2003 年 4 月
24 卷 3 期: 211-218

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTIA SINICA

June 2003
24(3): 211-218

小赛什腾山斑岩铜(钼)矿床根部带的特征

李大新　张德全　崔艳合　丰成友

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037)

摘　要　小赛什腾山斑岩型铜矿床产于柴北缘造山带之西端, NW 向柴北缘深断裂和 NEE 向阿尔金深断裂分别从其旁侧通过, 这两条深断裂的交汇部位是该矿床含铜斑岩的控岩构造。印支期花岗闪长斑岩呈岩墙状侵位于晚加里东期层状杂岩体的闪长岩相中, 环绕该斑岩体发育有斑岩型 Cu(Mo)矿化及钾硅酸盐化-绢英岩化-青磐岩化蚀变, 这些蚀变以斑岩为中心, 由内向外依次形成相应的面型蚀变分带。流体包裹体以液相包裹体为主要类型及高温-高盐度为基本特征, 其中, 在钾硅酸盐化蚀变岩内分布有含盐度达 48% 的含 NaCl 子晶多相包裹体, 均一温度变化于 500~ 600 ℃之间, 测压显示其成矿深度约在 1~1.8 km, 表明该含铜斑岩成矿系统形成于典型的高位、浅成环境。同位素测年结果确认, 斑岩铜矿化形成于 218.5±3.59 Ma。详细的研究与对比认为, 小赛什腾山铜矿床具有国内斑岩铜(钼)矿体系根部带的特征。

关键词　斑岩铜(钼)矿床　根部带特征　小赛什腾山　柴北缘

The Root Part of the Xiaosaishitengshan Porphyry Cu (Mo) Deposit

LI Daxing　ZHANG Dequan　CUI Yanhe　FENG Chengyou

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037)

Abstract　The Xiaosaishitengshan porphyry Cu (Mo) deposit is located at the west end of the North Qaidam orogen and also on the NW-trending North Qaidam fault and the NNE-trending Altyn Tagh fault. The intersection of the two faults controlled the intrusion of the Cu (Mo) porphyry. The Late Triassic granodiorite porphyry, in the form of dikes, intruded into the late Caledonian dioritic complex. Cu (Mo) mineralization and hydrothermal alteration were developed around the granodiorite porphyry. The alteration zonation consists of a peripheral propylitization zone, a central potassic alteration zone and a sericitization zone which is superimposed upon the first two zones. The fluid inclusions in potassic alteration zone are characterized by coexisting three types of fluid inclusions, namely aqueous, halite-bearing and gas-rich types. Homogenization temperatures of these inclusions range from 500 ℃ to 643 ℃, with the highest salinity up to 48 wt% NaCl. These data suggest a magmatic origin and boiling process of the fluid for potassic alteration and mineralization. The estimated ore-forming depth and age are 1~ 1.8 km and 218.5±3.59 Ma, respectively, indicating that the Cu (Mo) porphyry was formed in a high and hypabyssal environment during the late stage of late Variscan-Indosinian orogeny in this region. A detailed comparative study shows that the Xiaosaishitengshan deposit is the root zone of an eroded Cu (Mo) porphyry.

Key words　porphyry Cu (Mo) deposit　root zone　Xiaosaishitengshan deposit　North Qaidam

小赛什腾山铜矿是柴北缘地区在晚华力西—印支期陆内复合造山过程中形成的与中酸性浅成岩浆作用有关的斑岩型铜(钼)矿床。该矿床地处青海省冷湖镇的小赛什腾山西段, 位于区域 NW 向柴北缘深大断裂(柴达木盆地的北界断裂)之西北端, 断裂的西南侧为柴达木盆地前寒武变质岩系地层, 北东侧为古生代晚奥陶世滩间山群火山-沉积岩系。矿区内, 铜矿体主要赋存于印支期浅成斑岩体边部及近接触带的强蚀变岩内。该矿床是检查航磁异常过程中发现的, 后经少量钻孔稀疏控制, 证实其为小型含钼斑岩型铜矿床。此次工作是在前人工作的基础上, 结合笔者对该矿床的详细解剖和总结, 论证了小

本文为国土资源部"九五"资源与环境科技攻关项目(95-02-005)和地质大调查项目(K1.1.3.1)部分研究成果。
改回日期: 2002-5-9; 责任编辑: 宫月萱。
第一作者: 李大新, 男, 1952 年生, 副研究员, 从事矿床学及岩石学研究。
© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

赛什腾山斑岩型铜矿床根部带的主要特征。

1 矿区地质概况

矿区大部分已被戈壁滩所覆盖, 其外围出露的晚奥陶世滩间山群火山-沉积岩系, 呈一走向为NNE、倾向SEE的单斜构造。地表及浅部工程资料表明(图1), 矿区内含矿斑岩的直接围岩是侵入于滩间山群火山-沉积岩地层中的晚加里东期闪长杂岩体, 而位于矿区北侧滩间山群火山-沉积岩系是含铜斑岩的间接围岩, 局部见少量小块大理岩呈顶垂体"漂浮"在闪长杂岩体之上, 当这些碳酸盐岩捕虏体处于花岗闪长斑岩的接触带时, 就被交代形成含铜的辉石-石榴石-绿帘石-磁铁矿夕卡岩。

区内发育NWW和NE两组方向的断裂或裂隙系统。前者是区域性NW向柴北缘深大断裂的次级断裂, 也是矿区内含铜斑岩系统的主要控岩构造。NE向断裂裂隙系统是NEE向阿尔金深断裂的次级构造, 与NWW向构造一起控制了浅成含矿花岗闪长斑岩呈不规则岩墙状侵位于层状闪长杂岩体内。NWW向和NE向两组断裂在含矿斑岩成岩成矿期, 不仅控制了斑岩体侵位时的复杂形态, 同时也控制了其接触带网状裂隙系统, 后者是矿区内细脉浸染状矿化体的主要容矿构造, 也可能与斑岩岩浆侵位时的水力爆破有关。

矿区内闪长杂岩体为一套晚加里东期的层状火成杂岩体, 占据了全区的绝大部分, 是含矿花岗闪长斑岩的直接围岩(图1)。该岩体地表出露面积约0.6 km^2, 长约1 000 m、宽500~600 m, 呈西宽东窄、长轴方向为NW延伸的透镜状杂岩体。在矿区的北侧外围, 侵入于滩间山群中-基性火山岩中, 局部见其与火山岩呈渐变关系。根据岩石矿物组分、结构构造等特征, 该层状火成杂岩体由3个分异程度较好的堆晶岩相构成: ㈠辉石岩相-岩体下部相, 呈NW向带状出露于矿区北部; ㈣辉石闪长岩相-岩体中部相, 出露于辉石岩相南侧; ㈣闪长岩相-岩体上部相, 也是构成该层状杂岩体的主岩相。三者之

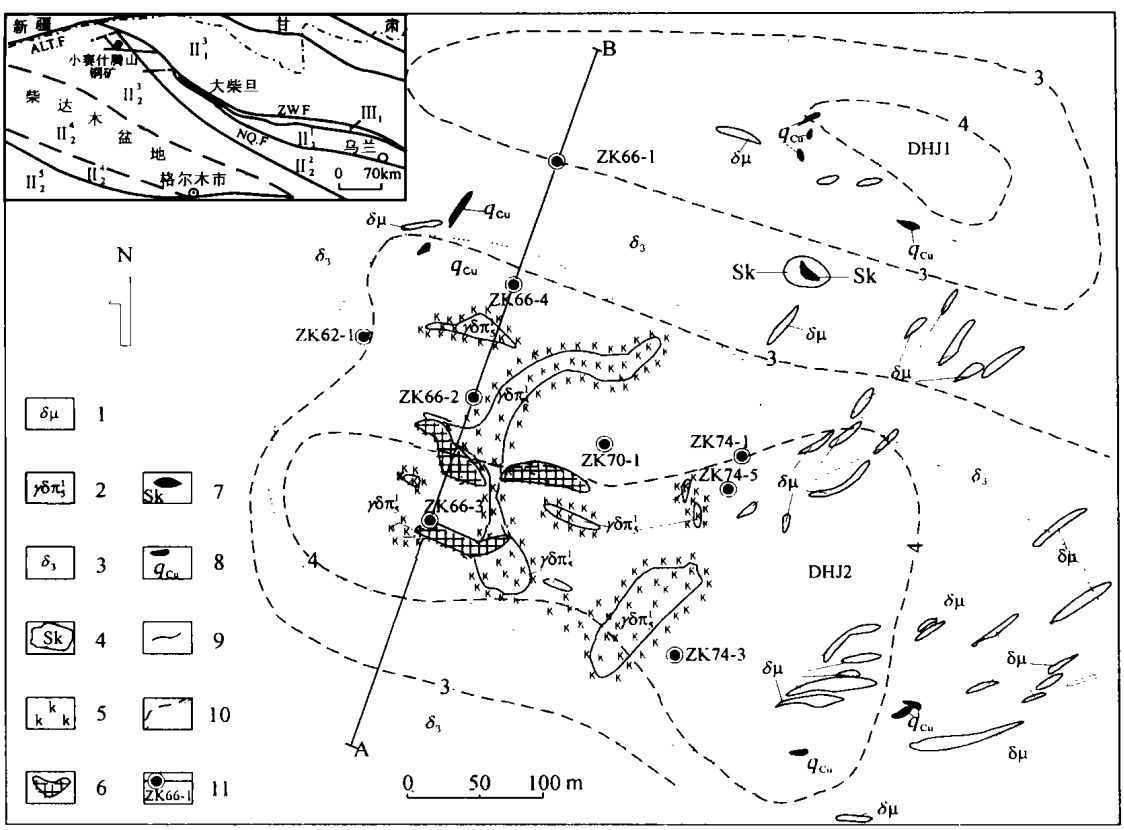

图1 小赛什腾山斑岩铜矿区地质略图

Fig. 1 Simplified geological map of the Xiaosaishitengshan porphyry copper deposit

1-闪长玢岩; 2-早中生代花岗闪长斑岩脉; 3-晚加里东辉石岩-辉石闪长岩-闪长岩杂岩体; 4-夕卡岩; 5-钾硅酸盐化蚀变带; 6-斑岩型Cu矿体; 7-夕卡岩型Fe-Cu矿体; 8-含Cu硫化物-石英脉; 9-地质界线; 10-激电异常/1000×10^{-6}的原生晕Cu异常边界; 11-勘探线及钻孔

1-dioritic porphyrite; 2-indosinian granodioritic porphyrite; 3-Upper Caledonian pyroxenite-pyroxene diorite-diorite complex; 4-skarn; 5-potassium-silicate alteration zone; 6-porphyry copper ore bodies; 7-skarn iron-copper ore bodies; 8-copper-bearing sulphide quartz veins; 9-geological boundaries; 10-boundaries of induced polarization anomaly and copper primary anomaly; 11-exploration line and drill hole

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

间呈渐变过渡关系。从岩石化学成分上看, 该套闪长杂岩体以低硅(SiO_2 40. 69% ~ 54. 6%) 、富镁铁钙、高碱为特征❶, 与晚奥陶统滩间山群中-基性火山岩十分相似, 二者从岩石矿物组成、化学成分及空间关系和同位素测年结果显示(辉石闪长岩中黑云母的 K-Ar 年龄为 444 ±6 ma❶) , 闪长杂岩体是与火山岩同源岩浆的堆晶侵入体。

花岗闪长斑岩是矿区内与 Cu(Mo) 矿化关系最为密切的含矿斑岩体。地表探槽控制显示, 其沿走向和倾向常常分枝、复合, 呈多条不规则根须状岩墙集中分布在不足 0. 04 km^2 的层状杂岩体的闪长岩相中(图 1) , 岩墙出露一般仅宽几十厘米、长几米, 而最大者则呈向 NW 突出的弧形出露于矿区中部, 长约 240 m、宽 0. 2~ 44 m, 并向 NWW 方向伸出多个分枝(图 2) 。尽管它们的产状形态复杂, 但其总体上呈 NWW 和 NE 两组方向, 表明区域 NW 向柴北缘深断裂和 NEE 向阿尔金深断裂的次级断裂是含铜斑岩系统的主要控岩构造。据深部钻孔资料揭示, 含铜斑岩墙向下具逐渐收敛的趋势。地表探槽中局部见斑岩与闪长岩之间截然的侵入接触关系, 但大多数地表探槽或钻孔岩心中, 其侵入接触关系很不明显, 这是因为二者均遭受极其强烈的钾硅酸盐化和叠加的绢英岩化蚀变所至。

小赛什腾山含铜花岗闪长斑岩具典型的多斑状结构, 其斑晶由斜长石(35% ~ 40%; An= 32~ 36) 、角闪石(12% ~ 20%) 、石英(3% ~ 8%) 、钾长石(3%~ 5%) 和黑云母(1% ~ 6%) 组成; 基质为微-细晶长石和石英(二者共占 35% ~ 40%) 、角闪石及黑云母(3% ~ 5%) 、磁铁矿(2% ~ 3%) 。4 件样品的主元素化学成分为 SiO_2 61. 24% ~ 62. 29% 、FeO+ Fe_2O_3 4. 16% ~ 4. 91% 、MgO 1. 6% ~ 2. 96% 、CaO 1. 68% ~ 2. 22% 、K_2O+ Na_2O 9. 54% ~ 10. 36% , 后者通常 Na_2O 略高于 K_2O。尽管被分析的岩石样品已具较强的钾硅酸盐化蚀变而导致碱质明显增高, 但仍可看出其属钙碱性系列的中-酸性岩石。在花岗岩类岩石构造环境的 R_1-R_2 图解上, 该花岗闪长斑岩投影于晚造山花岗岩的范围。与国内的铜(钼) 斑岩相比, 小赛什腾山含矿斑岩比江西德兴、内蒙古乌努克吐山、黑龙江多宝山及西藏玉龙的铜(钼) 斑岩要相对贫 SiO_2、富 Mg、Fe 和全碱。小赛什腾山含矿斑岩的岩石矿物和化学特征, 一方面可能喻示该含矿斑岩系统中有较多的再循环幔源组分的加入, 另一方面也反映出其斑岩柱的底部带标志之一(芮宗瑶, 1984) 。

小赛什腾山含矿斑岩的稀土元素球粒陨石标准化图型(图3) , 呈较为平坦(向右缓倾斜) 的曲线, 仅

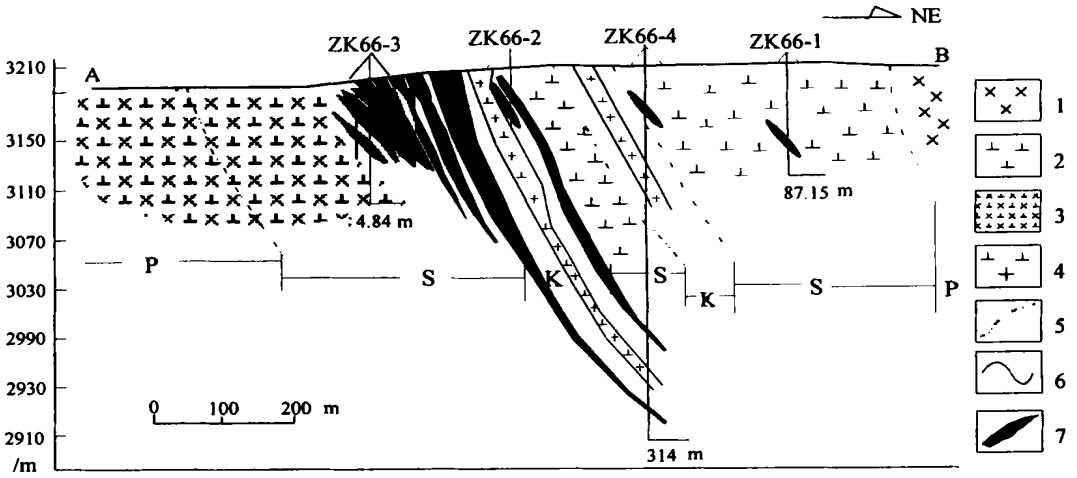

图 2　小赛什腾山斑岩铜矿区 A—B 勘探线地质剖面图

Fig. 2　Geological section along A—B exploration line of the Xiaosaishitengshan porphyry copper deposit

1-辉石岩; 2-辉石闪长岩; 3-闪长岩; 4-花岗闪长岩; 5-岩相渐变界线; 6-地质界线;

7-斑岩 Cu 矿体; P-青磐岩化带; S-绢英岩化带; K-钾硅酸盐化带

1-pyroxenite; 2-pyroxene diorite; 3-diorite; 4-granodiorite-porphyry; 5-lithofacies boundary; 6-geologic boundary;

7-porphyry copper ore bodies; P-propylitization zone; S-sericite-quartz alteration zone; K-potassium silicate alteration zone

❶甘肃省地质局地质力学区域测量队. 1978. 1∶20 万冷湖幅区域地质调查报告.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

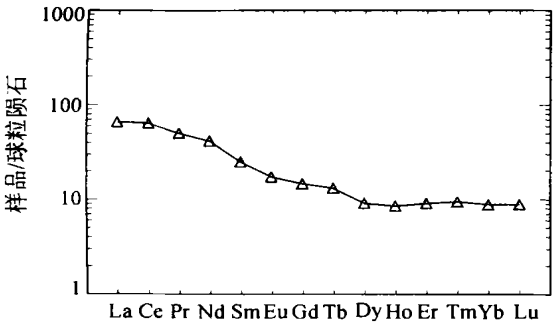

图 3 花岗闪长斑岩稀土元素球粒陨石标准化型式
Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of granodiorite porphyry

具极微弱的 Eu 负异常且轻重稀土分馏程度低。与国内其他铜(钼)斑岩相比, 小赛什腾山含矿斑岩以基本不具 Eu 负异常、较低的 LREE/HREE 比值和相对地富 Sr、贫 Rb 与德兴、乌努克吐山、多宝山、玉龙等铜(钼)斑岩相区别。

对该矿区中部探槽内采集的一件钾长石化花岗闪长斑岩样品, 送中国地质科学院地质研究所同位素室进行全岩法 K-Ar 测年, 获得了 218.5±3.59 Ma 的表观年龄值, 表明该含矿斑岩属于印支期的产物。

2 蚀变

2.1 蚀变类型

小赛什腾山矿区广泛发育一套以钾硅酸盐化、绢英岩化和青磐岩化 3 种面型为主的斑岩铜(钼) 矿化蚀变类型(表 1), 局部存在夕卡岩化和硅化(硫化物石英脉) 蚀变。

2.1.1 钾硅酸盐化 作为斑岩铜矿体系根部带的重要蚀变类型, 其主要分布于矿区中部花岗闪长斑岩岩墙及其近接触带的层状闪长岩中(图 1), 表现十分强烈。钾硅酸盐化蚀变包括钾长石化和黑云母化, 它们的特征矿物组合为钾长石(黑云母) + 石英。钾长石化主要发育于花岗闪长斑岩中, 显示为斑岩中基质斜长石广泛被新生的微晶钾长石所交代, 这类新生钾长石含量一般在 5% ~ 10% 之间, 并常与石英共生; 部分斑晶斜长石有时也被钾长石交代, 形成钠长石核及钾长石边缘。黑云母化分布于花岗闪长斑岩与层状闪长岩的近接触带附近, 且主要发育在闪长岩中, 此类交代成因的新生黑云母含量通常小于 5%, 其最高含量可达 30%, 呈浅褐色细鳞片集合体稠密浸染状或团块状交代斑晶角闪石。经电子探针分析表明, 该矿区蚀变的黑云母富 MgO, 其镁质指数(Mg/Mg+ Fe) 为 0.57, 而岩浆期黑云母的镁质指数为 0.4~ 0.49; 蚀变的钾长石富 K_2O, 其 Or 含量达 100%, 而岩浆期钾长石则含较高的 Na_2O, Or 含量在 85% 左右。

2.1.2 绢英岩化 绢英岩化是矿区内分布最广的蚀变, 主要发育在近邻花岗闪长斑岩外侧的闪长岩中, 其特征的矿物组合为绢云母+ 石英+ 绿泥石+ 黄铁矿±方解石(电气石、金红石)。蚀变矿物含量及蚀变强度视其位置而定, 近花岗闪长斑岩接触带的闪长岩, 绢英岩化最强, 原岩结构构造基本模糊不清, 已形成由绢云母(30% ~ 70%)、石英(10% ~ 50%) 和黄铁矿(5% ~ 10%) 构成的绢英岩; 远离花岗闪长斑岩接触带, 原闪长岩的结构构造保留完好, 绢英岩化强度显著变弱, 新生的蚀变矿物总量仅在

表 1 小赛什腾山铜(钼)矿床斑岩型蚀变类型及其特征矿物组合

Table 1 Alteration types and mineral assemblages of the Xiaosaishitengshan porphyry copper(molybdenum) deposit

蚀变类型	原岩	新生或重结晶矿物组合	残留矿物组合
钾硅酸盐化	花岗闪长斑岩	Or+ Bi+ Py+ Mgt+ Cp±(Bn±Cc±Mo)	Pl±Hb±BI
	闪长岩	Bi+ Or+ Py+ Cp±(Bn±Cc±Mo)	Pl±Hb±BI
绢英岩化	闪长岩	Ser+ Chl+ Py±Tou±Rt±(Cp±Bn±Cc±Mo)	Pl±Hb±BI
	辉石闪长岩	Ser+ Chl+ Py±Cal±Mgt±Rt±(Cp±Gn±Sph)	Pl±Prx±BI
青磐岩化	闪长岩	Chl+ Cal+ Ep+ Ab±Ser±Mgt±Ap±Rt	Pl±Hb±BI±OR
	辉石闪长岩	Chl+ Ep+ Ab±Mgt±Ap	Pl±Prx±BI±OR
	辉石岩	Act+ Ep+ Cal+ Mgt	Prx±Hb±BI

注: (1) 上述各矿物组合内均含有不等量的石英(除青盘岩化岩石外), 故表中不再列出; (2) 矿物含量由多至少按大致顺序依次列出, 括号内为伴生矿化金属矿物; (3) 矿物符号: Ab-钠长石; Act-阳起石; Ap-磷灰石; Bi-蚀变黑云母; BI-岩浆期黑云母; Bn-斑铜矿; Cal-方解石; Ce-辉铜矿; Chl-绿泥石; Cp-黄铜矿; Ep-绿帘石; Gn-方铅石; Hb-角闪石; Mgt-磁铁矿; Mo-辉钼矿; Or-蚀变钾长石; OR-岩浆期钾长石; Pl-斜长石; Prx-辉石; Py-黄铁矿; Ser-绢云母; Sph-闪锌矿; Tou-电气石

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5% ~ 30% 之间。典型的绢英岩化蚀变表现为绢云母+ 石英(呈毡式或细网脉交代整个原岩, 尤其是交代斜长石) ; 暗色矿物(角闪石、黑云母) 则被绿泥石等取代, 有时绢云母还进一步交代绿泥石; 浸染状或细网脉状黄铁矿(一般含量在 3% ~ 5% 左右) 常与绢云母或绿泥石共生, 偶见铁电气石、方解石、金红石与绢云母共生。

2.1.3 青磐岩化　主要见于离花岗闪长斑岩最远的层状闪长杂岩体中, 特征矿物组合见表 1。在多数情况下, 闪长杂岩体的原岩结构构造保存尚好, 新生的蚀变矿物总量在 3% ~ 10% 左右。青盘岩化主要表现为原岩中的暗色矿物被绿帘石、绿泥石和阳起石所交代, 常析出少量磁铁矿; 斜长石被分解成钠长石和碳酸盐, 并形成少量磷灰石。有时碳酸盐(方解石为主) 呈网脉状穿插于岩石中。

但必须指出, 在上述 3 类蚀变中, 绢英岩化蚀变略晚于钾硅酸盐化和青磐岩化, 因为在靠近花岗闪长斑岩接触带附近的绢英岩化蚀变岩内, 常见有热液黑云母和钾长石呈细晶团块集合体残留于其中; 而在远离花岗闪长斑岩接触带的方向上, 绢英岩化蚀变岩内被叠加和改造的青磐岩化蚀变特征矿物阳起石、绿泥石、钠长石等明显可见。

2.2 蚀变分带

由矿区蚀变类型的空间分布可知, 该矿床的蚀变具面型特点, 其大致可以分成 3 个带: 即钾硅酸盐化带、绢英岩化带和青磐岩化带。其中, 钾硅酸盐化带(由钾长石+ 石英和黑云母+ 石英组合而成的蚀变岩带) 基本覆于一厚度不大的花岗闪长斑岩之上; 绢英岩化带分布于花岗闪长斑岩的外接触带闪长岩中; 青磐岩化带则环绕于花岗闪长斑岩远接触带的层状闪长杂岩体中。这三个带之间显示非自然边界, 呈过渡关系。在剖面上(图 2) , 自花岗闪长斑岩中心向外, 依次形成核部的钾硅酸盐化带→中部的绢英岩化带→边侧部的青磐岩化带的蚀变分带, 并显示出由浅部往深处, 随含矿斑岩的逐渐变窄而趋收敛。在时间上, 绢英岩化带是改造并叠加在钾硅酸盐化带和青磐岩化带之间的一个蚀变带。

2.3 根部带的蚀变特征

从上述蚀变类型及其分带特征可以看出, 小赛什腾山铜矿的蚀变与国内大多数斑岩铜矿床蚀变模式基本相似, 但从该矿床所处的蚀变模式垂直分带位置分析, 矿区内形态呈极不规则根须状钾长石化含矿斑岩的出露, 不仅表明其顶部及较高部位的矿化蚀变地质体已一起被剥蚀, 而且还显示出环绕含矿斑岩体分布的各类蚀变岩(带) 向深处具收敛的根部特点。结合前述的蚀变岩石的结构构造等特征, 如成矿围岩(等粒状闪长杂岩体) 岩相的清晰分带, 基质为微-细粒结构的含矿斑岩, 以及少见与含矿斑岩顶部或边部相伴的隐爆角砾岩等, 都反映出矿床的剥蚀程度较高; 现存的蚀变地质体具斑岩铜矿体系根部带的特征。

3　矿化

3.1 矿体

矿区内已圈定 Cu(Mo) 矿体 30 余个, 其主要产于花岗闪长斑岩外接触带的强绢英岩化闪长岩部位, 普遍发育浸染状和细网脉浸染状的硫化物矿化, 具典型的斑岩铜矿化底部的特征。在剖面上, 矿体呈不规则的透镜体斜列于斑岩外接触带 200 m 范围内(图 2) 。矿体规模小、品位低, 且变化较大, 一般长 20~ 50 m、厚 1~ 2 m, 最大的矿体仅长 140 m、厚 9.3 m, 向下延深 300 m 后逐渐变窄尖灭。矿体以铜为主, 平均含 Cu 0.4% ~ 0.68%、Mo 0.004% ~ 0.04% 。

3.2 矿石

小赛什腾山矿床的矿石以发育他形-半自形粒状结构、交代结构和微细网脉浸染状构造为特征, 偶见角砾状或块状构造矿石。矿石矿物以黄铁矿为主, 黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝和磁铁矿次之, 有少量辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿等。一般情况下, 矿石中含硫化物总量大于或等于 5%。上述金属矿物大多呈星散状浸染于绢英岩化闪长岩中, 也见其与石英和绢云母一起构成极细的网脉或细脉, 这些细(网) 脉的密度与矿石的品位关系密切, 即在较高 Cu 品位的矿石中, 都可看到较多的硫化物-石英绢云母网脉。

3.3 成矿元素分带

小赛什腾山铜矿床的原生金属分带十分明显。762 件岩石原生晕光谱分析表明, 矿区各类蚀变岩 Cu 的含量都很高(平均 208×10^{-6}) , 其中, 钾硅酸盐化花岗闪长斑岩平均含 Cu 507×10^{-6}, 绢英岩化闪长岩平均含 Cu 362×10^{-6}, 青磐岩化辉石岩和辉石闪长岩等平均含 Cu 308×10^{-6}和 146×10^{-6}❶。原生晕 Cu 异常形态规整, 分带性亦好, 其一般内带

❶ 青海省原地质五队. 1983. 青海省冷湖镇小赛什腾山铜矿点检查评价报告.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

异常下限为 $1\,000\times10^{-6}$, 中带下限 700×10^{-6}, 外带下限 494×10^{-6}。矿区内的 Mo、Ag、Pb、Zn 常与 Cu 一起构成组合异常, 且 Mo 异常(30×10^{-6} ~ 200×10^{-6}) 分布于 Cu 异常的内带、Ag 异常(1×10^{-6} ~ 5×10^{-6}) 分布于 Cu 异常的中带、Pb 和 Zn 异常见于 Cu 异常的外带。空间上, 这些组合异常与不同的蚀变带极为吻合, 环绕斑岩体常出现不同的特征性金属矿化组合: Mo(Cu) 富集于花岗闪长斑岩核部的钾硅酸盐化带内, 其中, Mo 含量在 Cu 矿体的深部显示出逐渐增高; Cu(Mo) 分布于斑岩体近接触带的钾硅酸盐化带上; Cu、Ag 见于外接触带的绢英岩化带内; Cu、Pb、Zn 出现在远离斑岩体青磐岩化闪长杂岩体中。因此, 矿床成矿元素自斑岩体中心往外, 具有 Mo(Cu) → Cu(Mo) → Cu、Ag → Cu、Pb、Zn 的水平分带及斑岩体上部铜高、下部铜矿体逐渐呈现尖灭而钼含量趋于增高的垂直分带。

上述矿化特征显示, 小赛什腾山铜矿应该属斑岩型铜(钼) 矿床。其具有黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黄铁矿、辉钼矿和磁铁矿组合构成的金属矿物晕圈, 尤其是产于钾长石化花岗闪长斑岩内的铜、钼矿化元素组合呈上部铜高、下部钼高的趋势特点, 在剖面上, Mo 异常范围向下逐渐增大, 并逐步完全覆盖 Cu 异常。这是确定斑岩铜(钼) 矿体系根部带矿化特征的两个主要标志(芮宗瑶等, 1984)。

4 流体包裹体

小赛什腾山斑岩铜矿床中, 不同蚀变带及矿体的石英内均发育较多的流体包裹体。测相结果表明, 该矿床中存在 3 类流体包裹体: ㈠ 液体包裹体是最主要的类型, 广泛分布于各蚀变带和矿体中, 其气液比变化于 10% ~ 40% 之间, 大部分包裹体在 5~10 μm 之间; ㈡气体包裹体较为少见, 局部见于钾硅酸盐化带和绢英岩化带, 气液比变化大(50% ~ 90%), 单个包裹体的大小变化亦大; ㈢含 NaCl 子晶多相包裹体, 仅在钾硅酸盐化的花岗闪长班岩内见到。这些包裹体的特征表明, 小赛什腾山矿床中的流体包裹体与国内大多数斑岩铜矿的流体包裹体类型组合完全相同, 但其分布上以液体包裹体和含 NaCl 子晶多相包裹体最为发育, 少见气体包裹体, 显示了该矿床的流体包裹体具有斑岩体下部特征, 与许多斑岩体顶部发育气体和气液包裹体形成明显的对照。

该矿床的流体包裹体均一温度直方图显示(图 4), 其具有多峰态的特点。核部钾硅酸盐化带内见有液体包裹体、含 NaCl 子晶多相包裹体和气体包裹体, 它们的均一温度(Th) 变化于 500~ 600 ℃之间, 其中, 钾长石+ 石英蚀变组合在 570~ 600 ℃, 黑云母+ 石英蚀变组合在 500~ 530 ℃。中部绢英岩化带内的流体包裹体由液体包裹体+ 气体包裹体组成, 它们的均一温度在 260~ 400 ℃。在此均一温度直方图上, 绢英岩化带的流体包裹体均一温度形成有 3 个峰: 370~ 400 ℃、310~ 340 ℃、260~ 290 ℃, 基本上代表了该矿床 3 个硫化物矿化阶段的成矿温度。边部青磐岩化带内仅见少量液体包裹体, 其 Th 变化于 200~ 390 ℃之间。对流体包裹体的冰点和均一温度测量及求得的盐度显示(图 5), 含 NaCl 子晶多相包裹体的盐度可达 48% NaCl, 钾硅酸盐化带内的气体包裹体盐度〔w(NaCl) 16% ~ 18%〕通常比液体包裹体的盐度〔w(NaCl) 9.2% ~ 16%〕高, 绢英岩化带内流体包裹体的盐度变化极大〔w(NaCl) 3.1% ~ 10.5%〕, 青磐岩化带内的液体包裹体盐度在〔w(NaCl) 6% ~ 8%〕之间。

压力估计显示(图 6), 最高压力的流体温压条件为 600 ℃、760×10^5 Pa(图 7), 其代表了与花岗闪长斑岩有关的岩浆流体。由含 NaCl 子晶多相包裹体估计的最小压力(卢焕章等, 1990) 为(400~ 500) $\times10^5$ Pa 之间。按钾硅酸盐化带内的沸腾流体(详见下述) 来估计, 形成深度在 1 km 左右(Hass, 1971)。绢英岩化及细脉-浸染状黄铁矿、黄铜矿化流体之捕获压力在(200~ 400) $\times10^5$ Pa 之间, 按静岩压力计算, 其成矿深度为 0.7~ 1.3 km 之间。由于该矿床形成于半开放系统中, 上述压力应是静岩压力和静水压力的过渡值, 因此, 估计其成矿深度在 1~ 1.8 km之间。说明该区与晚华力西-印支期

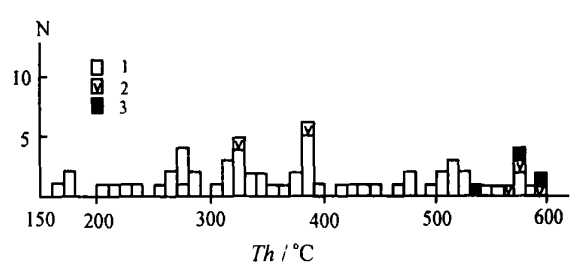

图 4 小赛什腾山铜(钼) 矿床流体包裹体均一温度直方图

Fig. 4 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions in the Xiaosaishitengshan copper(molybdenum) deposit

1-V/L< 50% 液体包裹体; 2-V/L> 50% 气体包裹体; 3-含 NaCl 子晶包裹体

1-liquid-rich fluid inclusion; 2-vapour-rich fluid inclusion; 3-NaCl daughter crystal-bearing inclusion

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

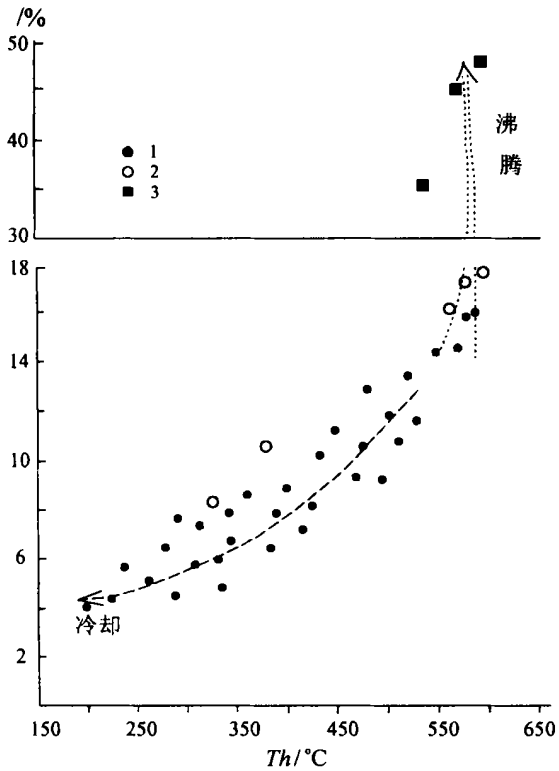

图 5　小赛什腾山铜(钼) 矿床流体包裹体均一温度-盐度图解

Fig. 5　Homogenization temperature-salinity diagram of fluid inclusions in the Xiaosaishitengshan copper(molybdenum) deposit

1-V/L< 50% 液体包裹体; 2-V/L> 50% 气体包裹体; 3-含 NaCl 子晶包裹体

1-liquid-rich fluid inclusion; 2-vapour-rich fluid inclusion; 3-NaCl daughter crystal-bearing inclusion

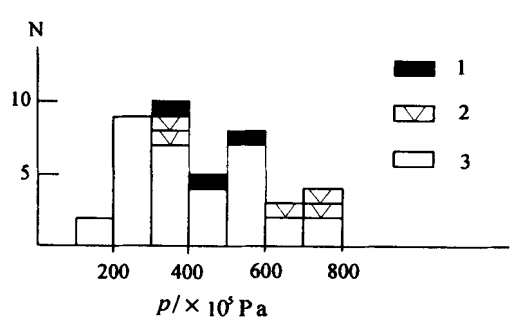

图 6　小赛什腾山铜(钼) 矿床流体包裹体压力直方图

Fig. 6　Histogram showing pressure of fluid inclusions in the Xiaosaishitengshan copper(molybdenum) deposit

1-含 NaCl 子晶包裹; 2-V/L> 50% 气体包裹体; 3-V/L< 50%液体包裹体

1-NaCl daughter crystal-bearing inclusion; 2-vapour-rich fluid inclusion; 3-liquid-rich fluid inclusion

造山有关的含铜斑岩成矿系统是典型的高位、浅成环境。

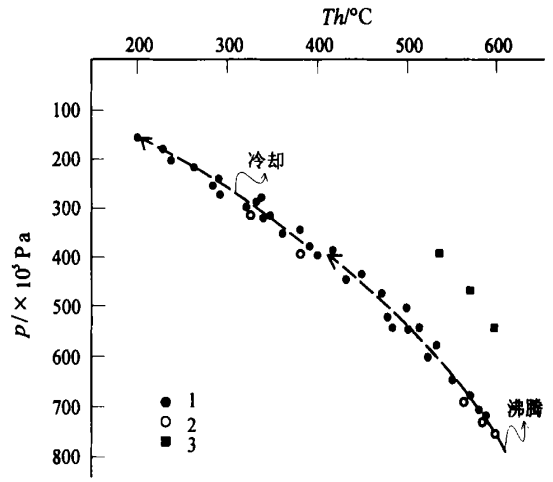

图 7　小赛什腾山铜(金) 矿床流体包裹体均一温度-压力图解

Fig. 7　Homogenization temperature- pressure diagram of fluid inclisions in the Xiaosaishitengshan copper(molybdenum) deposit

1-V/L< 50% 液体包裹体; 2-V/L> 50% 气体包裹体; 3-含 NaCl 子晶包裹体

1-liquid-rich fluid inclusion; 2-vapour-rich fluid inclusion; 3-NaCl daughter crystal-bearing inclusion

5　讨论和结论

5.1　蚀变矿化类型与流体演化

根据流体包裹体特征, 斑岩体钾硅酸盐化带内明显见液相包裹体、气相包裹体和含 NaCl 子晶多相包裹体三相共存, 有一个近似的均一温度区间, 但盐度变化极大, 这是典型的沸腾流体, 具有较高的均一温度值(当 600 ℃时, 少量包裹体尚未最终均一) , 证明是沸腾的岩浆流体。这种沸腾流体的演化(图 6) , 是由于上升的岩浆流体到达浅部近于开放的系统中时, 因压力急剧释放而产生的沸腾, 并分馏成富液相流体、富气相流体和含 NaCl 子晶的高盐度流体, 导致斑岩体内及其近接触带的钾硅酸盐化(包括钾长石化和黑云母化) 蚀变和少量斑岩钼矿化的形成。上述沸腾分馏出的富液相流体, 在与大气降水的对流循环过程中, 温度和盐度逐渐降低, 并有时还发生不混溶, 再次形成富气相的相对高盐度流体和富液相的相对低盐度的流体, 导致围岩的绢英岩化蚀变和斑岩体顶部构造发育部位的多阶段硫化物矿化的形成, 这就是流体进一步演化的冷却趋势(图 6) 。由此可知, 矿床中钾硅酸盐化和绢英岩化(包括矿化) 是分别和岩浆流体的沸腾和流体的对流冷却

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

两个演化趋势有成因联系的。

5.2 矿化深度的估计

根据矿区的间接围岩资料来看, 区域上小赛什腾山地区晚奥陶世滩间山群海相火山岩剖面地层的总厚度大于 3 308 m[1]。由此估算, 该矿床的直接围岩, 即与火山岩同源层状闪长杂岩体的形成深度应在 3 000~ 4 000 m, 属浅-中成相。晚加里东造山活动后, 其经历了一段长期的侵蚀作用。直至晚古生代—早中生代陆内造山过程中, 印支期中酸性花岗闪长岩浆侵位, 形成了一套高位、浅成斑岩成矿系统(与流体包裹体测压结果推算为 1~ 1.8 km 基本吻合)。从此, 矿床经历了漫长的剥蚀, 使得处于较高部位的矿化-蚀变地质体(包括顶部爆破角砾岩和矿化角砾岩等)一起被剥蚀。结合前述蚀变矿化及流体包裹体等特征, 笔者认为该矿床已经被剥蚀到了根部带。

5.3 结论

(1) 小赛什腾山铜矿床是与柴北缘晚华力西-印支陆内造山期浅成侵入岩浆活动有关的斑岩型铜(钼)矿床。在时空上, 环绕花岗闪长斑岩(218.5 ± 3.8 Ma), 呈现一个核部的钾硅酸盐化带, 一个边缘的青磐岩化带和叠加于一个钾硅酸盐化带与青磐岩化带之间的绢英岩化带热液蚀变。成矿元素组合上, 自斑岩中心的钾硅酸盐化蚀变向外, 具有 Mo(Cu) → Cu(Mo) → Cu Ag → Cu Pb Zn 的元素分带。铜矿体主要产于斑岩外接触带强绢英岩化闪长岩中, 钼矿化分布在核部的钾硅酸盐化花岗闪长斑岩内, 并显示出深部 Mo 含量逐渐增高。

(2) 该矿床具有与国内大多数斑岩铜矿相同的流体包裹体类型组合特征, 但以液体包裹体和含 NaCl 子晶多相包裹体为主、少见气体包裹体构成的一个类型组合, 其中, 含 NaCl 子晶多相包裹体产于钾硅酸盐化带。流体具有两种演化趋势: ① 由高温、高盐度岩浆流体因减压而产生的沸腾趋势, 并导致流体分馏形成钾长石+ 石英矿物组合和黑云母+ 石英矿物组合的钾硅酸盐化蚀变和钼矿化; ②上述流体与大气降水对流而产生的冷却趋势, 被冷却的这些流体随盐度逐渐下降, 不仅导致广泛的绢英岩化蚀变, 并形成 3 个阶段的硫化物铜矿化。流体包裹体测压显示, 成矿深度大约在 1~ 1.8 km 之间, 是一种典型的高位、浅成斑岩成矿系统。

(3) 综上所述, 小赛什腾山铜矿床的蚀变矿化及其流体包裹体具有国内斑岩铜(钼)矿体系根部带的特征, 因此, 要在其下部再找到具一定规模的铜矿体, 一般情况下是比较困难的。尽管该矿床显示出斑岩铜(钼)矿体系根部带的特征, 但详细研究表明, 小赛什腾山铜矿床的主要地质特征、蚀变矿化分布、流体包裹体和成矿流体特征为总结柴北缘地区金铜多金属成矿带的找矿标志提供了重要科学依据, 并对指导区域成矿预测、找寻同类斑岩-夕卡岩-热液脉型矿化系统隐伏矿是有实际意义的, 也可供有关地质工作者及勘查部门在评价和勘探斑岩铜矿时作参考。

参 考 文 献

芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明等. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社, 293~ 302.

黄崇轲, 白冶, 朱裕生等. 2001. 中国铜矿床(上册). 北京: 地质出版社, 57~ 194.

杨世义, 刘 群, 张秀兰等. 1984. 福建钟腾斑岩铜(钼)矿床根部带的蚀变矿化特征. 矿床地质, 3(1): 11~ 17.

赵一鸣, 张德全等. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京: 地震出版社, 48~ 79.

References

Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming et al. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 293~ 302(in Chinese).

Huang Chongke, Bai Ye, Zhu Yusheng et al. 2001. Copper deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 57~ 194(in Chinese).

Yang Shiyi, Liu Houqun, Zhang Xiulan et al. 1984. Alteration and mineralization at the root zone of the Zhongteng porphyry copper (molybdenum) deposit in Fujian province. Mineral Deposits, 11~ 17(in Chinese).

Zhao Yiming, Zhang Dequan et al. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hingan mountains and its adjacent regions. Beijing: Seismological Press, 48~ 75 (in Chinese).

[1] 张德全, 崔艳合, 李大新等. 2001. 国土资源部"九五"资源与环境与环境科技攻关项目(95-02-005)研究报告.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net