文章编号:0258-7106 (2005) 05-0508-13

西藏冈底斯中东段矽卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析*

佘宏全[1],丰成友[1],张德全[1],潘桂棠[2],李光明[2]
(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;2 成都地质矿产研究所,四川 成都 610082)

摘 要 冈底斯中东段矽卡岩型铜-铅-锌多金属矿床分为甲马—林周、贡嘎—扎囊—泽当和拉萨—谢通门3个次级矿带或矿集区,区域上呈现出一定的矿化分带,以甲马—林周矿集区为主要分布区。岩矿石的硫、氢、氧、铅同位素特征表明成矿流体和矿质主要为岩浆热液来源。Re-Os同位素测年说明甲马—林周矿集区的矽卡岩成矿集中在中新世15～17 Ma的较窄时间段内,与该区斑岩型铜钼矿具有相似的岩浆-构造控矿条件和深部地球动力学背景,属同一成矿系列。而冈底斯南带矽卡岩矿床可能形成于印度—亚洲板块的主碰撞期。冈底斯中东段具有良好的矽卡岩型铜多金属矿成矿地质、地球化学条件,显示有良好的找矿前景。

关键词 地质学;矽卡岩矿床;斑岩矿床;铜-铅-锌多金属矿床;矿床特征;成矿作用;冈底斯;西藏
中图分类号:P618.41;P618.42;P618.43 **文献标识码**:A

冈底斯铜多金属成矿带位于西藏陆-陆碰撞造山带拉萨地块南缘冈底斯火山-岩浆弧中东段,平行于雅鲁藏布江缝合带展布。近年来,在冈底斯中东段斑岩型铜矿找矿取得重大突破,其成矿远景有望达到世界级铜矿带规模,斑岩铜矿形成于青藏高原陆-陆碰撞之后(中新世)地壳伸展环境(曲晓明等,2001;侯增谦等,2003a;Coleman et al.,1995,李光明等,2004;郑有业等,2002)。笔者注意到在冈底斯斑岩铜矿带中发育有一定规模的矽卡岩型铜-铅-锌多金属矿床,并对冈底斯中东段矽卡岩型铜多金属矿床的地质特征、成矿地质环境和成矿远景进行了重点分析。研究表明区内主要矽卡岩型铜多金属矿与斑岩铜矿成矿有相同的构造-岩浆活动背景,成矿时代相同,两者属于同一成矿系列,但在空间分布及产出的地质环境方面仍有显著差异,尤其是岩体外围的矽卡岩型铅、锌、银矿床,在对其的找矿方向和方法上显然不同于斑岩铜矿。因此,有必要将矽卡岩型矿床从冈底斯斑岩铜矿成矿系列中单独列出,进一步研究其控矿条件、成矿机理、找矿模型,这对于进一步扩大该地区找矿前景、指导找矿方向有重要意义。

1 地质背景及构造演化

本文研究范围为冈底斯中东段,西起谢通门,东至工布江达县西部,南以雅江缝合带为界,向北大致以米拉山—松多断裂为界,东西长约450 km,南北宽约90 km(图1)。研究区地层分属日喀则、隆格尔—南木林(拉萨—羊八井断裂以西)、拉萨—察隅(拉萨—羊八井断裂以东)3个分区(潘桂棠等,2004)。基底岩石为前寒武系念青唐古拉群(Pt_{2+3}),上覆地层从奥陶系至第四系均有发育。新生代以前,冈底斯属亚洲大陆南缘的一部分,奥陶系、石炭系、三叠系为浅海相碎屑沉积序列,主要分布于冈底斯北侧的拉萨地块北部地区,冈底斯带范围内分布较少。晚石炭世—早二叠世沉积为火山碎屑沉积岩,与拉萨地块北缘张裂作用和怒江洋盆扩张有关。与特提斯洋俯冲有关的火山活动开始于晚侏罗世—早白垩世,形成的火山岩分布于桑日—谢通门一带。中白垩世新特提斯洋向北持续俯冲,在其南侧形成日喀则弧前盆地,堆积了巨厚的日喀则复理石沉积。晚白垩世时期火山岩分布广泛,夹于海相碳酸盐和碎

* 本文得到973项目(2002CB412609)的资助
第一作者简介 佘宏全,男,1965生,副研究员,从事矿床学研究。
收稿日期 2004-12-27;改回日期 2005-05-12。李 岩编辑。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

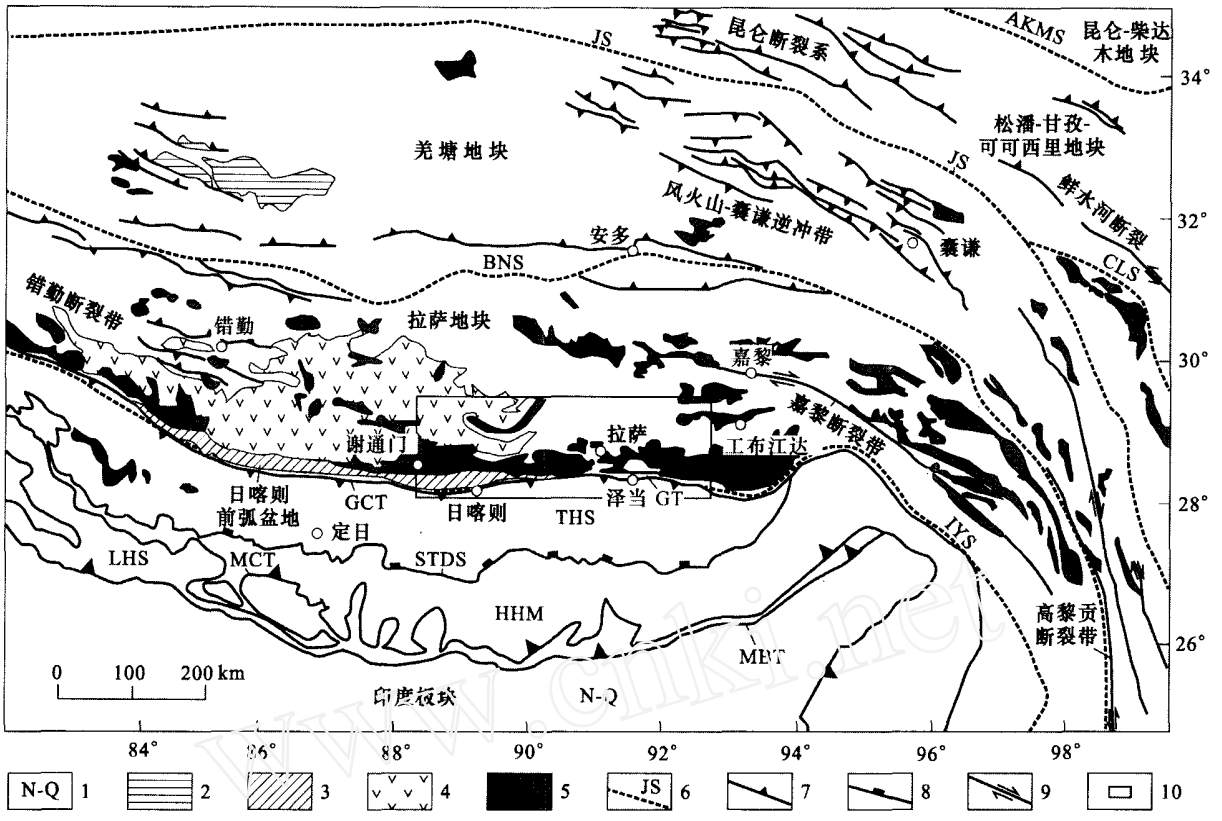


图 1　冈底斯中东段大地构造位置图(据潘桂棠等,2004 简化)

1—新近系-第四系;2—蓝闪片岩杂岩;3—弧前盆地沉积;4—第三纪火山岩;5—花岗岩;6—主要构造缝合带及构造单元分区界限;7—逆冲断裂带;8—拆离断层;9—走滑断裂带;10—图 2 所示范围。**主要构造缝合带**:AKMS—阿尼玛卿-昆仑-木孜塔格缝合带;JS—金沙江缝合带;CLS—理塘缝合带;BNS—班公-怒江缝合带;IYS—印度河-雅鲁藏布江缝合带。**主要断裂带**:GCT—大反向逆冲断裂系;GT—冈底斯逆冲断裂系;STDS—藏南拆离系;MCT—主中央逆冲断裂;MBT—主边界逆冲断裂。**构造单元**:THS—北喜马拉雅;HHM—高喜马拉雅;LHS—低喜马拉雅

Fig. 1　Geological map of Tibet plateau (modified after Pan et al; 2004)

1—Neogene-Quarternary; 2—Glaucophane shist complex; 3—Fore-arc basin sediments; 4—Tertiary volcanic rocks; 5—Granite; 6—Suture zone; 7—Thrust fault belt; 8—Detachment fault; 9—Strike-slip fault; 10—Study area shown in Fig. 2. **Suture zone:** AKMS—Animaqing-Kunlun-Muzhitage suture zone; JS—Jinshajiang suture zone; CLS—Litang suture zone; BNS—Bange-Nujiang suture zone; IYS—Indian River-Yaluzangbujiang suture zone. **Major fault zone:** GCT—Great reverse thrust fault; GT—Gangdese thrust fault; STDS—South Tibet detachment system; MCT—Major central thrust fault; MBT—Major boundary thrust fault. **Tectonic unit:** THS—Tethys Himalaya; HHM—High Himalaya; LHS—Low Himalaya

屑岩之中。中生代晚期拉萨—林周地区有海湾沉积伸入冈底斯内部。白垩纪末期,新特提斯洋消亡,印度与亚洲大陆碰撞,西藏碰撞造山带的格局基本形成。碰撞后第三系以火山岩和山间盆地磨拉石沉积为主。第三纪冈底斯岛弧上仍有大规模火山活动,古近纪林子宗群火山岩以陆相喷发为特征,呈角度不整合覆于晚白垩世以前的地质体之上,广泛分布在林周—狮泉河地区(丁林等,2003)。冈底斯地块内部以东西向推覆构造-逆冲断裂系和紧闭褶皱为主。20～14 Ma,冈底斯造山带乃至拉萨地体和整个西藏高原发生东西向伸展,产生近南北走向、横跨冈底斯山分布的裂谷系(Harrison et al., 1995; Coleman et al., 1995),并对早期东西向构造进行改造,冈底斯斑岩铜矿和矽卡岩铜多金属矿即形成于该时期。

冈底斯带最突出的特征为中-新生代火山-侵入岩发育,燕山晚期-喜马拉雅期的中酸性侵入岩构成规模巨大的花岗岩复式岩基(图 1),并伴有同源陆缘弧火山岩及为数众多的中酸性浅成岩墙、岩脉和岩株。火山-侵入岩形成于晚中生代-新生代特提斯洋

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

向北俯冲消减、印度板块与欧亚板块碰撞时期,岩浆活动时间集中在 120～20 Ma (Xu et al. ,1985; Harrison et al. ,2000),岩浆侵位高峰在 65～45 Ma 和 30～24 Ma 两个阶段(Yin et al. ,2000)。弧火山岩系主体为安山岩和安山质火山碎屑岩,属钙碱性系列,具安第斯陆缘弧特征(Pierce et al. , 1988)。

2 矽卡岩型矿床地质特征

2.1 矿床分布

据不完全统计,冈底斯中东段已发现矽卡岩型矿床(点)近 20 处,其中甲马铜-铅-锌多金属矿经详查达到大型规模,驱龙斑岩铜矿南部知不拉铜-钼-铅-锌多金属矿从近几年的开采情况看接近大型规模,其余为中小型矿床或矿化点。矿床分布西起谢通门县,东至工布江达西,南北方向大致为雅鲁藏布江缝合带和米拉山—松多断裂所限制,呈东西长约 450 km,南北宽约 90 km 的带状展布(图 2),构造位置上属于冈底斯岩浆弧中东段。矿带展布与冈底斯斑岩铜矿带分布范围大体一致,但南北方向分布宽度略大,且在花岗岩岩基分布区矽卡岩型矿床发育较少,有别于本区斑岩型铜(钼)矿床。

按照矿床空间分布大致可以划分为以下 3 个矿化带或矿集区:

Ⅰ. 拉萨—谢通门:分布于拉萨以西,主要矿床类型为矽卡岩型富铁矿,如恰工、巴弄。

Ⅱ. 甲马—林周矿化集中区:位于研究区东段北部,包括林周—墨竹工卡—工布江达,总体上与晚中生代拉萨弧间盆地范围大致相符。矿床类型有矽卡岩型铜多金属矿、矽卡岩型铅-锌矿、斑岩-矽卡岩复合型多金属矿和热液型铅-锌-银矿。典型矿床有甲马铜多金属矿、知不拉铜多金属矿、勒青拉铅-锌矿,是本区最重要的矽卡岩多金属矿分布区。

Ⅲ. 贡嘎—扎囊—泽当矿带:分布于冈底斯南部,沿雅鲁藏布江沿岸呈东西向展布,主要为矽卡岩型铜(金)矿,典型矿床如克鲁铜-金矿、多吉扎铜多金属矿、冲木达铜矿。

2.2 矿化类型及矿化分带特征

矽卡岩型矿床以铜、铅、锌、铁矿化为主,常伴有钼、金、银等有益组分,矿化组合除单一铜、铅-锌、铁矿,还有铁-铜、铜-铅-锌-(金-银)、铜-钼-铅-锌、铜-金等多种形式(表 1),以铜-铅-锌多金属矿组合为主要类型。两个大型矿床(甲马和知不拉)均为铜-铅-锌组合,伴生钼、金矿化。本文主要探讨矽卡岩型铜、铅、锌多金属矿床特征。

区域上,矿化具有明显的分带特征,西段(拉萨以西)以矽卡岩型铁矿为主(如恰工、甲龙),东部以矽卡岩铜-钼-铅-锌金矿化为主(甲马、知不拉、克

表 1 冈底斯主要矽卡岩型铜多金属矿床特征简表

Table 1 Characteristics of major skarn copper polymetallic deposits in Gangdese

矿床	含矿围岩	成矿岩体	控矿构造	主要有益元素及伴生元素 w_B/ %	矿化规模及前景
克鲁②	比马组(J_3K_1b)	石英二长闪长岩	NWW 向岩体接触带	Cu 1～16, 平均 3.2, Au 0.1～12.6 g/t	有望达到大型规模
冲木达①	比马组(J_3K_1b)	黑云角闪二长花岗岩、花岗闪长岩	岩体接触带及层间构造带	Cu 3～7, 伴有 Mo	矿点,有望达到中型规模
多吉扎②	麻木下组(J_3K_1m)	石英二长岩	顺层东西向构造破碎带	Cu 为主,伴生 Pb,拣块样平均 Cu 1.1～1.3	
勒青拉①	罗巴堆组(P_2l)	无岩体出露,见少量花岗斑岩脉	层间滑动构造带	Zn 为主,伴生 Pb, Cu, Pb + Zn 1.53～49.88,平均 11.63	中型
帮浦③	洛巴堆组(P_2l)和典中组(E_2d)	二长花岗斑岩	岩体接触带及层间构造带	Cu 0.13～0.23, Mo 0.05, Pb 0.82～60.2, Zn 7.66～44.16	小型
甲马④	多底沟组(J_3d)林布宗组(J_3K_1l)	见花岗斑岩脉和闪长岩脉	N WW 向褶皱、层间构造带	Cu、Pb、Zn 为主,伴生 Mo、Au, Cu、Pb 平均 0.58～4.07、1.08～7	大型
知不拉①	叶巴组(J_2y)	未见侵入岩,距驱龙斑岩体 2.4 km	灰岩与火山碎屑岩的层间滑动带、破碎带	Cu 为主, Pb、Zn 共生,伴生 Mo、Au、Ag,平均 Cu 1.7～2.3, Pb 1.1, Zn 0.3, Mo 0.015, Ag 8.8 g/t	大型

资料来源:①李光明等,2003❶; ②福建地调院,2004❷; ③孟祥金等,2003; ④杜光树等,1998。

❶ 李光明, 王高明, 芮宗瑶, 等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

❷ 福建地质调查院. 2004. 2004 年西藏山南地区铜多金属资源评价. 内部资料.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

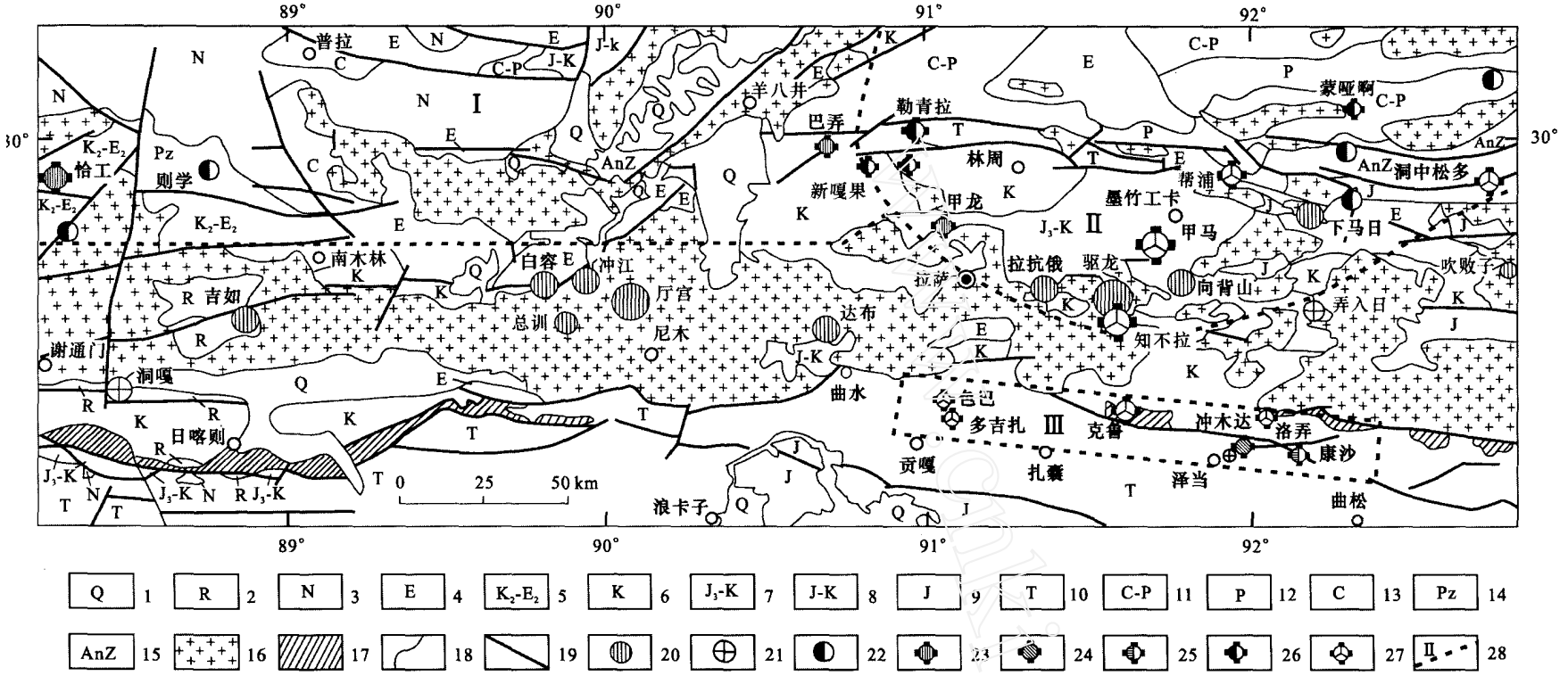


图 2 西藏冈底斯东段地质及矽卡岩矿床分布图(地质底图据郑有业等,2002,略有修改)

1—第四系;2—第三系(未分);3—新近系;4—古近系;5—上白垩统-始新统;6—白垩系;7—上侏罗统-白垩系;8—侏罗系-白垩系(未分);9—侏罗系;10—三叠系;11—石炭系-二叠系;12—二叠系;13—石炭系;14—古生界;15—前震旦系;16—燕山期-喜马拉雅期花岗岩类侵入岩;17—蛇绿混杂岩;18—地质界线;19—断层;20—斑岩型铜矿;21—热液型金矿;22—热液型铅锌矿;23—夕卡岩型铁矿;24—夕卡岩型铜矿;25—夕卡岩型铁铜矿;26—夕卡岩型铅-锌(银)多金属矿;27—夕卡岩型铜-金(钼-铅-锌)多金属矿;28—次级矿带分区界线及编号。Ⅰ—拉萨-谢通门矿带;Ⅱ—甲马-林周矿化集中区;Ⅲ—贡嘎-扎囊-泽当矿带

Fig. 2 Geological map showing distribution of skarn deposits in central eastern Gandese

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Neogene; 4—Paleogene; 5—Eocene-Upper Cretaceous; 6—Cretaceous; 7—Upper Jurassic-Cretaceous; 8—Jurassic-Cretaceous; 9—Jurassic; 10—Triassic; 11—Carboniferous-Permian; 12—Permian; 13—Carboniferous; 14—Palaeozoic; 15—Pre-Sinian; 16—Yanshanian-Himalayan granitic intrusions; 17—Ophiolitic mélange; 18—Geological boundary; 19—Fault; 20—Porphyry copper deposit; 21—Hydrothermal gold deposit; 22—Hydrothermal lead-zinc deposit; 23—Skarn iron deposit; 24—Skarn copper deposit; 25—Skarn iron-copper deposit; 26—Skarn lead-zinc-silver polymetallic deposit; 27—Skarn copper-gold-(molybdenum-lead-zinc) deposit; 28—Boundary of secondary ore belts and its serial number; Ⅰ—Lhasa-Xietongmen ore belt; Ⅱ—Jiama-Linzhou ore belt; Ⅲ—Gongga-Zhanang-Zedang ore belt

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

鲁),南部和中部(雅鲁藏布江-墨竹工卡)主要为铜-金和铜-钼-铅-锌矿化,北部以铅-锌矿化为主(如勒青拉、蒙哑啊),显示东铜(多金属)西铁、南铜(多金属)北铅-锌的分带特征。

在矿床内部或矿化集中区范围内,矽卡岩矿床与斑岩铜矿有密切的时空分布联系,并有显著的矿床类型、矿化类型及蚀变分带现象。岩体内部或中心部位为斑岩型铜-钼矿(如驱龙、厅宫斑岩铜矿,发育钾化和钾硅化带),岩体接触带内为斑岩型铜-钼矿化(如厅宫岩体边部铜矿体,发育硅化、绢英岩化带)或矽卡岩型铜-钼-铅-锌矿化(如克鲁铜-金矿,内矽卡岩化带),接触带向外距岩体较近位置可见斑岩型铜矿化(发育绢英岩化、青磐岩化、泥化)或矽卡岩型(铜)铅-锌矿化(如知不拉矽卡岩铜矿、甲马铜矿,发育外带矽卡岩或青盘岩化带),距接触带较远的外围地带出现矽卡岩型(如勒青拉铅锌矿)或热液型铅锌银矿化(如蒙哑啊铅-锌矿),远离岩体的外围地带为浅成低温热液型金-银矿化带(如弄巴日金矿,发育绢云母化、硅化、泥化蚀变,构成完整的斑岩-矽卡岩-低温热液铜-钼-铅-锌-银多金属成矿系列。

2.3 矿体特征

矽卡岩型矿床的矿体主要产于岩体外围碳酸盐岩地层内部层间破碎带或碳酸盐岩与碎屑岩(或火山碎屑岩)之间的滑动破碎带中,部分矿体沿岩体与碳酸盐岩的接触带发育,少数沿裂隙发育。矿体一般呈层状、似层状,少数呈脉状、囊状、串珠状。矿化带延长一般几百米至 1 km,少数大于 1 km。一个矿区往往发育多个矿体,单个矿体长数十米至 300 m,矿体厚数米至数十米(李光明等,2003❶;孟祥金等,2003)。

矿石类型以矽卡岩型为主,少量蚀变岩型和斑岩型。含矿岩石一般为石榴石矽卡岩、透辉石矽卡岩、绿帘石矽卡岩、矽卡岩化大理岩、蚀变砂页岩等。矿石构造有条带状、块状、浸染状和细脉浸染状等。矿石矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、自然金、辉银矿等。脉石矿物为一套富钙矽卡岩矿物组合,主要有石榴石、透辉石、绿帘石、硅灰石、透闪石、钙质斜长石、石英、方解石等。石榴石一通常属钙铝榴石-钙铁榴石系列,以钙铁榴石为主($Gr_{1-59}An_{41-99}$,杜光树等,1998),辉石为透辉石-钙铁辉石系列。

与矿化有关的蚀变除矽卡岩化外,常伴有硅化、绢云母化、绢英岩化、绿泥石化、泥化、角岩化、大理岩化等热液蚀变。矽卡岩是最重要的蚀变岩石,也是主要的容矿岩石。本区矽卡岩以外带矽卡岩为主,由灰岩、白云质灰岩、泥质灰岩、钙质碎屑岩经高温热液交代形成,一般发育铜、铅、锌矿化,伴生钼、金;少数为内带矽卡岩,为花岗质岩体边部岩石交代形成,以铜、钼矿化为主。

近矽卡岩或花岗岩体的碳酸盐岩围岩一般发生褪色蚀变、重结晶作用(即大理岩化)或不同程度的矽卡岩化,形成条带状大理岩或条带状矽卡岩化大理岩,并有不同程度的铜矿化,蚀变条带主要由石榴石、透辉石或绿帘石、透闪石等矽卡岩矿物组成,如甲马、冲木达、知不拉矽卡岩矿体边部均发育有条带状大理岩或矽卡岩化大理岩(矿石)。近矽卡岩(或矽卡岩矿体)的泥质岩或泥质砂岩一般发育绢云母化(或绢英岩化)蚀变,晚期有泥化叠加,伴有细脉状、细脉浸染状铜(钼)矿化。如甲马矿床 PD109 主矿体下部林布宗组砂板岩发育强烈的绢英岩化蚀变,伴有细脉浸染状铜(钼)矿化,构成厚达 63 m 的低品位铜矿体。

矽卡岩矿石品位一般较富,Cu 及 Pb + Zn 平均品位分别为 0.5 %～5 %和 1 %～10 %,块状富矿石 Cu 及 Pb + Zn 品位分别可以达到 10 %和 60 %以上。Mo、Au、Ag 一般作为伴生元素,部分作为共生组分存在。

3 矽卡岩型矿床的主要控矿条件

3.1 含矿地层

矽卡岩型矿床的成矿受地层、构造、含矿岩体等多种因素控制。

冈底斯矽卡岩矿床的含矿地层主要有洛巴堆组(P_1l)浅海相碳酸盐岩(如勒青拉铅-锌矿、帮浦铜-铅-锌矿)、叶巴组($J_{2+3}y$)海相火山岩-火山碎屑岩-碳酸盐岩(如知不拉矽卡岩型铜-钼-铅-锌多金属矿)、比马组(J_3-K_1b)海相火山碎屑岩夹大理岩(如克鲁铜-金矿、冲木达铜-钼矿)、麻木下组(J_3-K_1m)海相碳酸盐岩夹蚀变安山岩(如多吉扎铜矿)、多底沟组(J_3d)浅海相灰岩、泥灰岩夹火山岩(如甲马铜-铅-锌多金属矿)等,总体上以侏罗系-白垩系海相碳酸盐

❶ 李光明,王高明,芮宗瑶,等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩层或含有碳酸盐岩层的海相火山-碎屑岩地层为主。有利于矽卡岩形成的岩石主要为灰岩、生物灰岩、泥灰岩、富钙质泥岩、火山凝灰岩等,碳酸盐岩地层中的 CaO、CO_2 等成分加入对矽卡岩的形成有重要影响。

3.2　控矿岩体

空间上,部分矽卡岩矿床与花岗质侵入体关系十分密切,含矿岩体规模小,矿体即产于小花岗岩株与围岩的接触带内或附近(如克鲁铜金矿、帮浦铜-铅-锌矿、冲木达铜-钼矿),部分矽卡岩矿区未见成规模的花岗岩体发育,仅见到数量不等的与成矿同期(或成矿后)的花岗质岩脉(甲马)或岩床(勒青拉),但矿区外围 1～2 km 范围内一般有同时期的花岗岩发育(知不拉),流体包裹体、稳定同位素特征(见下述)也显示成矿流体来源主要与岩浆活动有关,表明花岗质岩浆活动对矽卡岩成矿有重要的控制作用。

与成矿有关的岩体主要为新生代石英二长花岗岩、石英二长岩、二长花岗岩(斑岩)、黑云角闪二长花岗岩等。控矿岩石的 SiO_2 含量(w_B,下同)在 64 %～78 %, K_2O 0.5 %～6.4 %, Na_2O 0.2 %～5.2 %, $K_2O + Na_2O$ (4 %～8.5 %) 含量偏高,一般 $K_2O > Na_2O$(杜光树等,1998;李光明等,2003❶;孟祥金等,2003),属钙碱性-高钾钙碱性系列。

3.3　控矿构造

矽卡岩矿床的控矿构造有近 EW 向、NNW 向、NW 向、NE 向断裂和近 EW 向褶皱构造,而以近 EW 向构造为主。容矿构造主要为岩体外围碳酸盐岩地层(灰岩、泥灰岩、钙质泥岩)的层间破碎带或碳酸盐岩地层与火山碎屑岩、碎屑岩之间的层间滑动带,其次为岩体与碳酸盐岩地层的接触带,构造方向以近 EW 向为主。矿体一般呈层状、似层状,显示有一定的"层控"特点(表 1)。如甲马铜多金属矿即产于 NWW 向褶皱北翼的层间破碎带内,而岩脉发育主要受 NE 向构造控制;克鲁铜-金矿产于二长花岗斑岩与大理岩接触带(NWW 向)内;帮浦铜-铅-锌矿体产于岩体接触带及岩体外围顺层构造破碎带中。

近 EW 向控矿构造体系的形成与印度-欧亚板块的碰撞有关。碰撞早期,冈底斯以陆内挤压为主,引起区内大规模的地壳增厚与缩短,形成了以 EW 向脆韧性剪切构造和紧密褶皱构造为主,派生有 NE、NW 向和 NEE、NWW 向多组断裂构造系统,为幔源或壳幔混合源的岩浆侵入和定位创造了条件。甲马—林周矿化集中区同位素测年结果表明,本区矽卡岩-斑岩成矿作用发生于西藏碰撞造山带后期侧向(EW 向)伸展阶段(13～20 Ma,侯增谦等,2003b)。潘桂棠等(2004)最新研究表明冈底斯地区该时期除 NS 向伸展外,EW 向伸展滑动普遍存在,伸展作用形成的 NS 向构造系统和 EW 向伸展滑动为含矿斑岩(控矿岩体)就位和矿化定位提供了构造条件和空间,为冈底斯矽卡岩和斑岩铜矿的形成提供了良好的地球动力学背景条件。

4　矽卡岩矿床成矿作用特点

4.1　成矿阶段

矽卡岩成矿具有明显的多期、多阶段活动特点,根据各个矿床的成矿演化特点,区域上矽卡岩成矿可以划分为 4 期 6 个成矿阶段。

(1) 干矽卡岩期:是矽卡岩体的主要形成时期。

Ⅰ阶段—干矽卡岩阶段,形成石榴石、透辉石等矽卡岩。

Ⅱ阶段—磁铁矿阶段,伴有弱的 Cu、Mo 矿化,一般不能构成工业矿体。

(2) 湿矽卡岩期(Ⅲ阶段):为矽卡岩退化蚀变阶段,表现为绿帘石、硅灰石、阳起石、绿泥石、石英等交代早期形成的石榴石、透辉石等矿物。该成矿期伴有大量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物沉淀,硫化物呈浸染状、脉状或团块状产于早期矽卡岩矿物的矿物间隙、裂隙中,或与绿帘石等矽卡岩矿物共生,以浸染状或稠密浸染状矿石为主,局部富集形成块状硫化物富矿包,是 Cu、Pb、Zn 矿化的主要成矿阶段之一,伴有 Mo、Au、Ag 矿化。

(3) 石英-硫化物期:形成石英-硫化物脉(Ⅳ阶段)和(石英)-方解石-硫化物脉(Ⅴ阶段),一般含方解石硫化物脉晚于石英-硫化物脉(如冲木达铜矿)。硫化物以黄铜矿、方铅矿、闪锌矿为主,与石英、方解石等共生,呈细脉状或网脉状充填于矽卡岩体或矽卡岩体外围岩石的裂隙或构造带中。

(4) 表生氧化期(Ⅵ阶段):形成孔雀石、铜蓝、褐铁矿、黄钾铁钒、铅矾等氧化矿物,是重要的野外找矿标志之一。

❶ 李光明, 王高明, 芮宗瑶, 等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2 流体包裹体特征

矽卡岩矿石中的石英、绿帘石、方解石内含有丰富的流体包裹体,包裹体类型一般可以分为富气相包裹体、富液相包裹体和含子晶多相包裹体 3 种,子晶主要有石盐、钾石盐、黄铜矿等(杨志明等,2005;李光明等,2003❶)。流体包裹体特征与斑岩铜矿有一定的相似性,但相对于斑岩铜矿,矽卡岩矿床中的富气相包裹体不是非常发育。要说明的是,由于干矽卡岩阶段的石榴石、透辉石形成温度较高,未获得石榴石等干矽卡岩矿物的均一温度数据,影响了数据的完整性。但一般均认为该阶段石榴石、透辉石的形成温度在 450 ℃以上,适宜形成温度在 450～650 ℃(Baker et al., 2004)。笔者对克鲁、知不拉、甲马 3 个矿床的石榴石原生流体包裹体进行了均一温度测量,加热至 500～590 ℃时均未见均一,也印证了这一观点。

甲马矽卡岩铜矿石英、硅灰石、方解石、绿帘石等矿物,以富液相流体包裹体为主,少部分含有石盐、钾石盐子矿物,均一温度分为 3 组:80～155 ℃(平均 115 ℃,次生包裹体)、160～240 ℃(平均 180 ℃)、260～330 ℃(平均 310 ℃),富液相流体包裹体和含子晶流体包裹体的盐度 $w(NaCl)_{eq}$为 27.5 %～32 %(杜光树等,1998)。其中 160～240 ℃、260～330 ℃与主要硫化物沉淀时期相对应,是矿质沉淀的主要温度范围。

知不拉矽卡岩矿床中的石英、方解石(主要为矽卡岩退化蚀变阶段)以富液相气液包裹体为主,有少量多相子晶包裹体,气相充填度平均 21 %,均一温度集中在 220～380 ℃,平均 292 ℃。该温度范围与硫化物的主要沉淀阶段相对应,说明成矿主要发生在 220～380 ℃温度区间。在均一温度-盐度图(图 3b)上,包裹体明显分为两组,一组为含子晶多相包裹体,子晶溶解温度在 260～345 ℃,高于或低于气相均一温度,盐度较高〔$w(NaCl)_{eq}$ 35 %～41 %〕;另一组为富液相包裹体,盐度低〔$w(NaCl)_{eq}$ 1 %～7.3 %〕,均一温度在 220～380 ℃。流体包裹体特征与斑岩铜矿相似,如驱龙斑岩铜矿包裹体在均一温度-盐度图(图 3a)上,也明显分为低盐度〔$w(NaCl)_{eq}$ 0.5 %～12 %〕和高盐度〔$w(NaCl)_{eq}$ 30 %～54 %〕两组。同一温度范围内高盐度包裹体和低盐度富气相包裹体共存表明流体发生过沸腾作用(或流体不混溶作用)。

笔者对勒青拉矽卡岩型铅-锌矿中绿帘石矽卡岩内的石英流体包裹体研究表明其特征与甲马类似,发育富气相和富液相包裹体,少数为含有子晶的多相包裹体,均一温度范围在 184～423 ℃(未获得盐度数据)。总体上,获得的流体包裹体均一测温为矽卡岩退化蚀变阶段和石英-碳酸盐-硫化物期的矿物流体包裹体的形成温度,而该时期为铜-铅-锌-硫化物的最主要沉淀富集时期,因此上述均一温度基本

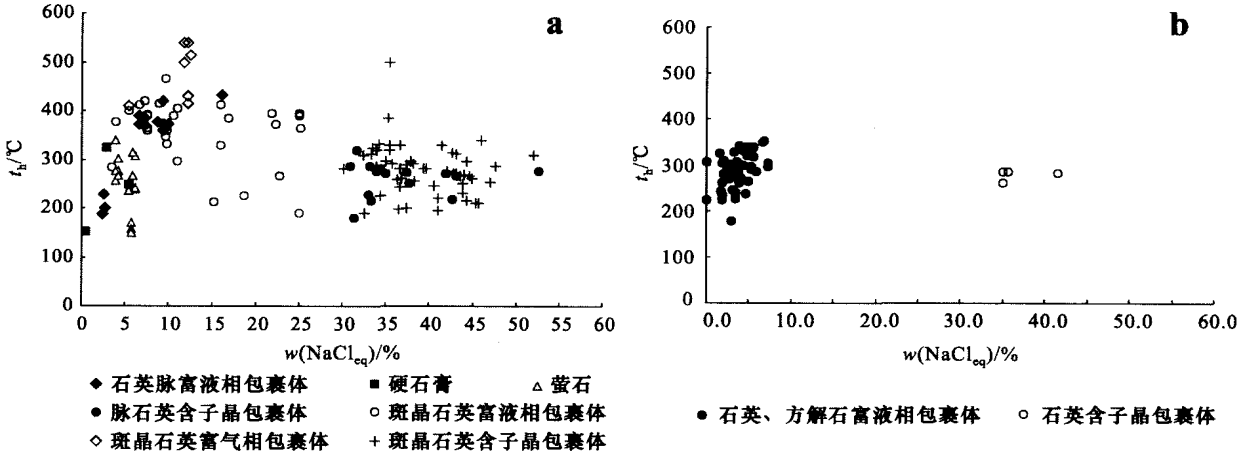


图 3 驱龙斑岩铜矿(a)和知不拉矽卡岩铜矿(b)流体包裹体均一温度-盐度图(据李光明等,2003❶;杨志明等,2005 资料整理)

Fig. 3 Homogenization-salinity diagram of fluid inclusions in porphyry copper deposits(a) and skarn copper deposits(b) of Gangdese (from the data provided by Li et al., 2003 ? and Yang et al., 2005)

❶ 李光明, 王高明, 芮宗瑶, 等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上可以反映矽卡岩铜矿主要矿质沉淀时期的环境温度,主要温度区间在 160～380 ℃(甲马在 160～240 ℃和 260～330 ℃,知不拉矽卡岩在 220～380 ℃,勒青拉在 184～423 ℃)。而干矽卡岩的形成温度在 450 ℃以上,矽卡岩矿床的形成经历了高温→低温的热液演化。

根据盐度和均一温度(NaCl-H_2O 体系)计算的矽卡岩铜矿成矿压力最大值甲马铜矿为(60～65) × 10^5 Pa(杜光树等,1998),知不拉矽卡岩在 100 ×10^5 Pa 左右(杨志明等,2005)。矽卡岩的主要控矿构造为层间滑动破碎带和岩体接触带,是相对开放系统,且成矿时期主要处于造山后伸展阶段,成矿深度应按照水柱压力估计,相当于 0.6～1.0 km 深度,为浅成环境,与斑岩铜矿相似。

4.3　稳定同位素特征

矽卡岩铜矿的稳定同位素(氢、氧、硫、铅)特征见表 2、3、4,总体上与冈底斯斑岩铜矿的同位素组成非常一致,显示两者具有相同矿质来源。矽卡岩中石英的 $\delta^{18}O$ 和 δD 组成范围分别为 1.8 ‰～11.5 ‰和 - 75 ‰～ - 91 ‰,在反映流体来源的氢、氧同位素图解上(图 4),落入初始岩浆水与天水之间,矽卡岩与斑岩的流体组成没有显著差异,显示两者有共同的流体来源和流体演化历史。氢氧同位素组成向天水偏移,可能是大气水参与和岩浆早期脱气作用共同作用的结果(Shinohara et al., 1997; Baker et al., 2003)。根据水-岩相互作用模拟计算的结果(孟祥金,2004),大气水所占比例较低,成矿流体主要由岩

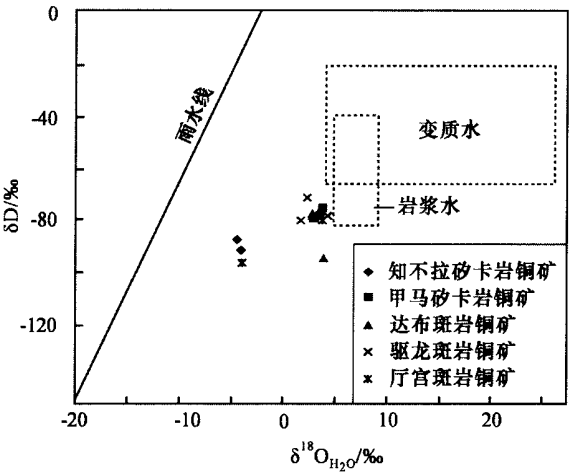


图 4　冈底斯矽卡岩铜多金属矿和斑岩铜矿氢、氧同位素组成图解

Fig. 4　$\delta^{18}O_{矿物}$-δD diagram of skarn copper deposits in Gandese

表 2　冈底斯矽卡岩铜多金属矿和斑岩铜矿石英氢、氧同位素组成

Table 2　Hydrogen and oxygen isotopic composition of quartz from the skarn and porphyry copper deposits in Gandese

采样矿区及样品号	岩　性	$\delta D_{V\text{-}SMOW}$/ ‰	$\delta O_{V\text{-}SMOW}$/ ‰	δO_{H_2O}/ ‰	计算温度/ ℃
甲马矽卡岩铜多金属矿					
JM-105	含矿石英脉	- 75	11.5	3.85	280
JM-114	矽卡岩化大理岩	- 78	11.2	3.55	280
知不拉矽卡岩铜多金属矿					
QL-326	含矿石英碳酸盐脉	- 87	1.8	- 4.41	320
QL-315	白色石英-方解石脉	- 91	2.5	- 4.04	310
QL-218	白色石英脉	- 79	10.5	3.61	300
QL-212	石榴石绿帘石矽卡岩	- 80	8.6	1.71	300
驱龙斑岩铜矿					
QL-409	石英脉	- 71	9.2	2.31	300
QL-419	石英脉	- 78	11.2	4.31	300
厅宫斑岩铜矿					
Tg-1201	含石英脉斑岩矿石	- 96	2.3	- 3.91	320
Tg-212	辉钼矿黄铜矿化黑云母花岗岩	- 80	10.0	3.79	320
达布斑岩铜矿					
DB-04	石英脉	- 94	10.8	3.91	300
DB-09	含辉钼矿石英脉	- 78	9.7	2.81	300
DB-12	含辉钼矿石英脉	- 79	9.9	3.01	300
DB-108	含辉钼矿石英脉	- 77	9.7	2.81	300
DB-109	含辉钼矿石英脉	- 76	10.5	3.61	300

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。氢同位素测试仪器型号:MAT251 EM 质谱仪;分析方法:爆裂法取水,锌法制氢;分析精度: ±2 ‰。氧同位素测试仪器型号:MAT251EM 质谱仪;分析方法:BrF5 法;分析精度: ±2 ‰。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 冈底斯矽卡岩铜多金属矿和斑岩硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotopic composition of sulfides from skarn and porphyry copper deposits in Gandese

采样地点及样号	矿 物	$\delta^{34}S_{V\text{-}CDT}$/ ‰	采样地点及样号	矿 物	$\delta^{34}S_{V\text{-}CDT}$/ ‰
甲马矽卡岩铜多金属矿			驱龙斑岩铜矿		
JM106	方铅矿	- 2.2	QZK2-10	黄铁矿	0.1
JM108	方铅矿	- 1.6	QZK2-10	黄铜矿	- 1.4
JM108	黄铜矿	- 0.1	QZK2-17	黄铜矿	- 1.2
JM111	方铅矿	- 2.1	QZK1-9	黄铁矿	- 0.3
JM111	黄铜矿	- 0.4	QL407	黄铁矿	1.1
JM114	黄铜矿	- 0.3	QL005	黄铁矿	0.8
JM114	黝铜矿	- 1.5	厅宫斑岩铜矿		
JM126-3	辉钼矿	- 1.6	TG209	黄铁矿	2.1
知不拉矽卡岩铜多金属矿			TG234	黄铜矿	0.1
QL326	闪锌矿	- 2.5	TG107	黄铁矿	- 1.7
QL326	方铅矿	- 3.9	TG240	黄铁矿	0.9
QL318	黄铜矿	- 3.7	TG218	黄铁矿	0.7
QL315	黄铁矿	- 0.1	TG228	黄铜矿	0.7
QL212	黄铜矿	- 2.8	达布斑岩铜矿		
驱龙斑岩铜矿			DB13	黄铜矿	1.5
QZK2-20	黄铁矿	0.3	DB109	辉钼矿	2.0
QZK2-20	黄铜矿	- 0.3	DB111	黄铜矿	1.9

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。测试仪器型号:MAT251 E 质谱仪。分析方法:硫化物矿样以 Cu_2O 作氧化剂制样。分析精度: ±2 ‰。

表 4 冈底斯主要矽卡岩铜多金属矿床与斑岩型矿床同位素特征对比

Table 4 A comparison of stable isotopic composition between skarn copper deposits and porphyry copper deposits in Gandese

矿床	矿床类型	矿 化	$\delta^{18}O_{石英}$/ ‰	δD/ ‰	$\delta^{34}S$/ ‰	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$	Re-Os 法 t_i/ Ma
甲马	矽卡岩型	Cu-Pb-Zn-Mo-(Au)	11.2～11.5	- 75～- 78	- 2.2～- 0.1	18.588～18.602	15.593～15.610	38.830～38.883	15.70 ±0.36
知不拉	矽卡岩型	Cu-Pb-Zn-(Mo-Au-Ag)	1.8～2.5	- 87～- 91	- 3.9～- 0.1	18.422～18.495	15.559～15.625	38.479～38.744	
帮浦	斑岩-矽卡岩型	Cu-Pb-Zn-(Mo)							15.32 ±0.79①
驱龙	斑岩型	Cu-(Mo)	8.6～11.2	- 71～- 80	- 1.4～1.1	18.421～18.488	15.557～15.588	38.469～38.673	15.99③,16.41②
厅宫	斑岩型	Cu	2.3～10	- 80～- 96	- 2.1～1.7	18.397～18.473	15.583～15.603	38.583～38.656	14.96③
达布	斑岩型	Cu-Mo	9.7～0.8	- 76～- 94	1.5～2.0	18.431～18.531	15.567～15.582	38.502～38.707	14.67③, 14.32 ±0.46③

数据来源: ①孟祥金等,2004; ②侯增谦,2003b; ③李光明等❶,2003; 其余为本文。

浆水组成。矽卡岩矿床硫化物单矿物的硫同位素组成稳定,$\delta^{34}S$ 集中在 - 3.9‰～ - 0.1‰,与斑岩铜矿硫化物单矿物的 $\delta^{34}S$ 值(- 2.8‰～2.4‰)相同(李光明等, 2003❶),显示为深部岩浆来源。矽卡岩和斑岩矿石单矿物铅同位素组成非常稳定(表 4),铅同位素比值略高于现代铅,在 Z-D 模式铅同位素演化图上位于造山带演化线延长线上,与其形成于印度与亚洲大陆主碰撞带构造环境一致。若以成矿年龄 15.5 Ma 作为普通铅的分离年龄,计算的 μ 值在 8.85～9.03,平均 8.91,略高于正常地幔值,推测来源于高 μ 值的下地壳或上地幔。

4.4 成矿时代

本次工作对甲马铜多金属矿辉钼矿样品采用 Re-Os等时线法进行测定,结果见表5,6个样品的模

表 5 西藏甲马铜矿辉钼矿 Re、Os 含量及模式年龄

Table 5 Re-Os composition of molybdenite and model age for the Jiama copper deposit in Tibet

编号	Re/ (μg g^{-1})	^{187}Re/ (μg g^{-1})	^{187}Os/ (ng g^{-1})	模式年龄/ Ma
JM126-1	456.0(±4.2)	286.6(±2.7)	75.0(±0.6)	15.70(±0.24)
JM126-2	433.3(±4.4)	272.3(±2.8)	70.6(±0.7)	15.56(±0.26)
JM126-3	947.9(±9.6)	595.8(±6.1)	155.4(±1.3)	15.66(±0.25)
JM126-4	483.9(±4.9)	304.2(±3.1)	78.9(±0.7)	15.57(±0.25)
JM126-6	551.2(±5.3)	346.5(±3.3)	90.3(±0.9)	15.64(±0.26)
JM126-7	517.1(±5.1)	325.0(±3.2)	84.1(±0.6)	15.53(±0.24)

测试人:国家地质实验中心屈文俊,曾法刚。括号内数字为误差。采样位置:甲马铜多金属矿 PD109 坑道。λ(^{187}Re 衰变常数) = 1.666 ×10^{-11} a^{-1}。测试仪器:VG PQ EXCELL ICP-MS。测试方法:Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱测定。Re、Os 化学分离步骤和质谱测定参见杜安道等(2001)。

❶ 李光明, 王高明, 芮宗瑶, 等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

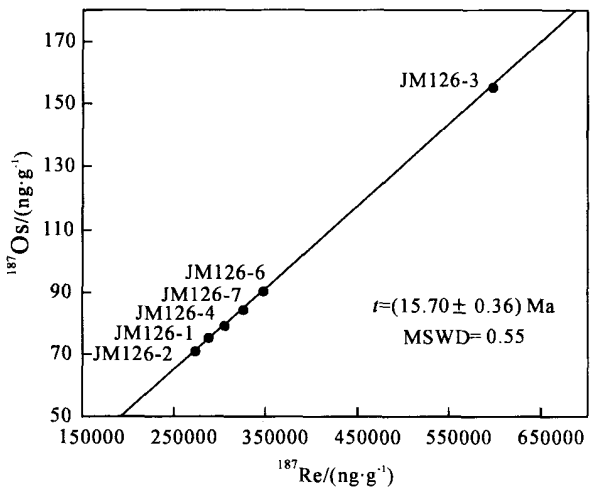


图 5　西藏甲马铜矿 Re-Os 测年等时线

Fig. 5　Re-Os dating isochron curve of the Jiama copper deposit in Tibet

式年龄在 15.53～15.70 Ma,差异不大。且各样品点数据可以构成一条较好的等时线,等时线年龄为(15.70 ±0.36) Ma(图 5),与模式年龄非常接近,说明测试结果是可靠的,可以代表辉钼矿的成矿年龄。甲马—林周矿化集中区的帮浦斑岩-矽卡岩型矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄为(15.32 ±0.79) Ma(孟祥金等,2003)。总体上,甲马—林周矿化集中区的矽卡岩铜多金属矿的成矿年龄与冈底斯斑岩铜矿的 Re-Os 等时线年龄结果非常相近(14.3～16.4 Ma)(孟祥金,2004;侯增谦等,2003b),从时间上说明矽卡岩矿床与斑岩铜矿共同形成于印度与亚洲大陆碰撞之后的地壳伸展环境。暗示该矿集区矽卡岩铜多金属成矿与碰撞后伸展导致的深部物质部分熔融和流体汇聚有关。

贡嘎—扎囊—泽当矿带缺乏准确的成矿年龄。该矿带内矽卡岩型矿床的控矿岩体规模一般大于甲马—林周矿集区的岩体规模,且矿化组合和控矿构造特点也有一定差异,两者可能具有不同的成矿地质背景和成矿时代。如冲木达矽卡岩铜矿边部控矿斑状二长花岗岩的 $^{39}Ar/^{40}Ar$ 年龄为 57.8 Ma❶,早于甲马—林周矿化集中区矽卡岩矿床的成矿年龄,说明该带矽卡岩矿床可能形成于印度—亚洲板块的主碰撞期。

4.5　矿床成因

对本区矽卡岩矿床的成因存在较大争议,一般认为属与岩浆作用有关的高温热液交代型矿床(冯孝良等,2001),杜光树等(1998)认为甲马铜多金属矿床为海底喷流成因,部分学者则将其统一划分为斑岩铜矿的一部分(孟祥金等,2004)。

根据本区矽卡岩矿床产出的地质环境、矿床与控矿岩体的密切时空关系、同位素特征、流体包裹体研究成果,笔者认为冈底斯矽卡岩矿床为与中新世花岗质岩浆活动有关的高温岩浆热液交代型矿床,成矿流体和矿质主要来源于岩浆,国际上有关矽卡岩矿床成因的最新研究成果也证明了这一观点(Baker et al., 2004)。黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物主要形成于矽卡岩退化蚀变阶段。成矿时期,区域构造伸展有助于成矿压力从静岩压力向静水压力转变,压力的突然下降容易引起成矿流体的沸腾,与温度下降一起共同促进了矿质的沉淀富集(Meinert et al., 2003),适宜成矿温度范围在 160～380 ℃区间。成矿深度属浅成。

5　成矿远景分析

矽卡岩型矿床是铜、铅、锌、金、锡等金属矿产的重要来源,该类型矿床的储量约占中国铜矿储量的 31 %(李朝阳等,2000),金矿的 15 %(陈衍景等,1996)。中国矽卡岩型矿床分布较广,在长江中下游、广东、云南和山东几个省份分布较多,尤以长江中下游地区燕山期矽卡岩型铜-铁-金矿床最为发育,该地区以矽卡岩型和斑岩-矽卡岩复合型矿床集中发育为特征,累计探明铜储量在 1 200 万吨以上。国外也有大量矽卡岩型铜-铅-锌矿分布,以环太平洋带最发育,其次为特提斯带和古亚洲成矿域(中亚—蒙古),环太平洋带矽卡岩型矿床产于活动大陆边缘岩浆弧环境,成矿时代为中-新生代。

与斑岩铜矿相比,矽卡岩矿床规模常偏小,但常可达到大型规模。以往认为矽卡岩矿床不能形成超大型矿床,20 世纪 90 年代发现的世界上规模最大的矽卡岩型矿床——秘鲁 Antamina Cu-Zn 矿改变了这一观念,该矿床位于活动大陆边缘岩浆弧环境,Cu + Zn 储量 > 1 200 万吨,其中 Cu 金属量 693 万吨(品位 1.24 %),Zn 金属量 576 万吨(品位 1.03 %),伴生 Mo 16 万吨(品位 0.029 %),成矿年龄为 9.86～10.18 Ma(Love et al., 2004)。世界上一些大型矽卡岩型矿床形成于新生代,可能与其保存条件好、

❶ 李光明, 王高明, 芮宗瑶, 等. 2003. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综合研究. 成都地质矿产研究所研究报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

未遭受强烈剥蚀作用有关。这一条件冈底斯成矿带无疑是具备的。

冈底斯矽卡岩型铜多金属矿分布范围集中,已知矿床、矿化点多,并具有一定规模,尤其是甲马—林周地区矽卡岩成矿与本区斑岩型铜-钼矿及远离岩体的中低温热液型铅-锌-银矿、金矿具有相同的岩浆-构造控矿条件和深部地球动力学背景,成矿时代相同、空间分布上紧密相连,构成了一个完整的与花岗质侵入岩有关的岩浆热液铜-钼-铅-锌-银-金成矿系列,提示我们在找矿工作中要注意综合找矿。

通过对冈底斯带地质条件的综合分析,笔者认为在拉萨弧间盆地勒青拉、驱龙、甲马、帮浦一带(相当于甲马—林周盆地)存在一个以矽卡岩型铜-铅-锌矿为主的矿集区,该地区已发现矽卡岩型铜-铅-锌多金属矿床 10 余处,其中大型矿床 2 处。晚中生代多个时代地层发育有利于矽卡岩形成的灰岩、泥灰岩、火山凝灰岩岩层,岩体接触带、层间破碎带或层间滑动带等容矿构造发育,与成矿有关的中新世岩浆活动强烈,铜、铅、锌、金、银地球化学异常强度高、分带性好,为矽卡岩矿床的形成提供了良好的地质-地球化学条件,应是今后找矿工作的重点靶区,找矿重点为矽卡岩型铅-锌矿、铜-铅-锌多金属矿、斑岩-矽卡岩复合型铜多金属矿。该地区成矿条件与墨西哥北部的 Ag-Pb-Zn-Cu 矿集区相似,该矿集区是墨西哥最重要的 Pb、Zn 矿来源,发育近 20 个矽卡岩型铜-铅-锌-银多金属矿,合计矿石储量近 1.8 亿吨,其中铅-锌金属储量近 2 000 万吨(Megaw et al., 1988),成矿时代为 26～47 Ma。

国内外同类型的斑岩-矽卡岩型矿化集中区,往往伴有相当规模的热液型铅-锌-银矿发育,目前在该矿化集中区斑岩型和矽卡岩型铜矿找矿已获得重要突破,下一步有望在铅-锌-银矿找矿上获得新突破。

世界上同类型的以矽卡岩矿床为主的铜多金属矿化集中区,铜金属储量一般在 300～1 000 万吨,Pb + Zn 储量在 1 000～2 000 万吨。甲马—林周矿化集中区已发现较多矿床点,部分矿床达到大型规模,但总体上仍是一个地质工作程度很低的地区,有大量未勘查区域,潜在找矿潜力巨大。初步预测该地区铜远景资源量在 300 万吨以上、Pb + Zn 远景资源量在 700～1 000 万吨。

6 主要结论

(1) 冈底斯成矿带的矽卡岩矿床具有明显的分带特点。矽卡岩矿床为与岩浆作用有关的高温岩浆热液交代型矿床,成矿受地层、岩体和构造等多种地质因素控制,具有多期多阶段特点,硫化物主要形成于湿矽卡岩阶段。

(2) 甲马—林周地区是冈底斯带矽卡岩矿床的主要分布区,该地区矽卡岩成矿主要集中在中新世碰撞后伸展阶段,与斑岩铜矿和热液型铅-锌矿同属于与中酸性岩浆侵入活动有关的矿床成矿系列;冈底斯南带贡嘎—扎囊—泽当一带矽卡岩矿床可能形成于主碰撞期。

(3) 本区矽卡岩型矿床具有伴生组分多、品位高、规模大、经济价值高等特点,冈底斯成矿带具有良好的矽卡岩型铜多金属矿成矿地质、地球化学条件,显示巨大的找矿前景。拉萨-谢通门矿带具有良好的矽卡岩型富铁矿找矿远景。甲马—林周盆地是冈底斯矽卡岩铜多金属矿床的重要远景区,有望发展成为一个以矽卡岩矿床为主的铜多金属矿化集中区。

References

Baker T and Lang J R. 2003. Reconciling fluid inclusions, fluids process and fluid source in skarns: An example from the Bismark skarn deposit, Mexico[J]. Mineralium Deposita, 38: 474～495.

Baker T, Van A E, Ryan C, et akl. 2004. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit [J]. Geol. (Boulder), 32(2): 117～120.

Chen Y J and Chang Z S. 1996. The advances and problems in geological study and exploration on the skarn-type gold deposit[J]. Nonferrous Metal Resources and Exploration, 5(3): 129～139 (in Chinese with English abstract).

Coleman M and Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension [J]. Nature, 374: 49～52.

Ding L and Lai Q Z. 2003. The geological evidence for the thickening and uplift before collision in Gangdese crust: the restraint to the uplift and stretching history of Tibet Plateau implied by the aggregation of island arc[J]. Chinese Sci. Bull., 48(8): 836～842 (in Chinese with English abstract).

Du A D, Zhao D M, Wang S X, et al. 2001. Precise Re-Os dating of molybdenite using Carius tube, NTIMS and ICPMS([J]. Rock and Mineral Analysis, 20 (4): 247～252(in Chinese with English abstract).

Du G S, Yao P, et al. 1998. Summarine exhalative sedimentary skarn and mineralization[M]. Chengdu: Shichuan Sci & Technol. Press (in Chinese with English abstract).

Feng X L, Guan S P, Mou C L, et al. 2001. Geological characteristics and genesis of the Jiama copper polymetallic deposit in Tibet[J]. Geol. & Geochem., 29(4): 40～48(in Chinese with English abstract).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. 1995. Activation of the Nyainqentanghla shear zone: Implication for uplift of the southern Tibetan Plateau[J]. Tectonics, 14: 658～676.

Harrison T M, Yin A, Grove M, et al. 2000. Displacment history of the Gangdese thrust, Southeastern Tibet[J]. J. Geophys. Res., 105: 19211～19230.

Hou Z Q, Lu Q T, Wang A J, et al. 2003a. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen [J]. Mineral Deposits, 22 (1): 319～334 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, et al. 2003b. Re-Os age for molybdenites from the Gangdese porphyry belt in the Tibetan plateau: implication to mineralization duration and geodynamic setting [J]. Sci. in China (Series D), 33(7): 609～618 (in Chinese with English abstract).

Li C Y, et al. 2000. The main types of copper deposits in China and their metallogenetic perspective [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).

Li G M, Pang G T, Wang G M, et al. 2004. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt, Tibet, China [J]. Bull. Chengdu Univ. Sci. & Technol. (Sci. Ed.), 31 (1): 22～27 (in Chinese with English abstract).

Love D A, Clark A H and Glover J K. 2004. The lithologic, stratigraphic, and structural setting of the giant Antamina copper-zinc skarn deposit, Ancash, Peru[J]. Econ. Geol., 99: 887～916.

Megaw P K M, Ruiz J and Titley S R. 1988. High-temperature, carbonate-hosted Ag-Pb-Zn deposits of Northern Mexico [J]. Econ. Geol., 83: 1856～1885.

Meinert L D, Hedenquist J W, Satoh H, et al. 2003. Formation of anhydrous versus hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids [J]. Econ. Geol., 98: 147～156.

Meng X J, Hou Z Q, Gao Y F, et al. 2003. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in east Gangdese belt, Tibet: Evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit[J]. Mineral Deposits, 22(3): 246～252 (in Chinese with English abstract).

Meng X J. 2004. The metallogeny of the Miocene Gandese porphyry copper belt in Tibetan collision orogen [Dissertation for doctor degree] [D]. Tutor: Hou Z Q. Institute of Mineral Resources, CAGS (in Chinese).

Pang G T and Ding J. 2004. Geological map of Tibet plateau and adjacent areas [M]. Chengdu: Chengdu Map Pub. House (in Chinese with English Edition).

Pierce J A and Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud [M]. London: Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A327: 203～213.

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).

Shinohara H and Hedenquist J W. 1997. Constraints on magma degassing beneath the Far Southeast porphyry Cu-Au deposit, Philippines[J]. J. Petrol., 38: 1741～1752.

Xu R H, Schaer U and Allere C J. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet): A geochronological study [J]. J. Geol., 93: 41～57.

Yang Z M and Xie Y L. 2005. The characteristics and evolution of the ore-fluids of Qulong copper deposit in Gangdese porphyry copper deposit belt[J]. Geology and Exploration, 41(2) (in press) (in Chinese with English abstract).

Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci, 28: 211～280.

Zheng Y Y, Wang B S, Fan Z H, et al. 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymetal. [J]. Infor. Geol. Sci. & Technol., 21(2): 55～60 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈衍景，常　兆. 1996. 中国矽卡岩金矿床地质研究和勘查的进展与问题[J]. 有色金属矿产与勘查，5(3)：129～139.

丁　林，来庆州. 2003. 冈底斯地壳碰撞前增厚及隆升的地质依据：岛弧拼贴对青藏高原隆升及扩展历史的制约[J]. 科学通报，48 (8)：836～842.

杜安道，赵敦敏，王淑贤，等. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-锇同位素地质年龄[J]. 岩矿测试，20 (4)：247～252.

杜光树，姚　鹏，等. 1998. 喷流成因矽卡岩与成矿[M]. 成都：四川科学技术出版社.

冯孝良，管仕平，牟传龙，等. 2001. 西藏甲马铜多金属矿床的岩浆热液交代成因 ——地质与地球化学证据[J]. 地质地球化学，29 (4)：40～48.

侯增谦，吕庆田，王安建，等. 2003a. 初论陆-陆碰撞与成矿作用 ——以青藏高原造山带为例[J]. 矿床地质，22(4)：319～334.

侯增谦，曲晓明，王淑贤，等. 2003b. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄：成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D 辑)，33(7)：609～618.

李朝阳，等. 2000. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京：地质出版社.

李光明，潘桂棠，王高明，等. 2004. 西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J]. 成都理工大学学报(自然科学版)，31(1)：22～27.

孟祥金，侯增谦，高永丰，等. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限：帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质，22(3)：246～252.

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 [博士论文][D]. 导师：侯增谦. 中国地质科学院矿产资源研究所.

潘桂棠，丁　俊，等. 2004. 青藏高原及邻区地质图(1∶50 万)[M]. 成都：成都地图出版社.

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.

杨志明，谢玉玲. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带驱龙铜矿成矿流体特征及其演化[J]. 地质与勘探，41(2) (印刷中).

郑有业，王保生，樊子珲，等. 2002. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析[J]. 地质科技情报，21(2)：55～60.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Characteristics and metallogenic potential of skarn copper-lead-zinc polymetallic deposits in central eastern Gangdese

SHE Hong-quan[1], FENG Cheng-you[1], ZHANG De-quan[1], PAN Gui-tang[2] and LI Guang-ming[2]
(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract

The skarn copper-lead-zinc polymetallic deposits are distributed in an EW-striking metallogenic belt some 450 km long and 90 km wide. The metallogenic belt can be divided into three sub-belts, i.e., Lhasa-Xietongmen in the western part of Gandese, Jiama-Linzhou in the northeast and Gongga-Zalang-Zhedang in the southern part along the Brahmaputra River, with most of the ore deposits located in Jiama-Linzhou sub-belt. The ore deposits show apparent regional zonal distribution. There exist various kinds of polymetallic deposits, such as iron-copper, copper-lead-zinc-(gold-silver), copper-molybdenum-lead-zinc, copper-gold deposits, and independent copper, lead, zinc and iron deposits. The ore-bearing strata consist mainly of Jurassic-Cretaceous marine carbonate strata and carbonate-bearing marine volcanic-detrital strata. The ore-controlling stocks are dominated by small granitic stocks or porphyries belonging to calcic alkaline ~ high-K-calcic alkaline series. Orebodies mainly occur in stock-contact zones and tectonic zones beside stocks. The main ore-controlling structures include interlaminar tectonic zones, stock-contact zones and fracture zones. The ore formation shows notable multistage mineralization characteristics, the copper, lead and zinc sulfides must have been precipitated mainly at the retrograde skarn stage, and the favorable temperatures for ore precipitation range from 160 to 380 ℃. Sulfur, hydrogen and oxygen isotope studies indicate that the ore-forming fluids and materials were mainly derived from magmatic fluids. The Re-Os isochronic ages of ore deposits in Jiama-Linzhou region are concentrated in a narrow range of 15-17Ma, coincident with the stretching period in the crust after the formation of the main collision belt in Tibet plateau. This implies that the formation of skarn deposits was related to the partial melting at depth and the fluid concentration resulting from the stretching after Indian-Asia plate collision. The skarn deposits and the porphyry copper deposits in this region have similar magmatic-tectonic and metallogenic geodynamic conditions. These two types of ore deposits were formed in the same period and belong to the same metallogenic series. The skarn deposits are characterized by polymetallic association, high grade, great size and high economic value. Central Gangdese has favorable geological and geochemical environments for the formation of skarn deposits. It is concluded that Jima-Linzhou basin along Leqingla, Qulong, Jiama and Bangpu might constitute a potential metallogenic area dominated by skarn-type copper-lead-zinc polymetallic deposits.

Key words: geology, skarn deposit, porphyry deposit, copper-lead-zinc polymetallic deposit, geological characteristics of ore deposit, metallogeny, Gangdese, Tibet

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net