

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

冈底斯东段南部第三纪夕卡岩型 Cu-Au±Mo 矿床 地质特征、矿物组合及其深部找矿意义

李光明¹⁾, 秦克章¹⁾, 丁奎首¹⁾, 李金祥¹⁾, 王少怀^{2,3)}, 江善元²⁾, 林金灯²⁾,
江化寨²⁾, 方树元²⁾, 张兴春⁴⁾

1) 中国科学院矿产资源重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029; 2) 冶金总局
第二地质勘查院, 福建莆田, 351111; 3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 4) 中国科学院
地球化学研究所, 贵阳, 550002

内容提要: 在冈底斯 Cu-Au 成矿带东南部的山南地区分布有克鲁、劣布、冲木达和陈坝等中到大型 Cu-Au±Mo 矿床。与含铜夕卡岩有关的侵入岩形成于 20~30 Ma 之间, 为高钾钙碱性中酸性浅成岩, 形成于印-亚大陆碰撞晚期构造背景。矿化赋存于岩体外接触带下白垩统比马组的碳酸盐岩和其他钙质岩石内。主要矿化类型为夕卡岩型、热液脉型和斑岩型, 构成完整的斑岩-夕卡岩、热液脉状铜-金(钼)多金属成矿体系, 矿化组合主要为 Cu-Mo、Cu-Au 和 Cu。外接触带的蚀变以夕卡岩化、角岩化为主, 而内接触带上主要为岩体的绢云母化、硅化、绿泥石化等, 内夕卡岩不发育。夕卡岩化可分为早期夕卡岩和晚期含水硅酸盐阶段。早期夕卡岩主要为钙铁、钙铝石榴石夕卡岩, 含少量透辉石、磁铁矿等, 晚期的含水硅酸盐阶段主要是绿泥石-绿帘石、方解石、石英交代石榴石夕卡岩, 并伴随含铜硫化物的沉淀, 为本区夕卡岩型铜矿形成的主要阶段。含铜硫化物以富含斑铜矿为特征, Au、Ag 主要赋存于斑铜矿、硫铋铜矿及黄铜矿等矿物中。山南地区的夕卡岩型铜-金矿床均为浅部夕卡岩, 在某些夕卡岩型铜金矿床中显示了斑岩型矿化的存在, 可能暗示该区的夕卡岩型矿化与北带相似, 具有统一的斑岩型-夕卡岩型成矿系统。因此本区具有在深部寻找斑岩型金矿的可能性, 而且找矿潜力较大。

关键词: 矿床地质; 浅部夕卡岩; 矿物组合; 深部斑岩铜矿找矿; 冈底斯山南地区

西藏冈底斯斑岩成矿带东西长约 2000km, 南北宽约 100km, 燕山晚期—喜马拉雅期的火山岩、侵入岩广泛分布, 地层以三叠系—白垩系为主。目前在该带上已发现十余处斑岩铜矿, 形成于青藏高原陆-陆碰撞之后(中新世)地壳伸展环境(Coleman et al., 1995; 曲晓明等 2001; 郑有业等, 2002; 侯增谦等, 2003a; 李光明等, 2004)或碰撞挤压-隆升伸展转换过渡构造环境(Qin et al., 2005)。

其中在冈底斯东段以产出斑岩型 Cu-Mo 矿床和夕卡岩型 Cu-Mo-Au 矿床为特征, 主要有两个成矿亚带(图 1): ① 北部的甲马—驱龙—普下斑岩-夕卡岩成矿亚带, 该亚带上陆续发现的主要斑岩铜矿矿床(点)有: 冲江、白容、厅官、达布、拉抗俄、驱龙、甲马等, 近等距产出。甲马铜多金属矿床以铜为主, 共生钼和铅, 伴生锌、金、银等有用组分。主矿体产于

侏罗系多底沟组碳酸盐岩与林布宗组砂板岩之间, 钙夕卡岩是矿体的主要容矿岩石, 受近东西向张性断裂及岩体接触带控制。原认为是属于海底喷流作用有关的“层夕卡岩”型矿床(Yao et al., 2002)。最近的研究表明均属于夕卡岩-斑岩类型矿化(李光明等, 2004; 余宏全等, 2005)。② 南部的克鲁—劣布—冲木达夕卡岩成矿亚带, 位于西藏南部的扎囊—乃东—桑日县之间。该带内已发现铜多金属矿床(点)数十处, 它们成带产出, 并构成一条近东西向、长大于 60 km、宽 10~20 km 的铜多金属成矿亚带。其中较大规模的矿床有劣布铜钼矿床、冲木达铜金矿床、克鲁铜金矿床以及陈坝铜金矿床等, 又以劣布矿区规模最大, 已探明铜金属量 > 50 万吨。矿化组合主要为 Cu-Mo、Cu-Au 和 Cu。关于其成因, 杜光伟等(2001)、程力军等(2001)认为属于夕卡岩型与热液

注: 本文为国家重点基础研究发展规划“973”项目“印度—亚州大陆主碰撞带成矿作用”(编号 2002CB412605)资助的成果。

收稿日期: 2006-04-07; 改回日期: 2006-05-09; 责任编辑: 郝梓国、刘志强。

作者简介: 李光明, 男, 1964 年生, 博士, 主要从事金属矿床成矿作用及成矿预测研究。通讯地址: 100029, 中国科学院地质与地球物理研究所; Email: liguangming0505@yahoo.com.cn。

型。王少怀、陈自康(2003)、姚鹏等(2002b)认为该带属于海相火山-沉积成因的块状硫化物矿床,但近年来的研究倾向于夕卡岩成因。

冈底斯成矿带的夕卡岩型铜多金属矿床是与海底喷流作用有关的“层夕卡岩”型矿床?还是属斑岩成矿系统?本文对冈底斯斑岩铜矿带东南段山南地区克鲁-劣布-冲木达铜-金-钼成矿带的劣布、双布结热、冲木达、陈坝和克鲁等夕卡岩型铜矿床和相关的斑岩体及其矿化特征进行了全面总结,并在初步的矿物学研究基础上,探讨了夕卡岩铜矿深部斑岩铜矿化产出的可能性及其勘查意义。

1 区域地质背景

山南地区克鲁-劣布-冲木达铜金成矿带处于冈底斯岩浆弧构造带之东南段(图2),中生代地层-岩浆组合处于日喀则-桑日弧前位置,新生代地层-岩浆组合处于雅鲁藏布江弧-陆碰撞结合带。距雅江缝合带最近处仅6 km。区域出露地层有:三叠系碎屑岩、碳酸盐岩建造;侏罗-白垩系麻木下组(J_3k_1m)钙碱性岛弧火山岩夹碳酸盐岩、碎屑岩建造,零星分布在雅江两岸,厚度大于1740 m;白垩系比马组(K_1b)为含煤碎屑岩、碳酸盐岩及岛弧钙碱

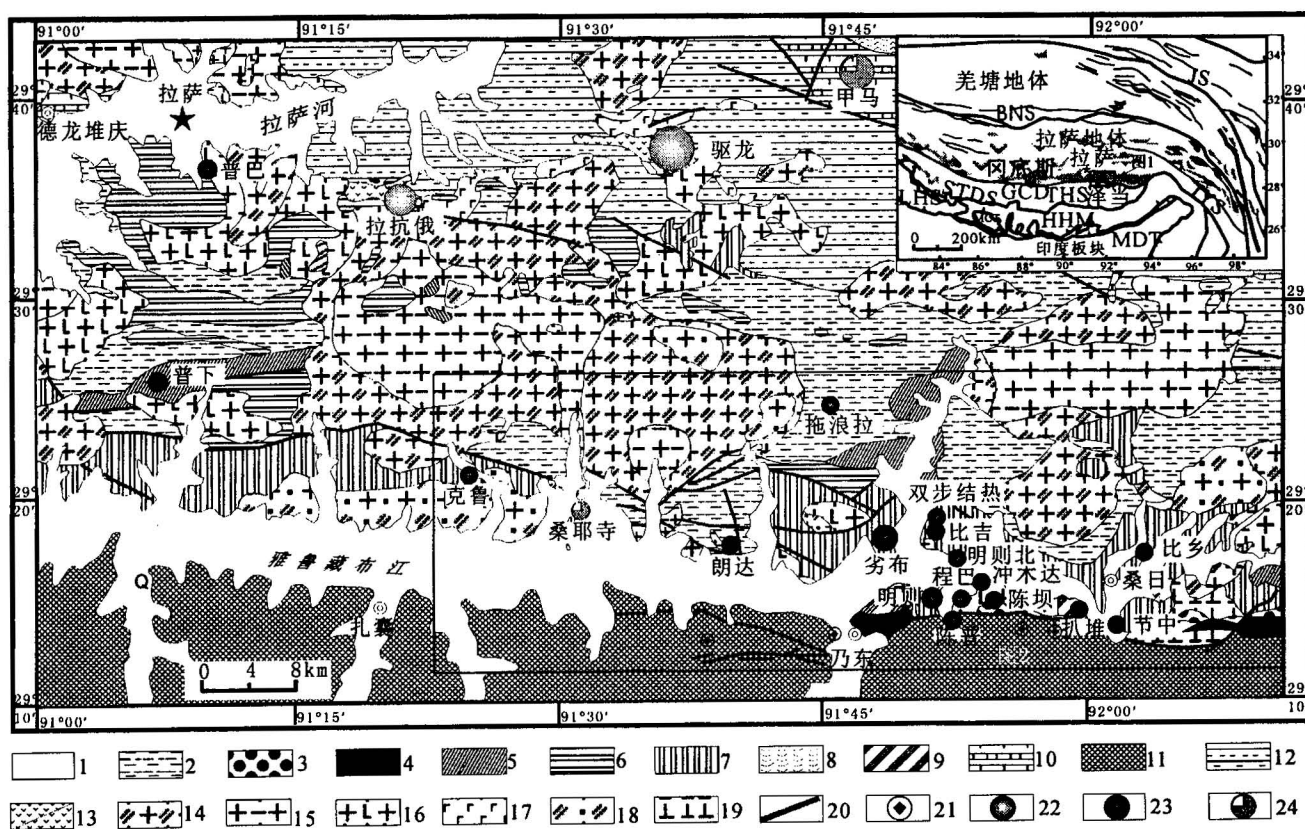


图1 冈底斯东段区域地质简图及其矿床分布(冶金总局第二地质勘查院资料简化,2005)

Fig. 1 Regional geologic sketch map of the eastern Gangdese and distribution of copper deposits (modified after No. 2 Institute of CEEB, 2005)

1—第四系(Q);2—丁拉组(Ed);3—郛郁群(N_2w);4—罗布莎群(N_1b);5—温区组(K_2w);6—门中组(K_{1-2m});7—比马组(K_1b);8—楚木龙组(K_1cm);9—麻木下组(J_3-K_1m);10—多底沟组(J_2-3d);11—姐德秀组(T_3j);12—查曲浦组(T_{1+2c});13—渐新世次火山岩(E_3cyj/E_3lyj);14—始新世二长花岗岩(E_2hg);15—始新世黑云母花岗岩(E_2gb);16—始新世花岗闪长岩(E_2gd);17—古近纪辉绿岩(Ebm);18—晚白垩世石英二长闪长岩(K_2dho);19—早白垩世辉长闪长岩(K_1nd);20—断层;21—铬矿点;22—斑岩铜矿床(点);23—夕卡岩铜矿床(点);24—夕卡岩型铜多金属矿床(点)

1—Quaternary (Q); 2—Dingla Group (Ed); 3—Wuyu Formation (N_2w); 4—Luobusa Formation (N_1b); 5—Wenqu Group (K_2w); 6—Mengzhong Group (K_{1-2m}); 7—Bima Group (K_1b); 8—Chumulong Group (K_1cm); 9—Mamuxia Group (J_3K_1m); 10—Duodigou Group (J_2-3d); 11—Jiedexiu Group (T_3j); 12—Chaqupu Group (T_{1+2c}); 13—Oligocene subvolcanic rocks (E_3cyj/E_3lyj); 14—Eocene monzonitic granite (E_2hg); 15—Eocene biotitic granite (E_2gb); 16—Eocene granodiorite (E_2gd); 17—Paleotertiary diabase (Ebm); 18—Late Cretaceous quartz monzodiorite (K_2dho); 19—Early Cretaceous gabbrodiorite (K_1nd); 20—fault; 21—chrome ore occurrences; 22—porphyry copper deposits (occurrences); 23—skarn copper deposits (occurrences); 24—skarn copper-polymetallic ore deposits (occurrences)

性火山岩建造,出露广泛,厚度大于 4155m(王少怀、陈自康,2003)。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,具有安第斯陆缘弧特征(Pierce et al., 1988)。受区域构造影响,区域地层主体呈近东西向展布。

区域岩浆活动频繁,时代自燕山晚期至喜马拉雅期。对应于特提斯洋向北俯冲消减、印度板块与欧亚板块碰撞主期,岩浆活动时间集中在 120~20 Ma(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)。

侵入岩由深成相和浅成相两部分组成。前者为巨大的冈底斯中酸性侵入杂岩,多以复式岩体形式产出,属钙碱性岩石。侵入作用可分为三个主要侵入期:燕山晚期以辉长岩、辉长闪长岩、花岗闪长岩为主;喜马拉雅早期以花岗闪长岩、石英二长闪长岩、二长花岗岩为主,它们往往构成热液脉状矿化的围岩;喜马拉雅晚期以闪长玢岩、石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩为主,多呈岩株、岩筒、岩脉产出,具有次火山岩特征。其中花岗闪长(斑)岩、石

英闪长岩、石英斑岩、二长花岗斑岩、闪长玢岩均与成矿有关,岩石化学分析结果在 AFM 图解中表现为钙碱性(图 3a)、在 $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 图解中基本位于氧化性中酸性岩石组合区(图 3b),其属性与世界其他 Cu、Cu-Au 夕卡岩的岩石属性相似(Meinert, et al., 1995; Marta et al., 2000)。在微量元素相对球粒陨石标准化图解上显示富集 Ba、Rb、Th、K,而亏损 Nb、Ta、Ti(图 3c),在稀土元素配分图解中表现为轻稀土富集和 Eu 异常不明显的特征(图 3d),而在 Nb-Y 构造判别图上落入弧岩浆范围(图 3e),以上特征表明本区夕卡岩型铜矿的形成与冈底斯岩浆弧的发展演化密切相关。K-Ar 年龄和 Ar-Ar 年龄测定结果显示,劣布花岗闪长斑岩中黑云母、冲木达花岗闪长斑岩中的角闪石 K-Ar 年龄分别为 22.92 ± 0.32 Ma、 21.35 ± 1.99 Ma(Li et al., 2005),而黑云母 Ar-Ar 年龄分别为 23.77 ± 0.29 Ma 和 29.88 ± 0.56 Ma(李光明等,待刊),夕卡岩矿化明显早于冈底斯带上的中新世斑岩铜矿(芮宗瑶等,2003;侯增谦等,2003;曲晓明等,2003;

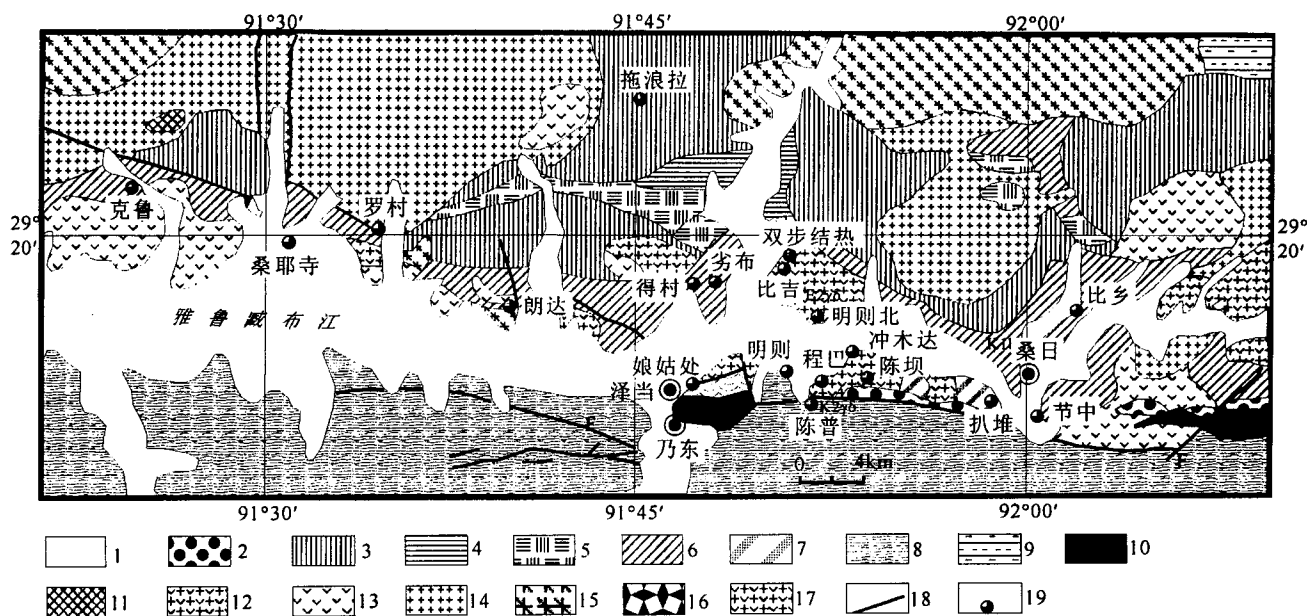


图 2 冈底斯东段山南地区地质简图及矿床分布(冶金总局第二地质勘查院资料简化,2004)

Fig. 2 Geologic sketch map and distribution of copper deposits in the Shannan area of Southeastern Gangdese

(modified after No. 2 Institute of CEEB, 2004)

1—第四系(Q);2—温郁组(N_{2w});3—典中组(E_1d);4—温区组(K_{2w});5—门中组(K_{1-2m});6—比马组(K_1b);7—麻木下组(J_3K_1m);8—姐德秀组(T_{3j});9—查曲普组(T_{1+2c});10—超基性岩(Tk_1L);11—中新世次火山岩(XVj_6);12—花岗闪长岩(K_{2gd});13—石英二长闪长岩(K_{2dho});14—二长花岗岩(E_2hg);15—黑云母花岗岩(E_2gb);16—辉绿岩(Ebm);17—花岗闪长岩(E_2gd);18—断层;19—夕卡岩铜矿床(点)

1—Quaternary(Q);2—Wuyu Group (N_{2w});3—Dianzhong Group (E_1d);4—Wenqu Group (K_{2w});5—Mengzhong Group (K_{1-2m});6—Bima Group (K_1b);7—Mamuxia Group (J_3K_1m);8—Xiukang Group (T_{3x});9—Chaqupu Group (T_{1+2c});10—ultramafic rocks (Tk_1L);11—miocene subvolcanic rocks (XVj_6);12—granodiorite (K_{2gd});13—quartz monzodiorite (K_{2dho});14—monzonitic granite (E_2hg);15—biotite granite (E_2gb);16—diabase (Ebm);17—granodiorite (E_2gd);18—fault;19—skarn Cu deposits occurrences

李光明等, 2005)。这些岩体侵入于碳酸盐岩或碳酸盐岩与碎屑岩互层的地层中, 在岩体与围岩接触带

产生热液交代和蚀变, 形成夕卡岩化、硅化、大理岩化、黄铜矿等矿化。

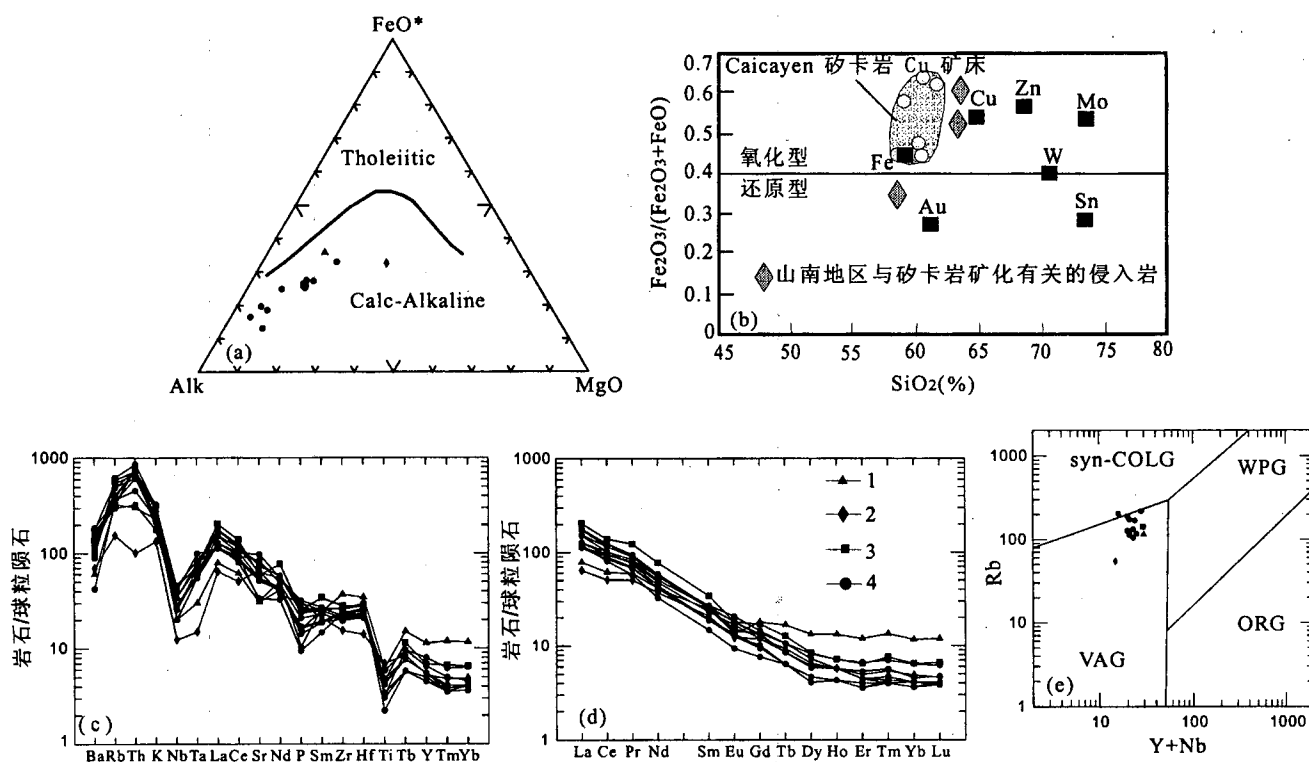


图 3 与夕卡岩铜矿有关侵入岩的地球化学特征图解

Fig. 3 Geochemical characteristic diagrams of the intrusions-related skarn copper deposits

(d): 1—花岗闪长(斑)岩(劣布矿床); 2—闪长玢岩(劣布矿床); 3—花岗闪长岩(冲木达矿床); 4—山南地区花岗闪长岩 (Harrison T. M. et al., 2000); (e): VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋岛花岗岩; WPG—板内花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩 (d): 1—Granodiorite(Porphyry) from Liebu copper deposit; 2—Diorite porphyrite from Liebu copper deposit; 3—Granodiorite from Chongmuda copper deposit; 4—Granodiorite from the Shannan area (data from Harrison T. M. et al., 2000); (e): VAG—Volcanic Arc Granites, COLG—Collision Granites, ORG—Ocean Ridge Granites, WPG—Within Plate Granites

2 主要矿床特征

2.1 区域矿床分布

到目前为止, 冈底斯东南段的克鲁—劣布—冲木达夕卡岩成矿亚带内已发现夕卡岩型矿床(点)数十处, 并沿雅鲁藏布江两岸构成一条近东西向、长大于 60km、宽 10~20 km 的铜多金属成矿亚带(图 2)。主要矿床(点): 西段有多吉扎、克鲁、普隆、桑伊寺, 中段有劣布、双布结热、明则、车门、娘古处, 东段有程巴—明则、比吉、冲木达、陈坝、节中等。其中较大规模的矿床有劣布铜—钼矿床、冲木达铜—金矿床、克鲁铜—金矿床以及陈坝铜—金矿床等。经初步勘查, 其中以劣布矿区规模最大, 铜资源量可达大型规模。

区内已发现的铜多金属矿点、矿化点大多分布于喜马拉雅中晚期酸性小岩体内及其与含钙地层

的接触带附近, 成矿与这期具有较高铜背景值的侵入体、含钙地层(上侏罗—下白垩统麻木下组、比马组, 白垩系中组以及下第三系丁拉组等)及其接触带关系密切。因此, 本区成矿时代集中于喜马拉雅期。

2.2 矿床类型

本区夕卡岩型矿床以铜为主, 常伴有钼、金、银等有益组分。因此, 矿化组合常为 Cu-Au 组合或 Cu-Mo 组合。其中有代表性的劣布矿床为 Cu-Mo 组合, 而克鲁铜矿为 Cu-Au 组合(表 1)。而区域上冈底斯北成矿亚带的甲马、知不拉夕卡岩矿床则以 Cu-Mo-Pb-Zn 矿化为主。

在矿区范围内, 夕卡岩矿床与斑岩铜矿有密切的时空分布联系。岩体内部主要为斑岩型矿化、绢云母化。接触带及其附近为夕卡岩型矿化。发育外夕

卡岩带,距接触带较远的外围出现热液脉型矿化(如劣布矿区),构成完整的斑岩-夕卡岩铜-钼-金多金属成矿体系。空间上,脉状铜矿化位于地势较高处,

夕卡岩矿化位于中上部,斑岩型矿化则位于平缓低洼处,构成鲜明的矿化垂直分带。

表 1 山南地区夕卡岩型铜矿特征简表
Table 1 Summary characteristics of skarn copper deposits in Shannan area

矿床	围岩	岩浆岩	蚀变	矿化类型	Cu(%)	Mo(%)	Au(g/t)
劣布	碳酸盐岩、粉砂岩互层,间夹火山碎屑岩	石英闪长岩、石英闪长玢岩及花岗闪长岩	夕卡岩化、角岩化、绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化等	A 热液充填型;B 夕卡岩型铜矿体;C 闪长玢岩型的“斑岩铜矿”	1.08 0.72~1.58 0.53~0.72	达边界品位	
双步结热	结晶灰岩和变质粉砂岩	花岗闪长岩、闪长玢岩	夕卡岩化、绿帘石化、绿泥石化等	A 夕卡岩型铜矿化;B 闪长玢岩铜矿化	1~3		
克鲁	细晶灰岩、板岩、变质片状安山质凝灰岩夹大理岩等	石英二长闪长岩	夕卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化等	夕卡岩型铜矿化	0.31~1.92		4.2~61.2
冲木达	大理岩、变砂岩及变粉砂岩	二长花岗岩	夕卡岩化、绿帘石化、大理岩化等	夕卡岩型铜矿化	2.09		1.20~1.54
陈坝	凝灰岩和含砾凝灰岩、晶屑凝灰岩、复成份砾岩、变质砂岩、板岩、细晶灰岩	中粗粒黑云母似斑状二长花岗岩	夕卡岩化、绿帘石化、硅化等	夕卡岩型铜矿化	0.2~4.53		0.24~3.35
明则—程巴	结晶灰岩夹变质粉砂岩、凝灰岩等	石英闪长岩、中粗粒似斑状黑云角闪二长花岗岩、二长花岗斑岩、石英斑岩	夕卡岩化、绿帘石化、硅灰石化硅化、绢云母化等	A 夕卡岩型铜矿化 B 斑岩型矿化	明则:1.14 程巴:4.91		0.12

2.3 代表性矿床实例

2.3.1 劣布夕卡岩型铜-钼矿床

2.3.1.1 矿床地质

矿区出露地层主要为下白垩统比马组,为碳酸盐岩、粉砂岩互层,间夹火山碎屑岩。始新世石英闪长岩、石英闪长玢岩及花岗闪长岩侵入于下白垩统比马组地层中。在岩体与围岩的外接触带产生热液交代和蚀变,形成层状夕卡岩化和角岩化、硅化、大理岩化、铜矿化等。

矿区内断裂构造主要有两组:早期形成的近 NEE 向断裂,走向延伸约 4.5 km,倾向 SE,倾角中等,它控制了区内夕卡岩带、矿化带乃至主矿体的空间分布,又被后期生成的 SEE 向断裂所错断(图 4)。

2.3.1.2 矿化特征

根据现有资料,矿区划分为两条矿化带,即 I、II 号矿化带。其中以 I 号矿化带规模最大,长大于 4500 m,实际控制长度 2800 m,倾向延深实际控制大于 300 m,宽 50~230m,倾向 NW,倾角 40°~60°,与地层产状一致,位于石英闪长岩西侧。赋矿岩石为

绿帘石化长英质角岩、夕卡岩、泥晶灰岩、闪长玢岩脉和后期的石英脉。围岩蚀变有:硅化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等。已发现的主矿体即产于 I 号矿化带内。矿体和围岩界线不清。矿化带南部 ZK4101 孔中圈出 8 层矿体(图 5),累计厚度为 32.87m,Cu 平均品位 0.92×10^{-2} 。于孔深 192.8~195.69 m 出现厚度 2.89 m、铜品位 1.16%~1.18% 的石英闪长玢岩,显示本区具有形成斑岩型铜矿的可能。矿区内的铜矿化主要为条带状、团斑状、浸染状、脉状、细脉状及角砾状等(图版 I-1),而钼矿化主要表现为浸染状和细脉状,在夕卡岩中钼矿化呈浸染状,而在角岩及石英闪长玢岩中主要为辉钼矿-石英脉穿插(图版 I-5),矿石矿物有斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿、蓝铜矿、孔雀石、闪锌矿、辉钼矿、褐铁矿等。

区内铜矿化主要类型有:① 层间破碎带中的热液大脉状矿床,产出地段海拔 3850~4100 m(图版 I-3);② 夕卡岩型铜矿体,海拔 3750~3950 m;③ 与石英闪长玢岩有关的斑岩铜矿位于海拔 3600~3800 m。如 ZK41-1 钻孔 192~198 m 段石英闪长玢

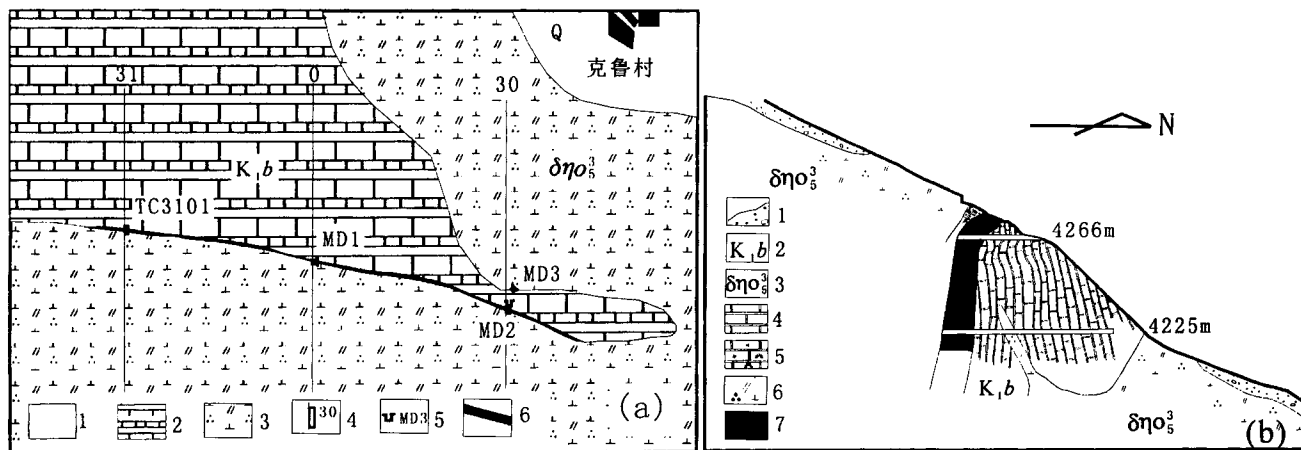


图6 克鲁铜-金矿床平面及剖面地质简图(冶金总局第二地质勘查院资料简化,2004)

Fig. 6 Geologic sketch map and cross section of the Kelu skarn Cu-Au deposit (modified after No. 2 Institute of CEEB, 2004)

(a): 1—第四系(Q); 2—晚侏罗—早白垩世比马组(K_1b); 3—燕山晚期石英二长闪长岩; 4—勘探线、探槽及编号; 5—平硐及编号; 6—夕卡岩型铜金矿(化)体; (b): 1—浮土(Q); 2—晚侏罗—早白垩世比马组(K_1b); 3—燕山晚期石英二长闪长岩; 4—大理岩; 5—孔雀石化石榴子石夕卡岩; 6—夕卡岩型铜、金矿体

(a): 1—Quaternary loosening deposits (Q); 2—Early Cretaceous Bima Group (K_1b); 3—Late Yanshanian quartz monzodiorite; 4—number of exploration line and trench; 5—number of adit; 6—skarn copper-gold ore body; (b): 1—Quaternary loosening deposits (Q); 2—Early Cretaceous Bima Group (K_1b); 3—Late Yanshanian quartz monzodiorite; 4—marble; 5—malacite-bearing garnet skarn; 6—skarn copper-gold ore body

8%~9.8% NaCl,为中温低盐度成矿流体。其二为细粒浸染型铜矿化,即较细粒黄铜矿呈浸染状均匀分布在岩石中。含铜1.80%~4.29%。岩石呈灰—深灰绿色,蚀变强烈,其蚀变矿物有:绢云母、次生石英,黄铁矿、黄铜矿呈细粒浸染状均匀分布。石英闪长岩明显侵入于石英闪长岩(底板)和含铜夕卡岩(顶板)之中,总体走向NE,倾向NW,倾角较陡。地势低缓地段含矿闪长岩常与含铜夕卡岩一起产出,它有可能构成区内重要的“斑岩型铜矿”成矿期。所揭示的含铜矿化石英闪长岩刚出露前锋,其规模尚小,深部可能构成“斑岩型铜矿”。

在岩浆期后热液活动阶段在近矿围岩中形成热液充填型矿化,表现为石英细脉、大脉状(图版1-4)。特别是在石英闪长岩中,常见后期铜矿化石英细脉(宽0.5~1.0 cm)沿石英闪长岩中的裂隙充填,含脉率一般10~20条/m,取样分析铜可达1%~2%,已构成工业矿体。石英细脉中包裹体为原生的气-液包裹体,大小4~10 μm ,V/L为10%,均一温度在232~276℃之间,相应的盐度为4.2%~6.5% NaCl,为中低温低盐度成矿流体。石英闪长岩作为围岩接受后期成矿热液充填,形成细脉状矿化,局部

可构成工业矿体,故铜矿化系后期热液充填成因。

总之,该矿床成因类型复杂,含矿玢岩侵入时自身形成斑岩型铜矿化,所带来的气液、矿液在围岩的有利部位又形成夕卡岩型和热液型脉状铜矿化;同时矿区尚见赋存在灰岩中蚀变相当微弱的铜矿化。整个矿区“多位一体”特征相当明显。

2.3.2 克鲁夕卡岩型铜-金矿床

矿区处于雅江结合带北侧、扎囊县北东侧。矿区出露地层为下白垩统比马组(K_1b),主要由细晶灰岩、板岩、变质片状安山质凝灰岩夹大理岩等组成,喜马拉雅期的石英二长闪长岩侵入比马组地层中,岩石呈灰白色,具半自形中粒花岗结构、变余花岗结构,块状构造。在大理岩与石英二长闪长岩接触带上具夕卡岩化和铜、金矿化,该接触带东西向延伸达数公里。主要蚀变类型有绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化及透辉石、石榴石、硅灰石等夕卡岩化,沿岩石裂隙见绿帘石、绿泥石微细脉充填交代,局部见铜矿物沿岩石裂隙充填。

矿区目前已发现主矿化蚀变带1条,长近2000 m,走向近东西,倾向南,倾角近直立。主要产于接触带的透辉石、石榴石夕卡岩中,在岩体外接触带的大

理岩、灰岩、钙质泥岩岩层破碎裂隙中还赋存有似层状产出的铜、金矿化。铜、金主矿体呈脉状、透镜状产出,具有膨大收缩现象。目前已发现的矿体长 350 m,宽 30~50 m(图 6a),品位 $\text{Cu} 0.31\% \sim 1.92\%$, $\text{Au} 4.2 \sim 61.2 \text{ g/t}$ 。

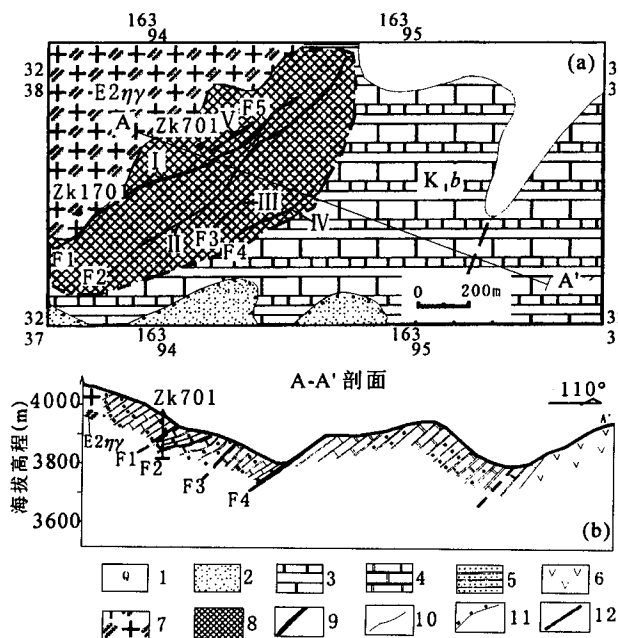


图 7 陈坝夕卡岩铜-金矿床平面及剖面地质简图(冶金总局第二地质勘察院资料简化,2004)

Fig. 7 Geologic sketch map and cross section of the Chenba skarn Cu-Au deposit (modified after No. 2 Institute of CEEB, 2004)

1—第四系残坡积物;2—第三系罗布莎群复成分砾岩、砂岩;3—白垩系比马组灰岩;4—白垩系比马组大理岩;5—白垩系比马组变质粉砂岩;6—白垩系比马组安山岩;7—渐新世黑云角闪二长花岗岩;8—角岩和石榴石夕卡岩带;9—矿体及编号;10—地质界线;11—不整合界线;12—断层

1—Quaternary loosening deposits; 2—Tertiary polymictic conglomerate of Luobusa Formation; 3—Early Cretaceous Bima Group; 4—Cretaceous marble of Bima group; 5—Cretaceous metamorphic siltstone of Bima group; 6—Cretaceous andesite of Bima group; 7—Eocene monzonitic granite (E_2hg); 8—Zone of hornfels and garnet skarn; 9—Copper and gold ore body; 10—Geologic boundary; 11—Unconformative boundary; 12—Fault

从 30 线剖面(图 6b)不同标高(4276m→4266m→4225m)中段可见,铜、金矿体厚度及品位向下增大,预示着铜、金矿体剥蚀程度低,在深部及延伸方向上找矿前景大。

矿石呈条带状、浸染状、角砾状构造,矿石矿物有斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿、蓝铜矿、辉铜矿、赤铜矿、自然铜、孔雀石、方铅矿、褐铁矿、碲金银矿、碲银矿

和金等。

2.3.3 冲木达夕卡岩型铜-金矿床

矿区位于雅江南岸、雅江缝合带北侧,区内出露地层为桑日群比马组,其下部为变质含砾凝灰岩、安山质凝灰熔岩、安山岩;上部为结晶灰岩、安山质凝灰岩、复成分角砾岩、变石英砂岩及板岩等。地层走向 NEE,倾角 $25^\circ \sim 40^\circ$ 。侵入岩主要为第三纪渐新世中粗粒石英二长花岗岩,以及中粗粒巨斑状二长花岗岩。

铜矿化产于围岩与岩体接触之夕卡岩、夕卡岩化大理岩和变质砂岩中,矿化夕卡岩的分布受岩体边界形状和围岩岩性控制。

矿石矿物有磁铁矿、镜铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉铜矿、银黝铜矿等,次生矿物有孔雀石、褐铁矿等。矿化带长约 2000 m,宽 700 多米,工业矿体长 100 多米。矿化呈条带状、浸染状、不规则团块状赋存于夕卡岩化大理岩中,或呈脉状分布于岩石的破碎带内,矿石品位 $\text{Cu} 0.09\% \sim 8.03\%$,平均 2.09%; $\text{Ag} 48.3 \text{ g/t}$, Au 最高达 3.93 g/t,一般含 $\text{Au} 1.20 \sim 1.54 \text{ g/t}$ 。

2.3.4 陈坝夕卡岩型铜-金矿床

位于雅江南岸的陈坝村东侧,雅江缝合带北侧,北邻冲木达铜矿区。出露地层为三叠系姐德秀组、白垩系比马组、第三系罗布莎群及第四系。与成矿关系密切的是白垩系比马组,岩性为变质片状凝灰岩和片状含砾凝灰岩、晶屑凝灰岩、复成份砾岩、变质砂岩、板岩、细晶灰岩。侵入岩为始新世中粗粒黑云母似斑状二长花岗岩。在岩体外接触带夕卡岩和夕卡岩化大理岩、变质砂岩中普遍发现铜金矿化,沿接触带含铜夕卡岩长大于 1600 m,宽约 300 m;总体倾向北北西,倾角 $25^\circ \sim 40^\circ$ 。已控制矿体长约 1000 m,厚 8.3~20 m(图 7), Cu 平均 1.02%,含 $\text{Au} 0.24 \sim 3.35 \text{ g/t}$ 。

矿石矿物为黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、黄铁矿、黝铜矿、赤铜矿、辉铜矿、孔雀石、褐铁矿等;脉石矿物为钙铝榴石、绿帘石、方解石、石英、长石、绢云母等。矿石结构为粒状变晶结构,矿石构造为条带状、浸染状、不规则团块状。

2.3.5 双步结热夕卡岩型铜矿床

矿区位于雅江北岸约 3 km 处,矿区出露地层为白垩系比马组(K_1b),由于岩体的侵入,地层呈残留顶盖或捕虏体零星分布,出露在双布结热矿段和矿区东部外围。主要岩性有结晶灰岩和变质粉砂岩。矿区内岩浆岩主要有花岗闪长岩($E_2\gamma\delta$),呈岩基产

出,岩性为中粒黑云母花岗闪长岩,浅灰—灰色,中粒花岗结构,块状构造。主要矿物为斜长石、石英、黑云母、角闪石等。另见闪长玢岩($E_2\delta\mu$)呈岩筒和岩脉形式产出。岩石具斑状结构,基质具半自形粒状结构,块状构造;斑晶为斜长石,含量约20%,基质以斜长石为主,含少量石英、细粒黄铜矿和暗色矿物。闪长玢岩中见浸染状黄铜矿化。

已控制1号矿体,平面形态呈椭圆形,长轴近东西向。已控制长度大于500m,宽5.00~50.09m(图8a)。剖面上矿体呈不规则厚板状,倾向 140° ,倾角 $30^\circ\sim 50^\circ$ (图8b)。赋矿岩石为石榴子石夕卡岩及绿泥石化、绢云母化、硅化闪长玢岩。矿石颜色为深灰绿色、红褐色、灰白色,微细粒状、变晶粒状结构,团块状、浸染状、豆状构造。矿石矿物:黄铜矿、黝铜矿、黄铁矿、斑铜矿、磁黄铁矿、铜兰、孔雀石、褐铁矿,脉石矿物:石榴石、石英、长石、透辉石、硅灰石等。矿石品位 $Cu0.4\%\sim 6.84\%$,平均 3.47% 。

3 蚀变矿化及其矿物组合

根据我们对上述矿床进行初步的矿物学及其电子探针分析,对该地区的蚀变矿化特征和矿物组合进行了总结,结果表明本区的夕卡岩型铜金矿化具有上部夕卡岩特征。

3.1 蚀变特征

本区夕卡岩型矿化蚀变主要可分为沉积围岩蚀变和岩体蚀变,在表2中我们总结了上述矿床的矿化蚀变特征,从表中可以看出,外接触带的蚀变以夕卡岩化、角岩化为主,而内接触带上主要为岩体的绢云母化、硅化、绿泥石化等。而矿化主要以似层状、透镜状、囊状产于外接触带中,在远离接触带的大理岩化、角岩化粉砂岩中还可可见脉状矿化,而内接触带的矿化主要为细脉状、浸染状矿化。

本区的夕卡岩化可分为早期干夕卡岩和晚期含水硅酸盐阶段。早期干夕卡岩主要为钙铁-钙铝石榴石夕卡岩,含少量透辉石、钙铁辉石、磁铁矿等,同时还有少量铜矿物的沉淀(图版1-6、7),表明形成夕卡岩的热流体携带有金属成矿物质,如在澳大利亚

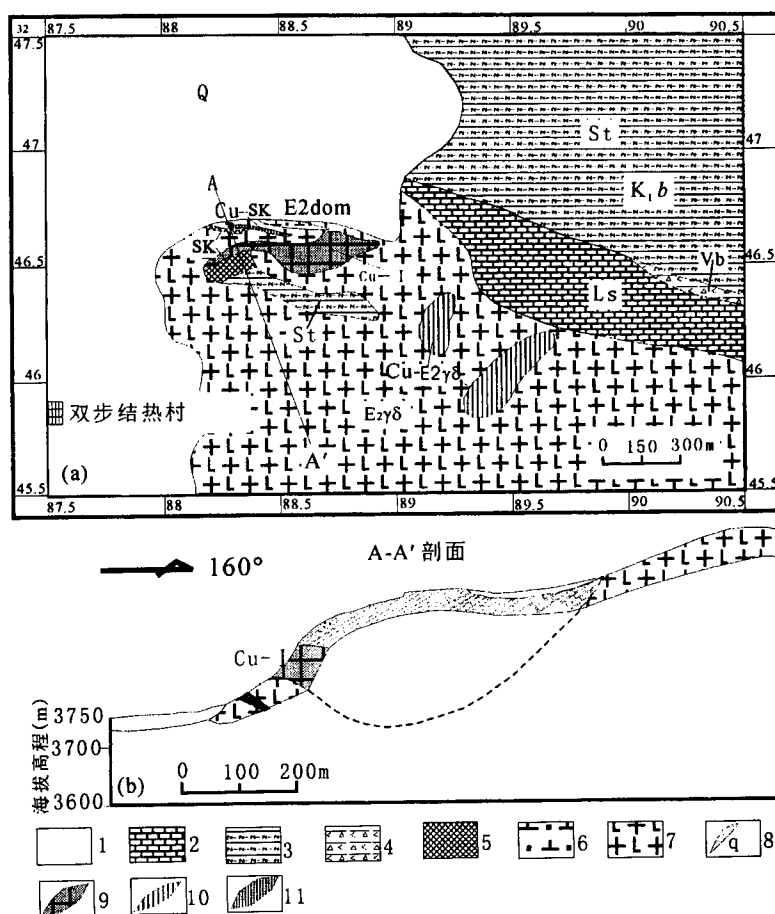


图8 双步结热夕卡岩铜矿平面及剖面地质简图(冶金总局第二地质勘察院资料简化,2004)

Fig. 8 Geologic sketch map and cross section of the Shuangbujie skarn Cu deposit (modified after No. 2 Institute of CEEB, 2004)

1—第四系;2—结晶灰岩;3—变质粉砂岩;4—火山角砾岩;5—石榴石夕卡岩;
6—石英闪长玢岩;7—花岗闪长岩;8—石英脉;9—铜矿体;10—铜矿化
花岗闪长岩;11—铜矿化石榴石夕卡岩

1—Quaternary loosening deposits; 2—Cretaceous limestone of Bima group; 3—Cretaceous metamorphic siltstone of Bima group; 4—Cretaceous volcanoclastic rocks of Bima group; 5—Garnet skarn; 6—Eocene quartz diorite porphyrite ($E_2\delta\mu$); 7—Eocene granodiorite (E_2gd); 8—Quartz vein; 9—Copper ore body; 10—Cu mineralized granodiorite; 11—Cu mineralized garnet skarn

Cadia 夕卡岩矿床中观察到的那样(David et al., 2004)。晚期的含水硅酸盐阶段主要是绿泥石、绿帘石、石英、方解石等交代石榴石夕卡岩,并伴随着硫化物的沉淀,为本区夕卡岩型铜矿形成的主要阶段。通常绿泥石、绿帘石沿石榴石中心及环带或沿石榴石边缘进行交代、以及石榴石微裂隙中充填绿帘石和孔雀石(图9)。

3.2 矿物组合

通过光学显微镜系统观察及电子探针分析,根

据矿石中矿物的共生组合认为:劣布、克鲁、双布吉热、陈坝及冲木达诸矿床主要属夕卡岩型,但与一般夕卡岩矿床相比,其矿物组合要简单得多,如一般含金夕卡岩型铜矿床及以铜为主的铜、铅、锌和钼的多金属矿床中矿物组成相当复杂(王之田等,1994; Zhao et al., 1999)。

表 2 山南地区夕卡岩型 Cu-Mo-Au 矿化蚀变分带

Table 2 Summary characteristics of alteration and mineralization from skarn Cu-Au(Mo) deposits in Shannan area

围岩		岩体	
比马组:碳酸盐岩、粉砂岩互层、间夹火山碎屑岩		石英闪长岩、石英闪长玢岩、二长花岗岩、花岗闪长岩	
外带	外接触带	内接触带	内带
大理岩化、角岩化粉砂岩、角岩化泥岩	夕卡岩化、角岩化、硅灰石化、硅化、绿泥石化、绿帘石化、透闪石化等	绢云母化、硅化、绿泥石化	黑云母化硅化
脉状矿化	似层状、透镜状、囊状矿体	细脉状、浸染状黄铜矿、黄铁矿化	浸染状黄铜矿化

矿石颜色为深灰绿色、红褐色、灰白色。矿石构造(图版Ⅱ-1,2,3,4)主要为:①团块状构造:金属矿物集合体呈团块分布于夕卡岩中,在各矿床中均常见;②块状构造,见于克鲁、冲木达、双布结热等矿区,矿石集合体呈微细粒状、细粒状紧密嵌布,硫化物含量一般为70%~90%;③条带状构造:见于劣布、冲木达、陈坝矿区。是块状矿石矿物集合体呈薄层状、条带状与脉石矿物平行、相间分布形成条带状构造。硫化物颗粒微细~细粒;④条带—浸染状构造,见于劣布、明则、冲木达等矿区。硫化物集合体呈浸染状分布于脉石中,沿一定方向平行或近于平行分布。矿石矿物与脉石矿物之间呈过渡渐变关系。硫化物颗粒为中细粒;⑤细脉—浸染状构造,见于劣布、明则等矿区。硫化物呈细脉状、浸染状分布于脉石中,分布不均匀,且无定向性,硫化物含量小于6%~8%;⑥角砾状构造,主要见于劣布矿区北部、克鲁矿区,暗示热液活动中心。

矿石矿物为磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿及辉钼矿、硫铋铜矿、泡铋矿、铜蓝、自然铜等,含铜矿物以斑铜矿为主(图版Ⅱ-5,6,7,8,9,10),黄铜矿含量相当少,在以铜为主的多金属矿床中的常见矿物-黄铁矿也少有出现,此现象可成为上述诸矿床的主要特征之一,这可能是浅部交代

夕卡岩矿床的特征(Einaudi M. 1981,1982)。脉石矿物为石榴石、绿帘石、透辉石、透闪石、符山石、石英、硅灰石、方解石及长石等。

硅酸盐矿物以石榴石、钙铁辉石、透辉石、绿帘石、符山石及阳起石等为主。其中又以钙铁榴石占大多数,含矿岩石几乎成为石榴石岩。石榴石一般具环带构造,电子探针分析显示中心部分和暗色环带的

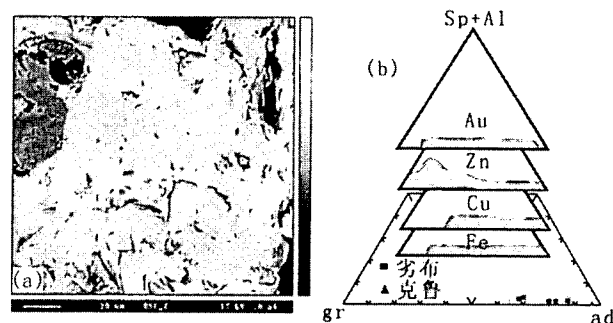


图 9 石榴石的环带结构及其成分投点

Fig. 9 Zonal structure of garnet from the Liebu skarn Cu-Mo deposit

中心部分和暗色环带的组成相当,为钙铁、钙铝并含一定钙锰和钙镁榴石,浅色环带主要由钙铁、钙铝榴石组成,(a)为环带构造的背散射图像,(b)为石榴石的成分投点并与世界其他夕卡岩矿床的成分比较(Meinert, 1989)

Compositions of core and dark rim are similar, mostly containing andradite and grossular and a few pyrope, spessartite and almandite. Gray rim mostly consists of andradite and grossular. (a) BSE image of zonal structure of garnet; (b) Compositional plot of garnet and comparing with that of world other skarn deposits (Meinert, 1989)

组成相当,为钙铁、钙铝并含一定钙锰和钙镁榴石($Ad_{66.79}Gr_{30.57}Py_{0.02}Sp_{1.86}Al_{0.75}$),而浅色环带主要由钙铁、钙铝榴石组成(图9)($Ad_{86.00}Gr_{12.00}Sp_{1.61}Al_{0.40}$)(表3)。除钙铁辉石在本区诸矿床中含量较少外,其他上述硅酸盐矿物不仅含量高,而且共生组合非常符合钙夕卡岩特有的组合形式。研究区内的石榴石组成投点落入钙铁榴石和钙铝榴石端员之间(图9),并靠近钙铁榴石端元,与世界典型夕卡岩矿床中的石榴石组成比较(Meinert, 1989),其成分与夕卡岩 Cu、Au、Fe 矿床的较为接近。

关于石榴石的环带构造,Jamtveit (1991)认为在钙铝榴石和钙铁榴石系列端员之间的非理想固溶体可以解释石榴石中周期性分带,这一点可能与流体组成的周期性变化有关,而石榴石中主量和微量元素的分带归因于 $P-T-f_{O_2}$ 条件下的流体体系的演

化(Jamtveit et al., 1993)。同时,这种分带现象可能受流体渗透速率、动力扩散所导致的 Al/Fe 比值的变化所控制。

斑铜矿(Bornite)Cu₅FeS₄,其组成为 Cu_{63.33}, Fe_{11.12}, S_{25.55}。本矿物与黄铜矿经常密切共生,在我国西藏上述铜矿区中的斑铜矿 Ag 含量最高可达 21880×10⁻⁶,Au 最高可达 1700×10⁻⁶(表 4)。具有很高的综合利用价值。

黄铜矿:常与斑铜矿共生,但含量远小于斑铜矿,其中见斑铜矿的出熔叶片(图 10),其形成可能与 250℃以上成矿流体的缓慢冷却(Aldo et al., 1982)或有序度的变化,斑铜矿的出熔由于大大低于

富铜固熔体端员的固熔体分离曲线温度因而是不是完全有序(Grguric et al., 1999)。

辉钼矿(Molybdenite)MoS₂:浸染状分布于夕卡岩和石英脉中(如劣布矿区),电子探针分析结果表明其含 Re 较高(700×10⁻⁶~1090×10⁻⁶)(表 4)。

硫铋铜矿(Wittichenite)Cu₃BiS₃:硫铋铜矿系自然界中较罕见的一种硫化物,此次在山南一些夕卡岩型矿床中能被发现应具有一定的地质意义。该矿物粒度甚为细小,形状亦不规则,为针状、板状或水滴状的矿物包体分布于斑铜矿中(图版 II -10),在电子扫描图像中亮度与斑铜矿差异甚大,如在冲木达及克鲁矿床中所见。其代表性电子探针分析结果如

表 3 冈底斯东段南部夕卡岩型铜矿代表性石榴石、绿帘石及硅灰石电子探针分析结果

Table 3 Representative electron microprobe analyses of garnet, epidote and wollastonite from skarn Cu-Au-Mo deposits in the Shannan area of Eastern Gangdese

劣布夕卡岩 Cu-Mo 矿床								克鲁夕卡岩 Cu-Au 矿床	
LB4101-85								kL-5	KL-4
矿物	石榴石	石榴石核部	石榴石浅色环带 1	石榴石浅色环带 2	石榴石暗色环带	绿帘石 1	绿帘石 2	硅灰石	石榴石
SiO ₂	36.2848	36.7388	35.7209	35.8239	36.0295	37.9302	38.4234	51.6416	35.2411
TiO ₂	0.0105	0.0267	0	0.0257	0	0.1625	0.1315	0.0121	0
Al ₂ O ₃	4.3461	6.9454	2.8797	3.7568	6.3566	24.6564	25.2185	0	0.6265
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0.0053	0.0193	0.0217	0
Fe ₂ O ₃	25.2442	21.4327	27.1050	25.7919	22.3461	0	0	0	30.1168
MgO	0.0143	0.0048	0	0.0009	0.0309	0.0834	0.0622	0.0232	0.0119
CaO	33.0591	32.9516	32.5397	32.7162	33.2358	23.4600	23.4857	47.6497	32.7567
MnO	0.6781	0.7978	0.6746	0.6587	0.7747	0.1643	0.1425	0.3873	0.1684
FeO	0.0589	0.3250	0.1682	0.0821	0.6939	10.6099	10.4592	0.1301	0
NiO	0.0070	0.0040	0.0375	0	0	0	0	0	0.0329
Na ₂ O	0.0122	0	0.0231	0.0319	0	0	0.0065	0.0133	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0.1122	0.0032	0
H ₂ O	0	0	0	0	0	1.8466	1.8692	0	0
total	99.7151	99.2268	99.1487	98.8880	99.4674	98.9186	99.9302	99.8822	98.9543
Cations to 24 oxygens:									
Si	6.0122	6.0289	6.0054	6.0060	5.9466	6.1586	6.1635	2.0008	6.0041
Ti	0.0013	0.0033	0	0.0032	0	0.0198	0.0159	0.0004	0
Al	0.8487	1.3433	0.5706	0.7423	1.2365	4.7183	4.7676	0	0.1258
Cr	0	0	0	0	0	0.0007	0.0024	0.0007	0
Fe	3.1476	2.6467	3.4291	3.2539	2.7754	0	0	0	3.8612
Mg	0.0035	0.0012	0	0.0002	0.0076	0.0202	0.0149	0.0013	0.0030
Ca	5.8689	5.7936	5.8612	5.8767	5.8773	4.0812	4.0364	1.9779	5.9794
Mn	0.0952	0.1109	0.0961	0.0935	0.1083	0.0226	0.0194	0.0127	0.0243
Fe	0.0082	0.0446	0.0237	0.0115	0.0958	1.4407	1.4031	0.0042	0
Ni	0.0009	0.0005	0.0051	0	0	0	0	0	0.0045
Na	0.0039	0	0.0075	0.0104	0	0	0.0020	0.0010	0
K	0	0	0	0	0	0	0.0230	0.0002	0
total	15.9903	15.9729	15.9986	15.9978	16.0474	16.4621	16.4481	3.9991	16.0024
端元组成:									
	ad79.04	ad66.79gr30	ad86.00	ad81.67	ad68.37			wo99.09	ad96.42
	gr19.17	57py0.02	gr12.00	gr16.57	gr28.15			en0.07	gr3.12
	py0.06	sp1.86	sp1.61	sp1.56	py0.12			fs0.85	py0.05
	sp1.59	al0.75	al0.40	al0.19	sp1.78				sp0.40
					al1.57				

注:电子探针分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成,所用仪器为 CAMECA SX51。

KL-4-2 样, $\text{Ag}_{0.128}$, $\text{Fe}_{0.878}$, $\text{Ni}_{0.008}$, $\text{S}_{19.560}$, $\text{Cu}_{39.182}$, $\text{Zn}_{0.035}$, $\text{Bi}_{41.359}$, $\text{Au}_{0.000}$, 总和 101.15。

电子探针结果显示: Au、Ag 主要赋存于斑铜矿、硫铋铜矿等矿物中。

4 讨论及结论

4.1 成因类型及成因模式

按照产出空间关系与形成深度, 夕卡岩矿床一般有三种类型(Qin et al., 1998): ①远离浅成斑岩, 与结晶灰岩相伴的铜或多金属矿化, 多呈脉状; ②斑岩株接触带的铜或多金属矿化, 下部可能有斑岩型铜矿: 如安徽铜官山、日本 Kamioka Pb-Zn-Cu 矿床、Nakatatsu Pb-Zn-Cu 矿床, 这后两个矿床均与石英斑岩有关(Shimazaki, 1980), 以及美国 Bingham 矿区的夕卡岩型矿化(Einaudi, 1982); ③与等粒或似斑状花岗岩株或岩基相伴的接触交代夕卡岩铜或多金属矿化, 如湖北大冶铁铜矿、日本的 Kamaishi Cu-Fe 矿床(Ishihara, 1981)以及个旧 Sn-Cu 矿床(王之田等, 1994; 赵一鸣等, 1990)。

根据冈底斯成矿带东段的南带山南地区夕卡岩矿床产出的地质背景、矿物组合及流体包裹体研究, 本区已发现的夕卡岩型铜-钼-金矿床, 多属与斑岩株接触带有关的夕卡岩铜矿, 其成矿特征可与澳大利亚的与斑岩铜矿有关的 Cadia 和菲尼宾的 Gossan 夕卡岩型 Cu-Au 矿床(Meinert, et al., 2003; David et al., 2004)及阿根廷的与斑岩型矿化有关

Caicayén Hill 夕卡岩型 Cu-Au 矿床(Marta et al., 2000)相比较。

根据我们对冈底斯东段南带的综合研究表明, 铜矿化主要产于中酸性侵入岩与下白垩统比马组地层的接触带内, 矿化类型有夕卡岩型、脉型和斑岩型矿化等特征初步建立了本区的成矿模式(图 10), 总结了不同侵入期次的侵入岩及其与夕卡岩矿化的关系, 并总结了不同的矿化类型。

4.2 夕卡岩-斑岩型成矿热液系统

余宏全等(2005)、李光明等(2005)通过对冈底斯东段北带的甲马、驱龙矿区年代学、S、Pb 同位素示踪研究, 结果显示甲马、驱龙矿区的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄与二长花岗斑岩的 SHRIMP 年龄完全一致, 都在 15 Ma 左右, 硫化物的 S、Pb 同位素组成也与斑岩体的一致, 并且变化范围很小。这些研究结果揭示出冈底斯成矿带东段北带夕卡岩型铜多金属矿化与斑岩铜矿化在成矿时代上具有良好的一致性, 二者在空间上密切共生, 在成因上也具有明显的成生联系。

4.3 结论

(1) 冈底斯东段南部山南地区的夕卡岩型 Cu-Au(Mo)矿床与冈底斯火山-岩浆弧的渐新世到中新世的高钾钙碱性花岗侵入杂岩有关(20~30Ma); 可能代表了冈底斯的另一个成矿事件。

(2) 这些矿床赋存于下白垩统比马组的碳酸盐岩和其他钙质岩石与岩体的外接触带内。主要类型

表 4 冈底斯东段南部夕卡岩型铜矿金属矿物电子探针分析结果(%)

Table 4 Representative electron microprobe analyses of sulfides(%) from skarn Cu-Au±Mo deposits in the Shannan area of the Southeastern Gangdese

矿床	克鲁夕卡岩 Cu-Au 矿床					冲木达夕卡岩 Cu-Au 矿床			双步结热夕卡岩 Cu 矿床					劣布夕卡岩 Cu-Mo 矿床
样号	KL-4		kl209-2	kl-7	cmd-3			sbjr-26			sbjr-14		LBZ4101-156	
矿物 (样数)	斑铜矿 (2)	泡铋矿 (1)	硫铋铜 矿(6)	自然铜 (4)	黄铜矿 (2)	硫铋铜 矿(6)	黄铜矿 (2)	斑铜矿 (1)	黄铜矿 (3)	斑铜矿 (2)	铜兰(2)	铜兰(5)	黄铜矿 (2)	辉钼矿 (3)
Ag	0.0000	0.004	0.053	0.01425	0.014	0.0938	0.016	0.0000	0.04867	0.4595	1.9495	0.5462	0.072	Nd
Fe	11.2815	0.435	0.73133	0.10175	30.716	0.5933	29.3755	11.68	30.588	11.805	2.3165	2.6212	30.8025	Nd
Co	0.0000	0.022	0.0000	0.01625	0.0000	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0075	0.0035	0.0000	0.0000	Nd
Ni	0.0000	0.06	0.0136	0.009	0.0045	0.0065	0.006	0.026	0.00267	0.01	0.0085	0.0046	0.008	0.026
S	25.9265	0.867	19.5408	0.165	33.9135	19.399	34.1105	26.947	34.245	26.188	26.4365	30.3576	34.5775	39.451
Cu	62.758	3.759	39.7567	99.4875	34.65	38.4475	35.7325	62.039	34.978	62.536	69.735	67.5068	35.255	Nd
Zn	0.0000	0.081	0.03417	0.009	0.0000	0.0115	0.0000	0.001	0.03067	0.0000	0.018	0.0000	0.0000	Nd
Bi	0.0000	71.103	41.02433	0.0000	0.0000	37.1627	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	Nd
Au	0.0000	0.07	0.03	0.0000	0.0000	0.00733	0.0000	0.0000	0.0000	0.021	0.0815	0.0168	0.0555	Nd
Mo	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	58.257
Re	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.085
total	99.97	76.40	101.30	99.80	99.30	95.72	99.95	100.70	99.89	101.026	100.55	101.054	100.78	97.819

注: Nd—无数据。电子探针分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成, 所用仪器为 CAMECA SX51。括号内数字为分析点数。

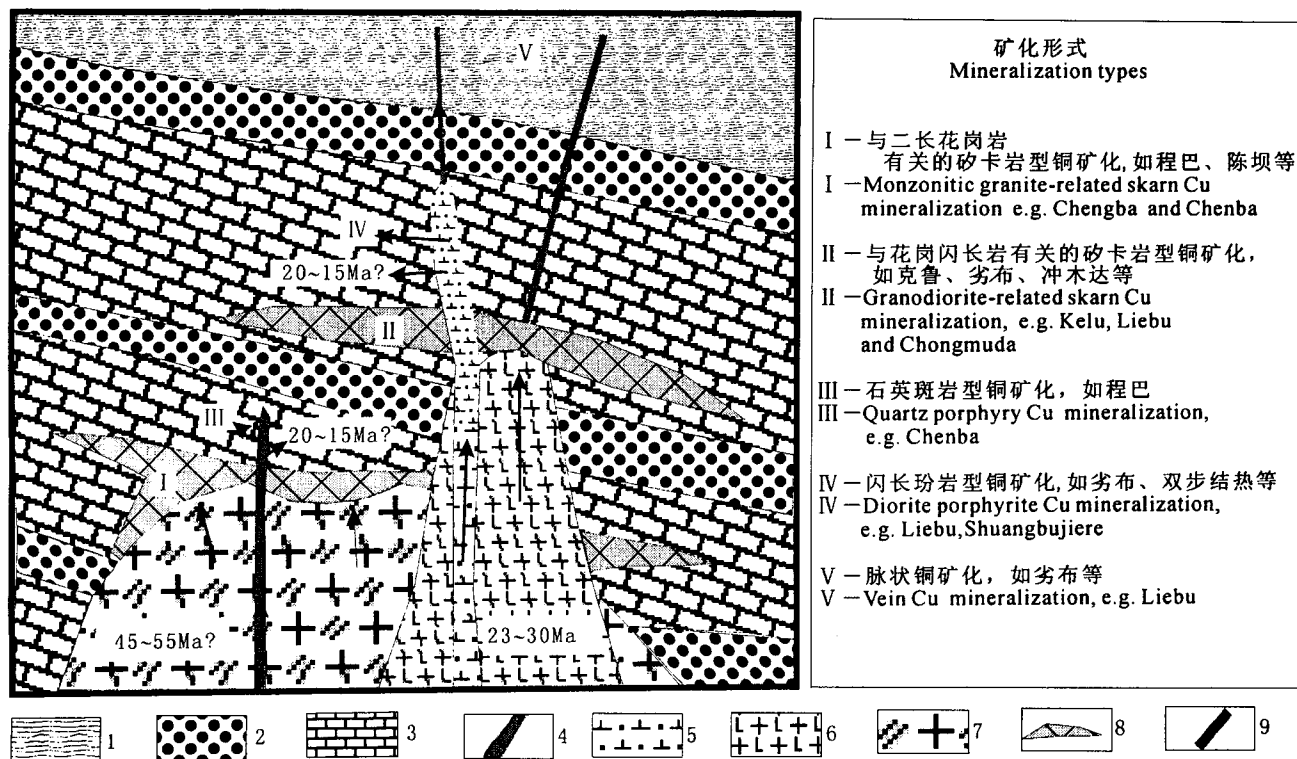


图 10 冈底斯东南部山南地区斑岩-夕卡岩矿床成矿模型,图中显示与斑岩-夕卡岩成矿系统有关的侵入岩侵入次序、矿化类型及其流体流动路径

Fig. 10 Idealized genetic model for the formation of the porphyry-skarn Cu-Au(Mo) deposits in the area Shannan at the eastern segment of the Gangdese volcan-intrusion belt. Figure shows sequences of intrusion-related porphyry skarn system, mineralization types and potential fluid paths

1—比马组地层; 2—角闪岩带; 3—夕卡岩带; 4—铜矿化石英斑岩; 5—铜矿化闪长玢岩; 6—花岗闪长岩; 7—二长花岗岩; 8—夕卡岩型 Cu 矿体; 9—脉状 Cu 矿体

1—Formation of Bima Group; 2—Horfels zone; 3—Skarn zone; 4—Cu mineralized quartz porphyry; 5—Cu mineralized diorite porphyrite; 6—Granodiorite; 7—Monzonitic granite; 8—Skarn Copper ore body; 9—Vein copper ore body

为夕卡岩型、热液脉型和斑岩型,矿化组合主要为 Cu-Mo、Cu-Au 和 Cu 矿化。在整个山南地区的夕卡岩矿床均不发育内夕卡岩。

(3) 本区的夕卡岩主要为钙铁-钙铝石榴石夕卡岩,辉石类矿物较少。

(4) 含铜硫化物以富斑铜矿为特征。

(5) Au、Ag 主要赋存于斑铜矿、硫铋铜矿等矿物中。

(6) 山南地区的夕卡岩型铜-金矿床均为浅部夕卡岩,在某些夕卡岩型铜金矿床中显示了斑岩型矿化的存在,可能暗示该区的夕卡岩型矿化可能与北带相似,具有统一的斑岩型-夕卡岩型成矿系统。

4.4 勘查意义

目前的工作结果揭示在冈底斯东段的北带甲马、驱龙矿区已发现与夕卡岩铜矿共生的斑岩铜矿,

存在统一的夕卡岩、斑岩型成矿系统。而在山南地区,目前的工作结果显示该区的铜-金矿床主要为夕卡岩型,但不容忽视的是在一些矿床中已初步揭示斑岩型矿化的存在,也应存在统一的夕卡岩-斑岩型铜-金成矿系统。因此本区在矿床深部具有寻找斑岩铜金矿的可能性,深部找矿潜力还很大,这对于本地区及其区域上的矿产勘查具有重要的意义。

致谢: 在野外工作期间得到冶金总局第二地质勘查院西藏项目组的大力协助,研究工作还得到了项目首席科学家侯增谦研究员的支持和关注,在此表示衷心感谢! 同时要感谢不具名的审稿人认真细致的审阅,提出了许多具体的修改意见!

参考文献

程力军,李志,刘鸿飞,杜光伟,郭建慈. 2001. 冈底斯东段铜多金属成矿带的基本特征,西藏地质,19 (1):43~53.

- 杜光树, 姚鹏, 等. 1998. 喷流成因夕卡岩与成矿. 成都: 四川科学技术出版社.
- 杜光伟, 程力军, 等. 2001. 西藏冈底斯东段地球化学特征及其成矿远景. 西藏地质, 19(1): 73~79.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 2003. 青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. 中国科学(D 辑), 33(7): 609~618.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义. 矿床地质, 24(5): 481~489.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄. 大地构造与成矿学, 28(2): 165~170.
- 林武, 梁华英, 张玉泉, 等. 2004. 冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征. 地球化学, 33(6): 585~591.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 2003a. 西藏冈底斯东段斑岩铜矿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. 矿床地质, 22(3): 246~252.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 2003b. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义. 地质论评, 49(6): 660~666.
- 曲晓明, 侯增谦, 国连杰, 等. 2004. 冈底斯铜矿带埃达克质含矿斑岩的源区组成与地壳混染: Nd、Sr、Pb、O 同位素约束. 地质学报, 78(6): 813~821.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二个“玉龙”铜矿带? 矿床地质, 20(4): 355~366.
- 曲晓明, 侯增谦, 李振清. 2003. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义. 地质学报, 77(2): 245~252.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升. 矿床地质, 22(3): 217~224.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应. 地学前缘, 11(1): 145~152.
- 余宏全, 丰成友, 张德全, 等. 2005. 西藏冈底斯中东段夕卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析. 矿床地质, 24(5): 508~520.
- 王方国, 李光明, 林方成. 2005. 西藏冈底斯地区夕卡岩型矿床资源潜力初析. 地质通报, 4: 378~385.
- 王少怀, 陈自康. 2003. 西藏克鲁—冲木达铜金矿带矿床地质特征及其成矿规律. 地质与勘探, 39(2): 21~25.
- 王之田, 秦克章, 张守林. 1994. 大型铜矿地质与勘探. 北京: 冶金工业出版社, 165.
- 姚鹏, 王全海, 李金高. 2002a. 西藏甲马—驱龙矿集区成矿远景. 中国地质, 29(2): 197~202.
- 姚鹏, 郑明华, 彭勇民, 等. 2002b. 西藏冈底斯岛弧带甲马铜多金属矿床成矿物质来源及成因研究. 地质论评, 48(5): 468~479.
- 赵一鸣, 等. 1990. 中国夕卡岩矿床. 北京: 地质出版社, 354.
- 郑有业, 王保生, 樊子珩, 等. 2002. 西藏冈底斯东段构造演化与铜多金属成矿潜力分析. 地质科技情报, 21(2): 55~60.
- Aldo Durazzo, Lawrence A. Taylor. 1982. Experimental exsolution textures in the system bornite-chalcopyrite: Genetic implications concerning natural ores. Mineralia Deposita, 17(1): 79~97.
- Coleman M, Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14Ma ago from an ewminimum age forest-west extension. Nature, 374: 49~52.
- David B Forster, Philip K Seccombe. 2004. Controls on Skarn Mineralization and Alteration at the Cadia Deposits, New South Wales, Australia, Economic Geology, 99: 761~788.
- Einaudi M T. 1982. General features and origin of skarns associated with porphyry copper plutons: Southwestern North America. In Titley S R, ed. Advances in geology of the porphyry copper deposits, Southwestern North America: Tusson, AZ, Univ. of Ariz. Press, 185~210.
- Einaudi M T, Meinert L D, Newberry R J. 1981. Skarn deposits: Economic Geology 75th Anniversary Volume, 317~391.
- Grguric B A, Putnis A. 1999. Rapid exsolution behaviour in the bornite-digenite series, and implications for natural ore assemblages. Mineralogical Magazine, 63(1): 1~12.
- Harrison T M, Yin A, Grove M, et al. 2000. The Zedong window: A record of superposed Tertiary convergence in southeastern Tibet. J. Geophys. Res., 105: 19211~19230.
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. 75th Anniv. Vol., Economic Geology, 458~484.
- Jamtveit B, Wogelius R A, Fraser D G. 1993. Zonation patterns of skarn garnets: records of hydrothermal system evolution. Geology 21, 113~116.
- Jamtveit Bjorn. 1991. Oscillatory zonation patterns in hydrothermal grossular andradite garnet, nonlinear dynamics in regions of immiscibility. American Mineralogist, 76(7-8): 1319~1327.
- Meinert L D, Hedenquist J, Satoh W H, Matsuhisa Y. 2003. Formation of Anhydrous and Hydrous Skarn in Cu-Au Ore Deposits by Magmatic Fluids. Economic Geology, 98: 147~156.
- Li Guangming, Qin Kezhong, Ding Kuishou, Zhang Xingchun. 2005. Cenozoic Skarn Cu-Au deposits in SE-Gangdese: Features, Ages, Mineral Assemblage and Exploration Significance, 8th Biennial SGA Meeting, Springer, 2: 1239~1241.
- Marta B Franchini. 2000. Skarns Related to Porphyry-Style Mineralization at Caicayen Hill, Neuquen, Argentina: Composition and Evolution of Hydrothermal Fluids, Economic Geology, 95: 1197~1213.
- Meinert L D. 1989. Gold skarn deposits-Geology and exploration criteria: in Groves D, Keays R, Ramsay R, eds. Proc. of Gold'88, Economic Geology Monograph 6, 537~552.
- Meinert L D. 1995. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization. Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 23: 401~418.
- Pierce J A, Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud. London: Phil. Trans. Roy. Soc Lond. A327: 203~213.
- Qin K Z, Ishihara S. 1998. On the possibility of porphyry copper mineralization in Japanese Islands. International Geology Review, 40(6): 539~551.
- Qin K Z, Tosdal R, Li G M, Zhang Q, Li J L. 2005. Formation of the Miocene porphyry (Cu-Mo-Au) deposits in the Gangdese arc, southern Tibet, in a transitional tectonic setting. In: Zhao Caisheng and Guo Baojian editors: Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. China land publishing House, Volume 3: 44~47.
- Shimazaki H. 1980. Characteristics of skarn deposits and related acid magmatism in Japan. Economic Geology, 75: 173~183.
- Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalaya Tibetan orogen. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 28: 211~280.
- Zhao Yiming, Zhang Yinan, Bi Chengsi. 1999. Geology of gold-bearing skarn deposits in the middle and lower Yangtze River Valley and adjacent regions. Ore Geology Reviews, 14: 227~249.

图版说明

图版 I

劣布夕卡岩型铜矿化及辉钼矿化宏观特征及冈底斯东段南部夕卡岩型铜矿蚀变镜下特征。

1. 石榴石夕卡岩及其中铜矿化。

2. 石榴石夕卡岩中穿插孔雀石化石英细脉和绿帘石化。

3. 比马组地层中顺层产出的铜矿化。

4. 脉状铜矿化。

5. 夕卡岩中浸染状辉钼矿化。

早期夕卡岩阶段:

6. 劣布矿区石榴石夕卡岩。

7. 陈坝矿床石榴石夕卡岩。

晚期的含水硅酸盐阶段:

8. 绿帘石绿帘石沿石榴石边缘进行交代(冲木达矿床)。

9. 绿帘石化、绿帘石交代石榴石,并伴随硫化物沉淀(劣布矿床)。

10. 石榴石微裂隙中的绿帘石化和孔雀石化(陈坝矿床)。

图版 II

冈底斯东段南部夕卡岩型铜矿矿石结构构造及矿石矿物共生组合特

征。

1. 稠密浸染状、半块状矿石(劣布矿区)。

2. 团块状矿石,金属矿物集合体呈团块分布于夕卡岩中(双步结热矿床)。

3. 浸染状、条带状矿石,硫化物集合体呈浸染状分布于脉石中或沿一定方向平行或近于平行分布。4. 闪长玢岩中的浸染状铜矿化。

5. 石榴石裂隙中的斑铜矿、黄铜矿化(劣布矿床)。

6. 石榴石粒间的黄铜矿、斑铜矿化(劣布矿床)。

7. 沿黄铜矿、斑铜矿裂隙充填铜蓝(双步结热矿床)。

8. 石榴石粒间的黄铜矿、斑铜矿化(克鲁矿床)。

9. 氧化黄铜矿中斑铜矿的出熔体叶片(陈坝矿床)。

10. 斑铜矿中的硫铋铜矿(冲木达矿床)。

Geology and Mineral Assemblage of Tertiary Skarn Cu-Au±Mo Deposits in the Southeastern Gangdese Arc: Implications for Deep Exploration

LI Guangming¹⁾, QIN Kezhang¹⁾, DING Kuishou¹⁾, LI Jinxiang¹⁾, WANG Shaohuai^{2,3)},
JIANG Sanyuan²⁾, LIN Jindeng²⁾, JIANG Huazai²⁾, FANG Shuyuan²⁾, ZHANG Xinchun⁴⁾

1) Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

2) No. 2 Institute of CEEB, Putian, Fujian, 351111; 3) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037; 4) Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002

Abstract

Medium-and large-scaled skarn Cu-Au±Mo deposits, e. g. Kelu, Liebu, Chongmuda and Chenba etc., are distributed in Shannan area of the Gangdese Cu-Au metallogenic belt. Intrusions-related skarn copper mineralization belongs to high K and calc-alkalic rock series, located in late collision volcano-magmatic arc and formed between 20 to 30Ma. Copper mineralization occurs at exocontact zone of the lower Cretaceous Bima Group carbonate and other calcareous-bearing sedimentary rocks with intrusions. At present, three main mineralization types are identified, including skarn type, hydrothermal vein type, and porphyry type. Mineralizing associations are Cu-Mo, Cu-Au, and Cu. In ore districts, those mineralization types form an entire porphyry-skarn Cu-Au±Mo ore forming system. Alterations of the exocontact are mainly skarnization and hornfelsization, while the alterations of the endocontact are mainly sericitization, silification and chloritization of intrusion. In the study area, the endoskarn is not well developed. Copper mineralization occurs mainly in the exocontact in the form of stratoid, lenticular and pockety ore body. Veined mineralization can be seen in marblized and hornfelsed siltstone, being away from the contact zone. In the endocontact, the mineralization is mainly veinlet-like and disseminated. In the study area, skarnization can be divided into early skarnization stage and late water-bearing silicate stage. The early skarnization stage is featured by mainly andradite and grossular skarn, containing minor diopside, hedenbergite, magnetite and some copper minerals; and the late water-bearing silicate stage is of replacement of garnet skarn by chlorite, epidote, quartz, calcite and together sulfides precipitation. The latter is the main stage of copper mineralization. Bornite is the dominant ore mineral associated with minor chalcopyrite and pyrite; and gold as well as silver are distributed in bornite and wittichenite etc.

The Cu-Au skarn deposits in the Kelu-Liebu-Chongmuda belt are interpreted as the shallow level skarn related deposits in an uniform porphyry-skarn ore forming system. Appearance of porphyry copper mineralization in some skarn deposits implies that skarn copper mineralization of the study area resemble to those in northern sub-metallogenic belt, having uniform porphyry-skarn ore forming system. Therefore, it is presumed there should be potential to find deep level porphyry-type Cu-Au mineralization targets.

Key words: skarn Cu-Au±Mo deposits; shallower skarn; mineral assemblage; exploration of deeper porphyry copper deposits; Shannan area of the Southeastern Gangdese

