

南岭地区钨锡铌钽花岗岩及其成矿作用

陈 骏, 陆建军, 陈卫锋, 王汝成, 马东升, 朱金初, 张文兰, 季峻峰

(南京大学 地球科学与工程学院, 成矿作用国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 在晚侏罗世时, 南岭地区发生了与花岗岩有关的钨锡铌钽大规模成矿作用。依据花岗岩的岩石学、地球化学及其矿化特征, 可将南岭地区含钨锡铌钽花岗岩划分为三个主要类型: 含钨花岗岩、含锡钨花岗岩和含铌钽花岗岩。含钨花岗岩的地球化学特征可归纳为铝过饱和, 低 Ba+Sr 和 TiO_2 , 轻重稀土比值低, 钨亏损强烈, 富 Y 和 Rb, Rb/Sr 比值高, 分异强烈。含锡钨花岗岩总体特征表现为 TiO_2 含量高, 准铝质—弱过铝质, 轻重稀土比值和 $CaO/(K_2O+Na_2O)$ 比值高, 富高场强元素、稀土、Ba+Sr 和 Rb, 低 Rb/Sr 比值, 分异演化程度较低。含铌钽花岗岩的地球化学特征主要为 TiO_2 含量和 $CaO/(K_2O+Na_2O)$ 比值低, Al_2O_3/TiO_2 和 Rb/Sr 比值明显偏高, 强过铝质, 贫 Ba+Sr、稀土和高场强元素, 钨亏损强烈, 明显富 Rb 和 Nb, 高度分异演化。三类含矿花岗岩具有明显不同的演化特征, 成矿作用与它们的演化密切相关。黑云母花岗岩主要与锡成矿作用有关, 二云母花岗岩和白云母花岗岩主要产生钨矿化或锡钨共生矿化, 钠长石花岗岩主要与铌钽或锡(钨)铌钽矿化有关。总结了南岭钨锡铌钽矿床的重要类型, 提出了绿泥石化花岗岩型锡矿新类型, 指出南岭地区要特别注意在含锡钨花岗岩中寻找此类锡矿和云英岩—石英脉型锡矿。

关键词: 含矿花岗岩; 地球化学; 花岗岩演化; 钨—锡—铌—钽矿床类型; 南岭

中图分类号: P588.121

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493 (2008)-04-0459-15

W-Sn-Nb-Ta-Bearing Granites in the Nanling Range and Their Relationship to Metallogenesis

CHEN Jun, LU Jian-Jun, CHEN Wei-Feng, WANG Ru-Cheng, MA Dong-Sheng,
ZHU Jin-chu, ZHANG Wen-lan and JI Jun-Feng

(School of Earth Sciences and Engineering, State Key Laboratory of Mineral Deposits Research,
Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The large-scale mineralizations of W, Sn, Nb and Ta related to granites took place in the Late Jurassic period in Nanling Range, South China. According to the petrological and geochemical features of ore-bearing granites and their relationship to mineralizations, they can be grouped into the following three major types: W-bearing granites, Sn-W-bearing granites and Ta-Nb-bearing granites. The W-bearing granites show low TiO_2 and Ba+Sr contents and LREE/HREE ratios, intensive Eu depletion, high Rb and Y abundances and Rb/Sr ratios, and oversaturation in Al. They commonly underwent intensive differentiation and evolution. The Sn-W-bearing granites are characterized by enrichment of TiO_2 , total REE, HFSEs, Ba+Sr and Rb, higher $CaO/(K_2O+Na_2O)$ and LREE/HREE ratios, metaluminous—weakly peraluminous feature and lower Rb/Sr ratios, and weaker differentiation and evolution. The Ta-Nb-bearing granites have very low TiO_2 , Ba+Sr, total REE and HFSEs contents and $CaO/(K_2O+Na_2O)$ ratios, higher Al_2O_3/TiO_2 and Rb/Sr ratios, higher Rb and Nb contents, and ACNK values. They are highly evolved. Good discrimination can be obtained between these three types of W-Sn-Nb-Ta-bearing granites on plots employing Nb—Y—Ce, (Ba+Sr)—Rb—(Zr+Nb+Ce+Y), LREE/HREE—Rb/Sr and LREE/HREE—(Zr+Nb+Ce+Y) diagrams. These

收稿日期: 2008-11-27; 修回日期: 2008-00-00

基金项目: 本项目得到中国地质调查局调查项目“南岭重要金属矿床成矿机理研究和找矿潜力预测”(1212010632100)和国家自然科学基金重点项目(批准号: 40730423)资助

作者简介: 陈骏, 男, 1954年生, 教授, 博士生导师, 国家杰出青年基金获得者, 主要从事矿床地球化学和表生地球化学研究; E-mail: chenjun@nju.edu.cn

three types of ore-bearing granites have obviously different evolutionary trends. Metallogenesis is intimately related to the evolution of the ore-bearing granites. Mineralizations of Sn, W or W-Sn and Nb-Ta or Sn-W-Nb-Ta are closely related to biotite granites, two-mica granites or muscovite granites and albite granites respectively. The important deposit types of W, Sn, Nb and Ta and their major features in the Nanling Range are summarized in the paper. The chloritized granite type tin deposit is proposed. This paper indicates that an attention to searching for both the chloritized granite type tin deposits and greisen-quartz vein type W-Sn deposits in W-Sn-bearing granites in the Nanling Range should be especially paid.

Key words: ore-bearing granite types; geochemistry; evolution of granites; W-Sn-Nb-Ta deposit types; Nanling Range

南岭地区是世界著名的W-Sn-Nb-Ta多金属矿产地,资源丰富,开采历史悠久。长期以来,我国地质工作者对南岭地区花岗岩与成矿作用关系开展了大量卓有成效的研究工作,取得了令人瞩目的重要成果,发现了一大批大型、超大型矿床。南岭地区不仅有历史悠久、享誉全球的西华山钨矿、瑶岗仙钨矿、岿美山钨矿、柿竹园锡钨钼铋多金属矿等一系列矿床,而且还探明了一系列中到超大型的矿床,如芙蓉超大型锡矿、牛岭钨矿、金船塘锡铋矿、锡田锡钨矿、荷花坪锡铅锌矿和大坳-挂沟冲锡钨矿等,显示出巨大的找矿潜力。大量研究表明,南岭地区的成矿作用主要发生在中生代(毛景文等,2007;华仁民等,2005),而且成矿作用与该区分布广泛的花岗岩有密切的成因联系(中国科学院广州地球化学研究所,1979;莫柱荪等,1980;南京大学地质系,1981;陈毓川等,1989;地矿部南岭项目花岗岩专题组,1989)。前人对含矿花岗岩的成因已经进行了长时间的深入研究,提出了许多看法。Xu等(1984)将华南与W, Sn, Nb和Ta矿化有关的花岗岩归于陆壳改造型。王联魁等(1982)将南岭成矿花岗岩称之为“南岭系列”,认为成岩作用以陆壳重熔为主。中国科学院贵阳地球化学研究所(1979)研究提出,W, Sn, Be, Nb和Ta等矿化与重熔花岗岩和交代花岗岩有关。Li等(2007b)依据 $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ 的研究指出,南岭燕山早期的含角闪石花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩-黑云母钾长花岗岩-二(白)云母花岗岩为准铝质-弱过铝质的I型/分异I型花岗岩演化系列,花岗岩源岩主要为元古代火成岩。这个演化系列包括了南岭与钨锡铍钼等矿化有关的花岗岩。汪洋(2008)提出南岭二云母花岗岩和白云母花岗岩并非分异I型花岗岩,而是地壳部分熔融产物。

部分研究者将南岭沿郴州-临武断裂北东向分布的与锡、钨矿化有关的花岗岩归于A型花岗岩(如Li et al, 2007; 蒋少涌等, 2006; 朱金初等, 2007a, b, 2008)。虽然对华南花岗岩的成因认识还存在分歧,复杂的成矿过程仍需进一步研究,但有关花岗岩及其与成矿关系方面的研究进展,加深了对南岭地区花岗岩成矿作用的理解。笔者近几年对南岭一些矿床及其有关的矿花岗岩进行了详细野外考察,对含矿花岗岩(本文指含钨锡铍钼矿化花岗岩)的特征、花岗岩演化与成矿关系以及矿床类型和成矿规律等方面开展了初步研究,取得了一些认识和成果。

1 含矿花岗岩的类型

含矿花岗岩具有独特的地球化学性质、成矿元素组合以及岩石成因。前人对含矿花岗岩进行了不同的分类。Pollard等(1987)将钨锡多金属矿化花岗岩归纳为富氟和富硼两类。最近,Černý等(2005)在国际经济地质学会出版的“Economic Geology 100th Anniversary Volume”中根据成矿元素组合将含矿花岗岩划分为含W-Sn-Mo矿花岗岩、含Nb-Ta-Zr-U-REE-Sn-W-Li-Be和稀有金属花岗岩及含Li-Rb-Cs-Be-Ga-Sn-Ta-Nb和稀土元素花岗质伟晶岩。南岭地区的含矿花岗岩同样存在多种类型。Xia & Liang(1984)将它们分为含钨花岗岩和含钼钨花岗岩。章振根(1983)将与锡矿化有关的花岗岩称为3B花岗岩(即富B, Be和Bi)。毛景文(1997)把含锡钨花岗岩称之为BELIF花岗岩(即富Be, Li和F)。王联魁和黄智龙(2000)认为华南钨锡铍钼矿化与中生代Li-F花岗岩有关。本文依据含矿花岗岩的成矿组合、地质和地球化学差异,将南岭地区钨锡铍钼花岗岩归纳为三个主要类型,即含钨花岗岩、含锡钨花

岗岩和含铌钽花岗岩。

含钨花岗岩的代表性岩体有大吉山、西华山、漂塘、木梓园和瑶岗仙等(图1),以钨矿化为主。该类花岗岩为岩浆分异作用形成的不同岩相组合的多相岩体,岩石类型主要包括黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩,其中黑云母花岗岩为主体,二云母花岗岩和白云母花岗岩为次,皆为小岩体,且与钨矿化关系更为密切。该类花岗岩中常含有富铝矿物如锰铝榴石。

含锡钨花岗岩以花山、九嶷山、骑田岭、尖峰岭、癞子岭、千里山、王仙岭和锡田等岩体为代表,它们沿郴县—临武断裂呈北东向分布(图1),矿化或以锡为主,或以钨为主,或为锡钨共生。以锡矿化为主的花岗岩主要为黑云母花岗岩,如荷花坪、香花岭和芙蓉等锡矿区的含矿岩体。以钨矿化为主的花岗岩为多相岩体,岩石类型主要包括黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩,以黑云母花岗岩为主体,而与钨矿化关系密切的二云母花岗岩和白云母花岗岩分布较少,以香花铺和新田岭等钨矿区含矿岩体为代表。与锡钨矿化有关的花岗岩也为多相岩体,主要由黑云母花岗岩和二云母花岗岩组成,有时出现白云母花岗岩(如九嶷山矿田金鸡岭含矿岩体),锡钨矿化主要与二云母花岗岩或白云母花

岗岩密切相关,以九嶷山(付建明等,2004;刘树生等,2005)和锡田岩体(马铁球等,2005;余阳春等,2006)为代表。

含铌钽花岗岩为钠长石花岗岩,与黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩一起构成多相岩体,其中黑云母花岗岩为主体。钠长石花岗岩规模较小,呈岩株状,主要分布于岩体的顶部,如湘东钨铌矿、香花铺钨铌矿、栗木锡铌矿和宜春414铌矿,是铌钽矿体的主要载体。含铌钽花岗岩既可以形成以铌钽为主的矿床(如414矿),也可以与钨、锡矿化花岗岩共生,如湘东钨铌矿、香花岭锡铌矿、栗木锡铌矿等。含铌钽花岗岩或与其伴生的花岗岩中云母往往含锂较高,常为铁锂云母或锂云母。

2 不同类型含矿花岗岩的地球化学特征

南岭地区三类含矿花岗岩的地球化学参数列于表1。由表1可见,三类含矿花岗岩富硅和碱质,其 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量平均在8.24%以上, SiO_2 含量平均在72.46%以上,在 $\text{SiO}_2\text{-A}\cdot\text{R}$ 分类图解中落入碱性花岗岩区(图2)。同世界上其它地区的W-Sn-Nb-Ta矿化花岗岩相似(Badanina et al, 2006; Cocherie et al, 1991; Lehmann, 1990; Ray et

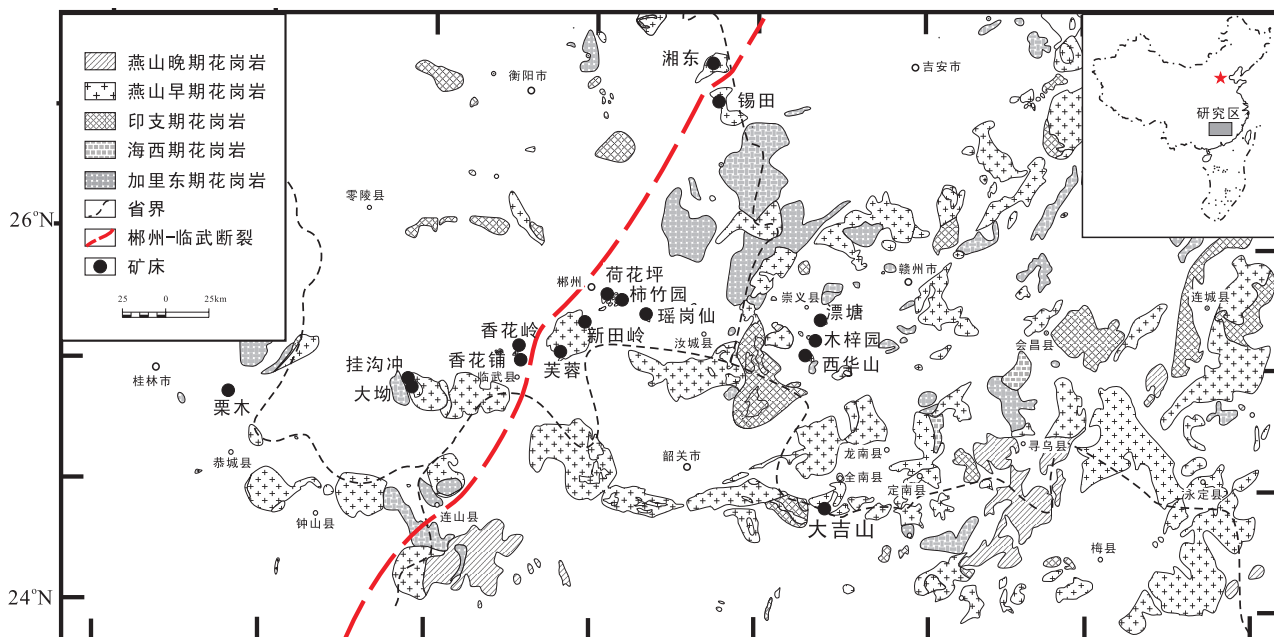


图1 南岭地区花岗岩及某些W-Sn-Nb-Ta矿床分布

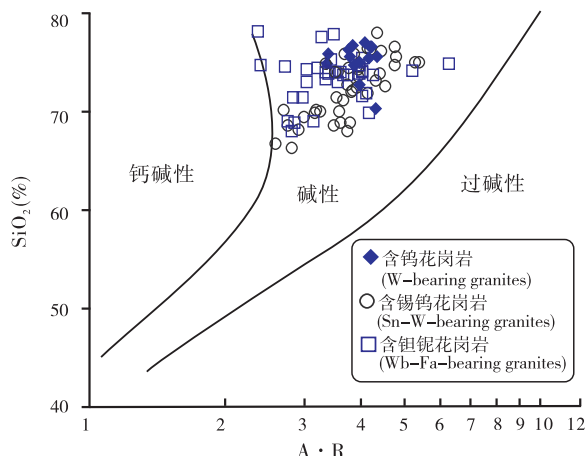
Fig. 1 Distribution of granitoids and some W-Sn-Nb-Ta deposits in the Nanling Range

表1 南岭地区三类含矿花岗岩的地球化学特征

Table 1 Geochemical features of three types of W-Sn-Nb-Ta-bearing granites in Nanling Range

地球化学参数	含钨花岗岩(n=14)		含锡钨花岗岩(n=43)		含钽铌花岗岩(n=29)	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
SiO ₂ (%)	70.18~76.96	75.19	66.20~77.98	72.46	67.92~78.07	73.36
TiO ₂ (%)	0.03~0.24	0.10	0.07~0.89	0.33	0.01~0.09	0.04
CaO/(K ₂ O+Na ₂ O)	0.06~0.14	0.09	0.04~0.41	0.17	0.02~0.12	0.05
K ₂ O+Na ₂ O (%)	7.49~10.28	8.24	7.22~9.62	8.37	5.49~10.56	8.38
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	58~530	177	15~171	56	152~1753	705
ACNK	0.95~1.22	1.07	0.90~1.40	0.99	0.90~2.15	1.23
Σ REE (× 10 ⁻⁶)	107~167	132	192~626	337	0.53~50.3	19.1
LREE/HREE	0.67~3.50	1.34	2.87~16.35	9.33	1.15~7.77	2.93
δ Eu	0.01~0.20	0.06	0.02~0.66	0.29	0.02~0.42	0.09
Zr+Nb+Ce+Y (× 10 ⁻⁶)	159~371	241	270~690	459	49.80~144	91.7
Rb/Sr	11.5~163	68.5	1.12~54.76	8.02	21.9~2017	300

注: n为样品数。

图2 南岭花岗岩SiO₂-A·R投影图
(仿Wright, 1969)Fig. 2 SiO₂-A·R diagram for the granites in the Nanling Range
(after Wright, 1969)

al, 2000; Srivastava & Sinha; 1997 Suwimonprecha et al, 1995), 三类含矿花岗岩的Li, Rb, Be, Cs和F以及成矿元素W, Sn, Nb和Ta含量也都较高(Yin et al, 1995; Zhu et al, 2001; 陈骏和周怀阳, 1988; 陈骏等; 2000; 毛景文, 1997; 朱金初等, 2007a, b)。虽然三类含矿花岗岩有许多相似的地球化学特征, 但在岩石化学, 尤其在微量元素地球化学方面也存在明显的差异(表1和图3, 图4)。

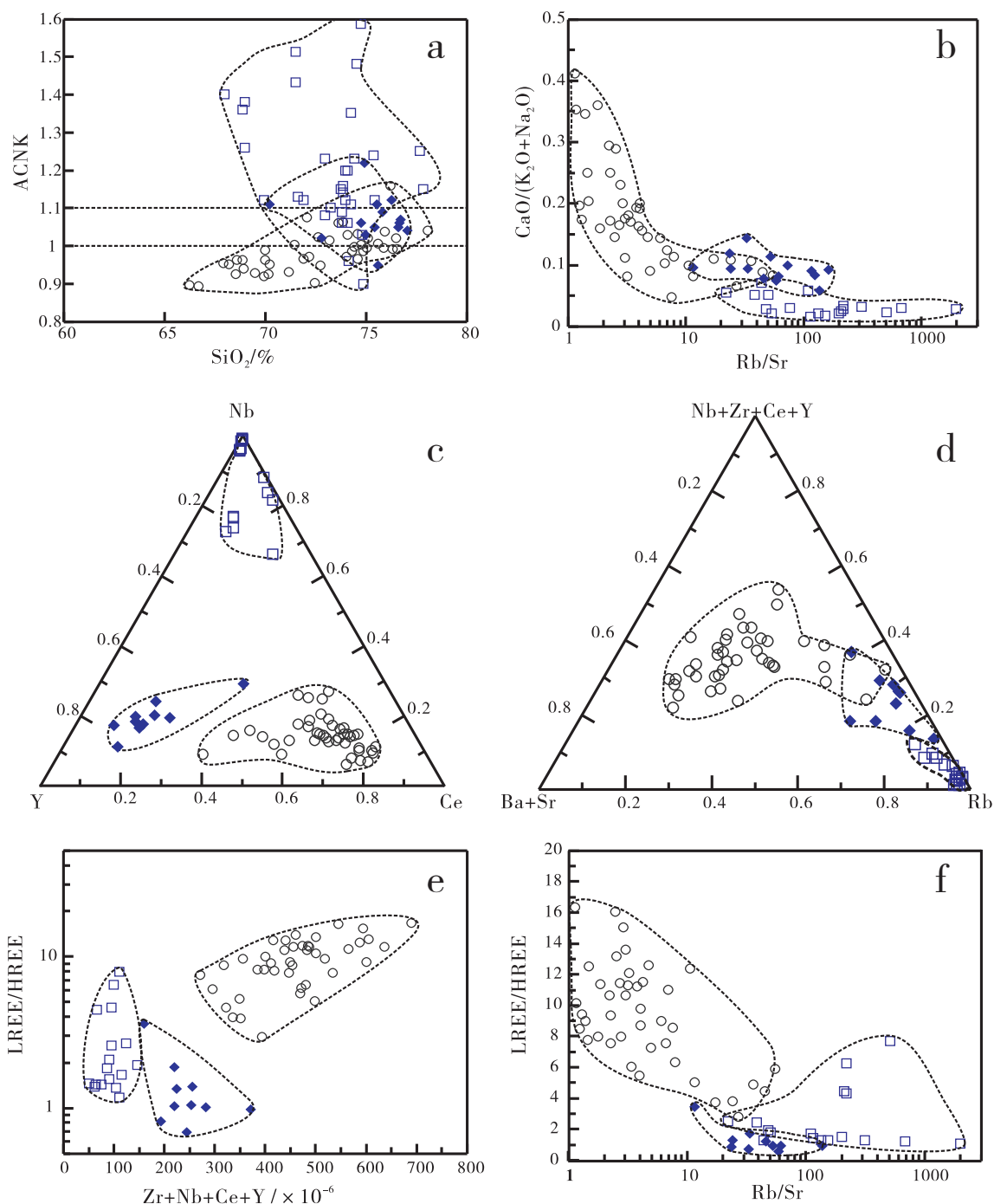
2.1 含钨花岗岩

该类含矿花岗岩SiO₂含量最高(图3a), 平均为75.19%。CaO/(K₂O+Na₂O)比值较低, 平均为0.09, 介于含锡钨花岗岩与含钽铌花岗岩之

间(图3b)。ACNK主要集中在1.0~1.2之间, 平均为1.07, 属弱过铝质—强过铝质。高场强元素Zr+Nb+Ce+Y含量较高, 平均为241×10⁻⁶。Rb/Sr比值较高, 平均为68.5。从图3c-d中可以看出, 含钨花岗岩Y和Rb明显富集, Ce和Ba+Sr含量偏低。REE总量平均为132×10⁻⁶, LREE/HREE比值明显偏低, 平均为1.34, 重稀土相对富集, 铈亏损强烈, δEu介于0.01~0.20, 平均为0.06, 稀土配分曲线呈“V”字型(图4a)。

2.2 含锡钨花岗岩

该类含矿花岗岩TiO₂含量最高, 平均为0.33%; CaO/(K₂O+Na₂O)比值偏高(0.04~0.41), 平均为0.17; Al₂O₃/TiO₂比值最低, 平均为56(表1)。从图3a可以看出, 该类花岗岩中部分岩体的ACNK集中于0.9~1.0, 属准铝质, 这种准铝质花岗岩以锡矿化为主, 如花山、骑田岭、香花岭和王仙岭等岩体; 另一部分花岗岩体的ACNK值在1.0~1.1之间, 属过铝质, 这类花岗岩或以钨矿化为主(如尖峰岭岩体), 或产生锡钨共生矿化(如九嶷山岩体)。含锡钨花岗岩的典型地球化学特征是富含稀土和高场强元素。稀土总量变化范围192×10⁻⁶~626×10⁻⁶, 平均为337×10⁻⁶, 轻重稀土比值平均为9.33, 轻稀土稍富集, 稀土配分曲线呈弱右倾斜(图4b), Zr+Nb+Ce+Y总量较高, 介于270×10⁻⁶~690×10⁻⁶, 平均为459×10⁻⁶。岩石明显富Ce和Ba+Sr, Rb含量偏低(图3c, e)。Rb/Sr比值较低, 平均仅为8.02。



图例同图2 (same symbols as in Fig. 2)

图3 南岭地区不同类型含矿花岗岩的地球化学成分变化

Fig. 3 Geochemical variations of three types of ore-bearing granites in the Nanling Range

南岭含锡钨花岗岩形成于燕山期伸展裂解的构造环境 (Hua et al, 2005; 毛景文等, 2007), 其某些地球化学特征 (如碱性、富稀土和高场强元素等) 与A型花岗岩的地球化学特征 (Whalen et al, 1987; Eby, 1992) 比较类似, 一些研究者将其划归为A型花岗岩 (Li et al, 2007; 柏道远等, 2005; 付

建明等2005; 朱金初等2007a, b)。但是南岭含锡钨花岗岩含有大量含水矿物黑云母 (>3%), 如金鸡岭花岗岩黑云母含量可达12%, 并且黑云母结晶早于长英质矿物, 与A型花岗岩的岩石学特征 (Collins et al, 1982; King et al, 1997) 并不吻合。因此, 该类含矿花岗岩的成因尚需进一步研究。

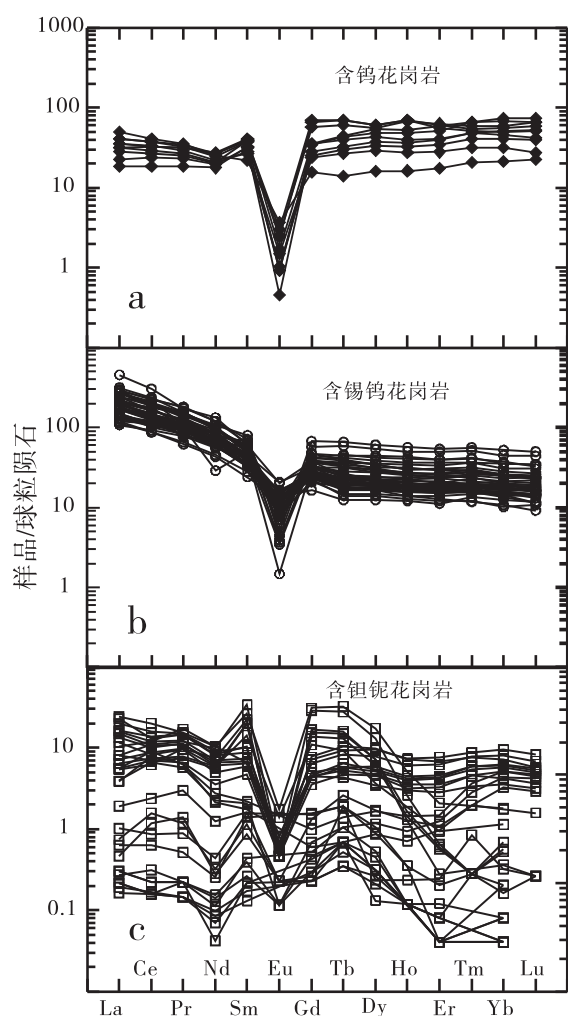


图4 南岭地区不同类型含W-Sn-Nb-Ta花岗岩的球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(标准值引自Taylor, 1985)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the ore-bearing granites in the Nanling Range (chondrite REE data from Taylor, 1985)

2.3 含钽铌花岗岩

含钽铌花岗岩为钠长石花岗岩,其 TiO_2 含量和 $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值明显偏低(表1)。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值比较高,平均为705。 ACNK 值大多数在1.1以上,平均为1.23,属强过铝质。 $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ 含量较低(图3e),介于 $49.8 \times 10^{-6} \sim 144 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 91.7×10^{-6} 。 Rb/Sr 比值明显偏高(图3f),变化于21.9~2017,平均为300。明显富Nb和Rb,贫Y和Ba+Sr。稀土总量明显偏低,平均为 19.1×10^{-6} ,轻重稀土比值较低,平均为2.93, δEu 平均为0.09,稀土配分曲线呈“V”字型(图4c)。

从以上讨论可以看出,综合利用 TiO_2 含量、

ACNK 、 $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ 总量、稀土元素特征、 $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值和 Rb/Sr 比值等参数(表1)以及Nb-Y-Ce, (Ba+Sr)-Rb-(Zr+Nb+Ce+Y), $\text{LREE}/\text{HREE}-\text{Rb}/\text{Sr}$, $\text{LREE}/\text{HREE}-(\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})$ 等图解(图3)可以有效地区别三类含矿花岗岩。 Rb/Sr 比值变化和稀土元素地球化学特征可指示花岗岩的演化程度(Miller & Mittlefehlt, 1982)。由表1可以明显地看出,从含锡钨花岗岩→含钨花岗岩→含钽铌花岗岩, Rb/Sr 比值呈逐步上升趋势,稀土总量逐渐降低,铈亏损越来越强烈,轻重稀土比值变小,说明含锡钨花岗岩分异演化程度相对较低,含钨花岗岩分异演化较强烈,含钽铌花岗岩则发生了高度分异演化。 $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值变化同样反映了三类含矿花岗岩分异演化程度的差异(图3b)。

3 含矿花岗岩的成岩成矿时代

从燕山期开始,华南地质演化发生了根本性转变,从印支期的造山作用转变为大规模的岩石圈伸展减薄(Gilder et al, 1996; Li X H et al, 2000; Hua et al, 2005; 周新民, 2003),形成了大量的花岗岩类,与此同时发生了大规模的成矿作用。作为华南成矿带的重要组成部分,南岭地区在燕山期也发生了大规模花岗岩岩浆活动,形成了与其有关的钨锡铌钽等矿床。

新的定年方法的运用,如辉钼矿Re-Os, 锡石U-Pb和SHRIMP锆石U-Pb等,使南岭地区成岩成矿年龄研究取得了重要进展,获得了大批精确年龄数据。表2列出了南岭地区一些矿床及其有关花岗岩的成岩成矿年龄。该表清楚地表明,成矿年龄与有关的花岗岩年龄比较接近,说明矿床的形成与花岗岩分异演化有直接的成因联系。在北东向的含锡钨花岗岩带中,与锡矿化有关的花山-姑婆山岩体年龄为160~165 Ma(顾晟彦等, 2006; 朱金初等, 2007b),产生锡钨矿化的锡田岩体年龄为155.5 Ma(马铁球等, 2005)。Peng等(2006)测得的瑶岗仙钨矿成矿年龄为153~155.1 Ma,比毛景文等(2007)获得的年龄数据(159~161.3 Ma)稍低。早期发表的赣南西华山含钨花岗岩的成岩年龄集中在148~154 Ma(Marujol et al, 1990; McKee et al, 1987; 陈志雄

表2 南岭某些锡钨钽矿床及有关花岗岩的同位素年龄数据
Table 2 Geochronological data of some deposits and related granites in the Nanling Range

岩体名称	年龄 (Ma)	矿床名称	年龄(Ma)	资料来源
九嶷山	156 ~ 157	大垌锡钨矿	151.3	付建明等, 2004,2007
骑田岭	152 ~ 165	新田岭钨矿	157	毛景文等, 2004, 2007; 彭建堂等, 2007; 朱金初等, 2007b
		芙蓉锡矿	150.6 ~ 159	
尖峰岭	167	香花铺钨矿	161.3	Yuan et al, 2007a, b
癞子岭	155	香花岭锡矿	154.4 ~ 158.7	
千里山	150.3 ~ 152.9	柿竹园锡钨矿	151.0 ~ 153.44	陈毓川等, 2002; 毛景文等2004; 李红艳等, 1997
大吉山	151.7	大吉山钨矿	144.4 ~ 147.2	张文兰等, 2006
淘锡坑矿区岩体	157.6 ~ 158.7	淘锡坑钨矿	154.4	陈郑辉等, 2006, 郭春丽等, 2007
漂塘	161.8	漂塘钨矿	152	张文兰等, 2008
木梓园	153.3	木梓园钨矿	151.1	

等, 1989), 与西华山矿床成矿年龄137.4~139.8 Ma比较接近(李华芹等, 1993)。蒋国豪等(2004)得出的大吉山钨矿含矿花岗岩年龄为160.3~164.2 Ma, 成矿年龄为152.6~158.1 Ma, 明显高于张文兰等(2006)获得的花岗岩和成矿年龄数据(表1)。赣南天门山—红桃岭花岗岩的成岩年龄为151.4~151.8 Ma, 有关矿床成矿年龄为149.1~154.9 Ma(丰成友等, 2007)。综合南岭成岩成矿年龄研究可以得出, 南岭含矿花岗岩的形成时代集中在148~167 Ma之间, 与南岭及邻区在150~165 Ma发生大规模花岗岩岩浆活动的时间相一致(Li et al, 2007a), 成矿时代集中在144~161 Ma, 成矿作用主要发生在晚侏罗世。

此外, 南岭还存在其他时代的成矿作用。在王仙岭岩体东南侧, 新发现的荷花坪锡矿含矿岩体及成矿年龄分别为212 Ma和224 Ma(Wei et al, 2007), 成岩成矿时代属晚三叠世。湘南界牌岭锡矿成矿年龄为91.1 Ma(毛景文等, 2007)。这些事实表明, 在南岭地区存在多期次成矿作用, 在重点寻找晚侏罗世锡钨钽矿的同时, 也要注意晚三叠世和晚白垩世花岗岩的成矿作用。

4 含矿花岗岩演化与成矿作用

研究表明, 锡和稀有金属花岗岩是多阶段演化形成的, 只有经过充分分异演化的花岗岩才能形成锡和稀有金属矿床(Badanina et al, 2004; Lenharo et al, 2003; Pollard et al, 1995; Rimbault et al, 1995)。南岭地区钨锡铌钽等矿化与花岗岩

演化密切相关。南岭含矿花岗岩往往是多阶段或多相演化岩体, 不仅不同含矿花岗岩有着不同的演化特征, 而且含矿花岗岩之间也有一定的演化关系。

含钨花岗岩总体演化特征表现为黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩。南岭含钨花岗岩表现出明显的多阶段或多岩相演化特征。在湘东钨矿290中段可以清楚地观察到, 从粗粒斑状黑云母花岗岩到细粒白云母花岗岩, 黑云母渐渐减少, 白云母逐渐增多, 各岩相之间并无明显的侵入关系。

含锡钨花岗岩总体演化趋势可概括为(含角闪石)黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩。根据含矿花岗岩演化程度与成矿关系, 南岭含锡钨花岗岩演化趋势又可分为三种情形。第一种以花山—姑婆山、王仙岭岩体等为代表, 含矿花岗岩主要由(含角闪石)黑云母花岗岩组成, 缺乏二云母花岗岩和白云母花岗岩, 有时与中性岩浆岩伴生, 花岗岩演化程度较低, 产生以锡为主的矿化作用。这类含锡钨花岗岩在分异演化过程中, 由于矿物组成和结构的变化也可以产生相变, 形成多相岩体。以花山—姑婆山花岗岩为例, 花山岩体主要由闪长岩、石英二长岩、角闪石黑云母花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩和细粒花岗岩组成; 姑婆山岩体主要由角闪石黑云母花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩和细粒花岗岩组成(朱金初等, 2007b)。第二种演化趋势为(含角闪石)黑云母花岗岩→二云母花岗岩, 其特点是二云母花

岗岩分布面积大,与黑云母花岗岩一起构成含矿花岗岩的主体,有时伴有白云母花岗岩,主要产生锡钨共生的矿化作用,以金鸡岭-螃蟹木花岗岩和锡田岩体为代表。第三种演化趋势为(含角闪石)黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩,在这个演化序列中二云母花岗岩和白云母花岗岩分布较少,主要产生钨矿化,以尖峰岭岩体为代表。

与钼铌矿化有关花岗岩总的演化趋势是黑云母花岗岩→二云母花岗岩和白云母花岗岩→含钼铌钠长石花岗岩→含钼铌(锡)伟晶岩和细晶岩脉。虽然钠长石花岗岩的成因有交代作用(如Hu et al, 1984)和岩浆作用(Cuney et al, 1992; Breiter et al, 1997; Antipin et al, 1999)两种观点,但越来越多的研究和实验证实,岩浆分异作用是其形成的主要机制。例如, Pollard 等(1991)、Yin 等(1995)和 Zhu等(2001)研究认为,栗木和宜春雅山含钼铌钠长石花岗岩是岩浆分异形成的,甚至栗木、香花岭和香花铺矿区的翁岗岩脉、伟晶岩和细晶岩也是主体岩石进一步结晶分异产生的(朱金初等1993;朱金初等,1996;常海亮和黄惠兰,1998)。含矿花岗岩岩浆的演化可以导致岩浆中 H_2O 、Li和F等组分的富集,形成与稀有金属矿化有关的钠长石花岗岩(Hua et al, 2003; Thomas et al, 2005; Xiong et al, 1999; 王联魁和黄智龙, 2000)。含钼铌钠长石花岗岩小岩体在空间上具有明显的垂直分带特征,自下而上分为二云母花岗岩→白云母花岗岩或浅色花岗岩→黄玉-锂云母(或铁锂云母)-钠长石花岗岩→云英岩→钾长石伟晶岩壳和石英壳(朱金初等, 2002)。

含矿花岗岩的分异演化是影响成矿作用的一个极为重要的因素。在花岗岩演化序列中,不同岩浆演化阶段形成的花岗岩有着不同的矿化作用。在南岭地区,锡矿化主要与分异演化程度较低的黑云母花岗岩演化有关,钨矿化或锡钨共生的矿化作用与强烈分异的二云母花岗岩和白云母花岗岩演化阶段密切相关,而钼铌矿化则与高度分异演化的钠长石花岗岩伴生。矿床共生组合在一定程度上受到含矿花岗岩的演化控制。在南岭许多重要钨矿床中,如西华山和漂塘钨矿,含矿花岗岩未出现高分异演化的钠长石花岗岩,因而

未产生钼铌矿化;相反,在大吉山和湘东等矿床中,含矿花岗岩分异演化程度高,出现了钠长石花岗岩以及与之有关的钼铌矿化,形成了钨钼铌共生矿床。含锡钨花岗岩经过高度分异演化,可以形成含钼铌的钠长石花岗岩,造成钨钼铌或锡钼铌共生矿化,例如香花铺钨钼铌矿床和香花岭锡钼铌矿床。另一个非常有意义的例子是,在骑田岭花岗岩的南部,花岗岩仅演化到黑云母花岗岩阶段,产生了锡矿化;而在其北部,由于含矿花岗岩强烈演化到白云母花岗岩阶段,就出现了钨矿化,造成了骑田岭岩体南部产锡、北部产钨的矿化现象。

5 主要矿床类型

南岭钨锡钼铌矿产资源丰富,矿床类型多样。本文综合矿物组合、矿体形态和产出特征、矿石结构构造、热液蚀变特征,总结了南岭与三类含矿花岗岩有关的主要矿床类型。

(1) 石英脉型矿床

石英脉型矿床可分为黑钨矿-石英脉型矿床和锡石-石英脉型矿床。矿体呈脉状产出,主要产于花岗岩突起外接触带围岩中,在矿脉两侧云英岩一般不发育。脉体主要由石英和矿石矿物组成。矿石矿物主要为黑钨矿和锡石,可含有绿柱石、辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。脉石矿物以石英为主,伴有白云母、黄玉、方解石、绿泥石等。

(2) 云英岩型矿床

该类型矿床以矿石矿物呈浸染状分散于云英岩中为特征,矿体主要分布于含矿岩体顶部或前缘,可呈透镜状、冠状、筒状和脉状产出,常伴有细网脉状石英以及萤石、黄玉和电气石等含挥发份的矿物。主要围岩蚀变为云英岩化和钾、钠长石化。依据矿化特征可分为云英岩型黑钨矿(西华山)、云英岩型锡矿(大垌和锡田)、云英岩型锡钨多金属矿床(大垌和柿竹园)和云英岩型钼铌矿床(栗木)。

(3) 云英岩-石英脉型矿床

该类矿床矿体呈脉状产于含矿花岗岩之中,在脉状矿体两侧分布有厚薄不等的云英岩或云英岩化带,常伴有钾长石化或钠长石化,蚀变分带比较明显。图5为大垌锡钨矿中观察到的云

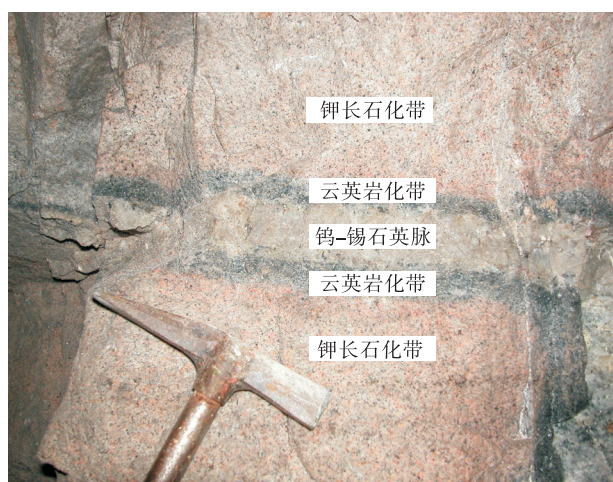


图5 湖南大坳云英岩-石英脉型矿床蚀变分带
Fig. 5 Alteration zones of the Da'ao greisen-quartz vein-type deposit in Hunan Province

英岩-石英脉型矿脉。矿脉主要由矿石矿物和石英组成。按所含主要成矿元素的差别可分为云英岩-石英脉型黑钨矿（如西华山、大吉山）、云英岩-石英脉型锡矿（如尚家坪锡矿，廖兴钰，2001）和云英岩-石英脉型锡钨矿床（如栗木、大坳和挂钩冲）。南岭地区近几年找矿的重要突破之一就是在含锡钨花岗岩中发现大型云英岩-石英脉型锡钨矿，因此，应加强含锡钨花岗岩中此类矿床的研究和寻找。

（4）矽卡岩型矿床

矽卡岩型矿床主要产于含矿花岗岩与碳酸盐岩或含碳酸盐碎屑岩接触带以及接触带附近地层中的层间破碎带和裂隙带。矿石主要由白钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿和硫化物等矿石矿物与橄榄石、石榴石、辉石、符山石、透闪石、阳起石、绿泥石、绢云母、石英等矿物组成（Chen et al, 1992b; 陈骏等，1992）。南岭矽卡岩型矿床包括矽卡岩型钨矿（瑶岗仙）、矽卡岩型锡矿（荷花坪）和矽卡岩型锡钨矿（柿竹园）。

（5）蚀变破碎带型矿床

该类矿床以江西八仙脑锡钨矿床（朱祥培等，2006；肖惠良等，2006）为代表。矿体赋存在岩体外接触带构造破碎带之中，呈透镜状、串珠状、脉状产出。热液蚀变以绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、萤石化和石英化为主。矿石矿物以黑钨矿、锡石、铜铅锌硫化物为主，呈团块状、不规则脉状和网脉状赋存于破碎带中。脉石

矿物主要有石英、绢云母、绿泥石、萤石等。矿石构造主要有块状、浸染状、条带状和角砾状构造。蚀变破碎带型锡钨矿是近几年来在南岭发现的新的锡钨矿床类型，值得重视。

（6）绿泥石化花岗岩型锡矿

绿泥石化花岗岩型锡矿是南岭新发现的一种矿床类型，典型特征是矿体产于强烈蚀变的含矿花岗岩之中，矿化与绿泥石化关系密切，以芙蓉锡矿田白蜡水矿床为代表。该矿床位于骑田岭花岗岩体南部（图1）。矿体受北东向线性断裂构造带控制，呈脉状、透镜状和不规则状，单个矿体规模较大，矿体长600~1 320 m，厚5~15 m（黄革非等，2001）。矿石主要由锡石、黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、金红石、楣石、黄铁矿、石英、绿泥石、绢云母、萤石、碳酸盐、电气石、白云母和黑云母等组成。锡石呈浸染状分布于蚀变花岗岩之中。热液蚀变主要包括绢云母化、绿泥石化和硅化，绿泥石化与锡矿化关系最为密切（图6和图7）。细粒状的锡石主要被绿泥石包裹，少量被金红石和楣石包裹。锡矿化强烈的蚀变带中绿泥石的Fe含量明显高于弱矿化带或无矿化带中绿泥石的Fe含量。绢云母主要呈团块状交代花岗岩中长石。电气石化主要呈浸染状或细脉状分布。硅化形成的石英主要呈细脉状和团块状分布。这类矿床以往被称为蚀变花岗岩型或蚀变岩体型（许以明等，2000；魏绍六等，2002）。在斑岩型、矽卡岩型和脉状等类型的锡矿床中，虽然也存在绿泥石化（Silite, 1975; Taylor, 1979），但它并不是主要的蚀变类型。与其他类型锡矿相比，白蜡水矿床有独特的成矿特征，锡矿化严格产于蚀变花岗岩中，绿泥石化非常强烈，而且与锡矿化关系十分密切。因此，可将此类矿床称之为绿泥石化花岗岩型锡矿（Lu et al, 2008）。白蜡水矿床在成矿地质特征方面与秘鲁超大型San Rafael锡矿（Kontak & Clark, 2002; Mlynarczyk et al, 2003）有许多相似之处。因此，在南岭地区含锡钨黑云母花岗岩中应重视寻找该类型锡矿床。

（7）钠长石花岗岩型矿床

该类型矿床是指矿石矿物呈浸染状分布于钠长石花岗岩中的一种矿床类型，进一步可分为钠

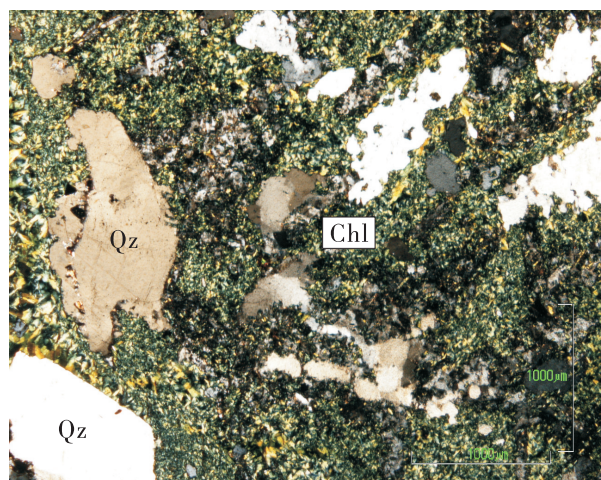


图6 湖南白蜡水矿床中的强烈绿泥石化
Fig. 6 Intensive chloritization in the Bailashui deposit of the Furong tin orefield in Hunan Province

成矿阶段			
蚀变类型	早期	主期次	晚期
电气石化	——		
绢云母化		——	
绿泥石化		——	
锡石±硫化物		——	
萤石化	—		——
硅化	—	— — — —	——
粘土化			——
碳酸盐化		—	——

图7 芙蓉白蜡水矿床矿物生成顺序
Fig. 7 Simplified paragenesis for the Bailashui deposit in the Furong tin orefield

长石花岗岩型钽铌矿（如湘东和香花铺）和钠长石花岗岩型锡矿两种类型（如栗木）。这类矿床曾被称之为花岗岩型锡矿、变花岗岩型和交代蚀变花岗岩型钽铌矿等（南京大学地质学系，1981；林德松和王开选，1987）。

（8）伟晶岩型钽铌锡矿床

伟晶岩型钽铌锡矿床是指在伟晶岩中发育钽、钽和锡矿化，并产于钠长石花岗岩顶部。伟晶岩主要有白云母和微斜长石组成。这类矿床以栗木矿为代表。

（9）长石-石英脉型锡钨矿床

该类矿床矿体呈脉状产于围岩之中，脉幅在0.2~1 m之间，以栗木矿为代表。

与不同含矿花岗岩有关的矿床类型往往有所差异。与含钨花岗岩有关的矿床类型包括黑钨矿-石英脉型、云英岩型、云英岩-石英脉型和矽卡岩型钨矿。含锡钨花岗岩主要矿化类型有黑钨矿-石英脉型钨矿、云英岩型钨矿或锡矿、云英岩-石英脉型钨矿或锡钨矿、矽卡岩型钨矿或锡矿或锡钨矿、绿泥石化花岗岩型锡矿等，矿床类型更为多样。钠长石花岗岩型、伟晶岩型和长石-石英脉型矿床主要与含钽铌钠长石花岗岩有关，并且在同一矿床中往往共生。

不同矿化类型在同一矿床中可以共生，呈现一定的演化规律，出现明显的横向和垂直分带性。栗木矿田水溪庙矿床具有明显的垂直分带，从矿体下部往上，矿床类型依次为钠长石花岗岩型钽铌锡矿、伟晶岩型钽铌锡矿和长石-石英脉型锡钨矿（龚名文等，2005）。在香花岭钽铌矿床中横向分带明显，自岩体向外接触带，矿化类型依次为云英岩-石英脉型锡（钨）矿（在岩体顶部）、云英岩体型和钠长石花岗岩型钽铌矿以及矽卡岩型锡矿床（杜方权，1983）。因此，在南岭地区找矿过程中要注意多种矿化类型组合在一起的特征。

南岭地区锡钨钽铌成矿作用的分带性早就引起研究者的注意。在赣南及其邻区，成矿花岗岩主要为含钨花岗岩，含钽铌花岗岩次之，成矿作用主要以钨矿化为主，钽铌矿化为辅，锡大多作为伴生元素产于钨矿床中，很少有独立的锡矿床；沿郴州—临武断裂带，不但存在含钨花岗岩和含钽铌花岗岩，而且出现大量的含锡钨花岗岩，构成了钨、锡和钽铌共生的矿化带；在南岭西端主要分布含锡钨花岗岩及其衍生的含钽铌花岗岩，成矿作用以锡为主，伴以钽铌矿化。因此，含矿花岗岩的空间分布特征控制了区域矿化的分带性。

6 结论

对南岭地区含矿花岗岩的的岩石学和地球化学特征进行了讨论，探讨了花岗岩演化与成矿作用关系，总结了矿床的主要类型，取得了以下认识。

1）南岭地区含矿花岗岩可以分为三个主要

类型: 含钨花岗岩、含锡钨花岗岩和含钽铌花岗岩。含钨花岗岩的地球化学特征可归纳为低钛, 铝过饱和, 轻重稀土比值低, 铀亏损强烈, 富 Y 和 Rb, Rb/Sr 比值高, Ba+Sr 较低, 分异强烈。含锡钨花岗岩总的特征表现为 TiO_2 含量和 $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值高, 准铝质—铝质, 轻重稀土比值高, 富高场强元素、稀土、Ba+Sr 和 Rb, 低 Rb/Sr 比值, 分异演化程度较低。含钽铌花岗岩的地球化学特征主要为钛含量和 $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值低, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值明显偏高, 强过铝质, 稀土总量和高场强元素含量明显偏低, 铀亏损强烈, Rb/Sr 比值高, 明显富 Rb 和 Nb, 贫 Y 和 Ba+Sr, 高度分异演化。

2) 不同含矿花岗岩有着不同的演化规律, 钨、锡、铌和钽的成矿作用与含矿花岗岩演化具有密切的成因联系, 不同演化阶段往往形成不同类型的矿床。黑云母花岗岩主要与锡成矿作用有关, 二云母花岗岩和白云母花岗岩主要产生钨矿化或锡钨共生矿化, 钠长石花岗岩主要与钽铌或锡(钨)钽铌矿化有关。含矿花岗岩的分布特征决定了南岭地区矿化的分带性。

3) 在晚侏罗世发生了与花岗岩有关的大规模成矿作用, 形成了类型多样的锡钨钽铌矿床。与含矿花岗岩有关的矿床类型主要有石英脉型、云英岩型、矽卡岩型、云英岩—石英脉型、蚀变破碎带型、绿泥石化花岗岩型、钠长石花岗岩型及伟晶岩型等。其中绿泥石化花岗岩型锡矿是新发现的一种矿床类型。在南岭地区要特别注意在含锡钨花岗岩中寻找绿泥石化花岗岩型锡矿和云英岩—石英脉型锡钨矿。

References:

- Antipin V S, Savina E A, Mitichkin M A, et al. 1999. Rare-metal lithium-fluorine granite, ongonites and topazite of the Southern Baikal Region [J]. *Petrology*, 7: 147–159.
- Badanina E V, Trumbull R B, Dulski P, et al. 2006. The behavior of rare-earth and lithophile trace element in rare-metal granites: a study of fluorite, melt inclusions and host rocks from the Khangilay complex, Transbaikalia, Russia [J]. *The Canadian Mineralogist*, 4: 667–692.
- Badanina E V, Veksler I V, Thomas R, et al. 2004. Magmatic evolution of Li–F, rare-metal granites: a case study of melt inclusions in the Khangilay complex, Transbaikalia (Russia) [J]. *Chemical Geology*, 210: 113–133.
- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, et al. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24 (4): 255–272. (in Chinese with English abstract)
- Breiter K, Fryda J, Seltmann R, et al. 1997. Mineralogical evidence for two magmatic stages in the evolution of an extremely fractionated P-rich rare-metal granite: the Podlesi Stock, Krusne Hory, Czech Republic [J]. *Journal of Petrology*, 38: 1723–1739.
- Černý P, Belvin P L, Cuney M, et al. 2005. Granite-related deposits [J]. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume: 337–370.
- Chang Hailiang and Huang Huilan. 1998. Melt-fluid inclusions in the topaz of pegmatite in Jianfengling [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(1): 81–87. (in Chinese with English abstract)
- Chen Jun, Halls C and Stanley C J. 1992. Mode of occurrence and origin of cassiterite in the Shizhuyuan Skarn W–Mo–Bi–Sn Deposit, Hunan Province [J]. *Geological Review*, 38 (2): 164–172. (in Chinese with English abstract)
- Chen Jun, Halls C and Stanley C J. 1992a. REE contents and patterns in major skarn minerals from Shizhuyuan deposit, S. China [J]. *Geochemical Journal*, 26: 147–158.
- Chen Jun, Halls C and Stanley C J. 1992b. Tin-bearing skarn of South China: geological setting and mineralogy [J]. *Ore Geology Reviews*, 7: 225–248.
- Chen Jun, Wang Rucheng, Zhou Jianping, et al. 2000. *Geochemistry of Tin* [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1–320. (in Chinese)
- Chen Jun and Zhou Huaiyang. 1988. Geological and geochemical study of tin-bearing granites in south China [J]. *Journal of Nanjing University (Earth Sciences Edition)*, (1): 130–140. (in Chinese with English abstract)
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, et al. 1989. *The Geology of Non-Ferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–508. (in Chinese)
- Chen Zhixiong, Li Shanze, Zhu Jingan, et al. 1989. The study on the geology and mineralization of the Xihuashan and Hongling tungsten deposits [G] // *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources. Scientific Reports of Geology and Mineral Resources in Nanling*. Wuhan: China University of Geoscience Press, 277–325. (in Chinese)
- Chen Zhenghui, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. 2006. Geological characteristics and mineralization age of Taotikeng tungsten deposit in Chongyi Country, southern Jiangxi province, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 25: 496–501. (in Chinese with English abstract)
- Cocherie A, Johan V, Rossi P, et al. 1991. Trace element variation and lanthanide tetrad effect studied in a Variscan lithium albite granite: case of the Cínovec granite (Czechoslovakia) [M]. // *Page M and Leroy J L. Source, Transport and Deposition of Metals*. Rotterdam: Balkema, 745–749.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189–200.
- Cuney M, Marignac C and Weisbrod. 1992. The behavior of topaz-lepidolite albite granite (Massif Central, France): the disseminated magmatic Sn–Li–Ta–Nb–Be mineralization [J]. *Economic Geology*, 87: 1766–1794.
- Department of Geology of Nanjing University. 1981. *Granitoids of Different Ages in South China and Their Metallogenetic Relations*. [M]. Beijing: Science Press, 1–395. (in Chinese)
- Du Fangquan. 1983. The zonation of Xianghualing tin-polymetallic

- deposit and its prospecting significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 7 (3): 239–247. (in Chinese with English abstract)
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 20: 641–644.
- Feng Chengyou, Xu Jianxian, Zeng Zailin, et al. 2007. Zircon SHRIMP U–Pb and molybdenite Re–Os dating in Tianmenshan–Hongtaoling tungsten-tin orefield, southern Jiangxi Province, China, and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (7): 952–963. (in Chinese with English abstract)
- Fu Jianming, Li Huaqin, Qu wenjun, et al. 2007. Re–Os isotope dating of the Daoo tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan Province [J]. *Geology in China*, 34 (4): 651–656. (in Chinese with English abstract)
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. 2005. Ascertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic settings [J]. *Geochimica*, 34 (3): 215–226. (in Chinese with English abstract)
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. 2004. SHRIMP U–Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geological significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28 (4): 370–378. (in Chinese with English abstract)
- Gilder SA, Gill J, Coe RS, et al. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China [J]. *Journal of Geophysics Research*, 101 (B7): 13137–16154.
- Gong Mingwen, Lu Xiaoping, Lu Qifu, et al. 2005. Geological characteristics and genesis of tin-polymetallic deposits in Dupangling area [J]. *Geology and Resources of South China*, (2): 80–86. (in Chinese with English abstract)
- Granitoid Research Group of Nanling Project, MCMR. 1989. *Geology of Granitoids of Nanling Region and Their Petrogenesis and Mineralization* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–471. (in Chinese)
- Gu Shengyan, Hua Renmin, Qi Huawen. 2006. Study on zircon LA–ICP–MS U–Pb dating and Sr–Nd isotopes of the Guposhan granite in Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (4): 543–553. (in Chinese with English abstract)
- Guiyang Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1979. *Geochemistry of Granitoids in South China* [M]. Beijing: Science Press, 1–421. (in Chinese)
- Guo Chunli, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. 2007. Precise SHRIMP zircon U–Pb and quartz vein Rb–Sr dating of the Mesozoic Taosikeng tungsten polymetallic deposit, Eastern Nanling district, South China [J]. *Mineral Deposits*, 26: 432–442. (in Chinese with English abstract)
- Hu Shouxi, Sun Mingzhi, Yan Zhengfu, et al. 1984. An important metallogenetic model for W, Sn and rare granitophile element ore deposits related to metasomatically altered granites [M] // Xu Keqin and Tu Guangchi. *Geology of Granites and Their Metallogenetic Relations*. Proceedings of the International Symposium, Nanjing University. Beijing: Science Press, 519–538.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. 2003. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in south China [J]. *Sciences in China (D)*, 46 (8): 816–829.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. 2005. Metallogenesis related to Mesozoic granitoids in the Nanling Range, South China and their geodynamic settings [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 79 (6): 810–820.
- Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China [J]. *Mineral Deposits*, 24 (2): 99–107. (in Chinese with English abstract)
- Huang Gefei, Zeng Qinwang, Wei Shaoliu, et al. 2001. Geochemical characteristics and ore-controlling factors of the Furong orefield, Qitianling, Hunan [J]. *Geology in China*, 28 (10): 30–34. (in Chinese with English abstract)
- Jiang Guohao, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, et al. 2003. K–Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi province, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24 (3): 253–256. (in Chinese with English abstract)
- Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, et al. 2006. New type of tin mineralization related to granite in South China: evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (10): 2509–2516. (in Chinese with English abstract)
- King P L, White A J R, Chappell B W, et al. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan fold belt, Southeastern Australia [J]. *Journal of Petrology*, 38: 371–391
- Kontak D J and Clark A H. 2002. Genesis of the giant, bonanza San Rafael lode tin deposit, Peru: Origin and significance of alteration [J]. *Economic Geology*, 97: 1741–1777.
- Lehmann B. 1990. *Metallogeny of Tin* [M]. Springer–Verlag, 1–211.
- Lenharo S L R, Pollard P J and Born H. 2003. Petrology and textural evolution of granites associated with tin and rare-metals mineralization at the Pitinga mine, Amazonas, Brazil [J]. *Lithos*, 66: 37–61.
- Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali. 1996. Re–Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit [J]. *Geological Review*, 42 (3): 261–267. (in Chinese with English abstract)
- Li Huaqin, Liu Jiaqi, Weilin. 1993. *Chronology of Fluid on Hydrothermal Ore Deposits and Its Geological Application* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–125. (in Chinese)
- Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in South China [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 18 (3): 293–305.
- Li X H, Li Z X, Li W X, et al. 2007a. Zircon U–Pb, geochemical and Sr–Nd–Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundring of a subducted flat-slab [J]? *Lithos*, 96: 186–204.
- Li X H, Li W X and Li Z X. 2007b. On the genetic classification and tectonic implications of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling Range, South China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52 (14): 1873–1885.
- Li Z L, Hu R Z, Yang J S, et al. 2007. He, Pb and S isotopic constraints on the relationship between the A-type Qitianling granite and the Furong tin deposit, Hunan Province, China [J]. *Lithos*, 97: 161–173.
- Lin Desong and Wang Kaiyuan. 1987. Metallogenetic features of granite type tin deposit of Limu orefield [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1 (2): 1–9. (in Chinese)
- Liu Jiayuan. 2005. Composition of Xihuashan granites and its relationship to tungsten metallogenesis [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 20 (1): 1–7. (in Chinese with English abstract)
- Liu Shusheng, Jia Baohua and Zeng Zhifang. 2005. Geological

- characteristics and origin of the Jiuyishan tin orefield in Nanling region [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2: 39–44. (in Chinese with English abstract)
- Lu Jianjun, Chen Weifeng, Zhu Jinchu, et al. 2008. The characteristics of chloritized granite type tin deposit in the Furong tin deposit district in Hunan province, China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (12), Suppl., 1: A 570.
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Kuang Jun, et al. 2005. Zircon SHRIMP dating of the Xitian granite pluton, Chaling, south-eastern Hunan, and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 24 (5): 415–419. (in Chinese with English abstract)
- Mao Jingwen. 1997. Metallogenic speciality of super giant polymetallic tungsten deposit: taking the Shizhuyuan deposit as an example [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 32 (3): 351–363. (in Chinese with English abstract)
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, et al. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: metallogenic ages and corresponding geodynamic processes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (10): 2329–2338. (in Chinese with English abstract)
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Changqing, et al. 2004. Mesozoic large-scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11 (1): 45–55. (in Chinese with English abstract)
- Maru  ol P, Cuney M and Turpin L. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan Granites (SE China) [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 668–680.
- McKee E H and Rytuba J J. 1987. Geochronology of the Xihuashan composite granitic body and tungsten mineralization, Jiangxi province, south China [J]. *Economic Geology*, 82: 218–223.
- Miller C F and Mittlefehldt D W. Depletion of light rare-earth elements in felsic magams. *Geology*, 10: 129–133.
- Mlynarczyk M S J, Sherlock R L and Williams-Jones A E. 2003. San Rafael, Peru: geology and structure of the world's richest tin lode [J]. *Mineralium Deposita*, 38: 555–567.
- Mo Zhusun, Ye Bodan, Pan Weizu, et al. 1980. *Geology of Granites in Nanling Range* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–363.
- Peng Jiangtang, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, et al. 2007. ^{40}Ar – ^{39}Ar isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan province and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 26: 237–248. (in Chinese with English abstract)
- Peng Jiangtang, Zhou Meifu, Hu Ruizhong, et al. 2006. Precise molybdenite Re–Os and mica Ar–Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China [J]. *Mineralium Deposita*, 41: 661–669.
- Pollard P J, Nakapadungrat S and Taylor R G. 1995. The Phuket Supersuit, southwest Thailand: fractionated I-type granites associated with tin-tantalum mineralization [J]. *Economic Geology*, 90: 536–602.
- Pollard P J, Pichavant M and Charoy B. 1987. Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tin systems [J]. *Mineralium Deposita*, 22: 315–321.
- Pollard P J and Taylor R P. 1991. Petrogenetic and metallogenetic implications of the occurrence of topaz-Li-mica granite at the Yichun Ta-Nb-Li mine, Jiangxi Province, south China [M] // Pagel M and Leroy J. *Source, Transport and Deposition of Metals*. Rotterdam: A. A. Balkema, 789–791.
- Raimbault L, Cuney M, Azencott C, et al. 1995. Geochemical evidence for a multistage magmatic genesis of Ta-Sn-Li mineral in the granite at Beauvoir Massif Central [J]. *Economic Geology*, 90: 548–576.
- Ray G E, Webster I C L, Ballantyne S B et al. 2000. The geochemistry of three tin-bearing skarns and their related plutonic rocks, Atlin, Northern British Columbia [J]. *Economic Geology*, 95: 1349–1365.
- Schwartz M O. 1992. Geochemical criteria for distinguishing magmatic and metasomatic albite-enrichment in granitoids—examples from the Ta-Li granite Yichun (China) and the Sn-W deposit Tikus (Indonesia) [J]. *Mineralium Deposita*, 27: 101–108.
- Silitoe R H, Halls C and Grant J N. 1975. Porphyry tin deposits in Bolivia [J]. *Economic Geology*, 70: 913–927.
- Srivastava P K and Sinha A K. 1997. Geochemical characterization of tungsten-bearing granites from Rajasthan, India [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 60: 173–184.
- Sun Gongan, Shi Mingkui, Zhang Hongliang, et al. 1989. The petrology, geochemistry and metallization of the Dajishan granite [M]. // Yichang Institute of Geology and Mineral Resources. *Scientific Reports of Geology and Mineral Resources in Nanling*. Wuhan: China University of Geoscience Press, 277–325. (in Chinese)
- Suwimonprecha P,   erny P and Friedrich G. 1995. Rare metal mineralization related to granites and pegmatites, Phuket, Thailand [J]. *Economic Geology*, 90: 603–615.
- Taylor S R. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Blackwell Scientific Publication, 1–312.
- Taylor R G. 1979. *Geology of Tin Deposits* [M]. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1–543.
- Thomas R, f  rster H J, Rickers K, et al. 2005. Formation of extremely F-rich hydrous melt fractions and hydrothermal fluids during differentiation of highly-evolved tin-granite magmas: a melt/fluid inclusion study [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148: 582–601.
- Wang Liankui and Huang Zhilong. 2000. Liquid Segregation and Experiment of Li–F Granite [M]. Beijing: Science Press, 1–280. (in Chinese)
- Wang Liankui, Zhu Weifang and Zhang Shaoli. 1982. On the evolution of two petrogenetic and mineralized series of granites in south China [J]. *Geochimica*, 11 (4): 329–339. (in Chinese with English abstract)
- Wang Yang. 2008. Some further discussions on the genetic types of the Early Yanshanian (Jurassic) granitoids in the Nanling area, SE China [J]. *Geological Review*, 54 (2): 162–174. (in Chinese with English abstract)
- Wei Daofang, Bao Zhengyu, Fu Jianming, et al. 2007. Diagenetic and mineralization age of the Hehuaping tin-polymetallic orefield, Hunan province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (2): 244–252.
- Wei Shaoliu, Zeng Qinwang, Xu Yiming, et al. 2002. Characteristics and ore prospects of tin deposits in the Qitianling area, Hunan [J]. *Geology in China*, 29 (1): 67–75. (in Chinese with English abstract)
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407–419.
- Wright J B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. *Geological Magazine*, 106: 370–384.
- Xia Hongyuan and Liang Shuyi. 1984. The evolutionary peculiarity of the W-bearing and Nb, Ta-bearing granites in south China [G] // Xu Keqin and Tu Guangchi. *Geology of Granites and Their*

- Metallogenetic Relations. Proceedings of the International Symposium, Nanjing University. Beijing: Science Press, 651–669.
- Xiao Huiliang, Chen Guodong, Ban Yizhong, et al. 2006. On searching for tungsten multimetal deposits in East Nanling Region [J]. *Resources Survey and Environment*, 27 (2): 85–93. (in Chinese with English abstract)
- Xiong X L, Zhao Z H, Zhu J C, et al. 1999. Phase relations in albite granite–H₂O–HF system and their petrogenetic applications [J]. *Geochemical Journal*, 33: 199–214.
- Xu Kebin, Sun Nai, Wang Dezi, et al. 1984. Petrogenesis of the granitoids and their metallogenetic relations in south China, [M] //Xu Kebin and Tu Guangchi. *Geology of Granites and Their Metallogenetic Relations*. Proceedings of the International Symposium, Nanjing University. Beijing: Science Press, 1–31.
- Xu Yiming, Hou Maosong, Liao Xingyu, et al. 2000. Deposit types and prospecting of Sn deposits in Furong orefield, Chenzhou [J]. *Hunan Geology*, 19 (2): 95–100. (in Chinese with English abstract)
- Yin L, Pollard P J, Hu S, et al. 1995. Geologic and geochemical characteristics of the Yichun Ta-Nb-Li deposit, Jiangxi Province, China [J]. *Economic Geology*, 90: 577–585.
- Yu Yangchun, Wu Shichong and Liang Tiegang. 2006. Metallogenetic and geological characteristics and ore prospecting direction in Xitian area [J]. *Resources Survey and Environment*, 27 (2): 136–142. (in Chinese with English abstract)
- Yuan Shunda, Peng Jiangtang, Hu Ruizhong, et al. 2007a. A precise U–Pb age on cassiterite from the Xianghualing tin-polymetallic deposit (Hunan, South China) [J]. *Mineralium Deposita*, 43: 375–382.
- Yuan Shunda, Peng Jiangtang, Shen Nengping, et al. 2007b. ⁴⁰Ar–³⁹Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan, China and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81 (2): 278–286.
- Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, et al. 2006. New dating of the Djiashan granite and related tungsten mineralization in Southern Jiangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80: 956–962. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, et al. 2008. New dating of the Piaotang granite and related tungsten mineralization in Southern Jiangxi [J]. *Acta Geologica Sinica* (in press)
- Zhang Zhengeng. 1983. 3B granite: a kind of granite related to tin mineralization [J]. *Geology and Geochemistry*, (4): 58–59. (in Chinese)
- Zhou Xinmin. 2003. My thinking about granite geneses of South China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 9 (4): 556–565. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jinchu, Chen Jun, Wang Rucheng, et al. 2008. Early Yanshanian NE-trending Sn/W-bearing A-type granites in the western-middle part of Nanling Mts region [J]. *Geol. J. China Univ.*, 14(4): 474–584. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jinchu, Li Renke, Li Fuchun, et al. 2001. Topaz-albite granites and rare-metal mineralization in the Limu district, Guangxi Province, southeast China [J]. *Mineralium Deposita*, 36: 393–405.
- Zhu Jinchu, Li Renke, Zhou Fengying, et al. 1996. Genesis of asymmetrically layered pegmatite-aplite dykes of Shuiximiao mine, Limu district, Guangxi [J]. *Geochimica*, 25 (1): 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jinchu, Liu Weixin and Zhou Fengying. 1993. Ongonite and topazite in dyke No.43, Xianghualing area, and their spatial zonation and genetic relationship [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 9 (2): 154–166. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, et al. 2007a. Qitianling granite. //Zhou Xinmin, *Petrogenesis of the Late Mesozoic Granitoids in the Nanling Range and Geodynamic Evolution of Lithosphere* [M]. Beijing: Science Press, 520–583. (in Chinese)
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, et al. 2007b. Huashan–Guposhan granitoids body. //Zhou Xinmin. *Petrogenesis of the Late Mesozoic Granitoids in the Nanling Range and Geodynamic Evolution of Lithosphere*. Beijing: Science Press, 366–382. (in Chinese)
- Zhu Jinchu, Rao Bing, Xiong Xialin, et al. 2002. Comparison and genetic interpretation of Li–F rich, rare-metal bearing granitic rocks [J]. *Geochimica*, 31 (2): 141–152. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Xiangpei, Gao Guirong and Liang Jingshi. 2006. The characteristics and ore-searching direction of tungsten-tin polymetallic ore deposit of Baxiannao, Chongyi, Jiangxi [J]. *Resources Survey and Environment*, 27 (2): 120–126. (in Chinese with English abstract)

参考文献

- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 2005. 湘东南骑田岭岩体A型花岗岩的地球化学特征及其构造环境[J]. *岩石矿物学杂志*, 24 (4): 255–272.
- 常海亮, 黄惠兰. 1998. 尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体[J]. *岩石矿物学杂志*, 17 (1): 81–87.
- 陈骏, Halls C, Stanley C J. 1992. 湖南柿竹园钨–锡钨铋矿床中锡石的产状与成因[J]. *地质评论*, 38 (2): 164–172.
- 陈骏, 王汝城, 周建平, 等. 2000. 锡的地球化学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1–320.
- 陈骏, 周怀阳. 1988. 华南含锡花岗岩的地质地球化学研究[J]. *南京大学学报*, 22 (1): 130–140.
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 等. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1–508.
- 陈志雄, 李善择, 朱晋干, 等. 1989. 西华山和红岭钨矿床成矿地质特征的研究[G] //宜昌地质矿产研究所. 南岭地质矿产科研报告集. 武汉: 中国地质大学出版社, 277–325.
- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 2006. 赣南崇重义淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. *地质通报*, 25: 496–501.
- 杜方权. 1983. 香花岭锡多金属矿床的分带性及其找矿意义[J]. *大地构造与成矿学*, 7 (3): 239–247.
- 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成岩和成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1–471.
- 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 等. 2007. 赣南天门山–红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. *地质学报*, 81 (7): 952–963.
- 付建明, 李华芹, 曲文俊, 等. 2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿床的 Re–Os同位素定年研究[J]. *中国地质*, 34 (4): 651–656.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2005. 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*, 34 (30): 215–226.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2004. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP锆石定年及其构造地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 28 (4): 370–378.
- 龚名文, 陆小平, 路启福, 等. 2005. 都庞岭地区锡多金属矿床地质特征及矿床成因[J]. *华南矿产与地质*, (2): 80–86.
- 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 2006. 广西姑婆山花岗岩单颗粒锆石 LA–ICP–MS U–Pb定年及全岩Sr–Nd同位素研究[J]. *地质学报*, 80 (4): 543–553.

- 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 等. 2007. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石SHRIMP年龄及石英脉Rb-Sr年龄测定[J]. 矿床地质, 26: 432-442.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 2003. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 24 (2): 99-107.
- 黄革非, 曾钦旺, 魏绍六, 等. 2001. 湖南骑田岭芙蓉矿田锡矿地质特征及控矿因素分析[J]. 中国地质, 28 (10): 30-34.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. 矿物学报, 24 (3): 253-256.
- 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 等. 2006. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用: 矿物学、元素和同位素地球化学证据[J]. 岩石学报, 22 (10): 2509-2516.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 等. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的Re-Os同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 42 (3): 261-267.
- 李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京: 地质出版社, 1-126.
- 林德松, 王开选. 1987. 栗木矿田花岗岩型锡矿床成矿特征[J]. 矿产与地质, 1 (2): 1-9.
- 刘家远. 2005. 西华山钨矿的花岗岩组成及与成矿的关系[J]. 地质找矿论丛, 20 (1): 1-7.
- 刘树生, 贾宝华, 曾志方. 2005. 九嶷山锡矿田矿床地质特征及矿床成因[J]. 华南地质与矿产, 2: 39-44.
- 马铁球, 柏道远, 邝军, 等. 2005. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石SHRIMP定年及其地质意义[J]. 地质通报, 24 (5): 415-419.
- 毛景文. 1997. 超大型钨多金属矿床成矿特殊性——以湖南柿竹园矿床为例[J]. 地质科学, 32 (3): 351-363.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23 (10): 2329-2338.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2004. 华南中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1): 45-55.
- 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖, 等. 1980. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1-363.
- 南京大学地质学系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系[M]. 北京: 科学出版社, 1-395.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 2007. 湖南芙蓉锡矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 26: 237-248.
- 许以明, 侯茂松, 廖兴钰, 等. 2000. 郴州芙蓉矿田锡矿类型及找矿远景[J]. 湖南地质, 19 (2): 95-100.
- 孙恭安, 史明魁, 张宏良, 等. 1989. 大吉山花岗岩体岩石学、地球化学及成矿作用的研究[G] //宜昌地质矿产研究所. 南岭地质矿产科研报告集. 武汉: 中国地质大学出版社, 326-363.
- 王联魁, 黄智龙. 2000. Li-F 花岗岩液态分离与实验[M]. 北京: 科学出版社, 1-290.
- 王联魁, 朱为方, 张绍立. 1982. 华南花岗岩两个成岩成矿系列的演化[J]. 地球化学, 11 (4): 329-339.
- 魏绍六, 曾钦旺, 许以明, 等. 2002. 湖南骑田岭地区锡矿床特征及找矿远景[J]. 中国地质, 29 (1): 67-75.
- 汪洋. 2008. 南岭燕山早期花岗岩成因类型的进一步探讨[J]. 地质论评, 54 (2): 162-174.
- 肖惠良, 陈国栋, 班宜忠, 等. 2006. 论南岭东段钨多金属矿找矿方向[J]. 资源调查与环境, 27 (2): 85-93.
- 章振根. 1983. 3B花岗岩——一种与锡矿有关的花岗岩[J]. 地质地球化学, (4): 58-59.
- 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[M]. 北京: 科学出版社, 1-421.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 2006. 赣南大吉山花岗岩成矿成岩年龄的研究[J]. 地质学报, 80: 956-962.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 2008. 赣南漂塘花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. 地质学报 (在印刷中).
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. 高校地质学报, 9 (4): 556-565.
- 朱金初, 陈骏, 王汝成, 等. 2008. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨A型花岗岩带[J]. 高校地质学报, 14(4): 474-484.
- 朱金初, 李人科, 周凤英, 等. 1996. 广西栗木水溪庙不对称层状伟晶岩-细晶岩岩脉的成因讨论[J]. 地球化学, 25 (1): 1-9.
- 朱金初, 刘伟新, 周凤英. 1993. 香花岭431岩脉中翁岗岩和黄英岩及空间分带和成因关系[J]. 岩石学报, 9 (2): 158-166.
- 朱金初, 饶冰, 熊小林, 等. 2002. 富锂氟含稀有矿化花岗质岩石的对比和成因思考[J]. 地球化学, 31 (2): 141-152.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 2007a. 骑田岭岩体[M] //周新民. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 520-533.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 2007b. 花山-姑婆山岩体[M] //周新民. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 366-382.
- 朱祥培, 高贵荣和梁景时. 2006. 江西崇义八仙脑钨锡多金属矿床特征及找矿方向[J]. 资源调查与环境, 27 (2): 120-126.