

文章编号: 0258-7106 (2006) 04-0491-10

斑岩铜矿研究中若干问题探讨*

芮宗瑶¹, 张洪涛², 陈仁义², 王志良¹, 王龙生¹, 王义天¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质调查局, 北京 100035)

摘 要 文章从全球角度对斑岩铜矿的若干问题进行了评述, 对斑岩铜矿的源区及岩浆岩特征、Mash 带的地质意义、埃达克岩与斑岩铜矿的关系、过渡岩浆的地质意义、中国斑岩铜矿概况及斑岩铜矿的一般模式等问题进行了探讨。

关键词 地质学; 斑岩铜矿; 中国; 评述

中图分类号 : P618.41

文献标识码 : A

An approach to some problems of porphyry copper deposits

RUI Zong Yao¹, ZHANG Hong Tao², Chen Ren Yi², WANG Zhi Liang¹,
WANG Long Sheng¹ and WANG Yi Tian¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 China Geological Survey, Beijing 100035, China)

Abstract

Porphyry copper deposits make up one of important types of copper deposits in the world. According to incomplete statistics, Cu resources from porphyry copper deposits account for 44.04 % of the total Cu resources of China. Therefore, strengthening the prospecting and exploration of porphyry copper deposits is of great significance in solving the problem of Cu shortage in China. This paper comments on the situation of porphyry copper deposits in the world, dealing with such problems as source regions and host rock features of porphyry copper deposits, geological significance of the mash zone, relation of adakite to porphyry copper deposits, geological significance of transitional magma, and the general genetic model for porphyry copper deposits. A summarization is also given to porphyry copper deposits in China.

Key words: geology, porphyry copper deposit, China, comment

斑岩 Cu(-Mo-Au) 矿床简称为斑岩铜矿, 这类矿床实际上为热液矿床, 它们的成矿作用跨岩浆晚期和热液期, 因此探讨过渡岩浆有其特别的地质意义。这类矿床存在 4 个特点: 一大二贫三易选四露采。因为露采, 成本低, 产量高, 经济效益好。这类矿床的岩浆系统通常为长英质至酸性-中性钙-碱性或高钾钙-碱性花岗质岩, 只有少部分属于碱性系列。这些花岗质斑岩虽然起源于上地壳花岗质岩基, 但

这些岩基起源于上地幔的部分熔融。正如 Sillitoe (1972) 推测, 当大洋沉积物、大洋玄武岩和辉长岩沿毕尼奥夫俯冲带俯冲至 100~150 km 深度时, 先变质为榴辉岩, 再由大洋板块与大陆板块交界面上榴辉岩部分熔融形成钙-碱性花岗质岩浆, 即火山岛弧带的岩浆岩。Sawkins (1972) 也认为俯冲板块到达 40 km 时, 变质为蓝片岩相, 到达 70 km 时变质为角闪岩相, 到达 100 km 时变质为榴辉岩相, 榴辉岩

* 本文得到国家自然科学基金项目(40573028)的资助

第一作者简介: 芮宗瑶, 男, 1935 年生, 研究员, 从事金属矿床及地球化学研究。通讯地址: 北京市百万庄路 26 号中国地质科学院矿产资源研究所。E-mail: Ruizy@sina.com。

收稿日期 2006-04-19; 改回日期 2006-05-30。张绮玲编辑。

在 100~150 km 时于毕尼奥夫带产生部分熔融,透过玄武岩底垫形成上升安山质岩浆,即火山岛弧带的岩浆岩。本文重点放在斑岩铜矿的岩浆岩的源岩和特征、Mash 带的地质意义、埃达克岩与斑岩铜矿的关系、过渡性岩浆的地质意义、中国斑岩铜及一般矿床样式等问题上。

1 原始岛弧岩浆岩的源区和特征

1.1 原始岛弧岩浆岩的源区

对原始岛弧岩浆岩的源区已形成共识,它是由大洋板块沿毕尼奥夫俯冲带到达深部后,发生脱水,使上地幔发生交代,产生含水的地幔部分熔融岩浆,此时的温度大约为 1 000℃。由于大陆板块的覆盖,即存在玄武岩底垫,温度陡然增高至 1 400℃,即在壳幔交界面上形成地幔流(图 1)。当地幔流透过渡大陆地幔岩石圈即玄武岩底垫时,则在 Mash 带形成相当规模的原始岛弧岩浆(Tatsumi, 1986; Pearce, 1993; Arculus, 1994; Richards, 2005),这就是原始斑岩铜矿岩浆。

根据对中国土屋、德兴、玉龙和冈底斯等斑岩铜矿床的研究,发现它们的锶初始值都较小(0.708)。 $\epsilon_{Nd}(t)$ 变化于 8.0~-6.5, $\epsilon_{Sr}(t)$ 变化于 -17.5~-39.8^①,说明 70% 的物质来自亏损上地幔,而来自地壳的物质则不足 30%(朱金初等,1990)。根据岛弧带原始岩浆岩成分推算,最可能的原始岛弧岩浆岩的源区为含水 1.2%~2.5% 的高镁玄武岩(Arculus, 1994)。大多数斑岩铜矿均产于火山岛弧岩浆岩,属于钙-碱性系列或高钾钙-碱性系列,仅有少部分斑岩铜矿床属于碱性系列。碱性增高,推测成矿环境已靠近大陆一侧,它们的源区可能为 shoshonite(钾玄岩)。金属矿床已转为金矿或铅锌矿了。

斑岩铜矿的原始岩浆起源于高压(30×10^8 Pa)、低温(700~800℃)和较大深度(100 km)(Tatsumi, 1986)条件下。

1.2 原始岛弧岩浆岩的特征

岛弧岩浆岩的唯一化学特征为高水(高挥发分)、高硫和富集大阳离子亲石元素(高 LILE: Rb、K、Cs、Ba 和 Sr 等),富集如 Li、B、Pb、As 和 Sb 等元素,相对亏损强场元素如 Ti、Nb 和 Ta 等。这些特征

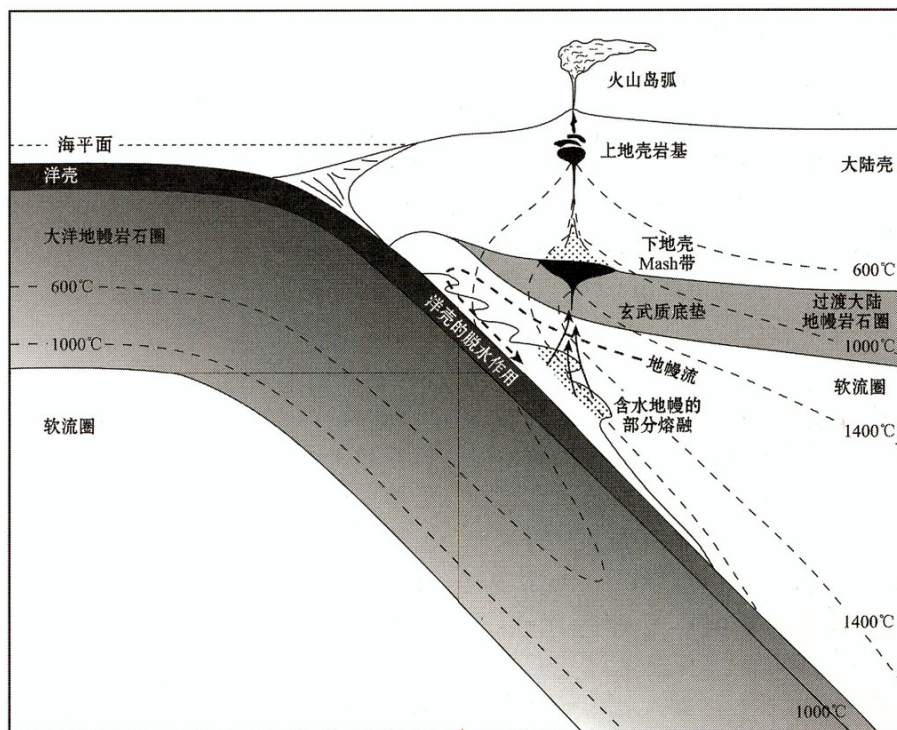


图 1 火山岛弧带(上盘)与大洋板块(下盘)的构造关系(据 Richards, 2005)

Fig. 1 Geotectonic relation of volcanic arc to oceanic plate (from Richards, 2005)

① 根据芮宗瑶等内部研究资料,2006。

说明俯冲板片释放出来的流体交代了地幔楔(Noll et al. , 1996 ; de Hoog et al. , 2001)。

斑岩铜矿的岩浆岩继承了原始岛弧岩浆岩的特征, 它们相对富集轻稀土元素($20 \times 10^{-6} \sim 129 \times 10^{-6}$), 亏损重稀土元素($2.72 \times 10^{-6} \sim 9.91 \times 10^{-6}$), 故呈现右斜式模型, 负锶异常不明显(曲晓明等, 2001 ; 芮宗瑶等, 2004b ; 孟祥金, 2004)。

斑岩铜矿的岩浆岩明显起源于火成物质(基性岩), 故它们的氧逸度 $f(\text{O}_2)$ 都很高, 根据 Burnham 等(1980) 计算, 斑岩铜矿的岩浆岩 $\log f(\text{O}_2)$ 为 $-8 \sim -14$, 它们的矿石 $\log f(\text{O}_2)$ 为 $-11 \sim -22$ 。由于含铜斑岩的 $f(\text{O}_2)$ 高, 故它们的黑云母均为富镁系列, 例如镁黑云母和金云母等, 含铜斑岩均为磁铁矿系列(Takahashi et al. , 1980)。

含铜斑岩可能为多次交代的产物, 如上所述, 原始岛弧岩浆岩是交代地幔楔的结果, 当上升到上地壳时, 只要含矿, 总是伴随着碱质交代作用, 如新疆的土屋和延东斑岩铜矿伴随着钠长石化; 而西藏的玉龙和冈底斯矿带伴随着钾长石化和黑云母化等。中国斑岩铜矿的岩浆岩大多经过 Mash 带, 尤其是冈底斯矿带。

所谓 Mash 带系指俯冲洋壳由于脱水在其接合部位引发部分熔融, 在其上升时遇到过渡地壳(上地幔岩石圈) 的玄武岩底垫时, 使上升岩浆汇集成原始岛弧岩浆岩(图 1)。这种岩浆岩有如下特殊地质意义:

- (1) 具有较高的 $f(\text{O}_2)$, 促使亲铜元素不进入硅酸盐晶格, 而留存于挥发相中, 最后转移至热液中。
- (2) 上升岩浆与玄武岩底垫交换物质, 从而使原始岛弧岩浆富集亲铜元素和挥发分等。

2 埃达克岩与斑岩铜矿的关系

在某些条件下俯冲带的洋壳直接熔融而产生原始岩浆岩即埃达克岩。某些研究者把埃达克岩当作斑岩铜矿的母岩(Oyargun et al. , 2001 ; 张旗等, 2003 ; 侯增谦等, 2003 ; 2005 ; 张玉泉等, 1998)。可以认为埃达克岩与斑岩铜矿均为亏损上地幔的交代岩, 它们具有低 Y 和低重稀土元素(HREE), 高 Sr 含量的特征。由于由榴辉岩的部分熔融产生, 所以有时残留角闪石和石榴子石的 $w(\text{SiO}_2)$ 为 56 %, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 15 %, 通常 $w(\text{MgO}) < 3 \%$, $w_Y \leq 18 \times 10^{-6}$, $w_{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$, $w_{Sr} \geq 400 \times 10^{-6}$ (Defant et

al. , 1990)。但是, 埃达克岩与斑岩铜矿仅仅为“同路人”, 在演化后期两者分道扬镳了。因为斑岩铜矿仅产于岛弧岩浆带的高侵位地带, 通常低侵位和原地花岗质岩浆岩的地带是找不到斑岩铜矿的。同时, 埃达克岩与斑岩铜矿分别属于岩石学与矿石学范畴, 标志应该有原则性区别。例如埃达克岩仅代表正岩浆阶段产物, 而斑岩铜矿需要正岩浆、过渡岩浆和热液过程的配合, 特别是碱质硅酸盐交代作用主要发生于过渡岩浆过程, 对于斑岩铜矿是不可缺少的。

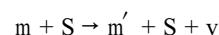
张旗等(2003) 对埃达克岩在中国时空分布作过总结, 认为中国埃达克岩出露很广。中国最早的埃达克岩位于赣东北蛇绿岩中(1 000 Ma), 最年轻的第三纪埃达克岩产于青藏高原(60 ~ 10 Ma)。中国的埃达克岩大体分为 O 型和 C 型两类, 反映了板块俯冲和地壳加厚两种不同的地球动力学背景。

从埃达克岩到斑岩铜矿之间有很长的过程。杜琦等(1988) 分析了多宝山斑岩铜矿在黑云母化带内岩石含铜达 $1\,000 \times 10^{-6}$, 绢英岩化和碳酸盐化带内岩石含铜 $4\,000 \times 10^{-6} \sim 4\,700 \times 10^{-6}$ 。由此可见, 铜是在蚀变过程中逐渐富集起来的, 从过渡岩浆阶段的黑云母化到热液阶段的绢英岩化和碳酸盐化都有铜的富集。

3 过渡性岩浆的地质意义

斑岩铜矿的斑岩归根结蒂为中性—中酸性花岗质岩石, 少数为酸性花岗质岩石。而花岗质岩浆在深侵位条件下很少出现过渡岩浆阶段或过渡岩浆离固相线很近(芮宗瑶等, 2002a), 为此, 斑岩铜矿是否出现过渡岩浆阶段是至关重要的。

过渡岩浆阶段演化的表达可写为:



式中 S 为凝聚相(矿物), m 为岩浆熔融相, m' 为残余硅酸盐熔融相, v 为与 m' + S 共存的独立挥发相。v 相是通过岩浆后退沸腾来实现的, 为此, v 相是否出现主要取决于花岗质岩浆系统的压力、岩浆水的含量和围压(侵位深度)。

Burnham(1980) 对花岗质岩浆过渡阶段与侵位环境的依赖关系进行过一系列实验研究和理论计算:

花岗质岩浆熔体中含水量与围岩静压力的依赖关系见表 1。

这就是说, 只要花岗岩浆熔体中含水量超过

表 1 花岗质岩浆熔体中含水量与围岩静压力的依赖关系

Table 1 Relationship of H_2O content of granitic magmatic remelt to static pressure of wall rocks

围岩静压力 / $\times 10^5$ Pa	相当深度 / km	熔体中含水量 / %
500	2	2.7 ~ 3.0
2000	8	6.1 ~ 6.4
5000	18	9.0 ~ 10

相应的侵位深度或相应的围岩静压力,便会发生花岗质岩浆水过饱和。

Burnham 等(1980) 计算了初始含水 2.0 % (质量分数,下同)的花岗质岩浆熔体,在什么侵位环境和什么结晶条件下发生过渡阶段,或可能发生岩浆的后退沸腾条件(表 2)。

表 2 岩浆后退沸腾的条件(假设含水 2.0 % 的花岗质岩浆熔体)

Table 2 Conditions for second boiling of granitic magmatic remelt

侵位深度 / km	晶出百分率 / %
2	33
8	73
18	83

由于花岗质过渡岩浆阶段出现,挥发相(v)从岩浆中不断地分离出来,亦即形成独立流体相(由 H_2O 、 HCl 、 HF 、 P_2O_5 、 CO_2 、B、碱金属配合物和重金属配合物等组成),过渡岩浆具有 3 方面地质意义:

第一,独立流体相与已冷凝的花岗质斑岩体顶部和附近泥砂质围岩发生化学反应,亦即形成碱质硅酸盐蚀变。通常,碱质硅酸盐交代岩分成 2 类:一类为钾质硅酸盐交代岩,典型交代矿物为黑云母和钾长石等;另一类为钠质硅酸盐交代岩,典型交代矿物为钠长石等。如果斑岩体顶部附近围岩为碳酸盐,则产生矽卡岩,又称为钙、镁和锰硅酸盐交代作用,典型交代矿物为石榴子石、透辉石、镁橄榄石和蔷薇辉石等。演化到热液阶段,则形成青磐岩、绢英岩、泥英岩等。

第二,挥发相使残余花岗质岩浆体体积急剧膨胀,使岩浆体系的内压力急剧增长,例如初始含水 2.7 % 的花岗闪长斑岩,当侵位于 2 km 残余岩浆体增大 50 %,内压力增至 $3\ 000 \times 10^5$ Pa 以上,足以引起斑岩体顶部强烈爆破(Burnham et al., 1980),产生网脉破裂和形成爆破角砾岩筒,为热液成矿提供了对流

循环场所,为矿石沉积提供了良好的空间。由于斑岩体顶部强烈爆破,使体系由封闭转为开放,引发流体减压沸腾。

第三,在高 $f(O_2)$ 控制下的过渡岩浆和热液,铜等重金属始终停留于流体相,不会分散到硅酸盐结晶相中而损耗掉。

4 中国斑岩铜矿概况

中国斑岩铜矿集中分布于三大成矿域,亦即北部成矿域、东部成矿域和西南部成矿域,也就是古亚洲成矿域、环太平洋成矿域和特提斯成矿域的一部分(张洪涛等,1991;2004;宁奇生等,1979)。

在中国,已查明 30 个矿床为斑岩铜矿,累计铜储量 3 274 万吨,约占总储量的 44.01 %。

与成矿密切的斑岩主要属于钙碱性和高钾钙碱性系列,只有少部分属于碱性系列。将中国斑岩铜矿分布最集中的赣东北矿带、多宝山矿带、玉龙矿带、冈底斯矿带的含矿斑岩投影到 Streckeisen(国际地质学火成岩小组推荐的分类系统)图解上可以明显地看到,前两者碱性长石和石英含量相对较低,后两者碱性长石和石英含量相对较高,说明它们的源岩可能稍有差异,但总的应以上地幔为主,混合了少量地壳成分(芮宗瑶等,2004b)。钾长石属于低透长石-正长石系列,黑云母属于镁质黑云母系列,代表高侵位高氧逸度和水饱和条件下的交代产物(邵克忠等,1959;孙海田,1984;曾普胜等,2003;马鸿文,1983)。

含矿斑岩具有特征性很强的副矿物组合:磁铁矿、磷灰石、榍石、金红石和锆石。磁铁矿和其他暗色矿物为铜的重要载体(吴思本等,1979),磷灰石富含氟、羟基、钇、镧和钕等(芮宗瑶等,1984),说明含矿斑岩为高氧逸度和富挥发分的产物。

含矿斑岩的锶初始值小于 0.708,表明它们主要起源于上地幔源岩。例如铜厂花岗闪长斑岩的初始锶为 0.7043(朱训等,1983),乌努格吐山花岗闪长斑岩的初始锶为 0.7064(李伟实,1994),土屋斜长花岗斑岩的初始锶为 0.70328(芮宗瑶等,2002b),玉龙二长花岗斑岩和正长花岗斑岩的初始锶为 0.70638(芮宗瑶等,2004b),驱龙石英二长花岗斑岩的初始锶为 0.70510,冲江二长花岗斑岩的初始锶变化于 0.705714 ~ 0.706864^①。

① 根据芮宗瑶等内部研究资料,2006。

含矿斑岩的硫同位素值非常接近陨硫石,例如多宝山的硫化物(234件样品) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -5.4‰ ~ -3.3‰ ,德兴的硫化物(171件样品) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -4.1‰ ~ -3.3‰ 、玉龙硫化物(54件样品) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -0.5‰ ~ -3.8‰ (杜琦等,1988;朱训等,1983;芮宗瑶等,1984)。

含矿斑岩的氢氧同位素研究表明,早期碱质硅酸盐阶段以岩浆水为主;中期绢英岩化阶段以岩浆水和天水混合为主;晚期深度泥化和碳酸盐化阶段则天水主导了发展过程(芮宗瑶等,1984)。

土屋和延东斑岩铜矿拥有铜资源量434万吨,铜品位0.58%~0.75%,斜长花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为369 Ma,辉钼矿等时线年龄为322.7 Ma(刘德权等,2003);乌努格吐山斑岩铜矿拥有铜储量233万吨,铜品位0.46%,花岗闪长斑岩 Rb-Sr 等时

线年龄为164 Ma(秦克章等,1998);多宝山斑岩铜矿拥有铜储量344万吨,铜品位0.47%,花岗闪长斑岩 K-Ar 年龄为283 Ma;德兴矿田的铜厂和富家坞斑岩铜矿分别拥有铜储量为522万吨和257万吨,铜品位分别为0.447%和0.501%,铜厂花岗闪长斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为172 Ma;玉龙铜矿带的玉龙和马拉松多斑岩铜矿拥有铜储量分别为650万吨和101万吨,铜品位分别为0.94%和0.34%,斑岩的 SHRIMP 年龄分别为41.2 Ma 和37.1 Ma(马鸿文等,1984;唐仁鲤等,1995);冈底斯矿带的驱龙和冲江矿床有望达到超大型-大型斑岩铜矿,它们的 SHRIMP 年龄分别为17.68 Ma 和15.60 Ma,辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄分别为15.99 Ma 和14.85 Ma;中条山矿带的铜矿峪斑岩铜矿拥有铜储量为217万吨,铜品位为0.68%,斑岩锆石 U-Pb 上交点

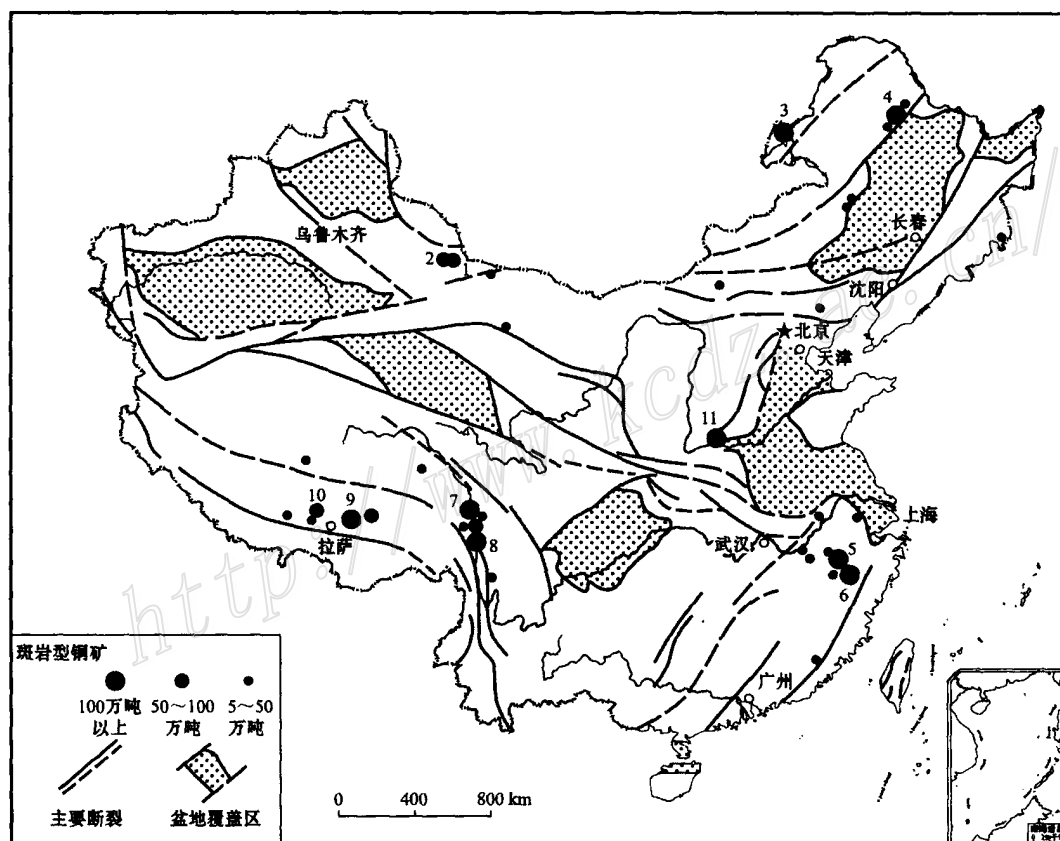


图2 中国斑岩铜矿的分布(据芮宗瑶等,2004b)

大型斑岩铜矿床:1—土屋;2—延东;3—乌努格吐山;4—多宝山;5—铜厂;6—富家坞;7—玉龙;8—马拉松多;
9—驱龙;10—冲江;11—铜矿峪

Fig. 2 Distribution of porphyry copper deposits in China (from Rui et al., 2004b)

Large-size porphyry copper deposits: 1—Tuwu; 2—Yandong; 3—Wulugetushan; 4—Duobaoshan; 5—Tongchang; 6—Fujiawu; 7—Yulong;
8—Malasongduo; 9—Qulong; 10—Chongjiang; 11—Tongkuangyu

年龄为 2 182 Ma(图 2)(王植等,1957)。

中国斑岩铜矿通常为小花岗质岩体成矿,成矿岩体大多为岩栓、岩蘑菇、小岩株和岩墙等,含矿斑岩体与深部岩浆房保持长期沟通,亦即长期得到深部岩浆房的流体相和矿质的补给。随着含矿斑岩体侵位深度的不同,矿体在斑岩体内部与围岩中分配比例亦大有差别。侵位浅者,例如马拉松多斑岩体推测侵位深度大约为 0.5 km,几乎全部矿体产于斑岩体中;玉龙代表中等侵位深度,推测大约为 1.5~2 km,2/3 矿体产于斑岩体中,1/3 矿体产于围岩中;德兴矿田的铜厂和富家坞代表中深侵位,推测侵位深度大约为 3 km,1/3 矿体产于斑岩体内,2/3 矿体产于围岩中(芮宗瑶等,1984)。

矿化在空间上具有明显的分带性:矿化结构由下而上为浸染状→细脉浸染状→大脉状;共生矿物组合由下而上为钾硅酸盐-硬石膏-硫化物→石英-绢云母-硫化物→绿泥石-碳酸盐-硫化物;成矿金属组合由下而上为 Mo(Sn、Bi、W)→Cu(Au、Ag)→Pb、Zn(Ag)→Co、Ni、Mn(芮宗瑶等,1984)。

斑岩铜矿的主要金属矿物简单,例如黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿,次要和少量金属矿物颇为复杂,例如德兴斑岩铜矿矿石中次要和少量矿物多达 54 种(朱训等,1983;芮宗瑶等,1984;任启江等,1991;杜琦,

1980)。蚀变岩石分带性亦很清楚,由内而外可以划分为:钾硅酸盐蚀变带→绢英岩化带→泥英岩化带→青磐岩化带(芮宗瑶等,1984)。

5 斑岩铜矿的一般模式

通常下地壳是见不到大规模花岗质岩基的,那里为高度深熔作用的混合岩化带,流动的花岗质岩处于原地-半原地状态,只有过渡大陆壳岩石圈地幔的玄武岩底垫的上部的 Mash 带发生相当规模的花岗质岩集聚(图 1)。例如西藏冈底斯带恰功铁矿 SHRIMP 年龄测定,除了 49.3 Ma 代表铁矿年龄外,还有 600 Ma 和 1 100 Ma 2 组年龄,推测代表下地壳下部岩石的年龄。在下地壳上部和上地壳下部仍然只见到花岗质岩墙、岩栓和底辟杂岩体,它们代表管道相。到上地壳上部特别是结晶基底与盖层之间(尤其为火山岩层)常为花岗质岩基侵位部位,因此界面正好为花岗质岩浆浮力中间线(LMB = Level of neutral buoyancy)(图 3)。例如冈底斯矿带冲江、南木和拉抗俄斑岩铜矿 3 组锆石 SHRIMP 年龄,分别为 51 Ma、21 Ma 和 15 Ma,前 2 个为锆石的核部年龄,后者为锆石环带的年龄。51 Ma 与冈底斯花岗质岩基年龄一致,亦即冈底斯带碰撞造山的年龄,

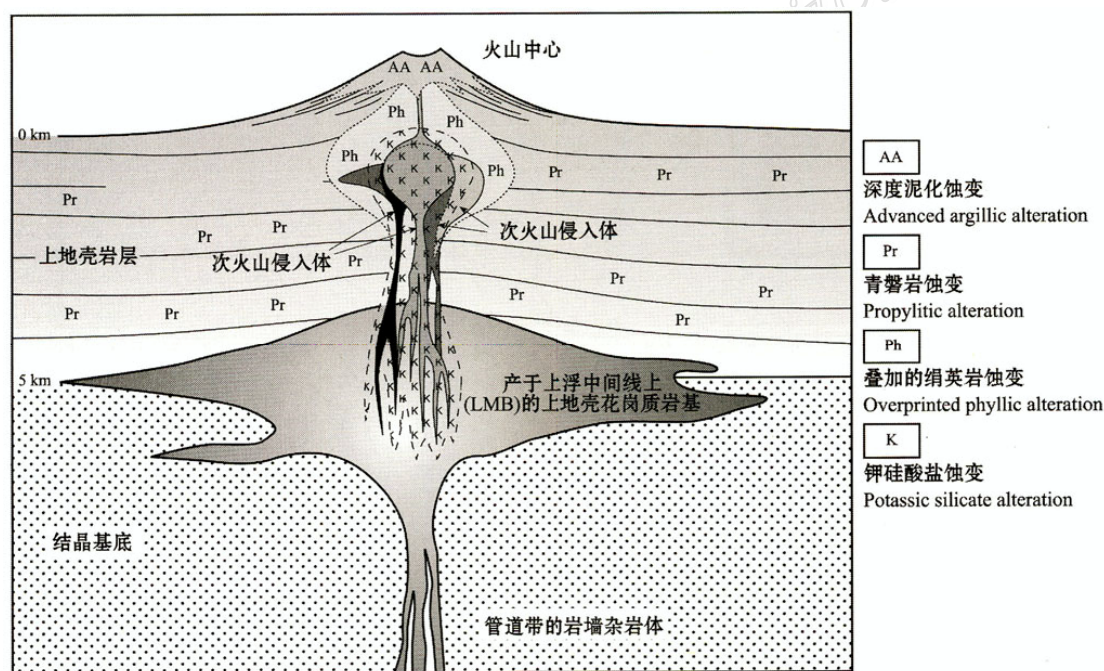


图 3 斑岩铜矿的一般模式(引自 Richards,2005)

Fig. 3 A general genetic model for porphyry copper deposits (from Richards, 2005)

21 Ma 与冈底斯带花岗质岩基冷却年龄一致,15 Ma 与冈底斯带大多数斑岩铜矿的年龄一致(王小春等,2006;李光明等,2002)。当部分花岗质岩基演化过渡岩浆时,释放出挥发相,则形成高侵位时的小岩钟、岩栓和蘑菇体等,流体相与已冷凝的斑岩体外壳和邻近的泥砂质及火山岩围岩发生反应,形成碱质硅酸盐交代岩,通常以钾硅酸盐交代岩为主。当与碳酸盐围岩或含钙、镁较高的火山岩发生反应时,则形成矽卡岩。因此斑岩型和矽卡岩型矿床常常共生。在后来的演化过程中,过渡岩浆冷却为热液,使斑岩体和四周围岩进一步水化,则形成绢英岩化和泥英岩化。由于斑岩铜矿的对流循环,引起四周围岩(包括火山岩)形成青磐岩化。这便是斑岩铜矿的一般模式(李荫清等,1981;孟祥金等,2005;杨志明等,2005)。

6 结 论

通过上述,得到以下几点结论:

(1) 斑岩铜矿通常产于切割到上地幔的深断裂带上盘,故俯冲带的上盘为最佳位置。

(2) 斑岩铜矿产出的地质环境为火山岛弧带、弧后盆地或活动大陆边缘(李立主等,2006)。

(3) 斑岩铜矿产出时间为板块会聚的大背景下(造山带或活化带)的松弛(岛弧)阶段,例如拉分盆地发育(pull-apart basin)和伸展裂陷发育时期(芮宗瑶等,2006)。

(4) 斑岩铜矿的源区或源岩为高镁玄武岩的部分熔融物质。

(5) 斑岩铜矿成矿需要经过花岗质过渡岩浆,含矿斑岩具有高 $f(\text{O}_2)$ 、高硫和高挥发相的演化特征。

(6) 含矿斑岩为交代岩,推测为多次交代的结果(周宜吉,1990)。

References

- Arculus R J. 1994. Aspects of magma genesis in arcs [J]. *Lithos*, 33: 189 ~ 208.
- Burnham C W and Ohmoto H. 1980. Late-stage processes of felsic magmatism [J]. *Mining Geology Special Issue*, 8: 1 ~ 11.
- Clark A H. 1993. Are outsize porphyry copper deposits either anatomically or environmentally distinctive [A]? In Whiting B H, Hodgson C J, Mason R, ed. *Giant ores deposits* [C]. Society of Economic Geologists, Special Publication, (2): 213 ~ 284.
- Defent M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 347: 662 ~ 665.
- de Hoog J C M, Mason P R O and van Bergen M J. 2001. Sulfur and chalcophile elements in Subduction zones: Constraint from a laser ablation ICP-MS study of melt inclusions from Galunggung volcano, Indonesia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 3147 ~ 3167.
- Du Q, et al. 1988. *Geology of Duobaoshan porphyry copper deposit* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 386p (in Chinese with English summary).
- Du Q. 1990. The alteration and mineralization features of the Duobaoshan porphyry copper deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 54 (4): 310 ~ 323 (in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Wang T, Tong Y and Wang X X. 2003. Mesozoic granitoids from north China block and Qinling-Dabie-Sulu orogenic belt and their deep dynamic process [J]. *Earth Science Frontiers*, 10 (3): 213 ~ 256 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, Qu X M and Meng X J. 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in northern Chile [J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 1 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Meng X J, Qu X M and Gao Y F. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constraints from rock phase and deep melting process [J]. *Mineral Deposits*, 24 (2): 108 ~ 120 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Wang G M, Gao D F, Huang Z Y and Yao P. 2002. Perspective of copper ore deposits and its exploration direction in Gangdese metallogenic belt, Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 22(Supp): 144 ~ 147 (in Chinese).
- Li L Z, Zhao Z G, He J L and Yang Z X. 2006. Geological characteristics of Mofancun Himalayan porphyry copper deposit in Yanyuan, Sichuan province [J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 269 ~ 280 (in Chinese with English abstract).
- Li W S. 1994. Nonferrous deposit in the Manzhouli-Xin Barag Yunqi Mesozoic activating belt [A]. In: Rui Z Y, Shi L D, Fang R H, ed. *Geology of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent area* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 270 ~ 295 (in Chinese with English summary).
- Li Y Q, Rui Z Y and Cheng L X. 1981. Fluid inclusions and mineralization of the Yulong porphyry copper (molybdenum) deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 55(3): 216 ~ 232 (in Chinese with English abstract).
- Liu D Q, Chen Y C, Wang D H, Tang Y L, Zhou R H, Wang J L, Li H Q and Chen F W. 2003. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo ore field in Hami, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 334 ~ 344 (in Chinese with English abstract).
- Ma H W. 1983. On the petrology of the porphyries of Malasongduo, eastern Xizang, China, with special reference to the relationship between magmatism and mineralization [J]. *Earth Science*, (1): 147

- ~158. (in Chinese with English abstract)
- Ma H W. 1984. The physicochemical conditions of hydrothermal alteration of Malasongduo porphyry copper deposit, eastern Xizang, China, with special reference to mineralization [J]. *Earth Science*, (1): 115 ~ 128 (in Chinese with English abstract).
- Meng X J. 2004. The metallogeny of the Miocene Gangdese porphyry copper belt in Tibetan collision orogen (doctor candidate paper) [D]. Supervisor: Hou Z Q. Beijing: Chinese Academy of Geological Science. 104p (in Chinese with English abstract).
- Meng X J, Hou Z Q and Li Z Q. 2005. Fluid inclusions and ore-forming processes of three porphyry copper deposits in Gangdese belt, Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 24(4): 398 ~ 408 (in Chinese with English abstract).
- Ning Q S, et al. 1979. Some major metallogenetic characteristics of porphyry copper (molybdenum) deposits in China, and regularities of their distribution [J]. *Geological Review*, 25(2): 36 ~ 46. (in Chinese with English abstract).
- Noll P D, Newson H E, Lee man W P and Ryan J G. 1996. The role of hydrothermal fluids in the production of subduction zone magmas: evidence from siderophile and chalcophile trace elements and boron [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 587 ~ 611.
- Oyargun R, Maryuey A, Lillo J, Lopez I and Rivera S. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism [J]. *Mineralium Deposita*, 36: 794 ~ 798.
- Peacock S M. 1993. Large-scale hydration of the lithosphere above subducting slabs [J]. *Chemical Geology*, 108: 49 ~ 59.
- Qin K Z. 1998. Mesozoic porphyry-subvolcanic rocks-epithermal Cu, Mo, Nb, Zn, As mineralized system in the south section of Erguna [J]. *Mineral Deposits*, 17 (Supp): 201 ~ 206 (in Chinese).
- Qu X M, Hou Z Q and Huang W. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt [J]? *Mineral Deposits*, 20(4): 355 ~ 366 (in Chinese with English abstract).
- Ren Q J, Qiu J S, Xu Z W, Zhang C Z, Fang C Q and Yang R Y. 1991. Formation conditions of the mineralized stock in the Shaxi porphyry copper (gold) deposit, Anhui province [J]. *Mineral Deposits*, 10(3): 232 ~ 242 (in Chinese with English abstract).
- Richards J P. 2005. Cumulative factors in the generation of giant calc-alkaline porphyry Cu deposits [A]. In: Porter T M, ed. *Super porphyry copper & gold deposits* [C]. PGC Publishing. 1: 7 ~ 25.
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xu J and Zhang H T. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 350P (in Chinese).
- Rui Z Y, Li Y Q, Wang L S and Wang Y T. 2002a. Preliminary discussion on ore-forming fluids and enrichment systems of metallic minerals [J]. *Mineral Deposits*, 21(1): 83 ~ 90 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Liu Y L, Wang L S and Wang Y T. 2002b. The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 83 ~ 94 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Wang L S and Chen W S. 2004a. Copper ore deposits [A]. In: Zhao Y M, Wu L S, ed. *Metallogeny of the major metallic ore deposits* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 63 ~ 99 (in Chinese).
- Rui Z Y, Zhang L S, Chen Z Y, Wang L S, Liu Y L and Wang Y T. 2004b. Approach on source rock or source region of porphyry copper deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 229 ~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Li G M, Zhang L S, Wang L S and Tang S H. 2006. Subduction, Collision, deep fracture, adakite and Porphyry copper deposits [J]. *Geology and prospecting*, 42(1): 1 ~ 6 (in Chinese with English abstract).
- Sawkins F J. 1972. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics [J]. *Jour. Geol.* 80(4): 377 ~ 397.
- Shao K C, Zhu X J and Feng Y C. 1959. Granodiorite-porphyry of certain district in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 39(3): 248 ~ 278 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits [J]. *Econ. Geol.*, 67: 184 ~ 197.
- Sun H T. 1984. Petrological characteristics of the Tongchang porphyry copper deposit at Dexing with a discussion on the relationship of magmatic evolution to metallogenesis [J]. *Mineral Deposits*, 3(4): 34 ~ 44 (in Chinese with English abstract).
- Takahashi M, Aramaki S and Ishihara S. 1980. Magnetite-series/ilmenite-series vs I-type/S-type granitoids [J]. *Mining Geology Special Issue*, 8: 13 ~ 28.
- Tatsumi Y. 1986. Formation of the volcanic front in subduction zones [J]. *Geophysical Research Letters*, 17: 717 ~ 720.
- Tang R L, Luo H S et al. 1995. The geology of Yulong porphyry copper (molybdenum) ore belt, Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 320p (in Chinese with English summary).
- Wang X C, Zhou W D, Li L H, Sun Q W, Xu D Z, Yuan J F and Li X. 2006. Present situation and trend of exploration for porphyry copper deposits in the Gangdise belt, Tibet and related suggestion [J]. *Geology and Prospecting*, 42(1): 30 ~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z and Wen G. 1957. Zhongtiaoshan type porphyry copper deposits [J]. *Acta Geologica Sinica*, 37(4): 401 ~ 416 (in Chinese with English abstract).
- Wu S B and Xu Z G. 1979. A preliminary study on the trend surface analysis of mineralogical and geochemical characteristics of the Zhongjiu iron ore deposit and its ore-forming process [J]. *Acta Geologica Sinica*, 53(3): 234 ~ 246 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Xie Y L, Li G M, Xu J H and Wang B H. 2005. Study of fluid inclusions from Tinggong porphyry copper deposit in Gangdese belt, Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 24(6): 584 ~ 594 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Mo X X, Yu X H, Hou Z Q, Xu Q D, Wang H P, Li H and Yang C Z. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, Northwestern Yunnan [J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 390 ~ 400 (in Chinese with English abstract).

- Zhang H T and Rui Z Y. 1991. Geological setting of the porphyry copper deposit series of China [J]. *Aeta Geologica Sinica*, 65 (3): 250 ~ 262 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H T, Chen R Y and Han F L. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological condition of porphyry copper deposits in China [J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 150 ~ 163 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Wang Y, Liu H T, Wang Y L and Li Z T. 2003. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China annex: Controversies over differing opinions for adakites in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 10 (4): 385 ~ 400 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q, Xie Y W, Liang H Y, Qiu H N, Li X H and Zhong S L. 1998. Petrogenetic series and ore-bearing porphyries of the Yulong copper ore belt in eastern Tibet [J]. *Geochimica*, 27 (3): 236 ~ 243 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y J. 1980. On the control factors and genesis of porphyry copper deposits in Yulong metallogenic belt [J]. *Geological Review*, 26 (4): 357 ~ 361 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J C, Shen W Z, Liu C S and Xu S J. 1990. Nd-Sr isotopic characteristics and genetic discussion of Mesozoic granitoids of syntaxis series [J]. *Aeta Petrologica et Mineralogica*, 9 (2): 97 ~ 105 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X, Huang C K, Rui Z Y, Zhou Y H, Zhu X J, Hu Z S and Mei Z K. 1983. The geology of Dexing porphyry copper ore field [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 336p (in Chinese with English summary).
- 附中文参考文献**
- 杜琦,等. 1988. 多宝山斑岩铜矿床[M]. 北京:地质出版社. 386页.
- 杜琦. 1990. 多宝山斑岩铜矿床蚀变与矿化特征[J]. *地质学报*, 54 (4): 310 ~ 323.
- 洪大卫,王涛,童英,王晓霞. 2003. 华北地台和秦岭一大别-苏鲁造山带的中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. *地学前缘*, 10(3): 231 ~ 256.
- 侯增谦,莫宣学,高永丰,曲晓明,孟祥金. 2003. 埃达克岩:斑岩铜矿的一种可能的重要母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. *矿床地质*, 22(1): 1 ~ 12.
- 侯增谦,孟祥金,曲晓明,高永丰. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性:源岩相变及深部过程约束[J]. *矿床地质*, 24(2): 108 ~ 120.
- 李光明,王高明,高大发,黄志英,姚鹏. 2002. 西藏冈底斯铜矿资源前景与找矿方向[J]. *矿床地质*, 22(增刊): 144 ~ 147.
- 李立主,赵支刚,贺金良,杨泽明. 2006. 四川盐源模范村喜马拉雅期斑岩铜矿床地质特征[J]. *矿床地质*, 25(3): 269 ~ 280.
- 李伟实. 1994. 满州里-新巴尔虎右旗中生代活化带有色金属矿床[A]. 见:芮宗瑶,施林道,方如恒,主编. 华北地块北缘及邻区有色金属矿床地质[C]. 北京:地质出版社. 270 ~ 295.
- 李荫清,芮宗瑶,程莱仙. 1981. 玉龙斑岩铜(钼)矿床的流体包裹体及成矿作用研究[J]. *地质学报*, 55(3): 216 ~ 232.
- 刘德权,陈毓川,王登红,唐延龄,周汝洪,王金良,李华芹,陈富文. 2003. 土屋-延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论[J]. *矿床地质*, 22(4): 334 ~ 344.
- 马鸿文. 1983. 藏东马拉松多铜矿区斑岩岩石学及其成矿关系的研究[J]. *地球科学*, (1): 147 ~ 155.
- 马鸿文. 1984. 藏东马拉松多斑岩铜矿热液蚀变的物理化学条件及其成矿作用的关系[J]. *地球科学*, (1): 115 ~ 128.
- 孟祥金. 2004. 西藏碰撞造山带冈底斯中新世斑岩铜矿成矿作用研究(博士学位)[D]. 导师:侯增谦. 北京:中国地质科学院. 104页.
- 孟祥金,侯增谦,李振清. 2005. 西藏冈底斯三处斑岩铜矿床流体包裹体及成矿作用研究[J]. *矿床地质*, 24(4): 398 ~ 408.
- 宁奇生,等. 1979. 中国斑岩铜(钼)矿的主要特征及分布规律[J]. *地质评论*, 25(2): 36 ~ 46.
- 秦克章. 1998. 额尔古纳南段中生代斑岩-次火山岩-浅成低温 Cu、Mo、Pb、Zn、As 成矿系统[J]. *矿床地质*, 17(增刊): 201 ~ 206.
- 曲晓明,侯增谦,黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *矿床地质*, 20(4): 355 ~ 366.
- 任启江,邱检生,徐兆文,张重泽,方长泉,阳荣勇. 1991. 安徽沙溪斑岩铜(金)矿床矿化岩体的形成条件[J]. *矿床地质*, 10(3): 232 ~ 242.
- 芮宗瑶,黄崇珂,齐国明,徐珏,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社. 350页.
- 芮宗瑶,李荫清,王龙生,王义天. 2002a. 初论成矿流体及金属矿物富集系统[J]. *矿床地质*, 21(1): 83 ~ 90.
- 芮宗瑶,刘玉琳,王龙生,王义天. 2002b. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造[J]. *地质学报*, 76(1): 83 ~ 94.
- 芮宗瑶,王龙生,陈伟十. 2004a. 铜矿床[A]. 见:赵一鸣,吴良士. 主编. 中国主要金属矿床成矿规律[C]. 北京:地质出版社. 63 ~ 99.
- 芮宗瑶,张立生,陈振宇,王龙生,刘玉琳,王义天. 2004b. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨[J]. *岩石学报*, 20(2): 229 ~ 238.
- 芮宗瑶,侯增谦,李光明,张立生,王龙生,唐索寒. 2006. 俯冲-碰撞-深断裂和埃达克岩与斑岩铜矿[J]. *地质与勘探*, 42(1): 1 ~ 6.
- 邵克忠,朱贤甲,封益城. 1959. 某些花岗闪长斑岩[J]. *地质学报*, 39(3): 248 ~ 276.
- 孙海田. 1984. 江西德兴铜厂斑岩铜矿床岩石学特征及岩浆演化与成矿关系[J]. *矿床地质*, 3(4): 34 ~ 44.
- 唐仁鲤,罗杯松,等. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[M]. 北京:地质出版社. 320页.
- 王小春,周维德,李作华,孙其武,徐德章,袁剑飞,李兴. 2006. 西藏冈底斯带斑岩铜矿勘查的现状、走向和相关建议[J]. *地质与勘探*, 42(1): 30 ~ 33.
- 王植,闻广. 1957. 中条山式斑岩铜矿[J]. *地质学报*, 37(4): 401 ~ 416.
- 吴思本,徐志刚. 1979. 钟九铁矿床矿物地球化学特征的趋势分析及成矿过程的探讨[J]. *地质学报*, 53(3): 234 ~ 246.
- 杨志明,谢玉玲,李光明,徐九华,王葆华. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带厅官铜矿床流体包裹体研究[J]. *矿床地质*, 24(6): 584

~ 594.

曾普胜, 莫宣学, 喻学惠, 侯增谦, 徐启东, 王海平, 李红, 杨朝志. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J]. 矿床地质, 22(4): 393 ~ 400.

张洪涛, 芮宗瑶. 1991. 论中国斑岩铜矿系列的地质背景[J]. 地质学报, 65(3): 250 ~ 262.

张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 23(2): 150 ~ 163.

张旗, 王焰, 刘红涛, 王元龙, 李之彤. 2003. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景附:《国内关于埃达克岩的争论》[J]. 地学前

缘, 10(4): 385 ~ 400.

张玉泉, 谢应雯, 梁华英, 邱华宁, 李献华, 钟孙霖. 1998. 藏东玉龙铜矿含矿斑岩及成岩系列[J]. 地球化学, 27(3): 236 ~ 243.

周宜吉. 1980. 玉龙矿带中斑岩铜矿的控矿因素及成因探讨[J]. 地质论评, 26(4): 357 ~ 361.

朱金初, 沈渭洲, 刘昌实, 徐士进. 1990. 华南中生代同熔系列花岗岩类的 Nd-Sr 同位素特征及成因讨论[J]. 岩石矿物学杂志, 9(2): 97 ~ 105.

朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 周跃华, 朱贤甲, 胡淙声, 梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社. 336 页.

IGCP-473/486 国际学术研讨会在塔什干召开

2006 年 4 月 22—30 日, 由国际地质对比计划(IGCP) 473 项目和 486 项目联合组织的国际学术研讨会在乌兹别克斯坦首都塔什干召开。IGCP-473 项目主要研究中亚造山带的地球动力学过程与成矿作用, 工作时间为 2002 ~ 2006 年, 组长为英国自然历史博物馆的 Reimar Seltmann 博士, 中国地质科学院矿产资源研究所毛景文研究员为副组长。IGCP-486 项目主要研究 Au-Ag-Te-Se 矿化系统的成矿作用, 工作时间为 2003 ~ 2007 年, 国际矿床成因协会主席 Nigel Cook 教授为组长。IGCP-473 与 IGCP-486 首次联合工作年会选在乌兹别克斯坦, 凸显乌兹别克斯坦“中亚黄金之国”的美誉。

本次会议由乌兹别克斯坦国立大学地质系、乌兹别克斯坦地质学会、国际矿床成因协会乌兹别克斯坦分会、阿尔马雷克矿业冶金集团(AGMK) 承办, 由国际矿床成因协会(IAGOD)、联合国教科文组织(UNESCO)、国际地质科学联合会(IUGS)、IGCP-473 和 IGCP-486、英国自然历史博物馆俄罗斯和欧亚矿产资源研究中心(CERCAMS NHM)、乌兹别克斯坦 IGCP 国家委员会和塔什干矿产资源研究所协办。

共有来自中国、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦、俄罗斯、英国、挪威、罗马尼亚、加拿大、澳大利亚、乌克兰等 11 个国家的 40 名代表参加了会议。大会共收到 17 份论文, 在会议前三天的室内学术交流中, 共宣读论文 17 篇。中国地质科学院矿产资源研究所肖克炎研究员、杨富全博士和赵财胜博士及地质研究所李锦轶研究员参加了该国际学术研讨会和会后的地质考察, 共提交论文 4 篇。李锦轶研究员和赵财胜博士分别应邀做了专题发言。

学术交流后, 与会代表对乌兹别克斯坦 Chatkal-Kurama 成矿带的斑岩型和浅成低温热液型矿床进行了野外地质考察, 重点考察的矿床分别为 Kalmakyr 斑岩型铜金钼矿床、Kochbulak 高硫化型浅成低温热液金铜矿床、Sarycheku 斑岩型铜钼矿床、Kauldy 低硫化型浅成低温热液金矿床和 Kyzylalma 低硫化型浅成低温热液金矿床。

会议主办方特邀请中国与会者参观乌兹别克斯坦国家地质博物馆。乌兹别克斯坦国家地质博物馆馆长俄罗斯自然科学院院士 Yusupov Rustam Gumirovich 教授亲自接待了中国与会者, 并通过穆龙套金矿床的矿石标本及成矿模型, 详细地介绍了穆龙套金矿床的地质特征及矿床成因。

(中国地质科学院矿产资源研究所 赵财胜 杨富全 供稿)