

华南燕山早期晚阶段两类花岗质岩体与成矿作用:以赣南—闽西南地区为例

赵希林 刘 凯 毛建仁 叶海敏

(南京地质矿产研究所,江苏 南京 210016)

提要:华南燕山早期晚阶段花岗岩(170~150 Ma)分布广泛,且与成矿关系密切。该时期的花岗岩具有两种不同的分布格局:在南岭东段地区以东西向分布,在武夷山地区呈北东向分布,这些花岗质岩石具有不同的地球化学特征。赣南地区出露的小岩株与钨锡成矿关系密切,具有钨锡找矿潜力,在地球化学特征上明显不同于同时代出露的大岩基。东西向展布的小岩株与同时代的大岩基可能是由时代相当于元古宙中等成熟度的陆壳富泥砂质变质沉积岩部分熔融形成,小岩株在岩浆演化过程中经历了流体相参与的高程度的分异作用,是岩浆演化到晚期阶段的产物;而北东向分布的岩体可能是由中元古代泥质变质沉积岩部分熔融所形成。该时期南岭及邻区大陆岩石圈以伸展背景为主,而整体上中国东南部大部分地区已处于东亚活动大陆边缘构造体制作用下,古太平洋板块朝东亚陆缘的北西向碰撞挤压作用已经显现。

关 键 词:燕山早期;岩浆作用;成矿;构造背景

中图分类号:P588.12⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)04-0871-16

1 前 言

华南中生代花岗质岩石出露广泛,已有研究资料表明,燕山早期花岗质岩浆活动的同位素年龄数据主要集中在 2 个阶段,即燕山早期早阶段(185~170 Ma)和燕山早期晚阶段(170~150 Ma)^[1]。其中华南燕山早期晚阶段花岗岩(170~150 Ma)主要出露于华南内陆,即赣、湘、粤和桂东北、闽西、浙西少部分地区(图 1-a),整体上呈 NE 向展布,延展上千千米,出露范围较广。

根据现有资料分析,华南燕山早期晚阶段(170~150 Ma)花岗岩具有以下典型的地质特征:

(1)具有两种不同的分布格局

该阶段花岗岩既不同于印支期的面式分布,也不同于燕山晚期单一的北东向分布,具有 2 种不同的分布形态:一种是在武夷山脉两侧地区呈北东向

展布;另一种在华南内陆的南岭山脉地区呈东西向展布(图 1-a),由此显示出从印支期特提斯构造域转换为燕山期太平洋构造域早期阶段的特点。在分布面积上,前者分布更为广泛。同时,在赣南和粤北河源地区出露的本时期花岗岩相互交切和重叠,暗示了该地区 170~150 Ma 总体处于东西向特提斯构造域和北东向太平洋构造域的交汇部位,这类花岗岩以广东的新丰江花岗岩和龙川罗浮花岗岩为代表,二者均具有双方向性,是燕山早期岩浆活动的特点^[2]。

(2)多分布于华南内陆,在沿海地区分布局限

该阶段花岗岩的分布比燕山晚期花岗岩更偏内陆一侧(图 1-a),其出露面积占华南所有花岗岩的 85%以上,花岗岩的高精度锆石 U-Pb 年龄主要集中在 155~170 Ma,比较有代表性的岩体包括花山—姑婆山^[4]、骑田岭^[5-6]、武平^[7]、佛冈—新丰江^[8]、大东山^[9]、白石冈^[10]、金鸡岭^[11]、才溪^[12]、紫金山^[13,14]、九曲(本文)、

收稿日期:2011-11-30;改回日期:2012-02-09

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212011085446、1212010611805、1212010911012、1212011120134)资助。

作者简介:赵希林,男,1980 年生,助理研究员,专业:矿物学、岩石学、矿床学;E-mail:zx124@126.com。

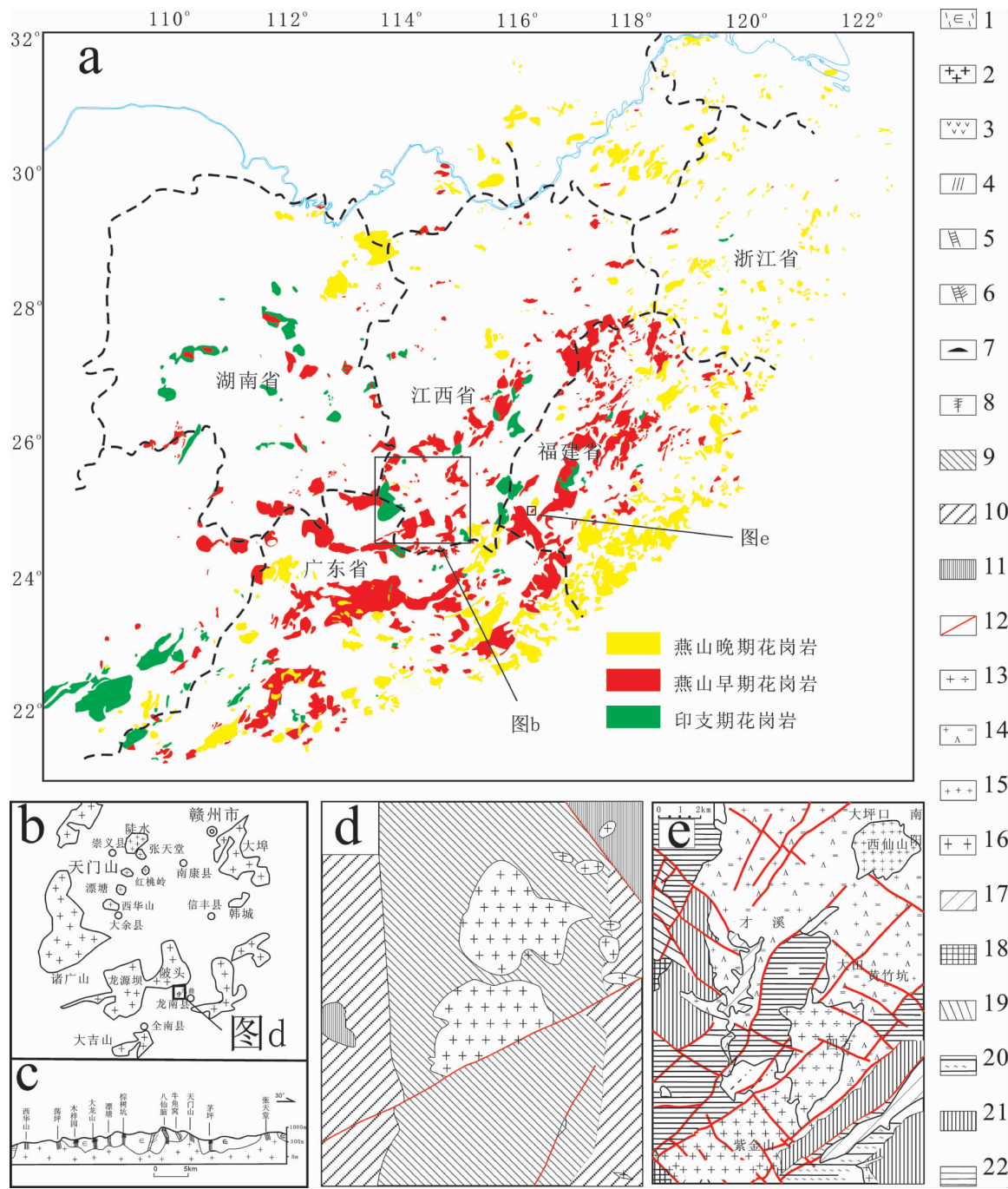


图 1 代表性岩体分布位置图及岩体地质图(据文献[13,16])

1—寒武系变砂岩;2—花岗岩;3—安山岩;4—石英大脉型矿床;5—石英细脉型矿床;6—破碎蚀变带型矿床;7—云英岩化岩体型矿床;8—隐伏矿体上的矿化标志;9—震旦系上部第二岩组;10—震旦系上部第一岩组;11—泥盆系上统三门滩组下段;12—断裂;13—花岗岩闪长岩;14—二长花岗岩;15—细粒花岗岩;16—黑云母花岗岩;17—第四系冲积层;18—下白垩统石帽山群杂砂岩;19—下二叠统文宾山组杂砂岩;20—下石炭统林地组石英砂岩;21—泥盆系上统粉砂岩;22—震旦系变质岩系

Fig.1 Distribution and geological map of representative plutons(after [13,16])

1- Cambrian metamorphic sandstone; 2-Granites; 3-Andesite; 4-Deposit of quartz big vein type; 5- Deposit of quartz thin vein type; 6-Deposit of shattered metasomatic belt type; 7- Deposit of greisenized intrusion type; 8- Mineralization marks over concealed granitoid intrusion; 9-Second formation of upper Sinian; 10-First formation of upper Sinian; 11-Lower Sanmentan Formation of upper Devonian; 12-Fault; 13-Granodiorite; 14-Monzogranite; 15-Fine-grained granite; 16-Biotite granite; 17-Quaternary alluvium; 18-Graywacke of lower Cretaceous Shimaoshan Group; 19-Graywacke of lower Permian Wenbisha Formation; 20-Quartz sandstone of lower Carboniferous Lindi Formation; 21- Upper Devonian siltstone; 22-Senian metamorphic rocks

天门山^[15]、张天堂^[16]等。

(3)地球化学特征上以 S 型花岗岩为主

岩石类型以黑云母二长花岗岩和黑云母花岗岩为主,伴有少量超酸性钾长花岗岩、二云母花岗岩和少量偏中性的花岗闪长岩等^[1]。地球化学特征显示,岩石富硅、铝,贫镁、钙,具有较高的(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i和较低的 ε_{Nd}(t)值,具有典型的 S 型花岗岩特点,晚期高分异的某些岩株显示出铝质 A 型花岗岩的地球化学特征,如张天堂岩体等^[16]。

(4)较少有同时期火山岩相伴生

相对华南燕山早期晚阶段(170~150 Ma)大面积分布的侵入岩,该时期火山岩出露范围局限。目前有与此时代相当的火山岩年龄数据报道,但尚缺少能够标出与上下层位确切关系的地质体。

(5)与钨锡成矿作用关系密切

该阶段广泛出露的 S 型花岗岩与成矿作用关系密切,尤其是晚期高分异的小岩株形成以钨、锡、钼等为主的有色金属矿床,其成矿时代主要集中在 153~139 Ma,与花岗岩的成岩时代普遍存在 10 Ma 左右的时间差^[15,17,18]。

虽然前人对华南燕山早期晚阶段(170~150 Ma)大面积分布的花岗岩进行了相当深入的研究,但是,具备何种地球化学性质的岩体才有可能成矿、成矿岩体与非成矿岩体的差异性表现为哪些方面等未见详细的报道。本文试图从地球化学入手,归纳总结赣南—闽西南地区与成矿作用有关的小岩体(包括赣南与钨锡成矿作用有关的张天堂岩体、天门山岩体、九曲岩体、闽西南地区与铜金成矿作用有关的紫金山岩体)的地球化学特征,并与同时代同地区的与成矿作用关系不密切的大岩基(包括佛冈岩体、大东

山岩体、白石冈岩体和武平岩体)的地球化学特征进行比较,分析成矿岩体与非成矿花岗岩的地球化学差异性,并通过其地球化学特征的异同,探讨燕山早期晚阶段赣南和闽西南地区所处的大地构造背景。

2 岩体地质学和岩石学特征

在南岭地区,特别是赣南—湘东南地区,花岗质小岩株分布比较广泛,这些花岗质小岩株与成矿关系比较密切,代表性岩体有骑田岭^[5-7]、天门山^[15]、张天堂^[16]、九曲岩体(SHRIMP U-Pb 年龄为 169±8 Ma)等;同时,笔者选取武夷山地区呈北东向展布的燕山早期晚阶段花岗岩紫金山岩体作对比^[14]。

张天堂岩体位于上犹县城南约 9 km 处,岩体呈北西方向延伸的圆形岩株状,面积 9 km²。岩体的四周为寒武系地层(图 1-b,c),岩体使泥盆系跳马涧组遭受蚀变,与变质砂岩接触形成角岩、斑点状板岩,围岩蚀变带宽度变化较大,主体为中细粒黑云母花岗岩,边缘相为约 5 m 宽的细粒似斑状黑云母花岗岩。

天门山岩与张天堂岩体同处于上犹县附近(图 1-b,c),面积约为 15 km²,呈东西长、南北短的纺锤状,呈复式岩体产出。天门山岩体侵入寒武纪浅变质砂岩地层中,主要岩性为中细粒黑云母花岗岩。岩体自变质作用显著,常见有钠长石化、云英岩化和白云母化。围绕岩体边缘热变质带发育,带宽一般为数百至千余米,主要为角岩化。

九曲岩体位于赣南龙南县附近,出露面积约 1 km²(图 1-d),呈 2 个小岩株形式出露,在地表不连续,资料显示其地下相连,南部小岩株被北东向断裂切割,断裂南东侧未见岩体分布。其岩体围岩为震旦系上部第二岩组,岩体相带不发育,岩体单一,岩性

表 1 几个代表性岩体的地质特征				
Table 1 Geological characteristics of four representative plutons				
	张天堂岩体	天门山岩体	九曲岩体	紫金山岩体
岩体形态	北西向岩株	近东西向小岩株	两个近圆形岩株	北东向岩株
围岩	寒武系变砂岩	寒武系变砂岩	下二叠统文宾山组杂砂岩	震旦系浅变质岩
岩石类型	中细粒似斑状黑云母花岗岩	中细粒黑云母花岗岩	中粒二云母花岗岩	中粗粒-中细粒似斑状花岗岩
矿物组合	斑晶为钾长石和石英;基质为钾长石、斜长石、石英、黑云母和少量白云母	石英、钾长石、斜长石、黑云母、白云母	石英、钾长石、斜长石、黑云母、白云母	钾长石、斜长石、石英、黑云母
副矿物	锆石、独居石、锡石、钛铁矿、磁铁矿、石榴石和磷灰石	锆石、独居石、石榴石、褐帘石、磷灰石、钛铁矿	锆石、独居石、石榴石、褐帘石、磷灰石	石榴石、绿帘石、黝帘石、锆石
同位素地质年代	(159±7) Ma	(167±5) Ma	(169±8) Ma	(168±4) Ma、(119±15) Ma
测试方法			Zircon SHRIMP U-Pb	
与成矿作用关系	与钨锡成矿密切	与钨锡成矿密切	已发现矿点	紫金山铜金矿床含矿母岩
年龄数据来源	[16]	[15]	本文	[13]

为中粒二云母花岗岩。

紫金山岩体位于福建省上杭县附近 (图 1-e), 呈 NE 走向的透镜状, 出露面积约 18 km²。岩体主要为碎裂似斑状中粗粒花岗岩、中细粒花岗岩和细粒花岗岩。紫金山花岗岩围岩蚀变十分强烈, 出露的各类岩石均已遭受强烈的热液蚀变作用, 原岩的矿物成分、化学成分和结构、构造均发生重大变化, 除原生石英外, 其他造岩矿物几乎被蚀变矿物所替代。

3 岩体地球化学特征

张天堂岩体、天门山岩体和九曲岩体样品总体特点是高硅富碱, 铝、钾含量高, 铁、镁、钛、磷含量低, 其各类分类命名图如图 2 所示^[14-16]。

紫金山岩体在主量元素特征上同上述三者略有不同, 依据岩石的 CIPW 标准矿物组成, 在 Q-A-P 岩浆岩分类命名图中投影于碱长花岗岩区域 (图 2-b), 与赣南 3 个岩株相比, 在同等 SiO₂ 含量情况下, 紫金山花岗岩富 MgO、K₂O, 贫 CaO、Na₂O (图 3)。

稀土元素特征上, 与紫金山岩体相比较, 赣南张天堂、天门山和九曲 3 个岩体属于重稀土富集型; 强 Eu 负异常, 张天堂岩体和天门山岩体稀土元素配分模式呈基本趋于水平的“V”字型 (图 4), 九曲岩体富集重稀土, 稀土元素配分模式呈略向左倾的“V”字型 (图 4), 表明岩浆经历了有流体参与强分异演化作用。

紫金山岩体的 ΣREE 较小, LREE/HREE 值低, (La/Yb)_N 值低, 属于轻稀土富集型, 且轻重稀土内部分留明显; 中等 Eu 负异常, 稀土元素配分模式呈向右倾的“V”字型 (图 4)。

微量元素总体特征上, 4 个岩体都富集 K、Rb、La、Ce、Yb、Y、Pb, 贫 Sr、Ba、Ti、P 含量。在微量元素蛛网图中, Sr、Ba、Nb、Ti、P 呈明显的“V”形谷 (图 8), 为典型的低 Ba-Sr 高 Y 花岗岩, V、Cr、Co 和 Ni 基性场元素强烈亏损, 充分显示岩体为壳源花岗岩, Zr、Ti、Nb、Ta 亏损而具有大陆边缘碰撞带花岗岩的地球化学特征^[19]。赣南 3 个岩体的 U、Th 含量显

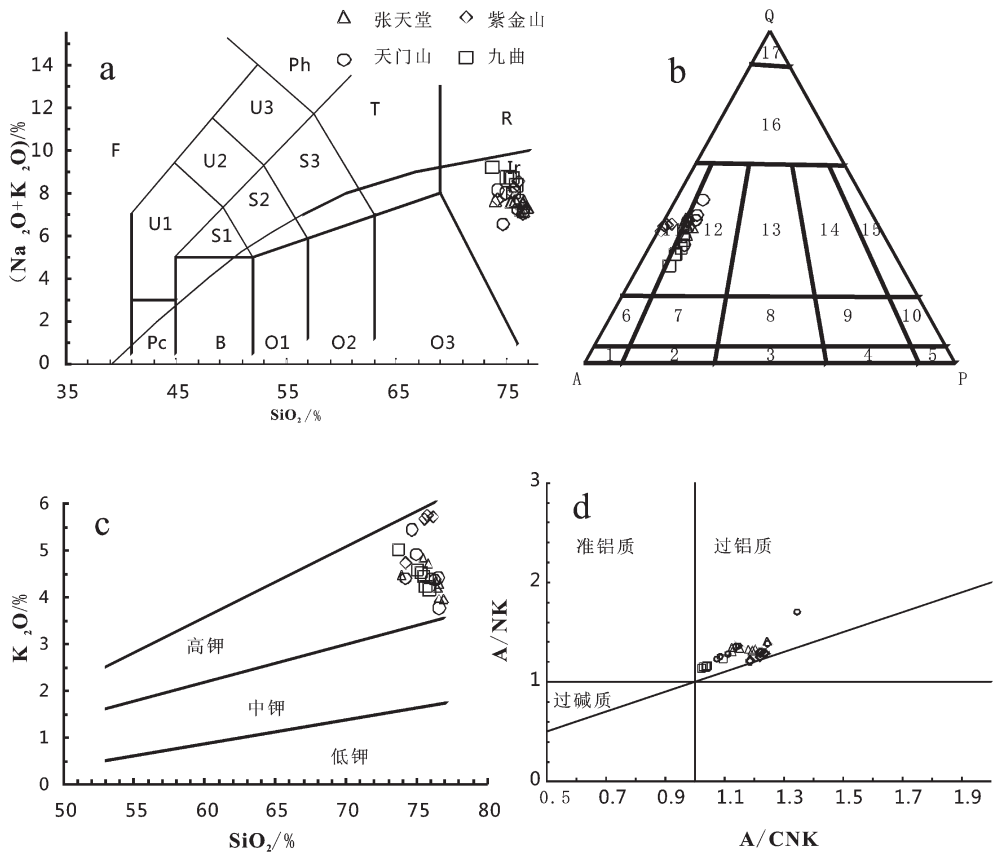


图 2 4 个代表性小岩体的地球化学判别图 (九曲岩体数据为笔者未发表数据, 其他数据来源于 [14-16])
Fig.2 Diagram of major elements in four representative small plutons (data of Jiuqu pluton after the authors (unpublished), other data after references [14-16])

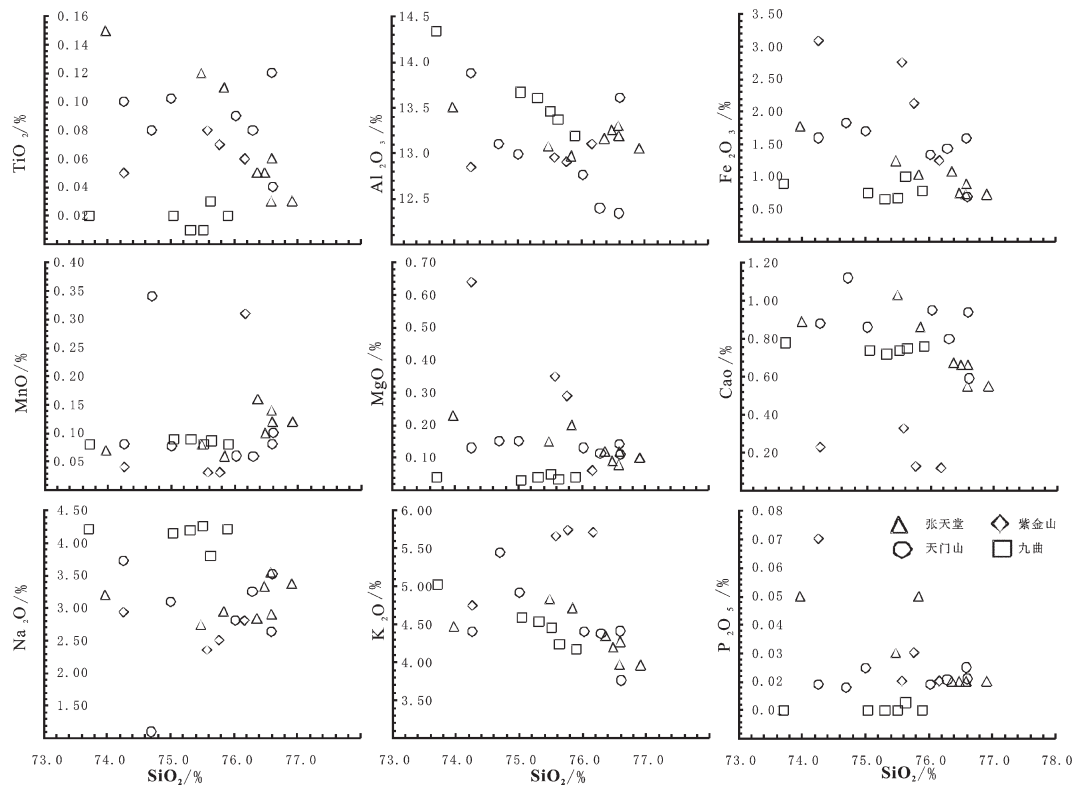


图 3 4 个代表性岩体主量元素的 Hark 图解(九曲岩体数据为作者未发表数据,其他数据来源于[14–16])
Fig.3 Hark diagram of major elements in four representative small plutons (data of Jiuku pluton after the authors (unpublished), other data after references[14–16])

著偏高,可归属为壳源高热花岗岩^[20]。Rb、Th、U、Nd、Sm、Hf 峰, Ba、Sr、P、Ti 谷,反映了高分异花岗岩的微量元素特征。

K/Rb 比值通常用来示踪岩浆演化的特征及流体参与程度^[22],岩浆岩的 K/Rb 平均值为 230,大多数地壳岩石的为 150~350。岩浆作用过程中在流体参与下,或矿物在含水流体相中生长,都可使 K/Rb 比值小于 100。赣南张天堂、天门山和九曲 3 个岩体的 K/Rb 平均值分别为 60.37、66.45 和 50.79,均小于 100,说明岩体在演化过程中在有挥发分流体参与下经历了强的分异作用和蚀变作用。闽西南紫金山岩体的 K/Rb 平均值为 231.5,挥发分流体参与分异的特征不明显。与紫金山岩体相比,赣南张天堂、天门山和九曲 3 个岩体与钨锡成矿关系密切,它们的 Rb 含量高,而 Sr 和 Ba 含量极低,表明经历了长石的分离结晶和富钠流体富集的分异作用,因此 Rb/Sr 和 Rb/Ba 比值通常是紫金山岩体的几倍至近十倍,尤其是分异作用最强的九曲岩体可达 50~60 倍。

4 个代表性岩体的地球化学特征总结于表 2。

为了讨论赣南 3 个小岩体与深部岩基分异演化

的关系,笔者选取邻区同时代的佛冈岩体、白石岗岩体、大东山岩体、武平岩体 4 个大岩基作对比研究,其中大东山岩体和武平岩体均为复式岩体,其主体形成时代与赣南 3 个小岩体相接近,补体形成时代较晚,数据来源于文献[8–11]。

佛冈岩体(主体花岗岩)、白石岗岩体、大东山岩体(包括主体和补体)、武平岩体(包括主体和补体)在主量元素特征上是硅含量高,总碱含量高,铝、钾含量高,铁、镁、钛、磷含量低。SiO₂ 含量变化范围较小,在 TAS 分类命名图上投影于花岗岩区域(图 5-a),在 QAP 岩浆岩分类命名图(图 5-b)中岩石多位于花岗岩区,武平岩体和大东山岩体补体落入碱长花岗岩区域; D.I 较低(多为 80~85),反映岩体经历了一定程度的分异演化作用;在 SiO₂-K₂O 图解中,投影于高钾钙碱性系列岩石区域(图 5-c);其 A/CNK 多大于 1 (部分大于 1.05),在 A/NK-A/CNK 图解(图 5-d)所有样品点都落在过铝质岩石区域。

佛冈岩体二长花岗岩和花岗闪长岩在主量元素特征上同略有不同,在 TAS 分类命名图上和 QAP 岩浆岩分类命名图中均投影于花岗闪长岩区域(图

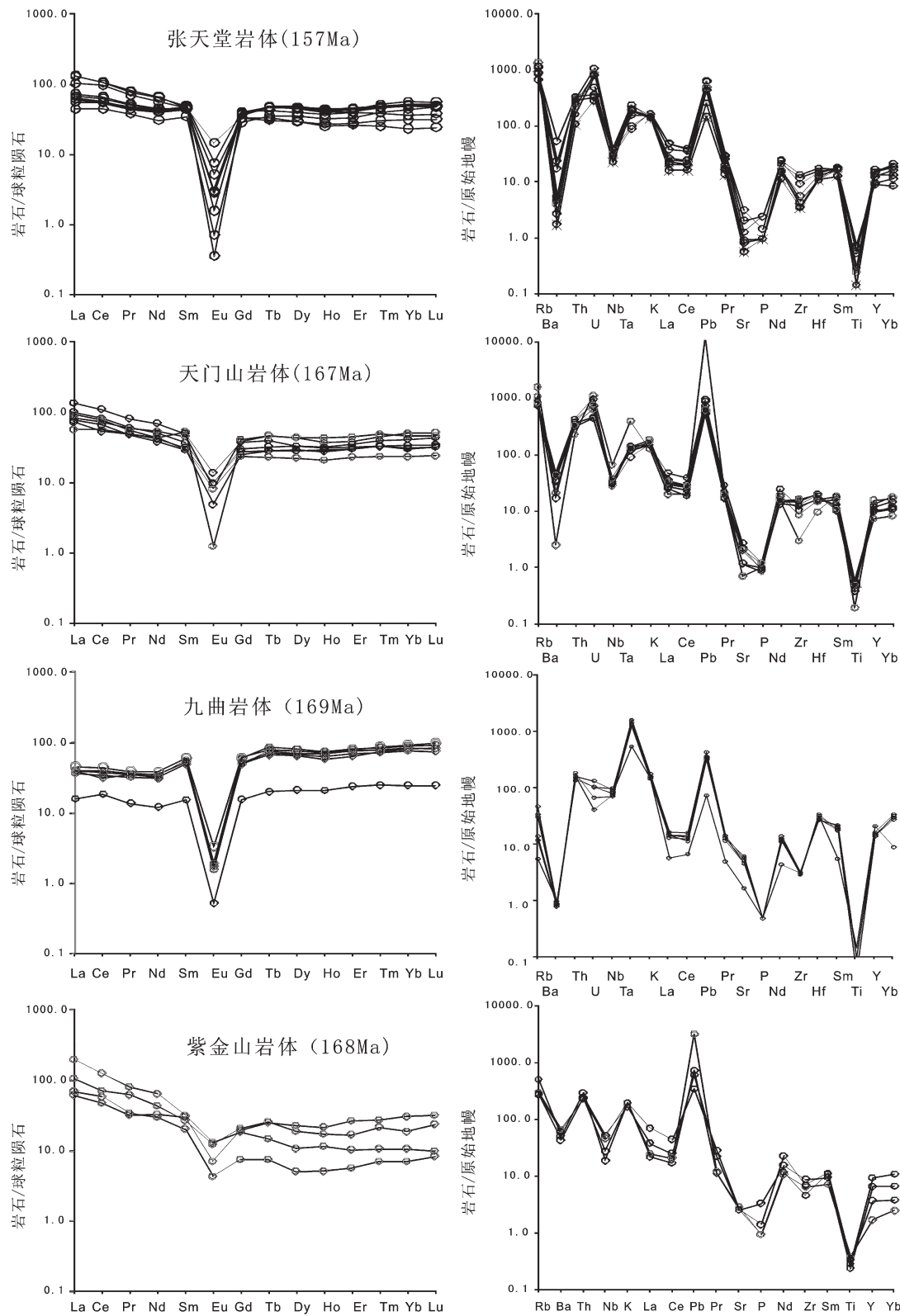


图 4 4 个代表性岩体稀土元素球粒陨石标准化图和微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化数据来源于文献[21],数据来源于文献[14-16])

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized spidergrams of 4 plutons (normalized values after [21], data after references [14-16])

表 2 4 个岩体地球化学指标(括号内为平均值)

均值	张天堂	天门山	九曲	紫金山
SiO ₂ /%	73.97~76.91(76.02)	74.26~76.61 (75.64)	73.71~75.90 (75.18)	74.26~76.17) 75.45
K ₂ O/%	3.96~4.83(4.34)	3.76~5.44 (4.53)	4.24~5.02 (4.50)	4.76~5.74) 5.46
Na ₂ O/%	2.75~3.55(3.11)	1.1~3.72 (2.88)	3.8~4.26 (4.14)	2.35~2.94 (2.65)
K ₂ O/Na ₂ O	1.12~1.76(1.41)	1.07~4.95 (1.91)	0.99~1.19 (1.09)	1.61~2.41 (2.09)
A/CNK	1.13~1.25(1.18)	1.07~1.35 (1.16)	1.02~1.10 (1.04)	1.19~1.24 (1.22)
DI	93.12~96.22(94.87)	91.72~96.02(93.67)	95.04~95.57(95.30)	94.32~97.72(95.81)
C(刚玉分子)	1.54~2.68(2.13)	0.92~2.75(1.86)	0.30~1.22(0.59)	2.14~2.65(2.40)
QAP 图解		花岗岩区域		碱长花岗岩
TAS 图解			花岗岩区域	
K ₂ O-SiO ₂ 图			高钾钙碱性系列岩石	
A/NK~A/CNK 图解			过铝质岩石	
ΣREE/×10 ⁶	95.25~176.06 (139.81)	107.2~180.41 (133.17)	43.88~140.67(112.26)	78.91~178.02 (116.38)
ΣLREE/ΣHREE	1.83~5.09 (2.94)	2.03~4.72 (3.34)	0.77~1.22 (0.95)	2.94~14.14 (8.73)
(La/Yb) _N	0.95~4.19 (2.17)	1.06~4.13 (2.49)	0.42~0.60 (0.48)	1.90~17.36 (8.50)
(La/Sm) _N	1.13~2.83 (1.79)	1.04~3.0 (2.29)	0.7~1.01 (0.78)	1.98~6.08 (3.83)
(Gd/Yb) _N	0.63~1.39 (0.88)	0.71~1.19 (0.87)	0.57~0.66 (0.62)	0.62~1.69 (1.11)
Eu*	0.01~0.37 (0.11)	0.03~0.33 (0.23)	0.03~0.05 (0.04)	0.29~0.54 (0.43)
稀土元素配分图解		水平的“V”字型	稍向左倾“V”字型	右倾的“V”字型
微量元素特征		富集K、Rb、La、Ce、Yb、Y，贫Sr、Ba、Ti、P、Eu		富K、Rb Th，贫Sr、Ba、Ti、P、Zr、Gd
K/Rb	43.6~92.4(60.37)	45.1~78.6(66.45)	50.7~54.7 (50.79)	152.4~277.0(231.5)
Rb/Sr	8.3~61.2(35.97)	8.8~48.1 (20.05)	33.2~831.9(198.77)	3.1~5.9 (3.84)
Rb/Ba	1.4~59.3(29.77)	1.5~40.2(10.39)	4.1~65.6(36.74)	0.4~0.9 (0.57)
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	0.717118~0.713929(0.715524)	0.709437~0.712775(0.711106)	0.710462	0.708193~0.710913(0.709553)
ε _{Nd} (t)	-9.19~-10.90 (-10.31)	-8.89~-9.58 (-9.24)	-6.88~-10.12(-9.36)	-8.01~-9.35 (-8.68)
T _{DM} (Ga)	1.79~1.93 (1.88)	1.77~1.83 (1.80)	1.62~1.87 (1.81)	1.71~1.81 (1.76)
岩石成因类型			壳源S型花岗岩	

注:张天堂、天门山、紫金山数据来源于文献[14-16],其他为本文测试。

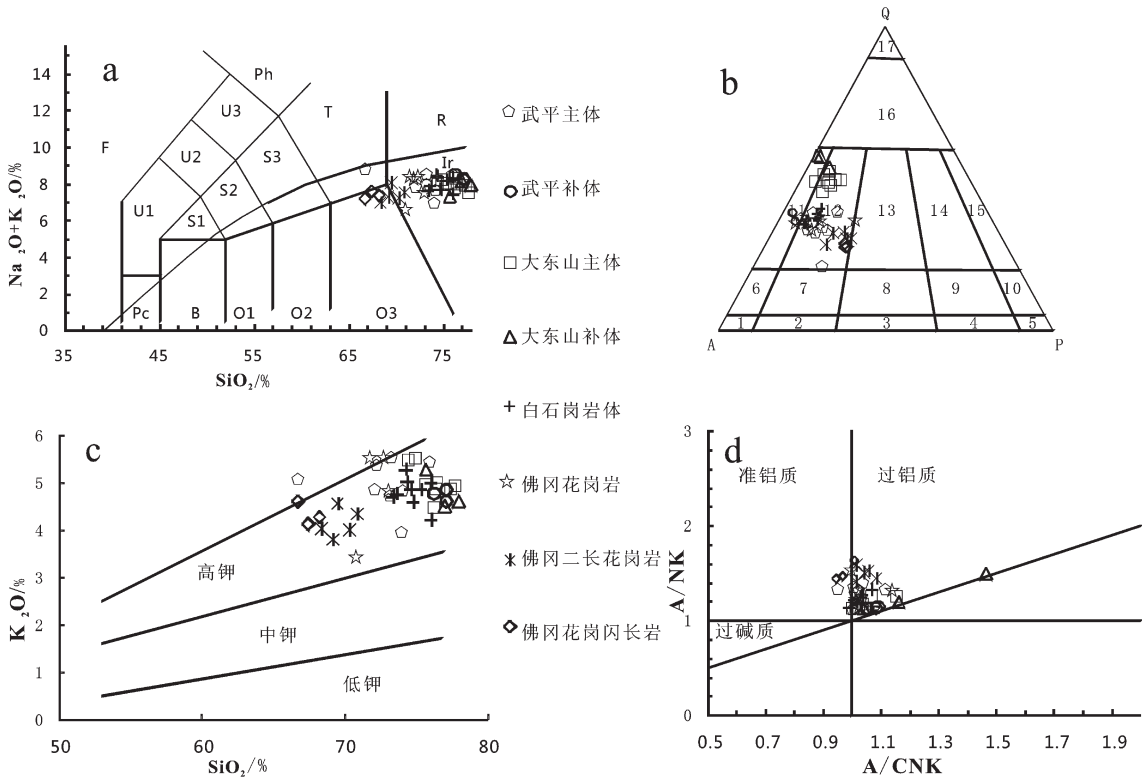


图 5 4 个代表性大岩基地球化学图解^[7-10]

Fig.5 Diagram of major elements of four batholiths (data after references^{[7-10])}

5-b),其 A/CNK 值较小,属于高钾钙碱性准铝质-弱过铝质岩石。

稀土元素特征上,佛冈岩体、白石岗岩体、武平岩体(主体)和大东山岩体(主体)均具有相似的特征,相对于晚期补体而言具有较高的 Σ REE 含量, LREE/HREE 值高, (La/Yb)_N 值高,属于轻稀土富集型;具有弱的 Eu 负异常,稀土元素配分模式呈向右倾的“V”字型(图 6),与紫金山花岗岩相类似。

武平岩体(补体)和大东山岩体(补体)的 Σ REE 较小, LREE/HREE 值低, (La/Yb)_N 值低,属于重稀土富集型,且轻重稀土内部分异不明显,具有强的 Eu 负异常,稀土元素配分模式呈水平的“V”字型(图 6)。

微量元素特征上,晚期形成的岩体补体比主体更富集 K、Rb、La、Ce、Yb、Y、Th、U、Ta、Nd、Sm、Hf, 贫 Sr、Ba、V、Cr、Co、Ni、Ti、P、Eu,反映岩体补体为高分异花岗岩特征。

同位素特征上,4 个大岩基无论是主体还是岩体补体,其同位素特征同前面所论述的小岩株无明显差别。

佛冈岩体、白石岗岩体、武平岩体和大东山岩体主体的地球化学特征同紫金山岩体相类似,而武平岩体和大东山岩体的补体在地球化学特征上同九曲岩体、张天堂岩体、天门山岩体十分相似(表 3)。

4 讨论

4.1 花岗质小岩株的含矿性分析

赣南地区钨矿成矿条件优越,已知许多著名的钨矿床与燕山早期晚阶段花岗质岩浆作用关系密切,与成矿作用有关的花岗质岩体的形成时代多介于 175~150 Ma,大吉山钨矿黑云母 K-Ar 年龄为 (160.3±3.03) Ma 和 (164.2±3.5) Ma^[23],大吉山岩体成岩时代为 (151.7±1.6) Ma,漂塘钨矿岩体成岩时代为 (161.8±1) Ma^[24]。

与赣南著名含钨花岗岩的大吉山岩体和漂塘岩体相比,张天堂、天门山和九曲岩体的主量元素上与它们非常相似(表 3),目前已在张天堂和天门山岩体附近发现并勘探获得了中型钨矿床;分异作用最强的九曲岩体具高的 SiO₂ 含量(>75%)、富碱(K₂O+Na₂O 大于 7%)和过铝质(A/CNK 平均为 1.04);与含钨花岗岩具有相似的稀土配分模式,且具有强烈的 Eu 负异常;大吉山、漂塘、张天堂和天门山岩体

有很高的 Rb(401.67×10⁻⁶~1487.55×10⁻⁶)、Cs(20×10⁻⁶~82×10⁻⁶)、Nb(15×10⁻⁶~81×10⁻⁶)、Ta(3×10⁻⁶~151×10⁻⁶)和低的 REE 含量,而九曲岩体中 Rb、Cs、Nb、Ta 含量分别为 737.93×10⁻⁶、56.36×10⁻⁶、32.57×10⁻⁶、8.75×10⁻⁶;同时,含钨矿花岗岩的钼含量一般都大于 2×10⁻⁶^[25],九曲岩体中的钼含量平均值为 11.2×10⁻⁶。由此可见,九曲岩体在地质地球化学特征上与前述含钨花岗岩相似,在其附近形成钨矿的潜力很大。

因此,根据前人资料^[24,26]以及赣南张天堂、天门山和九曲岩体的资料,笔者总结出了含钨花岗岩的一般特征:成矿岩体多为高位侵入体,岩石类型以黑云母花岗岩-二云母花岗岩-白云母花岗岩为主,蚀变以云英岩化为主,钠长石化次之或缺失,钨矿体主要分布在花岗岩体外接触带上,岩浆活动期次数相对较少,岩石组合简单^[27]。成矿岩体通常富硅(SiO₂ 一般都在 72%以上)、富碱(K₂O+Na₂O 大于 7%)、铝过饱和(A/CNK 大于 1.0)、高演化程度(DI 大于 90)等;富集大离子亲石元素及高场强元素;稀土元素配分显示接近于水平的“V”字型,具有强烈的 Eu 负异常等。

漂塘钨矿锡矿化明显,其锡钼银矿也具有一定工业意义。张天堂岩体、天门山岩体和九曲岩体都具有很低的 K/Rb、Nb/Ta、Zr/Hf、Th/U 和 Eu/Eu* 比值,在 SiO₂/10-(CaO+MgO)-(Na₂O+K₂O)和(FeO+MgO)-CaO-(Na₂O+K₂O)三角投影图中,张天堂、天门山和九曲岩体样品数据落在世界含锡花岗岩的区域内(图 7-a、b)。

赣南张天堂、天门山和九曲岩体岩石样品的 SiO₂>75%,SiO₂/TiO₂ 较大(平均值为 2232), (Na₂O+K₂O)/TiO₂ 大于 242, SiO₂/(MgO+CaO)均值大于 88,与漂塘花岗岩和木梓园花岗岩的一些特征相吻合。含锡花岗岩基本的特征是锡含量大于 15×10⁻⁶^[30],而张天堂、天门山岩体和九曲岩体的锡含量平均值均大于 43.46×10⁻⁶,最高可达 79.153×10⁻⁶。同时,含锡花岗岩与锡矿成因密切相关,例如世界重要的锡矿马来西亚的 Bu jangMelaka 岩体中的含锡花岗岩(约 27×10⁻⁶)^[31],中国华南锡成矿区(包括广西、广东、湖南、江西等地)花岗岩中的平均锡含量约 32×10⁻⁶^[30]。含锡花岗岩的稀土总量变化很大,但它们普遍具有轻重稀土分异弱和钨亏损强烈的特征^[32],张天堂、天门山和九曲岩体花岗岩的(La/Yb)_N 平均为 1.79; Eu* 变化于 0.01~0.38,平均 0.13,相似于含锡花岗岩;同

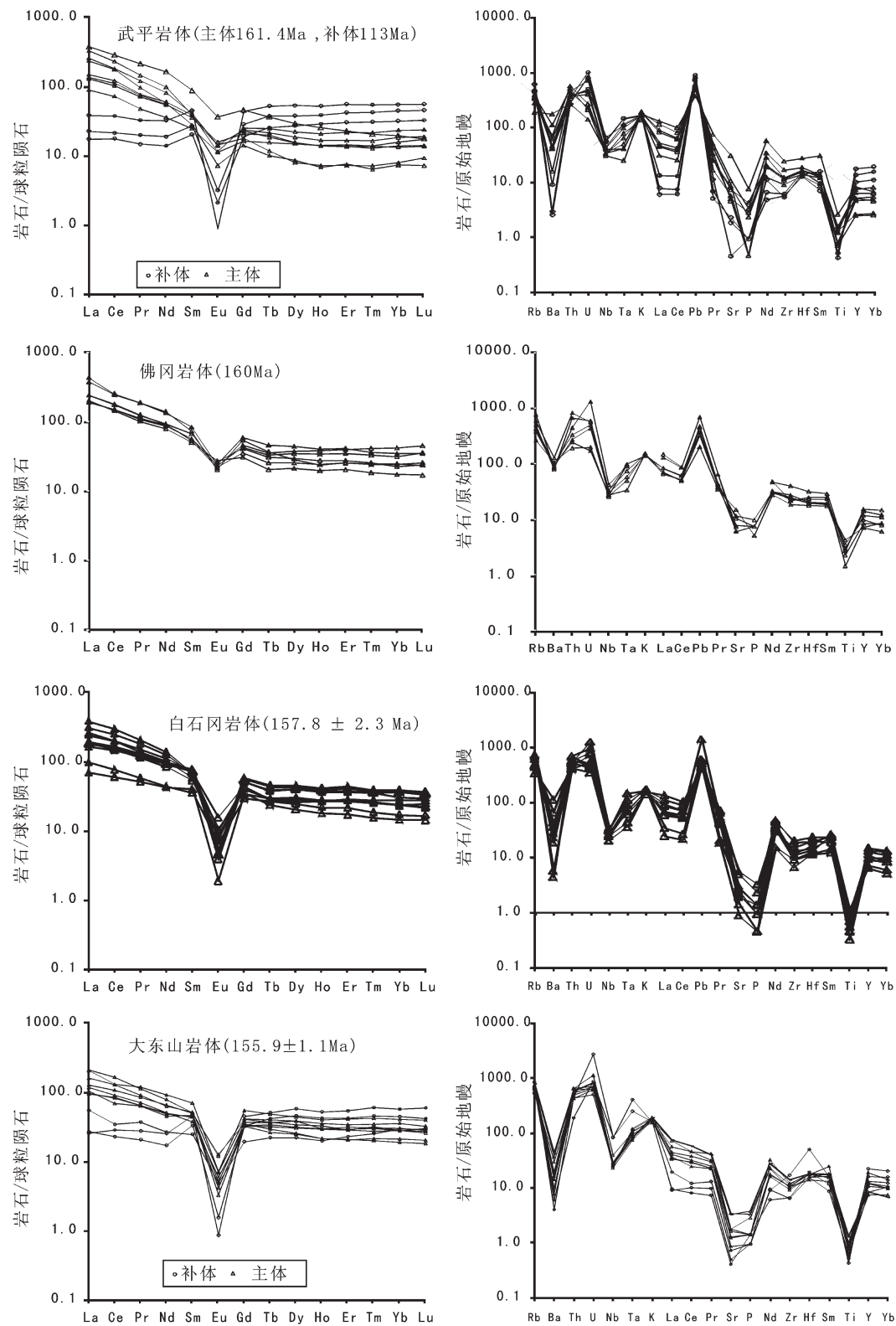


图 6 4 个大岩基稀土元素球粒陨石标准化图和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (标准化数据来源于文献[21],数据来源于文献[7~10])

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized spidergrams of four batholiths (normalized values after [21], data after references [7~10])

表 3 赣南 3 个小岩株和紫金山岩体等 5 个岩基及其补体地球化学特征对比(平均值)
Table 3 Geochemical characteristics of three small stocks in southern Jiangxi and Zijinshan rock body and other four batholiths as well as their supplementary bodies

均值	张天堂、天门山、九曲岩体和武平、大东山补体	紫金山岩体和 4 个岩基的主体
SiO ₂ /%	75.93	73.28
K ₂ O/%	4.52	4.83
Na ₂ O/%	3.32	3.04
K ₂ O/Na ₂ O	1.28	1.57
A/CNK	1.14	1.04
DI	95.15	89.59
C(刚玉分子)	1.60	0.79
QAP 图解	花岗岩	碱长花岗岩、碱长花岗岩-花岗岩
TAS 图解	花岗岩区域	花岗岩区域
K ₂ O-SiO ₂ 图		高钾钙碱性系列岩石
A/NK-A/CNK 图	过铝质	过铝质-弱过铝质
ΣREE/×10 ⁻⁶	118.12	206.57
ΣLREE/ΣHREE	2.22	8.57
(La/Yb) _N	1.56	8.87
Eu*	0.12	0.32
稀土元素配分图	近水平的“V”型	向右倾的“V”型
微量元素特征	K/Rb 比值<100, Rb/Sr 和 Sr/Ba 比值高	K/Rb 比值>100, Rb/Sr 和 Sr/Ba 比值低
分异和定位特征	有流体参与的强分异高位侵入	弱分异深部定位

注:数据据文献[7-10,14-16]。

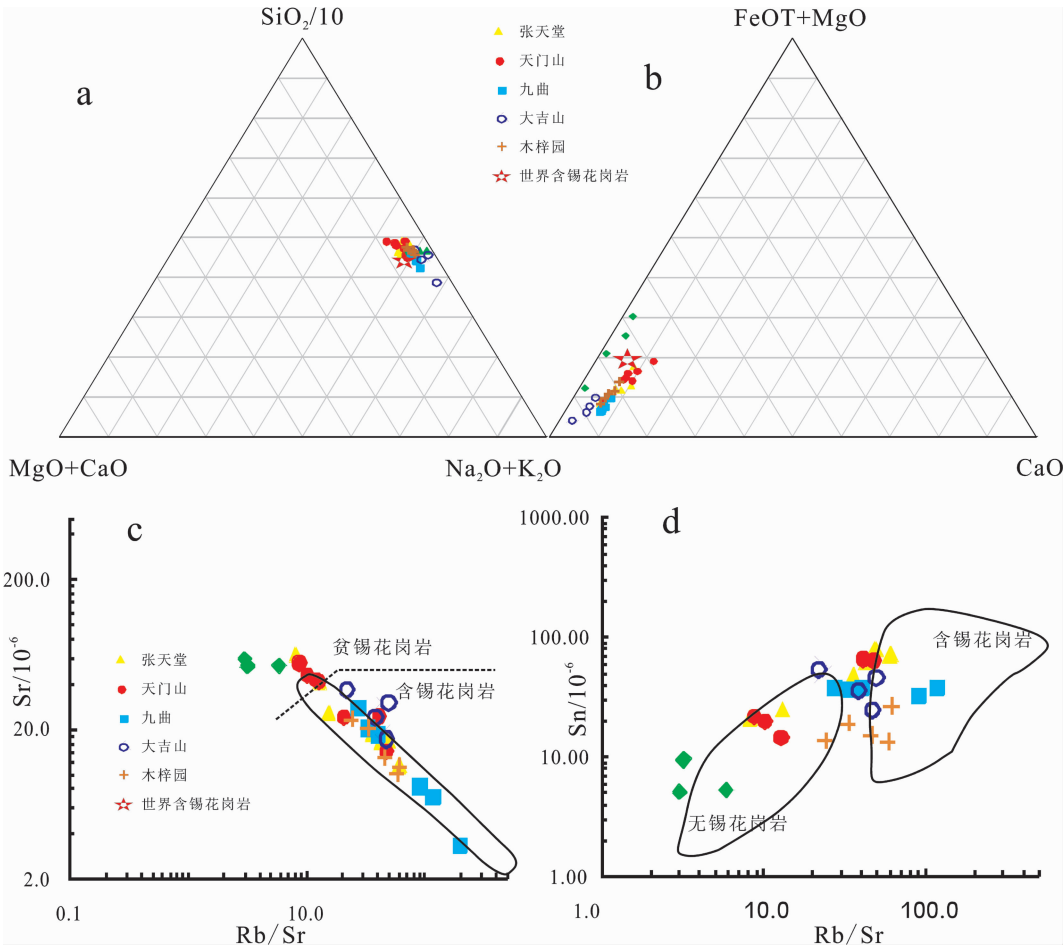


图 7 几个代表性岩体与世界含锡花岗岩地球化学指标对比图
(数据来源于文献[14-16],世界含 Sn 花岗岩数据来自文献[28],图 c、d 据文献[29])

Fig.7 Comparison of geochemical indicators between some representative plutons and Sn-bearing granites in the world (data after references[14~16], data of Sn-bearing granites of the world after[28], Fig. 7-c and Fig. 7-d after[29])

时在Sr-Rb/Sr 及 Sn-Rb/Sr 对比图上,除九曲和天门岩体几个样品的锡含量稍低外,其余几个代表性岩体的投影与含锡花岗岩区域相近,这些特征表明与张天堂、天门山和九曲花岗岩体可能伴生有锡矿床。

4.2 源区特征

燕山早期晚阶段形成的武平(主体)、大东山(主体)、佛冈和白石岗等大岩基均具有较高的 CaO/Na₂O 比值及较低的 Al₂O₃/TiO₂ 比值,在 Al₂O₃/TiO₂-CaO/Na₂O 图上投影于富砂屑质岩区(图 8-b),成岩过程中有少量幔源组分加入,而它们的补体岩石由于岩浆分异作用致使岩石富 Na₂O 贫 CaO,在 Al₂O₃/TiO₂ 值变化不大的情况下,CaO/Na₂O 值增加,大部分投影位于富泥质源区。而张天堂、天门山和九曲 3 个小岩株的特点类似于补体岩石,岩浆分异演化导致 CaO/Na₂O 增加而位于了富泥质源

区(图 8-a),据此可以推断,张天堂、天门山和九曲 3 个小岩株的源岩是泥砂质变质沉积岩。

赣南张天堂、天门山和九曲 3 个岩体的 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 值变化在 0.709437~0.717118,平均为 0.712744; ε_{Nd}(t) 为 -6.88~-10.86,平均为 -9.60, T_{2DM} 为 1.62~1.93 Ga,平均为 1.83 Ga,与澳大利亚东南部 Lachlan 褶皱带 S 型花岗岩 (ε_{Nd}(t)=-6.1~-9.8)^[33] 及广东弱过铝花岗岩体^[34],具有类似的 Sr、Nd 同位素组成,表明它们的源区为较老的壳源物质部分熔融形成。3 个岩体所有样品的投影点在 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i - ε_{Nd}(t) 图解中(图 9-a)均落在华南 S 型花岗岩区^[35],显示它们为壳源成因的花岗岩。在 ε_{Nd}(t)-t 图解上(图 9-b)都位于南岭及其邻区前寒武基底演化域中部,具有古老的 Nd 模式年龄, T_{2DM} 较高,表明该花岗岩可能是前寒武纪(古元古代)中等成熟度的基底岩石部分熔

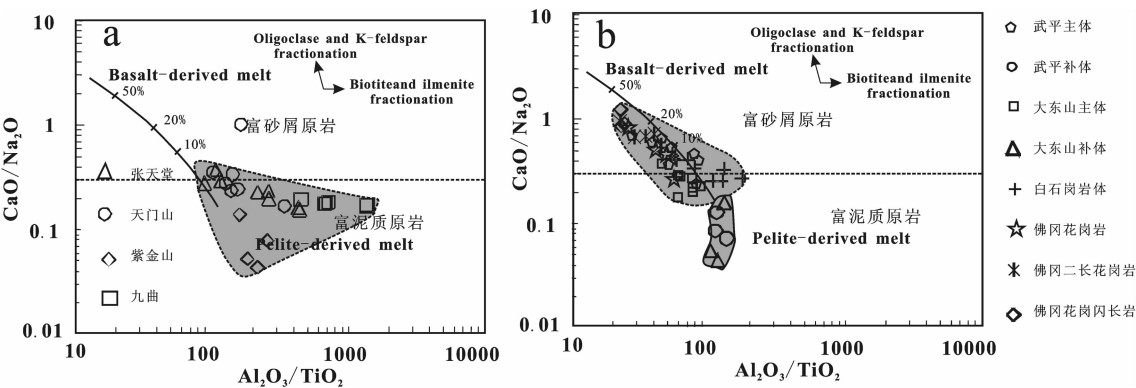


图 8 4 个小岩株 Al₂O₃/TiO₂~CaO/Na₂O 图解(a)和 4 个大岩基 Al₂O₃/TiO₂~CaO/Na₂O 图解(b)
(数据来源于文献[7~10,14~16],底图据文献[38])
Fig.8 Al₂O₃/TiO₂~CaO/Na₂O diagram of four stocks and Al₂O₃/TiO₂~CaO/Na₂O diagram of four batholiths(b)
(data after references[7~10,14~16], base map after [38])

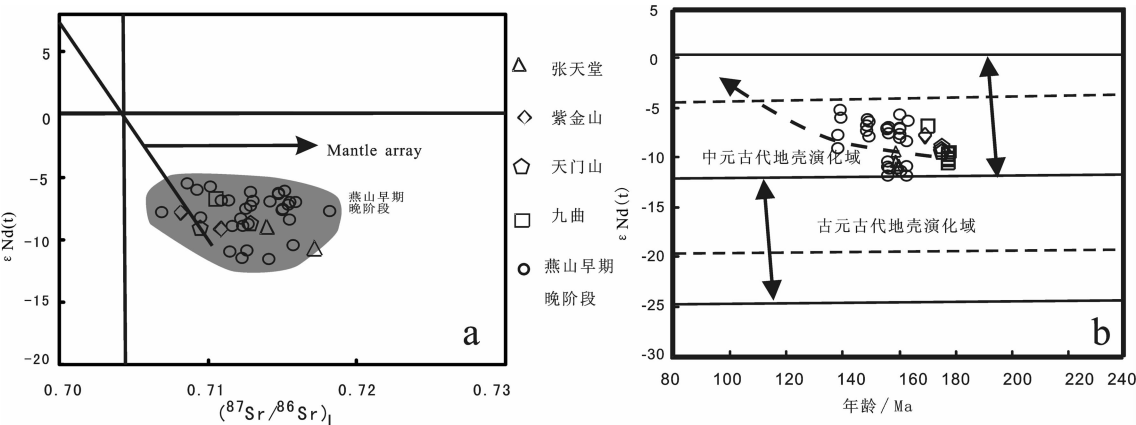


图 9 花岗岩 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i - ε_{Nd}(t)图解(A)和花岗岩 t - ε_{Nd}(t)图解(B)
(元古宙基底演化域据文献[35](九曲和紫金山岩体数据为作者未发表数据,其他数据引自文献[7~10,15~16])
Fig.9 ε_{Nd}(t)~(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i diagram(A)and ε_{Nd}(t)-t diagram (B)of granites(B)(base map after[35], data of
Jiuqu and Zijinshan plutons after the authors (unpublished), other data after references[7~10,15~16])

融形成的,这与岩体的过铝属性和 Ti 的亏损所表征的岩浆壳源性性质相一致。与张天堂岩体有密切成因联系的摇篮寨钨矿中辉钼矿的 Re 含量变化于 $29.67\times10^{-9}\sim78.95\times10^{-9}$,成矿物质主要来自地壳^[36]。因此,从物质来源上讲,张天堂岩体、天门山岩体和九曲岩体与区内广泛分布的燕山早期晚阶段花岗岩(170~150 Ma)差别不大,可能是由时代相当于元古宙、中等成熟度的陆壳富泥砂质变质沉积岩部分熔融形成的,但是岩浆演化过程中经历了有流体参与的高程度的分异作用,是岩浆演化到晚期阶段的产物。

紫金山岩体在微量元素及稀土元素特征上类似于同时代形成的大岩基,但亦有一定的特殊性。紫金山岩体具有较低的 CaO 含量,其 CaO/Na₂O 比值低,在 Al₂O₃/TiO₂-CaO/Na₂O 图上投影于富泥质岩区(图 8-a)。紫金山岩体 Sr、Rb 的含量与华南典型的壳源花岗岩较为接近,Sr 元素的含量为 $52\times10^{-6}\sim59\times10^{-6}$ (华南典型的壳源型花岗岩的为 15×10^{-6} ~

161×10^{-6}),Rb 的含量为 $167\times10^{-6}\sim311\times10^{-6}$ (华南典型壳源花岗岩为 327×10^{-6});紫金山花岗岩的 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 为 0.708192~0.710912、ε_{Nd}(t) 值为 -9.6~-10.16、T_{DM} 为 1.61~1.72 Ga,表现了 S 型花岗岩的特征^[13];在 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i-ε_{Nd}(t) 图上(图 9-a),投影于地幔延长线上,在 t-ε_{Nd}(t) 图解上投影于中元古代地壳演化域内(图 9-b);在 CMF-AMF 图上落入变泥质岩部分熔融区^[35,37]。据此,结合紫金山黑云母花岗岩的地球化学特征、同位素特征以及区域地质特征,推测紫金山花岗岩可能是由中元古代泥质变质沉积岩部分熔融所形成的。

4.3 构造环境

在 Pearce(1984)^[19]提出的花岗岩构造环境判别图上,研究区张天堂、天门山、九曲岩体的岩石样品投影于板内花岗岩和板内花岗岩-同碰撞花岗岩区域,与同区域形成的大岩基(如大东山、白石岗及佛岗等)落入同一区域,而紫金山岩体投影于火山弧-同碰撞花岗岩区域(与同区域的武平岩体相同)(图 10)。

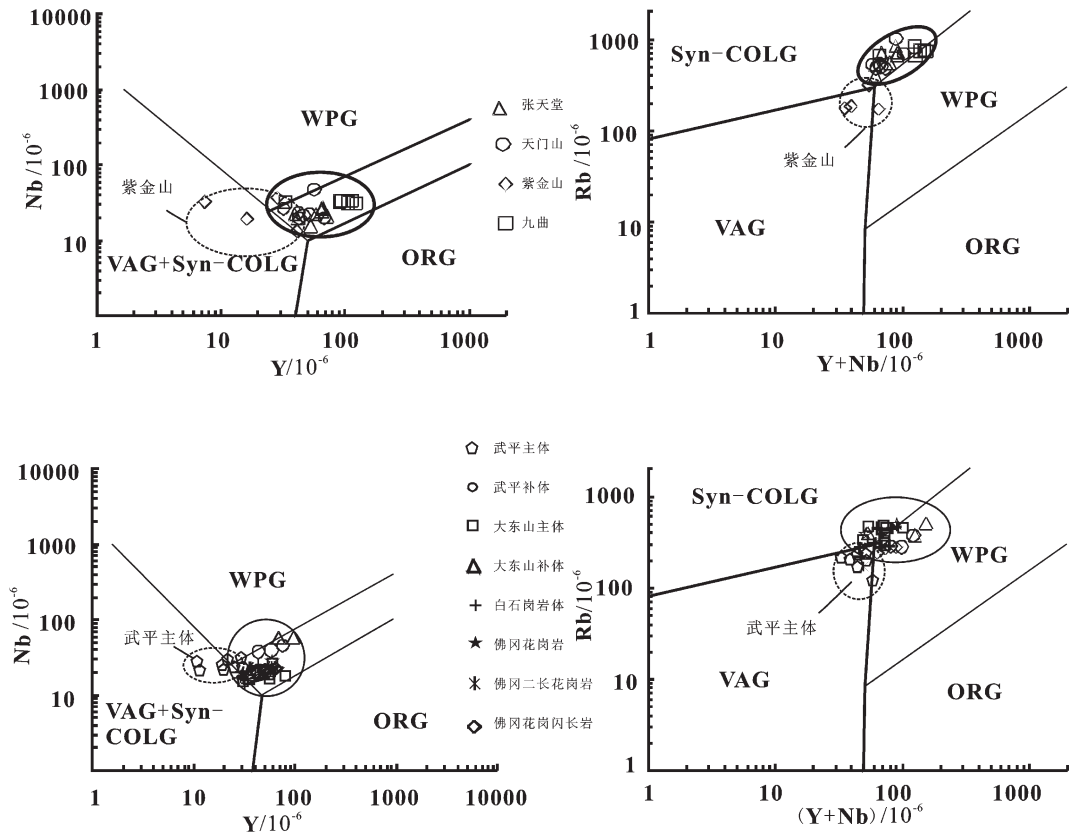


图 10 代表性岩体 Y-Nb、(Y+Nb)-Rb 构造环境判别图(据文献[7-10,14-16,19])
VAG—火山弧花岗岩类;ORG—洋脊花岗岩类;WPG—板内花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩类
Fig.10 Y-Nb and (Y+Nb)-Rb diagrams (after [7-10,14-16,19])
VAG-Volcanic arc granites;ORG-Ocean ridge granites;WPG-Intraplate granites;Syn-COLG-syntectonic collision granites

这些燕山早期晚阶段花岗岩(170~150 Ma)与钨、锡、钼等多金属和稀土矿床有着十分密切的成因联系^[1,39-43],通常认为它们是在挤压条件下形成的准铝质或过铝质S型花岗岩类。

近年来,随着研究程度的加深和同位素测年技术的发展,在南岭地区同时代铝质A型花岗岩不断被发现,如粤北南昆山岩体(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 158 Ma)^[44]和西山铝质A型花岗岩(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 156 Ma)^[45];赣南寨背A型花岗岩(Rb-Sr 等时线年龄为(176±10)Ma)^[46]、赣南全南县正长岩(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(164.6±2.8) Ma)和湘南道县地区很小规模的“高镁玄武岩”^[47];以及酸性火山岩,如赣南寻邬白面石菖蒲组流纹岩(Rb-Sr 等时线年龄为(165.1±7.07)Ma)^[48]、赣南寻邬留车鸡笼嶂组流纹岩(锆石 SHRIP 年龄为(161±3.5)Ma)^①。因此,有研究者对该阶段形成的准铝质或过铝质S型花岗岩类的成因类型和形成的构造背景提出了不同看法,如华仁民等^[49]提出燕山中期南岭地区岩石圈全面拉张—减薄,地幔上涌—玄武质岩浆底侵引发大规模陆壳重熔花岗岩的生成;汪洋^[50]认为南岭侏罗纪花岗质岩浆活动可能与后碰撞造山阶段岩石圈地幔拆沉或被“热侵蚀”有关,但并不一定意味着岩石圈伸展的大地构造环境;李献华等^[44]指出该时期黑云母二长花岗岩和黑云母钾长花岗岩属于分异I型花岗岩,时空上与小规模A型花岗岩、酸性和基性火山/侵入岩以及碱性岩密切共生,构成典型的板内非造山型火成岩组合,反映该时期南岭及邻区大陆岩石圈以伸展背景为主。笔者认为这些小规模A型花岗岩、酸性和基性火山/侵入岩以及碱性岩的幔源岩浆活动与华南广泛分布的S型花岗岩类从体积上来讲微不足道,但是意义较大,表明该时期在南岭东段的湘东南—赣南—闽西南地区出现了局部近东西向的伸展—拉张构造环境,推测赣南张天堂、天门山和九曲3个岩体是在这种伸展构造背景下经历了流体参与强分异作用所形成。

同时,该阶段中国东南部燕山运动的挤压也达到了高峰,岩体快速隆升,遭到风化剥蚀,中国东南部大片地区普遍缺失中侏罗统(175~161 Ma)地层(早白垩世火山岩地层不整合于中侏罗—早侏罗世

地层之上);在闽北地区存在普遍而强烈的逆掩推覆构造,加里东期岭兜岩体(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(399±5.0) Ma)作为逆掩推覆体推覆到煤系地层之上;在闽北隆起区的东部外侧出现一系列近北东向分布的变质岩飞来体,且边缘具有一系列连续的弧形推覆构造,老变质岩推覆于晚三叠世和早—中侏罗世地层之上,而被晚侏罗世南园组不整合覆盖,这表明在晚侏罗世东南沿海大规模火山喷发活动之前(中侏罗世前后)曾发生过一次规模巨大的推覆事件,古太平洋板块向中国东南大陆的挤压作用已开始。在该阶段,整体上中国东南部大部分地区已处于东亚活动大陆边缘构造体制,古太平洋板块朝东亚陆缘的北西向碰撞挤压^[51],使得东亚陆缘中的断裂和花岗岩多成北东向展布(如紫金山岩体、武平岩体等),同时也可能造成东西向南岭造山带的局部伸展。

参考文献(References):

- [1] 毛建仁,高桥浩,厉子龙,等.中国东南部与日本中生代构造—岩浆作用对比研究[J].地质通报,2008,28(7):28-40.
Mao Jianren, Yutaka Takahashi, Li Zilong, et al. Correlation of Meso-Cenozoic tectono-magmatism between SE China and Japan [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28 (7):28-40 (in Chinese with English abstract).
- [2] Sewell R J, Chan L S, Fletcher C J N, et al. Isotope zonation in basement crustal blocks of southeastern China: evidence for multiple terrane amalgamation[J]. Episodes, 2000, 23(4):257-261.
- [3] 孙涛,周新民,陈培荣,等.南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J].中国科学(D辑),2003,33(12):1209-1218.
Sun Tao, Zhou Xinmin, Chen Peirong, et al. The origin and tectonics significances of Mesozoic strong peraluminous granite in east Nanling Mountain [J]. Science in China (series D), 2003, 33(2): 1209-1218(in Chinese).
- [4] 朱金初,张佩华,谢才富,等.南岭西段花山—姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义[J].岩石学报,2006,22(9):2270-2278.
Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, et al. Zircon U-Pb age framework of Huashan-Guposhan intrusive belt, western part of Nanling Range, and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(9): 2270-2278(in Chinese with English abstract).
- [5] 朱金初,张辉,谢才富,等.湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP-U-Pb 年代学和岩石学[J].高校地质学报,2005,11(3):335-342.

②陈荣,邢光福,杨祝良,等.赣南地区中生代流纹质火山岩同位素年龄及其地质意义.2006年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要,2006:117-118.

- Zhu Jinchu, Zhang Hui, Xie Caifu, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology, petrology and geochemistry of the Zhujiashui granite, Qitianling pluton, southern Hunan Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11 (3):335-342 (in Chinese with English abstract).
- [6] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南骑田岭岩体东缘莱岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义 [J]. *中国地质*, 2004, 31(1):96-100.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, South China, and its significance [J]. *Geology in China*, 2004, 31(1):96-100 (in Chinese with English abstract).
- [7] 于津海, 周新民, 赵蕾, 等. 壳幔作用导致武平花岗岩形成——Sr-Nd-Hf-U-Pb 同位素证据 [J]. *岩石学报*, 2005, 21: 651-664.
- Yu Jinghai, Zhou Xinmin, Zhao Lei, et al. Mantle-crust interaction generating the Wuping Granites: evidenced from Sr-Nd-Hf-U-Pb isotopes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21:651-664 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈小明, 王汝成, 刘昌实, 等. 广东从化佛冈(主体)黑云母花岗岩定年和成因 [J]. *高校地质学报*, 2002, 8(3):293-307.
- Chen Xiaoming, Wang Rucheng, Liu Changshi, et al. Isotopic dating and genesis for Fogang biotite granites of Conghua area, Guangdong Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2002, 8(3):293-307 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张敏, 陈培荣, 张文兰, 等. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因 [J]. *地球化学*, 2003, 32(6):529-539.
- Zhang Min, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid Nanling Range [J]. *Geochimica*, 2003, 32(6):529-539 (in Chinese with English abstract).
- [10] 邱检生, 胡建, 王孝磊, 等. 广东河源白石冈岩体: 一个高分异的 I 型花岗岩 [J]. *地质学报*, 79:504-514.
- Qiu Jiansheng, Hu Jian, Wang Xiaolei, et al. The Baishigang pluton in Heyuan, Guangdong Province: A highly fractionated I-type granite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79:504-514 (in Chinese with English abstract).
- [11] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析 [J]. *地球化学*, 2005, 34:215-226.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Ascertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic settings [J]. *Geochimica*, 2005, 34:215-226 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 等. 闽西南地区才溪岩体锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(3):223-231.
- Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. Zircon SHRIMP age and geochemical characteristics of the Caixi pluton in southwestern Fujian Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2007, 26(3):223-231 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 等. 闽西南地区紫金山岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2008, 35 (4):590-597.
- Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. Zircon SHRIMP age and their implications of the Zijinshan pluton from southwestern Fujian Province [J]. *Geology in China*, 2008, 35 (4):590-597 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张德全, 余宏全, 阎升好, 等. 福建紫金山地区中生代构造环境转换的岩浆岩地球化学证据 [J]. *地质论评*, 2001, 47(6):608-616.
- Zhang Dequan, She Hongquan, Yan Shenghao, et al. Geochemistry of Mesozoic magmatites in the Zijinshan region and implication on regional tectonic inversion [J]. *Geological Review*, 2001, 47(6):608-616 (in Chinese with English abstract).
- [15] Zeng Q T, Mao J R, Chen R, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating and cooling history of Tianmenshan pluton in south Jiangxi Province and their significances in ore deposit geology [J]. *Chinese J. Geochem.*, 2008, 27:276-284.
- [16] Mao Jianren, Li Zilong, Zhao Xilin, et al. Geochemical characteristics, cooling history and mineralization significance of Zhangtiantang pluton in South Jiangxi Province, P.R. China [J]. *Chin. J. Geochem.*, 2010, 29:53-64.
- [17] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统 [J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(4):335-343.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Ore-forming system in Mesozoic and Cenozoic in South China [J]. *Sci. in China (Series D)*, 2003, 33(4):335-343 (in Chinese).
- [18] 刘善宝, 陈毓川, 范世祥, 等. 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间——来自同位素年代学的证据 [J]. *中国地质*, 2010, 37(4):1034-1049.
- Liu Shanbao, Chen Yuchuan, Fan Shixiang, et al. The second ore-prospecting space in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt: evidence from isotopic chronology [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4):1034-1049 (in Chinese with English abstract).
- [19] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J. Petrol.*, 1984, 25:956-983.
- [20] Kinnaird J A, Batchelor R A, Whitley J E, et al. Geochemistry, mineralization and hydrothermal alteration of the Nigerian high heat producing granites. The Institution of Mining and Metallurgy, Chameleon. High Heat Production Granites, Hydrothermal Circulation and Ore Genesis [M]. London: Chameleon Press, 1985: 169-194.
- [21] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Publ, London, 1989:313-345.
- [22] Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63, 489-508.
- [23] 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究 [J]. *矿物学报*, 2004, 24(3):253-256.

- Jiang Guohao, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, et al. K–Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2004, 24(3): 253–256(in Chinese with English abstract).
- [24] 华仁民, 张文兰, 陈培荣, 等. 赣南大吉山与漂塘花岗岩及有关成矿作用特征对比[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(4):609–619.
- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Chen Peirong, et al. Comparison in the characteristics, origin, and related metallogeny between granites in Dajishan and Piaotang, Southern Jiangxi, China [J]. *Geological Journal of China University*, 2003, 9(4):609–619.
- [25] Keith J D, van Middelaaar W, Clark A H, et al. Ore deposition associated with magmas[J]. *Rev. Econ. Geol.*, 1993, 4, Chapter 14.
- [26] 赵蕾, 于津海, 王丽娟, 等. 红山含黄玉花岗岩的形成时代及其成矿能力分析[J]. *矿床地质*, 2006, 25(3):672–682.
- Zhao Lei, Yu Jinhai, Wang Lijuan, et al. Formation time of Hongshan topaz-bearing granite and its metallogenic potential prognosis [J]. *Mineral deposits*, 2006, 25 (3):672–682 (in Chinese with English abstract).
- [27] 李逸群. 江西两种成矿花岗岩类的成因 [J]. *江西地质*, 1991, 5 (1):36–48.
- Li Yiqun. The genesis of two metallogenic granites [J]. *Geology of Jiangxi*, 1991, 5(1):36–48(in Chinese with English abstract).
- [28] 布洛克利 J G. (毛景文译). 与锡矿床有关的花岗岩岩石学和化学 [J]. *国外矿床地质*, 1984, (28):74–90.
- Blukly J G (Translated by Mao Jinwen). Petrology and chemistry of the tin deposit related granites [J]. *Foreign Ore Geology*, 1984, (28):74–90 (in Chinese).
- [29] Lehmann B, Mahawat C. Metallogeny of tin in central Thailand: A genetic concept [J]. *Geology*, 1989, 17:426–429.
- [30] 陈骏. 锡的地球化学[M]. 南京: 南京大学出版社, 2000: 1–320.
- Chen Jun. Tin Geochemistry [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2000: 1–320(in Chinese).
- [31] Schwartz M O. Geologic, geochemical, and fluid inclusion studies of the tin granites from the Bujang Melaka pluton, Kninta valley, Malaysia[J]. *Econ. Geol.*, 1989, 84:751–779.
- [32] 蔡宏渊. 中国锡矿床的稀土元素地球化学特征 [J]. *矿产与地质*, 1995, 9(4):227–233.
- Cai Hongyuan. Rare earth element geochemistry of tin deposits in China [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1995, 9 (4):227–233 (in Chinese with English abstract).
- [33] McCulloch M T, Chappell B W. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granite [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1982, 58(1):51–64.
- [34] 凌洪飞, 沈渭洲, 孙涛, 等. 广东省 22 个燕山期花岗岩的源区特征及成因: 元素及 Nd–Sr 同位素研究 [J]. *岩石学报*, 2006, 22 (11):2687–2703.
- Ling Hongfei, Shen Weizhou, Sun Tao, et al. Genesis and source characteristics of 22 Yanshanian granites in Guangdong province: study of element and Nd–Sr isotopes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(11):2687–2703(in Chinese with English abstract).
- [35] 凌洪飞, 沈渭洲, 黄小龙. 福建省花岗岩类 Nd–Sr 同位素特征及其意义[J]. *岩石学报*, 1999, 15(2):255–262.
- Ling Hongfei, Shen Weizhou, Huang Xiaolong. Nd and Sr isotopic compositions of granitoids of Fujian and their significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15 (2):255–262(in Chinese with English abstract).
- [36] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据 [J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 642–650.
- Feng Chengyou, Feng Yaodong, Xu Jianxiang, et al. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi [J]. *Geology in China*, 2007, 34(4):642–650(in Chinese with English abstract).
- [37] Alther R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 2000, 50:51–73.
- [38] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 1998, 45:29–44.
- [39] Xu K Q, Tu G C. Geology of Granites and Their Metallogenetic Relation[M]. Beijing: Science Press, 1984.
- [40] 胡受奚, 孙明志, 严正富, 等. 与交代蚀变花岗岩有成因联系的钨、锡和稀有亲花岗岩元素矿床有关的一种重要的成矿模式[C]//徐克勤, 涂光炽(编). 花岗岩地质和成矿关系. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984:346–358.
- Hu Shouxi, Sun Mingzhi, Yan Zhengfu. An important mineralization model concerned with a tungsten, tin and rare granophile elements deposit genetically related to metasomatic alteration of the granite [C]//Xu Keqing, Tu Guangzhi(ed.). The Relationship Between Geological of Granite and Mineralization. Nanjing Jiangsu: Phoenix Science Press, 1984:346–358 (in Chinese).
- [41] 夏卫华, 章锦统, 冯志文, 等. 南岭花岗岩型稀有金属矿床地质 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989:14–115.
- Xia Weihua, Zhang Jintong, Feng Zhiwen. Geology for Granite-type Rare Metal Deposit in Nanling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989: 14–115(in Chinese).
- [42] 夏宏远, 梁书艺. 华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列[M]. 北京: 科学出版社, 1991:61–182.
- Xia Hongyuan, Liang Shuyi. Genesis Series of Tungsten – tin Rare Metal Granite Deposit in South China [M]. Beijing: Science Press, 1991: 61–182(in Chinese).
- [43] 陈毓川, 毛景文. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995:421–433.
- Chen Yuchuan, Mao Jingwen. Metallogenic series of ore deposits and metallogenic evolution through geological history in north Guangxi [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 1995:421–433(in Chinese).
- [44] 李献华, 李武显, 李正祥. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J]. *科学通报*, 2007, 52(9):981–991.

- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. On the genetic classification and tectonic implications of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling Range, South China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(14): 1873–1885.
- [45] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湘南西山铝质 A 型花岗质火山侵入杂岩的地球化学及其形成环境 [J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 15–23.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie caifu, et al. Geochemistry and tectonic setting of Xishan aluminous A-type granitic volcanic-intrusive complex, Southern Hunan [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26 (4): 15–23 (in Chinese with English abstract).
- [46] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义 [J]. 岩石学报, 1998, 14(3): 289–298.
- Chen Peirong, Zhang Bangtong, Kong Xinggong, et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibei A-type granitic intrusive in South Jiangxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(3): 289–298 (in Chinese with English abstract).
- [47] Li Z X, Li X H. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model [J]. Geology, 2007, 35(2): 179–182.
- [48] 孔兴功, 陈培荣, 章邦桐. 江西南部白面石-东坑盆地 A 型火山岩的厘定及地质意义 [J]. 地球化学, 2000, 29(6): 521–524.
- Kong Xinggong, Chen Peirong, Zhang Bangtong. Confirmation of A-type volcanic in Baimianshi and Dongkeng basin, South Jiangxi Province and their geological implication [J]. Geochimica, 2000, 29 (6): 521–524 (in Chinese with English abstract).
- [49] 华仁民. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义 [J]. 地质论评, 2005, 51(6): 633–639.
- Hua Renmin. Differences between rock-forming and related ore-forming times for the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling Range, South China, and its geological significance [J]. Geological Review, 2005, 51 (6): 633–639 (in Chinese with English abstract).
- [50] 汪洋. 再论南岭侏罗纪“铝质”A 型花岗岩的成因及其对古地温线的制约 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 365–381.
- Wang Yang. Petrogenesis of the Jurassic aluminous A-type granites in the Nanling area, South China and its constraint on paleo-geotherm [J]. Geotectonica et Metallogeni, 2008, 32(3): 365–381 (in Chinese with English abstract).
- [51] Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motion between oceanic and continental plates in the Pacific basin [J]. Geol. Soc. Am. Spec paper, 1985: 1–59.

Metallogenesis of two types of late Early Yanshanian granitoids in South China: Case studies of south Jiangxi and southwest Fujian

ZHAO Xi-lin, LIU Kai, MAO Jian-ren, YE Hai-min

(Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: Late-stage Early Yanshanian granitoids are widely distributed in South China and closely related to metallogenesis. They have two different distribution patterns, being EW-trending in Nanling and NE-trending in Wuyi area. Granitic rocks formed in two different tectonic settings have different geochemical characteristics. The little stocks in southern Jiangxi Province are closely related to W and Sn mineralization, quite different from things of big batholiths. The little stocks and big batholiths might have been formed by partial melting of the crust-derived argillaceous-arenaceous metasedimentary rocks related to Proterozoic crust; nevertheless, fluid was present during magmatic evolution and experienced highly differentiation and evolution in the formation of little stocks, whereas NE-extending granitoids were probably formed by partial melting of argillaceous metasedimentary rocks related to Mesoproterozoic crust. During that period, the mainland lithosphere of Nanling and adjacent regions belonged to an extensional setting, southeast China was mostly under the tectonic framework of East Asia active continental margin, and the collision and compressional role of the Pacific plate toward East Asian continental margin began to emerge.

Key words: Early Yanshanian; magmatism; metallogenesis; tectonic setting

About the first author: ZHAO Xilin, male, born in 1980, assistant research, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: zxl24@126.com.