的涧田花岗闪长岩到晚期的笔架山花岗斑岩，有逐渐降低的趋势。该岩体中流体包裹体的液相成分以K^+，Na^+，F^-，Cl^-为主，其气相成分以H_2O，CO_2为主，H_2，CO，CH_4次之。其中CH_4的含量则以笔架山岩体最高。

据魏家秀对鼓山岩体中石英的流体包裹体测定结果[5]，其包裹体水的$\delta^{18}O_{SMOW}$值

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

9.73‰～5.73‰，δD 值则为−53.6‰～−66.6‰；而魁岐晶洞碱长花岗岩晶洞中水晶包裹体水的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 5.57‰～4.68‰，较前者低，但其 δD 值的变化范围为−52.6‰～−57.4‰，较前者高。表明鼓山岩体的岩浆是向高 δD 值和低 $\delta^{18}O$ 值的方向演化。

表3 鼓山复式岩体花岗岩类岩石中流体包裹体的盐度及主要化学成分①

Table 3 Salinity and composition of fluid inclusions in Gushan granite complex

岩体	盐度	液相成分／10^{-6}						气相成分／10^{-6}				
	(w_{NaCl}／%)	K^+	Na^+	Ca^+	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	H_2O	CO_2	H_2	CH_4	CO
涧田	14～23 (54)	1.60 (1)	4.37 (1)	0.57 (1)	0.033 (1)	0.105 (1)	3.507 (1)	830 (1)	23.2 (1)	2.83 (1)	3.11 (1)	3.60 (1)
丹阳	12～22 (49)	3.97 (1)	15.9 (1)	4.20 (1)	0.020 (1)	0.535 (1)	3.434 (1)	2635 (2)	126 (2)	1.75 (2)	2.05 (2)	6.17 (2)
福州	10～20 (41)	0.40 (1)	0.99 (1)	0.00 (1)	0.000 (1)	0.280 (1)	0.937 (1)	721 (1)	55.4 (1)	0.63 (1)	1.35 (1)	3.54 (1)
魁岐	10～20 (46)	0.48 (4)	2.68 (4)	0.00 (4)	0.002 (4)	0.154 (4)	3.069 (4)	635 (6)	83.9 (6)	1.24 (6)	2.51 (6)	7.76 (6)
笔架山	5～15 (35)	0.27 (1)	0.43 (1)	0.00 (1)	0.000 (1)	0.035 (1)	0.517 (1)	333 (1)	46.9 (1)	9.21 (1)	11.8 (1)	4.80 (1)

①括号内数字为测定样品数，化学成分系平均值；测定者：程菜仙、陶恭益等。

4 岩浆包裹体的成分

包裹体成分的测定是用电子探针法，在均一了的包裹体中，仔细将包裹体磨到表面或接近表面，然后同时分析包裹体和主矿物，以获得包裹体的成分，这项工作进行起来较困难。电子探针不能测定原子序数小于 12 的元素，对于其他一些元素的灵敏度也受到一定的限制。利用 EMX−SM 型电子探针和 EDAX−9100 型能谱仪分析了鼓山复式岩体熔融包裹体中的子矿物和晶质酸盐相的化学成分，其分析结果列于表 4。

用电子探针得出的数据尚不算精确，尤其对 Fe，Na，K 等元素的测定方面还有一些问题，尽管如此，显然其成分与全岩的成分是很相似的。由于包裹体中的挥发分也未分析了出来，所以测定值的总和＜100%。

5 流体−熔融包裹体

流体−熔融包裹体是熔融包裹体和流体包裹体之间的这渡类型。它是岩浆和热液的不混溶过程的产物，在同一包裹体中既存在流体相又存在代表岩浆的硅酸盐熔融体相。这是一种新型包裹体。

5.1 流体−熔融包裹体的类型

在花岗岩、火山岩中，主要发现了以下几类流体−熔融包裹体：

（1）硅酸盐熔融体+易溶盐子矿物+极少量液体（有时看不见）和气泡。该类型较常见（图版Ⅱ−a）

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

表 4　鼓山复式岩体中熔融包裹体的化学成分

Table 4 Composition of melt inclusions in Gushan granite complex　　%

岩体	样号	矿物名称	测定对象	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
丹阳	F3434	榍石	子矿物	26.93	34.30	1.98	2.96	0.06	0.14	24.94	0.37	0.06
前洋	F3465	钾长石	子矿物	62.68	0.00	18.19	0.15	0.00	0.03	0.04	2.88	14.44
前洋	F3465	斜长石	子矿物	67.09	0.04	19.81	0.10	0.00	0.01	1.25	13.84	0.19
福州	F3406	歪长石	子矿物	59.48	0.05	18.15	1.19	0.00	0.04	0.05	7.85	4.27
魁岐	F3415	微斜长石	子矿物	65.70	0.02	18.34	0.19	0.00	3.50	0.00	6.49	7.57
笔架山	FQ4-1	石英	子矿物	95.59	0.00	0.06	0.05	0.00	0.03	0.01	0.10	0.09
洞田	F3425		晶质硅酸盐	70.62	0.23	14.33	1.99	0.29	0.07	0.11	0.86	6.00
魁岐	F3417		晶质硅酸盐	76.68	0.34	11.41	1.76	0.50	0.15	0.02	2.30	1.96
魁岐	F3411		晶质硅酸盐	75.78	0.14	17.48	1.75	0.27	0.08	0.14	0.50	2.06
魁岐	F3417		晶质硅酸盐	62.39	0.06	15.02	0.30	0.01	0.02	0.00	0.89	1.00
魁岐	FQ7①	微斜长石	子矿物	62.69		20.49			1.04		3.35	12.42
魁岐	FQ7①	钠长石	子矿物	64.42		20.55			0.57		12.77	1.41
魁岐	F3417①	钠长石	子矿物	72.74		15.20			0.75		9.21	3.11

测定者：天津冶金地质研究所曹东宇等；①系 EDAX-9100 能谱分析结果。

（2）硅酸盐熔融体+液体+气泡。液体可能是盐水溶液，或 H_2O-CO_2 混合流体（图版Ⅱ-b）。

（3）硅酸盐熔融体+金属熔体+气泡。金属熔体常呈磁铁矿、金属硫化物或赤铁矿等出现（图版Ⅱ-c）。

（4）2 种不同成分的硅酸盐熔融体+气泡。图版Ⅱ-d 是与结晶质熔融包裹体共存的高度流体包裹体，可能代表原生的岩浆热液。

5.2　流体-熔融包裹体的均一温度

流体-熔融包裹体除上述 4 类外，有时可见结晶质熔融包裹体与流体包裹体（特别是高盐度的含子矿物包裹体和气体包裹体）共存，并可证明其是同生的，实际上也是流体-熔融包裹体的一种形式。表明流体熔融包裹体的均一温度从 500℃ 左右开始。大部分数据落在 650～850℃ 的范围内，最佳值为 750℃。

5.3　流体-熔融包裹体的产状

流体熔融包裹体见于含铌钽矿化的花岗岩、斑岩、次火山岩、碱性花岗岩和伟晶岩，其中最明显的是在铌钽花岗岩的黄玉中见到流体熔融包裹体[7]。

陈紫英（1989）对南岭地区不同成矿类型的 14 个稀有金属花岗岩型矿床或岩体（其中 6 个较系统）矿物中的包裹体研究结果表明，本区各类型稀有金属花岗岩的造岩矿物（石英、

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

黄玉、黑云母、钠长石）中广泛发育熔融包裹体，并在某些含矿花岗岩和似伟晶岩的矿物中发现熔融-流体共存的不混溶包裹体，为南岭稀有金属花岗岩的岩浆成因及其形成时的特殊物理化学条件提供了很有意义的证据。

表5列出南岭地区一些稀有金属（特别是铌、钽）花岗岩中熔融包裹体及其均一温度。其均一温度范围为600～1150℃，大部分在750～900℃，除了熔融包裹体外还有流体包裹体（产在似伟晶岩、云英岩及铌钽矿体中）和流体熔融包裹体。以老虎头和水溪庙矿床中的研究为例，见有液体包裹体、CO_2+H_2O包裹体和气体包裹体，其均一温度从180～520℃，但大部分为180～400℃。作者等（1975）对414铌钽矿的研究表明，其均一温度为200～400℃左右。

黄玉中存在熔浆包裹体是南岭稀有金属花岗岩的重要特征之一，在所研究的含矿岩体中普遍存在有黄玉，其中多数具有熔浆包裹体，以七娘坛岩体和老虎头岩体的黄玉中熔浆包裹体最为典型。黄玉晶形较好，横断面常呈杏仁状，其中的熔浆包裹体呈不规则状，多边形或浑圆形，为5～30μm，由晶质相和气相组成，气相约占10%～40%。

5.4 流体-熔融包裹体的地质意义

传统认为，岩浆分异出热液（岩浆水），而热液形成各种各样的矿床，但过去缺少直接的依据。这种流体熔融包裹体就是从岩浆分异出热液的过程的直接证据。岩浆是一个粘稠的硅酸盐熔融体，含水很少（一般<6%，且在一定温度，压力下是混溶的）。热液则是一个以H_2O为主的体系。2个体系截然不同。因此，要从岩浆分异出热液必然存在一个硅酸盐熔融体与热液这2种不同体系共存的过程，即一个不相混溶的过程。若能发现这个过程，即可以证明热液是从岩浆分异产生出来的。液体溶融包裹体正是从这样一个过程中捕获的。对它的研究可以得知从岩浆分异出热液的条件，原始岩浆水的特点以及与成矿作用的关系，具有重要的理论与实际意义。

6 结 论

（1）华南花岗岩中的包裹体的为岩浆包裹体，可分为结晶质熔融包裹体、玻璃质熔融包裹体、结晶质玻璃质熔融包裹体和流体熔融包裹体4种。其分别代表岩浆不同的热历史和分异条件。在花岗岩形成之后广泛发育有次生的液体包裹体。这些流体包裹体常与花岗岩有关的成矿作用（如石英脉）中的液体包裹体有某种相似性。华南不同类型花岗岩的熔融包裹体的均一温度最佳值对于壳型花岗岩（即重熔花岗岩）为850℃，壳幔源或幔源花岗岩的包裹体为900℃，碱性花岗岩（即晶洞花岗岩）为925℃，火山岩为1075℃。对熔融包裹体成分分析表明，与该岩石的化学成分相似，且可能含有一定量的挥发分。

（2）流体熔融包裹体是本次发现的一种新类型。它代表了岩浆和岩浆、岩浆和热液之间的不相混溶过程。可分为硅酸盐熔融体+液体+气体；熔融体+子矿物+易溶盐+气体；2种成分不同的硅酸盐熔融体+气泡；硅酸盐熔融体+金属熔体+气泡。其均一温度的最佳值为750℃，主要见于斑岩、次火山岩及分异较差的侵入岩中。对这种类型包裹体的研究有利于搞清岩浆演化到热液的过程以及原始岩浆热液的特征。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

表5 各类型稀有金属花岗岩矿物中熔融包裹体特征及均一温度

Table 5 Characteristics and homogenization temperatures of melt inclusion in rare elements bearing granites

成矿类型	岩体	主矿物	包裹体特征					均一温度/℃	均一性状
			大小/μm	形态	颜色	气液比	空间分布特点		
铌花岗岩	泰美	石英	20	不规则	气相黑色固相灰色	气：固 3：7	孤立出现	-	
		黑云母	10～15	不规则或呈云母负晶形	气相黑色，固相无色透明	3：7	在黑云母中成群出现，沿黑云母解理分布与铌钽铁矿微晶共生	920	
		黄玉	15～20	不规则		2：8		>600	
	七娘坛	黄玉	10～25	不规则，浑圆，状，多气泡	气相黑色固相无色	2.5：7.5	孤立出现，与富气包裹体共生	>600	加温至600℃，包裹体未变化。
	东宫下	石英	10～25	不规则，晶质			分布不均匀	800～900	始熔650℃
钽花岗岩	海螺岭	石英	10	不规则	气相灰色，黑包，固相具裂纹			850	
		黄玉	25～30	不规则，少量杏仁状	气相黑色，固相淡绿色	1～3：7～9	孤立出现	840	
	414	石英	20	三相不规则		气：液：固 1.5：1.5：7	孤立出现，为不混溶的流体溶融包裹体	900	700℃固相始熔，至900℃L与S仍有界线
		黄玉						>800	750℃气相开始分裂成双气泡，800℃仍未均一
铌钽钨锡	老虎头	石英	5～10	多边形，不规则	天色	气：固 3：7	多孤立出现	780～900	
		黄玉	5～10	不规则，多边形	灰色，无色	3～4：7～6	多孤立出现	750～800	
		钠长石	5～10	板形				970	
花岗岩	水溪庙	石英	5～10	椭圆形，不规则，多边形		1～3：7～9	孤立出现	700～800	
	金竹源	钠长石	5～20	不规则				970～115	
	大吉山	石英	20	不规则		3：7	孤立出现	950	
铌钽花岗岩	邓阜仙	石英	20～30	不规则	气相黑色，固相有裂纹	3：7		840	
		黄玉		浑圆形				>600	
	姜坑里	石英	15～10	不规则		3：7	孤立出现	870	
钇钽花岗岩	牛岭坳	石英	10～5	多边形，不规则		2：8			

注：均一温度未经压力校正。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

参考文献

1 卢焕章. 流体熔融包裹体. 地球化学, 1990 (3): 225～229

2 卢焕章等, 流体包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 232

3 莫柱荪, 叶白寻等. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社, 1980, 77～90

4 王鹤年. 华南不同成因花岗岩矿物中包裹体特征. 中国科学, 1980 (1): 73～79

5 魏家秀等. 南岭某些花岗岩熔融包裹体特征及其成矿意义. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1989. 69～80

6 吴利仁, 李秉伦主编. 中国东部中生代两大类斑岩型矿床. 科学出版社, 1991. 318

7 夏三华, 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. 56～59

图版说明（图版见封二）

图版Ⅰ 华南花岗岩类中的熔融包裹体

a, b—结晶质熔融包裹体; c—玻璃质熔融包裹体; d—结晶熔融包裹体

图中包裹体为50μm; c—结晶体即子矿物; Hm—赤铁矿; G—玻璃质; v—气泡; Si—结晶质但分不清那些矿物

Fig. Ⅰ Melt inclusions in granites;

a—and b—crystalline melt inclusion crystal (c) Vaapor (v); c—glass melt inclusion; glass (g), Hematite (Hm)

d—glass-crystal melt inclusion.

图版Ⅱ 流体熔融包裹体

a—流体熔融包裹体（1. 硅酸盐熔融体+易溶盐子矿物+极少量液体和气泡）且与流体包裹体（2）共存

b, c—流体熔融包裹体（硅酸盐熔融体+液体+气泡），这种液体可能是盐水或是 H_2O-CO_2

d—与岩浆包裹体共存的高盐度流体包裹体, 它可能代表了刚刚分异出的岩浆水

图中: 1—含易溶盐子矿物的流体包裹体; 2—与1共存的流体包裹体; V—气泡; L—液相; H—NaCl子矿物; S—KCl子矿物; Hn—赤铁矿; Si—结晶质; C—结晶的子矿物

Fig. 4. Fluid-melt inclusions

a—silicate meltl (Si)+liquid (l) and vapor (v) 2; fluid inclusions; b—silicate melt (c) +liquid (L) and vapor (V); c—silicate melt+glass+liquid (L) and vapor (v); d—high salinity fluid inclusions associated with melt inclusion; halite (H), sylvite (S), hematite (Hm), liquid (L) and vapor (V).

MAGMATIC, FLUID-MAGMATIC AND FLUID INCLUSIONS STUDIES ON GRANITES, SOUTH CHINA

Lu Huanzhang

(Université du Québec à Chicoutimi and Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract Tth magmatic (melt), magmatic-fluid and fluid inclusions in granites of south China have been examined. The results show that the magmatic inclusions in granites can be classified into three types: crystalline melt inclusion; crystalline-glass melt inclusion and glass inclusion. The homogenization temperatures of these ones range from 650

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

to 1100℃ with optimum value from 850 to 925℃. Chemical and electron microprobe analysis of composition of fmagmatic inclusion indicate that is similar to the bulk composition of the granite but rich in volatiles. The magmatic-fluid inclusion represenitng the process of a transition from magma to hydrothermal fluid have bee found. They consist of silicate melt and fluid in one or a group inclusions and usually it can be found in rare elements bearing granites with optimum homogenization temperatures of 750℃. The results explain that the granite driven from a partial melting of crustal or of crustal-mantle origin has difference in homogenization temperatures and composition.

Key words granite-porphyty; magmatic inclusion, magmatic-fluid inclusion; homogenization temperature; composition of magmatic inclusion; south China

地球膨胀与物种灭绝

首先，让我们看地球是否在膨胀。众所周知，地球不仅接收太阳的大量热能，而且它本身就是个天然的核反应堆。放射性元素的蜕变，促使地球内部温度不断增加和积累。通过超深钻井测量可知，温度随深度增加。温度的增加，使岩石的物质结构、理化特性产生，“相变”，如橄榄石变成尖晶石，辉石变成石榴石，上地幔的榴辉岩变成地壳上的玄武岩。发生“相变”的岩石，其体积相应增加，据巴尔苏科夫等人计算认为，自元古界以来，地球的半径增加了9～12%。地球的前半生（前40亿年）为其膨胀做了充分准备和缓慢地增生，到了中生代后逐渐发生了巨变。尤其是白垩纪时，地球的膨胀率增大，使已经分开的三块古陆迅速漂移，各古陆开始分裂。

地质时期历年天数的变化也可判定地球在膨胀。地球在寒武纪时424天，二叠纪时390天，白垩纪时377天，现在365天。

其次，九大行星的形成初期的原始成分和大气层均以氢化物为主，而目前随着距离太阳的远近，氢化物有近似递变的关系，如类木行星较类地行星氢化物多而氧化物少，地球的演化也正是由氢化物到氧化物的过程，这种演化结果使地球的体积不断膨胀。 根据现在埋深较浅地方出现相当麻粒岩变质较深的岩相，以及对上地幔的榴辉岩、金伯利岩等的研究资料看，前寒武纪时地球表面重力场的强度比现在高出好几倍。根据爱因斯坦广义相对论原理，可知前寒武纪时地球的体积比现在小，密度比现在大。

地球的膨胀是与地球所处的天文环境与自身物质运动密切相关。反之，地球的膨胀又直接影响到与自有关系方面，最直接的是地壳构造运动和生物兴亡两个方面。

在地史中，地球上曾经出现过六次大规模的生物灭绝事件，其中以白垩纪末期恐龙等一大批生物灭绝最为突出。当前流行说法是陨星撞击地球所致。笔者认为，解释为地球膨胀的结果更为科学。

据扩义相对论原理，一个球形天体的表面引力场的大小，是同它的质量成正比，同它的半径成反比。对一个质量相同的天体来说，它的半径小多少倍，其表面引力场就会增强多少倍。反之，它的半径增加多少，其表面引力场的强度就会减少多少。恐龙等一大批生物因为不适应地球表面引力场的减少而逝去，这已被太空生物实验所间接证明。

（韩继先）

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki