

南雄-诸广地区晚中生代盆山演化的岩石化学、运动学与年代学制约*

舒良树^{①**} 邓平^{①②} 王彬^① 谭正中^② 余心起^① 孙岩^①

(①南京大学地球科学系, 南京 210093; ②中国核工业地质局二九〇研究所, 韶关 512026)

摘要 粤北南雄陆相红色盆地及其紧邻的诸广山高耸花岗岩构成了南岭地区一处独特的盆山地貌景观. 研究表明, 诸广山花岗岩是一个发育在特提斯-古亚洲构造域变质基底之上的多期复式岩体, 具中浅层次热隆伸展构造的几何学与运动学特征, 可认为是印支期碰撞造山、燕山期俯冲消减以及大陆内部玄武岩浆底侵和地壳深熔等联合作用的产物; 南雄盆地是一个晚白垩世-古近纪的不对称伸展断陷盆地, 具“北断南超”特征, 其沉降中心由南向北逐渐迁移. 盆山交接带构造运动学研究表明, 其韧性流变层和脆性变形层的运动学指向完全一致, 经历了中深部位韧性伸展变形(局部伴有左旋走滑变形)和浅层部位脆性拉张变形的联合作用, 韧性和脆性变形演化规律揭示该花岗质热隆伸展构造从中深部到浅部是一连续变形的结果, 花岗岩山体 and 山前的南雄断陷盆地共同构成了一个半地堑式的构造体系. 岩石学及地球化学研究表明, 诸广山晚三叠世到侏罗纪末的花岗岩体具有相似的岩石学和地球化学特征, SiO_2 , Al_2O_3 和 K_2O 含量高, 碱质指数 >2.8 , ANKC 值 >1.1 , 轻稀土富集、稀土总量高, 具明显 Eu 负异常, 富集 Rb 和 Th, 贫 Ba 和 Nb, 属富钾过铝的钙碱系列 S 型花岗岩, 指示诸广山花岗岩浆经历了从晚三叠世到侏罗纪末的连续演化过程. 南雄盆地的形成与盆山演化受诸广岩体热隆作用和区域伸展构造的双重制约, 盆地岩层中多处发育的橄榄玄武岩层表明当时拉伸强度颇大. 玄武岩中自形锆石的 SHRIMP 测年数据 (96 ± 1 Ma) 为该期构造热事件和盆山演化提供了可靠的年代学制约.

关键词 岩石学 构造运动学 盆山演化 SHRIMP 年龄 南雄-诸广地区

南岭是我国南方一大著名山系, 其大体呈 E-W 独特的构造格局. 南雄盆地和诸广山花岗岩位于南向展布的花岗岩群及其紧邻的沉积盆地构成了该区 岭北段, 是一对独具特色的盆山构造. 从上世纪

2003-04-07 收稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40172067, 40132010, 40173001)

** E-mail: lsshu@nju.edu.cn

70~80 年代至今,人们开展过花岗岩及其矿产的系统研究,总结出多期多阶段花岗岩成岩、多金属成矿的规律,提出过花岗岩从 NW 向 SE 时空迁移演化的观点^[1~5].核工业系统在此区做过大量的铀矿床工作,对南雄盆地、诸广南部和下庄等花岗岩型铀矿床的成因进行过专门研究^[6~8].一些学者还从伸展构造的角度探讨了该区的岩浆穹窿作用^[9,10].然而,以往的工作很少把盆地-山脉作为一个统一体来研究,缺少构造运动学的系统研究,影响了人们对研究区盆山演化的认识.最新资料表明^[11~14],南岭地区自印支事件结束主体就已进入陆内动力学演化过程,中侏罗世开始大陆裂解,燕山早期为岩浆活动的高峰期,是保留有特提斯-古亚洲和古太平洋构造体制物质与形态记录较多的地段,研究区的盆山关系和耦合机制既受特提斯-古亚洲基底构造的制约,又受东南侧太平洋板块俯冲的影响,还和大陆内部构造-岩浆-深部动力学作用紧密相连^[12,15].

1 地质背景

南岭构造带发育在华南加里东期变质基底之上^[16~18],是我国五条巨型 E-W 向构造带之一,西起横断山脉,东至沿海,纬度上处于 23°~26°N 之间.该区存在三个近 E-W 向展布的花岗岩带(即北带诸广山-青嶂山、中带大东山-贵东、南带佛冈-新丰江)以及晚三叠世-早侏罗世的杂色磨拉石盆地^[19].深部表现为 E-W 向的粤北幔坳-佛冈幔坡-广州幔隆带和近 E-W 向的重力梯度带(-20~-40 mGal)^[5],但内部各个山岭和晚燕山期花岗岩体、白垩纪-古近纪红色盆地却呈 NE 向雁行排列.诸广-南雄地区位于北带,由北侧的诸广岩体南部、南侧的青嶂岩体和夹持其间的南雄盆地所组成(图 1).研究区的布格重力异常图(图 2)较好地表现了 E-W 向与 NE 向两种构造体制在南岭汇聚与转换的空间关系.

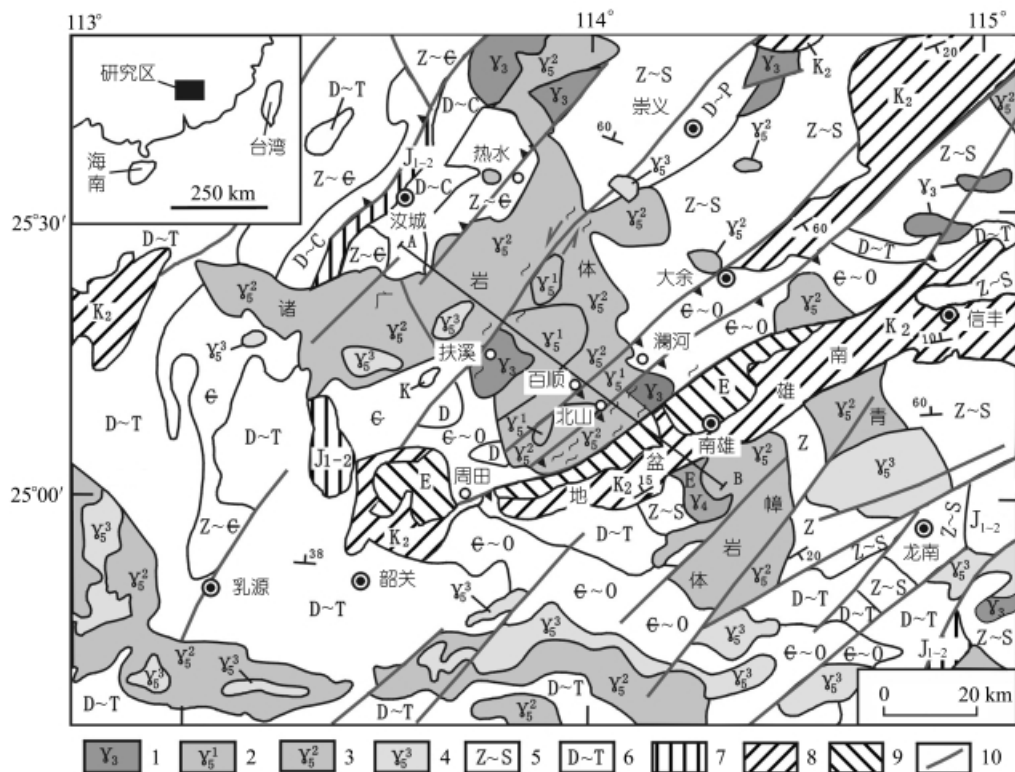


图 1 南雄-诸广地区区域地质简图(据文献[17]等修改)

1. 加里东花岗岩类; 2. 印支花岗岩类; 3. 燕山早期花岗岩类; 4. 燕山晚期花岗岩类; 5. 震旦系~志留系; 6. 泥盆系~三叠系; 7. 下-中侏罗统;
8. 上白垩统; 9. 古近系; 10. 断层

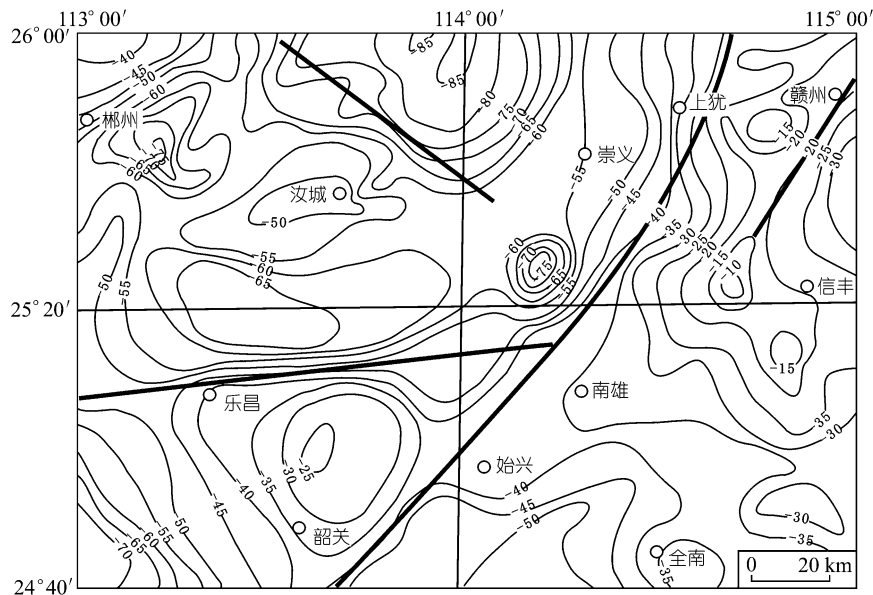


图 2 南雄-诸广地区布格重力异常图(据文献[3]略修改)

等值线间距 $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

近代地质研究表明, 沉积盆地保存有丰富的岩石圈动力学和深部地质过程的记录, 携带了大量古构造和古环境信息^[20, 21]. 据笔者统计, 南岭地区存在一百多个大小不一的中、新生代陆相沉积盆地, 总面积超过 50000 km^2 , 空间上与花岗岩紧密相邻. 盆地群的展布多呈 E-W 方向, 表明深部构造对其的制约; 但单个盆地的长轴多呈 NE 延伸, 可能与后期地质事件的改造有关. 晚三叠世-早侏罗世主要为灰紫-灰色陆相磨拉石堆积, 砾石粗大, 成分复杂, 分选差, 近东西向分布, 具后造山期的挤压前陆盆地沉积特征. 中侏罗世岩层多呈杂色, 盆地中普遍存在拉斑质玄武岩(始兴、兴宁、平远)或双峰式火山岩(闽西潘坑、赣南里仁、东坑、临江), 盆地边缘发育辉长岩(梅州霞岗, Rb-Sr 法测年值为 $179 \pm 4 \text{ Ma}$)^[14]、A 型花岗岩(赣南寨背、陂头, 测年值为 $160 \sim 180 \text{ Ma}$)^[7, 22, 23], 反映裂谷环境^[24, 25], 可能系壳幔作用-玄武岩浆底侵作用的产物. 早白垩世为大规模的拗陷盆地, 盆地群的展布渐趋北东方向; 由暗紫-灰紫色的英安质-流纹质晶屑凝灰岩类和流纹岩所组成. 从晚白垩世到古近纪, 为区域拉伸背景下的中小型断陷盆地^[20], 呈现稳定的紫红-砖红色, 由河流相-湖相的泥砂质岩石所组成; 岩层中前积层、微细层理、包卷层理、塌陷构造、透

镜状层理、印模、荷重模及具粗细韵律的粒序层、冲刷痕等沉积构造发育. 新近纪红层规模甚小, 零星分布.

2 几何学和岩石学特征

2.1 几何学特征

该区的盆-山配置和变质核杂岩组合颇为相似. 巨大的花岗岩体组成了一系列近东西向展布的高耸山脉, 其南北两侧为低洼的盆地, 南侧为南雄盆地, 北侧为汝城盆地. 盆地与山体之间以大型韧性拆离断层为界, 拆离断层下盘发育糜棱岩化岩石, 糜棱面理和拉伸线理指示山体从北向南朝山外下滑. 韧性剪切带、山前的南雄盆地和诸广岩体(晚期)形成时代相近. 从上世纪 90 年代初以来, 不断有人对其进行伸展构造的研究^[7, 9, 10]. 鉴于该区没有断失巨厚的地壳剖面, 也未形成大规模的地壳中深层次韧性剪切带, 糜棱岩化动力变质只发生在几条大断裂带附近, 规模较小, 主体变形形迹属于地壳浅层变形域(深度 $< 10 \text{ km}$), 不具备变质核杂岩命名的充分条件, 故称其为岩浆热隆伸展构造^[7].

野外调查发现, 南雄-诸广岩浆热隆伸展构造的变质变形具双层结构, 由脆性变形带和低绿片岩相变

质变形带(板岩、绿泥绢云千枚岩和长英质片岩)所组成。脆性变形带主要分布在盆地区和远离诸广岩体的中、新生代岩层中,低绿片岩相变质变形带分布在前泥盆纪的变质基底岩石和盆山交接带。主拆离断层分布在诸广岩体 SE 缘盆山交接带的南雄-周田一带,发生在韧性带与脆性带之间(图 1),为一大型犁式滑脱正断层,大多顺寒武系、奥陶系、泥盆系薄弱层及花岗岩边部发育。下拆离盘由糜棱岩化的花岗岩和下古生界变质岩所组成;上拆离盘是由正断层和碎裂岩组成的脆性变形带,广泛发育在南雄盆地中。在下拆离盘的岩体轴部塘洞-扶溪一带,发育走滑型韧性剪切带;在岩体轴部 SE 侧,还发育澜河($25^{\circ}13'32''N$, $114^{\circ}14'35''E$)韧性剪切正断层和百顺脆性正断层(图 3)。

在诸广岩体和南雄盆地的盆山结合带,构造变形分带性最为明显。以南雄断裂为界,上盘(SE 盘)为脆性变形域,宽约 2000~3000 m,下盘(NW 盘)为韧性变形域,宽 1500~2000 m。从岩体到盆地,具明显变形演化规律,可分出似斑状花岗岩带→片麻状花岗岩带(1200 m)→花岗质片麻岩带(500 m)→眼球状片麻岩带(300 m)→走滑型长英质千糜岩带(20 m, 下盘顶部)→硅化岩、硅化角砾岩带(50 m, 上盘底部)→红层的破碎角砾岩带(100 m)→红层的碳酸盐化蚀变带(褪色带)(0.5~1.0 m)→红色砂砾岩带等若干个构造变形带。

南雄-诸广热隆伸展构造的几何学与运动学特征研究表明,从中深部到中浅部、从岩体到盆地的构造变形演化及其产物都受制于热隆伸展这一地球动力学背景。

2.2 地层序列

野外调查证实,诸广山花岗岩体发育在浅变质的华南加里东期褶皱基底之上,基底岩石主要由板岩化-弱千枚岩化的下古生界和震旦系所组成,沉积盖层主要由古近系、白垩系、中-下侏罗统和上三叠统所组成,局部出露石炭系和泥盆系。

古近系厚 500~650 m,为灰紫、暗红色粗碎屑岩系,含石膏层和油页岩。上白垩统厚 1300~2100 m,为砖红色粉砂岩、泥岩、石膏层,含橄榄玄武岩夹层,产龟鳖、腹足类、介形类、恐龙、蛋化石等,和下白垩统呈假整合接触;下白垩统厚 1100~1800 m,为灰紫、紫红色流纹岩、熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩夹灰绿色玄武岩、安山岩层组合;中-下侏罗统厚度>800 m,分布零星,为灰紫、深灰、灰白色砂砾岩、石英砂岩、杂砂岩夹碳质泥岩,中部夹杏仁状玄武岩和流纹岩薄层,底砾岩层呈角度不整合覆盖于老地层之上。上三叠统为砾岩、砂岩夹碳质泥岩,局部见下三叠统泥灰岩、页岩,中三叠统缺失。上古生界零星出露,仅见石炭系和泥盆系,为浅海-滨海相碎屑岩-碳酸盐岩组合,与下古生界多呈断裂接触。寒武-奥陶系主要为一套板岩化、千枚岩化的泥砂质复理石(寒武系含碳质泥岩),缺失志留系。震旦系为千枚岩化的泥砂质复理石、硅质岩夹火山碎屑岩、细碧岩、角斑岩;近年测年数据表明,其中有部分岩石属于中元古代。

2.3 岩石学特征

诸广岩体南部是华南铀矿的主要产区之一,上

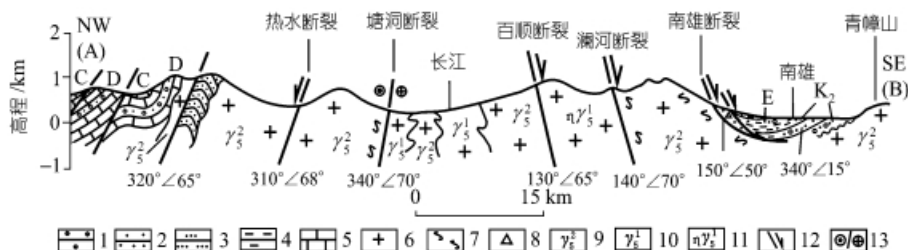


图 3 诸广岩体-南雄盆地地质剖面图

1. 砾岩; 2. 砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 泥岩; 5. 灰岩; 6. 花岗岩; 7. 糜棱岩; 8. 碎裂岩; 9. 燕山早期花岗岩类; 10. 印支期花岗岩类; 11. 印支期二长花岗岩; 12. 正断层; 13. 左旋走滑断层(韧性)

述的古生代和前寒武纪岩石地层构成了南雄-诸广岩浆热隆伸展构造发育和演化的基底,岩体和基底岩石的交接处存在角岩化带。诸广岩体为一个位于粤赣湘边境近 E-W 向的多期复式岩体,由加里东期(γ_3)、印支期(γ_5^1)和燕山早期(γ_5^2)花岗岩复合而成,以印支期和燕山早期花岗岩分布面积最大(图 1, 图 3)。加里东期岩体只出露在扶溪和澜河一带,扶溪为似斑状花岗闪长岩(主要矿物: Q+Pl+Mc+Bt+Amp),而澜河则为眼球状片麻状花岗岩(主要矿物: Q+Pl+Mc+Bt±Ms)。印支期岩体由似斑状黑云母花岗岩(主要矿物: Q+Mc+Bt±Pl)和二云母花岗岩(主要矿物: Q+Mc+Bt+Ms)所组成,主要分布在百顺、鲁溪、下庄和北山一带。燕山早期花岗岩在全区广泛分布,由粗斑状钾长花岗岩(主要矿物: Q+Mc+Bt±Pl)、似斑状花岗岩(主要矿物: Q+Mc+Bt+Pl)、二云母花岗岩、似斑状黑云母花岗岩和细粒黑云母花岗岩所组成;燕山晚期花岗岩不发育,以石英花岗斑岩为特征,主要分布在研究区的西部。

岩体中普遍发育暗色基性岩墙,多属辉绿岩,具辉绿结构,由细粒状拉长石、辉石和少量角闪石所组成,宽 2~10 m 不等,沿 NWW 向和 NE 向侵入燕山期花岗岩中。燕山早期花岗岩中还常见基性岩包体,包体 6 cm×12 cm~45 cm×80 cm 不等,基性岩包体的边缘多呈火焰状,和花岗岩呈渐变接触。据此推测,研究区晚中生代曾经发生过拉伸背景下的基性与酸性岩浆的混合作用。

诸广岩体北缘为残缺不全的汝城古生代沉积盆地,露头多沿 NNE 方向展布,其上迭加狭长带状早-中侏罗世粗碎屑岩盆地,盆内岩层多呈近 E-W 方向展布,缺少白垩纪~古近纪沉积。

狭长条状的南雄盆地走向 NE50°~60°,发育在诸广山和青嶂山两大花岗岩山体之间(图 1, 图 3),长 130 km,宽 15~18 km,面积 1800 km²,由晚白垩世和古近纪的红色泥砂质岩石所组成;两个时代岩层的分界线大致位于始兴-南雄-信丰公路一线。研究表明,南雄盆地总体上是一个不对称的宽缓向斜构造,具“北断南超”特征:盆地北缘,古近纪砂砾岩以上陡下缓的犁式正断层与诸广山花岗岩接触,断面朝 SE 中-陡倾斜;盆地南缘,晚白垩世砾岩夹砂岩岩层不

整合沉积在青嶂山花岗岩(γ_5^2)之上(图 3)。八处露头获取的前积层数据指示晚白垩世古水流从 NE 朝 SW 方向运动,冲刷痕和粒序层指示南雄盆地的正常层序为南老北新。沉积和沉降中心均受南雄断裂控制,从 SE 向 NW 方向迁移,导致地层东南侧老而西北侧新,具不对称伸展断陷盆地特征。根据盆地内砾岩、粗砂岩成分与周围地层、岩体成分的一致性以及盆内砾石粗大、分选差、棱角状等特征,推测当时盆区位置离蚀源区不远。

南雄盆地晚白垩世地层中多处发育气孔状玄武岩,如南雄走马连、始兴吊当排均出露有厚 5~20 m 的中细粒玄武岩层,岩石中气孔含量约 10%~15%,内充填沸石、石英和蛋白石等矿物;斑晶成分为拉长石(10%)和橄榄石+辉石(3%~5%);多分布在上白垩统底部粗碎屑岩中,和上下地层产状平行。地球化学数据(表 1)反映其为亚碱系列的拉斑玄武岩,代表拉张环境。

2.4 岩石地球化学特征

为了解诸广热隆伸展构造中花岗岩和盆地中火山岩的岩浆成分和岩浆源区的性质,我们采集了 10 个代表性的新鲜样品(8 个花岗岩,2 个玄武岩)作主元素、稀土元素和不相容元素的分析。它们的岩石学和矿物学特征上文已述。1~8 号样品的主元素分析由江苏国土资源厅中心实验室完成、9~10 号样品的主元素分析由南京大学现代分析中心张孟群完成,稀土和微量元素测定工作由南京大学成矿作用国家重点实验室高剑峰(ICP-MS)和林丽萍(ICP-AES)完成。稀土元素配分曲线采用球粒陨石数值标准化^[26],微量元素配分曲线采用原始地幔数值标准化^[27],分析结果见表 1。

岩石的 SiO₂ 含量和矿物成分表明,诸广岩体主要存在花岗闪长岩和花岗岩两种岩石类型。前者以扶溪岩体为代表;后者分布面积占绝对优势,按矿物成分可分为黑云母花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、二云母花岗岩等多种类型。岩石化学数据表明(表 1),加里东期花岗岩类(澜河的二长花岗岩和扶溪的花岗闪长岩),富含 Al₂O₃(14.38%~14.96%)和 K₂O(4.15%~4.66%),K₂O/Na₂O 1.18~1.39,其碱质指数(Al₂O₃+

表 1 南雄-诸广地区部分火成岩主量元素、稀土元素和微量元素分析数据

地点	仁化长江	仁化闻韶	仁化企岭	南雄苍石	仁化潭洞	仁化百顺	南雄澜河	仁化扶溪	南雄走马连	南雄吊当排
样品号	102	114	110	123	103	115	116	111	NX44	NX1
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时代	印支期		燕山早期		印支期		加里东期		K ₂	K ₂
主量元素(%，重量百分比)										
SiO ₂	74.34	74.38	73.38	72.15	71.47	71.86	70.32	63.89	50.13	53.43
TiO ₂	0.14	0.18	0.66	0.36	0.41	0.38	0.56	0.68	2.34	1.69
Al ₂ O ₃	13.61	13.61	14.06	14.68	14.28	14.46	14.38	14.96	14.17	15.37
Fe ₂ O ₃	0.72	0.84	0.82	0.54	0.45	1.85	1.25	1.25	4.7	3.73
FeO	0.96	1.57	1.28	1.48	2.15	1.08	2.75	3.96	7.24	5.58
MnO	0.10	0.09	0.15	0.04	0.06	0.12	0.15	0.16	0.17	0.13
MgO	0.38	0.45	0.40	0.45	0.54	0.52	0.88	2.66	6.25	6.35
CaO	0.82	0.84	0.64	0.71	1.28	0.76	1.48	4.26	8.61	8.52
Na ₂ O	2.95	2.74	3.46	2.55	2.82	3.64	3.16	2.98	2.88	2.86
K ₂ O	4.64	4.06	4.82	5.88	5.92	4.78	3.76	4.15	1.14	0.73
P ₂ O ₅	0.12	0.07	0.08	0.14	0.23	0.14	0.20	0.25	0.31	0.23
灼失	1.05	0.96	0.30	0.84	0.52	0.68	0.92	0.76	2.14	1.04
总量	99.83	99.79	100.05	99.82	100.13	100.27	99.81	99.96	100.08	99.66
稀土元素(μg/g)										
La	43.46	52.48	46.86	44.66	50.45	48.34	46.34	40.36	17.963	18.86
Ce	87.54	94.34	86.24	80.63	78.66	81.46	74.67	68.78	38.187	39.586
Pr	10.25	12.93	9.34	11.14	10.24	13.14	7.86	8.92	4.4616	4.6176
Nd	50.34	43.05	44.26	54.35	36.58	38.48	33.71	27.35	19.377	20.195
Sm	10.645	10.57	9.256	11.19	8.46	9.036	7.465	7.083	4.408	4.952
Eu	0.668	0.853	0.614	0.882	0.658	0.568	1.074	1.123	1.593	1.627
Gd	9.856	10.545	8.864	11.86	8.726	7.954	8.724	7.525	4.849	4.92
Tb	1.734	1.646	1.462	1.836	1.724	1.434	1.386	1.265	0.642	0.61
Dy	8.324	7.581	8.345	7.786	6.434	7.266	6.846	8.846	3.995	3.867
Ho	1.324	1.574	1.326	1.612	1.736	1.564	1.224	1.864	0.805	0.851
Er	3.742	4.945	4.214	3.828	3.38	4.368	4.12	3.742	2.068	2.121
Tm	0.424	0.549	0.568	0.492	0.512	0.615	0.482	0.826	0.271	0.273
Yb	3.045	3.412	3.184	3.565	3.458	3.245	3.644	4.568	1.417	1.53
Lu	0.558	0.568	0.468	0.536	0.616	0.568	0.604	0.718	0.193	0.207
Y	38.42	36.78	39.56	40.12	42.68	34.56	28.46	30.15	19.141	20.064
SREE	270.33	281.823	264.561	274.487	254.314	252.598	226.609	213.12	119.3706	124.2806
La/Yb	10.24	11.03	10.56	8.99	10.46	10.69	9.12	6.34	9.1	8.8
Eu/Eu*	0.20	0.24	0.20	0.23	0.23	0.20	0.41	0.47	1.0	1.0
微量元素 (μg/g)										
Li									19.447	16.548
Be	3.142	4.024	3.135	5.321	3.843	4.285	3.768	3.338	1.361	1.31
Sc	7.235	7.342	9.182	1.686	8.684	5.582	5.043	4.615	14.365	13.565
Ti	1491	3816	6436	3628	4124	1658	5495	6853	9519.412	9568.404
V	65.35	70.52	74.54	26.78	36.38	60.44	54.64	18.65	147.142	144.77
Cr	25.2	112.2	67.36	20.68	56.44	63.12	58.45	36.46	194.843	207.743
Mn	650	588	568	785	712	570	608	618	919.132	948.786
Co	2.356	7.654	11.24	2.246	3.452	2.646	3.234	3.016	47.131	45.492
Ni	18.6	19.36	20.14	6.347	15.6	20.36	15.14	14.85	161	172.801
Ga									16.73	15.826
Rb	134.7	153.5	178.46	161.5	150.2	186.4	204.2	234	11.083	13.639
Sr	65.65	88.6	132.46	130.4	140.2	146.3	122.6	118.5	352.004	374.756
Zr	168.4	215.8	287.68	263.14	212.6	247.3	196.4	186.7	122.952	127.375

表 1(续)

地点	仁化长江	仁化闸韶	仁化企岭	南雄苍石	仁化潭洞	仁化百顺	南雄澜河	仁化扶溪	南雄走马连	南雄吊当排
样品号	102	114	110	123	103	115	116	111	NX44	NX1
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时代	印支期		燕山早期		印支期		加里东期		K ₂	K ₂
微量元素 (μg/g)										
Nb	15.32	16.34	25.34	18.35	18.64	26.68	28.15	21.84	22.606	24.28
Sn									1.398	1.71
Cs									0.305	0.31
Ba	467.3	650	752	435.4	452.6	380.6	402.3	424.4	238.095	257.426
Hf	13.596	15.759	14.523	14.214	16.686	12.978	14.523	12.669	2.962	3.264
Ta	1.746	2.124	1.925	2.346	1.654	1.965	1.768	1.882	1.38	1.469
Pb	24.36	24.83	26.24	21.56	20.65	27.8	28.16	26.45	2.71	3.422
Th	19.64	14.68	29.68	11.21	12.56	22.23	24.46	15.46	2.576	2.972
U									0.788	0.824

CaO+K₂O+Na₂O)/(Al₂O₃+CaO-K₂O-Na₂O)(%, 重量百分比)为22~25, 属于钙碱系列岩石. 其花岗闪长岩 ANKC 值(Mol Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO))为 0.87, 具 I 型花岗岩之特征. 印支期和燕山早期花岗岩类的主量元素含量差别不大, 化学成分上的显著特点是普遍富含 Si, Al 和 K, SiO₂ = 70.32%~74.38%, Al₂O₃ = 13.61%~14.68%, K₂O = 4.06%~5.92%, K₂O/Na₂O = 1.3~2.3, 其碱质指数从印支期到燕山早期呈升高趋势(2.8~3.6), 表明一种富钾的钙碱岩系亲缘性; 其 ANKC 值为 1.16~1.3, 属于 S 型花岗岩. 南雄盆地中的晚白垩世玄武岩和广东三水盆地中的晚白垩世~古近纪玄武岩化学成分相似^[17]: SiO₂ 50.13%~53.43%, Al₂O₃ 14.17%~15.37%, Na₂O 2.86%~2.88%, K₂O 0.73%~1.14%, 碱含量偏低, 碱质系数 1.4, ANKC 值 0.66~0.73, 属拉斑系列玄武岩类.

稀土元素上(表 1), 诸广岩体所有样品均显示出轻稀土富集的特点, La/Yb=9.1~11.0(但花岗闪长岩则为 6.3), Eu 异常亏损明显(Eu/Eu*=0.2~0.47), 稀土总量 213~282 μg/g, 球粒陨石标准化配分曲线呈朝右倾斜的轻稀土富集型(图 4), 表明轻重稀土分馏明显, 证实该复合岩体的花岗岩主要来源于地壳物质. 南雄盆地中的玄武岩配分曲线与大陆裂谷玄武岩相似^[28], 表现为向右倾斜的轻稀土轻度富集型, La/Yb=8.8~9.1, Eu 异常不明显(Eu/Eu*=1.0), 稀土总量 119~124 μg/g, 推测其物质成分主要来源于地幔.

在不相容元素上, 诸广山花岗岩贫 Ba 和 Nb(表 1), 暗示花岗岩类岩石的成因为陆壳重熔型; 与此相

关, 较高的 Rb 和 Th 含量显示出岩石具过铝质侵入体的特征. 在原始地幔标准化蛛网图上(图 4), 以明显的 Ba, Nb, P 和 Ti 负异常, Rb 和 Th 正异常以及微弱的 Ce, Zr 和 Hf 正异常为特征, 和 S 型花岗岩不相容元素配分样式^[28]很相似, 说明该区古老基底的地壳组分影响着诸广山花岗岩类的岩石成分. 相比之下, 南雄盆地玄武岩的不相容元素以贫 Rb, Ce 和 Zr, 弱富集 Ba, Th, Ta 和 Nb 为特征, 其蛛网图总体上呈一上凸型, 与大陆裂谷玄武岩的蛛网图形态^[28]相似.

综上所述, 诸广山花岗岩类具有高的 SiO₂, Al₂O₃ 和 K₂O 含量, 碱质指数>2.8, ANKC 值>1.1; 轻稀土富集、稀土总量高, Eu 亏损, 具明显 Eu 负异常; 富集 Rb 和 Th, 贫化 Ba 和 Nb 等. 这些特征说明该花岗岩类属富钾过铝的钙碱系列 S 型花岗岩类, 反映陆内构造-岩浆环境. 南雄盆地玄武岩则富硅贫碱, 轻稀土轻度富集, Eu 异常不明显; 贫 Rb, Ce 和 Zr, 弱富集 Ba, Th, Ta 和 Nb, 配分样式呈上凸型, 属拉斑系列玄武岩类, 反映大陆裂谷构造-岩浆背景.

3 构造运动学分析

3.1 韧性剪切带

和华南其他地方如武功山、庐山强烈韧性变形的岩体^[29~34]相比, 研究区的韧性剪切强度相对较弱, 规模偏小. 野外运动学调查表明, 诸广岩体仅发育两条韧性剪切带: 一条发育在岩体内部的塘洞-扶溪一带, 走向 NE40°, 长度 >40 km, 宽 200~400 m; 另一条发育在岩体东南缘的南雄-周田一带, 走向 NE60°, 长

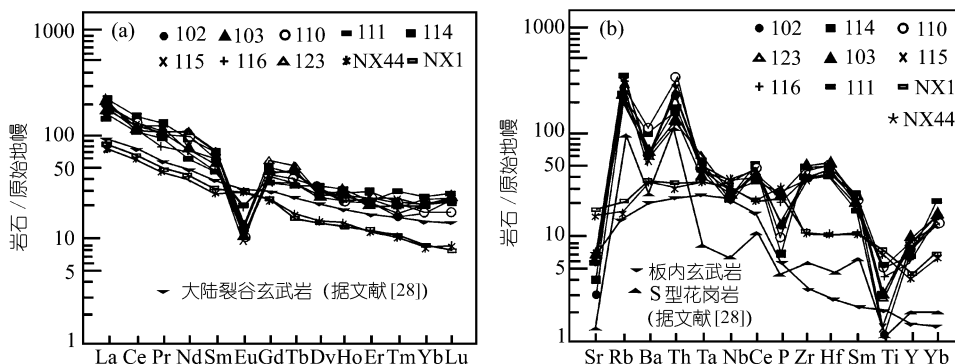


图4 南雄-诸广地区花岗岩类和玄武岩的稀土元素和不相容元素配分曲线
球粒陨石标准值据文献[26], 原始地幔标准值据文献[27]

度 >50 km, 宽约 2000 m. 两条韧性剪切带内的岩石均已发生绿片岩相变质和石英-长石相韧性变形。

调查表明, 对于朝东南方向陡倾斜的塘洞-扶溪韧性剪切带, 花岗质岩石的韧性变形是从韧性断层的中心向两侧逐渐减弱的, 即白云母化绢云母化细粒长石石英千糜岩或超糜棱岩(60~90 m)→片麻状花岗岩(50~80 m)→眼球状片麻状花岗岩(70~120 m)→似斑状花岗岩, 东南盘(上盘)变形宽度(180~300 m)大于西北盘(下盘)变形宽度(60~100 m), 反映塘洞-扶溪韧性断裂带是提供岩石变质变形热源的, 对于南雄-周田韧性剪切带, 韧性变形主要发生在岩体东南侧的外缘带; 其内带均为稳定温压物理条件下的岩浆结晶域, 以似斑状结构为特征, 基质粗大(石英颗粒>5 mm), 微斜长石斑晶可达 20 mm×50mm, 含量 20%~30%。从岩体向主拆离断层, 变质程度由角闪岩相逐渐变为绿片岩相, 特征变质矿物从绿泥石以及云母变为石榴石。韧性剪切变形作用从岩体向主拆离断层逐渐增强: 似斑状花岗岩→条带状混合花岗岩→眼球状糜棱岩化花岗岩→片麻状糜棱岩化花岗岩→糜棱岩化花岗质片麻岩→细粒长石石英千糜岩或超糜棱岩。从区内花岗岩围岩的浅变质岩石(古生界为主)和盆地基底岩石的板岩化-弱千枚岩化低级变质程度分析, 本区的韧性剪切带是在基底变质基础上进变质作用之产物。

3.2 运动学分析

塘洞-扶溪韧性剪切带发育在岩体轴部, 沿塘洞-扶溪一带展布, 带内花岗岩均已发生强烈的细粒化

和糜棱岩化变形。花岗质糜棱岩中剪切面理陡立, 产状为 $300^{\circ}\angle 75^{\circ}$; 面理面上的拉伸线理近水平, 产状: $210^{\circ}\angle 5^{\circ}$, 反映走滑剪切性质。XZ 面(运动面)上的韧性剪切变形构造如不对称长石残斑系(图 5(a))、石英残斑系(图 5(b))、长石眼球构造、S-C 复合组构发育, 指示该带是一条标志非常清楚的左旋走滑韧性剪切带。在扶溪西南侧的仁化县城河边采石场和塘洞西南侧的三合水, 弱大理岩化的砂屑灰岩和千枚岩已发生强烈的不对称褶皱, 面理发育, 拉伸线理可见, 其运动学标志(不对称岩块和褶皱等)也指示该断层为左旋走滑变形性质。

南雄-周田韧性剪切带主要发育在盆山结合部的长元(南雄北)-苍石-大源电站-白石岭-周田一带, 走向 $NE60^{\circ}$, 长度 >50 km, 宽约 2000 m. 带内剪切面理、拉伸线理非常发育, XZ 面(运动面)上的不对称运动学组构明显。宏微观的运动学组构主要包括: (1) σ 型的长石或石英残斑系, (2) 长石或石英眼球构造, (3) 云母“鱼尾”构造(图 5(c)), (4) S-C 复合面理, (5) 斜列纤维状石英亚颗粒(图 5(d))等。在面理面上见两组拉伸线理, 其一为倾滑线理, 面理产状为 $155^{\circ}\angle 45^{\circ}$; 拉伸线理产状为 $165^{\circ}\angle 38^{\circ}$, 产状稳定, 分布广泛, XZ 面上的运动学组构指示上盘岩块朝东南下滑。另一为走滑线理, 面理产状为 $145^{\circ}\angle 45^{\circ}$, 拉伸线理产状为 $225^{\circ}\angle 4^{\circ}$, 已经切割甚至取代了倾滑型拉伸线理, 发育在宽约 20 m 的盆地与山体交接带, 运动学动向为左旋走滑。

另外, 在南雄盆地南缘的始兴县城西北侧公路

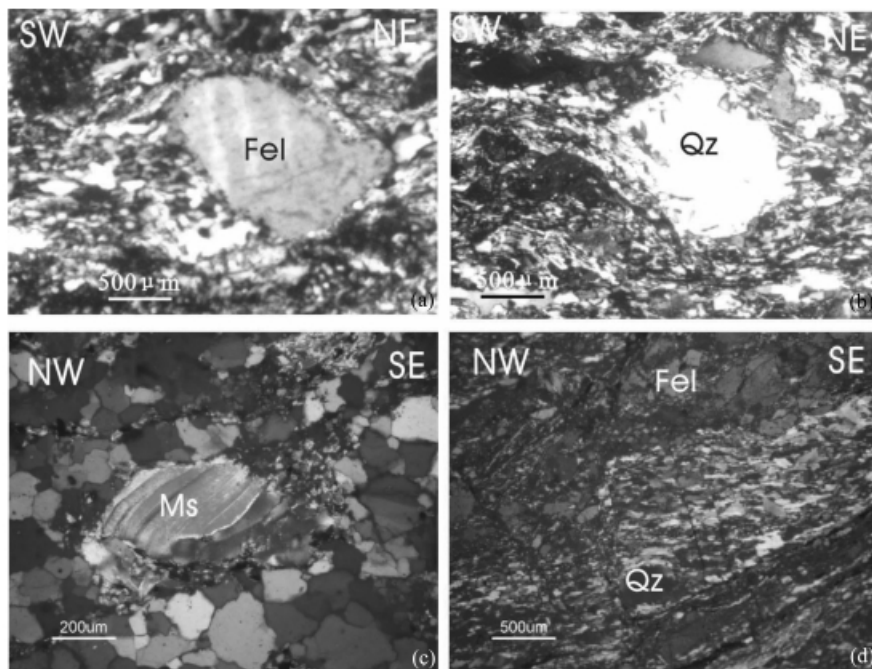


图 5 南雄-周田韧性剪切带部分运动学组构

(a) 不对称长石残斑系, 指示左旋走滑动向(仁化潭洞, 花岗质糜棱岩); (b) 不对称石英残斑系, 指示左旋走滑动向(仁化潭洞, 花岗质糜棱岩); (c) 云母鱼构造, 指示北盘向南下滑 (始兴大源, 糜棱岩化花岗岩); (d) 斜列的纤维状石英亚颗粒, 指示北盘向南下滑(始兴大源, 糜棱岩化花岗岩).

Fel, 斜长石; Qz, 石英; Ms, 白云母

边(GPS 位置: $24^{\circ} 57' 32'' \text{N}$, $114^{\circ} 02' 52'' \text{E}$), 见长约 100 m, 宽约 5~10 m 的灰色夹紫红色石炭纪碳酸盐岩露头, 已变质变形为糜棱岩化大理岩. 其上被未变质的晚白垩世红层不整合覆盖, 砂砾岩和粉砂岩产状为 $320^{\circ} \angle 15^{\circ}$. 石炭纪岩层已强烈揉皱, 挤压面理、拉伸线理发育. 然而, 该露头遭受了后期脆性变形构造的强烈叠加, 导致拉伸线理揉皱弯曲, 节理、破劈理、挤压透镜体等普遍发育, 破坏了早期的韧性剪切构造形迹和动向标志; 野外和室内定向薄片均未能找到可信的韧性变形运动学动向.

诸广岩体大部分地段属脆性变形域, 节理和断裂发育. 以塘洞-扶溪走滑韧性剪切带为轴部, 其东南侧脆性断层的断面均朝 SE 方向倾斜, 发育在各个主断面上的擦痕、阶步和伴生构造指示岩块朝 SE 方向即朝南雄盆地方向下滑. 在盆山结合带的南雄北苍石镇, 晚白垩世砖红色粉砂岩(S_0 : $150^{\circ} \angle 10^{\circ}$)和片麻状花岗岩(S_1 : $155^{\circ} \angle 40^{\circ}$)呈正断层接触(F : $150^{\circ} \angle 45^{\circ}$), 接触带宽 20 m, 带内岩石均发生强烈硅化和角

砾岩化; 在马市镇北 6 km 处, 古近纪紫红色砂砾岩(S_0 : $145^{\circ} \angle 30^{\circ}$)和片麻状花岗岩(S_1 : $150^{\circ} \angle 52^{\circ}$)呈正断层接触(F : $150^{\circ} \angle 52^{\circ}$), 接触带宽 12 m, 带内花岗岩强烈硅化碎裂和角砾岩化. 在南雄盆地内部, 正断层也较发育, 但规模较小, 断距多为米级规模(如南雄西南侧 $25^{\circ} 03' 19'' \text{N}$, $114^{\circ} 13' 23'' \text{E}$ 处, K_2 粉砂岩中正断层断距为 3.2 m). 脆性运动学标志(擦痕、阶步、破劈理、不对称褶皱等)指示上盘岩块朝 S-SW 方向下滑.

综上所述, 与诸广热隆伸展构造有关的韧性流变层和脆性变形层的运动学指向完全一致, 韧性和脆性变形演化规律揭示该花岗质热隆伸展构造从中深部到浅部是一连续变形的结果, 花岗岩山体 and 山前的南雄盆地共同构成了一个半地堑式的构造体系.

4 盆山演化年代学及其动力学初探

4.1 盆山演化年代学研究

诸广山花岗岩形成时代非常复杂, 前人根据野

外侵入接触关系和少量同位素测年数据^[7, 17, 35], 将其划分为加里东期(γ_3)、印支期(γ_5^1)、燕山早期(γ_5^2)以及燕山晚期等多期岩体(表 2), 其主体时代定为印支期和燕山早期, 岩浆活动高峰期为晚三叠世和中侏罗世. 近年锆石 U-Pb 法测年数据显示, 诸广山复式岩基中的印支期岩体范围较前有扩大之趋势.

燕山晚期火成岩以晚白垩世石英花岗斑岩、花岗斑岩和基性岩墙群为代表, 规模不大, 以侵入关系注入在燕山早期花岗岩中; 其基性岩墙的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比为 0.705, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=2.6$, 系幔源成因^[7]. 与此期岩浆活动相呼应, 南雄盆地多处发育玄武岩层, 露头保存较好的有走马连、吊当排玄武岩, 代表与成盆机制有关的古拉张环境, 是了解盆地成因和盆山关系的重要物质, 确定构造热事件的直接证据. 迄今为止, 南雄盆地玄武岩的测年工作尚无数据发表. 为此, 笔者对吊当排玄武岩精选的锆石矿物进行了单颗粒锆石离子探针法年龄的测定工作. 制样和测年均在北京离子探针中心进行, 共测定 19 组锆石, 由王彦斌研究员和笔者完成. 测试全过程严格按照规定流程和要求进行, 测试中平均每测试两组样品年龄即进行一次标样(澳大利亚标样)测定以确保测试质量. SHRIMP 测试结果见表 3. 在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 投影图上(图 6), 获 $95.9\pm 0.8\text{Ma}$ 年龄值, $\text{MSWD}=1.64$. 这是一组高

质量的年龄数据, 它与陈跃辉等^[7]诸广岩体南部花岗岩中的辉绿岩墙 Sm-Nd 等时线年龄值($94\pm 7\text{ Ma}$)以及 Rb-Sr 等时线年龄值($102\pm 8\text{ Ma}$)基本一致, 也与盆地中南雄组所含的 *Oolithes clongatus* 和 *Cyprides* sp. 等化石的晚白垩世地层时代^[17]吻合, 反映本区在 K_1 - K_2 之交曾发生过一次伸展构造热事件. 结合其他地质证据, 笔者认为, $95.9\pm 0.8\text{ Ma}$ 可以代表诸广山花岗岩岩浆演化末期以及山体快速隆升、南雄盆地强烈拉张的高峰期.

4.2 盆山演化动力学初探

资料表明, 中生代之前中国境内曾发育三大近 E-W 向的构造域: 华北、华南及其间的特提斯构造域^[16]. 中三叠世, 南岭北侧的大别地区发生了华南与华北陆块的碰撞、南侧的藏东-滇西-越南一带发生了华南与印支陆块的碰撞作用, 其结果既导致大型碰撞缝合带的形成, 又导致了其两侧地区强烈的构造变形、岩浆活动与盆山演化. 研究区处在这两大碰撞带之间, 其构造岩浆活动必受此区域背景之影响. 上面谈到, 诸广山岩体主体被三叠纪-中晚侏罗世富硅、铝、钾的钙碱系列花岗岩质群所占据, 总体排列略呈近 E-W 向, 其岩石矿物和地球化学具 S 型花岗岩特征, 属后造山花岗岩, 为陆内地壳物质局部熔融之产

表 2 南雄-诸广地区花岗岩体及其测年值

序号	地点	岩石名称	岩浆期	年龄/Ma	方法	资料来源
1	始兴县扶溪	花岗闪长岩	加里东期	385	U-Pb	[19]
2	始兴县澜河	二长花岗岩	加里东期	374	U-Pb	[19]
3	始兴县澜河	二长花岗岩	加里东期	371	Rb-Sr	[19]
4	翁源县鲁溪	黑云母花岗岩	印支期	239±5	ICPMS U-Pb	[35]
5	翁源县下庄	二云母花岗岩	印支期	236±8	ICPMS U-Pb	[35]
6	仁化县百顺	二云母花岗岩	印支期	196	U-Pb	[19]
7	仁化县潭洞	二云母花岗岩	燕山早期	141	K-Ar	[17]
8	始兴县隘子	黑云母花岗岩	燕山早期	160±6	ICPMS U-Pb	[35]
9	始兴县司前	二云母花岗岩	燕山早期	151±11	ICPMS U-Pb	[35]
10	翁源县贵东	黑云母花岗岩	燕山早期	174~183	U-Pb	[17]
11	乐昌市九峰	黑云二长花岗岩	燕山早期	162	Rb-Sr	[2]
12	始兴县企岭	二云钾长花岗岩	燕山早期	166	Rb-Sr	[2]
13	始兴县青嶂山	钾长花岗岩	燕山早期	177	K-Ar	[17]
14	仁化县百顺南	钾长花岗岩	燕山早期	149	K-Ar	[19]
15	仁化县热水	黑云二长花岗岩	燕山早期	147	K-Ar	[19]
16	诸广山南部	基性岩墙	燕山晚期	102±8	Rb-Sr	[7]
17	诸广山南部	基性岩墙	燕山晚期	94±7	Sm-Nd	[7]
18	南雄市吊当排	橄榄玄武岩	燕山晚期	96±1	SHRIMP	本文

物^[17]。同时,区内还残留有若干个近 E-W 走向的晚三叠世-早侏罗世磨拉石盆地、闽西-赣南-南岭近 E-W 向的中侏罗世碎屑岩盆地(含双峰式火山岩),构成研究区早中生代盆山格局。分析认为,这些早中生代岩体和盆地的成因动力学可能与其南北两侧强烈碰撞作用对大陆内部的远程影响有关^[12,27,30,31,36],而空间展布和形态规模则受到古老基底构造(特提斯-古亚洲构造域)的制约。考虑到中侏罗世盆地中多处发育的双峰式火山岩或拉斑玄武岩,盆地边缘发育的 A 型花岗岩。笔者推测,在后造山的构造-岩浆高峰期末,南岭盆山构造区可能出现过一个应力松弛、陆内引张的阶段。

迄今为止,研究区花岗岩浆的形成深度和温压条件尚不清楚。虽然诸广山各处岩体形成时代有别,但岩石学及地球化学研究结果表明,其晚三叠世到侏罗纪末的花岗岩类和花岗岩体具有相似的岩石学和地球化学特征,从一个侧面证明诸广山花岗岩浆区经历了从晚三叠世到侏罗纪末的连续演化过程。

早白垩世发生在研究区南东侧的太平洋板块朝大陆的俯冲消减及洋陆过渡带上强烈的火山-侵入活动,也必然会对研究区先期盆山构造与岩石产生明

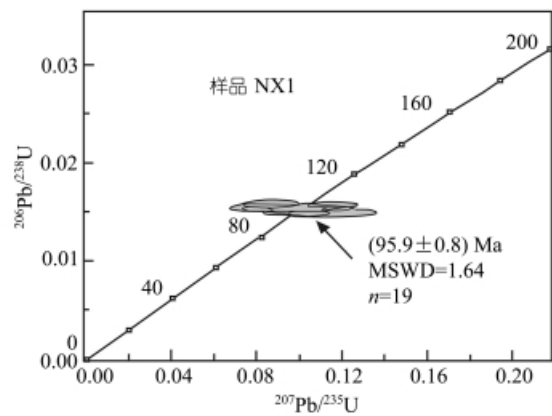


图 6 南雄盆地橄榄玄武岩的锆石 SHRIMP 年龄图解

显的叠加与改造。这种复杂的构造背景,决定了本区的构造岩浆活动与盆山格局的复杂性^[12,15]。大致以大埔-惠东断裂(莲花山断裂)为界,其东南侧为 NE 向构造区,被晚中生代火山-侵入杂岩所占据,属太平洋活动陆缘构造域。在其西北侧大陆腹地的南岭地区,已经遭受到太平洋板块消减作用的强烈影响:(1) 三叠纪~中晚侏罗世花岗岩和沉积岩中的 NE 向节理和断裂构造非常发育;(2) 若干个早中生代花岗岩体和盆地的长轴呈 NE 向展布;(3) 前中生代 E-W 向构

表 3 南雄盆地吊当排橄榄玄武岩锆石 SHRIMP 年龄

样品号	²⁰⁶ Pb _c	U/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb*/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄 /Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	误差 /%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	误差 /%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	误差 /%
NX1-1	1.45	323	534	1.71	4.24	96.3±1.1	-127±130	0.0437	5.3	0.0907	5.4	0.01505	1.2
NX1-2	1.32	456	568	1.29	6.04	97.3±1.0	175±200	0.0496	8.6	0.1040	8.7	0.01521	1.0
NX1-3	—	553	790	1.47	7.37	99.72±0.92	336±110	0.0532	4.9	0.1143	5.0	0.01559	0.93
NX1-4	1.42	233	358	1.59	3.13	98.7±1.4	-337±360	0.0402	14	0.086	14	0.01543	1.4
NX1-5	0.40	347	415	1.24	4.42	94.6±1.2	315±190	0.0527	8.2	0.1074	8.2	0.01478	1.2
NX1-6	—	431	453	1.09	5.50	95.4±1.3	565±170	0.0589	7.7	0.1211	7.8	0.01490	1.3
NX1-7	0.30	365	427	1.21	4.69	95.5±1.1	247±96	0.0511	4.2	0.1053	4.3	0.01493	1.2
NX1-8	5.46	72	232	3.31	0.886	86.3±3.7	-1,230±3300	0.029	100	0.054	100	0.01347	4.3
NX1-9	1.74	460	567	1.27	6.16	98.0±1.0	-169±330	0.0430	13	0.091	13	0.01532	1.1
NX1-10	2.68	282	464	1.70	3.68	94.5±1.3	-571±600	0.0368	22	0.075	22	0.01477	1.4
NX1-11	9.00	54	94	1.81	0.738	93.0±5.0						0.01453	5.4
NX1-12	6.59	127	236	1.92	1.80	98.2±2.6						0.01534	2.7
NX1-13	0.71	354	622	1.82	4.70	98.2±1.7	82±240	0.0477	10	0.101	10	0.01534	1.7
NX1-14	—	320	759	2.45	4.20	98.06±0.93	438±80	0.0556	3.6	0.1176	3.7	0.01533	0.95
NX1-15	—	152	255	1.73	2.05	101.1±1.6	-376±260	0.0396	9.9	0.0863	10.0	0.01580	1.6
NX1-16	1.95	514	603	1.21	6.71	95.34±0.89						0.01490	0.94
NX1-17	0.08	433	379	0.90	5.73	98.43±0.85	-2,217±630	0.0221	16	0.0469	16	0.01539	0.88
NX1-18	4.01	133	158	1.22	1.75	93.7±2.2	-1,180±1600	0.030	53	0.060	53	0.01464	2.4
NX1-19	1.26	369	414	1.16	5.03	100.27±0.97	331±150	0.0531	6.6	0.1147	6.7	0.01568	0.97

造形迹遭受扭曲再褶皱; (4) 部分地段, 早中生代花岗岩被 140~100 Ma 的花岗岩株侵入; (5) 在盆山交接带, 引张断裂普遍, 白垩纪-古近纪伸展型断陷盆地发育, 陆源碎屑多沿 NE 方向堆积延伸. 这些现象, 可以视为研究区对晚中生代太平洋俯冲作用的响应. 到新近纪, 不少陆内盆地中发生了碱性玄武岩浆的喷溢活动. 由于此时太平洋俯冲带已经大幅度向东后撤, 故新近纪地层中发育的碱性玄武岩夹层与太平洋俯冲关系不大, 应属陆内构造-岩浆活动的产物^[12].

另外, 根据南雄盆地中发育的晚白垩世橄榄玄武岩层以及燕山期花岗岩中普遍存在的基性岩包体和基性岩墙, 其成因可能与地幔柱作用、玄武岩浆底侵作用及其派生的壳幔边界流体化学作用有关^[21].

综上所述, 南雄-诸广地区盆山格局的形成和演化过程大致可归结为如下 3 个阶段: (1) 前中生代近 E-W 向的特提斯-古亚洲构造域和华南基底构造, 为研究区中、新生代盆山构造提供了良好的物质条件和演化空间; (2) 印支期碰撞造山事件触发了研究区的深部岩浆与构造活动, 形成诸广山晚三叠世到侏罗纪末花岗岩群和前陆盆地, 伴有局部裂谷岩浆活动; (3) 受燕山期太平洋板块俯冲消减影响, 研究区发生近 E-W 向特提斯-古亚洲构造域向 NE 太平洋构造域的转换, 先期盆山构造遭受变形叠加并改造, 导致诸广岩体被挤压隆升, 在中上地壳部位发生岩体和上覆岩层之间的滑脱拆离, 下盘发生韧性剪切变形, 上盘发生脆性变形, 岩块从高处向低处下滑, 在盆山交接带则因强烈正断层作用而形成同伸展期半地堑断陷盆地, 构成热隆伸展盆山体系. 晚白垩世-古近世, 受区域伸展构造作用影响, 研究区发生引张裂谷和玄武岩浆底侵作用, 花岗岩山体发生基性岩包体的注入和基性岩墙的侵入, 红色盆地中则发育橄榄玄武质熔岩的喷溢.

5 结论

(1) 诸广山花岗岩是一个发育在特提斯-古亚洲构造域变质基底之上的多期复式岩体, 以印支期和燕山早期花岗岩为主体. 岩浆活动高峰发生在印支期-燕山早期, 其南北两侧强烈的陆-陆碰撞可能是诱发陆内岩浆活动的动力学原因. 岩体的隆升、东西向

构造域向北东向构造域的转换、岩体的变质变形、诸广山前盆地的形成等, 则与早白垩世太平洋板块俯冲产生的强大侧向挤压作用有关. 南雄盆地和盆山格局的最终形成主要是晚白垩世-古近纪陆内伸展作用的结果.

(2) 南雄盆地是一个晚白垩世-古近纪的不对称伸展断陷盆地, 具“北断南超”特征. 南雄盆地的形成与盆山演化受诸广岩体热隆作用和区域伸展构造的双重制约.

(3) 诸广花岗岩山体和南雄断陷盆地共同构成了一个半地堑式的构造体系, 两者之间为一 NE 走向的大型拆离断层, 具中浅层次热隆伸展构造的几何学与运动学特征. 盆山交接带构造运动学研究表明, 其韧性流变层和脆性变形层的运动学指向完全一致, 经历了中深部位韧性伸展变形(局部伴有左旋走滑变形)和浅层部位脆性拉张变形的联合作用, 韧性和脆性变形演化规律揭示该花岗质热隆伸展构造从中深部到浅部是一连续变形的结果.

(4) 岩石学及地球化学研究结果表明, 诸广山晚三叠世到侏罗纪末的花岗岩体具有相似的岩石学和地球化学特征: SiO_2 , Al_2O_3 和 K_2O 含量高, 碱质指数 >2.8 , ANKC 值 >1.1 , 轻稀土富集、稀土总量高, 具明显 Eu 负异常, 富集 Rb 和 Th, 贫 Ba 和 Nb, 属富钾过铝的钙碱系列 S 型花岗岩, 表明诸广山花岗岩浆经历了从晚三叠世到侏罗纪末的连续演化过程.

(5) 诸广山燕山期花岗岩中普遍发育基性岩包体和基性岩墙, 其成因可能与陆内的地幔柱作用、玄武岩浆底侵作用及其派生的壳幔边界流体化学作用有关. 南雄红色盆地中多处发育的橄榄玄武岩层表明当时拉伸强度颇大. 玄武岩中的自形锆石 SHRIMP 数据 $96 \pm 1 \text{ Ma}$ 为该期构造热事件和盆山演化提供了可靠的年代学制约.

(6) 诸广山-南雄地区花岗岩及其围岩主体未发生韧性剪切, 主要岩体变形不在地壳中深层次发生, 韧性剪切变形和糜棱岩化动力变质仅发生在岩体轴部的塘洞-扶溪和岩体 SE 缘的南雄-周田等地带, 规模相对较小, 岩体 NW 缘韧性剪切微弱. 因此, 虽然盆山格局具备了变质核杂岩的几何学条件, 但并未断失巨厚的地壳剖面, 也未形成大规模的地壳中深

层次韧性剪切带, 因而不具备变质核杂岩的充分条件, 不宜称变质核杂岩, 称其为岩浆热隆伸展构造比较合适。

致谢 周新民教授2001年带领笔者等13位重点基金项目组成员在南岭地区进行了重要路线考察, 王德滋教授对本文写作给予学术指导和鼓励, SHRIMP测年得到北京离子探针中心和王彦斌、宋彪、万渝生研究员的具体指导, 薄片鉴定工作得到汪相和于津海教授的帮助, 韶关290研究所朱八和吴烈勤高工提供野外考察便利, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1981. 1~395
- 2 莫柱荪. 华南某些复式花岗岩带形成机理的初步探讨. 广东地质, 1987, 2(2): 1~12
- 3 地质矿产部“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. 1~182
- 4 杨树锋, 陈汉林, 张伯友, 等. 南岭花岗岩岩石物理学与大地构造. 北京: 中国大百科全书出版社, 1996. 1~113
- 5 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山地质及矿产. 北京: 地质出版社, 1997. 1~118
- 6 陈祖伊, 张邻素, 陈树昆, 等. 华南断块运动-陆相红层发育期与区域铀矿化. 地质学报, 1983, 57(3): 294~303
- 7 陈跃辉, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 华东南中生代伸展构造与铀成矿作用. 北京: 原子能出版社, 1998. 1~262
- 8 邓 平, 舒良树, 谭正中, 等. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与铀成矿系列. 铀矿地质, 2002, 18(5): 257~263
- 9 陈跃辉. 南雄断裂构造剥离作用及其与铀成矿的关系. 铀矿地质, 1994, 10(3): 168~174
- 10 潘永正, 张建新. 诸广岩体南部伸展构造与铀成矿关系的探索. 铀矿地质, 1994, 10(3): 138~143
- 11 Zhou Xinmin, Li Wuxian. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 2000, 326: 269~287
- 12 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造格架. 地质论评, 2002, 48(3): 249~260
- 13 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景. 中国科学, D 辑, 2002, 32(4): 279~289
- 14 邢光福, 杨祝良, 孙强辉, 等. 广东梅州早侏罗世层状基性-超基性岩体研究. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(3): 172~175
- 15 周新民, 李武显. 中国东南部晚中生代火成岩成因: 岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式. 自然科学进展, 2000, 10(3): 240~247
- 16 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 等. 中国东部的构造格局和动力演化. 见: 任纪舜, 杨巍然主编. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化. 北京: 原子能出版社, 1998. 1~12
- 17 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1988. 1~941
- 18 邓 平, 舒良树, 肖旦红. 中国东南部前中生代基底构造探讨. 高校地质学报, 2002, 8(2): 169~179
- 19 广东省地质矿产局. 广东省地质图, 1: 100 万, 分幅 4 幅. 北京: 地质出版社, 1988
- 20 李思田, 路凤香. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球化学动力学背景. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997
- 21 刘和甫, 梁慧社, 李晓清, 等. 中国东部中、新生代裂陷盆地与伸展山岭耦合机制. 地学前缘, 2000, 7: 477~486
- 22 李献华, 周汉文, 刘 颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学. 地球化学, 2001, 30(1): 57~65
- 23 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 赣南燕山早期双峰式火山岩的厘定和意义. 地质论评, 1999, 45(增刊): 734~741
- 24 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学, B 辑, 1995, 25(4): 418~426
- 25 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学, D 辑, 1998, 28(增刊): 7~14
- 26 Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geol Soc Spec Publ, London, 1989, 42: 313~345
- 27 McDonough W F, Sun S S. The composition of the earth. Chemical Geology, 1995, 120: 223~253
- 28 Condie K C. Plate Tectonics and Crustal Evolution. Oxford: Pergamon Press, 1989. 1~476
- 29 Faure M, Sun Yan, Shu Liangshu, et al. Wugong dome extensional tectonics, South China. Tectonophysics, 1996, 163(1-4): 77~106
- 30 舒良树, 孙 岩. 江南东段花岗岩天然变形与显微构造模拟实验研究. 中国科学, D 辑, 1995, 25(11): 1226~1232
- 31 孙 岩, 舒良树, 李本亮, 等. 浅层断裂韧滑流变的实验分析. 中国科学, D 辑, 2000, 30(5): 519~525
- 32 舒良树, 孙 岩, 王德滋, 等. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学, D 辑, 1998, 28(5): 431~438
- 33 Wang Dezi, Shu Liangshu, Faure M, et al. Mesozoic magmatism and granitic dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi Province and their genetical relationship to the tectonic events in Southeast China. Tectonophysics, 2001, 339: 259~277
- 34 Lin Wei, Faure M, Monie P, et al. Tectonics of SE China: New insights from the Lushan massif (Jiangxi Province). Tectonics, 2000, 19(5): 852~871
- 35 徐夕生, 邓 平, O'Reilly S Y, 等. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义. 科学通报, 2003, 48(12): 1328~1334
- 36 孙 岩, 舒良树, 朱文斌, 等. 中扬子区碰撞造山形变作用的三个演化阶段. 中国科学, D 辑, 2001, 31(6): 455~463