

瑶岗仙复式岩体地质地球化学特征 及其与成矿的关系

李顺庭^{1,2}, 祝新友¹, 王京彬¹, 王艳丽¹, 程细音¹, 蒋斌斌³

(1. 北京矿产地质研究院, 北京 100012;

2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

3. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要 瑶岗仙复式岩体、千里山复式岩体、骑田岭岩体和九峰岩体都是亚碱性、过铝质、放射性元素含量高的花岗质岩石; 而作为成矿小岩体的瑶岗仙复式岩体区别于区域大花岗岩体如九峰岩体、骑田岭岩体, 其酸性和分异演化程度更高, 与后者相比存在分异演化上的连续性和继承性。瑶岗仙复式岩体富含挥发分, 第一期和第二期侵入岩在演化过程中发生了强烈的流体—熔体相互作用; 第三期石英斑岩同样也具备良好的成矿条件, 但随着地质条件的改变, 其沿着构造薄弱地带快速上升, 并以含 W 元素较高的石英斑岩就位, 规模明显小于前两期, 且标志着成矿作用的结束。

关键词 瑶岗仙复式岩体 地球化学特征 钨矿 湖南

中图分类号: P588.15

文献标识码: A

文章编号: 1674-7801(2015)04-0347-09

0 前言

瑶岗仙复式岩体位于南岭东西向构造带中部, 加里东隆起带与印支—燕山凹陷带的交汇部位^[1], 其周边地区发育骑田岭岩体和九峰岩体等一系列区域大花岗岩基, 同时也发育一些与锡钨多金属矿床成矿密切相关的小型复式岩体, 如千里山岩体。与瑶岗仙复式岩体存在成因关系的两个超大型钨矿——瑶岗仙黑钨矿床与和尚滩白钨矿床以其规模之巨大以及发现、开采和研究的历史悠久为世人所瞩目。

瑶岗仙黑钨矿床于 1908 年发现并开采, 而和尚滩白钨矿床于 1947 年由徐克勤先生发现, 并于 1954 年在前苏联专家的指导下开始进行系统性的勘查工作^[2]。伴随着勘查工作和矿产开采的进行, 对瑶岗仙黑钨矿床、和尚滩白钨矿床以及它们与瑶岗仙复式岩体的研究也在陆续展开, 取得了一批至今为止对钨矿以及致矿花岗岩影响深远的科研成果。

1957 年, 徐克勤提出两种类型钨矿床产出受围

岩岩性制约的观点, 而受两期岩浆作用的影响不大^[3]。20 世纪 60 年代, 随着华南黑钨矿床“五层楼”模式的建立, 多数观点认为瑶岗仙黑钨矿床发育典型的五层楼分带^[4-5]。20 世纪 80 年代以来, 在瑶岗仙矿床地质、地球化学研究的基础上, 林欣多、张德会等提出了在瑶岗仙黑钨矿床中出现“上液下浆”的认识, 并在华南黑钨矿床研究中得到广泛的认可^[6-8]。20 世纪 90 年代以来, 随着南岭成矿带内大量成岩成矿年代学研究的展开, 毛景文、华仁民、彭建堂等提出燕山早期华南地区发生大规模成岩成矿地质作用^[9-13]; 随着对南岭花岗岩的成岩年代学和地球化学研究, 周新民、朱金初、伊征平等提出南岭地区晚中生代花岗岩的形成与燕山早期南岭地区出现的盆岭构造和伸展背景的板内岩浆作用有关, 可能还有幔源物质的参与^[24-26]。21 世纪初, 基于华南花岗岩及瑶岗仙矿床中流体包裹体、He 同位素等的研究, 胡瑞忠、王巧云、陈宏伟等通过对瑶岗仙钨矿床中流体包裹体研究提出南岭地区花岗岩

[收稿日期] 2015-02-01

[基金项目] 全国危机矿山接替资源找矿项目(编号: 20089927) 资助。

[第一作者简介] 李顺庭, 男, 1982 年生, 博士, 工程师, 从事矿床学研究和矿产勘查工作。

中大量幔源物质加入,壳幔混合是其成岩的一个重要特征,进而提出幔源物质参与对成矿作用的重大影响^[14-15];王登红、李顺庭等通过对瑶岗仙复式岩体和瑶岗仙钨矿床进行系统的成岩成矿年代学研究,获得了瑶岗仙复式岩体的成岩年龄和瑶岗仙钨矿的成矿年龄,并认为其为南岭成矿带燕山早期大规模成岩成矿作用的一部分^[16-18]。近年来,随着“全国危机矿山接替资源找矿”项目以及全国重要成矿区带成矿规律总结研究项目的开展实施,对以瑶岗仙为代表的华南钨矿床成矿岩体和成矿规律认识方面取得了较大的突破。祝新友等通过对瑶岗仙复式岩体和瑶岗仙钨矿展开系统的矿物学、岩石学、地球化学工作,提出作为瑶岗仙复式岩体是区域性深部岩浆结晶分异的产物,以第一期和第二期花岗岩为代表的南岭钨矿成矿花岗岩为碱长花岗岩,而南岭的这种碱长花岗岩在形成过程中发生液态不混溶分异从而导致云英岩型、石英脉型、夕卡岩型钨矿床的成矿作用。导致不同钨矿化类型的,正是这种液态不混溶分异的不同发展方向^[19-21]。

本文对瑶岗仙复式岩体进行岩石学、岩石地球化学特征研究,并与千里山复式岩体和区域大花岗岩体进行对比研究,以查明和阐述其与区域南岭花岗岩的关系以及钨矿成矿之间的关系,为研究钨矿成矿花岗岩的成因演化提供依据。

1 瑶岗仙复式岩体特征及与钨成矿的关系

1.1 地质背景

瑶岗仙钨矿田位于湘南东西构造带南岭主干北缘,出露的主要地层为侏罗系砂页岩、石炭系灰岩、泥盆系砂岩、灰岩以及寒武系变质砂岩。构造上位于赣南后加里东隆起和湘桂粤北海西—印支拗陷的重叠位置,主要构造方向为北北东—南南西。矿田内上述地层构成了天鹅顶—瑶岗仙背斜以及伴生的向斜构造体系,瑶岗仙黑钨矿床位于背斜南部的倾伏端,背斜核部为寒武系变质砂岩和泥盆系砂岩、灰岩,翼部主要为石炭系灰岩和侏罗系砂岩。瑶岗仙矿田的主要岩浆岩即瑶岗仙复式岩体以小岩株侵入背斜核部,与成矿作用关系密切。瑶岗仙钨矿田由瑶岗仙黑钨矿床、和尚滩白钨矿床和青山里铅锌矿床组成(图1)。

瑶岗仙复式岩体是一个多阶段复式小岩体,出露面积约1.34 km²,呈岩株状产出。岩体侵入在天鹅塘—瑶岗仙短轴倾伏背斜的轴部,由东南往西北方向侵入到寒武系砂岩、泥盆系跳马涧组砂岩、余田桥组和棋子桥组灰岩地层中。岩体的东、西、北三面均侵入到中泥盆统跳马涧组合砾砂岩、石英砂岩中,南面与上泥盆统呈侵入接触关系。岩体外形不规则,与围岩接触面的倾角一般较缓,西部与围岩接触面较陡,皆倾向于围岩^[22]。

根据野外地质工作并结合前人研究,将瑶岗仙复式岩体划分为中粒黑云母花岗岩、细粒斑状花岗岩和石英斑岩3期。中粒黑云母花岗岩,即第一期侵入岩,作为瑶岗仙复式岩体的主体,分布在大岩门、蛤蟆石一带,位于岩体西部,空间形态上受构造影响,呈北西向展布;细粒斑状花岗岩作为第二期侵入岩,出露面积次之,分布在蛤蟆石一带,位于岩体的东部,其空间展布同样也受到构造影响,呈北西向楔形侵入和尚滩夕卡岩白钨矿床之下;第三期侵入岩石英斑岩除南边有些露头外,只在杨梅岭的坑道中见到,按北西—南东向展布呈两条脉岩产出,长达数百米,为浅成相侵入岩。

1.2 瑶岗仙复式岩体与钨成矿的关系

瑶岗仙黑钨矿床的主矿体由黑钨矿石英脉组成,其主要分布在第一期侵入岩及中粒黑云母花岗岩的北西向陡倾部位,向外伸展进入周围及上覆砂岩—变质砂岩中。黑钨矿石英脉在19中段以及往下25~26中段的根部靠近花岗岩的位置以接近岩浆性质的云英岩脉的形式出现,矿石矿物主要为毒砂和黑钨矿,脉石矿物主要为石英、云母等;往上逐渐过渡为黑钨矿石英脉,矿石矿物同样以黑钨矿、毒砂为主,在远离岩体的上部中段逐渐出现闪锌矿、方铅矿等低温矿物,脉石矿物则以石英为主,并有大量萤石出现。因此中粒黑云母花岗岩既是黑钨矿石英脉的成矿母岩,同时也部分地作为含钨围岩出现。

细粒斑状花岗岩作为第二期岩浆岩侵入到和尚滩夕卡岩白钨矿床之下。其沿厚层砂岩侵入,接触面与砂岩产状大体一致,向SE方向倾斜,未与和尚滩夕卡岩型白钨矿床直接接触。由第二期侵入岩及其分异产生的成矿热液通过北西西向断裂控制了和尚滩夕卡岩型白钨矿床的形成,因此细粒斑状花岗岩是和尚滩夕卡岩型白钨矿床的成矿母岩。

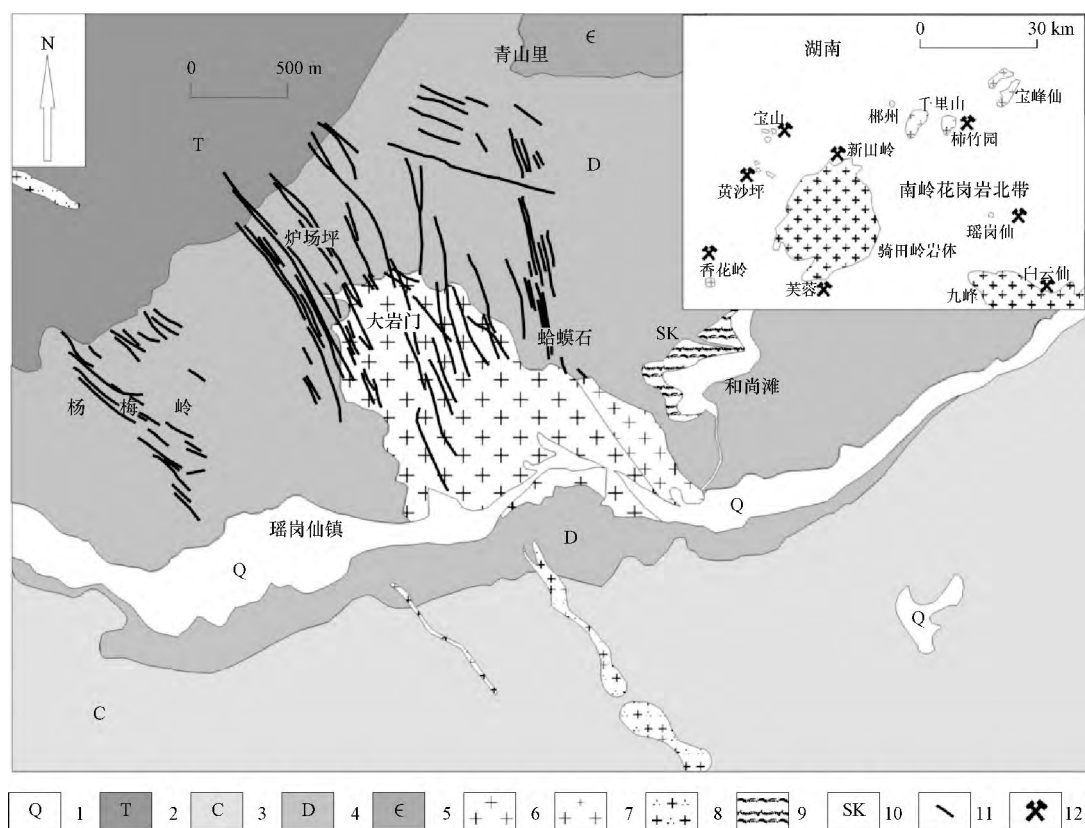


图1 瑶岗仙钨矿田地质简图(据陈依壤,1981,修编)

1—第四系;2—三叠系砂岩;3—石炭系灰岩;4—泥盆系砂岩、灰岩;5—寒武系变质砂岩;6—中粗粒黑云母花岗岩;
7—细粒斑状花岗岩;8—石英斑岩;9—夕化板岩;10—夕卡岩白钨矿体;11—黑钨矿石英脉;12—金属矿床

第三期侵入岩石英斑岩除南边有些露头外,只在杨梅岭的坑道中见到,按北西—南东向展布呈两条脉岩产出,长达数百米,为浅成相侵入岩,局部可见其中包含中粒黑云母花岗岩捕虏体,甚至可见石英斑岩切断黑钨矿石英脉,证明其为3期岩浆活动中最晚一期,甚至晚于黑钨矿石英脉的形成。所以目前看来,石英斑岩是与瑶岗仙矿田成矿事件无关的一期岩浆活动。

由上述基本地质事实可知,第一期中粒黑云母花岗岩是瑶岗仙黑钨矿床的成矿母岩,并部分作为含矿围岩;而第二期的细粒斑状花岗岩是和尚滩夕卡岩型白钨矿床的成矿母岩;第三期的石英斑岩规模很小,与成矿作用关系不密切。

结合3期侵入岩之间的相互穿插关系以及已经获得的同位素证据可知,3期岩浆岩虽然存在先后关系,但基本属于同一地质时代的产物^[17,21-22]。而区域上千里山复式岩体的3期岩浆岩与成矿作用也存在相应的对应关系^[27]。

2 瑶岗仙复式岩体地质地球化学特征

2.1 岩石学、矿物学特征

瑶岗仙复式岩体中粒黑云母花岗岩呈灰白色、肉红色,花岗结构,块状构造。主要矿物为长石、石英,次为黑云母,含少许白云母。长石板状自形晶粒,粒度一般1~2mm,多遭受蚀变作用,长石中可见有蚀变后产生的云母和石英矿物。石英呈颗粒状,粒度一般1~2mm(图2a、b)。

瑶岗仙复式岩体细粒斑状花岗岩呈灰色、灰白色。细到中细粒似斑状结构,块状构造。斑晶主要由石英和长石组成,分布均匀。基质主要成分为长石、石英,次为黑云母,副矿物可见石榴子石,圆形,与石英共生密切,有蚀变。石英较为干净,受蚀变影响微弱。长石颗粒较大者蚀变比较明显,一般蚀变为云母类矿物和石英,可能与岩浆期后热液蚀变事件有关,其中亦见包裹体发育。颗粒较小的石英和

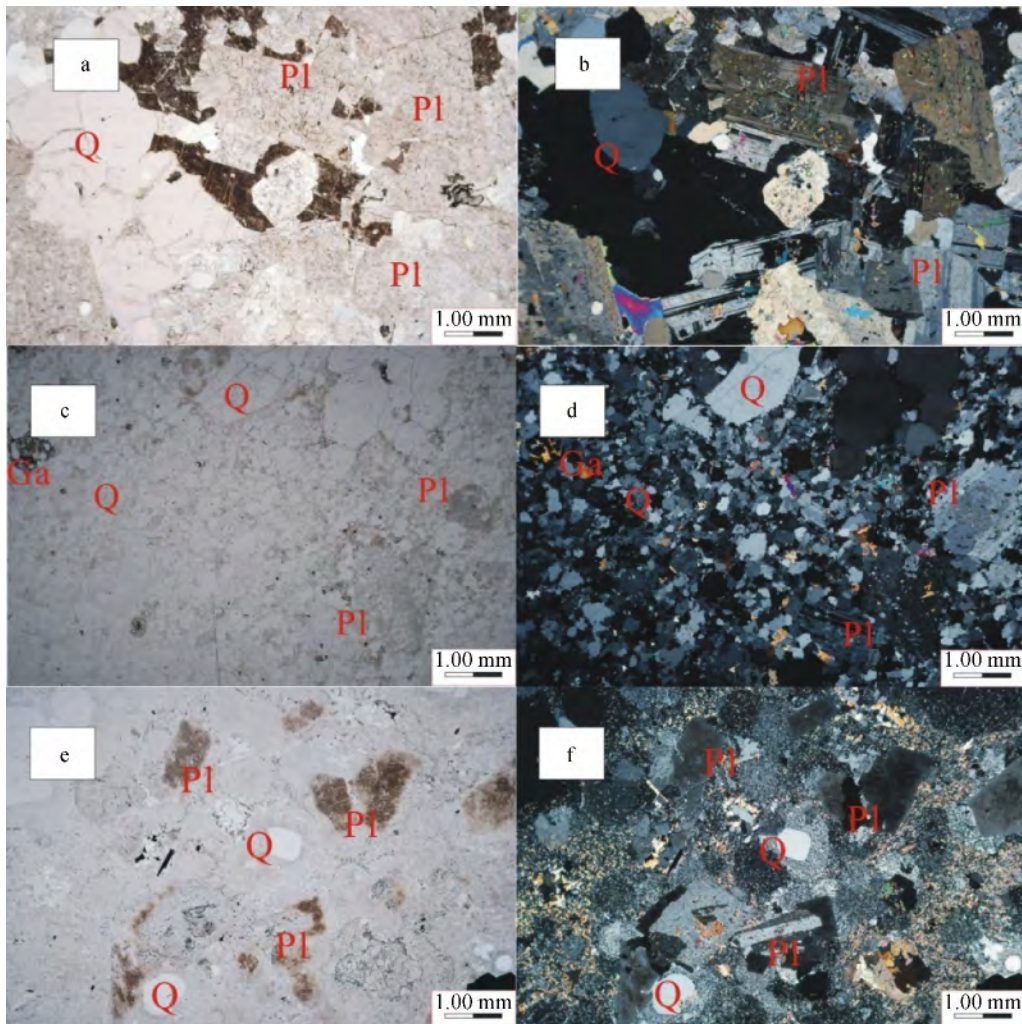


图2 瑶岗仙复式岩体三期侵入岩镜下照片

a—中粒黑云母花岗岩单偏光镜下照片；b—中粒黑云母花岗岩正交偏光镜下照片；c—细粒斑状花岗岩单偏光镜下照片；d—细粒斑状花岗岩正交偏光镜下照片；e—石英斑岩单偏光镜下照片；f—石英斑岩正交偏光镜下照片

长石未见明显蚀变(图2c、d)。

中粒黑云母花岗岩与细粒斑状花岗岩除岩石结构截然不同外,矿物成分及其含量大致相近。钾长石35%~40%,斜长石20%~30%,石英29%~32%,黑云母2%~5%,白云母(多为次生)含量在中粒黑云母花岗岩中为2%~10%,细粒斑状花岗岩中为0~22%。在岩体的边缘部位,部分岩石中有铁铝石榴石和钙铝石榴石。钾长石多为条纹长石、正长石等,条纹结构较发育,格子双晶少见。斜长石偏中酸性,属中—更长石及钠长石种属,环带构造不发育,聚片双晶发育。

瑶岗仙复式岩体石英斑岩呈灰白色,浅灰黄色,斑状结构,块状构造。斑晶主要成分为石英,含量

10%~20%,其次为钾长石,含量5%~15%,少量黑云母(含量小于1%)。长石较石英容易受到后期流体蚀变影响,少见完整长石,一般都有部分蚀变为云母石英。基质主要为石英,次为长石(多蚀变为黏土质及绢云母),呈微晶状结构和球粒结构(图2e、f)。

2.2 样品和分析方法

为探讨瑶岗仙复式岩体的岩石学和地球化学特征及其与成矿的关系,笔者通过详实的野外地质工作,分别采集了瑶岗仙复式岩体的3期侵入岩和石英脉黑钨矿标本,样品具体的采样位置见表1、表2,并分离了部分黑钨矿的单矿物。岩矿石的地球化学

测试工作是委托核工业北京地质研究院完成的。其中主量元素采用飞利浦 PW2404 型 X 射线荧光光谱仪分析得到 样品测试方法参考 GB/T14506. 28 - 93 《硅酸盐岩石化学分析方法 X 射线荧光光谱法测定主、次元素量》; 微量元素采用高分辨电感耦合等离子质谱法, 仪器采用核工业北京地质研究院分析测试中心的离子体质谱仪, 仪器型号: Finnigan MAT 制造, HR - IC' P - MS(Element I)。ICP - MS 主要工作条件包括 ICP 条件和 MS 条件。其中 ICP 条件为载气流量 $0.99 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$; 冷却气流量 $13.00 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$; 射频功率 1350 W ; 辅助气流量 $0.85 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$; 玻璃同心雾化器; 带水冷的玻璃雾化室; 带膜去溶进样装置。MS 条件为镍锥, 孔径 0.8 mm ; 双聚焦磁质谱系统, 分辨率 $300 \sim 10000$ 。

2.3 岩体地球化学特征

通过图 3 可知, 它们都属于亚碱性系列花岗质岩石; 由图 4 可知, 瑶岗仙复式岩体的中粗粒黑云母花岗岩和细粒斑状花岗岩都为准铝质至弱过铝质花岗岩, 而石英斑岩、骑田岭岩体和九峰岩体表现出过铝质特征。瑶岗仙复式岩体的主要放射性元素含量 ($U + Th$) 在 $32.1 \times 10^{-6} \sim 54.3 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 42.1×10^{-6} , 与千里山复式岩体、骑田岭岩体和九峰岩体类似, 并且随着时间的推移从中粒黑云母花岗岩至石英斑岩含量呈现稳定的逐渐降低的趋势。

综上所述, 瑶岗仙复式岩体、千里山复式岩体、九峰岩体和骑田岭岩体都具有亚碱性、过铝质、放射性元素含量高的特点, 为亚碱性花岗质岩石; 而作为成矿小岩体的瑶岗仙复式岩体区别于区域大花岗岩基(九峰岩体和骑田岭岩体), 其酸性程度更高, 表明它们与区域大花岗岩基之间可能存在分异演化上的

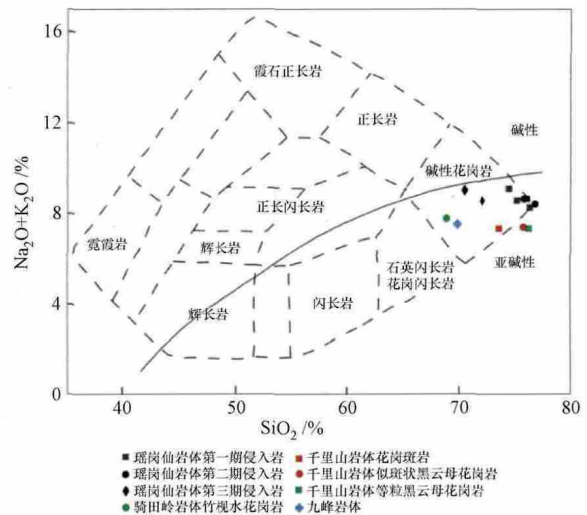


图 3 瑶岗仙及周边岩体碱性系列划分图

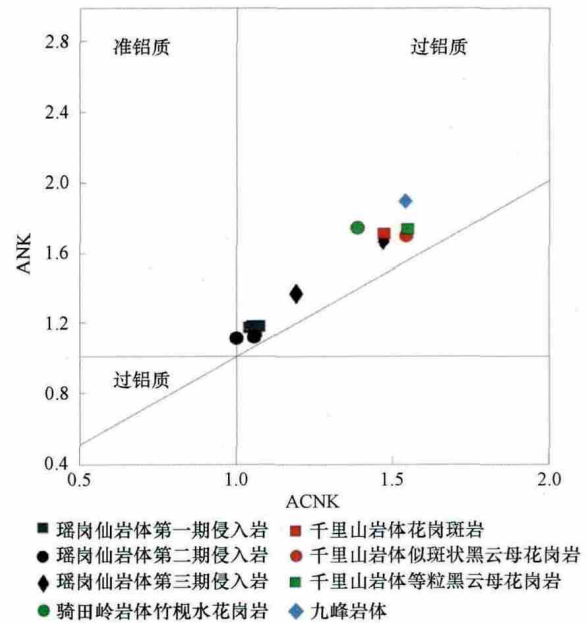


图 4 瑶岗仙及周边岩体 ANK - ACNK 图

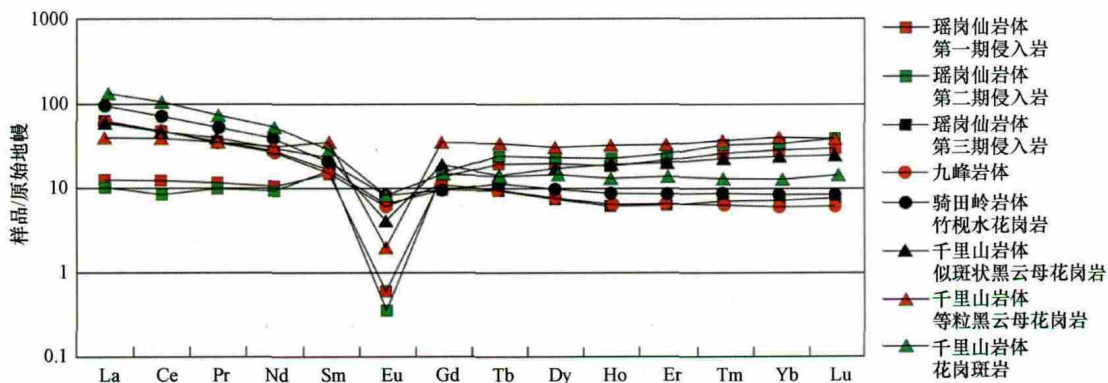


图 5 瑶岗仙及周边岩体稀土元素配分图

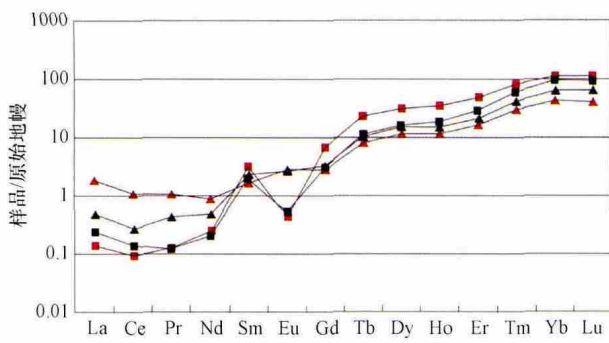


图6 瑶岗仙黑钨矿稀土配分图

连续性和继承性。

结合稀土元素特征以及图5可知,瑶岗仙复式岩体的中粒黑云母花岗岩和细粒斑状花岗岩具有相同的配分模式,轻稀土相对亏损,重稀土富集,低的负Eu值,配分模式为平缓左倾式;而瑶岗仙复式岩体石英斑岩与前两期岩浆岩的稀土配分模式不同,

比较接近九峰岩体和骑田岭岩体的稀土配分模式,具有轻稀土相对富集,重稀土相对亏损的特征,负Eu值远不如前两者那么强烈,配分曲线为花岗岩稀土配分模式中较为标准的平缓右倾式。千里山岩体轻重稀土分异程度介于上述两种配分模式之间,其负Eu值也介于二者之间,第三期岩浆岩的分异程度也较第一期和第二期岩浆岩低,更接近于九峰岩体和骑田岭岩体。瑶岗仙黑钨矿具备较高的钨含量,钨含量较高(可能为分析误差),总体亏损轻稀土元素,富集重稀土元素,配分模式为较为陡倾左倾式。

由此看来,虽然不同岩体之间的稀土含量差别很大,但瑶岗仙复式岩体的中粒黑云母花岗岩和细粒斑状花岗岩存在相似的配分特点,表明二者之间存在岩浆分异和演化的继承性,它们的负Eu异常表明它们基于区域大花岗岩基发生的进一步强烈的

表1 瑶岗仙复式岩体及周边地区岩体主量元素分析结果

序号	样品号	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	烧失量	FeO	合计
1	YGP1-11	瑶岗仙岩体中粒黑云母花岗岩	74.34	13.61	0.86	0.043	0.86	4.26	4.96	0.12	0.045	0.012	0.85	0.6	99.96
2	YGP1-34	瑶岗仙岩体中粒黑云母花岗岩	75.96	12.6	1.01	0.015	0.76	4.22	4.53	0.16	0.022	0.009	0.68	0.85	99.966
3	YGC213		76.23	12.22	1.48	0.045	0.76	3.61	4.74	0.16	0.029	0.016	0.67	1.25	99.96
4	YGC222		75.04	12.61	1.35	0.065	0.89	3.36	5.32	0.15	0.038	0.12	0.97	0.95	99.913
5	YGP5-18	瑶岗仙岩体细粒斑状花岗岩	76.71	12.21	1.47	0.02	0.54	4.23	4.31	0.12	0.022	0.014	0.33	1.25	99.976
6	YGP5-25	瑶岗仙岩体细粒斑状花岗岩	75.73	12.9	1.05	0.016	0.55	4.01	4.73	0.11	0.022	0.17	0.66	0.7	99.948
7	YGC225	瑶岗仙岩体石英斑岩	70.4	14.78	1.64	0.31	1.02	2.6	6.53	0.59	0.13	0.25	1.67	0.6	99.92
8	YGC228	瑶岗仙岩体石英斑岩	72	14.97	1.51	0.26	0.64	0.19	8.5	0.16	0.11	0.035	1.62	0.9	99.995
9	平均值	九峰岩体	69.84	14.38	0.94	1.05	1.78	2.85	4.72	0.11	0.44	0.10	1.16	2.21	99.81
10	平均值	骑田岭岩体竹视水花岗岩	68.86	13.76	4.38	0.86	2.05	3.06	4.81	0.07	7.34	0.19	0.98		99.77
11	平均值	千里山岩体似斑状黑云母花岗岩	75.78	12.74	1.50	0.15	0.81	2.54	4.91	0.07	0.16	0.03	0.90		99.58
12	平均值	千里山岩体等粒黑云母花岗岩	76.34	12.87	0.91	0.03	0.96	2.94	4.43	0.06	0.03	0.01	0.68		99.26
13	平均值	千里山岩体花岗斑岩	73.61	12.71	2.54	0.31	1.27	2.42	4.96	0.07	0.27	0.08	0.94		99.19

注:1~8 测试单位为核工业北京地质研究院,Fe₂O₃ 为全铁含量;9 据尹征平 2010;10 据朱金初 2005;11~13 据毛景文,1995。

表2 瑶岗仙复式岩体、黑钨矿单矿物及周边地区岩体微量元素分析结果

序号	样品号	岩性	Th	U	W	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	YGP1-11	瑶岗仙岩体中	23.8	26.1	8.66	21.3	3.14	13.9	5.84	0.083	7.66	1.91	13.1	2.69	9.25	1.64	12.1	1.81	
2	YGP1-34	粒黑云母花岗岩	16.8	25.6	22.1	6.84	17.4	2.73	12.9	6.92	0.08	9.88	2.52	17.8	3.55	12.5	2.2	15.8	2.41
3	YGC213		24.3	30	32	7.56	19.2	2.71	12	5.44	0.077	6.36	1.8	12.6	2.74	9.74	1.97	14.3	2.39
4	YGC222		24.7	25.1	19.9	11.2	28.7	4.06	17.8	7.24	0.159	7.77	2.01	13.7	2.88	9.45	1.77	12.8	2.05
5	YGP5-18	瑶岗仙岩体细	17.6	22	5.81	6.89	16.5	2.74	12.9	7.58	0.052	10	2.84	18.7	4.12	14.1	2.82	19.4	3.37
6	YGP5-25	粒斑状花岗岩	16.3	19	6.46	7.12	13.3	2.61	11.9	6.6	0.067	8.02	2.24	14.8	3.11	10.2	1.96	13.6	2.23
7	YGC225	瑶岗仙岩体	23.4	10.2	72.5	40.8	77.4	9.18	35.1	6.88	1.06	5.28	0.961	5.37	1	3.01	0.515	3.62	0.578
8	YGC228	石英斑岩	22.6	9.5	25.7	45.4	86.5	10	38.3	7.36	1.07	5.81	1.01	5.32	0.975	2.91	0.493	3.28	0.518
9	YGC46-1	黑钨矿	0.632	25.7	1312	0.098	0.17	0.035	0.349	1.39	0.074	3.97	2.47	23.5	5.71	23.7	5.97	55	8.1
10	YGC47-1	黑钨矿	1.25	5.52	2998	1.26	1.91	0.295	1.2	0.744	0.479	1.68	0.868	8.39	1.9	7.88	2.21	21.1	2.98
11	YGC92-1	黑钨矿	0.805	23.7	1146	0.34	0.492	0.121	0.67	1.02	0.447	1.97	1.11	11	2.4	10.1	3.08	30.9	4.74
12	YGC68-1	黑钨矿	0.202	3.12	769	0.167	0.251	0.035	0.274	0.854	0.089	1.86	1.19	11.9	3.01	13.8	4.27	45.5	6.81
13	平均值	九峰岩体	33.64	10.58		40.73	84.11	9.65	36.84	6.78	0.97	6.35	0.99	5.50	1.01	3.05	0.45	3.01	0.46
14	平均值	骑田岭岩体 竹枧水花岗岩	41.23	10.13		65.20	125.83	14.17	51.30	9.20	1.40	5.47	1.20	7.10	1.40	4.07	0.63	4.10	0.60
15	平均值	千里山岩体似斑 状黑云母花岗岩	65.35	37.45	29.12	40.43	81.23	10.20	40.00	10.00	0.68	11.12	1.52	12.55	3.10	9.51	1.64	11.59	1.69
16	平均值	千里山岩体等 粒黑云母花岗岩	38.11	24.45	558.11	26.20	69.01	9.60	41.71	15.75	0.33	20.03	3.49	21.46	5.07	14.99	2.59	18.82	2.71
17	平均值	千里山岩体 花岗岩	75.10	19.38	4.80	90.23	183.67	19.43	68.40	12.50	1.32	8.81	1.44	10.38	2.08	6.14	0.93	6.15	1.01

瑶注: 1~12 测试单位为核工业北京地质研究院, 13 据尹征平 2010, 14 据朱金初 2005, 15~17 据毛景文, 1995。

分异演化,而弱的四分组效应,表明这种分异可能与岩浆演化晚期岩浆尚未固结时发生的流体—熔体相互作用有关;而瑶岗仙复式岩体石英斑岩较弱的负Eu值,富集轻稀土元素以及亏损重稀土元素,呈平缓的右倾式则表明其整体上体现出接近大花岗岩基的地球化学特征。千里山复式岩体整体上分异程度不如瑶岗仙复式岩体,但是它的3期岩浆岩之间演化趋势也类似于瑶岗仙复式岩体,即与钨成矿有成因联系的第一期和第二期侵入岩出现了较为强烈的分异,且轻稀土相对亏损而重稀土相对富集;而与钨成矿关系不大的第三期岩浆岩则表现出较弱的分异特征以及轻重稀土无明显的相对亏损或富集,即与区域大花岗岩基类似的特征。

瑶岗仙复式岩体的3期岩浆岩中,中粒黑云母花岗岩和细粒斑状花岗岩属于一个较为连贯的岩浆结晶分异过程,且结晶分异程度较第三期石英斑岩高。前两期岩浆岩在岩浆结晶晚期存在流体—熔体相互作用,使得前两期岩浆岩的稀土配分模式出现了四分组效应;黑钨矿的大规模成矿作用,使得大量的轻稀土元素有可能随着黑钨矿的成矿作用以代表挥发分的白云母、绿柱石、萤石等矿物形式带出,重稀土元素得到富集,这在黑钨矿的稀土配分上表现得更为明显。而石英斑岩则没有这个过程,因此第三期的石英斑岩相对前两期花岗岩富集轻稀土元素。瑶岗仙复式岩体的石英斑岩中钨元素含量较高,表明其具备较高的钨成矿潜力,然而它并没有像第一期和第二期岩浆岩一样,形成相应的矿化;其地球化学特征表明其相对分异程度最低,且岩石结晶颗粒最小,表明其在母岩浆房中没有获得充分的结晶分异,并沿构造薄弱面快速上升就位,因而也相应地不存在大规模的流体—熔体相互作用过程和成矿过程。因此,它的地球化学特征也最接近母岩浆房即区域大花岗岩基如骑田岭岩体和九峰岩体。

3 结论和讨论

通过综合分析研究瑶岗仙复式岩体、千里山复式岩体、骑田岭岩体和九峰岩体的岩石学以及地球化学特征,可以获得以下认识:

(1) 瑶岗仙复式岩体、千里山复式岩体、九峰岩体和骑田岭岩体同样都具有亚碱性、过铝质、放射性元素含量高的特点,为亚碱性花岗岩质;而作为成矿小岩体的瑶岗仙复式岩体区别于区域大花岗岩基如

九峰岩体和骑田岭岩体,其酸性和分异演化程度更高,表明它们之间可能存在分异演化上的连续性和继承性。

(2) 作为成矿小岩体的瑶岗仙复式岩体和千里山岩体具有相似阶段演化特征,即与成矿密切相关的第一期岩体和第二期岩体相对区域花岗岩基而言具备更加强烈的岩浆分异特点,相对亏损轻稀土富集重稀土;而第三期与钨锡矿无明显成矿关系的岩浆岩则更多的体现和接近区域大花岗岩基的特征,同样表明成矿小岩体和区域大花岗岩基之间分异演化上的连续性和继承性。

(3) 通过对比瑶岗仙复式岩体与区域花岗岩以及黑钨矿稀土元素特征可知,瑶岗仙复式岩体第一期和第二期岩浆岩在演化过程中发生了较为强烈和明显的流体—熔体相互作用,这些地质作用过程都导致了其相对于区域花岗岩亏损轻稀土而富集重稀土。

(4) 瑶岗仙复式岩体中中粒黑云母花岗岩和细粒斑状花岗岩作为瑶岗仙黑钨矿床与和尚滩白钨矿床的成矿母岩,其富含成矿元素以及挥发分,并经过了充分的演化分异以及强烈的流体—熔体作用;瑶岗仙复式岩体中的石英斑岩同样也具备良好的成矿条件,但是随着地质条件的改变,尚在母岩浆房中的第三期岩浆岩沿着构造薄弱面快速上升并以含W元素较高的石英斑岩就位,而这期岩浆岩的规模要明显小于前两期,并标志着成矿作用的结束。

致谢 感谢审稿人对本文提出的宝贵意见,瑶岗仙钨矿何小平工程师和喻平工程师在野外工作中给予帮助,在此一并表示感谢!

参考文献

- [1] 舒良树,周新民,等.南岭构造带的基本地质特征[J].地质论评,2006,52(2):251-265.
- [2] 黄步轩.瑶岗仙勘探总结[R].重工业部长沙地质勘探公司,1995.
- [3] 徐克勤.湖南钨锰铁矿矿区中夕卡岩型钨矿的发现并论两类矿床在成因上的关系[J].地质学报,1957,37(2):117-151.
- [4] 柳志清.脉状钨矿床成矿预测理论[M].北京:科学出版社,1980.
- [5] 邱瑞龙.瑶岗仙“五层楼”式脉钨矿床围岩蚀变研究[J].矿床地质,1984,3(2):68-75.
- [6] 张德会.湖南瑶岗仙黑钨矿床地质特征及其形成机制[D].武汉:武汉地质学院,1984.

- [7] 林新多, 张德会, 章传玲. 湖南宜章瑶岗仙黑钨矿石英脉成矿流体性质的探讨[J]. 地球科学—武汉地质学院学报, 1986, 11(2): 153–160.
- [8] 林新多, 章传玲, 张德会. 初论湖南瑶岗仙含钨矿脉及矿化的垂直分带[J]. 地质论评, 1987, 33(6): 539–546.
- [9] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510–526.
- [10] 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 等. 华南地区中生代主要金属矿床模型[J]. 地质论评, 2009, 55(3): 347–354.
- [11] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45–55.
- [12] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99–107.
- [13] 彭建堂, 胡瑞忠, 袁顺达, 等. 湘南中生代花岗岩岩石成矿的时限[J]. 地质论评, 2008, 54(5): 617–625.
- [14] 王巧云, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 湖南瑶岗仙钨矿床流体包裹体特征及其意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2263–2273.
- [15] 陈宏伟, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 湖南瑶岗仙钨矿床成矿流体的氦、氩同位素组成及其意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 597–603.
- [16] 王登红, 李芹华, 秦燕, 等. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 201–208.
- [17] 李顺庭, 王京彬, 祝新友, 等. 湖南瑶岗仙复式岩体的年代学特征[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 143–150.
- [18] 李顺庭, 王京彬, 祝新友, 等. 湖南瑶岗仙钨多金属矿床辉钼矿 Re–Os 同位素定年和硫同位素分析及其地质意义[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 228–235.
- [19] 祝新友. 湖南瑶岗仙花岗岩浆演化与钨多金属成矿作用[J]. 矿物学报, 2011, 增刊: 156–157.
- [20] 傅其斌, 祝新友, 程细音, 等. 湖南瑶岗仙钨矿花岗岩中云母研究[J]. 矿物学报, 2011, (增刊): 18–19.
- [21] 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 等. 南岭钨多金属矿区碱长花岗岩的厘定及其意义[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 359–381.
- [22] 李顺庭. 湖南瑶岗仙钨多金属矿床特征与成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [23] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry M J, eds. Magmatism in the ocean basins [M]. London: Geological Society Special Publication, 1989, (42): 313–345.
- [24] 周新民, 孙涛, 沈渭洲. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力演化[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [25] 朱金初, 张辉, 谢才富, 等. 湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP–Pb 年代学和岩石学[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 335–342.
- [26] 尹征平, 洪凌飞, 黄国龙, 等. 粤北九峰岩体的地球化学特征与成因研究[J]. 东华理工大学学报, 2010, 33(1): 15–21.
- [27] 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系[J]. 矿床地质, 1995, 14(1): 12–24.

Geological and geochemical characteristics of the Yaogangxian complex granitoid and its relationship with tungsten mineralization

LI Shun-ting^{1,2}, ZHU Xin-you¹, WANG Jing-bin¹, WANG Yan-li¹,
CHENG Xi-yin¹, JIANG Bin-bin³

(1. Beijing Institute of Geology and Mineral Resources, Beijing 100012;

2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: The Yaogangxian complex massif, Qianlishan complex massif, Qitianling and Jiufeng massif are granitic rocks which are characterized by sub-alkaline, peraluminous and high concentration of radioactive elements. As ore-bearing massif, the Yaogangxian complex pluton is small size, more acidic and higher evolution level than other large-sized regional granite body like Qitianling and Jiufeng massif. Also, it has the evolution continuity and inheritance. The Yaogangxian complex massif is rich in volatile components, and the intense fluid-melt interaction occurs during the first and second stage of intrusion evolution. The third stage of quartz porphyry also has favorable metallogenic condition, which is rich in ore-forming elements, moved up along the structural weak position quickly and emplaced in the form of quartz porphyry bearing high content of tungsten. The quartz porphyry stage is much smaller than the former stages of granite intrusions, and commonly indicated the end of the mineralization process.

Key words: Yaogangxian complex massif, geochemical characteristics, tungsten deposit, Hunan