

瑶岭钨矿白基寨花岗岩地质特征及成矿意义

李社宏^{1,3}, 李文铅¹, 王进², 刘建平^{1,3}, 梁前勇^{1,3}, 曹志明⁴

(1 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广东广州 510640 2 青海省地质调查院, 青海西宁 810012 3 中国科学院研究生院, 北京 100049 4 广东省有色地质研究院, 广东广州 510080)

摘要: 通过地质填图、钻探、土壤地球化学、磁法测量和岩石地球化学等手段, 揭露了白基寨花岗岩的空间架构和地质特征, 并分析了花岗岩的地球化学特征。该岩体具有高分异性 ($SO_2 > 70\%$, δEu 在 0.03~0.09 之间), 高 K_2O , 且 $K_2O/N_2O > 1$ 等特征。Ba、Nb、P 和 Ti 相对亏损, Rb、Ta、Th 和 K 等大离子亲石元素富集, 稀土元素四分组效应明显, 呈海鸥“V”型。花岗岩源岩为泥质岩和硬砂岩混合而成, 形成于同碰撞环境。岩体具有边部倾角小, 高挥发份元素向上运移明显、强烈流体、熔体相互作用等有利成矿条件特点, 在岩体边部成矿流体与碳酸岩盐相互作用形成白钨矿化体。矿区中部凹勺状区域和 ZK3002-ZK3001 段是找砂卡岩型白钨矿的有利潜在区域。

关键词: 瑶岭钨矿; 白基寨; 过铝花岗岩

中图分类号: P581; P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2010)01-0139-08

瑶岭钨矿位于广东省韶关市曲江镇坪山地区, 矿区范围为东经 $113^{\circ}54'15''$ 至 $113^{\circ}57'45''$, 北纬 $24^{\circ}47'15''$ 至 $24^{\circ}49'45''$, 面积约 16km^2 (图 1), 由瑶岭北区 (石英脉型黑钨矿) 和南部白基寨区组成。此前关于矿山的地质研究主要集中在石英脉型黑钨矿构造控矿和构造特征分析等方面 (王燕等, 2006; 张婷, 2007), 而对区内规模最大的白基寨花岗岩体研究较少。在 1:50000 地质填图中, 把矿区花岗岩定位为钙碱性花岗岩 (江西省重工业局, 1970), 产于岛弧环境。一般认为南岭与钨矿有关的花岗岩主要为 S 型, 为海西型成矿构造环境 (车自成等, 2002; 邓晋福等, 2004)。最近, 在危机矿山勘查项目中发现白基寨花岗岩与白钨矿化关系密切, 因而对矿区白基寨花岗岩进行研究具有重要找矿和地质意义。

1 矿区地质背景

瑶岭钨矿位于华南加里东褶皱带湘南-粤北海

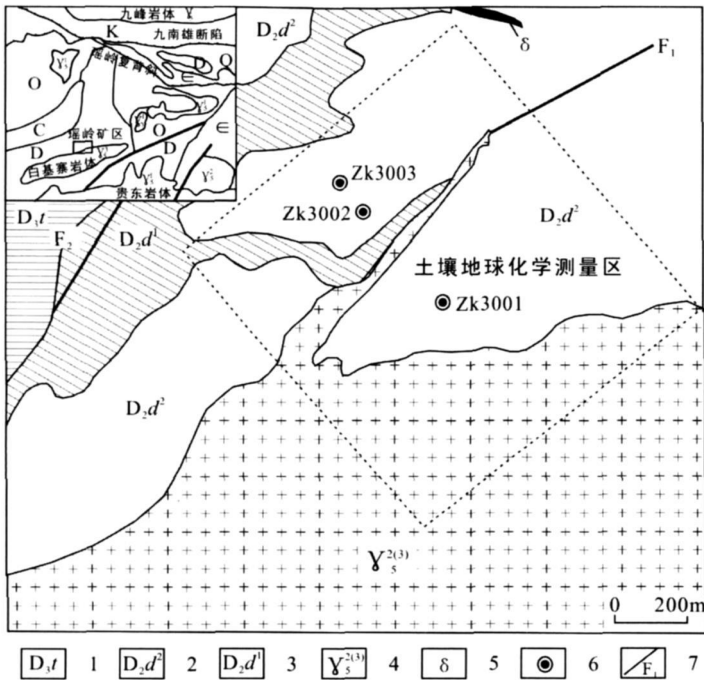
西-印支凹陷区内, 处在大东山-贵东-九连山东西向构造岩浆带中部北侧, 是赣南-粤北钨矿带的重要组成部分, 矿山位于曲仁构造盆地和九连山褶皱断裂带的交汇部位, 瑶岭复背斜的核部 (胡世杰, 2006)。在区域上, 中生代南岭是钨矿成矿集中区, 含矿岩石主要是与中酸性岩浆岩有关的古生代地层和少量酸性岩体。白基寨区地质情况与区域地质背景基本吻合。

经过对矿区 1:2000 地质填图, 地层主要是中泥盆统东岗岭组, 分为上下两段, 上段 (D_2d^2) 为红褐色强风化的砂卡岩, 下段 (D_2d^1) 为浅灰色砂卡岩。上段强风化的砂卡岩在土壤地球化学扫面分析测试 511 个样品得出风化层的 W 丰度为 $219\mu\text{g/g}$ 比整个南岭地区沉积岩地层中 W 丰度 $12\mu\text{g/g}$ 要高出 20 多倍, 在地表局部有铁帽现象; 下段砂卡岩为含白钨矿的主要地段, 厚 40~460m 不等。通过岩石地球化学测量 413 个样品, 其 W 平均丰度为 $76.22\mu\text{g/g}$ 区内主要有 F_1 和 F_2 两大断裂。 F_1 为一条

收稿日期: 2009-03-19; 改回日期: 2009-09-02

基金项目: 文章受全国危机矿山勘查项目 (200644089) 资助。

第一作者简介: 李社宏 (1977-), 男, 博士研究生, 主要从事地质与成矿研究。Email: shehong_li@sohu.com



- 1 天子岭组灰白色厚层状、块状大理岩; 2 中泥盆统东岗岭组上段中薄层状粉红色强风化砂岩、砂卡岩; 3 中泥盆统东岗岭组下段厚层状灰色砂卡岩;
4 燕山中后期花岗岩; 5. 闪长岩; 6. 钻孔; 7. 断层。

图 1 瑶岭钨矿白基寨矿区地质简图

Fig 1 Geological sketch map of the Baijizhai ore district in the Yaoling tungsten deposits

北东向逆断层, 变形构造不发育; F_2 为近南北向正断层, 靠近大理岩一侧地层中有大量的挤压变形构造, 而相反一边变形并不强烈, 说明在近东西向的拉伸作用后, 西侧曾有过挤压作用。

区内出露的岩浆岩主要有闪长岩脉和花岗岩。灰黑色-灰绿色闪长岩脉出露在北部东岗岭组地层内, 主要由石英、斜长石、角闪石和黑云母等组成。花岗岩主要为二长花岗岩, 与砂卡岩接触面可见钙华现象。在接触带附近常见有土黄色风化花岗岩, 球状风化严重。新鲜花岗岩呈灰白色, 中细粒度结构, 局部岩体裂隙中见细石英脉充填。在花岗岩体中部深切割的河沟段见到有钾化现象。

经勘查, 白基寨矿区主要为砂卡岩型白钨矿。尽管存在少量微小石英细脉, 但至今未发现具有工业价值的石英脉型黑钨矿。

2 白基寨花岗岩体地质特征

2.1 花岗岩体空间分布

白基寨花岗岩出露约占全矿区面积的 1/4 主要分布在南部(图 1)。花岗岩的水平面分布可以通

过地质填图来确定(图 2A), 但是, 花岗岩向下延伸后空间分布如何? 白钨矿化与花岗岩体的空间关系如何? 对这些问题我们采用物探磁法测量和钻探方法对其进行了探讨。

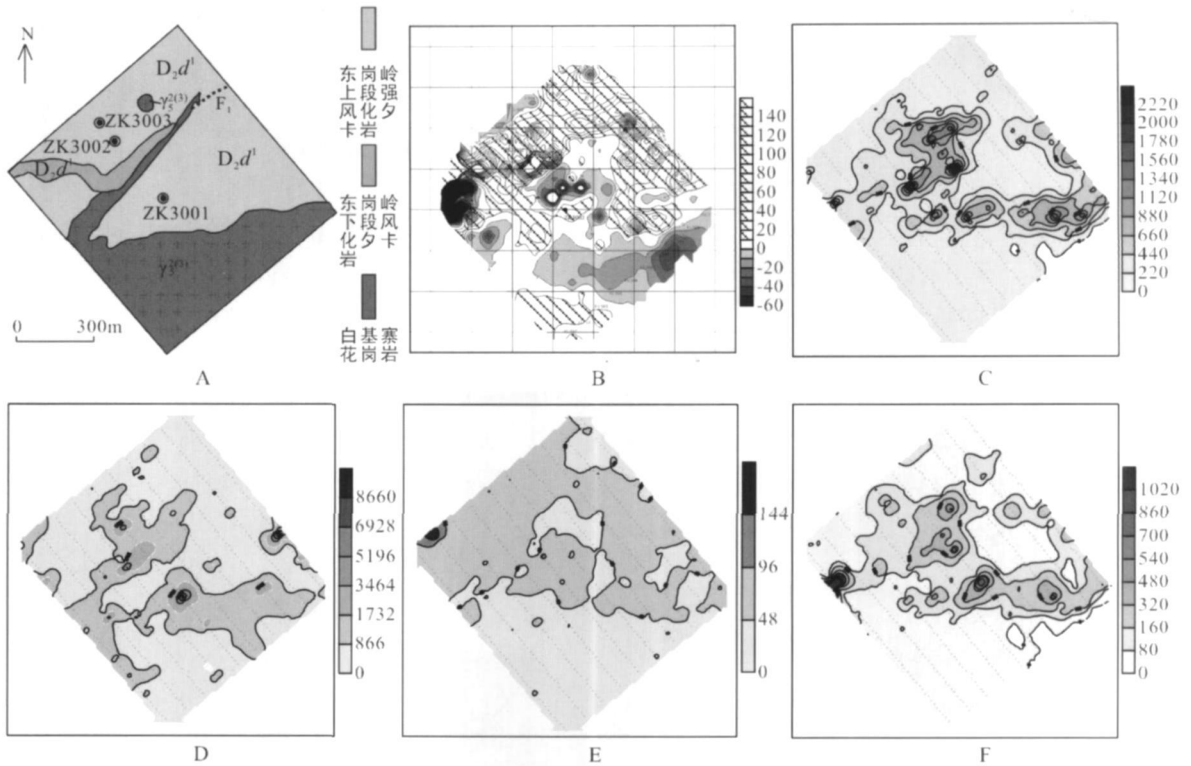
通过对矿区各类岩石磁性测量, 发现矿区花岗岩磁性值在 $0.1 \times 10^{-6} \sim 25.7 \times 10^{-6} 4\pi \text{ SI}$ 间, 平均 $6 \times 10^{-6} 4\pi \text{ SI}$ 为低磁异常。对矿区部分地表进行了磁法和土壤地球化学测量(图 1), 低磁异常整体与地表出露的花岗岩基本吻合, 与向北延伸裸露花岗岩完全耦合, 这说明磁异常完全可以指示隐伏花岗岩在空间的分布特征。从 ΔT 磁法异常(图 2B)知, 花岗岩在矿区中东部为一个凹勺形状, 水平延伸到矿区东北部后倾角逐渐变陡, 然后向深部继续延伸。花岗岩向北和北西侧的延伸以地表出露的花岗岩带为边界向下延伸, 倾角较陡。沿地表出露的细条状花岗岩带深部可能为 F_1 的深大断裂向西南方向的延伸, 花岗岩的边界可能与此断裂有关系。由 ΔT 磁法异常分析凹勺状内部是成矿有利部位, 其中凹勺内的几个高磁异常区是找矿靶区。

钻孔中控制了隐伏花岗岩的纵向展布。在 3 个钻孔中发现花岗岩顶面到地表的距离为 40~154m(图 3), 倾伏角小。花岗岩体向北离地表距离加大, 过 ZK3002 倾角明显变大。中部出露的花岗岩正在此段花岗岩的顶部, 这与 F_1 断裂位置基本吻合, 暗示花岗岩空间格局可能与此断裂有关。白钨矿化体正好位于花岗岩顶部的外接触带, 内接触带也有少量矿化。

2.2 岩浆对上部地层的地球化学作用

采用 $100\text{m} \times 20\text{m}$ 的规格, 对覆盖面积 1km^2 地表进行 1:10000 的土壤地球化学测量, 分析花岗岩对上部地层的地球化学作用。主要测试了 W、Sn、Mo、Bi、Be、F、B、Pb、Zn、Ag、Au、As、Li 和 Cu 这 14 种元素。W 的异常主要在花岗岩体的边部(图 2C)。

其中部分元素的异常情况见图 2C-E。首先, 挥发性元素 F 的丰度极高(图 2D), 主要在花岗岩的边部。这说明很可能岩浆富含挥发份, 挥发份在岩浆侵位时, 通过岩浆顶部向上运移进入地层, 从而引起近花岗岩上覆地层富含挥发份元素。其次, Li、Be 等元素一般在酸性岩石中丰度大。而在异常图中, 地层却比酸性岩含量高(图 2E), 可能说明这些元素



A. 测量区地质简图; B. ΔT 磁法异常图; C. W 异常图; D. F 异常图; E. Li 异常图; F. Bi 异常图。

图 2 地质、物探和化探异常图

Fig 2 Sketch diagrams for geological geophysical and geochemical abnormalities

来自花岗岩,从而导致地层中含量高,而花岗岩内比较低。最后, W 的异常与 Bi Be F 等元素异常(图 2F)范围耦合性最好,这些元素与花岗岩关系密切,也反映出钨矿化分布与花岗岩向下的空间格架有关。

由以上分析知,由于岩浆作用,有大量的挥发份和其他元素从岩浆中分离出来,以挥发份或其他形式进入上覆地层,从而形成地层中元素地球化学的异常分布。

2.3 花岗岩矿物学特征

白基寨花岗岩主要为二长花岗岩和极少量的斑状二长花岗岩。在钻孔中发现的斑状二长花岗岩在二长花岗岩内,两者为渐变接触关系,本文统称为花岗岩。

二长花岗岩中主矿物有钾长石 30% ~ 50%, 斜长石 30% ~ 45%, 石英 20% ~ 25%。副矿物主要为磷灰石、锆石、电气石和微量石榴石等。岩石有少量的次生矿物,一般为粘土、绢云母、绿泥石、绿帘石、黄铁矿和微量的碳酸盐等。斜长石一般自形-半自形,土化、绢云母化明显,表面比较脏,有的具净边结构。钾长石多半自形,边界不规则,有土化、碳酸盐化等,部分钾长石中具有斜长石、白云母、暗色矿物等的包体,矿物常具有格子双晶。石英它形,一般镶

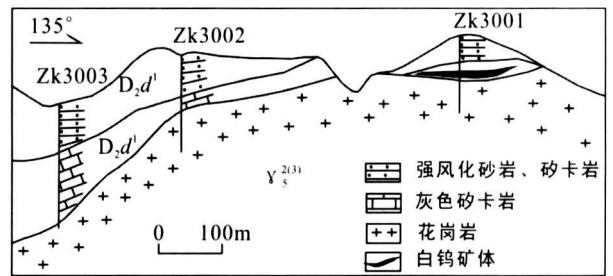


图 3 白基寨矿区花岗岩纵向空间分布图

Fig 3 Vertical distribution map of the granite in the Baijizhai ore district

嵌于长石空隙间。暗色矿物多已经被绿泥石、绿帘石、白云母等交代,主要呈黑云母等假象。岩石内常有被硅质、碳酸盐、绢云母、石英等充填的裂隙。

斑状二长花岗岩斑晶为斜长石、钾长石等,一般在 5% ~ 10% 间。基质为钾长石 30% ~ 45%、斜长石 30% ~ 35%、石英 20% ~ 25%、暗色矿物 < 2% 等。基质与斑晶矿物基本一致。矿物特征与二长花岗岩中矿物特征基本相同。岩芯编录过程中从斑状二长花岗岩和二长花岗岩色调、组成和两者的接触关系和空间分布推测斑状二长花岗岩可能为结晶分异的不同产物。

2.4 花岗岩矿化特征

矿区除在砂卡岩内发现矿体以外,在花岗岩中也发现有白钨矿化线索。这里首先定义矿化花岗岩,是指具有白钨矿化,品位相对较低,不全或者未达到工业品位的白钨矿化花岗岩。这些矿化花岗岩一般在花岗岩的内接触带上。多数花岗岩的结构致密,少量有较多的小断裂发育。矿化有两种,一种为与断裂关系密切的星点状或丝状白钨矿化;另一种为与断裂关系不密切的星点状或浸染状白钨矿化。

与断裂关系密切的白钨矿化主要在花岗岩裂隙中填充,与碳酸盐、小石英脉等伴生,是后期成矿物质充填裂隙结晶而成。白钨矿沿裂隙分布,局部可以聚集成丝带状。成矿晚于花岗岩成岩,同时在裂隙边部有自形的白云母生成,绿帘石化特征明显。

与裂隙关系不密切的白钨矿化主要在岩石的孔隙中充填。白钨矿和少量碳酸盐在长石和石英的孔隙中充填,白钨矿一般呈星点状或浸染状分布,个别白钨矿边有少量星点状的铅锌矿和辉钼矿。

3 白基寨花岗岩地球化学特征

3.1 主量元素特征

采集钻孔中 14 件新鲜的花岗岩石标本,分析岩石地球化学参数列于表 1。其总的特征为: SiO_2 在 73.84% ~ 76.74% 间,高 SiO_2 表明岩浆为过饱和型。 Na_2O 在 2.17% ~ 3.32% 间, $K_2O/Na_2O > 1$, 在 SiO_2-K_2O 图中投点在高钾钙碱性和钾玄岩区。 Fe_2O_3 略大于 FeO 。因为 $SiO_2 > 70%$, 所以采用 AR 计算碱度率,其值 2 附近,根据 K_2O-SiO_2 图解(图略)很显著的落在钙碱性或钾玄岩的范围内。 $ACNK$ 大于 1, 为过铝型花岗岩(图 4)。 CaO/Na_2O 在

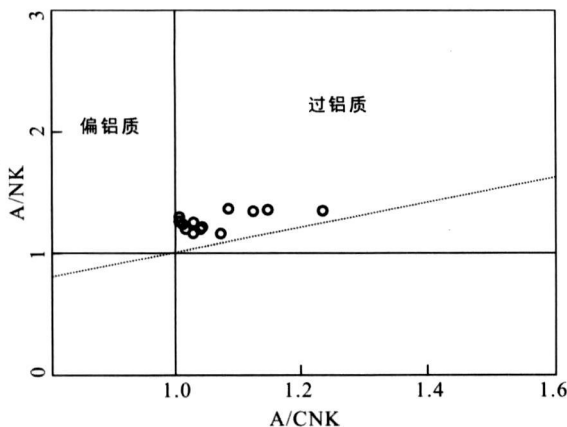


图 4 白基寨花岗岩 A/CNK-A/NK 图

Fig 4 A/CNK-A/NK diagram for the Baijizhai granite

0.3 附近, Rb/Ba 比值在 3.6 ~ 8.6 之间(邓晋福等, 2004), 源岩为硬砂岩和泥质岩的混合成分, 其中泥质岩成分更多一些。 Al_2O_3/TiO_2 绝大部分大于 100 暗示含钛物质(黑云母、钛铁矿)多数已经结晶离开熔浆, 推测岩浆结晶形成较低温($< 900^\circ C$)环境。同时 TiO_2 、 FeO 和 P_2O_5 的含量均明显低于华南-右江造山带的丰度(迟清华和鄢明才, 2007), 其中 TiO_2 主要因为钛铁矿、锆石等结晶分离导致含量降低, P_2O_5 低可能是因为磷灰石较早结晶析出的原因。

3.2 微量元素地球化学特征

稀土总量为 72.1 ~ 184.7 $\mu g/g$ 大部分在 100 $\mu g/g$ 左右, 低于世界花岗岩(250 ~ 280 $\mu g/g$) 的平均值。LREE 在 44.4 ~ 139.8 $\mu g/g$ HREE 为 6.8 ~ 18.3 $\mu g/g$ LREE/HREE 平均为 7.21, La/Yb 在 1.23 ~ 4.25 范围内。 δEu 在 0.03 ~ 0.09 之间, 岩浆分异明显。总体来看, 岩石轻重稀土分馏明显, 整体呈现“V”型(图 5A), 具有明显的四分组效应, 与高程度演化的花岗岩岩浆结晶晚期流体/熔体相互作用有关(赵振华等, 1999)。岩浆在分异过程中, 斜长石结晶早, 对 Eu 的负异常起了作用。重稀土元素富集主要因为样品中有微量石榴石的存在。

微量元素表现为 Ba、Nb、P 和 Ti 相对亏损, Rb、Ta、Th 和 K 等大离子亲石元素富集(图 5B)。

Y/Ho 比值可以用来示踪岩浆体系中流体-熔体相互作用(Liber, 1999)。 Y/Ho 大于 28 一般由 F 的络合物引起, 小于 28 多为重碳酸盐络合物引起。本文中 Y/Ho 比值在 29 ~ 33 之间, 表明流体中有大量的 F 存在, 这与地表化探测量发现大量 F 异常吻合。 Zr/Hf 一般在花岗岩中为 3.8 当有流体和熔体相互作用时(Alaux et al., 1993), 熔体中 Zr/Hf 增大, 流体中 Zr/Hf 比值就会减小。当 Zr/Hf 比值小于 2.5 时, 表明有流体作用存在过, 并且样品有明显的四分组效应。文中所有样品 Zr/Hf 在 1.6 ~ 2.1 之间, 这与稀土呈现海鸥模式所表现的四分组效应一致, 是成矿流体从岩浆熔体中分离出来的证据之一(赵振华和增田彰正, 1992; 赵振华等, 1999)。

4 动力学及成矿意义

南岭地区与钨矿有关的燕山期花岗岩一般认为与陆壳重容花岗岩有关(中国科学院贵阳地球化学研究所, 1979), 而李献华等(2007)认为这种花岗岩与应归为“分异 I 型花岗岩”, 同时也有人提出质疑

表 1 白基寨花岗岩主量(%)、微量元素含量表($\mu\text{g/g}$ Au ng/g)

Table 1 Contents of major(%) and trace elements($\mu\text{g/g}$ Au ng/g) of the Bajizhai granite

名称	X141	X142	X143	X144	X145	X146	X147	X148	X149	X150	X151	X153	X154
SD ₂	73.84	74.92	74.66	75.32	74.56	75.28	76.74	74.6	74.28	73.84	75.56	75.32	74.64
Al ₂ O ₃	12.98	12.92	13.13	12.83	12.13	12.82	12.08	12.57	12.98	13.25	12.82	12.74	12.87
TD ₂	0.12	0.11	0.12	0.13	0.15	0.1	0.05	0.12	0.11	0.13	0.1	0.09	0.12
F ₂ O ₃	0.71	0.96	0.54	0.52	0.44	0.5	0.37	0.61	0.46	0.81	0.57	0.44	0.52
FeO	0.67	0.76	0.53	0.55	0.65	0.23	0.14	0.53	0.59	0.55	0.38	0.38	0.5
CaO	1.32	1.06	1.28	1.24	1.32	0.42	0.38	0.85	1	0.98	0.81	0.81	0.85
MgO	0.52	0.43	0.43	0.43	0.71	0.58	0.34	0.64	0.5	0.18	0.15	0.31	0.37
K ₂ O	5.53	4.9	4.82	4.59	4.9	5.58	5.82	5.06	5.3	5.54	5.1	4.98	5.26
Na ₂ O	2.17	3.21	3.28	3.32	2.62	2.18	2.6	2.39	2.42	3.17	3.32	3.28	3.1
MnO	0.182	0.057	0.054	0.048	0.071	0.03	0.012	0.039	0.049	0.051	0.038	0.032	0.032
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05
H ₂ O ⁺	0.78	0.43	0.5	0.31	0.82	1.01	0.2	1.37	1.06	0.24	0.48	0.49	0.52
H ₂ O ⁻	0.19	0.17	0.13	0.21	0.44	0.66	0.28	1.07	0.61	0.23	0.27	0.24	0.23
IOI	1.98	1.06	1.32	0.97	1.95	1.57	0.96	2.36	1.93	0.9	0.88	0.98	1.27
AR	1.87	2.70	2.67	2.79	2.28	1.98	2.43	2.11	2.06	2.61	2.90	2.88	2.65
CaO/Na ₂ O	0.61	0.33	0.39	0.37	0.50	0.19	0.146	0.356	0.413	0.31	0.24	0.25	0.27
Al ₂ O ₃ /TD ₂	108.2	117.5	109.4	98.69	80.87	128.2	241.6	104.8	118	101.9	128.2	141.6	107.3
La	14.2	15.9	16.0	17.3	16.6	12.1	8.6	19.6	14.0	31.5	16.2	18.6	16.7
Ce	31	34	34	37	36	26	20	42	32	68	35	40	35
Pr	3.98	4.29	4.25	4.76	4.44	3.22	2.90	5.25	4.29	8.45	4.44	4.86	4.51
Nd	15.3	16.4	16.0	18.5	17.0	12.3	12.5	20.3	18.0	31.7	17.3	18.5	17.2
Sm	3.83	4.00	3.74	4.46	4.03	2.95	4.34	4.83	5.48	7.52	4.20	4.41	4.04
Eu	0.27	0.29	0.32	0.30	0.30	0.28	0.18	0.31	0.28	0.43	0.34	0.29	0.35
Gd	3.94	3.98	3.67	4.57	3.96	3.11	5.69	4.81	6.67	7.39	4.34	4.62	4.20
Tb	0.78	0.77	0.67	0.91	0.77	0.61	1.30	0.95	1.45	1.46	0.87	0.93	0.85
Dy	4.83	4.77	4.09	5.71	4.86	3.81	8.41	5.97	9.49	9.21	5.54	5.82	5.32
Ho	0.98	0.94	0.82	1.17	0.99	0.77	1.73	1.23	1.95	1.86	1.11	1.22	1.09
Er	3.09	3.02	2.68	3.77	3.17	2.46	5.48	4.01	6.29	6.04	3.65	3.96	3.58
Tm	0.60	0.58	0.52	0.74	0.59	0.47	1.03	0.77	1.20	1.19	0.73	0.77	0.70
Yb	4.3	4.2	3.8	5.2	4.3	3.3	7.0	5.5	8.2	8.6	5.4	5.4	5.1
Lu	0.67	0.65	0.61	0.82	0.70	0.53	1.03	0.88	1.26	1.30	0.84	0.85	0.82
Y	30.8	29.6	27.5	36.4	30.9	23.8	49.4	41.2	65.3	61.8	36.1	38.4	35.0
REE	87.9	93.7	91.5	105.7	97.5	72.1	80.6	116.4	110.9	184.7	100.2	109.8	99.9
HREE/LREE	7.45	8.33	9.32	7.38	8.38	7.92	3.05	7.83	4.04	8.18	6.85	7.45	7.20
δEu	0.07	0.07	0.09	0.07	0.08	0.09	0.03	0.07	0.05	0.06	0.08	0.06	0.09
La/Yb	3.30	3.77	4.24	3.30	3.82	3.66	1.23	3.57	1.70	3.67	2.97	3.47	3.25
Rb	747	624	601	543	565	643	610	537	637	580	604	542	573
Zr	88	77	81	83	78	74	66	82	116	131	71	72	78
Nb	26.4	33.2	21.2	27.7	24.4	17.0	43.4	21.4	31.7	32.3	24.3	24.1	20.9
Ba	132	129	104	118	124	120	135	122	95	141	138	91	158
H	4.65	3.98	3.93	4.14	3.90	3.45	4.06	3.95	5.68	6.44	3.60	3.48	4.00
Ta	5.58	8.17	4.38	6.72	5.05	3.82	9.22	4.87	6.60	7.86	6.56	7.83	5.16
Th	31.2	35.3	34.3	34.3	34.3	31.1	22.8	37.9	33.4	49.9	31.8	30.9	32.9

测试单位: 河北廊坊地质实验室 (主量元素采用压片法 X-射线荧光光谱 (XRF) 分析, 微量元素采用等离子体质谱法 (ICPMS) 分析)。

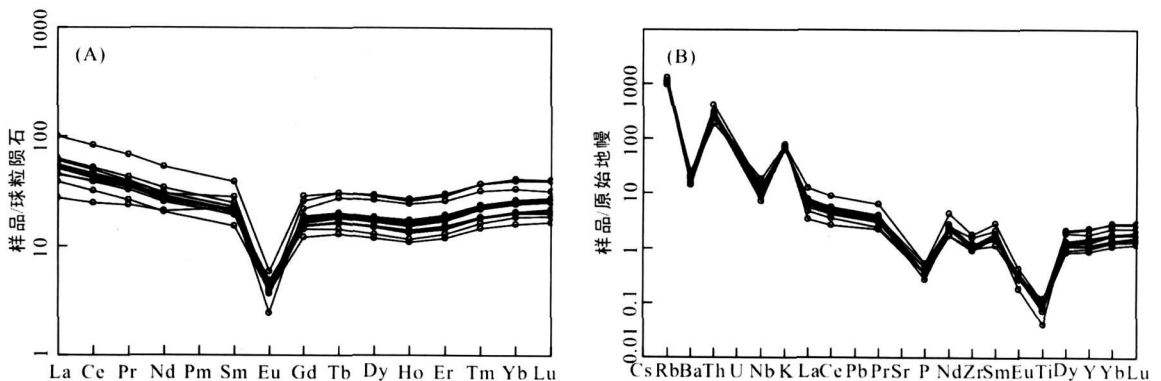


图 5 白基寨花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图 (A) (Boynton, 1989) 和微量元素比值蛛网图 (B) (Sun and McDonough, 1989)

Fig 5 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized spidergrams for the Bajizhai granite.

(汪洋, 2008a, 2008b)。但整体看, 壳源重熔论点占主导地位。一般认为中国东部存在大范围的下地壳拆沉作用, 使下地壳减薄, 地幔物质通过对流或平流方式熔融地壳物质形成大量花岗岩。如果源岩中含有较高 W、Bi 等成矿元素, 在重熔过程中下部物质不但提供成矿需要的热量, 而且也可能提供了部分成矿元素。成矿流体从岩浆中分离出来进入构造有利地段如断裂和节理, 形成石英脉型矿床。

华仁民等 (2005) 把南岭燕山期花岗岩分为早中晚三期。早期为 185~170Ma 反映岩石圈局部“伸展-裂解”和地幔物质的上涌。中期 170~140Ma 为岩石圈全面拉张-减薄, 地幔物质上涌引起地壳物质重熔。晚期岩石圈全面裂解, 但由于受

太平洋构造体系影响, 出现先挤压后拉张的动力学背景。其中中期分为 2 个阶段, 第一阶段 170~150Ma 有大规模的花岗岩侵位; 第二阶段 150~140Ma 发生 W、Sn 等大规模成矿作用。

4.1 动力学意义

在花岗岩构造环境 R_1 - R_2 和判别图中 (图 6), 白基寨花岗岩投图于同碰撞构造环境。广义的同碰撞 (syn-collision) 指洋盆消失以后的陆陆碰撞及其以后有关的继续汇集作用。Babbarin (1996) 将花岗岩分为 7 类, 其中过铝花岗岩有含白云母过铝花岗岩 (MPG) 和含堇青石及黑云母过铝花岗岩。这两类花岗岩一般为壳源, 动力学环境为大陆碰撞 (Sy+vester 1998)。

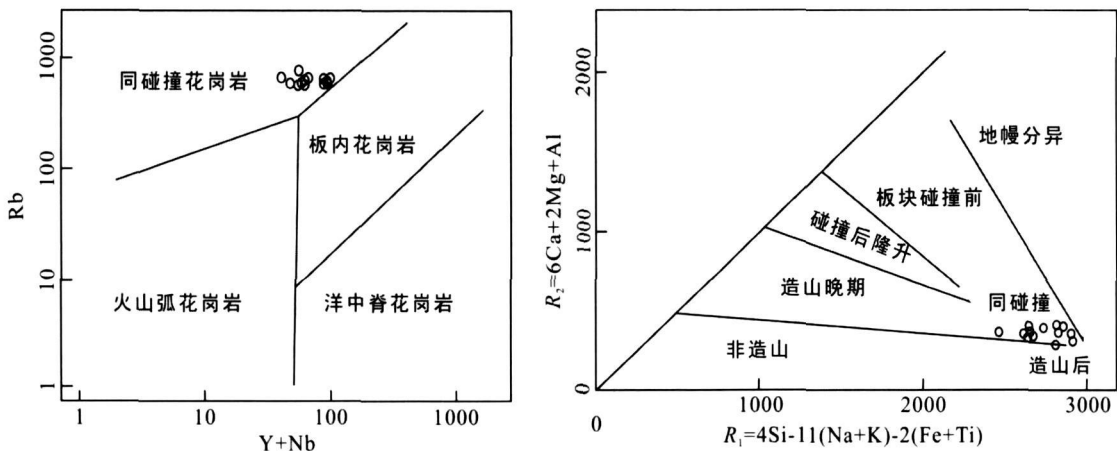


图 6 白基寨花岗岩 $Y + Nb$ - Rb (Pearce et al., 1984) 和 R_1 - R_2 (Batchelor and Bowden, 1985) 构造判别图 (Eby, 1992)

Fig 6 $Y + Nb$ - Rb and R_1 - R_2 diagrams of tectonic setting for the Baijizhai granite

结合主微量元素特征, 白基寨花岗岩体源岩为成熟大陆地台边缘沉积物 (泥质岩) 和不成熟板块边界的沉积物 (砂质岩) 混合而成, 花岗岩为高 K 过铝质花岗岩, 推测其动力学背景应该与过铝花岗岩动力学环境情况相同。根据南岭中段强过铝花岗岩可以分 228~225Ma 和 159~156Ma 两个阶段 (孙涛等, 2003), 前者与华南和华北连成一体的印支造山运动有关 (陈培荣等, 2004; 李曙光等, 1996, 1997; Carter et al., 2001); 后者与燕山运动关系密切。两者均是加厚地壳在减薄环境下生成, 反映了碰撞后的拉张环境。在粤北, 过铝花岗岩多为高温型, 反映了拉张构造环境 (付建明等, 2008; 杨晓君等, 2008; 梁新权和温淑女, 2009), 本文中花岗岩反映的构造背景为同碰撞, 推测白基寨花岗岩可能形成于燕山运动碰撞期, 早于拉张前。

4.2 成矿过程及意义

地质、物探、化探、钻探工程和岩石地球化学分析表明白基寨矿区矿化类型为矽卡岩型白钨矿, 暂未发现有价值的石英脉型黑钨矿。矽卡岩型矿床与所依附的岩体关系密切, 如果具备成矿元素、热量、流体相互作用和成矿空间等条件是非常有利于成矿的。那么白基寨花岗岩是否有这些成矿条件了?

矿区过铝花岗岩源岩为泥质岩与少量硬砂岩混合, 原岩中可能含有高的 W 丰度。在矿区古生代地层中, 成矿元素和与成矿相关的元素含量均比较高。

高挥发份和低粘度的特征有助于岩浆上侵, 成矿流体聚集和向上运移, 高分异演化岩浆有利于成矿 (华仁民等, 2007)。根据岩石地球化学和地表土壤地球化学测量知道高挥发份 F、Cl 等不仅在花岗岩体中存在, 而且在岩浆就位后进入地层, 使上覆地层中也具有高的 F、Cl 等异常。部分在花岗岩和地

层中形成萤石、电气石等。

从稀土元素的海鸥型四分组效应知道, 这种现象与高演化的花岗岩岩浆结晶晚期存在流体和熔体的强烈相互作用有关。一般认为成矿流体在岩浆上侵过程中, 温压条件变化导致多次沸腾作用, 使成矿流体从岩浆分离出来, 从而在有利部位成矿, 这被在 ZK3001 中花岗岩体顶部形成爆破角砾岩证明。无论白基寨成矿流体来自花岗岩浆自身还是透过花岗岩浆来自深部 (罗照华等, 2007a, 2007b), 在岩浆演化后期, 都存在强烈流体和熔体的相互作用。这种作用对成矿起到重要作用。

通过白基寨花岗岩成矿特征分析, 矽卡岩型的白钨矿主要在花岗岩的顶部和边缘地段。含 WO_3^{2-} 的成矿流体形成后, 在花岗岩顶部和外部都有扩散, 并经过花岗岩顶部和边部进入地层中。因为: ①在钻探中花岗岩与围岩胶结处见有花岗岩的爆破角砾岩。②还可以见到部分方解石微细脉从围岩中一直连续延伸进花岗岩内。分析当流体遇到含 Ca^{2+} 的碳酸岩盐或其他组分, 形成浸染状、团簇状和星点状的白钨矿化。由于地层倾角小, 节理倾角缓, 所以地层中形成的矿体呈饼状。同时从岩石地球化学元素含量中也发现, 花岗岩和地层中缺少 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子, 所以在白基寨岩体及其附近未发现类似北区一样的石英脉型黑钨矿。

综上推断, 在矿区中部凹勺状区域和 ZK3002-ZK3001 段是找矽卡岩型白钨矿的有利潜在区域。

5 结 论

(1) 白基寨花岗岩出露于瑶岭矿区南部, 空间结构上岩体边部倾伏缓。上覆地层含较多的成矿元素和与成矿相关的元素, 并指示下部岩体有利于成矿。

(2) 该岩体为过铝型花岗岩。具有高分异性 ($SiO_2 > 70\%$, δEu 在 0.03~0.09 之间), 高 K_2O , 且 $K_2O/Na_2O > 1$ 等特征, Ba 、 Nb 、 P 和 Ti 相对亏损, Rb 、 Ta 、 Th 和 K 等大离子亲石元素富集。稀土元素四分组效应明显, 呈海鸥“V”型, 总量偏低, 为 72.1~184.7 $\mu g/g$ 。

(3) 该岩体形成于同碰撞环境下, 早于拉张环境。花岗岩源岩为泥质岩和硬砂岩熔融而成。

(4) 该岩体具有高挥发份、存在强烈流体和熔体相互作用等特征。成矿流体与碳酸岩盐相互作用形成矽卡岩型白钨矿。在矿区中部凹勺状区域和 ZK3002-ZK3001 段是找矽卡岩型白钨矿的有利潜在区域。

致谢: 作者衷心感谢审稿人陈培荣教授和付建明研究员对本文初稿提出的宝贵意见和建议。

参考文献 (References):

- 车自成, 刘良, 罗金海. 2002 中国及其邻区区域大地构造学. 北京: 科学出版社, 428-436
- 陈培荣, 周新民, 张文兰, 李惠民, 范春方, 孙涛, 陈卫锋, 张敏. 2004 南岭东段燕山早期正长岩-花岗岩杂岩的成因和意义. 中国科学 (D 辑), 34(6): 493-503
- 迟清华, 鄢明才. 2007 应用地球化学元素丰度数据手册. 北京: 地质出版社, 11-14
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国. 2004 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社, 177-187
- 付建明, 李华芹, 屈文俊. 2008 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义. 大地构造与成矿学, 32(1): 57-62
- 胡世杰. 2006 石人嶂钨矿构造应力分析. 南方金属, 2006(151): 36-50
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景. 高校地质学报, 11(3): 291-304
- 华仁民, 张文兰, 顾晟彦, 陈培荣. 2007 南岭稀土花岗岩、钨锡花岗岩及其成矿作用的对比. 岩石学报, 23(10): 2321-2328
- 江西省重工业局. 1970 龙南幅 G-50-25 1/20 万区域地质矿产调查报告. 54-72
- 李曙光, Jagouty E, 肖益林, 葛宁洁, 陈移之. 1996 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学——Sm-Nd 同位素体系. 中国科学 (D 辑), 26(3): 249-257
- 李曙光, 李惠民, 陈移之. 1997 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学——II. 锆石 U-Pb 同位素体系. 中国科学 (D 辑), 27(3): 200-206
- 李献华, 李武显, 李正祥. 2007 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报, 52(9): 981-991
- 梁新权, 温淑女. 2009 广东凡口铅锌矿床的走滑构造及成矿模式. 大地构造与成矿学, 33(4): 556-566
- 罗照华, 莫宣学, 卢欣详. 2007a 透岩浆流体成矿作用: 理论分析与野外证据. 地学前缘, 14(3): 165-183
- 罗照华, 梁涛, 陈必河, 辛后田, 柯珊, 张自力, 呈素华. 2007b 板内造山作用与成矿. 岩石学报, 23(8): 1945-1956
- 孙涛, 周新民, 陈培荣, 李惠民, 周红英, 王志成, 沈渭洲. 2003 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. 中国科学 (D 辑), 33(12): 1209-1218
- 汪洋. 2008a 南岭燕山早期花岗岩成因类型的进一步探讨. 地质论评, 54(2): 162-174
- 汪洋. 2008b 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. 大地构造与成矿学, 32(3): 365-381

- 王燕, 陈梦熊, 李明高, 曾永熊. 2006 广东瑶岭钨矿矿化类型多样性及成矿规律研究. *矿产与地质*, 20(4): 334–339
- 王燕, 周圣华, 陈梦熊, 李明高, 曾永熊. 2007. 粤北瑶岭钨矿矿化类型多样性与叠加性研究. *地质与勘探*, 43(3): 1–5
- 杨晓君, 付建明, 马丽艳, 李祥能, 徐德明, 魏君奇. 2008. 粤北始兴地区梅子窝钨锡矿床地质特征及其成矿年龄研究. *大地构造与成矿学*, 32(3): 346–351.
- 张婷. 2007 瑶岭钨矿带成矿地质条件及找矿前景浅析. *甘肃地质*, 16(3): 52–55.
- 赵振华, 增田彰正. 1992 稀有金属花岗岩的稀土元素四分组效应. *地球化学*, 21(3): 221–233.
- 赵振华, 熊小林, 韩小东. 1999 花岗岩稀土元素四分组效应形成机理探讨——以千里山和巴尔哲花岗岩为例. *中国科学 (D 辑)*, (7): 331–338
- 中国科学院贵阳地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学. 科学出版社, 337–339.
- A laux N G, Beaucaire C and Michars G. 1993. Trace metal behaviour in natural granitic waters. *Journal of Contaminant Hydrology*, 13: 309–325.
- Barbarin B. 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. *Geology*, 24(3): 295–298.
- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multivariate parameters. *Chemical Geology*, 48: 43–55.
- Carter A, Roques D, Bristow C et al. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic tectonism (Indonesian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29: 211.
- Iber W. 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho and Zr/Hf in evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (63): 489–508.
- Pearce JA, Harris NBW and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956–983.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D and Norry M J (eds). *Magnetism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication 42: 313–345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos*, 45: 29–44.

Geological Characteristics of the Baijizhai Granite and Its Metallogenetic Significance in the Yaoling Tungsten Deposits

LI Shehong^{1,3}, LI Wenqian¹, DING Yujing², LIU Jianping^{1,3},
LIANG Qianyong^{1,3} and CAO Zhiming⁴

(1 Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640 Guangdong, China; 2 Geological Survey Institute of Qinghai Province, Xining 810012 Qinghai, China; 3 Graduate University of CAS, Beijing 100049 China; 4 Nonferrous Metals Geological Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510080 Guangdong, China)

Abstract The major quartz vein wolframite occurs in the Yaoling tungsten deposits, where there is new found skarnscheelite without wolframite in the Baijizhai area. We identified the same range characters and geochemistry of the Baijizhai granite by drilling geological, geochemical and geophysical surveys. The granite is high differentiation ($SiO_2 > 70\%$, the value of δEu is between 0.03 and 0.09), high K_2O content ($K_2O/Na_2O > 1$), relative depleted in elements Ba, Nb, P and Ti; rich in Rb, Ta, Th and K. REEs have a significant four cluster effect “V”. The original rock of the Baijizhai granite is a mixture of argillaceous rocks and greywacke and a collisional product of mature continental margins. The granite was formed in a syn-collision setting. There are a few favorable conditions to form tungsten deposits, such as a small angle of granitic edge, upward migration of high-volatile elements, a strong interaction of fluids and melts. Finally, scheelite mineralization occurs at the edge of granitic rock bodies by the interaction of rock-forming fluids and carbonate rocks. Central soon-shaded concave sites and the ZK3002-ZK3001 zone are potentially favorable regions to prospect skarnscheelite deposits.

Keywords Yaoling tungsten deposits, Baijizhai peraluminous granites, skarnscheelite deposit