

# 赋含稀有及有色金属的长英质岩体岩石学与岩石地球化学对比分析

王子玺<sup>1</sup>, 凌锦兰<sup>1,2</sup>, 宋艳芳<sup>1,3</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 陕西核工业集团公司, 西安 710100; 3. 湖南工学院, 湖南衡阳 421002)

**[摘要]** 长英质岩体常赋含Cu、Mo、W、Sn、Nb、Ta而形成稀有及有色金属矿床,大多数富矿岩体都属于小岩体(面积 $< 10 \text{ km}^2$ )。赋含铜钼矿的岩体中岩浆的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 高有利于富集Mo;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^\dagger$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 含量高有利于富集Cu。赋含钨锡矿的岩体中岩浆的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 高有利于富集W;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^\dagger$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 含量高有利于富集Sn。赋含铌钽的岩体中岩浆中高 $\text{Fe}_2\text{O}_3^\dagger$ 、低 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、富碱、高 $\text{TiO}_2$ 有利于Nb的富集。含Cu矿岩体基本都属I型花岗岩,而含Mo矿岩体属由I型到S型的过渡类型;赋含钨锡矿的岩体基本属于S型花岗岩;而赋含铌钽矿的长英质岩体成因类型复杂,I型、S型、A型花岗岩均有。

**[关键词]** 长英质岩体;稀有金属;有色金属;岩石成因;小岩体

**[中图分类号]** P611 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)02-0050-09

## 1 前言

由于一些元素的地球化学性质的趋同性,因而经常共生在一起。譬如Cu与Mo共生而形成铜钼矿;W、Sn和Mo共生而形成钨锡(钼);Nb与Ta共生形成铌钽矿。然而各个元素又有各自的富集机制,可以独立成矿,并且这些矿床基本都赋存在长英质岩体中,表明了成矿专属性。为何这些稀有及有色金属可以共生成矿而又可以各自成矿?它们各自成矿的岩体又有什么不同?由于国内对此研究程度还不高,综合研究还不完善,因此本文从岩石学及岩石地球化学角度综合对比分析了国内典型的铜钼矿床、钨锡矿床及铌钽矿床,并总结了不同矿床的成矿规律及岩石成因。研究证明,形成大型Cu、Mo、W、Sn、Nb、Ta矿床的长英质岩体几乎都符

合汤中立院士提出的小岩体标准(面积 $< 10 \text{ km}^2$ 或体积 $< 10 \text{ km}^3$ )<sup>[1]</sup>。因此应当沿着“小岩体成大矿”这一方向不断求索,使该理论日臻完善,并在指导找矿的实践中取得更大的成绩。

## 2 岩体地质特征

### 2.1 赋含铜钼矿的长英质岩体地质特征

铜钼元素常常在同一矿床中呈共生或者伴生产出,因此这两个矿种应该具有相似的成矿条件。笔者等搜集了4个典型的钼矿床(金堆城、沙坪沟、上房沟、南泥湖),3个典型的铜矿床(德兴铜厂、富家钨、多宝山),3个典型的铜钼多金属矿床(驱龙、玉龙、乌怒格吐山)来探讨赋含铜钼多金属矿床的地质特征、岩石学及岩石成因。前人对这些矿床的研究非常详实,因此总结各个矿床的地质特征

**[收稿日期]** 2014-12-03

**[基金项目]** 中央高校基本科研业务费专项(2013G1271100);中国地质调查局“阿吾拉成矿”(220000100038);含大矿小岩体岩石学(210000130114)

**[作者简介]** 王子玺,1990年出生,男,河北邢台市人,硕士,研究方向为矿物学、岩石学、矿床学; E-mail: wangzixi1027@163.com

列于表1(见序号1~10)。

除多宝山岩体外(9 km<sup>2</sup>),其他岩体的地表出露面积均小于1 km<sup>2</sup>,属典型的小岩体,岩体形态多为岩筒状、岩株、扁环状。由于钼矿中很少伴生铜(钼品位高),但是铜矿中经常伴生钼,为了便于讨论分析,笔者等将小岩体型铜、钼矿床分为两类,一类是Mo矿,另一类是Cu(-Mo)矿。

## 2.2 赋含钨锡矿的长英质岩体地质特征

钨锡元素常常在矿床中呈共生或伴生产出,因此两个矿种应该具有相似的成矿条件。钨锡矿的主要成矿岩体是与中酸性岩浆作用有关的小岩体。笔者等搜集了5个典型的锡矿床(大厂、个旧、芙蓉、银岩、岩背),3个典型的钨矿床(瑶岗仙、大吉山、大明山),2个典型的钨锡多金属矿床(柿竹园、西华山)来探讨赋含钨锡多金属矿床的花岗岩岩石学特征与形成背景。地质特征列于表1(见序号11~20)中。我国中酸性小岩体钨、锡矿床的基本岩体特征包括以下内容。a.无论是钨矿还是锡矿或是钨锡多金属矿侵入岩面积均较小(芙蓉锡矿除外),一般都小于 $n$  km<sup>2</sup>( $n \leq 10$ ),浅侵位(<1 km)、多期次侵位。大多数岩体的产状都复杂多样,而且往往不同类型产状的岩体连为一体。如:云南个旧锡矿深部

为岩基,顶部为岩株,边部为岩枝,还有不少岩脉共生。由此可见,地表所谓的小岩体向深部多与大岩体相连,但成矿的部位则多在小岩体处。b.锡矿床多数与黑云母花岗岩有关。而钨锡矿床及钨矿床成矿岩体类型较多,包括二长花岗岩、黑云母花岗岩和白云母花岗岩。c.岩体矿化较好,有时整个岩体即是矿体。围岩蚀变类型多,包括硅化、白云母化、云英岩化、钠长石化、矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化等。

## 2.3 赋含铌钽矿的长英质岩体地质特征

本文选择了5个大型-特大型典型的岩浆型铌钽矿床(栗木、宜春、巴尔哲、可可托海、香花岭)来探讨不同矿床的地质特征、岩石学和岩石地球化学及岩石成因等问题。各矿床的基本地质特征总结列于表1(见序号21~25)。前人研究成果表明铌钽矿床的含矿岩体地表出露面积较小,属于小岩体;岩体蚀变多以钠长石化、云母化、钠闪石化为主;矿床中Nb与Ta经常伴生,但赋矿岩石不尽相同。铌主要分布在正长岩、霞石正长岩和花岗岩中;而钽则主要分布在花岗岩中。当岩石由酸性向碱性过渡时,钽反而大幅度递减。

表1 赋含稀有及有色金属的长英质岩体地质特征一览表

Table 1 The geological characteristics of felsic rock mass enrich rare and non-ferrous metals

序号	矿床	县市/省区	矿种	矿体形态	含矿岩体	岩体规模(km <sup>2</sup> )/形态	参考文献
1	金堆城	华县/陕西	Mo	连续的扁豆体	花岗岩	0.067/岩筒状	[2]
2	沙坪沟	金寨/安徽	Mo	筒状	花岗岩	隐伏岩体	[3]
3	上房沟	栾川/河南	Mo	不规则倒杯状	花岗岩	0.05/岩筒状	[4]
4	南泥湖	栾川/河南	Mo	扁豆体	斑状二长花岗岩	0.12/小岩株	[4]
5	德兴铜厂	德兴/江西	Cu	空心筒状	花岗闪长岩	0.7/岩株	[5]
6	富家坞	德兴/江西	Cu	空心筒状	花岗闪长岩	0.2/岩株	[6]
7	驱龙	拉萨/西藏	Cu	脉状	二长花岗岩	0.15/0.75/岩株、岩枝	[7]
8	玉龙	江达/西藏	Cu、Mo	倒置的杯状(1号矿体)	二长花岗岩复式岩体	0.64/岩株	[5]
9	乌努格吐山	新巴尔虎右旗/内蒙古	Cu、Mo	空心环状	二长花岗岩	0.42/岩株	[8]
10	多宝山	嫩江/黑龙江	Cu	环绕着斑岩体呈扁环状	花岗闪长岩	9/岩株	[9]
11	大厂	南丹/广西	Sn	层状、脉状	黑云母花岗岩	0.5/岩株	[10]
12	老厂/个旧	个旧/云南	Sn	形态多样	黑云母花岗岩	0.3/椭圆状大岩基	[11]
13	芙蓉	郴州/湖南	Sn	透镜状、似层状、大脉状	含角闪石黑云母(二长)花岗岩	521/椭圆状	[12]
14	银岩	信宜/广东	Sn	倒杯状	花岗斑岩	0.06/筒状体	[13]
15	岩背	会昌/江西	Sn	簸箕状	花岗斑岩	0.1/岩瘤	[14]
16	瑶岗仙	郴州/湖南	W	脉状	二云母花岗岩	1.2/复式小岩体	[15]
17	大吉山	全南/江西	W	脉状	白云母花岗岩	隐伏岩体	[16]
18	大明山	武鸣/广西	W	层状	斑状白云母花岗岩	0.05/岩株	[17]
19	柿竹园	郴州/湖南	W、Sn、Bi、Mo	水平透镜状	黑云母花岗岩	10/岩株状	[18]

续表

序号	矿床	县市/省区	矿种	矿体形态	含矿岩体	岩体规模(km <sup>2</sup> )/形态	参考文献
20	西华山	大余/江西	W、Sn、Mo	层状	黑云母花岗岩	20/岩株状	[19]
21	栗木	恭城/广西	Nb、Ta	脉状	钠长石花岗岩	1.5 km <sup>2</sup> /岩株	[20]
22	宜春	宜春/江西	Ta、Nb、Li、Rb、Cs	层状	钠长石化锂云母化花岗岩	0.65 km <sup>2</sup> /岩株	[21]
23	巴尔哲	扎鲁特旗/内蒙古	Nb、Ba、Y	层状	钠闪石花岗岩	0.41 km <sup>2</sup> /岩株	[22]
24	可可托海	富蕴/新疆	Li、Be、Nb、Ta、Cs	陡倾筒状岩钟和一缓倾斜板状体组成	锂辉石-钠长石型花岗伟晶岩	脉体顶部出露于地表,其余隐伏于地下	[23]
25	香花岭	临武/湖南	Be、W、Be、Nb、Ta	层状	锂白云母花岗岩	4.4 km <sup>2</sup> /岩株	[24]

### 3 主量元素特征

#### 3.1 赋含铜钼矿的长英质岩体主量元素特征

在图1a中,赋存铜矿床的岩石主要为石英闪长岩或花岗闪长岩,同时有部分花岗岩、闪长岩和少

量的正长闪长岩;含钼矿岩石主要为花岗岩,同时有少量的正长岩和花岗闪长岩或石英闪长岩。在图1b中,含铜矿岩石从钙碱性、高钾钙碱性到钾玄岩系列均有;而含钼矿岩石主要为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列。

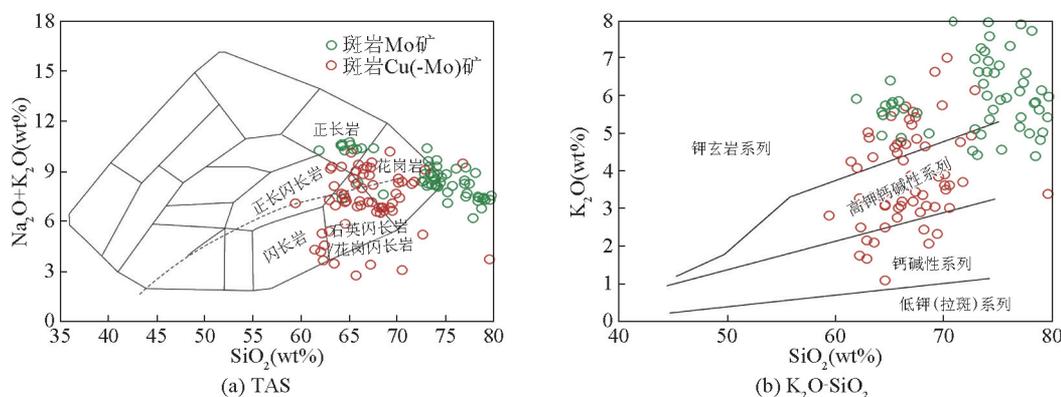


图1 TAS和K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图解<sup>[25-27]</sup>

Fig. 1 TAS and K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram<sup>[25-27]</sup>

注:数据来源自文献[2-9],wt %为重量百分比

由表2可以看出,含Mo为主的岩体的岩石SiO<sub>2</sub>含量(平均为73.35%)高于含Cu(-Mo)矿岩体。含Mo矿的岩体的K<sub>2</sub>O含量和K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比值较含Cu(-Mo)矿的要高,含Cu(-Mo)矿的岩体Na<sub>2</sub>O与K<sub>2</sub>O含量相近,因此含Mo矿比含Cu(-Mo)矿的岩体更富碱。含铜钼矿岩体铝饱和指数图显示含Mo矿斑岩主要属于过铝质,部分属于准铝质;含Cu矿斑岩属于准铝质和过铝质。以铜为主的岩体的CaO含量高,而以Mo为主的岩体的含量低。不同成矿类型的岩体的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>和MgO平均含量不同。

一般以含Mo矿的岩体的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、MgO含量低,含Cu(-Mo)矿斑岩的含量高。这种变化是由于含Mo矿成矿岩体较酸性,铜矿岩体相对基性所致。含Cu(-Mo)矿岩体的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和TiO<sub>2</sub>含量要比含Mo矿岩体的要高。

根据以上岩石主量元素特征分析发现,岩浆的高酸、高碱、高钾有利于Mo的富集。SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O高有利于富集Mo; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、MgO、CaO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>含量高有利于富集Cu。

表2 赋含稀有及有色金属的长英质岩体主量数据简表

Table 2 The major element data of felsic rock mass enrich rare and non-ferrous metals

矿床类型	SiO <sub>2</sub> /平均值(%)	K <sub>2</sub> O/平均值(%)	Na <sub>2</sub> O/平均值(%)	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O/平均值	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O/平均值	Al/(Ca+K+Na)/平均值	Al/(K+Na)/平均值	CaO/平均值(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /平均值(%)	MgO/平均值(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /平均值(%)	TiO <sub>2</sub> /平均值(%)	样品数
Cu(-Mo)矿床	59.44~79.52/66.84	1.12~8.27/3.96	0.01~5.11/3.31	0.43~6.72/1.46	6.96~10.22/8.74	0.70~1.79/1.01	1.06~2.52/1.46	0.07~5.85/2.43	0.78~8.81/3.36	0.24~3.12/1.49	0.02~0.40/0.18	0.06~0.69/0.36	74
Mo矿床	61.84~81.84/73.35	4.40~9.87/6.05	0.54~5.15/2.54	1.07~18.28/3.32	6.23~10.75/8.59	0.83~1.19/1.06	1.05~1.37/1.19	0~2.79/0.75	0.50~6.80/2.19	0.03~1/0.28	0~0.27/0.07	0.04~0.57/0.21	61
小岩体W矿床	68.68~79.54/74.53	0.99~8.27/4.52	0.10~4.73/3.29	0.10~7.10/3.39	3.8~10.61/7.81	0.95~2.66/1.22	1.05~3.23/1.44	0.24~4.75/0.80	0.55~6.24/1.85	0.02~2.80/0.30	0.01~0.47/0.08	0.01~0.49/0.08	66
小岩体Sn矿床	58.58~76.97/71.40	0.88~7.67/4.81	0.12~4.11/2.90	0.12~5.75/2.05	1.63~10.18/7.72	0.79~2.21/1.11	0.94~3.66/1.39	0.20~4.97/1.48	1.11~7.8/3.02	0.06~2.99/0.50	0~1.10/0.19	0~0.94/0.29	206
小岩体钨锡多金属矿床	73.02~79.18/74.37	3.36~6.29/4.64	1.99~5.44/3.43	0.38~2.42/2.84	6.54~9.69/8.07	0.76~1.35/1.03	0.87~1.53/1.22	0.36~2.45/0.98	0.48~5.76/1.93	0~0.75/0.20	0~0.29/0.05	0~0.58/0.15	100
花岗岩型钽矿	68.71~79.03/74.67	2.05~7.18/4.15	0.04~7.05/3.60	0.48~3.95/1.27	3.04~9.24/7.75	1.09~2.03/1.26	1.18~2.06/1.31	0.05~1.08/0.37	0.08~3.16/1.12	0.03~0.17/0.10	0.01~0.29/0.14	0.01~0.09/0.05	29
伟晶岩型钽矿	55.15~79.73/71.95	0.83~7.98/4.02	2.42~5.32/3.62	0.16~9.76/2.04	3.02~15.93/8.46	1~2.45/1.49	1.02~2.68/1.58	0~0.44/0.27	0.76~3.16/1.40	0.03~1.01/0.62	0.04~0.48/0.25	0.01~0.08/0.04	8
碱性花岗岩型钽矿	64.82~76.98/73.44	3.13~5.59/4.71	2.97~5.62/4.31	0.59~1.82/1.16	7.79~11.21/9.02	0.71~1.04/0.92	0.71~1.37/0.98	0.04~1.67/0.41	2.41~8.33/4.14	0.02~0.7/0.12	0.01~0.07/0.03	0.13~0.70/0.22	20

注:数据来源于[2~24]

### 3.2 赋含钨锡矿的长英质岩体主量元素特征

从图2a中可以看出,钨矿的岩石类主要为花岗岩,此外还有极少量的闪长岩和正长闪长岩;锡矿也主要为花岗岩,部分为石英闪长岩、花岗闪长岩,还有的为正长岩、正长闪长岩、闪长岩;钨锡多金属矿的主要岩石类同样也为花岗岩,并有少量正长

岩。在图2b中,无论是钨矿、锡矿还是钨锡多金属矿岩石系列范围都较广泛,从钙碱性系列、高钾钙碱性系列到钾玄岩系列均有,只是在不同系列之间各个样品所占的比例存在明显的差异。钨矿和钨锡多金属矿均以高钾钙碱性系列为主,而锡矿则高钾钙碱性系列和钾玄岩系列并重。

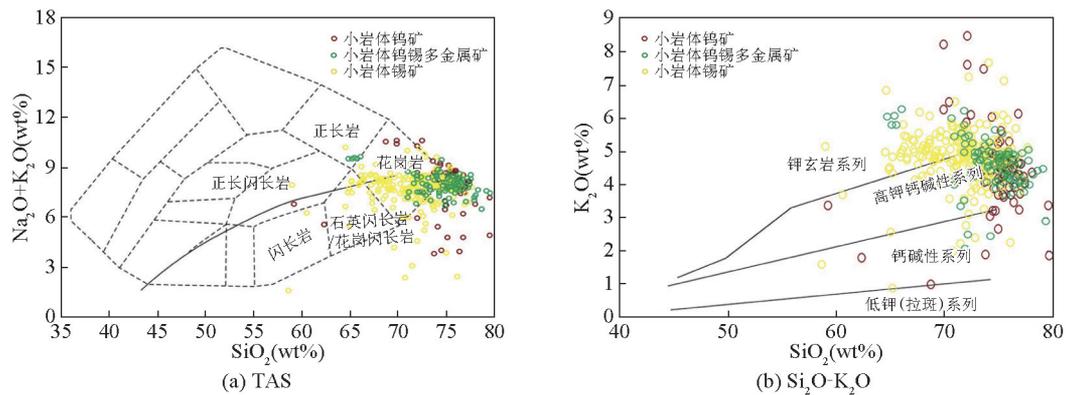


图2 TAS和SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解<sup>[25-27]</sup>

Fig. 2 TAS and K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram <sup>[25-27]</sup>

注:数据源自文献[10~19]

由表2看出,以含钨为主的和以钨锡多金属为主的岩体岩石的SiO<sub>2</sub>含量都较高,而以含锡为主的岩体岩石的SiO<sub>2</sub>含量较低。在不同矿化岩石中K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O含量不同,但Na<sub>2</sub>O含量总体均低于K<sub>2</sub>O含量;一般以锡为主的岩体,K<sub>2</sub>O明显高于Na<sub>2</sub>O含量,而以钨为主的岩体和以钨锡多金属为主的岩体其K<sub>2</sub>O与Na<sub>2</sub>O平均含量大致相当,但均低于以锡为主的岩体。所有成矿岩体样品的总碱量(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)总体高于中国黑云母花岗岩(7.23%)<sup>[28]</sup>同类值含量,表明多数岩体具有富碱的特点。各岩体的K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比值总体大于1,表明岩体富钾。在图3b中,三种矿床岩石多数属于准铝质-过铝质,主要以过铝质为主,同时根据A/NCK值也可得出同样结论;由于钨锡多金属岩体数据较少,具有一定的影响,但总体上呈过铝质的趋势还是非常显著。总体样品中CaO含量都比较低,不同矿化岩体中CaO的平均含量不同,锡矿岩体CaO的含量较高,钨锡多

金属岩体CaO含量次之,钨矿岩体CaO含量较低。这种变化与钨成矿岩体相对酸性,锡成矿岩体相对基性有关。样品Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>和MgO含量均较低,不同成矿类型岩体的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>和MgO平均含量不同;一般含锡岩体的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>和MgO含量高于含钨岩体、含钨锡多金属的岩体。MgO和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>含量在岩石中的变化是同步的:即岩石中MgO高,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>亦高,MgO低,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>亦低。这种变化同样是由于钨成矿岩体较酸性,锡成矿岩体相对较基性,含铁镁矿物相对较高所致。所有样品的P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和TiO<sub>2</sub>含量均较低,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>多小于0.5%,TiO<sub>2</sub>多小于1.0%。且含锡岩体的含量要略高于钨及钨锡多金属岩体。

根据以上岩石主量元素特征分析发现,岩浆的高酸、高碱、高钾地球化学环境有利于钨、锡的富集。具体表现为SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O高有利于富集钨;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、MgO、CaO含量高有利于富集锡。

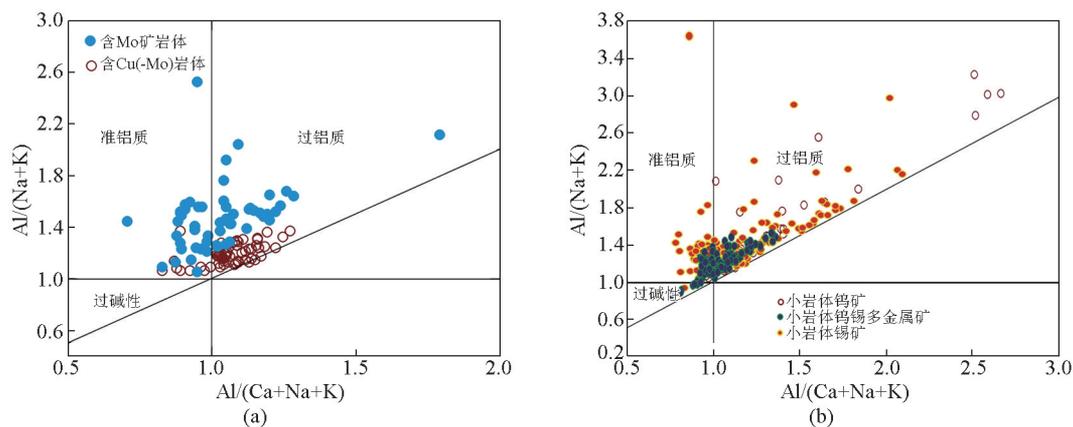


图3 含铜钼矿岩体铝饱和指数图(a)和含钨锡矿岩体铝饱和指数图(b)<sup>[29]</sup>

Fig. 3 The enriches Cu, Mo of rockbody and the enriches W, Sn of rockbody's aluminium saturation index figure<sup>[29]</sup>

注:数据源自文献[2~19]

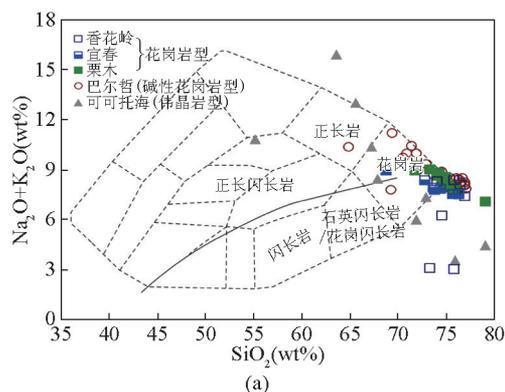
### 3.3 赋含铌钽矿的长英质岩体主量元素特征

赋含铌钽矿的长英质岩体中,铌主要分布在正长岩、霞石正长岩和花岗岩中;而钽则主要分布在花岗岩中。当岩石由酸性向碱性过渡时,钽反而大幅度递减。铌、钽元素广泛分布于各类岩石尤其是酸性花岗岩及碱性系列岩石中,加之其亲氧性的特性,不论在酸性岩还是碱性岩中,也不论在岩浆期、伟晶期还是气热期,或是由于沉积作用乃至表生作用,都有铌钽矿床出现。因此铌钽矿床具有类型多,成矿复杂的特点。铌钽矿床按赋矿岩体可以分为5类型:伟晶岩型铌钽矿床、花岗岩型铌钽矿床、

碱性岩型铌钽矿床、碳酸岩型铌钽矿床、沉积型铌钽矿床<sup>[30]</sup>。文章只选择了前三种岩浆型岩体为研究对象。可可托海铌钽矿属于伟晶岩型铌钽矿床,广西栗木铌钽矿、江西宜春铌钽矿、湖南香花岭铌钽矿属于花岗岩型铌钽矿床,内蒙巴尔哲铌钽矿属于碱性花岗岩型富铌矿<sup>[30]</sup>。

在图4a中各个矿床的主要岩石类型为花岗岩,明显不同于铜钼矿、钨锡矿岩体。在图4b中,伟晶岩型的可可托海铌钽矿床岩性为低钾(拉板系列)、钙碱性系列、高钾钙碱性系列、钾玄岩系列均有,而花岗岩型的栗木、宜春、香花岭铌钽矿岩性大都为

高钾钙碱性系列;碱性花岗岩型的巴尔哲钨钼矿岩



性从高钾钙碱性系列过渡到钾玄岩系列。

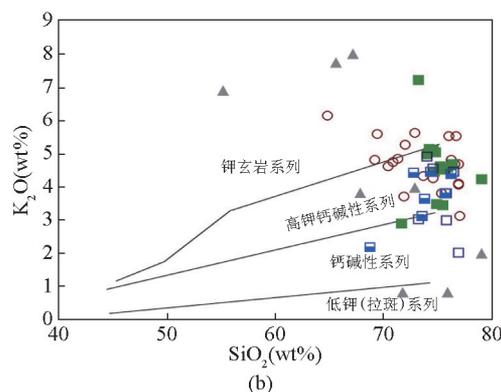


图4 TAS (a)和SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(b)<sup>[25-27]</sup>

Fig. 4 TAS(a) and SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O(b) diagram<sup>[25-27]</sup>

注:数据源自文献[20-24]

由表2可以看出,伟晶岩型可可托海钨钼矿床的岩体的SiO<sub>2</sub>含量变化范围较大,这是由于伟晶岩脉内部分带明显;花岗岩型的栗木、宜春、香花岭钨钼矿岩体的SiO<sub>2</sub>数据较为集中;碱性花岗岩型钨钼矿岩体的SiO<sub>2</sub>含量较花岗岩型要低。从图4a可以看出碱性花岗岩型钨钼矿床较花岗岩型钨钼矿床更为富碱。图4b显示碱性花岗岩型钨钼矿床的岩体属于过碱性-准铝质,而花岗岩型钨钼矿床和伟晶岩型大部分属于过铝质。含钨钼矿的岩体与赋含铜钼、钨锡矿床的岩体相比,CaO含量要更低。各类型矿床岩体的MgO含量均较低,而碱性花岗岩型钨钼矿床岩体的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>含量要明显高于伟晶岩型和花岗岩型钨钼矿床。三种类型钨钼矿床P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量均较低,伟晶岩型、花岗岩型至碱性花岗岩型P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量依次降低。碱性花岗岩型钨钼矿床的岩体的TiO<sub>2</sub>含量明显高于伟晶岩型、花岗岩型钨钼矿床的值。

综上所述,富钨的碱性花岗岩型钨钼矿床与伟晶岩型、花岗岩型钨钼矿床相比具有高Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>、低P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、富碱、高TiO<sub>2</sub>的特征。

## 4 岩石成因类型

### 4.1 赋含铜钼矿的长英质岩体岩石成因

图5显示含Cu矿岩体主要属I型花岗岩,而含Mo矿岩体有向S型花岗岩演化的趋势,但CaO含量总体比正常的S型花岗岩要低。I型花岗岩δ<sup>18</sup>O值一般为0.6%~1%,而S型花岗岩则>1%<sup>[31]</sup>。含Cu矿岩体玉龙的石英样品δ<sup>18</sup>O为0.83%~1.01%<sup>[32]</sup>,乌努格吐山石英样品的δ<sup>18</sup>O值为0.83%~0.94%<sup>[33]</sup>。含Mo矿岩体的南泥沟全岩的δ<sup>18</sup>O为0.72%~0.90%,石英的δ<sup>18</sup>O为0.96%~1.04%<sup>[34]</sup>。因此含Cu、Mo矿岩体的δ<sup>18</sup>O值基本都位于0.06%~1%左右,所有含Cu、Mo矿岩体均属于I型花岗岩。

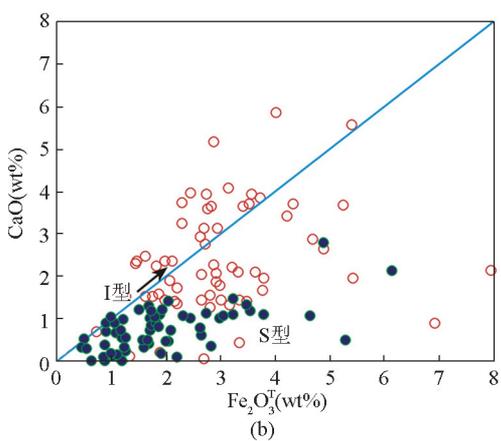
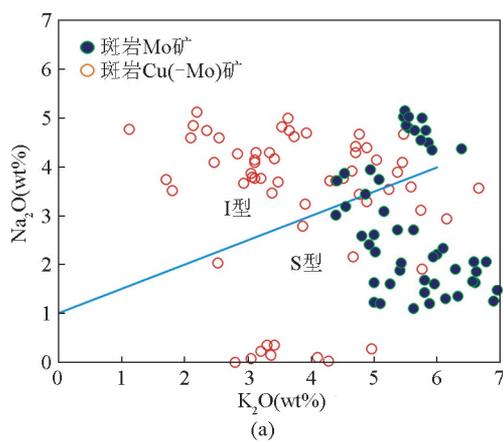


图5 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O(a)和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>-CaO(b)图<sup>[31]</sup>

Fig. 5 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O(a) and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>-CaO(b) diagram<sup>[31]</sup>

注:数据源自文献[2-9]

综上所述含Cu矿斑岩基本都属于I型花岗岩, 而含Mo矿斑岩属由I型到S型的过渡类型。

#### 4.2 赋含钨锡矿的长英质岩体岩石成因

图6a中数据大部分投到线的下部, 少数部分投到线的上部(这可能与蚀变有关)。因此赋含钨锡矿的花岗岩类型大多数属于S型花岗岩。在同位素方面, S型花岗岩全岩的 $\delta^{18}\text{O} > 1\%$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{初}} > 0.708^{[31]}$ 。而老厂钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.12%~1.40%)、

瑶岗仙钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.15%~1.44%,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{初}}$ 为0.7215~0.7747)、大吉山钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.01%~1.29%,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{初}}$ 为0.74465)、大明山钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.17%~1.44%)、柿竹园钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.08%~1.70%,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{初}}$ 为0.7088~0.7215)、西华山钨锡矿床( $\delta^{18}\text{O}$ 为1.04%~1.32%,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{初}}$ 为0.715~0.7493)的O、Sr同位素特征都介于此<sup>[15,35-37]</sup>。因此, 赋含钨锡矿的长英质岩体更可能属于S型花岗岩。

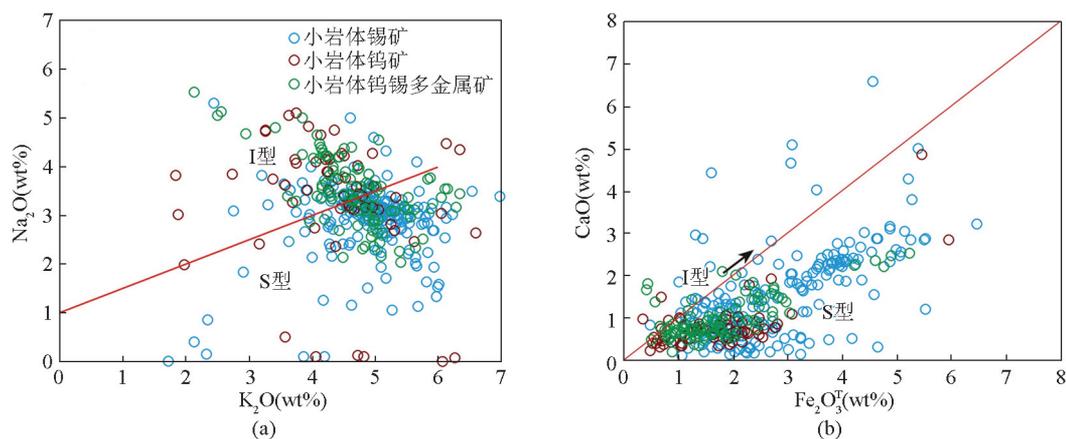


图6  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ (a)和 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}-\text{CaO}$ (b)图<sup>[31]</sup>  
Fig. 6  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ (a) and  $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}-\text{CaO}$ (b) diagram<sup>[31]</sup>

注:数据来源自文献[10~19]

#### 4.3 赋含铌钽矿的长英质岩体岩石成因

图7a中,花岗岩型铌钽矿床栗木花岗岩数据点表现为沿着线分别或者在线上,因此该岩体可能

属于I型花岗岩。而花岗岩型铌钽矿床岩体和伟晶岩型岩体的数据点在图7a中大多数位于线的下部,因此该岩体可能属于S型花岗岩。

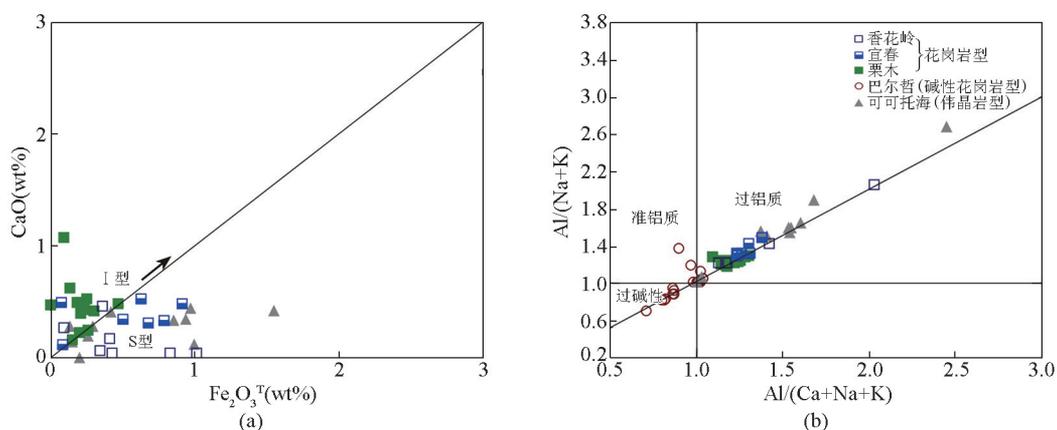


图7  $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}-\text{CaO}$ 和 $\text{A}/\text{CNK}-\text{A}/\text{NK}$ 图<sup>[29,31]</sup>  
Fig. 7  $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}-\text{CaO}$  and  $\text{A}/\text{CNK}-\text{A}/\text{NK}$  diagram<sup>[29,31]</sup>

注:数据来源自文献[20~24]

花岗岩型铌钽矿床多与钨锡矿床共生,富矿岩石为富钽钨长花岗岩体,是成钨(锡)复式岩体的晚期岩相。大量研究工作确定,我国的钨锡花岗岩是上地壳硅铝质重熔型花岗岩或称S型花岗岩,其同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值1.08%~12%, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值为0.7093~0.7464,说明是硅铝质重熔型花岗岩<sup>[38]</sup>。因此湖南香花岭应属于S型花岗岩。

碱性花岗岩型巴尔哲纳闪石花岗岩石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值基本上落在幔源岩石0.55%~0.70%的范围内,说明花岗岩来源于地壳中幔源岩浆岩的部分熔融,因此该类岩体是有大量幔源物质参与的幔源分异同熔型花岗岩<sup>[38]</sup>,可能属于A型花岗岩。

伟晶岩型铌钽矿床可托海3号伟晶岩脉的I带~IX带石英中的 $\delta^{18}\text{O}$ 的值在+1.18%~13.87%中变化,比一般伟晶岩石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 的值(+0.80%~0.11%)高,属于高 $\delta^{18}\text{O}$ 的伟晶岩。II带的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初为0.7512±0.014,该带的磷灰石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为0.7522。这说明伟晶岩脉可能主要是上地壳物质重溶岩浆分异的产物<sup>[39]</sup>。因此该岩体可能为S型花岗岩。

由此可见,赋含铌钽矿的长英质岩体成因类型复杂,I型、S型、A型花岗岩均有。

## 5 结语

1)大部分赋含有色金属的长英质岩体地表出露面积 $<10\text{ km}^2$ 或体积 $<10\text{ km}^3$ 。符合汤中立院士提出的小岩体成大矿的规律。

2)赋含铜钼矿的长英质岩体中岩浆的高酸、高碱、高钾有利于Mo的富集。 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 高对Mo富集有利; $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 含量高对Cu富集有利。赋含钨锡矿的长英质岩体中岩浆的高酸、高碱、高钾地球化学环境有利于钨、锡的富集。具体表现为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 高对钨富集有利; $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 含量高对锡富集有利。富铌的碱性花岗岩型铌钽矿床与伟晶岩型、花岗岩型铌钽矿床相比具有高 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、低 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、富碱、高 $\text{TiO}_2$ 的特征。

3)岩石地球化学和同位素特征表明,含Cu矿斑岩基本都属于I型花岗岩,而含Mo矿斑岩属由I型到S型的过渡类型。赋含钨锡矿的长英质岩体更可能属于S型花岗岩。而赋含铌钽矿的长英质岩体成因类型复杂,I型、S型、A型花岗岩均有。

## 参考文献

- [1] 汤中立,徐刚,王亚磊,等. 岩浆成矿新探索——小岩体成矿与地质找矿[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 1-16.
- [2] 徐兆文,杨荣勇,刘红樱,等. 陕西金城城斑岩钼矿床成矿流体研究[J]. 高校地质学报, 1998, 4(4): 423-431.
- [3] 张怀东,王波华,郝越进,等. 安徽沙坪沟斑岩型钼矿床地质特征及综合找矿信息[J]. 矿床地质, 2012, 31(1): 41-51.
- [4] 包志伟,曾乔松,赵太平,等. 东秦岭钼矿带南泥湖-上房沟花岗岩斑岩成因及其对成矿作用的制约[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2523-2536.
- [5] 黄崇轲,朱裕生,白冶. 中国铜矿床[M]. 北京:地质出版社, 2001.
- [6] 王强,赵振华,简平,等. 德兴花岗岩内长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 315-324.
- [7] 杨志明. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床——岩浆作用与矿床成因[D]. 北京:中国地质科学院, 2008.
- [8] 秦克章,李惠民,李伟实,等. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床的成矿时代[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 180-185.
- [9] 崔根,王万益,张景仙,等. 黑龙江多宝山花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 世界地质, 2008, 27(4): 387-394.
- [10] 蔡明海,梁婷,吴德成,等. 广西大厂矿田花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. 地质科技情报, 2004, 23(2): 57-62.
- [11] 杨宗喜,毛景文,陈懋弘,等. 云南个旧卡房铜矿床地质地球化学特征及其成因探讨[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 830-844.
- [12] 彭建堂,胡瑞忠,毕献武,等. 湖南芙蓉锡矿床 40Ar/39Ar 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(3): 237-248.
- [13] 沈渭洲,王德滋,谢永林,等. 湖南千里山复式花岗岩体的地球化学特征和物质来源[J]. 1995, 14(3): 193-202.
- [14] 刘玉平,李正祥,李惠民,等. 都龙锡钨矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学:滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩-成矿事件[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 967-976.
- [15] 王登红,李华芹,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.
- [16] 张文兰,华仁民,王汝成,等. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 956-962.
- [17] 李如水,王登红,梁婷,等. 广西大明山钨矿区成矿时代及其找矿前景分析[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 873-879.
- [18] 毛景文,李红艳, Guy B, 等. 湖南柿竹园矽卡岩-云英岩型 W-Sn-Mo-Bi 矿床地质和成矿作用[J]. 矿床地质, 1996, 15(1): 1-15.
- [19] 肖剑,王勇,洪应龙,等. 西华山钨矿花岗岩地球化学特征及与钨成矿的关系[J]. 东华理工大学学报, 2009, 32(1): 22-31.
- [20] 汪恕生,张起钻,覃宗光,等. 广西栗木花岗岩型锡钨矿床地质特征及控矿因素[J]. 大众科技, 2008, 11(5): 111-112.
- [21] 杨泽黎,邱检生,邢光福,等. 江西宜春雅山花岗岩体的成因与演化及其对成矿的制约[J]. 地质学报, 2014, 88(5): 850-868.
- [22] 杨武斌,单强,赵振华,等. 巴尔哲地区碱性花岗岩的成岩成矿作用:矿化和未矿化岩体的比较[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1689-1704.
- [23] 朱金初,吴长年,刘昌实,等. 新疆阿尔泰可托海3号伟晶岩脉岩浆热液演化和成因[J]. 高校地质学报, 2000, 6(1): 40-52.
- [24] 邱瑞照,彭松柏,杜绍华,等. 香花岭花岗岩型铌钽矿床的成因——兼论超临界流体在成岩成矿过程中的应用[J]. 湖南地质, 1997, 16(2): 92-97.
- [25] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. Earth Science Reviews, 1994, 37: 215-224.

- [26] Irvine T N , Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8:532-548.
- [27] Peceerillo R, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58: 63-81.
- [28] 黎 彤,袁怀雨,吴胜昔,等. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分的对比如研究[J]. 大地构造与成矿学, 1998, 22(1): 29-34.
- [29] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of American Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- [30] 王汾连,赵太平,陈 伟. 钨钼矿研究进展和攀西地区钨钼矿成因初探[J]. 矿床地质, 2012, 31(2):293-308.
- [31] Chapman B W, White A J R. Two contrasting granite types: 25 years later [J]. Australia Journal Earth Sciences, 2001(48): 489-499.
- [32] 陈建平,唐菊兴,从 源,等. 藏东玉龙斑岩铜矿地质特征及成矿模型[J]. 地质学报, 2009, 83(12):1887-1900.
- [33] 谭 刚. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床成矿作用研究[D]. 北京:中国地质科学院(北京), 2011.
- [34] 曾华杰,张太华,张炳欣,等. 南泥湖钼矿田同熔型花岗岩类的成因研究[J]. 河南地质, 1983(1):56-66.
- [35] 於崇文,岑 况,龚庆杰,等. 湖南郴州柿竹园超大型钨-多金属矿床的成矿复杂性研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(3):15-39.
- [36] 刘家齐,常海亮. 论大明山钨矿床的成因[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1989, 14:171-182.
- [37] 刘家齐,汪雄武,曾贻善,等. 西华山花岗岩及钨锡铍矿田成矿流体演化[J]. 华南地质与矿产, 2002(3):91-96.
- [38] 白 鸽,袁忠信,丁孝石,等. 我国富钨钼花岗岩特征及其成因探讨[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1988, 1(1): 1-9.
- [39] 邹天人,曹惠志,吴柏青. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志[J]. 地质学报, 1988(3):228-245.

## Compared and analyzed the petrology and geochemistry of felsic rock mass enriches rare and non-ferrous metals

Wang Zixi<sup>1</sup>, Ling Jinlan<sup>1,2</sup>, Song Yanfang<sup>1,3</sup>

(1. College of Earth Science and Recourse, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Nuclear Group, Xi'an 710100, China; 3. Hunan Institute of Technology, Hengyang, Hunan 421002, China)

**[Abstract]** The felsic rock mass always enrich Cu, Mo, W, Sn, Nb, Ta, then become an rare and non-ferrous metals deposit. Most of these rock masses are small (area < 10 km<sup>2</sup>). High SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O are benefit of enriching Mo in the magma which rock mass enriches Cu, Mo; high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>, MgO, CaO are benefit of enriching Cu in the magma which rock mass enriches Cu, Mo. High SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O are benefit of enriching W in the magma which rock mass enriches W, Sn; high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>, MgO, CaO are benefit of enriching Sn in the magma which rock mass enriches W, Sn. High Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>, alkali, TiO<sub>2</sub> and low P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> are benefit of enriching Nb in the magma which rock mass enrich Nb, Ta. The enriching Cu of rock mass is S type granite, but the enriching Mo of rock mass is transiting from I type to S type granite; the enriching W, Sn of rock mass is S type granite; the enriching Nb, Ta of rock mass has A type, I type and S type granites.

**[Key words]** felsic rock mass; rare metal; non-ferrous metal; formation of rock; small rock mass