

编号: 0258-7106 (2011) 02-0179-18

西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型*

唐菊兴¹, 邓世林², 郑文宝², 应立娟¹, 汪雄武², 钟康惠², 秦志鹏², 丁 枫²,
黎枫估³, 唐晓倩², 钟裕峰², 彭慧娟²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 成都理工大学, 四川 成都 610059; 3 中国石油集团川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司, 四川 成都 610213)

摘 要 甲玛铜多金属矿床是西藏藏中有色金属开发基地的重要矿床。文章重点研究了该矿床的成矿地质条件、找矿标志、地球化学勘查模型、地球物理勘查模型、矿体空间结构等。研究表明 赋矿地层为林布宗组(K_1l) 砂板岩、角岩和多底沟组(J_3d) 大理岩、灰岩, 角岩控制了钼(铜)矿体的分布, 角岩与大理岩之间的层间构造是矽卡岩型矿体的赋存部位。广泛发育的角岩构成良好的圈闭, 使金矿岩浆热液在层间构造圈闭、岩性圈闭中成矿。矿区出露花岗斑岩、黑云母二长花岗斑岩、花岗闪长玢岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩等 9 种侵入岩, 与成矿有关的为高钾钙碱性系列的花岗斑岩、二长花岗斑岩类, 它们被动地充填于构造作用形成的虚脱空间中。甲玛-卡军果推覆构造系的牛马塘复式背斜控制了矽卡岩型矿体和斑岩型矿体的产出。1:1 万土壤地球化学勘查模型显示 异常浓集中心的元素组合为 Cu-Mo-Au-Ag-Bi-Sn, 其中, Mo、Bi、Sn 等高温元素为内环异常元素, As、Sb、Hg、Pb、Zn、Co、Ni 是外围异常元素。Co、Ni 异常代表的是一种原岩为碳泥质砂板岩的异常; As、Sb、Hg 异常代表的是角岩中广泛分布的弥散性黄铁绢云岩化, 代表斑岩成矿系统外围的蚀变异常。Cu、Mo、Au、Ag、Sn、Bi 元素在剖面上呈‘M’型分布型式。1:1 万地球物理勘查模型为 高精度磁测异常、视电阻率异常在剖面上显示为‘W’分布型式, 视极化率异常表现为波浪起伏的特征。斑岩成矿系统矿化强烈的区域显示为低磁异常(ΔT 值为 0~200 nT), 接触带为中高磁异常(ΔT 值为 200~1 500 nT), 环状的中高磁异常带构成了斑岩矿化体的接触带特征。角岩型矿体、矽卡岩型矿体和斑岩型矿体的分布区极化率在 4%~10% 之间, 视电阻率在 50~700 $\Omega \cdot m$ 之间。除了物化探异常标志外, 巨大的火烧皮和热蚀变、浅地表密集岩脉是最重要的找矿标志。基于以上研究成果的系统钻探工程(约 14.5 万米钻探工作量)证实甲玛铜多金属矿床是一个典型的斑岩型矿床。从矿体的剖面结构看, 从围岩→赋存于角岩中的钼(铜、金、银)矿体→矽卡岩型铜钼铅锌(金银)矿体→斑岩钼铜(金银)矿体, 甲玛铜多金属矿床构成一个完整的斑岩成矿系统, 在斑岩中形成斑岩型钼(铜)矿石, 角岩中形成细脉浸染状、网脉状钼铜矿石, 矽卡岩中形成细脉浸染状、块状铜钼、铅锌(铜)矿石。

关键词 地质学 斑岩成矿系统 矿床勘查模型 找矿标志 成矿地质条件 甲玛 西藏

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

An exploration model for Jiama copper polymetallic deposit in Maizhokunggar County, Tibet

TANG JuXing¹, DENG ShiLin², ZHENG WenBao², YING LiJuan¹, WANG XiongWu²,
ZHONG KangHui², QIN ZhiPeng², DING Feng², LI FengJi³, TANG XiaoQian²,
ZHONG YuFeng² and PENG HuiJuan²

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3 Geophysical Exploration Company, Chunqing Drilling Engineering Co. Ltd., China National Petroleum Corporation, Chengdu 610213, Sichuan, China)

* 本文得到中央公益性行业科研专项‘西藏甲玛斑岩铜多金属矿科学基地研究’课题(编号: 200911007-02)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)、青藏专项(编号: 1212010818089; 1212010012005)及中金集团重点勘探项目‘E0804’的共同资助

第一作者简介 唐菊兴, 男, 1964 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床勘查与评价。Email: tangjuxing@126.com

收稿日期 2010-12-10; **改回日期** 2011-01-20。张绮玲编辑。

Abstract

The Jiama copper polymetallic deposit in Tibet is a significant ore deposit serving as a nonferrous metal base in central Tibet. This paper deals emphatically with the ore bodies in such aspects as its metallogenic geological conditions, prospecting indicators, geochemical exploration model, geophysical exploration model and spatial framework. Studies show that the ore-controlling strata are sandy slate and hornfels of Linbuzong Formation (K_1l) and marble and limestone of Duodigou Formation (J_3d), and that hornfels controls the distribution of hornfels-type ore bodies, and inter-layer structure between hornfels and marble controls skarn-type ore bodies due to the good trap formed by the hornfels which caused good magmatic hydrothermal mineralization. There are nine types of exposed magmatic rocks, such as granite porphyry, biotite monzonite granite porphyry, granite diorite porphyrite, quartz diorite porphyry and diorite porphyry. Granite of high-K calc-alkaline series is related to the passive filling of mineralization into the collapse space caused by the structure. The ore-forming structure is the Niumatang complex anticline in the center of the Jiama-Kajunguo nappe structure controlling the generation of skarn and porphyry type ore bodies. The geochemical exploration model at the scale of 1:10 000 indicates that Cu-Mo-Au-Ag-Bi-Sn, and Mo are concentrated in the anomaly center, Bi and Sn as the high temperature elements exist in the internal circle and As, Sb, Hg, Pb, Zn, Co and Ni as the lower temperature elements are present in the external circle. Co and Ni anomalies suggest that the original rocks were carbonaceous and argillaceous sandy slate, As, Sb and Hg anomalies imply the wide distribution of pyrite in hornfels and represent the external alteration of porphyry metallogenic system. Cu, Mo, Au, Ag, Sn and Bi assume "M"-shaped distribution along the cross section. The geophysical exploration model at the scale of 1:10 000 indicates that the high precision magnetic anomaly and apparent resistance anomaly assume "W"-shaped distribution along the cross section, whereas the apparent chargeability anomaly shows the wave shape. The areas with intense mineralization of the porphyry metallogenic system show low magnetic anomalies (ΔT values being 0~200 nT) and the orbicular contact zone has intermediate-high magnetic anomalies (ΔT value being 200~1 500 nT) with the features of porphyry mineralization. The polarizability in the distributive areas of hornfels, skarn and porphyry type ore bodies is 4%~10%, and the apparent resistivity is 50~700 Ωm . The other significant prospecting indicators are huge limonite coverage and hydrothermal alteration, and concentrate rock bodies at the surface, in addition to the indicators of geophysical and geochemical anomalies. On the basis of the above data, the systematic drilling to the depth of 145 000 m has confirmed the typical porphyry metallogenic system in the Jiama copper polymetallic deposit. The zoning of wall rock $\rightarrow$ hornfels type Mo-Cu(-Au-Ag) $\rightarrow$ skarn-type Cu-Mo-Pb-Zn(-Au-Ag) $\rightarrow$ porphyry Mo-Cu(-Au-Ag) along the section has constituted an integrated porphyry metallogenic system forming porphyry type Mo(-Cu) ore bodies in the porphyry, network Cu-Mo ore bodies in the hornfels and veinlet-disseminated and massive Cu-Mo and Pb-Zn(Cu) ore bodies in the skarn.

Key words: geology, porphyry metallogenic system, exploration model of ore deposit, prospecting criteria, metallogenic geological condition, Jiama, Tibet

冈底斯成矿带东段的甲玛铜多金属矿床的找矿突破,与西藏地勘单位长期的、艰苦卓绝的努力是分不开的,也与地质大调查长期的综合研究密不可分,同时,与矿床成矿系列理论对找矿实践的指导有关(陈毓川等,2007;汪登红等,2005;毛景文等,2009)。甲玛铜多金属矿床的勘查取得了突破,提交的资源

量可供中国黄金集团开发百年以上,并成为中央第五次援藏工作会议确定的西藏藏中有色金属开发基地中第一个规模经济开发的矿床。对该矿床的地质特征(唐菊兴等,2010b)、成岩成矿年龄(李光明等,2005;应立娟等,2009,2010)、元素分布规律(郑文宝等,2010)、矿床成因(杜光树等,1998;冯孝良等,

2001 ;芮宗瑶等, 2003 ;侯增谦等, 2006 ;连玉等, 2008 唐菊兴等, 2009^{①②} ;2010b) 等方面的研究已经较为深入。本文试图通过归纳该矿区的成矿地质条件、找矿标志、土壤地球学测量、地球物理测量、矿体空间结构剖析等方面的研究成果, 总结出甲玛矿床的勘查模型, 为区域找矿指明方向。

1 成矿地质背景

甲玛矿区位于冈底斯带的冈底斯-念青唐古拉复合火山岩浆弧的东部(图 1)。潘桂棠等(2006)将冈底斯-念青唐古拉复合岩岩浆弧地体自南向北分为

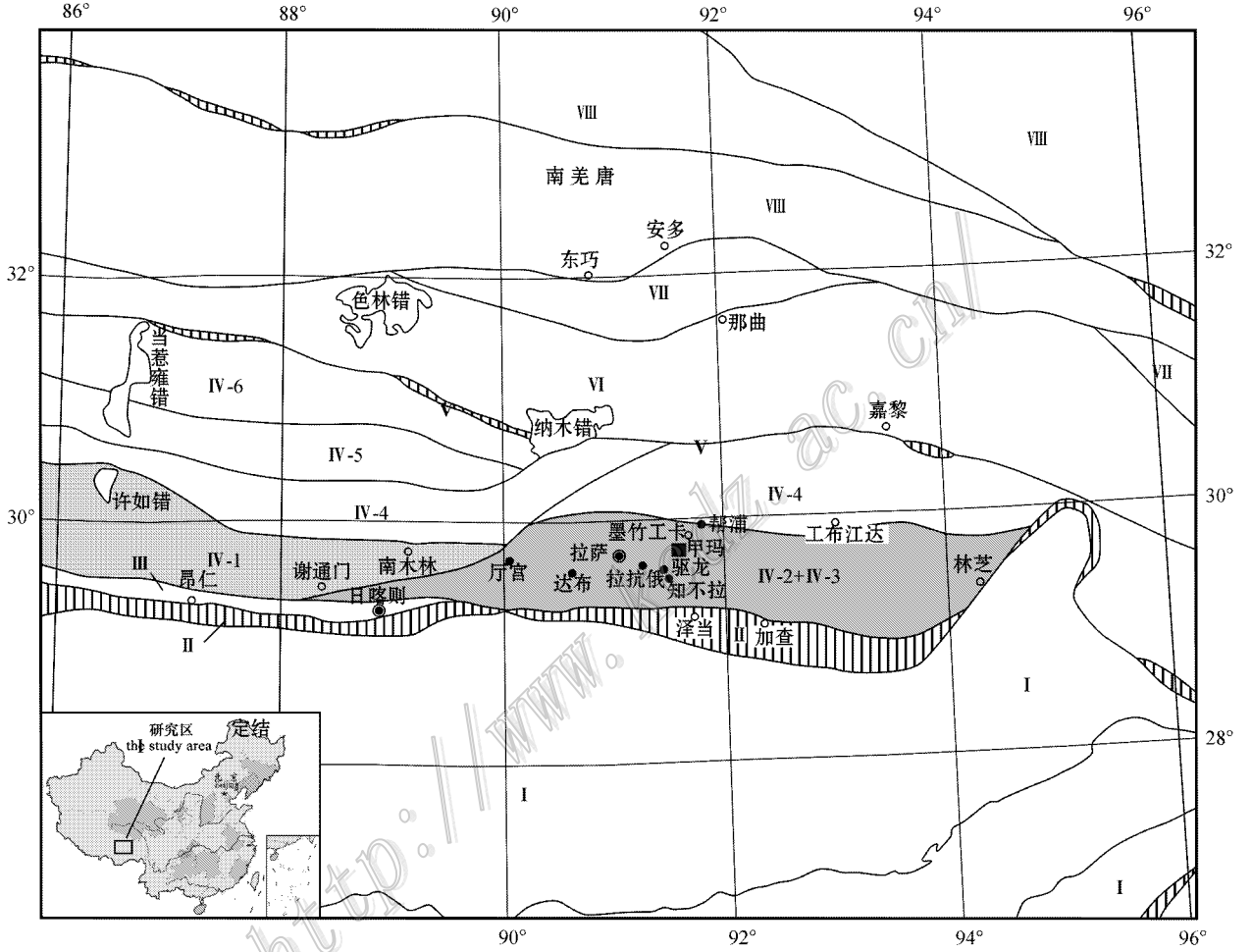


图 1 西藏构造单元划分和冈底斯构造单元细结构(据潘桂棠等, 2006 略作修改)
I —喜马拉雅带; II —雅鲁藏布缝合带; III —日喀则弧前盆地; IV —冈底斯-念青唐古拉复合岩岩浆弧: IV-1. 南冈底斯岩岩浆弧(K_2-E_2); IV-2 + IV-3. 桑日火山弧(J_3-K_1) + 叶巴火山弧(J_1-J_2); IV-4. 隆格尔-念青唐古拉复合火山岩浆弧($P-T_3$); IV-5. 措勤-多瓦复合弧后前陆盆地; IV-6. 则弄火山岩岩浆弧(J_3-K_1); V. 狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密弧碰撞带(简称 Slainajap 带); VI. 昂龙岗日-班戈-伯舒拉岭岩岩浆弧; VII. 班公湖-怒江缝合带; VIII. 南羌塘和左贡前陆盆地

Fig. 1 Tectonic subdivisions of the Gangdise Orogenic Belt in Tibet (modified after Pan et al., 2006)
I —Himalayan belt; II —Yalung Zangbo suture; III —Xigaze forearc basin; IV —Gangdise-Nyainqentanglha compound magmatic arc; IV-1. South Gangdise magmatic arc (K_2-E_2); IV-2 + IV-3. Sangri volcanic arc (J_3-K_1) + Yeba volcanic arc (J_1-J_2); IV-4. Longgeer-Nyainqentanglha compound volcanic magmatic arc ($P-T_3$); IV-5. Cuoqin-Duowa compound back-arc foreland basin; IV-6. Zenong volcanic magmatic arc (J_3-K_1); V. Shiquanhe-Laguocuo-Asuo-Yongzhu-Namucuo-Jiali-Bomi arc-arc collision belt (Slainajap belt); VI. Anglonggangri-Bangkog-Boshulaling magmatic arc; VII. Bangonghu-Nujiang suture belt; VIII. South Qiangtang and Zuogong foreland basin

① 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭 娜,郭 科,郑文宝,秦志鹏,李 磊,凌 娟,叶 江,黎枫信,姚晓峰,李志军,孙 艳,王 友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区 0-16-40-80、0-15 线矿段铜多金属矿勘探报告. 内部资料.
② 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭 娜,郭 科,郑文宝,秦志鹏,李 磊,凌 娟,叶 江,黎枫信,姚晓峰,李志军,孙 艳,王 友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区外围铜多金属矿详查报告. 内部资料.

南冈底斯岩浆弧(K_2-E_2)(IV-1),桑日火山弧(J_3-K_1)(IV-2),叶巴火山弧(J_1-J_2)(IV-3),隆格尔-念青唐古拉复合火山岩浆弧($P-T_3$)(IV-4),措勤-多瓦复合弧后前陆盆地(IV-5),则弄火山岩浆弧(J_3-K_1)(IV-6)(图1)。矿区位于冈底斯桑日火山弧(J_3-K_1)和叶巴火山弧(J_1-J_2)的范围内,鉴于在谢通门县雄村-洞嘎普一带已经确定与叶巴组相同的火山岩层位(曲晓明等,2007;唐菊兴等,2006^①;2009;2010a),唐菊兴等(2006)^①将其初定为雄村组(J_{1-2x}),因此,建议将冈底斯桑日火山弧与叶巴火山弧2个构造单元合并。

冈底斯-念青唐古拉地体,肇始于雅鲁藏布江洋的形成与扩张,其南缘的演化与甲玛矿床的形成有密切关系,依据前人研究(夏代祥等,1993)和区域地质事实,该地体的演化主要有以下几个阶段:晚三叠世—早白垩世被动陆缘,晚白垩世—古近纪陆缘岩浆弧,古近纪早中期碰撞造山阶段,古近纪中晚期至新近纪早期陆内伸展走滑阶段。甲玛铜多金属矿床、驱龙铜钼矿床、帮浦铜矿床都产于冈底斯-念青唐古拉地体南缘,在呈北东向展布的拉抗俄-墨竹工卡-邦浦铜钼铅锌(金)多金属矿化带上(图1)。

2 控矿条件分析

2.1 矿体地质概况

甲玛铜多金属矿床矿体按照赋矿岩石的不同可划分为矽卡岩型铜多金属矿体和斑岩型钼(铜)矿体,斑岩型矿体又可分为产于斑岩中的钼(铜)矿体和产于角岩中的钼铜矿体,各矿体特征分述如下:

矽卡岩型铜多金属矿体 为甲玛铜多金属矿床主要的工业矿体(图2),可开采的工业矿石储量占矿区总储量的70%以上。矽卡岩型铜多金属矿体根据其产状又可划分出9个矿体,其中,I号主矿体呈层状、厚板状产于下白垩统林布宗组砂板岩、角岩(矿体顶板)与上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩(矿体底板)的层间扩容空间内。矿体走向约 300° ,延长大于3000m(分布于47—0—56线)倾向 30° ,延伸大于2500m(未控制边界)。受推覆构造控制,矿体产状具明显的上陡下缓的特点,上部矿体倾角一般 $50^\circ\sim 70^\circ$,为铅锌(金银)矿石组合。下部矿体倾角一般小于 20° ,为铜钼(金银)矿石组合;除了矿体西边界

有个别钻孔未见矿外,I号主矿体连续性好,目前控制的该矿体最大连续厚度为291.3m(ZK024),其Cu平均品位(质量分数,下同)为0.97%,Mo平均品位为0.053%。另有其他8个小矿体呈透镜状或囊状产于滑覆构造内林布宗组与多底沟组层间的矽卡岩中,分布于矿区56~88线,单个矿体规模较小,走向与倾向延伸均不超过300m,矿体厚度一般小于10m。矽卡岩型矿体矿石中主要矿石矿物为黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、辉铜矿、黝铜矿等,脉石矿物以石英和矽卡岩矿物为主(主要为石榴子石、硅灰石、透辉石与透闪石等)。矿石主要为细脉浸染状、浸染状、块状构造。

产于斑岩中的钼(铜)矿体 形态上主要呈筒状,产于0~40线北边(以ZK1616~ZK3216为中心)(图3)。空间上整体处于矽卡岩型铜多金属矿体下部,并部分穿过矽卡岩型主矿体。目前初步控制的矿体长约600m(8~24线),已有钻孔(ZK2414)连续见矿厚度达544.73m,Cu平均品位0.23%,Mo平均品位0.052%,矿体仍未穿透。深部含矿斑岩主要为黑云母花岗闪长斑岩与二长花岗斑岩。矿石具有典型的细脉浸染状构造,主要的矿石矿物有辉钼矿、黄铜矿等,脉石矿物主要为石英、长石、黑云母、绢云母等。

产于角岩中的钼铜矿体 形态上呈筒状产于0~40线角岩中,空间上整体位于矽卡岩型铜多金属矿体上部和产于斑岩中的钼铜矿体外围。已控制的矿体长约1000m,最大厚度达826m(ZK3216),Cu平均品位0.24%,Mo平均品位0.054%。随着勘查工作的不断深入,矿体规模将不断扩大。矿石以细脉浸染状构造为特征,主要的矿石矿物为辉钼矿、黄铜矿等,主要的脉石矿物为石英、黑云母、绢云母等。

2.2 岩浆作用对成矿的控制

区内火山岩集中分布在墨竹工卡以南的甲玛—班禅牧场—沃卡一带中侏罗统叶巴组地层中(图2)。火山岩带呈东西向狭长状,东西长约120km,出露宽约4~10km。喷发中心在甲玛以南,向东、西厚度和宽度减小并尖灭。叶巴组岩石组合为英安岩、流纹岩、凝灰岩、火山角砾岩等中酸性火山岩夹砂岩、泥岩和灰岩。顶部被却桑温泉组(J_{3q})或多底沟组呈角度不整合覆盖,底部被燕山晚期花岗岩侵入。岩石普遍具有变质和蚀变现象,具片状构

① 唐菊兴,李志军,钟康惠,等. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜(金)矿勘探报告. 成都:成都理工大学档案馆.

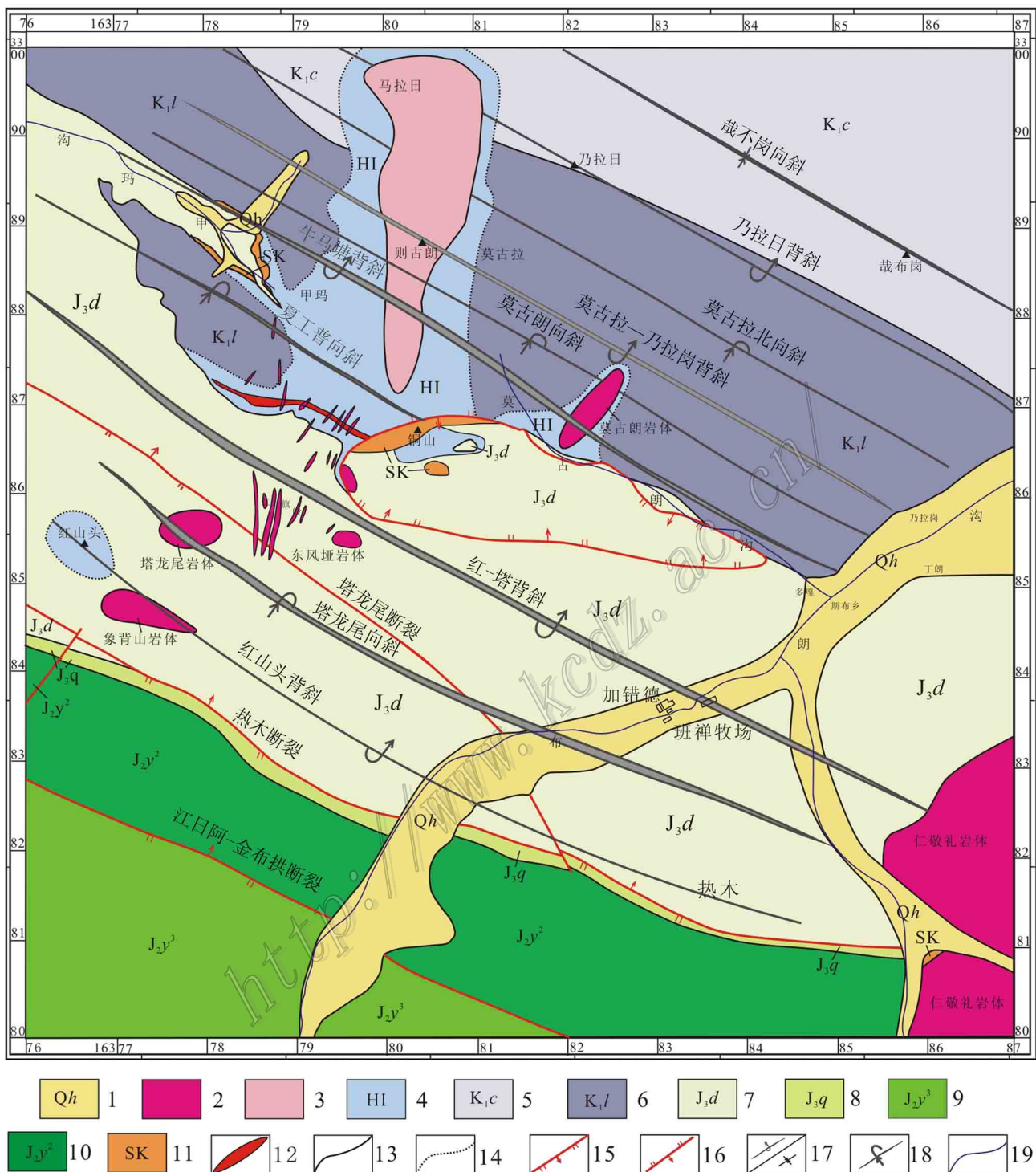


图2 甲玛矿区构造纲要及平面上蚀变分带图

1—第四系；2—花岗岩；3—硅帽；4—角岩；5—楚木龙组；6—林布宗组；7—多底沟组；8—却桑温泉组；9—叶巴组三段；10—叶巴组二段；11—砂卡岩；12—矿体；13—地层界线；14—角岩蚀变界线；15—正断层；16—逆断层；17—斜歪倒转背斜/正常背斜；18—斜歪倒转向斜；19—水系

Fig. 2 Structural outline and alteration zoning in Jiama ore district

1—Quaternary; 2—Granite; 3—Silicon cap; 4—Hornfels; 5—Chumulong Formation; 6—Linbuzong Formation; 7—Duodigou Formation; 8—Qesangwenquan Formation; 9—3rd Member of Yeba Formation; 10—2nd Member of Yeba Formation; 11—Skarn; 12—Ore body; 13—Stratigraphic boundary; 14—Hornfels alteration boundary; 15—Normal fault; 16—Reverse fault; 17—Skew overturned anticline/normal anticline; 18—Skew overturned syncline; 19—Water system

表 1 甲玛矿区侵入岩单元、超单元划分

Table 1 Units and super-units of intrusive rocks in Jiama ore district

超单元	单元	岩性	时代关系	系列	演化
甲玛超单元	象背山花岗斑岩单元($\gamma\pi N1$)	花岗斑岩($\gamma\pi$)	含 MME 包体, 矽卡岩化	高钾钙碱性系列	二长花岗斑岩-花岗斑岩
	牛马塘闪长玢岩单元($\delta\mu N1$)	黑云母二长花岗斑岩($\eta\gamma\pi\beta$)	含 MME 包体, 矽卡岩化		
		花岗闪长玢岩($\gamma\delta\mu$)	脉动侵入花岗斑岩	钙碱性系列	闪长岩-闪长玢岩-石英闪长玢岩-花岗闪长玢岩
		石英闪长玢岩($\delta o\mu$)	含 MME 包体, 矽卡岩化		
		闪长玢岩($\delta\mu$)	脉动侵入角岩和矽卡岩		
		闪长岩(δ)	脉动侵入角岩和矽卡岩		
	铜山辉绿岩单元($\beta\mu N1$)	闪斜煌斑岩($\delta\chi$)	脉动侵入角岩和矽卡岩		辉长岩-辉绿(玢)岩
		角闪辉绿(玢)岩($\beta\mu$)	脉动侵入角岩和矽卡岩		
		石英辉长岩(νo)	矽卡岩化		

造,原岩矿物全部或部分蚀变为绿泥石、绿帘石、绢云母和碳酸盐矿物。董彦辉等(2006)获得甲玛沟叶巴组流纹岩中锆石的 U-Pb 年龄为 (174.4 ± 1.7) Ma,耿全如等(2006)获得叶巴组英安岩(达孜)中的锆石 U-Pb 年龄为 (181.5 ± 5.2) Ma,两者基本一致。

研究区域地表出露花岗斑岩、黑云母二长花岗斑岩、花岗闪长玢岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩、闪长岩、闪斜煌斑岩、角闪辉绿(玢)岩、石英辉长岩等侵入岩,根据单元、超单元的划分原则,现将矿区侵入岩划分为铜山辉绿岩单元、牛马塘闪长玢岩单元和象背山花岗斑岩单元,并归并为甲玛超单元(表 1)。

侵入岩集中分布在北西向的牛马塘背斜—红山头背斜之间,塔龙尾断裂的两侧。岩体明显受区域拉张环境及走滑断层控制,岩体呈近东西向、北西向、近南北向的放射状展布,在近南北向及近东西向呈雁列式分布。侵入体与围岩呈枝叉状接触,岩体内部无定向组构,围岩无明显的挤压变形现象。以上特点说明在侵位过程中,岩浆主要是被动地充填于构造作用形成的虚脱空间中。

侵入体之间的岩浆混合现象发育,可见长石的反环带,不规则分布的 MME 包体及浑圆状石英周边的黄铁矿边。矿区斑岩体的侵位时代在 14~16 Ma,成矿发生在 14.6~15.22 Ma(应立娟等,2009;2010),成矿作用时限不超过 1 Ma。

通过近 13 万 m 的钻探揭露及矿体产出特征、矿物组合、典型的矿石组构(唐菊兴等,2010b)、成岩成矿年龄(应立娟等,2009;2010),发现与成矿有关的含矿斑岩主要为花岗斑岩-二长花岗斑岩类和辉长-闪长岩类,它们的 $A/CNK [Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)] > 1.1$,为过铝质类岩石,属高钾钙碱性和钙碱

性,其中花岗斑岩-二长花岗斑岩类为高钾钙碱性系列,辉长-闪长岩类属钙碱性系列,它们有各自的演化趋势,显示出不同的岩浆分异和岩浆演化轨迹。

两个岩浆系列最终在伸展环境下运移到达浅部,并在浅部形成斑岩-矽卡岩-角岩复合成矿系统。成矿流体与斑岩在相同的时间,由相同的通道,来源于相同的浅部岩浆房,在同一空间成矿。高钾钙碱性系列岩体控制了矿体的分布,由于始新世 16 Ma 左右高钾钙碱性系列岩浆的侵位,导致在花岗斑岩-二长花岗斑岩、闪长玢岩的围岩林布宗组砂板岩形成角岩,在多底沟组灰岩形成大理岩、矽卡岩。岩浆热液为主的成矿流体的活动,在斑岩、角岩中形成典型的具斑岩型矿石组构特征的钼(铜)矿石,矿石呈细脉浸染状构造。在林布宗组角岩和多底沟组大理岩之间形成矽卡岩型铜多金属矿体,具有上铅锌、下铜钼的分带特点(唐菊兴等,2010b;郑文宝等,2010)。含矿岩浆的侵位除了提供热源,形成热变质的角岩和大理岩之外,还是成矿作用中主要的物质、流体来源。

2.3 成矿的构造条件

冈底斯-念青唐古拉地体南缘的构造线总体走向为近东西向,由于区域长期走滑效应,次级构造线多呈北西西向,深部应有北东向隐伏构造。

受印度-欧亚板块碰撞的影响,冈底斯-念青唐古拉地体南缘发育若干个 NWW 向的推覆构造系。

主推覆面由被动陆缘期的控盆深断裂反转而成,现表现为逆掩断层,具有韧-脆性变形特征,在碰撞造山期,向上切穿沉积盖层,全面逆冲反转,构成各推覆构造系的新推覆面,并在推覆前锋带新生若干个上陡下缓、向下交于主推覆面的逆冲断层系,

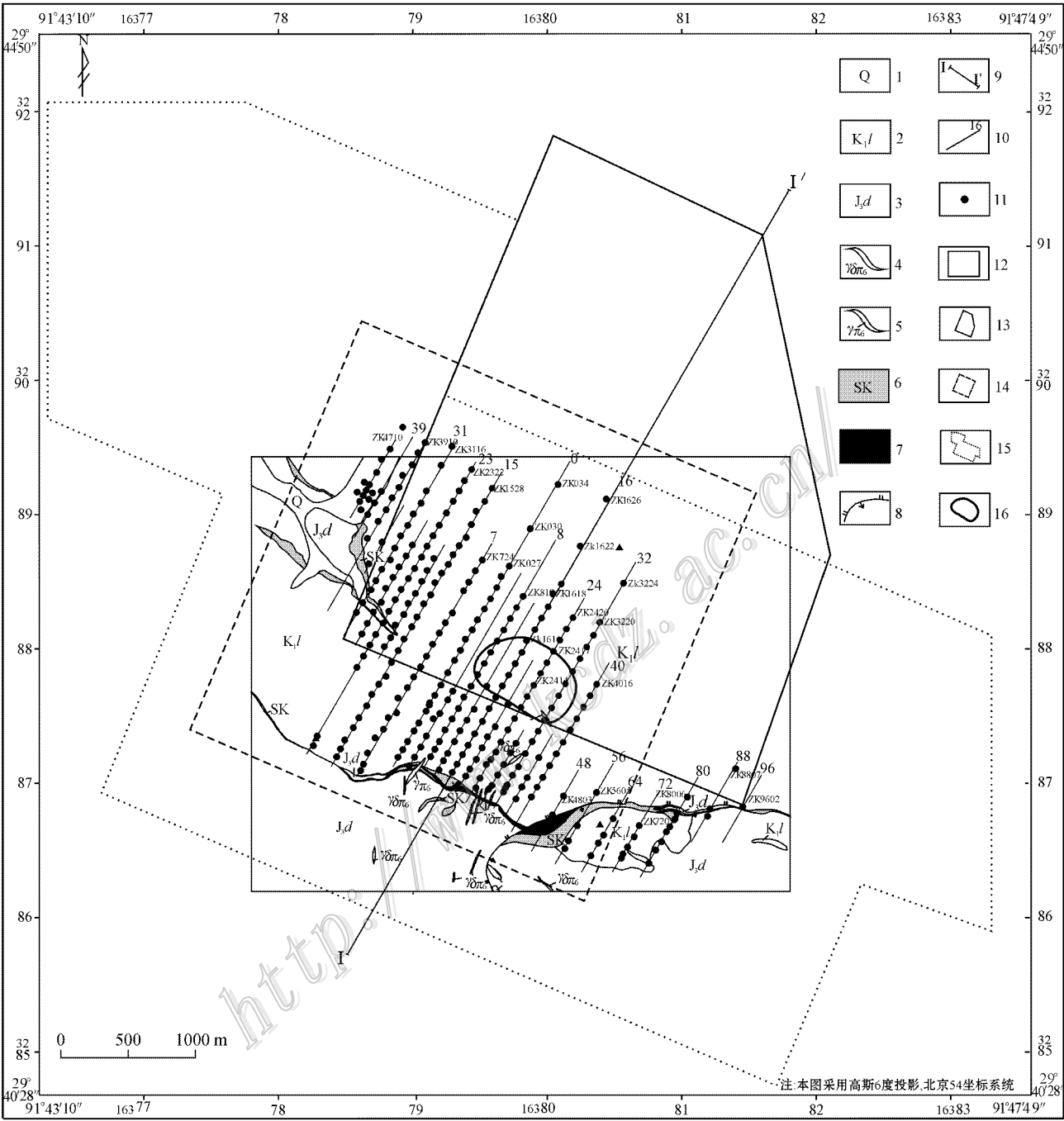


图 3 甲玛铜多金属矿床地质简图及土壤测量和地球物理探测范围

1—第四系残坡积物、冲洪积物；2—下白垩统林布宗组砂板岩、角岩；3—上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩；4—喜马拉雅晚期花岗闪长斑岩脉；5—喜马拉雅晚期花岗斑岩脉；6—砂卡岩；7—砂卡岩型铜多金属矿体；8—滑覆构造断裂；9—剖面位置；10—勘探线及编号；11—已完成钻孔；12—矿区主要工程界线；13—1:1 万土壤测量范围；14—1:1 万激电测量范围；15—高精度磁测范围；16—隐伏斑岩体范围

Fig. 3 Geological sketch map and area of soil survey and geophysical survey in Jiama copper polymetallic deposit

1—Quaternary residual-slopewash and alluvial-proluvium；2—Sandy slate and hornfels of Lower Cretaceous Linbung Formation；3—Limestone and marble of Upper Jurassic Duodigou Formation；4—Late Himalayan granite diorite porphyry vein；5—Late Himalayan granite porphyry vein；6—Skarn；7—Skarn copper polymetallic ore body；8—Decollement fault；9—Position of cross section；10—Exploration line and its number；11—Finished drill hole；12—Boundary of major project；13—Soil survey area at the scale of 1:10 000；14—IP survey area at the scale of 1:10 000；15—High precise magnetic survey area；16—Buried porphyry body area

形成一系列逆冲褶皱岩片；它们在主碰撞后伸展走滑期，普遍松弛走滑，成为基性、中酸性岩浆及其伴生热液上侵的主要通道。

甲玛矿区位于 NWW 向延伸的甲玛-卡军果推覆构造系前部带。甲玛-卡军果推覆构造系(图 4)，大体由北面墨竹曲一带开始，沿江日啊-金布拱铲式断裂带向南叠缩推覆而成。甲玛-卡军果推覆构造系，南北宽约 20 km，由南向北可分为推覆体前锋、前部带、中部带和后部带 4 个部分(图 4)。

前锋除江日啊-金布拱主推覆断裂外，尚发育热木等系列铲式断裂(图 2)，具脆-韧性的特征，之间夹持逆冲型小褶皱的构造片岩，相伴发育松弛伸展期的基性脉岩。

前部带发育规模较大的复式斜歪-同斜倒转褶皱带，局部残存推覆引起的高位岩体反向滑覆而成的滑覆构造。甲玛矿区位于该带的中部。

中部带亦发育规模较大的斜歪褶皱。后部带主要位于墨竹曲—拉萨河一带，地层渐趋平缓，仅见宽缓褶曲，发育第四系断陷盆地，为推覆构造系启动处。

推覆构造系中的褶皱，轴迹呈 NWW 向。在矿

区及其近围，由北向南依次发育哉不岗向斜、乃拉日背斜、莫古拉北向斜、莫古拉-乃拉岗背斜、莫古朗向斜、牛马塘背斜、夏工普向斜、红(旗岭)-塔(龙普)背斜、塔龙尾向斜、红(山头)-象(背山)背斜等褶皱(图 2)，其中以红-塔背斜规模最大。夏工普复式向斜和牛马塘复式背斜，为红-塔背斜北翼的次级褶皱，控制了矽卡岩型矿体的产出。

在红-塔背斜北翼，发育由南向北滑覆的铜山滑覆体。该滑覆体分布于铜山—布朗沟—莫古朗沟一带，面积约 4 km²，滑覆体前缘因侵蚀切割，可见多底沟组大理岩滑覆到林布宗组的角岩之上形成的飞来峰构造，铜山滑覆体西部控制了 I-3~I-9 号矽卡岩型矿体的产出，这类矿体均受到滑覆体内的次级构造控制。

2.4 地层对成矿的控制

矿区出露的主要赋矿地层为林布宗组(K₁l)砂板岩、角岩和多底沟组(J₃d)大理岩、灰岩。

林布宗组(K₁l)上部为灰色、暗灰色砂岩和板岩互层，局部见安山质凝灰岩及凝灰质砂岩；下部为灰黑色粉砂岩夹碳质泥页岩，黑色的斑点板岩及灰白色的绢云母板岩。

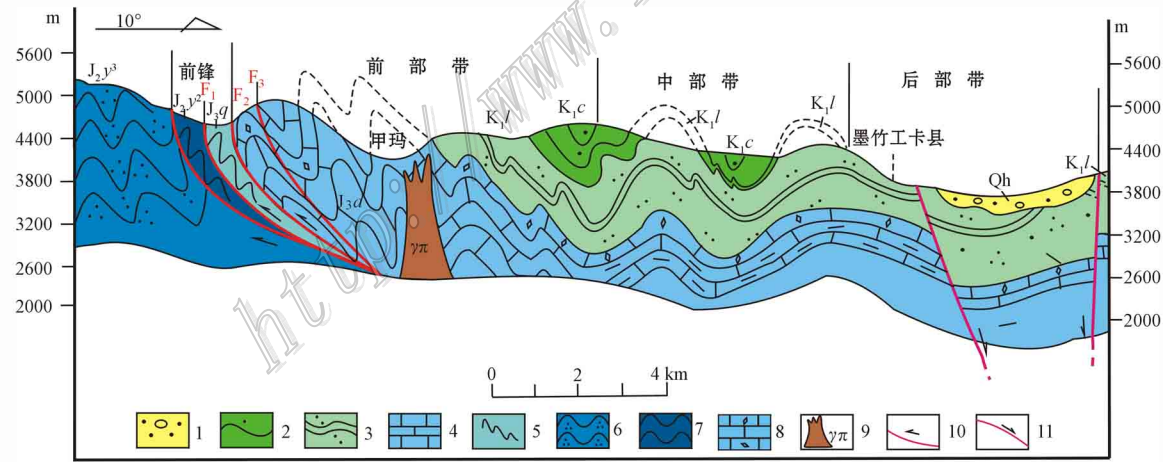


图 4 甲玛-卡军果推覆构造体系(据 1:25 万泽当镇幅剖面资料综合编制)

1—第四系冲积物；2—楚木龙组砂岩；3—林布宗组板岩、粉砂岩；4—多底沟组结晶灰岩；5—却桑温组砾岩夹页岩；6—叶巴组三段石英片岩；7—叶巴组二段凝灰岩；8—矽卡岩；9—含矿斑岩；10—逆冲断层；11—正断层；F₁—江日啊断裂；F₂—热木断裂；F₃—塔龙尾断裂

Fig. 4 Jiama-Kajunguo nappe structure system

1—Quaternary alluvium; 2—Sandstone of Qumulong Formation; 3—Slate and siltstone of Linbusong Formation; 4—Crystalline limestone of Duodigou Formation; 5—Conglomerate intercalated with shale of Quesangwenquan Formation; 6—Quartz shale in 3rd Member of Yeba Formation; 7—Tuff in 2nd Member of Yeba Formation; 8—Skarn; 9—Ore-bearing porphyry; 10—Thrust fault; 11—Normal fault; F₁—Jiangria fault; F₂—Remu fault; F₃—Talongwei fault

林布宗组(K_1l)在甲玛矿区构成有利于成矿的天然地球物理和地球化学障。受到岩浆热力的影响普遍角岩化,并在岩浆热液活动中心附近部位,由于大量斑岩脉体的侵位,发生强烈硅化,而形成岩体顶部角岩内的强硅化帽。在平面上,角岩化面积超过矿区面积的 $1/2$,硅帽近南北向的刀把状,面积约 2.3 km^2 (图 2),该硅帽应该是 Sillitoe(1979 ;1997)和徐庆生等(2010)认为的斑岩型成矿系统顶部的岩帽,指示斑岩型成矿系统的剥蚀深度不大,斑岩型矿化的主体尚未剥蚀,在其深部找矿的潜力较大。

多底沟组(J_3d)主要分布于铅山-铜山-莫古朗以南区域及北西部的牛马塘一带,主要为灰黑色中厚层灰岩。在矿区内,几乎全部发育不同程度的大理岩化。靠近林布宗组角岩的大理岩发生蚀变,形成矿化砂卡岩。

林布宗组、多底沟组是甲玛矿区的主要赋矿围岩,砂卡岩型矿体以铜钼铅锌(金银)多金属矿化为主,位于林布宗组角岩和多底沟组大理岩之间,角岩型矿体以钼铜银多金属矿化为主,矿体赋存于角岩中,硅化强烈。

2.5 岩性对成矿的控制

林布宗组巨厚的硅化角岩,其控矿作用表现在：
① 林布宗组黑色砂板岩在岩浆侵位后,受热变质形成巨厚的角岩,目前的钻探结果显示,角岩厚度大于 $1\ 000\text{ m}$ (如在 ZK3220、ZK3224、ZK1622 等,见郑文宝等,2011,图 4 和图 5)。角岩,深灰色,致密块状,随着距矿化中心的远近,形成相应的蚀变分带,近矿化中心为强硅化角岩,向外分别为硅化角岩、长英质角岩、黑云母长英质角岩、斑点状红柱石化角岩。角岩孔隙度低,可作为含矿流体的良好隔挡层,形成良

好的规模巨大的天然圈闭,促使成矿流体只能沿林布宗组角岩与多底沟组大理岩层间、扩容空间,充填交代成矿。② 角岩中形成一个 $1\ 000\text{ m}\times 800\text{ m}$ 的强硅化角岩型矿体,矿体主要位于 0 勘探线至 40 勘探线之间(郑文宝等,2011),矿石类型为网脉状钼(铜)矿石,角岩矿体的上部为 $\text{Cu}(\text{Mo})$ 矿体,下部以 $\text{Mo}(\text{Cu}$ 矿化)矿体为主,分带清晰。

3 矿床勘查模型

矿床勘查模型,也称之为矿床找矿模型、矿床勘查模式等(池顺都,1991 ;1995 ;岑博雄等,1993 ;赵鹏大,2002 ;2007 ;张寿庭等,2007)。一个成功的勘查模型是建立在系统的大比例尺的地、物、化、遥资料的基础之上,不同的矿床类型具不同的勘查模型。矿床勘查模型是在矿床成矿模式研究的基础上,针对某类具体矿床所必须具备的有利地质条件、有效的找矿技术手段及各种直接或简接的矿化信息的高度概括和总结(唐菊兴,2003 ;曹新志,2006)。矿床勘查模型可由经验勘查模型(描述性模型)、地质-地球物理勘查模型、地质-地球化学勘查模型、综合信息勘查模型等组成(池顺都,1991 ;赵鹏大等,2002 ;2007 ;曹新志,2006)。本文侧重于建立矿体结构的描述模型、大比例尺的地球化学勘查模型、地球物理勘查模型,试图结合找矿标志全面反映和总结出矿床的综合信息勘查模型。

3.1 1:1 万土壤测量的元素地球化学勘查模型
1:1 万土壤地球化学测量范围约 12 km^2 (图 3)。
表 2 所示分析样品中亲铜成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg 的标准差、变化系数均较大,表明

表 2 甲玛矿区 1:10 000 土壤测量中各元素地球化学特征表

Table 2 Geochemical features of various elements in soil survey at the scale of 1:10 000 in Jiama ore district													
	$w(\text{B})/10^{-9}$	$w(\text{B})/10^{-6}$											
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg	Co	Ni	Mo	Sn
样品数	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063	3063
平均值	7.36	0.32	90.51	67.11	64.90	44.03	6.99	2.96	94.81	7.38	16.82	7.25	4.91
中位数	2.5	0.23	27.6	31.5	52.4	22.2	2.46	1.04	59.2	6.62	19.2	3.5	3.2
最小值	1.1	0.04	2.74	0.56	0.71	0.3	0	0.08	0.24	0	0.24	0.54	1
最大值	2360	21	16712	3174	4923	2654	4616	137	51630	139	102	536	52
标准差	0.83	0.01	7.64	3.02	3.51	2.08	1.52	0.14	17.03	0.12	0.20	0.33	0.09
变化系数	6.23	1.93	4.67	2.49	2.99	2.61	12.05	2.65	9.94	0.93	0.66	2.52	0.97
偏度	44.72	19.19	25.69	10.40	17.25	11.58	53.63	8.49	53.48	6.57	0.41	18.67	3.67
峰度	2271.2	524.0	870.6	140.3	356.1	194.2	2933.3	96.4	2921.9	99.93	0.96	454.14	18.33
背景值	2.5	0.25	28	32	55	25	3	1	60	7	20	3.5	3.5
异常下限	4.5	0.3	55	55	85	35	6	2.5	80	12	25	8	5

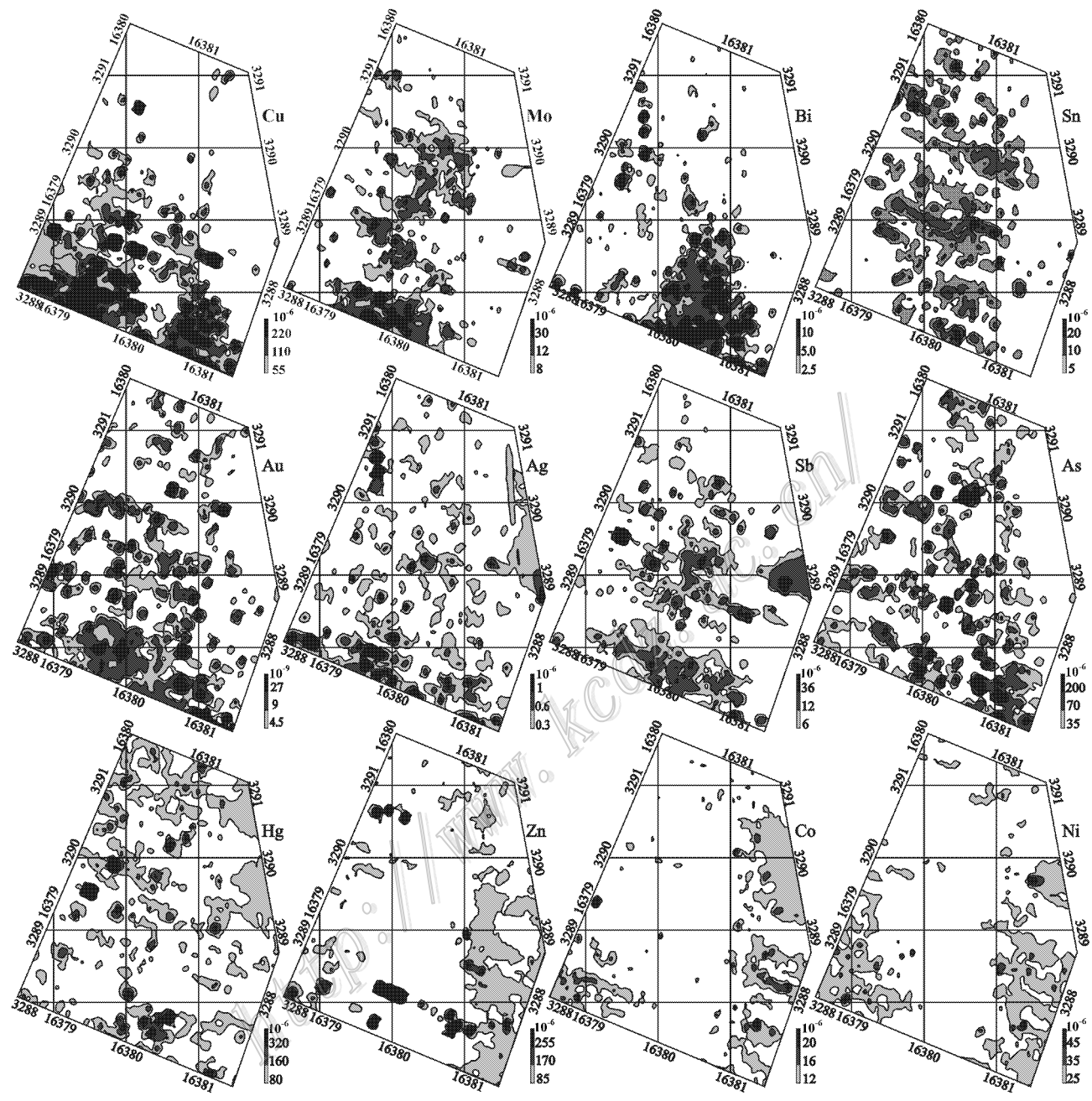


图 5 甲玛铜多金属矿土壤地球化学测量各元素异常图(测区范围见图 3)

Fig. 5 Anomaly map of various elements based on soil geochemical survey in Jiaoma copper polymetallic deposit

土壤中的亲铜成矿元素的富集强度和富集能力比较高。根据各元素的变化系数确定了测区主要成矿元素的富集能力,从大到小排列的顺序为: $Sb > Hg > Au > Cu > Zn > As > Pb > Ag$, 其次为亲氧元素 Bi, Mo, Sn , 而铁族元素 Co, Ni 的富集强度和富集能力最差。

异常面积约为 4 km^2 , 异常元素组合为: $Au-Ag-Cu-Mo-Bi-As-Sb-Hg$, 异常外围元素为 $Pb, Zn, Co,$

Ni , 其中异常浓集中心的 $w(Au)$ 最高值为 $2\,360 \times 10^{-9}$; $w(Ag)$ 最高值为 21×10^{-6} , $w(Cu)$ 最高值 $16\,712 \times 10^{-6}$, $w(Pb)$ 最高值 $3\,174 \times 10^{-6}$, $w(Zn)$ 最高值 $4\,923 \times 10^{-6}$, $w(As)$ 最高值 $2\,654 \times 10^{-6}$, $w(Sb)$ 最高值 $4\,616 \times 10^{-6}$, $w(Hg)$ 最高值 $51\,630 \times 10^{-9}$ (图 5, 表 2)。

在测区南部, 元素异常组合比较齐全, 元素套叠较好, 异常形态复杂, 异常强度相对较大, 构成一个

南东侧未圈闭的半圆形异常。

从异常图(图 5)上可以看出,异常浓集中心的元素组合为 Cu-Mo-Au-Ag-Bi-Sn,其中 Mo、Bi、Sn 等高温元素为内环异常元素,As、Sb、Hg、Pb、Zn、Co、Ni 则明显是外围异常元素,分带清晰。其中 Co、Ni 的异常分布在角岩化微弱的林布宗组黑色砂板岩分布区,代表的是一种原岩为碳泥质砂板岩的异常;As、Sb、Hg 异常代表的是角岩中广泛分布的细脉浸染状黄铁矿,是弥漫性的蚀变异常,这种大面积的 As、Sb、Hg 异常为斑岩型成矿系统的上部元素异常,表明斑岩成矿系统的上部剥蚀程度不大,整个斑岩成

矿系统保存较为完好。

3.2 1:1 万高精度磁测勘查模型

高精度磁测的范围见图 3。从异常图(图 6)上可见,区内磁异常分为北西、南东 2 部分。异常总体走向呈 NNE 向。

南东部磁异常位于 48 勘探线以东,异常 ΔT 等值线密集,梯度变化大, ΔT 值较高(最高值为 1 530 nT),多个局部异常叠加在 ΔT 值为 100~150 nT 的背景场上,走向主体为 NNE 向,南部为近东西向,呈不规则状或压扁的椭圆状异常,剖面曲线波动大, ΔT 值较高,变化大。 ΔT 值最高可达 1 530 nT,为强磁性区。

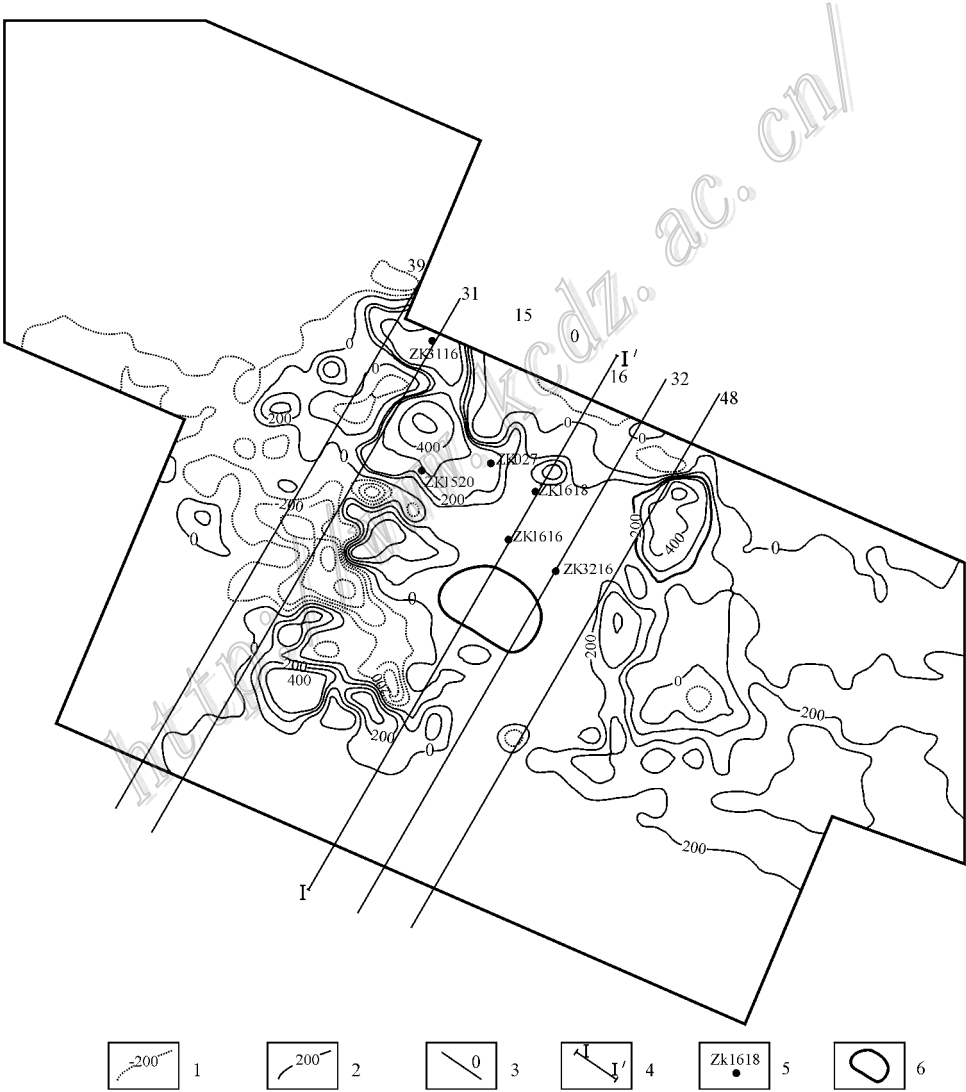


图 6 甲玛铜多金属矿区高精度磁测上延 100 m 异常图(测区范围见图 3,由山西地调院完成探测)

1—磁负异常;2—磁正异常;3—勘探线位置及编号;4—勘探剖面位置及编号;5—钻孔位置及编号;6—隐伏的斑岩体位置

Fig. 6 Anomaly map of high precise magnetic survey (upward continuation to 100 m) in Jiamma copper polymetallic deposit

1—Negative magnetic anomaly;2—Positive magnetic anomaly;3—Position and serial number of exploration line;4—Position and serial number of exploration section;5—Position and serial number of drill hole;6—Buried porphyry body area

形成斑岩、角岩中细脉浸染状、网脉状的斑岩型钼(铜)矿体和矽卡岩中的细脉-浸染状、块状铜钼铅锌(金、银)矿体,大理岩中的块状和稠密浸染状富铜矿体,其中富矿石主要在矽卡岩中,铜平均品位大于 1% 的铜金属量大于 200 万吨。含矿斑岩是富 Cu 、富水、高 $f(\text{O}_2)$ 的幔源偏基性岩浆熔体与富含 Mo 的

壳源长英质岩浆发生了多次岩浆混合作用形成的,导致了丰富的成矿元素的富集^{①②},如除了铜、钼以外,还有铅、锌、金、银、钨、铋的矿化富集,有些甚至可以单独圈定矿体。矿体结构如表 3 所示。

从 16 号勘探线地质-地球化学-地球物理综合剖面(图8)可以看出,主要成矿元素和地球物理探测异

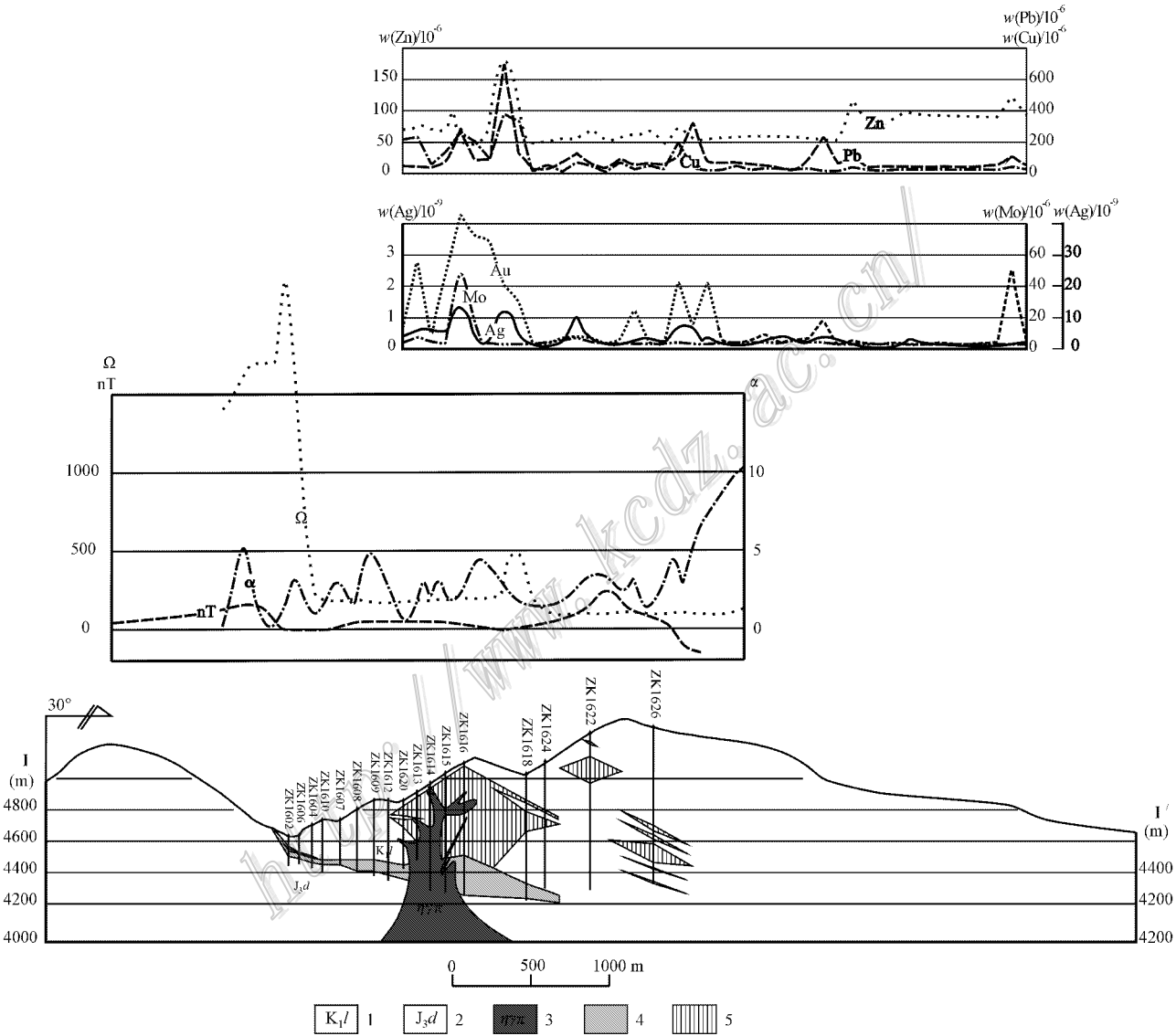


图 8 第 16 号勘探线地质-地球化学-地球物理综合剖面

1—下白垩统林布宗组砂板岩、角岩;2—上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩;3—含矿二长花岗岩;4—矽卡岩矿体;5—角岩型矿体

Fig. 8 Integrated geological-geochemical-geophysical section along No. 16 exploration line

1—Sandy slate and hornfels of Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 2—Limestone and marble of Upper Jurassic Duodigou Formation; 3—Ore-bearing adamellite porphyry; 4—Skarn ore body; 5—Hornfels ore body

① 彭慧娟,汪雄武,唐菊兴,秦志鹏,侯 林,周 云. 西藏甲玛铜多金属矿床岩浆混合矿物学证据. 待刊

② 周 云,汪雄武,唐菊兴,秦志鹏,彭慧娟,李爱国,杨 科,王 华,李 炯,张继超. 西藏甲玛铜多金属矿床成矿流体来源及演化. 待刊

表 3 矿体结构特征

Table 3 Framework features of ore body

分类	典型照片	矿体(矿石)形态、产状、规模	矿石构造和矿物组合	蚀变
角岩中的矿石		矿体位于 0~48 线, 矿体呈桶状, 其中 ZK3216 揭露厚达 685.68 m, Cu 平均品位 0.25%; Mo 平均品位 0.059%。角岩类型主要有黑云母长英质角岩、红柱石斑点角岩、黑云母角岩、强硅化角岩等, 在黑云母长英质角岩、强硅化角岩中矿化最好, 属矿化中心 照片说明: 样品来自 ZK4013 孔 620 m 处, 深色者为黑云母长英质角岩, 浅色为石英+辉钼矿脉, 明显见缓倾斜的石英细脉被陡倾斜的石英脉穿插	典型网脉状构造, 至少 3~4 期石英-硫化物脉, 早期缓斜, 晚期的陡倾斜。主要金属矿物: 辉钼矿、黄铜矿, 少量黄铁矿	早期角岩化, 角岩中黑云母、红柱石、绢云母化, 晚期硅化, 至少可以识别出 4 期石英脉。在 ZK1616、ZK2414 等钻孔中近斑岩体的角岩泥化强烈。晶洞中可见石英晶簇
矽卡岩型矿石		层状, 主矿体长约 3 200 m, 矿体厚度从数米至 291.3 m, 从 23 线~64 线, 矿体厚度都有大于 100 m 的, 其中 ZK024 孔厚度最大, Cu 0.97%, Mo 0.053%, Au 0.39g/t, Ag 16.41g/t, 当量铜 2.28% 照片说明: 样品来自 ZK4704 孔 60 m 处, 条带状构造, 褐黄色的为钙铁榴石、白色者为硅灰石, 深色者为斑铜矿。钙铁榴石(褐黄色)-硅灰石(灰白色)-斑铜矿(深色)互为条带	细脉浸染状、浸染状、块状、条带状、层纹状构造, 主要金属矿物为黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿、辉钼矿, 方铅矿、闪锌矿, 少量黄铁矿, 微量白钨矿。浅部主要为铅锌矿体、深部为铜钼矿。纯的钙铁榴石矽卡岩中以黄铜矿为主, 硅灰石矽卡岩中的以斑铜矿为主	早期矽卡岩化、见钙铁榴石、透辉石、硅灰石。晚期为绿泥石化、绿帘石化, 近含矿岩体可见强烈的泥化
斑岩型矿石		筒状, 矿化中心在 ZK815—ZK1614—ZK2414 一线, 控制含矿斑岩体长度大于 800 m, 宽度大于 500 m。含矿隐伏斑岩体呈现 斑岩钼矿化特征, 典型的细脉浸染状构造, 具至少 3 个阶段钼矿化。其中 ZK1614 孔, 揭露出 406.9 m 厚的斑岩钼矿体, Cu 0.04%; Mo 0.051%。含矿斑岩体以 ZK2414 为中心, 尤其以铜山方向和则古朗方向趋势最为明显(ZK2010、ZK1615、ZK3212), 矿化变强, 同时引发大规模角岩中 Mo 矿化, 如在 ZK1616、ZK4012、ZK3216 孔 照片说明: 样品来自 ZK2414 孔 505 m 处, 辉钼矿显然与稍晚期的辉钼矿-石英脉有关, 早期的脉体被晚期的脉体穿插。钢灰色的为辉钼矿, 网脉为石英+辉钼矿, 斑岩为蚀变花岗斑岩。见晶洞	典型的细脉浸染状、网脉状构造, 晶洞构造。主要金属矿物为辉钼矿、少量黄铜矿、黄铁矿。辉钼矿一般以辉钼矿-石英网脉产出, 少量浸染状。辉钼矿为弯曲鳞片状、片状, 呈束状。辉钼矿常产出在石英脉壁或脉体中部。脉体中常见晶洞, 晶洞中常见自形片状辉钼矿。早期的脉体缓倾斜, 矿化强烈的石英脉陡倾斜。与角岩的脉体形态和特征基本一致	黑云母化、钾长石化、硅化、绢云母化, 近岩体接触带泥化强烈。斜长石已绢云母化

常分布勘查模型具有以下特点:

(1) 角岩型矿体产于矿化斑岩的上部及接触带角岩中,以 $\text{Mo}(\text{Cu})$ 矿化为主,矿体长约 1 000 m,宽约 800 m,矿体垂深控制厚度大于 700 m,以网脉状石英+辉钼矿脉为主。斑岩体以钼矿化为主,铜为伴生。矽卡岩矿体位于林布宗组角岩与多底沟组大理岩之间的矽卡岩中,空间上中间厚、四周薄,中部矿体最大厚度大于 290 m,南西侧向上翘起,出露地表,矿体倾角大于 50° ,深部的矽卡岩型矿体向北东倾,尚未控制矿体边界。矿体在 48 号勘探线以东,受推覆-滑覆构造的影响,矽卡岩型主矿体,成矿的海拔高度与铅山的矽卡岩型矿体基本一致,矿石类型也相似,矿石中发育方铅矿、闪锌矿。

(2) 1:1 万土壤地球化学勘查模型显示, Cu 、 Mo 、 Au 、 Ag 、 Sn 、 Bi 元素在剖面上呈“M”型分布型式。在隐伏斑岩体外接触带、隐伏的角岩型矿体之上,呈现明显的高异常区,而隐伏斑岩体的位置, Cu 、 Mo 、 Au 、 Ag 的含量降低,呈现“M”型分布型式,即在接触带的异常强度高于岩体。

Pb 、 Zn 的含量在接触带高,在主矿体外围也有一个高值区,既具有垂向上的元素分带特征,也具有平面上的分带特征,为异常的外围元素。

(3) 1:1 万地球物理勘查模型显示,高精度磁测异常、视电阻率异常显示为“W”分布型式,视极化率异常表现为波浪起伏的特征。

高精度磁测的剖面特征呈典型的“W”型分布型式,在矿体范围内为一平坦的低异常区,接触带为中高异常区,隐伏岩体分布区在 200 nT 以下,但在接触带则高于 500 nT。

视电阻率的剖面特征也为典型的“W”型分布型式,在矿体范围内(隐伏的角岩型、矽卡岩型、斑岩型矿体),视电阻率低于 200 Ωm ,表现为低阻。向南西在矽卡岩型矿体与大理岩的接触带视电阻率突然升高至超过 1 000 Ωm ,向北东斑岩矿体与角岩接触带也为高阻,视电阻率在 200~500 Ωm 之间,到了角岩向矽卡岩过渡或到矽卡岩区,视电阻率降低至 200 Ωm 以下,显示低阻特征。

视极化率异常的剖面特征为波浪形,矿体范围内视极化率在 4%~6% 之间,在南西矽卡岩型矿体地表出露区视极化率升高,到大理岩分布区又明显降低至 2% 以下,在无矿化的矽卡岩、碳质板岩,视极化率升高至 10% 以上。

因此,在横剖面上,与传统的斑岩铜矿的分布型

式基本一致。

3.5 主要找矿标志

根据以上研究,可以归纳出以下几点作为主要的找矿标志:

(1) 面积达 20 km^2 以上的火烧皮,隐伏含矿岩体之上的角岩中发育硅帽(图 2),硅帽面积大,约 3 km^2 。

(2) 蚀变强烈,角岩和大理岩的面积大于 30 km^2 。斑岩中常见钾长石化、黑云母化、硅化,围岩中有角岩化、矽卡岩化。角岩的分带清晰,林布宗组从远离矿体至矿化中心为:基本未蚀变的黑色砂板岩→红柱石角岩→长英质角岩→黑云母角岩→强硅化角岩→网脉状硅化辉钼矿化黄铜矿化角岩。矽卡岩存在分带现象,矽卡岩上部靠近角岩处,以石榴子石矽卡岩、透辉石-石榴子石矽卡岩为主,靠近大理岩时,为硅灰石矽卡岩、石榴子石-硅灰石矽卡岩为主。

(3) 成矿元素组合:浅部 $\text{Pb} + \text{Zn} + (\text{Cu} + \text{Au} + \text{Ag})$,向深部为 $\text{Cu} + (\text{Au} + \text{Ag} + \text{Mo})$ 、 $\text{Mo} + (\text{Cu} + \text{Ag})$ (郑文宝等,2010;唐菊兴等,2010)。具有典型的斑岩成矿体系元素分带。

化探异常元素分带清晰,套叠好,异常强度大。内带元素组合为 Cu-Mo-Au-Ag-Bi-Sn ,根据组合分析及部分钻孔钨的化学分析结果,钨在矽卡岩中富集,也是内带异常元素; As 、 Sb 、 Hg 、 Pb 、 Zn 、 Co 、 Ni 是外围异常元素。矿化中心与钾化带、强硅化带对应的 $\text{Mo-Bi-Sn-W-Cu-Au-Ag}$ 异常,表现为典型的“M”型,即隐伏斑岩体与围岩接触带为异常高值区。

(4) 高精度磁测异常、视电阻率异常显示为“W”分布型式,视极化率异常表现为波浪起伏的特征。隐伏岩体范围为中低磁异常,岩体与围岩接触带为中高磁异常。

(5) 地表有密集分布的北东向的花岗斑岩脉、闪长玢岩脉,其中闪长玢岩脉中金的含量很高,ZK4502 揭露了 25 m 厚的闪长玢岩型金矿体, $w(\text{Au})$ 最高为 47 g/t ,平均 5.78 g/t 。

(6) 遥感图像显示出十分清晰、面积巨大的铁染异常和羟基异常(郭娜等,2009)。

4 结 论

(1) 甲玛矿床是一个超大型的铜多金属矿床,其铜、钼、铅、锌、金、银都可以圈定出独立的富矿体。

(2) 矿体由“三位一体”的赋存于角岩、斑岩中

的斑岩型钼(铜)矿体、矽卡岩型矿体组成,构成一个完整的斑岩矿床成矿系统,形成一个独特的喜马拉雅期中新世与高钾钙碱性中酸性岩浆作用有关的成矿亚系列中的典型矿床。

(3) 地球化学和地球物理勘查模型显示,土壤地球化学测量能够很好地反映出矿化体的范围、元素的分带、成矿元素的异常范围、矿化强度、元素套叠等。高精度磁测结果受多方面因素影响,如地形、浅地表的岩脉等,不能很好地圈出岩体,但局部能反映接触带的位置。激电测量较好地反映矿化体的出露范围,但视极化率在未角岩化的砂板岩地区受干扰严重。

(4) 隐伏的斑岩体提供物质和热的来源,林布宗组(K_1l)砂板岩(角岩)和多底沟组(J_1d)灰岩、大理岩组成的层间滑脱构造控制了矽卡岩型矿体的分布,含矿岩体上部节理裂隙发育的强硅化角岩是主要的角岩型矿体分布区,巨厚的角岩化砂板岩、角岩还起到含矿热液遮挡层的作用,抑制了矿液的流失。

(5) 找矿标志明显,巨大的火烧皮、大面积的热蚀变、浅地表密集岩脉、显著的遥感异常和蚀变异常是最重要的找矿标志。

References

Cao Z X. 2006. Theory and method on mineral exploration. (Provincial Classic Course) [EB]. <http://www.jingpinke.com/course/details/contents?uuid=8a833999-1e4881f5-011e-4881fa17-056f&courseID=S0600177&column=content>

Cen B X, Xiong P F, Wang D Y and Li Z D. 1993. Exploration model system of Hujiayu-Bizigou type copper deposits in the Zhongtiao mountains, Shanxi Province[J]. *Geoscience*, 7(1): 66-72.

Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, Xu Z G, Ren J S, Zhai Y S, Chang Y F, Tang Z L, Pei R F, Teng J W, Deng J F, Hu Y Z, Ren T X, Shen B F, Wang S C, Xiao K Y, Peng R M, Qian Z Z, Mei Y X, Du J G, Shi J F, Zhang X H, Zhu M Y, Xu J and Xue C J. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1005p (in Chinese with English abstract).

Chi S D. 1991. The principles of establishment of the prospecting model of mineral resources[J]. *Earth Science*, 16(3): 335-340 (in Chinese with English abstract).

Chi S D. 1995. Exploration model of porphyry copper[J]. *Earth Science*, 20(2): 149-155 (in Chinese with English abstract).

Dong Y H, Xu J F, Zeng Q G, Wang Q, Mao G Z and Li J. 2006. Is there a Neo-Tethys' subduction record earlier than arc volcanic rocks in the Sangri Group[J]? *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 661-668 (in Chinese with English abstract).

Du G S, Yao P, Pan F C, Su D K, Li W B and Ning Y Y. 1998. Sedimentation-exhalation skarn and its mineralization: An example from the Jiamia copper-polymetallic deposit, Tibet [M]. Chengdu: Sichuan Sci. Press. 82-113 (in Chinese).

Feng X L, Guan S P, Mou C L, Hou Z Q and Li S R. 2001. Geological characteristics and genesis of the Jiamia copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. *Geology-Geochemistry*, 29(4): 40-48 (in Chinese with English abstract).

Geng Q R, Pan G T, Wang L Q, Zhu D C and Liao Z L. 2006. Isotopic age of Yeba formation volcanic rocks of the Gangdese orogenic zone, Xizang region [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Guo N, Chen J P, Tang J X and Guo K. 2010. A study of the metallogenetic prognosis for the periphery of Jiamia copper-polymetallic ore, Tibet based on the RS method[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(4): 280-289 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Yang Z S, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II Mineralization in late-collisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521-543 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Rui Z Y, Wang G M, Lin F C, Liu B, She H Q, Feng C Y and Qu W J. 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiamia and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenetic belt of Tibet and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 481-489 (in Chinese with English abstract).

Lian Y, Xu W Y, Yang D, Chen W S, Qu X M and En D L. 2008. SR-XRF studies of fluid inclusions from the Jiamia and Nanmu deposits in the Gangdise copper-polymetallic metallogenetic belt of Tibet [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(3): 187-198 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Shao Y J, Xie G Q, Zhang J D and Chen Y C. 2009. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposit in Tongling dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenetic belt [J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 109-119 (in Chinese with English abstract).

Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, Zhu D C, Wang L Q, Li G M, Zhao Z D, Geng Q R and Liao Z L. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract).

Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007. Collation of age of ore-hosting volcanics in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages [J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 512-518 (in Chinese with English abstract).

Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Li Y L. 2003. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau [J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 217-225 (in Chinese with English abstract).

Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 14: 161-174.

- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44 :373-388.
- Tang J X. 2003. Geology of mineral exploration (Sichuan Provincial Classic Course) [EB]. <http://www.jingpinke.com/course/details/introduction?uid=8a833999-221c4794-0122-1c4794eb-01db&courseID=S0500715&column=brief>
- Tang J X, Zhang L, Huang Y, Wang C H, Li Z J, Deng Q, Lang X H and Wang Y. 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 28 (6) :759-769 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Li F J, Li Z J, Zhang L, Tang X Q, Deng Q, Zhong K H, Lang X H, Huang Y, Yao X F and Wang Y. 2010a. Period of time for the formation of main geologic bodys in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from Zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 29 (3) :461-475 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010b. Geological features and metallogenic model of the Jiamia copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31 (4) :495-506 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Xu J, Zou T R, Xue C J, Luo J L, Luo Y N, Wu G Y, Li Z W, Yu J J, Yan S H, Yang J M, Fu X J, Fu X F, Fu D M, Chu Y S, Wei L and Li X Y. 2005. Cenozoic mineralization in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 853p (in Chinese with English abstract).
- Xu Q S, Qin F, Liu Y, Yuan B, Sun H, Chen X F, Zheng J and Niu X L. 2010. Lithocaps: Geological characteristics and implication to exploration of epithermal and porphyry-style deposits [J]. *Geology and Exploration*, 46 (1) :20-23 (in Chinese with English abstract).
- Xia D X, Zheng A Z and Xie Y M. 1993. Regional geological memoir of Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 707p (in Chinese).
- Ying L J, Tang J X, Wang D H, Chang Z S, Qu W J and Zheng W B. 2009b. Re-Os isotopic dating of molybdenite in skarn from the Jiamia copper polymetallic deposit of Tibet and its metallogenic significance [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28 (3) :265-268 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J, Wang D H, Tang J X, Chang Z S, Qu W J, Zheng W B and Wang H. 2010. Re-Os dating of molybdenite occurring in different rocks from and its metallogenic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84 (8) :1165-1174 (in Chinese with English abstract).
- Yuan W M, HOU Z Q, Li S R and Wang S C. 2001. Tibet, A multi-metal mine Ma fission track evidence of the thermal history in the Jiamia copper polymetallic deposit, Tibet [J]. *Science in China (Series D)*, 31 (S1) :117-121 (in Chinese).
- Zhang S T, Zhao P D, Xia Q L, Sun H S and Li M E. 2007. Discussion on the theories and practice of regional multi-objective mineral prediction and assessment [J]. *Earth Science Frontiers*, 14 (5) :104-115 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P D. 2002. "Three-Component" quantitative resource prediction and assessments: Theory and practice of digital mineral prospecting [J]. *Earth Science*, 27 (5) :482-489 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P D. 2007. Quantitative mineral prediction and deep mineral exploration [J]. *Earth Science Frontiers*, 14 (5) :1-10 (in Chinese with English abstract).
- Zheng W B, Chen Y C, Song X, Tang J X, Ying L J, Li F J and Tang X Q. 2010. Element distribution of Jiamia copper-polymetallic deposit in Tibet and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 29 (3) :461-475 (in Chinese).
- Zheng W B, Chen Y C, Tang J X, Chang Z S, Wang X W, Ying L J, Li F J, Wang H and Tang X Q. 2011. Discovery of the tubular ore body in Jiamia ore district, Tibet and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 30 (2) :207-218 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹新志. 2006. 矿产勘查理论与方法 (省级精品课程) [EB]. <http://www.jingpinke.com/course/details/contents?uid=8a833999-1e4881f5-011e-4881fa17-056f&courseID=S0600177&column=content>
- 岑博雄, 熊鹏飞, 王定域等. 1993. 山西中条山胡-篁型铜矿床勘查模型系统 [J]. *现代地质*, 7 (1) :66-72.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚, 任纪舜, 翟裕生, 常印佛, 汤中立, 裴荣富, 滕吉文, 邓晋福, 胡云中, 任天祥, 沈保丰, 王世称, 肖克炎, 彭润民, 钱壮志, 梅燕雄, 杜建国, 施俊法, 张晓华, 朱明玉, 徐珏, 薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价 [M]. 北京: 地质出版社. 1005 页.
- 池顺都. 1991. 矿产勘查模型的建立原则——以个旧锡多金属成矿区为例 [J]. *地球科学*, 16 (3) :335-340.
- 池顺都. 1995. 斑岩铜矿的勘查模式 [J]. *地球科学*, 20 (2) :149-155.
- 董彦辉, 许继峰, 曾庆强, 毛国政, 李杰. 2006. 存在比桑日群弧火山岩更早的新特提斯洋俯冲记录么 [J]? *岩石学报*, 22 (3) :661-668.
- 杜光树, 姚鹏, 潘凤雏, 裴登达, 李文彬, 宁英毅. 1998. 喷流成因砂卡岩与成矿——以西藏甲玛铜金属矿床为例 [M]. 成都: 四川科学技术出版社. 82-113.
- 冯孝良, 管仕平, 牟传龙, 侯增谦, 李胜荣. 2001. 西藏甲玛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.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 朱弟成, 廖忠礼. 2006. 西藏冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代 [J]. *沉积与特提斯地质*, 26 (1) :1-7.
- 郭娜, 陈建平, 唐菊兴, 郭科. 2010. 基于 RS 技术的西藏甲玛铜多金属矿外围成矿预测研究 [J]. *地学前缘*, 17 (4) :280-289.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 曾普胜, 秦克章, 许继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰

- 撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5): 521-543.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 林方成, 刘波, 余宏全, 丰成友, 屈文俊. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲玛和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及意义[J]. 矿床地质, 24(5): 481-489.
- 连玉, 徐文艺, 杨丹, 陈伟十, 曲晓明, 陈栋梁. 2008. 西藏冈底斯甲玛和南木矿床流体包裹体 SR-XRF 研究[J]. 岩石矿物学杂志, 28(3): 187-198.
- 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 张建东, 陈毓川. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. 矿床地质, 28(2): 109-119.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺. 2007. 三个锆石 U-Pb-SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿火成岩时代的重新厘定[J]. 矿床地质, 26(5): 512-518.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217-225.
- 唐菊兴. 2003. 矿产勘查地质学(四川省省级精品课程)[EB]. <http://www.jingpinke.com/course/details/introduction?uuid=8a833999-221e4794-0122-1e4794eb-01db&courseID=S0500715&column=brief>
- 唐菊兴, 张丽, 黄勇, 王成辉, 李志军, 邓起, 郎兴海, 王友. 2009. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.
- 唐菊兴, 黎枫信, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010a. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. 矿床地质, 29(3): 461-475.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫信, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征和及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏, 邹天人, 薛春纪, 罗君烈, 骆耀南, 伍广宇, 李志伟, 余金杰, 闫升好, 杨建民, 傅旭杰, 付小方, 傅德明, 楚莹石, 魏琳, 李晓焰. 2005. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 853 页.
- 徐庆生, 覃锋, 刘阳, 袁波, 孙赫, 陈喜峰, 郑杰, 牛向龙. 2010. 岩帽 地质特征及找矿意义[J]. 地质与勘探, 46(1): 20-23.
- 夏代祥, 郑安柱, 谢义木. 1993. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 707 页.
- 应立娟, 唐菊兴, 王登红, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝. 2009. 西藏甲玛铜多金属矿床矽卡岩中辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿意义[J]. 岩矿测试, 28(3): 265-268.
- 应立娟, 王登红, 唐菊兴, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝, 王焕. 2010. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿不同矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 地质学报, 84(8): 1165-1174.
- 袁万明, 侯增谦, 李胜荣, 王世成. 2001. 西藏甲玛多金属矿区热历史的裂变径迹证据[J]. 中国科学(D 辑), 31(S1): 117-121.
- 张寿庭, 赵鹏大, 夏庆霖. 2007. 区域多目标矿产预测评价理论与实践探讨——以滇西北地区喜马拉雅期富碱斑岩相关矿产为例[J]. 地学前缘, 14(5): 104-115.
- 赵鹏大. 2002. “三联式”资源定量预测与评价——数字找矿理论与实践探讨[J]. 地球科学, 27(5): 482-489.
- 赵鹏大. 2007. 成矿定量预测与深部找矿[J]. 地学前缘, 14(5): 1-10.
- 郑文宝, 陈毓川, 宋鑫, 唐菊兴, 应立娟, 黎枫信, 唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿元素分布规律及地质意义[J]. 矿床地质, 29(5): 775-784.
- 郑文宝, 陈毓川, 唐菊兴, 畅哲生, 汪雄武, 应立娟, 黎枫信, 王焕, 唐晓倩. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛矿区筒状矿体的发现及其地质意义[J]. 矿床地质, 30(2): 207-218.