

广东上礫复式花岗岩体地质特征及形成机制\*

马浩明, 陈国能, 彭卓伦, 邵荣松, 庄文明  
(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 长达数 km 的地质探洞揭示广东上礫岩体是由两期花岗岩组成的复式岩体。通过地表调查和岩体内部结构的详细研究, 建立了复式岩体的成因模型。与岩体有关的各种地质现象, 包括边缘混合岩、伟晶岩、石英萤石脉以及花岗岩中的各类中基性岩脉等, 在模型中构成了一个有机的整体, 证实本区地壳在中生代至少经历了两次原地熔融或重熔事件。

关键词: 花岗岩; 复式岩体; 中基性岩脉; 壳内熔融; 重熔界面

中图分类号: P581 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2006) 02-0105-04

复式岩体是花岗岩产出的一种普遍形式<sup>[1-4]</sup>。大的复式岩体面积可达成千甚至数千 km<sup>2</sup>, 如南美的海岸岩基<sup>[5]</sup>、我国西藏的冈底斯岩基<sup>[6]</sup>及华南的诸广山-万洋山岩基<sup>[7]</sup>、佛岗岩基<sup>[8]</sup>等; 小者仅几-十几 km<sup>2</sup>, 例如西华山、邓阜仙等岩体。本文讨论的广东博罗上礫复式岩体, 出露面积仅 1.38 km<sup>2</sup>。

复式岩体的形成反映了岩浆活动的多期或多阶段性<sup>[7,9]</sup>。研究复式岩体的内部结构, 对于了解不同期次岩浆活动的特征、查清复式岩体的形成过程有重要意义。

由于工程建设的需要, 对上礫岩体进行了众多的钻探, 并在岩体内部开掘了长达数 km 纵横交错的地下探洞, 为复式岩体内部结构的观察提供了良好的条件。

1 上礫复式花岗岩体的基本地质特征

1.1 围岩特征

上礫复式花岗岩体位于广东惠州市博罗县罗阳镇北约 15 km。区内出露的岩石主要为由晚元古代-晚古生界地层变质而成变质砂岩、片岩及混合岩。多个燕山期的小岩体产于其内, 上礫岩体为其中之一(图 1)。

上礫岩体的平面形态近似圆形, 周边围岩为混合岩, 岩体顶部也残留混合岩顶盖(图 1)。从区域资料看, 混合岩多分布于花岗岩体周围<sup>①</sup>。根据对上礫岩体周边围岩和残留顶盖中的钻孔岩芯观察, 混合岩的构造大体有条纹状、条带状、眼球状

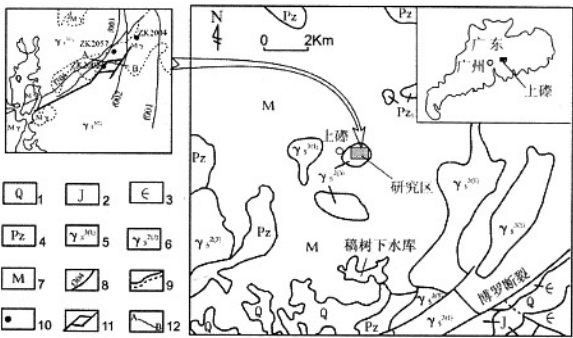


图 1 研究区区域地质简图(据 1/20 万惠州幅地质图改编), 左上方小图为研究区地质简图

Fig. 1 Schematic geological map of study district  
1 第四系; 2 侏罗系; 3 寒武系; 4 古生界(未分);  
5 燕山三期花岗岩; 6 燕山二期花岗岩; 7 混合岩; 8 断裂; 9 实/推测地质界线; 10 钻孔; 11 探洞; 12 剖面线

和残影状 4 种不同类型。两者常相互交积, 之间没有明显界线, 但总体而言, 残影状和眼球状混合岩多分布于接触带附近, 接触带向外、向上渐变为条带状或条纹状混合岩<sup>②</sup>。

1.2 复式岩体内部特征

上礫岩体过去被认为是单一岩浆期形成的岩体。由于工程建设需要, 长达 3 km 的地质探洞深入到岩体内部, 发现该岩体实质是由两个形成于中生代不同时期小岩株复合而成。本次研究分别在两

① 广东省地质局, 1/20 万地质图说明书(惠州幅), 1964  
② 陈国能等, 广东惠州抽水寻能电站 304 断裂及相关地质体研究报告, 2004

\* 收稿日期: 2005-08-25  
基金项目: 教育部高等院校博士点基金资助项目(20030558005)  
作者简介: 马浩明(1977 年生), 男, 博士研究生; 通讯联系人: 陈国能; E-mail: ee28@zsu.edu.cn

期岩体中采样，送国土资源部中南矿产资源监督检测中心进行同位素测年，获得两个全岩钾氩年龄为 156 Ma 和 85.5 Ma。两期岩体接触界面清晰。地质探洞中的不少地段，均可见到两者的接触面。界面上常发育厚数 cm 至 30 cm 不等的伟晶岩壳（图 2A）。伟晶岩主要由肉红色的钾长石和半透明的石英团块或晶体组成，局部见有电气石和黑云母等暗色矿物富集；长石和石英团块的块径多在 3~5 cm 间，最大可超过 10 cm。

除伟晶岩壳外，晚期岩浆活动另一标志是接触带附近早期岩体的裂隙中，充填有不少石英硫化物和石英萤石脉（图 2B），后者脉幅最大可达 2~3 m，矿物组成自脉壁向中心呈规律性变化：最外层为石英，向内为萤石，最后是方解石。这一现象除了证实伟晶岩壳之下确实为晚期岩体外，同时证实岩浆结晶分异产生的气相物质成分，随系统温度下降而不断变化。后者与不少专家学者对华南众多热液矿床成矿阶段的研究结果一致<sup>[10,11]</sup>。

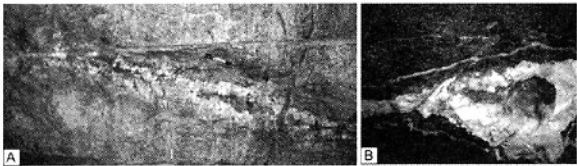


图 2 A：探洞 PD01-3 中两期岩体的接触界面及其上的伟晶岩壳；B：沿 F304 分枝断裂充填的石英-萤石-方解石脉（PD01-4），其矿物组成自外向里依次为石英、萤石、方解石

Fig. 2 A：Pegmatitic shell between granite bodies，  
B：Quartz-fluorite-calcite veins along the contact

地质探洞是在 246 m 标高开掘的平洞。伟晶岩壳在洞中的出露时隐时现，显示接触界面起伏不定。地表局部地段也可见到伟晶岩壳的出露，表明晚期岩体的某些部位已经被剥露。图 3 是根据地表及探洞资料编制的复式岩体示意剖面，显示了由伟晶岩壳标志的两期岩体的接触界面（图 3）。早期岩体中的石英、萤石脉，应是晚期岩浆分异的结果。

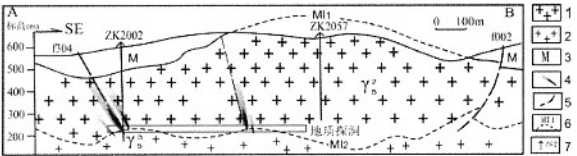


图 3 复式岩体示意剖面(剖面位置见图 1 左上方小图)  
Fig. 3 Schematic section of the composite granite body  
1 燕山早期花岗岩；2 燕山晚期花岗岩；3 混合岩；4 石英-萤石脉；5 方解石脉；6 重熔界面；7 钻孔

1.3 岩体内部的中基性岩脉

复式岩体内部发育有众多中性或中基性岩脉。据岩石化学分析和镜下鉴定结果<sup>②</sup>，脉岩岩性主要为闪长岩或闪长玢岩，少量煌斑岩。脉体多为北西走向，与围岩（花岗岩）的接触界面呈锯齿状（图 4B），表明来自深部的中性或中基性岩浆是沿着花岗岩体中的张裂带贯入。

据野外实地观察，岩脉有两期。早期岩脉多呈单脉产出，后期破碎显著，破裂面常有石英或方解石细脉充填（图 4A），岩石整体风化较深，分布局限于复式岩体中的早期岩体内。晚期岩脉完整性好，往往成群产出，岩石坚硬、新鲜。脉体同时穿过复式岩体中早、晚两期花岗岩，探洞中可清楚观察到岩脉切割伟晶岩壳（图 4C）和萤石脉，被岩脉穿切割的伟晶岩壳没有明显错位。

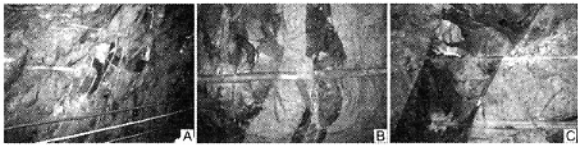


图 4 A：早期煌斑岩脉的后期碎裂现象，沿裂隙有石英、方解石细脉充填，岩石风化较深。B：晚期闪长玢岩脉，脉壁呈锯齿状；C：闪长玢岩脉切割伟晶岩壳，后者未发生显著位移。

Fig. 4 Veins of lamprophyre (A) and diorite (B-C)  
filled the fractures in the granite

从图 4B 还可见到，与岩脉接触的花岗岩、以及被包裹在岩脉中的花岗岩片，均没有明显的熔融或蚀变现象，说明晚期入侵的中性或中基性岩浆的热力，不足以造成花岗岩熔融。

2 上礫复式岩体成因讨论

对复式岩体的成因，过去一般认为是源于深部的岩浆沿断裂反复入侵的结果<sup>[12-14]</sup>。问题是，即使早期地壳存在众多裂口，早期岩浆沿裂口入侵固结后，裂口就应被熔合或充填堵塞<sup>[15]</sup>，不可能再为晚期深部岩浆的入侵提供通道和定位空间——除非在已经固结的早期岩体中开启有新的裂口，如图 4 所示的那样。

上礫复式岩体中的早期岩体发育有不少断裂，但这些断裂的破碎带一般几-几十 cm 宽，规模最大的是 F304 断裂<sup>②</sup>，其破碎带宽达 30m，切割了早期岩体并被晚期的石英-萤石脉充填，说明断裂形成于早期岩体固结之后、晚期岩体形成之前。从图 1 可见，这样规模的一条断裂，也不可能为体积巨大的晚期岩体提供定位空间。事实上，野外只观察

到断裂破碎带中充填有晚期岩浆分异产生的石英 – 萤石 – 方解石脉（图 2B），没有观察到花岗岩沿断裂充填。

陈国能等<sup>[15-17]</sup>对花岗岩的成因及复式岩体的形成机制提出了新的解释，认为花岗岩是起因于上陆壳的岩石原地熔融或重熔，复式岩体是多次重熔的结果，反映了不同期次的重熔界面（壳内重熔层的上界面）在某一区间与现代剥蚀面的几何关系<sup>[15]</sup>。作者认为，这一假说可以比较合理地解释本区所观察到的上述各种地质现象（图 5）。

如图 5 所示，本区地壳在中生代至少经历了两

次重熔事件。早期的重熔形成了包括上礫早期岩体在内的众多燕山中期花岗岩<sup>②</sup>。岩体边缘的混合岩化现象，可被解释为重熔层上方的部分熔融带<sup>[15-18]</sup>。

地壳温度下降导致早期重熔层发生自上而下的固结。当重熔界面下降到一定深度时，上方已固结部分因冷却收缩或其他原因而产生裂口，从而使得重熔层深部未固结的偏基性岩浆（有关壳内重熔层垂深方向的成分分带，见文献 [15]）可以沿裂口贯入，形成早期的中基性岩脉（图 5B）。

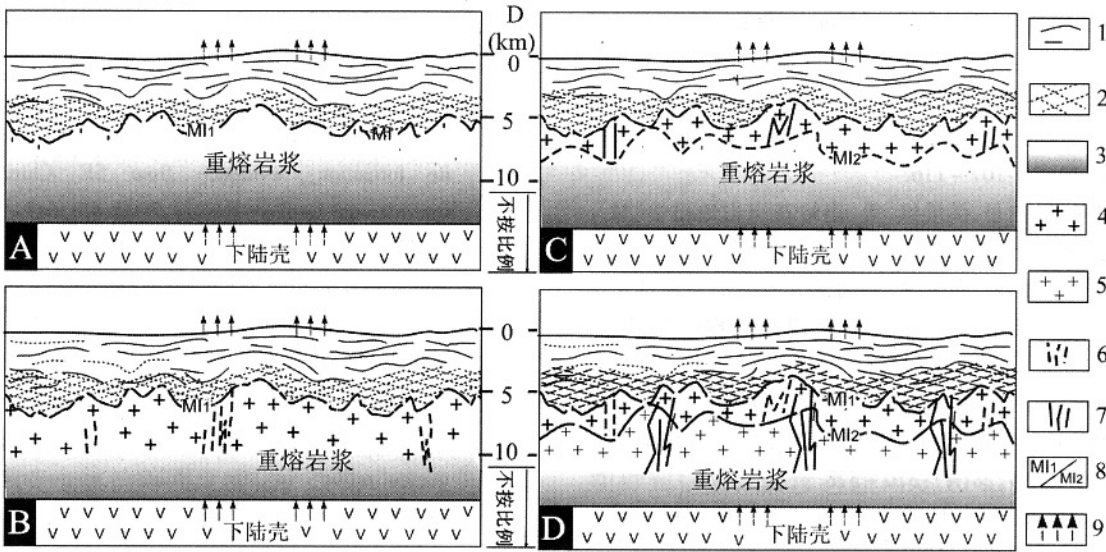


图 5 研究区内各类岩石的关系及成因模型（据文献 [16] 改编）

Fig. 5 Model for formation of the various rocks in study area (recompiled after reference [16])

1. 未熔岩石；2. 部分熔融带，固结后成为混合岩；3. 重熔岩浆，灰度示基性度向下增加；4 燕山中期重熔层上方固结形成的早期花岗岩；5. 燕山晚期重熔层上方固结形成的晚期花岗岩；6 早期中基性岩脉；7 晚期中基性岩脉；8. 早期/晚期重熔界面（重熔层上界面）；9. 中生代熔融系统的能量输入（下方）和输出（上方）方向

燕山晚期的重熔事件使早期形成的花岗岩层再度熔融，而晚期重熔层的固结又一次重复了上述过程，从而形成了复式岩体中的晚期岩体，以及切割晚期岩体的中基性岩群（图 5D）。

3 两点认识

（1）上礫岩体地表出露的均为燕山中期花岗岩，洞探工程却揭露出深部隐伏的燕山晚期岩体。由此可见，即使地表见到的是单期或单阶段的岩体，也不能排除深部存在晚期岩体的可能性。这一认识对于与此有关的矿床（例如花岗岩型铀矿）的寻找，无疑有重要意义。

（2）同一过程形成的各种现象应该是一个有机整体。本文在原地重熔模型基础上构建的时空框

架，比较好地容纳了本区观察到的各种野外地质现象，包括岩体边缘混合岩化、复式岩体的内部结构、伟晶岩壳、石英 – 萤石脉、不同期次的中基性岩脉等，但未涉及到各类岩石的地球化学和同位素组成特征，后者目前正在测试中。

本项研究的野外工作得到了广东省水利水电勘察设计院地质队陈云翔、魏炳荣、王汇明、吴国荣、范陈新、陈仁杰等高级工程师的鼎力支持与帮助，特此致谢。

参考文献：

[1] 刘家远. 复式岩体和杂岩体 – 花岗岩类岩体组合的两种基本形式及其意义[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18 (3): 143 – 148.

[ 2 ] 汪传胜 ,汪湘 ,姚晓娟. 南岭中西段若干复式花岗岩岩体的成因模式研究[ J ]. 岩石矿物学杂志 ,2004 ,23 ( 3 ) 203 – 213.

[ 3 ] HEALY B , COLLINS W J , RICHARDS S W. A hybrid origin for Lachlan S-type granites : the Murrumbidgee Batholith[ J ]. Lithos ,2004 ,78( 1 – 2 ) :197 – 216.

[ 4 ] LINDH A. Origin of chemically distinct granites in a composite intrusion in east – central Sweden : geochemical and geothermal constraints [ J ]. Lithos , 2005 , 80( 1 – 4 ) 249 – 266.

[ 5 ] PARADA M A , NYSTRÖM J O , LEVI B. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile ( 31 – 34° S ) : geochemical and Sr-Nd isotopic evidence and tectonic implications[ J ]. Lithos , 1999 , 46( 3 ) :505 – 521.

[ 6 ] 李汉光 ,葛良胜 ,邹依林 ,等. 西藏冈底斯地块中新世代中酸性侵入岩特征与构造环境[ J ]. 矿产与地质 , 2005 ,19( 2 ) :107 – 116.

[ 7 ] 莫柱孙 ,叶伯丹 ,潘维组 ,等. 南岭花岗岩地质学[ M ]. 北京 :地质出版社 ,1980.

[ 8 ] 庄文明 ,陈绍前 ,黄友义. 佛冈复式岩体地质地球化学特征及其成岩源岩 [ J ]. 广东地质 ,2000 ,15( 3 ) :1 – 12.

[ 9 ] 付建明 ,马昌前 ,谢才富 ,等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[ J ]. 大地构造与成矿学 ,2004 ,28( 4 ) 370 – 378.

[ 10 ] 朱焱龄 ,李崇佑 ,林运淮. 赣南钨矿地质[ M ]. 南昌 :江西人民出版社 ,1981.

[ 11 ] 王昌烈 ,罗仕徽 ,胥友志 ,等. 柿竹园钨多金属矿床地质[ M ]. 北京 :地质出版社 ,1987.

[ 12 ] PATERSON S R , TOBISCH O T , MORAND V J. The influence of large ductile shear zones on the emplacement and deformation of the Wyangala Batholith , SE Australia [ J ]. Journal of Structural Geology , 1990 ,12( 5 – 6 ) :639 – 650.

[ 13 ] 张志强. 衡山复式花岗岩体西缘韧性剪切带的特征、成因及岩体定位机制[ J ]. 湖南地质 ,1992 ,11( 3 ) :198 – 202.

[ 14 ] HUTTON D H W , ALSOP G I. Extensional geometries as a result of regional scale thrusting : tectonic slides of the Dunlewy – NW Donegal area , Ireland[ J ]. Journal of Structural Geology , 1995 ,17( 9 ) :1279 – 1292.

[ 15 ] 陈国能 ,曹建劲 ,张珂. 原地重熔与元素地球化学场 [ M ]. 北京 :地质出版社 ,1996.

[ 16 ] CHEN G N , GRAPES R. In-situ melting model of granite formation : evidence from SE China [ J ]. International Geology Review 2003 ,45 :611 – 622.

[ 17 ] CHEN G N , GRAPES R , ZHANG K. A model for Mesozoic crustal melting and tectonic deformation in SE China [ J ]. International Geology Review , 2003 ,45 : 948 – 957.

[ 18 ] TAGIRI M , SHIBA M , ONUKI H. Anatexis and chemical evolution of pelitic rocks during metamorphism and migmatization in the Hidaka metamorphic belt , Hokkaido[ J ]. Geochemical Journal , 1989 ,23 :321 – 337.

Geological Characteristics and Formation Mechanism of the Shangqi Composite Granite Body , Guangdong

MA Hao-ming , CHEN Guo-neng , PENG Zhuo-lun , SHAO Rong-song , ZHUANG Wen-ming  
( Department of Earth Sciences , Sun Yat-sen University , Guangzhou 510275 )

**Abstract :** A tunnel of more than 3 000 m long reveals that the Shangqi granite in Guangdong is composed of two granite bodies formed in different periods of the Mesozoic. The various geological phenomena related to formation of the composite body , including marginal migmatite , pegmatite in the contact between two granite bodies , quartz – fluorite-calcite veins over pegmatite , intermediate-basic dikes , etc. , can be observed clearly in the tunnel. Based on the observations , a model concerning the formation mechanism of the composite granite body is advanced , in which the various geological phenomena form a logical system , demonstrating two crustal melting events happening during the Mesozoic in this area.

**Key words :** granite ; composite body ; intermediate-basic dike ; crustal melting ; melting interface