

“上山”找金铜,“下山”找钨锡及其理由

张旗¹, 金惟俊¹, 李承东², 王元龙¹

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

2. 中国地质调查局天津地质矿产研究所, 天津 300170

摘要: 金铜和钨锡是两种不同类型的矿产资源, 金铜经常伴生, 钨锡经常伴生, 金铜和钨锡通常不在一起。研究表明, 金铜主要与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关, 产于加厚的地壳底部, 地表相应的出现高原或山脉; 钨锡主要与南岭型花岗岩有关, 代表减薄的陆壳, 产于平原区, 地势较低。因此, 从找矿的角度来说, 应当“上山”找金铜, “下山”找钨锡。文中识别出中国三叠纪以来可能存在过的7个山脉(华北北部山脉、西秦岭—东昆仑山脉、额尔古纳山脉、松潘—中甸山脉、湘赣山脉、浙闽山脉和哀牢山—羌塘山脉)和2个高原(中国东部高原和湖南山地)以及现存的青藏高原, 建议在上述高原和山脉上去找金铜矿, 指出喜马拉雅型花岗岩与金矿的密切关系, 是今后找金矿的一个重要目标。认为钨锡成矿目前仍然以华南为最佳, 但应注意在其他地块寻找钨锡的问题。

关键词: 高原; 山脉; 平原; 埃达克岩; 南岭型花岗岩; 金铜; 钨锡。

中图分类号: P588.12; P618.2

文章编号: 1000-2383(2009)04-0547-22

收稿日期: 2008-09-02

Reason for Gold and Copper Discovery in Mountain with Tungsten and Tin Discovery on Plain

ZHANG Qi¹, JIN Wei-jun¹, LI Cheng-dong², WANG Yuan-long¹

1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170

Abstract: Gold and copper are two different types of mineral resources. Gold and copper are often accompanied, while tungsten and tin are often accompanied, but gold and copper are usually not together with tungsten and tin. Researches indicate the gold and copper, mainly connected with the adakite and Himalaya-type granite, originated in the thickened bottom of crust. And correspondingly, plateau or the mountain occur on the earth's surface. The tungsten and tin are mainly relevant to the granite from Nanling area of China, and represent the thinned crust originated in the plain area with the relative low elevation. Therefore, from the view of prospecting, the gold and copper should be prospected in a mountain, while the tungsten and tin should be prospected in a plain. In this paper, we suggest that seven mountains in China (such as North Mountain of the North China, West Qinling-East Kunlun mountains, Erguna mountain, Songpan-Zhongdian mountain, Hunan-Jiangxi mountain, Fujian-Zhejiang mountain and the Ailaoshan-Qiangtang mountain), two plateaus (East China Plateau and Hunan Range) and present Qinghai-Xizang Plateau would be the spot where gold and copper can be prospected since the Triassic period in China. We propose to prospect gold and copper ore on these plateaus and mountains, and point out that the gold is closely related to the Himalaya type granite. We believe that the South China is best place to prospect tungsten and tin, but attention should be also paid on prospecting tungsten and tin in other places.

Key words: plateau; mountain; plain; adakite Nanling-type granite; gold and copper; tungsten and tin.

金、铜、钨、锡是不同类型的矿床, 它们各自产出变质的等等。本文仅讨论与花岗岩有关的金、铜、钨、锡矿床, 而且仅限于产于陆块内部的, 不涉及与海洋

板块有关的上述矿床. 我们知道, 金和铜经常相伴产出, 钨和锡经常相伴产出, 而金铜和钨锡很少一起出现, 金铜和钨锡的成因不同、源岩不同, 在找矿方向上也是互相排斥的. 例如, 在中国东部, 金铜主要分布在长江中下游及其以北的地区(胶东、小秦岭、冀北等地), 而钨锡主要分布在华南的湘、赣、闽、粤、滇、桂数省. 为什么华北(本文这里专指长江中下游及其以北)和华南矿产资源会有如此的不同? 我们认为, 主要可能与伴生的花岗岩类型及其源区深度不同有关. 华北与金铜成矿有关的花岗岩为埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩, 它们都源于加厚下地壳的底部, 预示地势较高, 处于高原或山脉状态. 而华南与钨锡有关的花岗岩大多为 A 型花岗岩(本文称其为南岭型花岗岩), 指示陆壳处于伸展阶段, 地壳厚度较薄, 为平原区. 华南也有少量金铜矿, 如福建紫金山(毛建仁等, 2004; 赵希林, 2007)和湖南的金井(李鹏春等, 2005)、赤马和石蛤蟆(彭头平等, 2004)等, 但是, 与金铜有关的仍然是埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩, 表明地壳较厚, 地势较高. 于是我们可以归纳出一句顺口溜: “上山”找金铜, “下山”找钨锡.

1 不同类型花岗岩的特征及其指示的源区深度

花岗岩种类繁多, 成因复杂. 研究表明, 中酸性岩浆岩的形成与压力有密切的关系(张旗等, 2006), 据此, 我们将中酸性岩浆岩(包括 $\text{SiO}_2 > 56\%$ 的火山岩和侵入岩)按照 Sr 和 Yb 的含量以及负 Eu 异常的大小划分为 4 类(主要特征见表 1):

(1) 高 Sr 低 Yb 型花岗岩($\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} < 2 \times 10^{-6}$), 即埃达克岩, 残留相为榴辉岩(有石榴石和

金红石, 斜长石无或少), 压力 $> 1.5 \text{ GPa}$, 地壳厚度至少 $> 50 \text{ km}$; (2) 低 Sr 低 Yb 型花岗岩($\text{Sr} < 400 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} < 2 \times 10^{-6}$), 由于其在喜马拉雅地区最典型, 我们称其为喜马拉雅型花岗岩, 残留相为麻粒岩(石榴石与斜长石共存), 压力 $> 1.0 \text{ GPa}$, 相应的地壳厚度大约为 $40 \sim 50 \text{ km}$; (3) 低 Sr 高 Yb 型花岗岩($\text{Sr} < 400 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} > 2 \times 10^{-6}$), 浙闽地区的中酸性岩浆岩大多具有这种类型的特点, 本文称其为浙闽型花岗岩, 残留相为斜长角闪岩(有斜长石稳定存在, 无石榴石), 压力 $< 1.0 \text{ GPa}$, 相当于正常的地壳厚度($30 \sim 40 \text{ km}$); (4) 非常低 Sr 高 Yb 型花岗岩($\text{Sr} < 100 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} > 2 \times 10^{-6}$), 通常指 A 型花岗岩, 在南岭地区非常发育, 故称之为南岭型花岗岩, 产于伸展构造背景, 压力 $< 0.8 \text{ GPa}$, 推测相当于正常地壳厚度或更薄(30 km 左右或 $< 30 \text{ km}$).

上述 4 类花岗岩中, 埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩产于加厚的地壳底部, 指示地表可能存在高原或山脉(视上述花岗岩分布范围而定); 浙闽型和南岭型花岗岩则代表地壳厚度正常或较薄的情况, 为平原区. 无独有偶, 金铜大多与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关, 钨锡则主要与南岭型(少数与浙闽型)花岗岩有关, 指示花岗岩及其伴生的成矿作用源区深度的不同.

在各类花岗岩中, A 型花岗岩具有特殊的地位, 其使用和鉴别存在不同的认识(Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987; Sylvester, 1989; Bonin, 1990; Eby, 1992; Patiño Douce, 1997, 1999). 典型的 A 型花岗岩强烈亏损 Ba、Sr、Eu、Ti, 明显富集 Zr、Y 和 Yb, 表明源区残留相有斜长石, 指示源区深度较浅, 与埃达克岩成鲜明的对比. 例如发育在南岭(燕山早期)、浙闽赣、东北和北方造山带的许多中生

表 1 花岗岩 Sr-Yb 分类
Table 1 Classification of granites based on Sr and Yb contents

类型	埃达克岩	喜马拉雅型	浙闽型	南岭型
岩石	闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩、花岗岩、花岗闪长岩	黑云花岗岩、二云花岗岩、淡色花岗岩	花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩	正长花岗岩、碱性花岗岩
$\text{Al}_2\text{O}_3 (\%)$	> 15	< 15	< 15	< 13
$\text{Sr} (\times 10^{-6})$	> 400	< 400	< 400	< 100
$\text{Yb} (\times 10^{-6})$	< 2	< 2	> 2	> 2
REE 分布型式	LREE 富集, HREE 亏损, 无 Eu 异常或弱的负 Eu 异常	LREE 富集, HREE 亏损, 中等负 Eu 异常	LREE 富集, HREE 弱亏损, 负 Eu 异常明显或不明显	LREE 和 HREE 均富集, 负 Eu 异常明显, 常呈“燕式”REE 分布
熔融的残留相	石榴石+金红石	石榴石+斜长石	角闪石+斜长石	辉石+斜长石
压力 p (GPa)	$p > 1.5$	$1.0 < p < 1.5$	$p < 1.0$	$p < 0.8$

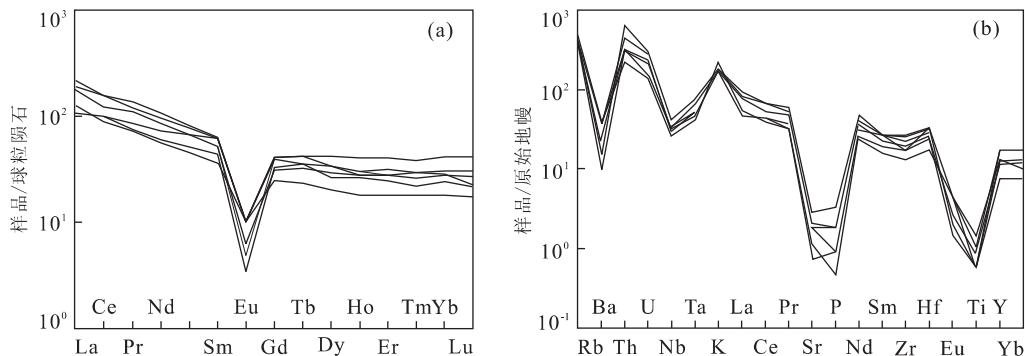


图 1 南岭型(典型的 A 型)花岗岩的 REE(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig. 1 (a) Chondrite-normalized REE patterns and (b) primitive mantle-normalized element spider diagram for the Nanling-type granites

REE 标准化数值据 Taylor and McLennan(1985);微量元素标准化数值据 Sun and McDonough(1989);数据引自 Zhang *et al.* (2007)

代 A 型花岗岩(张旗等,2006). 我们认为,由 Collins *et al.* (1982) 厘定的 K_2O-Na_2O 图解可能不是判别 A 型花岗岩的很好的图件,该图以富 K_2O 和 Na_2O 作为 A 型花岗岩的标志,可能会把一些高钾钙碱性的中酸性岩包括在内. 许多人青睐由 Whalen *et al.* (1987) 厘定的判别 A 型与非 A 型花岗岩的 Ga/Al 比值图解,该图实际应用时也会出现误判的情况. 笔者认为,如果以强烈亏损 Sr 、 Ba 、 Eu 、 P 、 Ti 和富集 Y 、 Yb 作为指标,可能是比较合适的,如图 1 所示,具有这种特征的 A 型花岗岩必定产于减薄的地壳,我们称其为南岭型花岗岩.

2 与金铜有关的花岗岩

与斑岩铜矿有关的花岗岩通常具有埃达克岩的特征(张旗等,2002). 据冷成彪等(2007)最新的统计,大约 95% 的与铜矿有关的斑岩是埃达克岩(他们的统计包括了产于岛弧和陆块内部的两类埃达克岩). 这个概率相当高了,说明(产于陆内的)斑岩铜矿与加厚下地壳的密切关系. 埃达克岩与斑岩铜矿的关系说明,虽然我们不可能企望每个埃达克岩体都可以找到斑岩铜矿,但是,反过来,我们可以确信只要有了斑岩铜矿,该斑岩很可能就是埃达克岩(95% 的几率). 斑岩铜矿与埃达克岩显然是须臾不可分的.

我国东部金矿最集中的产地在胶东、小秦岭和冀北地区,上述地区的金矿大多为蚀变岩型、石英脉型和细脉浸染型,大多产于不同的前寒武系变质岩中,部分产于花岗岩中,而金矿的成矿时代却与上述地区侵入在古老变质岩系中的花岗岩有关,在胶东

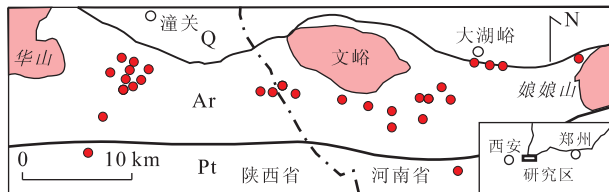


图 2 小秦岭埃达克岩与金矿分布图(据罗铭玖等,2000,修改)

Fig. 2 Distribution of adakites and gold deposits in the Xiaolinling area

实心圆,金矿;Q,第四系;Pt,元古界蓟县系;Ar,太华群. 华山、文峪和娘娘山花岗岩为埃达克岩,金矿赋存于古老变质岩系中,但其成因与埃达克岩有关

最著名的是中生代的郭家岭花岗岩(张旗等,2001;杨进辉等,2003). 小秦岭也如此,从图 2 看,小秦岭金矿主要产于太华群中,与文峪、华山和娘娘山花岗岩等空间上是分开的. 但是,小秦岭金矿的成矿时代与上述花岗岩大体相当,在 132~126 Ma(徐启东等,1998;王义天等,2002),为早白垩世的,而小秦岭花岗岩的 SHRIMP 年龄在 127~157 Ma 之间(如文峪 138 Ma,娘娘山 142 Ma,据毛景文等,2005). 说明小秦岭金矿与花岗岩有成因联系. 从图 3 看,上述花岗岩均具有埃达克岩的特征,因此,小秦岭金矿在成因上可能与埃达克岩有关,金是深源的,不大可能源于太华群,虽然金矿大多产于太华群中,而与埃达克岩在空间上是分开的. 因此,金矿的定位与来源不是一回事,应当分别考虑. 我们说小秦岭金矿与埃达克岩有关是从金的来源角度考虑的.

冀北分布有 100 多个大大小小的金矿(大型的有 10 余个,李承东等,2004),与金矿有关的花岗岩不同于胶东和小秦岭,既有埃达克岩,也有喜马拉雅

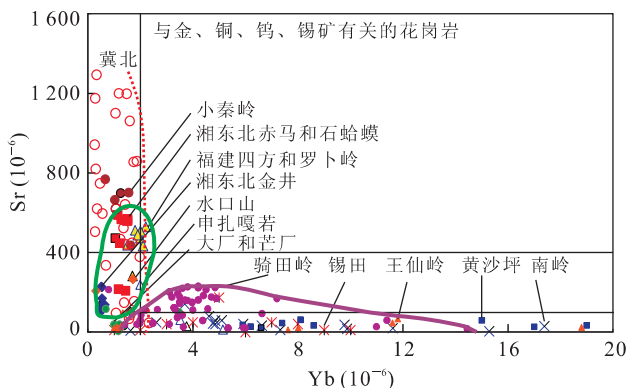


图 3 与金、铜、钨、锡有关的花岗岩的 Sr-Yb 图

Fig. 3 Sr-Yb diagram related to granites with gold-, copper-, tungsten- and tin deposits, respectively

金矿:冀北中生代花岗岩(包括大石碛、肖营子、小庙沟、高家店、马道沟、贾家山、都山、柏仗子、大野岭、红花梁、响水沟、谷咀子、上水泉、青山口、峪耳崖和牛心山等),据李承东等,2004;小秦岭(包括文峪、娘娘山、华山、老牛山),据罗铭玖等,2000;铜矿(作者注:著名的斑岩铜矿如德兴、长江中下游、玉龙和冈底斯等已经有了许多报道,此处就不重复了,仅列举与本文有关的若干资料):湘东北金井(李鹏春等,2005);湘东北赤马和石蛤蟆(彭头平等,2004);湖南水口山(马丽艳等,2006);福建紫金山(赵希林,2007);钨锡矿:南岭(陈富文和付建明,2005);湖南锡田(马铁球等,2004;余阳春等,2006);黄沙坪(姚军明等,2005);王仙岭(柏道远等,2007b);骑田岭(汪雄武等,2004;邓希光等,2005;付建明等,2006);广西大厂和芒场(蔡明海等,2004a,2004b);西藏申扎嘎若(王治华等,2006)。图中红色虚线圈定的是华北北部与金矿有关的花岗岩分布范围(据李承东等,2004);绿色实线圈定的为华南与金铜有关的花岗岩;紫色实线圈定的为华南与钨锡有关的花岗岩

型花岗岩(图 3 中的空心圆和红色虚线圈定的范围)。冀北与金矿有关的中生代侵入岩主要有谷咀子巨斑状花岗岩、红花梁二长花岗岩、响水沟斑状花岗岩(以上为埃达克岩)、温泉巨斑状花岗岩、上水泉正长花岗岩(非埃达克岩)以及峪耳崖花岗岩、牛心山花岗岩和青山口花岗岩(喜马拉雅型花岗岩)。冀北金矿大多产于太古宙变质岩系,中晚元古代碳酸盐岩沉积盖层以及中生代陆相火山—沉积岩系中,有的矿区内并无花岗岩,但是,金矿的成矿时代与上述花岗岩密切相关,因此,李承东等(2004)认为冀北金矿大多与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关(图 3 红色虚线圈定的范围)。

吕贻峰(1997)总结了辽东半岛南部花岗岩与金矿的关系,作者虽然没有提供 Sr 和 Yb 的数据,但是,从该文的 REE 图(图 4)中可以看出,辽南与金矿有关的花岗岩,除了大高炉花岗岩外,其余花岗岩(如大珠山、大楼房、江家粉房、杨木、小甸子、三股流、赵家岭、宋沟、温屯、鞍子山、大黑山以及马家堡

等)都是贫 Yb 的。看来,上述花岗岩不是埃达克岩就是喜马拉雅型的。

众所周知,华南以钨锡为主,金铜不是主要的,但是,华南也有金铜,而且华南与金铜有关的花岗岩不同于与钨锡有关的花岗岩,为埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩(图 3 中绿色实线圈定的范围)。例如福建紫金山斑岩铜金矿床,矿区范围内酸性侵入岩活动广泛,代表性的有紫金山(168 ± 4 Ma)、才溪(150 ± 3 Ma)、四方(108 Ma)和罗卜岭(105 Ma)花岗岩(赵希林,2007)。上述花岗岩中,紫金山是南岭型的,才溪是浙闽型的,罗卜岭和四方岩体为埃达克岩(图 3),而成矿只与早白垩世的埃达克岩(罗卜岭和四方岩体)有关(毛建仁等,2004)。湖南最著名的成矿作用是钨锡,最近在湘东北也发现了一些铜矿,与其有关的花岗岩是燕山早期的金井(158 Ma,李鹏春等,2005)、赤马和石蛤蟆花岗岩(165 Ma,彭头平等,2004)。无独有偶,上述花岗岩中,金井是喜马拉雅型的,赤马和石蛤蟆是埃达克岩(图 3),明显不同于与钨锡有关的花岗岩(南岭型)。马铁球等(2004)指出,华南与铜、铅、锌矿化有关的花岗闪长岩主要是 162~174 Ma 时期的,铜铅锌成矿年龄数据虽少但多集中在 166~170 Ma,早于湖南钨锡成矿时代(146~160 Ma,陈富文和付建明,2005)。值得指出的是,汪雄武和王晓地(2001)很早就注意到金铜与钨锡成矿有关的花岗岩的区别,他们按照 Rb/Sr 比值总结道,斑岩铜矿贫 Rb/Sr,钨锡富 Rb/Sr(汪雄武和王晓地,2001),与我们强调的斑岩铜矿富 Sr 和钨锡贫 Sr 的特点是一致的。

3 与钨锡有关的花岗岩

与钨锡有关的花岗岩主要集中在南岭地区,主要为黑云母二长花岗岩和黑云母花岗岩,如骑田岭、千里山、西华山、大吉山、花山、姑婆山等,伴生的有芙蓉、柿竹园、骑田岭、西华山等大型—超大型钨锡多金属矿床。前人研究总体认为,该区花岗岩是地壳部分熔融的产物,亦有壳幔混合成因的认识,且大多认为成矿与伸展构造背景有关(谭俊等,2007)。与华北不同,华南中生代在 180~155 Ma、145~125 Ma 和 110~75 Ma 期间出现过三次伸展事件(谭俊等,2007)。南岭及邻区钨锡矿化的成岩年龄主要集中在 152~162 Ma 和 138~146 Ma 两个时段,相应的成矿年龄主要出现在 148~158 Ma 和 132~138 Ma

两个时期. 华南成矿主要与燕山期花岗岩有关, 其次为燕山早期, 而印支期花岗岩极少形成规模矿床(谭俊等, 2007). 图3表明, 华南和与钨锡有关的花岗岩绝大多数是南岭型的, 仅骑田岭花岗岩例外, 既有浙闽型的, 也有南岭型的(图3中紫色实线圈定的范围). 而据陈富文和付建明(2005)研究, 骑田岭花岗岩的主体是浙闽型的(10个样品平均的 $Sr = 141 \times 10^{-6}$, $Yb = 3.68 \times 10^{-6}$, $Eu/Eu^* = 0.42$; 4个补体花岗岩平均 $Sr = 43 \times 10^{-6}$, $Yb = 4.76 \times 10^{-6}$, $Eu/Eu^* = 0.19$, 因此, 钨锡成矿作用仍然与南岭型花岗岩有关.

4 成矿源区深度探讨

国内外的研究表明, 埃达克岩与金铜成矿作用有明显的关系, 这是埃达克岩极具经济价值之处. 金铜与埃达克岩密切伴生推测可能与埃达克岩形成的条件有关. 正如许多人认识到的, 埃达克质岩浆有利于金铜成矿可能取决于下述3个原因: (1)埃达克质岩浆以水含量高、氧逸度高和富硫为特征; (2)源区为基性岩, 金铜等元素丰度高, 与地幔关系密切(尤其O型埃达克岩); (3)形成的温度和压力高, 角闪石脱水熔融带来大量流体, 有利于对成矿元素的萃取(Oyarzun, 2001; 刘红涛等, 2004; 赵振华等, 2006; 冷成彪等, 2007).

埃达克岩不同于其他花岗岩的最大特征是其形成的深度大、温度高、氧逸度高和黏性低. 而金铜可能只有在高氧逸度和很大的压力下才能被流体萃取出来. 喜马拉雅型花岗岩大多与金有关, 铜较少, 暗示铜比金萃取的条件更苛刻. 因此, 金铜与埃达克岩有关, 喜马拉雅型花岗岩与金有关, 钨锡主要与南岭型花岗岩有关(在某些情况下可能也与浙闽型花岗岩有关), 说明钨锡在较低的压力下被萃取. 南岭型花岗岩不同于埃达克岩的最大特点是源区深度浅、水含量低和氧逸度低(汪洋, 2009). 如图4所示, 下地壳底部可能是最佳的岩浆熔融区和矿液汇聚区, 下地壳底部的陆壳既可以作为岩浆的源区, 也可能是钨锡金铜的矿源区(除此之外, 底侵的玄武岩也是重要的岩浆源区和金铜矿源区). 在低压下(<1.0 GPa或更低)和低氧逸度下, 钨锡被激活, 溶解于流体中汇聚成矿液, 而金铜可能由于压力不足和氧逸度较低而被“锁住”, 未被激活. 因此, 钨锡与南岭型花岗岩伴生. 压力增加(>1.0 GPa), 氧逸度增加, 金

被激活, 钨锡被锁住, 铜可能大多还未达到激活的条件, 因此, 与喜马拉雅型花岗岩伴生的主要是金, 铜很少. 压力继续增加(>1.5 GPa), 铜与金一道被激活, 因此, 与埃达克岩伴生的主要是铜, 其次是金. 以前认为, 华北产金, 长江中下游富铜, 华南产钨锡, 可能与它们源区的组成有关. 但是, 华南不只有钨锡, 也有金和铜, 且规模不小, 如福建的紫金山, 而紫金山恰恰与埃达克岩有关, 暗示铜需要更高的压力. 湖南是钨锡大省, 可是, 在长沙东北也有铜矿产出, 而该铜矿的围岩火成岩也是埃达克岩(如石蛤蟆和赤马花岗闪长岩, 据彭头平等, 2004)和喜马拉雅型花岗岩(如金井花岗岩, 据李鹏春等, 2005). 看来, 源区对于成矿的控制作用是毋庸置疑的, 但在某些条件下压力也起了重要的作用. 雍永源(2007)在总结钨锡成矿条件时指出, 由于原子结构和地球化学特点存在较大的共性, 锡钨常相互伴生, 两矿种往往有着较为相同的成矿条件, 即: 首要条件是有陆壳重熔花岗岩浆的侵位活动, 其次是有富集锡、钨等成矿元素的壳源岩石(矿源层)和发育的脆—脆韧性变形形迹. 据蒋少涌等(2006)研究, 世界上绝大多数锡矿床都与高度分异的黑云母花岗岩有关, 这些花岗岩都是还原型的, 大多属于钛铁矿系列, 有很低的氧逸度(个别例外, 如骑田岭花岗岩). 低氧逸度既有利于钨锡萃取, 也有利于南岭型花岗岩的熔融. 因此, 钨锡成矿最重要的是源区(富集钨锡)和岩浆(南岭型花岗岩, 满足钨锡成矿需要的低压和低氧逸度)两个条件. 华北在中生代时为高原(张旗等, 2001), 产出金铜矿; 华南在中生代时为平原, 产出钨锡矿. 故华北和华南成矿作用的不同主要决定于成矿源区深度的不同. 东北不一样, 东北(以及中亚造山带)从三叠纪以后即处于平原状态, 与华南的情况类似, 地壳较薄、压力较低, 不利于金铜的富集, 而有利于钨锡的富集. 但是, 由于中亚造山带陆壳主要由古亚洲洋闭合后的洋壳组成, 只有部分地区保存有若干小块的前寒武纪陆壳, 故仅有少量的钨锡产出(如内蒙古东乌旗和林西左旗地区等). 东北有少量中生代金铜和钨锡产出, 出现金铜可能与当时当地局部地区地势较高有关(如大兴安岭北部额尔古纳地区), 出现钨锡可能与当时当地局部地区地势较低且有陆壳存在有关(如林西和东乌旗地区, 张旗等, 2008b). 钨锡经常相伴, 但是也有区别, 例如, 湘赣两省以钨为主, 几乎囊括了全球一半以上的钨矿资源; 而滇桂以锡为主, 东南亚锡更多, 钨则很少, 也说明成矿与源区是否富钨或富锡有很大的关系.

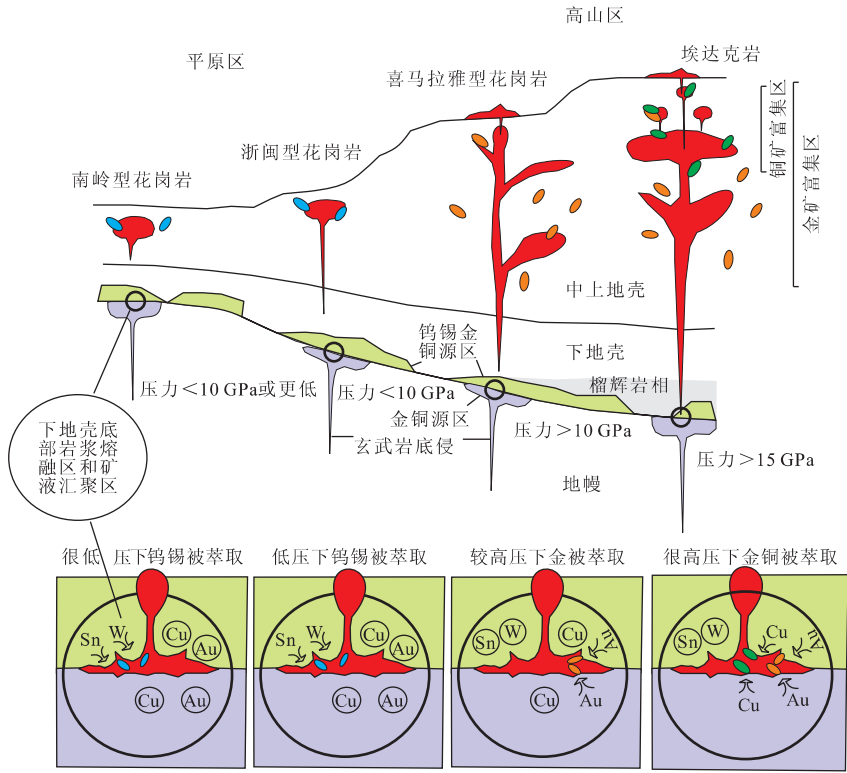


图 4 不同类型花岗岩和钨、锡、金、铜成岩成矿模式

Fig. 4 Model for distinct granite types with tungsten-, tin-, gold-, and copper deposits mineralization, respectively
图中主要说明不同类型的花岗岩和不同类型成矿的深度不同:埃达克岩形成的深度最深,有利于金铜的萃取;喜马拉雅型花岗岩形成的深度较深,有利于金的萃取;南岭型花岗岩形成的深度最浅,有利于钨锡的萃取. 图中假定岩浆和矿液的萃取是在下地壳底部发生的,钨锡主要来自下地壳,金铜既可来自下地壳,也可来自底侵的玄武岩

通常认为金和铜来自地幔,这种解释适合于形成在板块消减带的金铜矿床,而很难解释由下地壳深熔作用形成的花岗岩及其矿床. 因为,下地壳熔融的埃达克岩与地幔很少有关联(图 4). 中国大多数金铜矿床与 C 型埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的密切关系说明,金和铜应当主要源于玄武岩而非地幔,金铜在玄武岩中的平均含量高于地幔也说明了这一点(如 Cu 在 N-MORB 中的平均含量为 74.4×10^{-6} ,地幔的 Cu 平均含量为 28×10^{-6} ,据 Hofmann, 1988). 例如,安第斯埃达克岩与斑岩铜矿有密切的关系,安第斯埃达克岩与中国东部埃达克岩有某些类似的特点,岩石均富 K,如秘鲁的 Cordellier Balanca 岩基和中安第斯火山岩带 (Andean Central Volcanic Zone, CVZ) 都属于高钾钙碱性系列 (Atherton and Petford, 1993; Feeley and Davidson, 1994), CVZ 弧下陆壳厚达 70 km. Kay and Kay (2002) 认为安第斯埃达克岩的成因主要与玄武质岩浆底侵导致的下地壳加厚作用有关. 安第斯中部和北部的埃达克岩源于加厚的下地壳底部的部分

熔融,众多特大型斑岩铜矿的铜也很难用地幔的来源来解释. 金铜来自玄武岩的认识也不排斥金铜幔源说,因为,通过玄武质岩浆的底侵作用可以将大量金铜从地幔带到下地壳底部.

从上面的现象可以得出一个印象,即:金铜成矿作用与钨锡成矿作用似乎是互相排斥的;金铜大多与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,与浙闽型和南岭型花岗岩无关;而钨锡主要与南岭型(部分与浙闽型)花岗岩有关,与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩无关. 埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩代表加厚的地壳,指示存在高原和山脉,我们应当到高山上去找金铜矿;而南岭型和浙闽型花岗岩代表正常地壳或地壳减薄伸展的产物,产于平原区,我们应当去平原区找钨锡矿. 因此,“上山”找金铜,“下山”找钨锡,可以作为找矿的前提来使用.

5 “上山”找金铜,“下山”找钨锡

“上山”找金铜,“下山”找钨锡,那么,“山”包括

山脉和高原)”在哪里就是一个关键的问题,而此前我们很少知道地质历史上的“山”在哪里,也很少有标志能够识别“山”的存在.为了解决这个问题,我们根据花岗岩的标志,识别出一些早先可能存在但现在已经消失的山脉和高原,供进一步找矿的参考.由于作者水平的限制和对现有资料掌握的不足,我们只对三叠纪以来可能存在过的高原或山脉作一概述,所提的认识可能还存在许多问题和瑕疵,只是抛砖引玉而已.

5.1 中国三叠纪以来的高原和山脉

为什么特别强调三叠纪?因为,印支期是中国大陆汇聚拼接最集中的时期,大陆碰撞可能导致地壳强烈的挤压作用,可能形成许多山脉或高原,极有利于寻找金铜矿床.从图5看,中国有可能出现山脉的地方有:华北北部山脉(三叠纪—早侏罗世)、西秦岭—东昆仑山脉和松潘—中甸山脉(以上均为三叠纪),早侏罗世—早白垩世的额尔古纳山脉、侏罗纪的湘赣山脉、早白垩世的浙闽山脉、中新世的哀牢山—羌塘山脉等.高原则有印支期的湖南山地、晚侏罗世—早白垩世的中国东部高原(张旗等,2008c)和20 Ma至今的青藏高原(张旗等,2008a).

鉴别山脉或高原的方法很多,如构造、沉积、岩石、地球化学、矿产以及古地理、古生物、古生态、古环境的方法等.本文主要根据岩石学方法,此外,还参考了矿床学方法,如斑岩铜矿.鉴于统计的规律斑岩铜矿与埃达克岩极高的相关性(Thiéblemont *et al.*, 1997; Sajona and Maury, 1998; Oyarzun *et al.*, 2001; Defant *et al.*, 2002; 张旗等,2002;冷成彪等,2007),可以反过来用斑岩铜矿的存在来推测当时可能存在过高山.其逻辑是:如果一个矿床确定属于斑岩型铜矿,则表明其来源很深,如果该斑岩不是消减的板片部分熔融形成的,则可能来自加厚的下地壳底部,预示该斑岩铜矿形成在高山上.斑岩铜矿容易识别,矿床学家特别熟悉,该术语的使用也大大早于埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩,因此,我们又多了一个识别高山的标志.当然,这样的推测不一定百发百中,有一定的风险性,应当尽可能补充斑岩精确的年代学和地球化学资料予以确定或否定.

中国三叠纪以来曾经存在过的山脉大概有:

(1)三叠纪—早侏罗世的华北北部山脉(简称华北北山,张旗等,2008b).处于华北地块和中亚造山带之间,东起吉林东部的珲春一带(图5),西抵甘肃北山以西,长约3 000 km,最宽约500 km,在该山脉范围内已鉴别出至少14个埃达克岩(时代在236~

180 Ma之间)和18个喜马拉雅型花岗岩(出露在东经105°~129°和北纬40°~43°的狭长范围内,时代从247~182 Ma,据张旗等,2008b).

(2)三叠纪的西秦岭—东昆仑山脉.张成立等(2002)最早报道在西秦岭存在印支期埃达克岩,随后,金惟俊等(2005)、张宏飞等(2005,2007)和Zhang *et al.* (2006)发现该区存在许多印支期的埃达克岩.最近,詹发余等(2007)报道了东昆仑地区的许多埃达克质火山岩和侵入岩,遂使该山脉的轮廓逐渐清晰.山脉东起陕西汉中地区,西抵青海与新疆交界处(东经90°~108°,北纬33°~37°,图5),已鉴别出至少13个埃达克质花岗岩和3处火山岩以及4个喜马拉雅型花岗岩,时代在245~201 Ma之间(张旗等,2008d).

(3)三叠纪—早侏罗世的松潘—中甸山脉.北起四川松潘,经康定、九龙抵云南中甸和德钦(图5),已鉴别出至少16个埃达克岩和1个喜马拉雅型花岗岩(时代从228~197 Ma,张旗等,2008d).

(4)早侏罗世—早白垩世的额尔古纳山脉.该山脉横亘于中俄蒙三国之间,是由于蒙古—鄂霍茨克洋盆于中生代初期闭合,西伯利亚板块与中亚造山带碰撞而形成的,称为鄂霍茨克山脉.由于该山脉主要在俄罗斯境内,本文将其在中国的部分称为额尔古纳山脉(图5).该山脉主要是根据国内最近在大兴安岭北部发现的许多侏罗纪的埃达克岩和个别喜马拉雅型花岗岩和金铜矿产资料厘定的(赵书跃等,2004;陈志广等,2006,2008;隋振民等,2007;武广等,2008).俄罗斯方面的资料本文收集不够,没有发现是否存在埃达克岩,但资料表明(Zorin, 1999; Zorin *et al.*, 2001),在额尔古纳河以东的俄罗斯部分,金矿等资源相当丰富,大多是晚侏罗世—早白垩世的(157~136 Ma),推测可能与中国部分的同时代花岗岩特征相似,预示中国一侧有很好的金矿找矿前景.

(5)中侏罗世的湘赣山脉.规模较小,资料较少,大致从湘东北延伸至赣东北(图5),有5个以上的埃达克岩和2个喜马拉雅型花岗岩,时代在160~171 Ma之间(张旗等,2008d).

(6)早白垩世的浙闽山脉.包括福建紫金山花岗岩(105~108 Ma,毛建仁等,2004)、江西会昌站塘火山岩(Xiong *et al.*, 2003)和浙江余姚梁弄花岗岩(101 Ma,陈荣等,2005)(图5).很有意思的是,上述资料与陈丕基(1997)根据华南沉积特征推测的在晚白垩世早中期中国东南有一个沿岸山脉的设想不谋

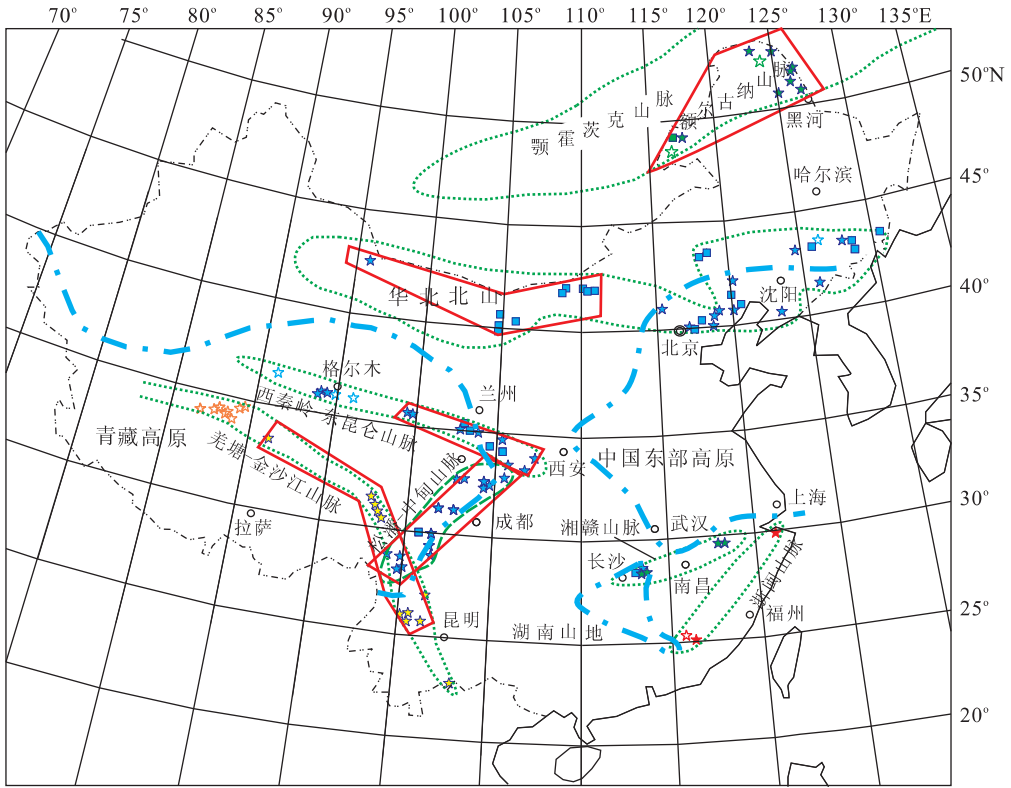


图 5 中国三叠纪以来高原和山脉分布

Fig. 5 Distribution map on plateaus and mountains in Mesozoic periods in China

星号. 埃达克岩(实心—侵入岩; 空心—喷出岩), 不同时代的埃达克岩用颜色予以区分: 蓝色, 三叠纪—早侏罗世; 绿色, 侏罗纪; 红色, 白垩纪; 黄色, 第三纪; 实心方块, 喜马拉雅型; 蓝色粗点线示高原; 绿色粗虚线示山脉; 红色粗实线示今后找矿的重点区. 湖南山地范围内花岗岩的分布见图 6. 本图未表示中国东部高原和青藏高原范围内埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的分布, 详见张旗等(2008c, 2008d)

而合.

(7)中新世的金沙江—羌塘山脉. 该山脉是印度板块与拉萨地块碰撞后在拉萨地块后缘形成的, 是青藏高原的一部分, 是高原抬升的前奏. 山脉的范围由于受 17 Ma 后强烈走滑构造的改造, 南迄云南—越南交界的金平一带, 向北西沿金沙江至藏北的羌塘地区, 逶迤延伸超过 2 500 km(图 5).

中国三叠纪以来曾经出现过的高原大概有: (1) 印支期的湖南山地, 分布于湖南的中部和湘赣边界的西南部(图 6), 之所以称其为“山地”是因为该区目前发现的大多是喜马拉雅型花岗岩(如五峰仙、塔山、阳明山、紫云山、洩山、丁字湾、白马山、崇阳坪、巷子口、关帝庙和歇马花岗岩以及湘赣边界的龙源坝花岗岩等), 时代在 243~206 Ma 之间(王岳军等, 2005; 张敏等, 2006; Wang *et al.*, 2007; 柏道远等, 2007a, 2007b), 埃达克岩仅见一处(如长沙北的望湘, 贾大成等, 2003), 故推测该区地势不是很高, 可能还算不上高原. (2) 中侏罗—早白垩世的中国东部高原(张旗等, 2001, 2008c), 时代大体从 165~

125 Ma, 最早起于 175 Ma(冀东), 最晚可持续到 113 Ma(胶东地区). 最大范围北起内蒙古赤峰—辽宁彰武, 西抵陕西华县, 南达长江中下游, 东部淹没于东海之下(图 5). (3) 青藏高原, 大体是在 20 Ma 之前整体抬升形成的(图 5), 至今仍然在升高(张旗等, 2008a).

5.2 “上山”找金铜

中国是一个贫铜的国家, 近 10 年来, 中国斑岩铜矿储量一直徘徊在 3 000 多万吨, 进展不大, 令人堪忧. 我们认为, 中国进一步找金铜矿应当围绕两个方向来展开: (1) 与板块俯冲有关的斑岩型金铜矿. 土屋、延东、阿希、白乃庙、多宝山是该类型重要的金铜矿区, 蒙古在离我国不远处有重要的发现(欧玉陶勒盖特大型金铜矿). 找矿区域主要集中在古生代的中亚造山带和秦祁昆造山带以及中新生的东北东端和北端. (2) 在高山上找与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金铜矿. 下面着重讨论第 2 个问题.

5.2.1 在高原上找矿 (1) 中国东部高原. 中国东部高原(图 5)上的金铜矿产情况比较清楚, 研究工

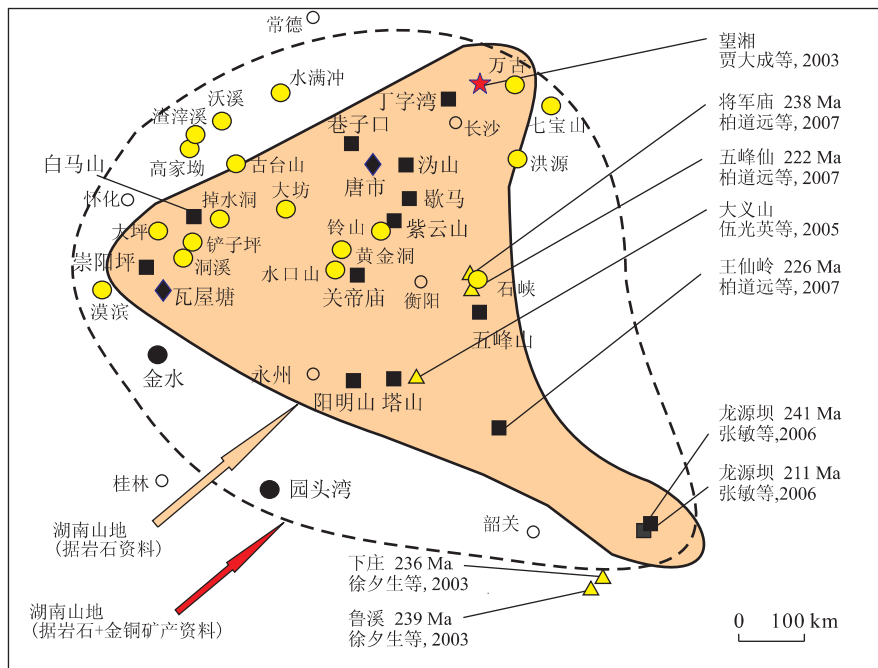


图 6 湖南山地不同类型花岗岩和金等资源分布

Fig. 6 Distribution of variation granite-types and gold-copper deposits in Hunan Hill

实心方块. 喜马拉雅型花岗岩;五角星. 埃达克岩;菱形. 浙闽型花岗岩;三角形. 南岭型花岗岩;阴影实心圆. 金矿;黑色实心圆. 铜矿;实线. 以岩石资料圈定的湖南山地范围;虚线. 以岩石和金铜矿床资料重新圈定的湖南山地范围. 岩石资料据贾大成等, 2003;徐夕生等, 2003;伍光英等, 2005;王岳军等, 2005, 2007;张敏等, 2006;柏道远等, 2007;Wang *et al.*, 2006. 矿床资料据彭渤和黄瑞华, 1996;康如华等, 2001;李福顺等, 2002;赵建光等, 2004;方向阳等, 2005;谢新泉和张衡龙, 2005

作较详. 长江中下游以斑岩铜矿和夕卡岩型铜矿为主, 胶东、辽东、小秦岭和冀北以金矿为主, 仍然有巨大的找矿潜力. 这里说一句, 早先大多认为, 金和铜的区分与源区有关, 长江中下游地区源区富铜, 故长江中下游铜矿发育; 胶东、小秦岭和冀北源区富金, 故金矿发育. 而我们认为, 一个地区富金还是富铜除了源区的因素外, 可能还与岩浆侵位的深度有关. 如果岩浆侵位的深度浅, 出现的侵入体以小岩体和斑岩为主, 围岩为生宙地层, 可能有利于铜(金)矿的沉淀, 则以找铜为主, 铜或金铜靠近岩体, 找矿范围比较明确; 如果岩浆侵位的深度较深, 花岗岩以大岩体或岩基出现, 围岩为古老变质岩系, 则以找金为主, 而且金离岩体较远, 受蚀变岩和构造的控制更加明显, 找矿的范围可能较宽, 不限于岩体周边地区, 如胶东、小秦岭和冀北的例子, 有的矿区内甚至见不到侵入岩. 如图 4 所示, 铜矿沉淀的深度浅(上地壳), 金矿沉淀的深度范围较大(中上地壳). 但是, 与榴辉岩相超高压变质作用伴生的埃达克岩和埃达克质火山岩不利于找矿, 前者(如大别—苏鲁地区)可能由于强烈的抬升作用而将金铜全部剥蚀掉了, 后者(华北北缘髫髻山组火山岩分布区)由于矿液裸露

地表被挥发掉了, 此外, 长期裸露地表也不利于矿床的保存.

(2) 湖南山地. 该山地发育许多喜马拉雅型花岗岩, 是一个新发现的比较奇特的地区(图 6). 湖南富钨锡, 大家的注意力都被吸引到钨锡上去了, 但是, 湖南金矿资源也不容忽视. 彭渤和黄瑞华(1996)收集了湖南 177 个金矿床(点)的资料, 指出湖南金矿主要分布在雪峰地穹、湘西南地穹、湘东地洼、湘中地洼和湘东南地洼等 5 个构造区内. 我们按照上述作者的资料以及少量其他资料(如康如华, 2001; 李福顺等, 2002; 赵建光等, 2004; 方向阳等, 2005; 谢新泉和张衡龙, 2005)将金矿投在图上(作者注: 由于各种原因肯定不全且有搞错的可能), 发现所有的金矿大都位于湖南山地(图 6 中的实线区域)及其周边. 也就是说, 根据岩石资料得出的湖南山地范围与金矿分布的范围大体重合. 虽然上述金矿我们还不知道其成因和时代, 有些可能与花岗岩有关, 有些可能与花岗岩无关. 金矿分布与山地大体吻合给我们提出了一个很有意思的问题, 即: 金矿是否与喜马拉雅型花岗岩有关? 已有的资料表明, 雪峰古陆金矿很多, 有些被认为是卡林型的, 但是, 许多矿区都有花

岗岩出露或认为深部有隐伏花岗岩存在,因此,不能排除金矿与花岗岩有成因联系的可能性。此外,从图 6 看,金矿大多分布在湖南山地的北部,南部很少,原因不详。湖南铜矿的资料也比较多(很多与金共生,如水口山、七宝山等),大体也位于湖南山地范围内,可能也非偶然。因此,在印支期的湖南山地开展金铜的找矿工作是一个新的课题,应当格外注意探索。图 6 按照岩石资料圈定的湖南山地呈三角形,而按照岩石+矿床圈定的湖南山地则呈椭圆形。椭圆形是否合理需要对金矿和与金矿有关的花岗岩作更详细的研究,如果确证金矿与喜马拉雅型花岗岩有时空联系,则可以作为划分山地的标志,否则即与山地无关。

(3)青藏高原。青藏高原的埃达克岩大多分布在冈底斯、羌塘、金沙江和可可西里地区,喜马拉雅型花岗岩主要分布在藏南(张旗等,2008d)。斑岩铜矿大多集中在冈底斯东部,冈底斯西部火山岩比东部多,暗示构造抬升的幅度西部可能低于东部,这对于寻找斑岩铜矿仍然是有利的。比较起来,可可西里由于剥蚀浅,找矿前景相对不如冈底斯,可可西里找矿应当注意小型的斑岩。喜马拉雅型花岗岩在藏南非常发育,从理论上它有找金矿的前景,喜马拉雅山抬升剧烈,剥蚀程度明显高于拉轨岗日地区,看来,喜马拉雅山找矿的前景可能优于拉轨岗日。此外,在冈底斯南北均有许多喜马拉雅型花岗岩出露,也不应当忽视在其中发现金矿的可能性。应当借鉴华北的经验,着重在花岗岩出露较多的地区开展金铜找矿工作。

5.2.2 在山脉上找矿 (1)华北北山。华北北山的东部已经发现了一些矿床,如弓棚子铜矿、柏杖子金矿、水泉沟金矿、杨家杖子钼矿和兰家沟钼矿等(李承东等,2004;葛文春等,2007),西部也有一些金矿,值得注意的是,该山脉西部埃达克岩很少,大多是喜马拉雅型花岗岩,看来,在华北北山的西部应当重点找金,东部重点找金和铜。

(2)西秦岭—东昆仑山脉。在西秦岭部分埃达克岩很多,金矿也很多,如西坝、迷坝、阳坝、光头山、温泉、冶力关、夏河等(张成立等,2002;李森等,2004;金惟俊等,2005;张宏飞等,2005,2007),喜马拉雅型花岗岩有糜署岭、罗坝、达尔藏、美武等(张宏飞等,2005)。此外,据部分 1:5 万区域地质资料,可能的埃达克岩还有格尔括合、忠格扎那、高日道耀、尖尼沟、阿尼亚日,可能的喜马拉雅型花岗岩有阎井、柏家庄、酒索玛、曼日格、唐格日等(张旗等,2008d)。西

秦岭金矿主要是印支期的,对其成因和矿床类型有不同的认识,大多认为该区存在岩浆热液型、卡林型和构造蚀变岩型三种类型的金矿。我们认为,该区至少有一部分或大部分金矿可能与埃达克岩有关,如玛曲附近的大水金矿、夏河以东的金矿、礼县的罗坝金矿、天水柴家庄金矿等,上述金矿与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩可能有时空上的联系。东昆仑资料很少,是一片未开垦的处女地,现已发现该区有不少埃达克质侵入岩(如鄂拉山、小南川、野牛沟、纳赤台等,据金成伟等,1990;詹发余等,2007)和火山岩(八宝山组,据詹发余等,2007),而且发现了与埃达克岩有关的矿产集中区,由西向东主要有卡而却卡的 Cu、Mo、Au,小南川—驼路沟的 Co、Au、Cu,海德乌拉—八宝山的 Cu、哈图—督冷沟的 Cu、Co,鄂拉山口—赛什塘的 Cu、Pb、Zn、Ag、Sn 等,沿该带还集中了东昆仑大多数规模大、强度高的 Cu 异常,已发现化探异常 20 处,重砂异常 23 处,以及若干 Cu、Au 矿床及众多的矿点、矿化点(詹发余等,2007)。相信经过详细的工作,在该区还会有更多新的发现。因此,在西昆仑山脉寻找金铜矿产资源是很有前景的。

(3)松潘—中甸山脉的南端中甸和德钦地区已经发现有一定规模的斑岩铜矿,如普朗、雪鸡坪、羊拉等(魏君奇等,1997;曾普胜等,2006),是我国斑岩铜矿集中的一个产地,进一步找矿的潜力很大。北部松潘和中部九龙地区埃达克岩不少(Xiao *et al.*, 2007),应当是找金铜的有利地区。

(4)额尔古纳山脉的俄罗斯部分矿产资源相当丰富,有金、铜、钨、锡、铅、锌等,其中的金矿大多是晚侏罗世—早白垩世的(157~136 Ma),与碰撞阶段的中晚侏罗世花岗岩有关,而与碰撞后早白垩世花岗岩有关的金矿(120~114 Ma)很少(Zorin, 1999; Zorin *et al.*, 2001),暗示早白垩世时山脉已经垮塌了。这种情况与国内大兴安岭北部类似,据祝洪臣等(2005)总结,大兴安岭地区存在两期岩浆成矿作用,分别形成于早、中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世。早期成矿作用形成于造山环境,成岩、成矿物质来源较深,以幔源为主,成矿主岩为钙碱系列中酸性浅成侵入岩,主要矿种为 Cu;晚期成矿作用形成于伸展环境,成岩、成矿物质来源较浅,以壳源为主,成矿主岩为酸性浅成侵入岩,主要矿种为 Sn。早已知道该区有乌奴格吐山斑岩铜钼矿(188 Ma,秦克章等,1999)。据王晓勇等(2004)报道,大兴安岭北部已经发现 13 个与花岗岩有关的金矿,中国金矿分布图展示的大兴安岭地区金矿,大多集中在本文圈定

的额尔古纳山脉范围内,看来,在该山脉找金铜矿是有希望的。

(5)湘赣山脉. 在湘东北境内有3个埃达克岩,对应于3个金矿,赣东北德兴为大型斑岩铜矿,看来,该山脉目前看来规模虽然不大,但是成矿潜力不可小视。

(6)浙闽山脉. 南端在紫金山已经发现了大型的斑岩铜矿,北部仅见一个岩体(梁弄花岗岩,陈荣等,2005),未见矿化。但是根据早先的资料,浙江和福建的金矿大多分布在本文圈定的浙闽山脉范围内(图7),可能绝非偶然。对上述金矿的成因有不同的认识(周乐尧和邱郁双,1997;黄仁生等,1999;黄美,2003;卢克标,2004;毛建仁等,2004;赵希林,2007),有些可能与侵入岩伴生,有些可能与侵入岩无时空联系,有些与火山岩相伴,但是不排除与侵入岩有关。由于缺少详细的资料,还很难得出准确的结论。但是,无论如何,在浙闽地区找金铜矿不应忽略浙闽山脉的存在。

(7)哀牢山—羌塘山脉. 该山脉是从青藏高原分出来的,由于受后期强烈的走滑作用的改造,青藏高原的一部分已经向东南延伸到中越边界附近了(金平新生代与斑岩铜矿有关的埃达克岩)。玉龙等大型斑岩铜矿集中于该山脉的中部,向西至西藏的羌塘地区出露的是火山岩,暗示该山脉的东部剥蚀较深,西部剥蚀较浅。从找矿的角度,东部有利于成矿,西部不利于成矿,因此,下一步找矿的重点仍然在东部,从青海的长江源头格拉丹东开始,沿金沙江—哀牢山一带展开。

5.3 “下山”找钨锡

“山下”在何处?到哪里找平原区和低地?按照我们的设想,可以考虑两条:(1)南岭型花岗岩分布区;(2)钨锡矿床聚集区。已知南岭型花岗岩代表减薄的地壳,如果不知道是否为南岭型花岗岩,钨锡矿床也可以作为替代的标志来考虑。因为,资料统计钨锡与南岭型花岗岩关系最密切。找钨锡应当瞄准两个条件:源区和南岭型花岗岩。华北有合适的源区,但没有合适的花岗岩。华北发育埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩,均不利于钨锡成矿。华北在山上,地壳厚、压力大,纵然有合适的源岩也不可能形成钨锡。华北早白垩世晚期也有南岭型花岗岩出现,如辽东半岛的千山花岗岩(126 Ma,据 Yang *et al.*, 2006)、山海关花岗岩(113 Ma,引自魏春生等,2001)、豫西汝阳东沟与钼矿有关的花岗斑岩(SHRIMP 年龄 112 Ma,叶会寿等,2006)、山东崂山花岗岩(113~

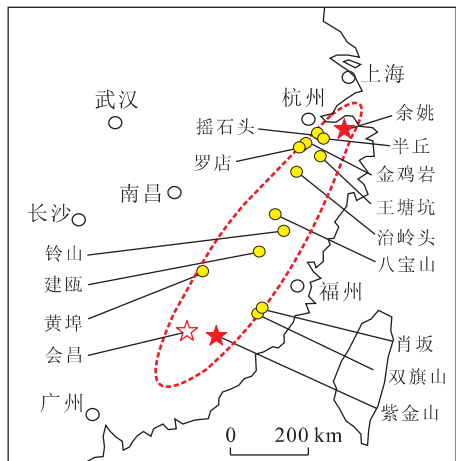


图7 浙闽山脉埃达克岩和金矿分布

Fig. 7 Distribution of adakites and gold-deposits in Zhejiang-Fujian Mountains

实心五星. 埃达克质侵入岩; 空心五星. 埃达克质火山岩; 阴影实心圆. 金矿. 资料来源:周乐尧和邱郁双,1997;黄仁生等,1999;黄美,2003;卢克标,2004;毛建仁等,2004;陈荣等,2005

111 Ma,赵广涛等,1997)和五莲山晶洞花岗岩(116 Ma,引自张田和张岳桥,2007)、大别英山尖花岗岩(127 Ma,K-Ar法,钱存超等,2004)和苏州花岗岩(123 Ma,引自魏春生等,2001)等,其年龄大多小于127 Ma,指示高原的垮塌。但是,目前尚未发现与该时期南岭型花岗岩有关的钨锡成矿作用,我们知道,该时期中国东部大规模岩浆活动已经结束了,正处于岩浆活动的宁静期,是否由于这个原因而不利于成矿还需进一步研究。但是,从理论上华北大部从125 Ma之后有钨锡成矿的可能性。东北有三叠纪及其以后的大量的南岭型花岗岩,但是,东北的源区是以洋壳物质为主组成的,也不利于钨锡的成矿。因此,东北尽管在“山下”,可惜源区不合适,仍然不是钨锡找矿的理想地区。东北也有少量的钨锡矿化,可能是洋盆中残存的小块陆块的显示。此外,造山阶段不利于钨锡成矿也是显而易见的,因为,造山期间大多数情况下地壳较厚(如果有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩出露的话);而在造山后阶段地壳减薄时期应有利于形成钨锡矿化(如果南岭型花岗岩发育的话)。因此,比较起来,还是华南最适合钨锡成矿。华南钨锡大多发育在华南腹地,沿海的浙闽粤相对较少,而浙闽粤,尤其浙闽是以浙闽型花岗岩发育而著称。钨锡通常在南岭地区,而南岭的南岭型花岗岩最发育。看来,钨锡成矿可能需要更低的压力。

图8展示了华南钨锡矿床的分布情况,钨锡矿床大多集中在滇、桂、湘、赣、闽、粤低地,与湖南山

地、湘赣山脉以及浙闽山脉犬牙交错(图 8a)。这是平面的展示,实际上它们之间应当是时间和空间上的二维关系。按照时间的顺序,湖南山地出现最早,在三叠纪(图 8b);随后,湖南山地垮塌,在中侏罗世时出现湘赣山脉(图 8c),随着湘赣山脉的消失在华南才出现大范围的滇桂湘赣粤低地(图 8d),至早白垩世,浙闽山脉抬升,低地则消失了(图 8e)。从图 8 看,不同时期构造挤压力的方向似乎也不一样,在

中侏罗世钨锡成矿时期是以伸展为主(图 8d),其他时期以挤压为主。因此,找钨锡要到中侏罗世的滇桂湘赣粤低地内去找,而在其他时期分别在不同的山地或山脉去找金和铜。例如,福建行洛坑钨矿(图 8d)是福建最大的斑岩型钨矿,Re-Os 年龄为 156 Ma(张家菁等,2008),是晚侏罗世的,虽然空间位置上它处于浙闽山脉的范围(图 8e),实际上从时间上来说,它与早白垩世才出现的浙闽山脉没有关系,浙闽山脉是后来叠加上去的。

众所周知,西藏冈底斯以发育与埃达克岩有关的斑岩铜矿而著称。按照本文的见解,青藏高原适合找金铜而不适合找钨锡。但是,王治华等(2006)和雍永源(2007)却十分关注冈底斯地区的钨锡成矿问题。王治华等(2006)报道了冈底斯后缘一个与钨钼有关的花岗岩,申扎县甲岗雪山嘎若二长花岗岩,其地球化学特征表明其为南岭型的(图 3),时代为中侏罗世(22 Ma)。我们知道,印度板块与拉萨地块在 55 Ma 左右碰撞(张旗等,2008a),冈底斯与斑岩铜矿有关的花岗岩的时代在 26~14 Ma,说明在 26 Ma 之前冈底斯已经抬升成为高原(或高山),而此时(22 Ma)的申扎地区出现南岭型花岗岩,暗示冈底斯后缘还没有抬升,应当有寻找钨锡的条件。王治华等(2006)和雍永源(2007)的研究提出了很好的问题,开辟了青藏高原找矿的新思路。

6 找矿思路上的突破

鉴于埃达克岩与金铜成矿作用的密切关系,我们曾提出埃达克岩可以作为找矿标志来使用(Defant et al., 2002; 张旗等,2002,2004)。这种说法是否恰当引发了不小的争论,不少人对此提出异议(如芮宗瑶等,2006;冷成彪等,2007)。我们在检讨上述说法时认识到,埃达克岩作为找矿标志的提法不恰当。找矿标志者,应当可以循此标志去找矿。例如,在一个地区如果发现了埃达克岩,表明有寻找金铜矿床的可能,可以考虑在该埃达克岩及其附近找矿。但是,矿体在哪里?怎么延伸?就不能靠埃达克岩来解决问题,而要借助其他的标志,如蚀变、构造、矿化以及各种物化探异常等。埃达克岩更重要的是作为找矿的前提,而不是找矿的标志。

我们还曾提出“先找埃达克岩,再找矿”的说法(张旗等,2004),其本意也是将埃达克岩作为找矿的前提来看待;有埃达克岩,可以尝试找(金铜)矿;无

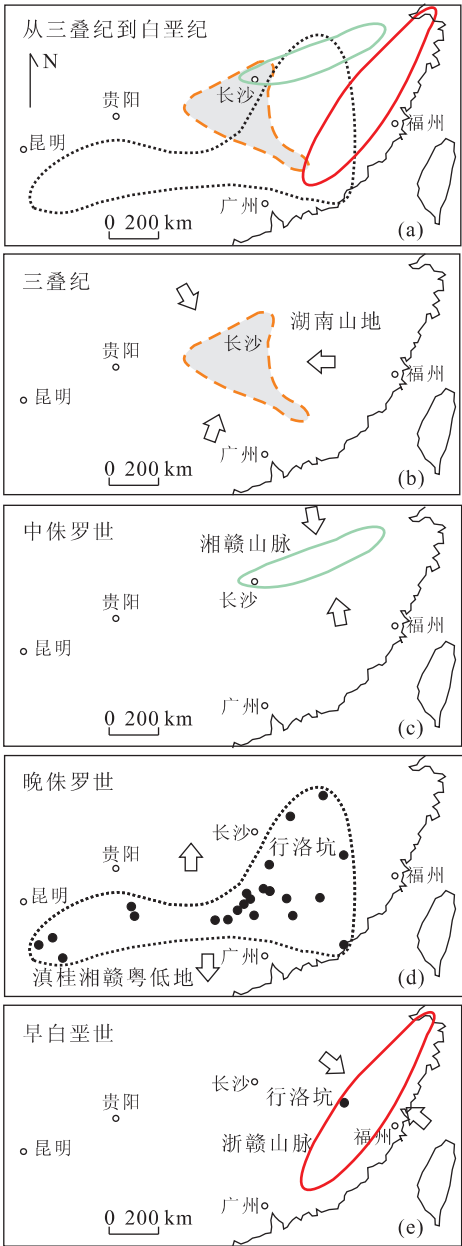


图 8 华南不同时代山脉和山地分布

Fig. 8 Distribution map of mountains and hills for distinct periods
a. 综合示意图; b. 三叠纪的湖南山地; c. 中侏罗世的湘赣山脉; d. 晚侏罗世的滇桂湘赣粤低地(黑色实心圆示钨锡矿床); e. 早白垩世的浙闽山脉。箭头示构造挤压力方向

埃达克岩,不去找(金铜)矿.这个说法我们认为仍然是可行的,它不仅适合找与O型埃达克岩有关的斑岩铜矿,也适合找与C型埃达克岩有关的金铜矿床.O型埃达克岩产于岛弧区,岛弧区以岛弧岩浆活动为主,占优势的花岗岩类(包括侵入岩和喷出岩)不是埃达克岩,而是安山岩—英安岩—流纹岩组合(Defant and Drummond, 1990; Martin, 1999),该组合的特征是贫Sr富Y和Yb,相当于我们命名的浙闽型花岗岩(张旗等, 2006).国外认为埃达克岩是一种少见的岩石,道理即在此.由于金铜成矿与埃达克岩关系密切,与岛弧岩浆组合不那么密切,而埃达克岩又是少见的,因此,找矿应当先找埃达克岩,然后围绕埃达克岩来找矿.

本文提出“上山”找金铜,与“先找埃达克岩,再找矿”的说法有否矛盾?我们认为,这两种说法并不矛盾,“先找埃达克岩,再找矿”,是说明埃达克岩与金铜有密切的成因关系,成矿在时空上与埃达克岩有关,埃达克岩可以作为找矿的前提来使用.“上山”找金铜是“先找埃达克岩,再找矿”说法的进一步的概括和延伸.“上山”找金铜的说法仅适合产于陆内的C型埃达克岩而不适合产于岛弧的O型埃达克岩,其思路是:埃达克岩与加厚的地壳有关,地壳加厚必然形成高山(高原或山脉),埃达克岩出露在山上.“上山”找金铜包括三个方面的内容:(1)找矿的岩石多了,既包括埃达克岩,也包括喜马拉雅型花岗岩;(2)找矿的地域扩大了,扩大到(由埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩及其他标志圈定的)高山的全部范围;(3)找矿不局限于埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩自身及周边,还包括了与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩可能有成因联系的各种类型的(金铜)矿床.

一般来说,在一个地区,埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的分布总是不均匀的,有的地方岩体多,有的地方岩体少.此外,由于剥蚀程度的不同,岩体大小不同,火山岩多寡不同,有些甚至被掩盖.但是,只要是在高山的范围内,就具备找(金铜)矿的条件.因为,如果地壳因构造作用加厚了,就不是一个孤立的事件,不是局部的现象,它所引发的地表抬升应当具有一定的规模和范围,如果是高原,长宽至少几百km(如湖南山地),如果是山脉,延伸至少几百km.从理论上说,在这个高原和山脉上都有找矿的可能性.以东昆仑为例,延伸近千km,目前发现的埃达克岩寥寥无几(詹发余等, 2007),但是,我们可以根据少数埃达克岩出露的情况圈出东昆仑在印支期可能存在的高山的大致范围.于是,找矿就可以在这个

范围内展开,而不限于目前发现的少数埃达克岩体.目前已知在东昆仑西段埃达克岩仅分布于卡尔却卡和格尔木两个地方,其间的广大地域是否有埃达克岩出露不清楚,但是,这不妨碍我们找矿,因为,我们假定从卡尔却卡到格尔木的地壳是厚的,它所反映的山脉可能是连续的,在这个范围内如果有印支期的花岗岩出露,它可能具有埃达克岩或喜马拉雅型花岗岩的特征.青海与成矿有关的物化探异常非常多,如果我们的目的是找金铜矿,则可将找矿的范围定格于印支期的东昆仑山脉上(注意不是现今的东昆仑山脉),暂不考虑山脉以外的异常;在山脉内,可以优先考虑在埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩发育区内找矿,如果该区异常很好,即可考虑开展勘探工作.鉴于成矿与成岩作用之间存在的差异,金铜可能分布在岩体内、岩体附件甚或远离岩体(如小秦岭的例子,图2).我们在考察物化探异常是否有利于成矿时,只需考虑异常本身及其他找矿标志,至于附近是否有埃达克岩或喜马拉雅型花岗岩出露就不是关键了.又如在湖南找矿,如果找钨锡矿,到滇桂湘赣闽粤低地去找(注意其时空范围);如果找金铜,应当到湖南山地去找(也要注意其时空范围).又如在浙闽地区,那里的南岭型花岗岩分布较少,浙闽型花岗岩分布较多,埃达克岩也少.金铜与埃达克岩(和喜马拉雅型花岗岩)有关,钨锡与南岭型花岗岩有关.在浙江福建找矿,如果找钨锡,要先确定哪里有南岭型花岗岩;如果找金铜,则到浙闽山脉中去找.离开了南岭型花岗岩,找钨锡的可能性小;离开了浙闽山脉,找金铜的可能性小.因此,“上山”找金铜主要是从宏观控制和战略布局的角度出发的,仍然是将埃达克岩(加上喜马拉雅型花岗岩)作为找矿的前提来考虑,它大大拓展了找矿的思路和空间,有利于用更快的时间,更小的代价,找到更多的金铜资源.

7 几点启示

(1)金铜和钨锡是两种不同类型的矿产资源,金铜经常伴生,钨锡经常伴生,金铜和钨锡通常不在一起.金铜主要与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,产于加厚的地壳底部,地表相应的出现高原或山脉;钨锡主要与南岭型花岗岩有关,代表减薄的陆壳,产于平原区,地势较低.因此,从宏观的找矿方向上来说,应当“上山”找金铜,“下山”找钨锡.

(2)本文探讨的埃达克岩、喜马拉雅型花岗岩和

南岭型花岗岩与金铜钨锡成矿作用的关系,主要着眼于成岩与成矿在源区上的关系,埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩与金铜有关,南岭型花岗岩与钨锡有关,可能说明金铜和钨锡从源区(下地壳底部或底侵的玄武岩)萃取时所需的深度和压力不同(图4)。因此,压力不仅决定了花岗岩的不同类型:从高压到低压依次出现埃达克岩、喜马拉雅型花岗岩、浙闽型花岗岩和南岭型花岗岩(张旗等,2006),而且也可能决定了矿床产出的类型:高压下形成金铜,低压下出现钨锡。花岗岩研究中引入压力的概念,开辟了花岗岩研究的新思路;矿床学研究中引入压力的概念,同样也可能开辟矿床学研究的新思路。

(3)铜矿产出的类型很多,本文主要讨论埃达克岩与斑岩铜矿的关系,可以归纳为三句话:①埃达克岩与斑岩铜矿密切相关;②虽然不可能每个埃达克质斑岩都含矿;③但斑岩铜矿的斑岩大多是埃达克岩。金矿的类型和成因更加复杂多样,我们主要关注与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金矿。研究表明,有埃达克岩,就有了找金铜矿的可能性;有喜马拉雅型花岗岩,就有了找金矿的可能性。虽然不可能所有的金矿都与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,但是,的确可能有些过去不认为与花岗岩有关的金矿可能恰恰是与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的,例如胶东、小秦岭、冀北以及甘南的若干实例。

(4)岩浆的固结定位与矿液的沉淀是不同的过程。首先,岩浆的固结主要受温度的控制,基本是一个物理过程,在(固结)成岩的过程中岩浆的成分不会发生明显的改变。对于基性岩浆来说,结晶分离是最可能的,但是,结晶分离作用不会改变岩浆的性质;而酸性岩浆连结晶分离的可能性都很小(张旗等,2007)。而成矿作用不仅受温度、压力的控制,还与流体的酸碱度、氧逸度、盐度等有很大的关系,主要反映的是化学上的变化。其次,岩浆的固结成岩作用可以从岩浆一开始就发生(如原地花岗岩),岩浆可以侵位在下、中、上地壳的任何部位(异地花岗岩)直至喷出地表;成矿(矿液沉淀)则不同,地壳深部温度高不利于矿液的沉淀,矿床主要定位于地壳浅部。因此,矿体的分布与岩体的分布不可能是完全一致的,矿体可以分布在岩体内部、边部、附近、甚至远离岩体以不同的型式产于各种岩石和构造破碎带中,找矿的范围也不局限于岩体本身或其附近。一个困惑许多人的问题是:为什么有的埃达克岩有矿,有的埃达克岩无矿?推而广之,为什么有些花岗岩与成矿有关,有些花岗岩与成矿无关?道理可能即在此:

因为,成岩主要是一个物理过程,而成矿本质上是一个化学过程。这也是找矿为什么很难和规律性不明朗的原因之一。

(5)本文对中国三叠纪以来可能出现的高原和山脉进行了初步的识别,并建议在上述高原和山脉上去找金铜矿。我们特别看重新发现的山脉和高原,希望在那里会有突破性的进展,如华北北山的西部、松潘—中甸山脉的北部、西秦岭—东昆仑山脉和额尔古纳山脉等。在华南除了找钨锡外,在湖南山地、湘赣山脉和浙闽山脉也应当注意找金铜矿。

(6)喜马拉雅型花岗岩与金矿的关系使我们认识到:寻找与喜马拉雅型花岗岩有关的金矿应当是今后找矿的一个重要目标。喜马拉雅山和冈底斯地区喜马拉雅型花岗岩异常发育,应当是有苗头的。湖南山地很特殊,是由喜马拉雅型花岗岩组成的,应当着重探索在该山地找金的可能性。西秦岭已经初步发现了一批喜马拉雅型花岗岩,今后可能还会有更多的发现,是找金矿的重要目标。华北北山的西部喜马拉雅型花岗岩不少,找金矿应当很有潜力。中国东部高原的北部也有许多喜马拉雅型花岗岩分布,与金矿关系密切,该区还有许多小规模喜马拉雅型花岗岩(汪洋,2002),很少被人注意,是进一步找矿的重点。

(7)钨锡找矿目前首要的任务是确定平原或低地在哪里?这需要汇总大量的资料予以确认。钨锡成矿目前仍然以华南为最佳,有人已经提出在西藏找钨锡的课题,很值得尝试。首先要在青藏高原上寻找南岭型花岗岩,有了这种花岗岩才有进一步找矿的可能性。其实,找矿的地域可大可小,华南地域宽广,活动余地大,但是,其他地区(如西部广大地域)也可能有适合的陆块作为钨锡的源区,只要不是高山,在某时某地出现南岭型花岗岩,且具有一定的时空分布范围,就有找钨锡的可能性。

(8)金铜与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,钨锡与南岭型花岗岩有关,这是一般的规律,并非绝对如此,可能也有例外的情况。例如,湖南有著名的钨铋金矿,还有的地方钨铜共生。斑岩型矿床的种类很多,斑岩型金铜矿与埃达克岩关系密切,斑岩型钨锡矿与南岭型花岗岩关系密切,而斑岩型钼矿的成矿条件则不清楚,有些与埃达克岩有关,有些与南岭型花岗岩有关,原因何在还需要进一步研究。海南有一个印支期的抱伦金矿(成矿时代约220 Ma),规模达大型,但是,与其有关的印支期尖峰岭花岗岩(249

Ma)却是南岭型的($Sr = 47 \sim 121 \times 10^{-6}$, $Yb = 2.8 \sim 4.4 \times 10^{-6}$,具明显的负Eu异常,以上年龄和地球化学资料据谢才富等,2006),与本文的认识相悖。抱伦金矿是否在成因上与尖峰岭花岗岩有关是一个需要探讨的问题(谢才富等,2006)。但是,在西秦岭、湖南山地和浙闽山脉,金铜的分布与山脉和山地范围大体吻合可能不是偶然的。许许多多的现象告诉我们,“上山”找金铜,“下山”找钨锡的说法大体是可信的。众多的实践表明,矿床成矿规律是诸多地质学科中最难琢磨的,在一个地区总结出来的找矿标志和成矿模式往往很难一成不变地适用于另外的地区,这源于成矿作用的无比复杂性。本文仅涉及成矿的源区问题,我们的讨论是否合理还需更多实践的检验。埃达克岩有利于金铜成矿是可以确定的,但并非每个埃达克岩都成矿,为什么有的埃达克岩有矿,有的无矿?原因很多,除了成岩与成矿的差异之外,可能还有别的原因,一时还难以明了。总之,地质现象是无比丰富和多彩的,而理论是灰色的。好在人的认识能力是无限的,只要永不言弃,就会不断有所发现。

致谢:桂林地质矿产研究院姚金炎和陈大经高级工程师、南京地矿所邢光福和中国地质大学(北京)汪洋博士对本文初稿提出了许多好的意见,对作者帮助很大;感谢匿名审稿人对本文的批评,在此一并表示衷心的感谢。

References

- Atherton, M. P., Petford, N., 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, 362: 144—146.
- Bai, D. Y., Jia, B. H., Li, J. D., et al., 2007a. Important significance of regional tectonic regime to metallogenic capacity of Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan: A case study of Qianlishan and Wangxianling plutons. *Mineral Deposits*, 26(5): 487—500 (in Chinese with English abstract).
- Bai, D. Y., Jia, B. H., Ma, T. Q., et al., 2007b. Relationship of petro-geochemical characteristics to metallogenic capacity differences between Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(5): 387—398 (in Chinese with English abstract).
- Bonin, B., 1990. From orogenic to anorogenic settings: Evolution of granitoid suites after a major orogenesis. *Geol. J.*, 25: 261—270.
- Cai, M. H., Liang, T., Wu, D. C., et al., 2004a. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-Hechi metallogenetic belt, Northwest Guangxi. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 306—313 (in Chinese with English abstract).
- Cai, M. H., Liang, T., Wu, D. C., et al., 2004b. Geochemical characteristics of granites and their tectonic setting of Dachang ore field in Guangxi. *Geological Science and Technology Information*, 23(2): 57—62 (in Chinese with English abstract).
- Chen, F. W., Fu, J. M., 2005. Geological and petrochemical characteristics of main Mesozoic tin-mineralized granitoids and regional metallogenetic regularities in Nanling region. *Geology and Mineral Resources of South China*, (2): 12—21 (in Chinese with English abstract).
- Chen, P. J., 1997. Coastal mountains of SE China, desertization and saliniferous lakes of Central China during the Upper Cretaceous. *Journal of Stratigraphy*, 21(3): 203—212 (in Chinese with English abstract).
- Chen, R., Xing, G. F., Yang, Z. L., et al., 2005. Study on Beizhang and Lianglong granites and their dark enclaves. *Geological Journal of China Universities*, 11(2): 264—275 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. G., Zhang, L. C., Wan, B., et al., 2008. Geochemistry and geological significances of ore-forming porphyry with low Sr and Yb value in Wunugetushan copper-molybdenum deposit, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 24(1): 115—128 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. G., Zhang, L. C., Zhou, X. H., et al., 2006. Geochronology and geochemical characteristics of volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 2971—2986 (in Chinese with English abstract).
- 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. *Contr. Miner. Petrol.*, 10(2): 189—200.
- Defant, M. J., Drummond, M. S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere. *Nature*, 347: 662—665.
- Defant, M. J., Xu, J. F., Kepezhinskis, P., et al., 2002. Adakites: Some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 129—142.
- Deng, X. G., Li, X. H., Liu, Y. M., et al., 2005. Geochemical characteristics of Qitianling granites and their implications for mineralization. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(2): 93—102 (in Chinese with English abstract).
- Eby, G. N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granit-

- oids; Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20 (7): 641—644.
- Fang, X. Y., Dai, P. Y., Wu, S. H., 2005. Analysis of the metallogenetic conditions of Tangfuping gold field in Yuanling County, Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 41—46 (in Chinese with English abstract).
- Feeley, T. C., Davidson, J. P., 1994. Petrology of calc-alkaline lavas at Volcan Ollague and the origin of compositional diversity at Central Andean Stratovolcanoes. *Journal Petrology*, 35: 1295—1340.
- Fu, J. M., Xie, C. F., Peng, S. B., et al., 2006. Geochemistry and crust-mantle magmatic mixing of the Qitianling granites and their dark microgranular enclaves in Hunan Province. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(6): 557—569 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Wu, F. Y., Zhou, C. Y., et al., 2007. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian orogenic belt; Mineralization ages and their geodynamic implications. *Chinese Science Bulletin*, 52 (24): 3416—3427.
- Green, T. H., 1982. Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite. In: Thorpe, R. S., ed., *Andesites*. John Wiley and Sons, New Jersey, 465—487.
- Gu, S. Y., Hua, R. M., Qi, H. W., 2007. A genetic study of Xinlu-Shuiyanba W-Sn orefield, Northeast Guangxi. *Mineral Deposits*, 26 (3): 265—276 (in Chinese with English abstract).
- Hofmann, A. W., 1988. Chemical differentiation of the earth—The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90(3): 297—314.
- Huang, M., 2003. Geological characteristics of mineralization in the Huangfu area of Jianning County, Fujian Province. *Geology of Fujian*, 22(3): 131—139 (in Chinese with English abstract).
- Huang, R. S., Qiu, S. A., Li, Z. S., et al., 1999. Discussion on the characteristics and genesis of the Xiaoban gold deposit of the ductile-shear-zone type in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 18(4): 178—188 (in Chinese with English abstract).
- Jia, D. C., Hu, R. Z., Zhao, H. J., et al., 2003. Lithochemical characteristics of the Mesozoic granitic intrusion from the Wangxiang area in northeastern Hunan Province and its tectonic setting. *Acta Geologica Sinica*, 77: 98—103 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, S. Y., Zhao, K. D., Jiang, Y. H., et al., 2006. New type of tin mineralization related to granite in South China: Evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2509—2516 (in Chinese with English abstract).
- Jin, C. W., Harris, N. B. W., Xu, R. H., et al., 1990. Plutonic rocks of the 1985 Tibet geotraverse, Laasa to Golmud. In: *Geological evolution of Tibet plateau*. Science Press, Beijing, 141—173.
- Jin, W. J., Zhang, Q., He, D. F., et al., 2005. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3): 959—966 (in Chinese with English abstract).
- Kang, R. H., 2001. Ore-controlling characteristics of the Diaoshuidong micro-grain disseminated type of gold deposit in Hunan Province. *Geology and Resources*, 10 (4): 210—214 (in Chinese with English abstract).
- Kay, R. W., Kay, S. M., 2002. Andean adakites: Three ways to make them. *Acta Petrologica Sinica*, 18 (3): 303—311.
- Leng, C. B., Zhang, X. C., Chen, Y. J., et al., 2007. Discussion on the relationship between Chinese porphyry copper deposits and adakitic rocks. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 199—210 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. D., Zhang, Q., Miao, L. C., et al., 2004. Mesozoic high-Sr, low-Y and low-Sr, low-Y types granitoids in the northern Hebei Province: Geochemistry and petrogenesis and its relation to mineralization of gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 269—284 (in Chinese with English abstract).
- Li, F. S., Kang, R. H., Chen, Y. W., et al., 2002. The metallogenic geological condition of Gaojia'ao, Hunan Province and its ore-prospecting orientation. *Gold*, 22(5): 1—3 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. X., 1995. Relations with gold and genetic types of the granites in Hunan Province. *Journal of Precious Metallic Geology*, 4: 283—293.
- Li, M., Zhang, C. L., Fan, K. Z., et al., 2004. Geochemical characteristics of Miba intrusion in the South Qinling belt and its geological significance. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 34(3): 325—330 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. C., Xu, D. R., Chen, G. H., et al., 2005. Constraints of petrography, geochemistry and Sr-Nd isotopes on the Jinjing granitoids from northeastern Hunan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 921—934 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. T., Zhang, Q., Liu, J. M., et al., 2004. Adakite versus porphyry copper and epithermal gold deposits: A possible metallogenetic specialization of magmatism re-

- quired in-deep assessment. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 205—218 (in Chinese with English abstract).
- Lu, K. B., 2004. Geologic and geochemical characteristics of the Jiankeng gold deposit in Jian'ou County, Fujian Province and its forecast and appraisal. *Geology of Fujian*, 23 (2): 104—109 (in Chinese with English abstract).
- Lü, Y. F., 1997. Genesis characteristics of Mesozoic granitoid in South Liaoning (Zhuanghe-Dandong) and its relation with gold deposits. *Liaoning Geology*, (4): 292—302 (in Chinese with English abstract).
- Luo, M. J., Li, S. M., Lu, X. X., et al., 2000. Metallogensis and deposit series of main mineral resources of Henan Province. Geological Publishing House, Beijing, 1—355 (in Chinese).
- Ma, L. Y., Lu, Y. F., Mei, Y. P., et al., 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite from Shuikoushan ore-field, Hunan Province and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2475—2482 (in Chinese with English abstract).
- Ma, T. Q., Wang, X. H., Bai, D. Y., 2004. Geochemical characteristics and its tectonic setting of the Xitian tungsten-tin-bearing granite pluton. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 11—16 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. R., Xu, N. Z., Hu, Q., et al., 2004. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution in Shanghang-Datian region, Fujian. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 285—296 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Zhang, Z. H., et al., 2005. Mesozoic large scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 169—188 (in Chinese with English abstract).
- Martin, H., 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, 46: 411—429.
- Oyarzun, R., Márquez, A., Lillo, J., et al., 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineral Deposit*, 36: 794—798.
- Patino Douce, A. E., 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro, A., Fernandez, C., Vigneresse, J. L., eds. Understanding granite: Integrating new and classical techniques. *Geological Society, London, Special Publications*, 158: 55—75.
- Patino Douce, A. E., 1997. Generation of metaluminous A-type granites by low-pressure melting of calc-alkaline granitoids. *Geology*, 25(8): 743—746.
- Peng, B., Huang, R. H., 1996. Tectonic-metallogenetic study on ore-finding perspective of rock-gold ore deposits in Hunan Province. *Geology-Geochemistry*, (1): 56—60 (in Chinese).
- Peng, T. P., Xi, X. W., Wang, Y. J., et al., 2004. Geochemical characteristics of the Early Mesozoic granodiorites and their tectonic implications. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(3): 287—296 (in Chinese with English abstract).
- Qian, C. C., Lu, Y. L., Liu, L. L., 2004. Geochemical characteristics and genesis of Yanshannian granite in the Dabie ultra-high-pressure (UHP) metamorphic belt. *Geology in China*, 31(2): 147—154 (in Chinese with English abstract).
- Qin, K. Z., Li, H. M., Li, W. J., et al., 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, northwestern China. *Geological Review*, 45(2): 180—185 (in Chinese with English abstract).
- Rui, Z. Y., Hou, Z. Q., Li, G. M., et al., 2006. Subduction, collision, deep fracture, adakite and porphyry copper deposits. *Geology and Prospecting*, 42 (1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Sajona, F. G., Maury, R. C., 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines. *CRACAD SCI II A*, 326(1): 27—34.
- Sui, Z. M., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2007. Zircon U-Pb ages, geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 461—480 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds. Magmatism in the ocean basins. *Geological Society of London Special Publication*, 42: 313—345.
- Sylvester, P. J., 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, 97: 261—280.
- Tan, J., Wei, J. H., Li, Y. J., et al., 2007. Some reviews on diagenesis and metallogeny of the Mesozoic crustal remelting granitoids in the Nanling region. *Geology Review*, 53(3): 349—362 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The continental crust: Its composition and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Science Publisher, Oxford, UK.
- Thiéblemont, D., Stein, G., Lescuyer, J. L., 1997. Gisements épithermaux et porphyriques: La connexion adakite. *Earth Planet. Sci.*, 325(2): 103—109.

- Wang, X. W., Wang, X. D., 2001. Geochemical signs of mineralized granite. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 36–44 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. W., Wang, X. D., Liu, J. Q., et al., 2004. Relationship of Qitianling granite to Sn mineralization in Hunan Province. *Geological Science and Technology Information*, 23(2): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Y., Zhao, C. R., Wang, Z. Y., et al., 2004. Industrial types and geological features of the northern Daxing'anling gold deposits. *Gold Geology*, 10(2): 50–54 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., 2002. On the geodynamic significance of strongly peraluminous granitoids of Yanshanian period in the eastern part of China—Case studies on the Hebei-Shanxi-Liaoning area and the Wuchuan-Sihui area of Guangdong. *Beijing Geology*, 14(3): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., 2009. Geochemistry of the Baicha A-type granite in Beijing Municipality: Petrogenetic and tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 13–24 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Fan, W. M., Liang, X. Q., et al., 2005. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of Indosinian granites in Hunan Province and its petrogenetic implications. *Chinese Science Bulletin*, 50: 1395–1403.
- Wang, Y. J., Fan, W. M., Sun, M., et al., 2007. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China block: A case study in the Hunan Province. *Lithos*, 96(3–4): 475–502.
- Wang, Y. T., Mao, J. W., Lu, X. X., et al., 2002. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating and geological implication of auriferous altered rocks from the middle-deep section of Q875 gold-quartz vein in Xiaoqinling area, Henan, China. *Chinese Science Bulletin*, 47: 1750–1755.
- Wang, Z. H., Wu, X. Q., Wang, K. Q., et al., 2006. Geochemical characteristics of the Garuo monzogranite in the Jaggang Xueshan W-Mo(-Bi) district, southwestern Xainza, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1487–1491 (in Chinese with English abstract).
- Wei, C. S., Zheng, Y. F., Zhao, Z. F., 2001. Nd-Sr-O isotopic geochemistry constraints on the age and origin of the A-type granites in eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 95–111 (in Chinese with English abstract).
- Wei, J. Q., Zhan, M. G., Lu, Y. F., et al., 1997. Geochemistry of granitoids in Yangla ore district, western Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 50–56 (in Chinese with English abstract).
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W., 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discriminations and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407–419.
- Wu, G., Chen, Y. J., Sun, F. Y., et al., 2008. Geochemistry of the Late Jurassic granitoids in the northern end area of Da Hinggan Mountains and their geological and prospecting implications. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 899–910 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. Y., Pan, Z. F., Li, J. D., et al., 2005. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization. *Chinese Geology*, 32(3): 434–442 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, L., Zhang, H. F., Clemens, J. D., et al., 2007. Late Triassic granitoids of the eastern margin of the Tibetan plateau: Geochronology, petrogenesis and implications for tectonic evolution. *Lithos*, 96(3–4): 436–452.
- Xie, C. F., Zhu, J. C., Ding, S. J., et al., 2006. Age and petrogenesis of the Jianfengling granite and its relationship to metallogenesis of the Baolun gold deposit, Hainan Island. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2493–2508 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. Q., Zhang, H. L., 2005. Geological characteristics and genesis of the Jinshui copper deposit in Chengbu County, Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 37–40 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, X. L., Li, X. H., Xu, J. F., et al., 2003. Extremely high-Na adakite-like magmas derived from alkali-rich basaltic underplate: The Late Cretaceous Zhantang andesites in the Huichang basin, SE China. *Geochemical Journal*, 37(2): 233–252.
- Xu, Q. D., Zhong, Z. Q., Zhou, H. W., et al., 1998. ^{40}Ar / ^{39}Ar dating of the Xiaoqinling gold area in Henan Province. *Geology Review*, 44: 323–327 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. S., Deng, P., O'Reilly, S. Y. O., et al., 2003. Single zircon LAM-ICPMS U-Pb dating of Guidong complex (SE China) and its petrogenetic significance. *Chinese Science Bulletin*, 48(17): 1892–1899.
- Yang, J. H., Wu, F. Y., Chung, S. L., et al., 2006. A hybrid origin for the Qianshan A-type granite, Northeast China: Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence. *Lithos*, 89(1–2): 89–106.
- Yang, J. H., Zhu, M. F., Liu, W., et al., 2003. Geochemistry and petrogenesis of Guojialing granodiorites from the

- northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 19: 692—700 (in Chinese with English abstract).
- Yao, J. M., Hua, R. M., Lin, J. F., 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in Southeast Hunan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688—696 (in Chinese with English abstract).
- Ye, H. S., Mao, J. W., Li, Y. F., et al., 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the super-large Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China, and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1078—1088 (in Chinese with English abstract).
- Yong, Y. Y., 2007. Tin and tungsten: potential dominant mineral species in the Gangdise belt, Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 27(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Y. G., Wu, S. C., Liang, T. G., 2006. Metallogenetic geological characteristics and ore prospecting direction in Xitian area. *Resources Survey and Environment*, 27(2): 136—142 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, P. S., Li, W. C., Wang, H. P., et al., 2006. The Indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan, China: Petrology and chronology. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 989—1000 (in Chinese with English abstract).
- Zhan, F. Y., Gu, F. B., Li, D. S., et al., 2007. Tectonic environment of adakite in eastern Kunlun Area, Qinghai, and its ore-forming significance. *Acta Geologica Sinica*, 81(10): 1352—1368 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. L., Luo, J. L., Li, M., et al., 2002. Geochemical characteristics and geological significance of Xiba granite, porphyry and porphyrite in East Qinling. *Journal of Northwestern University (Nature science edition)*, 32(4): 384—388 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. F., Jin, L. L., Zhang, L., et al., 2005. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of granitoids from western Qinling belt; Constraints on basement nature and tectonic affinity. *Science in China (Ser. D)*, 35(10): 914—926 (in Chinese).
- Zhang, H. F., Xiao, L., Zhang, L., et al., 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of Indosinian granitoids from the Bikou block, northwest of the Yangtze plate; Constraints on petrogenesis, nature of deep crust and geodynamics. *Science in China (Ser. D)*, 50(7): 972—983.
- Zhang, H. F., Zhang, B. R., Harris, N., et al., 2006. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of intrusive rocks from the Longshan-Tianshui area in the southeast corner of the Qilian orogenic belt, China; Constraints on petrogenesis and tectonic affinity. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(6): 751—764.
- Zhang, J. J., Chen, Z. H., Wang, D. H., et al., 2008. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 92—97 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, M., Chen, P. R., Huang, G. L., et al., 2006. The research on the geochemical characteristics of Longyuanba composite pluton in Nanling region. *Uranium Geology*, 22(6): 336—344 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Pan, G. Q., Li, C. D., et al., 2007. Does fractional crystallization occur in granitic magma?—some crucial questions on granite study (2). *Acta Petrologica Sinica*, 23: 1239—1251 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Qian, Q., Wang, E. Q., et al., 2001. An East China plateau in mid-late Yanshanian period: Implication from adakites. *Chinese Journal of Geology*, 36(2): 248—255 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Qin, K. Z., Wang, Y. L., et al., 2004. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 195—204 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y., Li, C. D., et al., 2006. Granite classification on the basis of Yb and Sr contents and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249—2269 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y. L., Zhang, F. Q., et al., 2002. Adakite and porphyry copper deposit. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 85—90 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y. L., Jin, W. J., et al., 2008a. On the criteria to pre-, syn- and post-orogenic granitic rocks. *Geological Bulletin of China*, 27(1): 1—18 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y., Jin, W. J., et al., 2008b. Granitic rocks constraint on the Early Mesozoic North Mountain Range in the North China. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1391—1403 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y. L., Jin, W. J., et al., 2008c. Late Mesozoic East China plateau: Evidence, remained problems and implication. *Geological Bulletin of China*, 27(9):

- 1404—1430 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y., Xiong, X. L., et al., 2008d. Adakite and Granite: Challenge and Opportunity. China Land Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, T., Zhang, Y. Q., 2007. Geochronological sequence of Mesozoic intrusive magmatism in Jiaodong peninsula and its tectonic constraints. *Geological Journal of China Universities*, 13(2): 323—336 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. T., Cao, Q. C., Wang, D. Z., et al., 1997. Zirconic U-Pb dating on the Laoshan granitoids and its significance. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 27: 382—388 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. G., Tang, W. G., Xie, Z. H., 2004. Characteristics of geochemical abnormal and its indication effect in Xuefeng gold ore field, Hunan Province. *Gold*, 25: 11—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, S. Y., Han, Y. D., Zhu, C. L., et al., 2004. Geochemical characteristics and geological significance of intermediate and intermediate-acid volcanic rocks in the northern sector of the Da Hinggan volcanic eruption zone. *Journal of Geomechanics*, 10: 276—287 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. L., 2007. The Geochronology Petrography and Geochemical Characteristics of Mesozoic Granitoids from Shanghang Area in SW Fujian and Their Implications (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing.
- Zhao, Z. H., Wang, Q., Xiong, X. L., et al., 2006. Two types of adakites in North Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1249—1265 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, L. Y., Qiu, Y. S., 1997. Metallogenic system of gold deposits in Mesozoic continental margin volcanic rocks, Zhejiang. *Geology of Zhejiang*, 13(2): 11—21 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. C., Zhang, J. F., Quan, H., 2005. Two stages of Mesozoic lithogenesis and mineralization in Daxing'anling Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35: 436—442 (in Chinese with English abstract).
- Zorin, Y. A., 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33—56.
- Zorin, Y. A., Zorina, L. D., Spiridonov, A. M., et al., 2001. Geodynamic setting of gold deposits in eastern and Central Trans-Baikal (Chita Region, Russia). *Ore Geology Reviews*, 17: 215—232.
- ### 附中文参考文献
- 柏道远, 贾宝华, 李金冬, 等, 2007a. 区域构造体制对湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力的重要意义——以千里山岩体和王仙岭岩体为例. *矿床地质*, 26(5): 487—500.
- 柏道远, 贾宝华, 马铁球, 等, 2007b. 湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力差异与岩石地球化学特征关系探讨. *岩石矿物学杂志*, 26(5): 387—398.
- 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等, 2004a. 广西大厂矿田花岗岩地球化学特征及其构造环境. *地质科技情报*, 23(2): 57—62.
- 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等, 2004b. 桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境. *大地构造与成矿学*, 28(3): 306—313.
- 陈富文, 付建明, 2005. 南岭地区中生代主要成锡花岗岩地质地球化学特征与锡矿成矿规律. *华南地质与矿产*, (2): 12—21.
- 陈丕基, 1997. 晚白垩世中国东南沿岸山系与中南地区的沙漠和盐湖化. *地层学杂志*, 21(3): 203—212.
- 陈荣, 邢光福, 杨祝良, 等, 2005. 浙东白垩纪北漳和梁弄花岗岩体及其暗色岩石包体研究. *高校地质学报*, 11(2): 264—275.
- 陈志广, 张连昌, 万博, 等, 2008. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床低 Sr-Yb 型成矿斑岩地球化学特征及地质意义. *岩石学报*, 24(1): 115—128.
- 陈志广, 张连昌, 周新华, 等, 2006. 满洲里新右旗火山岩剖面年代学和地球化学特征. *岩石学报*, 22: 2971—2986.
- 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等, 2005. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约. *岩石矿物学杂志*, 24(2): 93—102.
- 方向阳, 戴平云, 吴世华, 2005. 湖南沅陵唐沅坪矿田成矿条件分析. *华南地质与矿产*, (1): 41—46.
- 付建明, 谢才富, 彭松柏, 等, 2006. 湖南骑田岭花岗岩及其暗色微粒包体的地球化学与壳幔岩浆的混合作用. *地球学报*, 27(6): 557—569.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等, 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu, Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义. *科学通报*, 52(20): 2407—2417.
- 顾晟彦, 华仁民, 戚华文, 2007. 广西新路—水岩坝钨锡矿田的成因探讨. *矿床地质*, 26(3): 265—276.
- 黄美, 2003. 福建建宁黄埠地区金矿化基本特征. *福建地质*, 22(3): 131—139.
- 黄仁生, 邱盛安, 李昭升, 等, 1999. 福建肖坂韧性剪切带型金矿特征及成因探讨. *福建地质*, 18(4): 178—188.
- 贾大成, 胡瑞忠, 赵红军, 等, 2003. 湘东北中生代望湘花岗岩体岩石地球化学特征及其构造环境. *地质学报*, 77: 98

- 103.
- 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:矿物化学、元素和同位素地球化学证据. 岩石学报,22(10):2509—2516.
- 金成伟,Harris,N. B. W.,许荣华,等,1990. 拉萨至格尔木的深成岩. 见:青藏高原地质演化. 北京:科学出版社,141—173.
- 金维俊,张旗,何登发,等,2005. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义. 岩石学报,21(3):959—966.
- 康如华,2001. 湖南掉水洞微细粒浸染型金矿控矿特征. 地质与资源,10(4):210—214.
- 冷成彪,张兴春,陈衍景,等,2007. 中国斑岩铜矿与埃达克(质)岩关系探讨. 地学前缘,14(5):199—210.
- 李承东,张旗,苗来成,等,2004. 冀北中生代高 Sr 低 Y 和低 Sr 低 Y 型花岗岩:地球化学、成因及其与成矿作用的关系. 岩石学报,20(2):269—284.
- 李福顺,康如华,陈贻旺,等,2002. 湖南高家坳金矿床成矿地质条件及找矿方向. 黄金,23(5):1—3.
- 李森,张成立,苑克增,等,2004. 南秦岭迷坝岩体的地球化学特征及其地质意义. 西北大学学报(自然科学版),34(3):325—330.
- 李鹏春,许德如,陈广浩,等,2005. 湘东北金井地区花岗岩成因及地球动力学暗示:岩石学、地球化学和 Sr-Nd 同位素制约. 岩石学报,21(3):921—934.
- 刘红涛,张旗,刘建明,等,2004. 埃达克岩与斑岩铜矿—浅成热液金矿:有待深入研究的岩浆成矿关系. 岩石学报,20(2):205—218.
- 卢克标,2004. 福建建瓯奖坑金矿地质地球化学特征及预测评价. 福建地质,23(2):104—109.
- 吕兆峰,1997. 辽南地区(庄河—丹东)中生代花岗岩类成因特征及其与金矿关系. 辽宁地质,(4):292—302.
- 罗铭玖,黎世美,卢欣祥,等,2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床系列. 北京:地质出版社,1—355.
- 马丽艳,路远发,梅玉萍,等,2006. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报,22(10):2475—2482.
- 马铁球,王先辉,柏道远,2004. 锡田 W, Sn 花岗岩体的地球化学特征及其形成构造背景. 华南地质与矿产,(1):11—16.
- 毛建仁,许乃政,胡青,等,2004. 福建省上杭—大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化. 岩石学报,20(2):285—296.
- 毛景文,谢桂青,张作衡,等,2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景. 岩石学报,21(1):169—188.
- 彭渤,黄瑞华,1996. 湖南岩金矿床找矿前景的构造成矿研究. 地质地球化学,(1):56—60.
- 彭头平,席先武,王岳军,等,2004. 湘东北早中生代花岗闪长岩地球化学特征及其构造意义. 大地构造与成矿学,28(3):287—296.
- 钱存超,路玉林,刘丽利,2004. 大别山超高压变质带燕山期花岗岩地球化学特征及成因探讨. 中国地质,31(2):147—154.
- 秦克章,李惠民,李伟实,等,1999. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代. 地质论评,45(2):180—185.
- 芮宗瑶,侯增谦,李光明,等,2006. 俯冲、碰撞、深断裂和埃达克岩与斑岩铜矿. 地质与勘探,42(1):1—6.
- 隋振民,葛文春,吴福元,等,2007. 大兴安岭东北部侏罗纪两类花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因. 岩石学报,23:461—480.
- 谭俊,魏俊浩,李艳军,等,2007. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩成矿的有关问题. 地质论评,53(3):349—362.
- 王晓勇,赵春荣,王振宇,等,2004. 大兴安岭北部金矿床类型及地质特征. 黄金地质,10(2):50—54.
- 汪雄武,王晓地,刘家齐,等,2004. 湖南骑田岭花岗岩与锡成矿的关系. 地质科技情报,23(2):1—12.
- 汪雄武,王晓地,2001. 花岗岩成矿的地球化学判别标志. 华南地质与矿产,(4):36—44.
- 汪洋,2002. 中国东部燕山期强过铝质花岗岩的地球动力学意义——以冀晋辽地区和广东吴川—四会地区为例. 北京地质,14(3):1—10.
- 汪洋,2009. 北京白查 A 型花岗岩的地球化学特征及其成因与构造指示意义. 岩石学报,25(1):13—24.
- 王岳军,范蔚茗,梁新权,等,2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示. 科学通报,50:1259—1266.
- 王义天,毛景文,卢欣祥,等,2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义. 科学通报,47:1427—1431.
- 王治华,吴兴泉,王科强,等,2006. 西藏申扎西南部甲岗雪山钨钼(铋)矿区嘎若二长花岗岩体的地球化学特征. 地质通报,25(12):1487—1491.
- 魏春生,郑永飞,赵子福,2001. 中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd-Sr-O 同位素地球化学制约. 岩石学报,17(1):95—111.
- 魏君奇,战明国,路远发,等,1997. 滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学. 华南地质与矿产,(4):50—56.
- 武广,陈衍景,孙丰月,等,2008. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义. 岩石学报,24:899—910.
- 伍光英,潘仲芳,李金冬,等,2005. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系. 中国地质,32(3):434—442.
- 谢才富,朱金初,丁式江,等,2006. 海南尖峰岭花岗岩体的形

- 成时代、成因及其与抱伦金矿的关系. 岩石学报, 22(10):2493—2508.
- 谢新泉, 张衡龙, 2005. 湖南城步县金水铜矿地质特征及成因探讨. 华南地质与矿产, (1):37—40.
- 徐启东, 钟增球, 周汉文, 等, 1998. 豫西西秦岭金矿区的一组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年数据. 地质论评, 44:323—327.
- 徐夕生, 邓平, O'Reilly, S. Y. O., 等, 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针定年及其成岩意义. 科学通报, 48:1328—1334.
- 杨进辉, 朱美妃, 刘伟, 等, 2003. 胶东地区郭家岭花岗闪长岩的地球化学特征及成因. 岩石学报, 19:692—700.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富, 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征. 岩石学报, 21(3):688—696.
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 等, 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报, 80(7):1078—1088.
- 雍永源, 2007. 锡和钨: 西藏冈底斯带潜在的优势矿种. 沉积与特提斯地质, 27:1—8.
- 余阳春, 伍式崇, 梁铁刚, 2006. 锡田地区成矿地质特征及找矿方向. 资源调查与环境, 27(2):136—142.
- 曾普胜, 李文昌, 王海平, 等, 2006. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床: 岩石学及年代学特征. 岩石学报, 22(4):989—1000.
- 詹发余, 古凤宝, 李东生, 等, 2007. 青海东昆仑埃达克岩的构造环境及成矿意义. 地质学报, 81(10):1352—1368.
- 张成立, 罗静兰, 李森, 等, 2002. 东秦岭西坝花岗岩体及其脉岩的地球化学特征. 西北大学学报(自然科学版), 32(4):384—388.
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等, 2005. 西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制. 中国科学(D 辑), 35(10):914—926.
- 张宏飞, 肖龙, 张利, 等, 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景. 中国科学(D 辑), 37(4):460—470.
- 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 等, 2008. 福建行洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义. 大地构造与成矿学, 32(1):92—97.
- 张敏, 陈培荣, 黄国龙, 等, 2006. 南岭龙源坝复式岩体的地球化学特征研究. 铀矿地质, 22(6):336—344.
- 张旗, 潘国强, 李承东, 等, 2007. 花岗岩结晶分离作用问题——关于花岗岩研究的思考之二. 岩石学报, 23:1239—1251.
- 张旗, 钱青, 王二七, 等, 2001. 燕山中晚期的“中国东部高原”: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36(2):248—255.
- 张旗, 秦克章, 王元龙, 等, 2004. 加强埃达克岩研究, 开创中国 Cu、Au 等找矿工作的新局面. 岩石学报, 20:195—204.
- 张旗, 王焰, 李承东, 等, 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义. 岩石学报, 22(9):2249—2269.
- 张旗, 王元龙, 张福勤, 等, 2002. 埃达克岩与斑岩铜矿. 华南地质与矿产, (3):85—90.
- 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等, 2008a. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别. 地质通报, 27(1):1—18.
- 张旗, 王焰, 金惟俊, 等, 2008b. 早中生代的华北北部山脉: 花岗岩的证据. 地质通报, 27(9):1391—1403.
- 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等, 2008c. 晚中生代的中国东部高原: 证据、问题和启示. 地质通报, 27(9):1404—1330.
- 张旗, 王焰, 熊小林, 等, 2008d. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇. 北京: 中国大地出版社.
- 张田, 张岳桥, 2007. 胶东半岛中生代侵入岩浆活动序列及其构造制约. 高校地质学报, 13(2):323—336.
- 赵涛涛, 曹钦臣, 王德滋, 等, 1997. 崂山花岗岩锆石 U-Pb 年龄测定及其意义. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 27(3):382—388.
- 赵建光, 唐卫国, 谢朝晖, 2004. 湖南雪峰金矿田地球化学异常特征及其指示意义. 黄金, 25(9):11—14.
- 赵书跃, 韩彦东, 朱春燕, 等, 2004. 大兴安岭火山喷发带北段中性、中酸性火山岩地球化学特征及其地质意义. 地质力学学报, 10:276—287.
- 赵希林, 2007. 福建省上杭地区中生代花岗岩体的年代学、岩石学、地球化学特征及其地质意义(学位论文). 北京: 中国地质科学院.
- 赵振华, 王强, 熊小林, 等, 2006. 新疆北部的两类埃达克岩. 岩石学报, 22(5):1249—1265.
- 周乐尧, 邱郁双, 1997. 浙江中生代陆缘火山岩金矿成矿系统. 浙江地质, 13(2):11—21.
- 祝洪臣, 张炯飞, 权恒, 2005. 大兴安岭中生代两期成岩成矿作用的元素、同位素特征及其形成环境. 吉林大学学报(地球科学版), 35:436—442.