



西藏甲玛铜多金属矿元素分布规律及地质意义*

郑文宝¹, 陈毓川², 宋鑫³, 唐菊兴², 应立娟², 黎枫佶¹, 唐晓倩¹

(1 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3 中国黄金集团, 北京 100011)

摘要 甲玛铜多金属矿床已经成为冈底斯成矿带内为数不多的铜品位高、规模大、矿体连续性好的超大型斑岩-矽卡岩-角岩型铜多金属矿床。文章根据167个钻孔的成矿元素化学分析结果,对各元素平面分带、(Pb+Zn)/Cu、Au/Cu、Mo/Cu、Pb/Ag、Zn/Pb、Zn/Cu比值分带以及剖面上元素的分带等进行了系统分析,认为甲玛铜多金属矿具有典型的与岩浆成矿作用有关的元素分带特征,矿体由深部向浅部具有Mo→Mo(Cu)→Cu+Mo→Cu(Pb+Zn+Mo)→Cu(Pb+Zn)→Pb+Zn的成矿元素分带现象,具有高温→中低温成矿演化的特点。研究提出,成矿流体的运移方向是由北东至南西,流体源位于矿区北东部的则古朗地区。这种典型的热液分带特征同海底喷流沉积矿床近管道相Pb/Ag比值高、远离喷口Zn/Pb、Zn/Cu比值高的元素分带特征有着本质的区别。矿区北部则古朗地区高Mo/Cu比值以及钼元素矿化强度随标高降低愈强的分布特点,均预示了该地区是深部隐伏含矿斑岩体之所在。

关键词 地质学 斑岩-矽卡岩-角岩型矿床 矿床成矿系列 元素分带 甲玛铜多金属矿 西藏
中图分类号 P618.41 文献标志码 A

Element distribution of Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet and its geological significance

ZHENG WenBao¹, CHEN YuChuan², SONG Xin³, TANG JuXing², YING LiJuan²,
LI FengJi¹ and TANG XiaoQian¹

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 China National Gold Group Corporation, Beijing 100011, China)

Abstract

The Jiama copper-polymetallic deposit is one of the few porphyry-skarn-hornfels type copper-polymetallic deposits characterized by high-grade, superlarge size and good continuity in the Gangdise copper metallogenic belt. Based on element chemical analytical results of 167 drill holes, this paper made a systematic analysis of the characteristics of planar zoning of various elements, the ratio zoning of (Pb+Zn)/Cu, Au/Cu, Mo/Cu, Pb/Ag, Zn/Pb, Zn/Cu and the zoning characteristics of the elements in section, and the results have confirmed that the ore deposit has typical magmatic metallogenic element zoning. From the depth to the shallow part, there exists the zoning of Mo→Mo(Cu)→Cu(Mo)→Cu(Pb-Zn-Mo)→Cu(Pb-Zn)→Pb+Zn, assuming the evolution of ore-forming elements from high temperature to low temperature. Studies show that the migration direction of the ore-forming fluid was from northeast to southwest, and the fluid source was located in Zegulang area in the northeast of the ore district. These characteristics are essentially different from elements zoning features of sub-

* 本文得到西藏华泰龙矿业开发有限公司勘探项目、技术开发项目“西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床地质特征及找矿方向研究项目(E0804)”, 国家科技支撑项目(编号 2006BAB01A01), 青藏专项(编号 1212010818089)的共同资助

第一作者简介 郑文宝, 男, 1982年生, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: zhengwenbao2009@sina.com

收稿日期 2009-11-27; 改回日期 2010-01-15。李德先编辑。

marine exhalative sedimentary deposits. The high Mo/Cu ratios zoning in Zegulang area in the north of the ore district and the distribution of mineralization intensities of copper and molybdenum suggest that it is possible to find concealed porphyry ore bodies in the depth of the ore district.

Key words: geology, porphyry-skarn-hornfels type deposit, metallogenic series of ore deposit, element zoning, Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet

近年来,冈底斯成矿带以其丰富的矿产资源日益受到国内外地质学者的关注(芮宗瑶等,2003a;2003b;2003c;侯增谦等,2003;李光明等,2004;2005a;2006;杨志明等,2008;唐菊兴等,2009a;2009b)。甲玛铜多金属矿床是冈底斯成矿带内勘查取得重大突破的又一大型斑岩-矽卡岩-角岩型铜多金属矿床。目前已有多位学者对该矿床进行过研究,并提出该矿床属于海底喷流沉积型(杜光树等,1998;姚鹏等,1999;2002;2006;潘凤雏等,2002;王全海等,2002;李金高等,2001)岩浆热液交代矽卡岩型(冯孝良等,2001)斑岩-矽卡岩型(余宏全等,2005;2006;李光明等,2005b;唐菊兴等,2009^{①②});应立娟等,2009)斑岩-矽卡岩-角岩型矿床(唐菊兴等,2010)等多种矿床成因观点。笔者试图通过甲玛矿区元素的分带特征、元素比值的分带以及铜钼元素矿化强度的研究,确定矿床类型和矿床成矿系列,从而推断甲玛矿区隐伏斑岩体的位置。

1 成矿地质背景

西藏甲玛铜多金属矿床位于喜马拉雅-冈底斯微板块,冈底斯-念青唐古拉板片中南部冈底斯火山岩浆弧带内(刘增乾等,1990;Allegre et al.,1984;Pierce et al.,1988)。根据2008、2009年的勘查成果(唐菊兴等,2009^{①②}),该矿床是冈底斯中东段产出的重要铜多金属矿床之一,铜、钼、铅锌、伴生金、伴生银均达到大型以上规模。

矿区出露地层主要为下白垩统林布宗组(K_1l)砂板岩、角岩(矿体顶板)以及上侏罗统多底沟组(J_3d)灰岩、大理岩(矿体底板),第四系仅在牛马塘地区有少量出露(图1)。甲玛I号矽卡岩型主矿体主要受多底沟组与林布宗组的层间构造以及区域上甲玛-卡军果推覆构造体系的控制;除I号矿体外,另有8个矽卡岩型小矿体均产于矿区滑覆体内,受

滑覆构造控制(图1)。秦志鹏等(2010)的研究表明,矿区岩浆岩主要呈岩脉产出,岩石类型包括花岗斑岩、黑云母二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、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。由于矿区岩浆活动频繁,成矿前后岩脉均很发育。研究表明,岩浆岩含矿性较好的为偏中性的斑岩,其中含矿花岗闪长岩脉中辉钼矿Re-Os等时线年龄为 (14.78 ± 0.33) Ma(应立娟等,2009)。

甲玛铜多金属矿的主要矿体为矽卡岩型铜多金属矿体,其角岩型铜钼矿体位于矽卡岩型矿体上部林布宗组角岩中,由SW→NE,角岩化程度愈强,角岩矿化亦愈强,矿体厚度愈厚。矿区斑岩型矿体主要呈细脉浸染状产于岩脉或岩枝中,由SW→NE,钻孔中穿插岩脉数量增多,矿化增强,仅ZK1618孔就可见有5段矿化花岗闪长斑岩脉,产状均较陡。

2 元素分带特征

2.1 平面分带特征

元素平均品位×矽卡岩型矿体厚度分带特征:依据钻孔样品的化学分析结果,绘制各成矿元素品位×厚度分带图(图2),从图2a可以看出:Cu元素矿化强烈,整个矿区内Cu的含量均较高,品位×厚度值均大于 $10 \text{ m} \cdot \%$,至少存在2个强的矿化富集中心,这些矿化中心矿体的厚度均大于100m,尤其以钻孔ZK1616附近最为强烈,连续圈定铜钼矿体厚度达252.2m,Cu平均品位达0.75%;Mo元素矿化强度仅次于Cu元素(图2b),主要位于矿区NE方向,矿化富集中心与Cu元素基本一致,矿化最强部位同样是钻孔ZK1616附近,连续圈定钼矿体厚度为252.2m,全孔Mo平均品位0.10%;根据Pb×厚度(图2c)与Zn×厚度图(图2d),铅锌的矿化富集规律高度一致,都是在矿头部分富集,位于矿区南西的铅

① 唐菊兴,王登红,钟康惠等. 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.

② 唐菊兴,王登红,钟康惠等. 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.

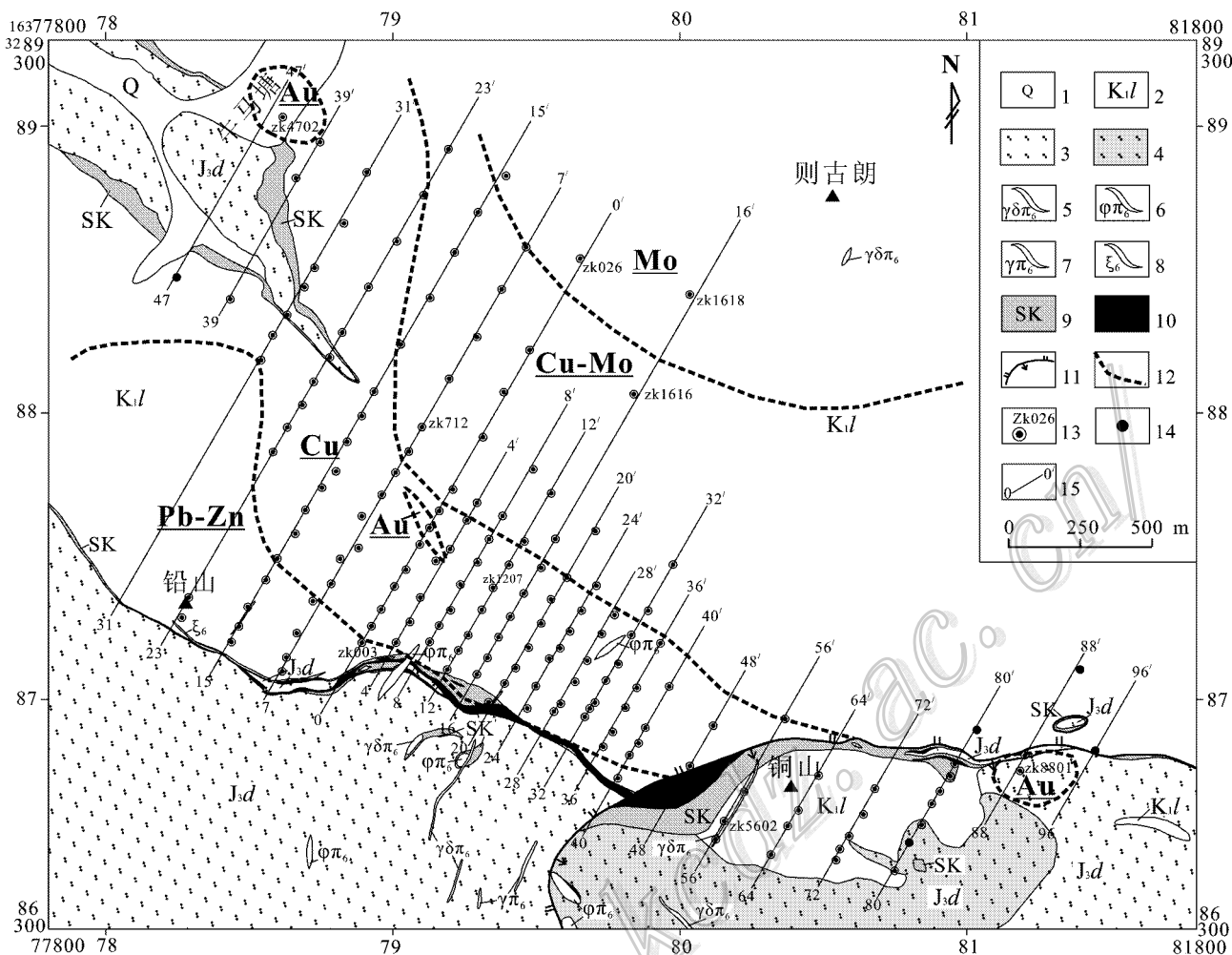


图 1 甲玛铜多金属矿床元素平面分带与地质叠合图(本图采用高斯 6 度投影,北京 54 坐标系统)

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—砂卡岩化大理岩;5—花岗闪长斑岩脉;6—石英钠长斑岩脉;7—花岗斑岩脉;8—花岗细晶岩脉;9—砂卡岩;10—砂卡岩型矿体;11—滑覆构造断裂;12—元素分带界线;13—见矿钻孔工程;14—未见矿钻孔工程;15—勘探线及编号

Fig. 1 Superimposition map of element zoning and geology in the Jiama copper-polymetallic deposit

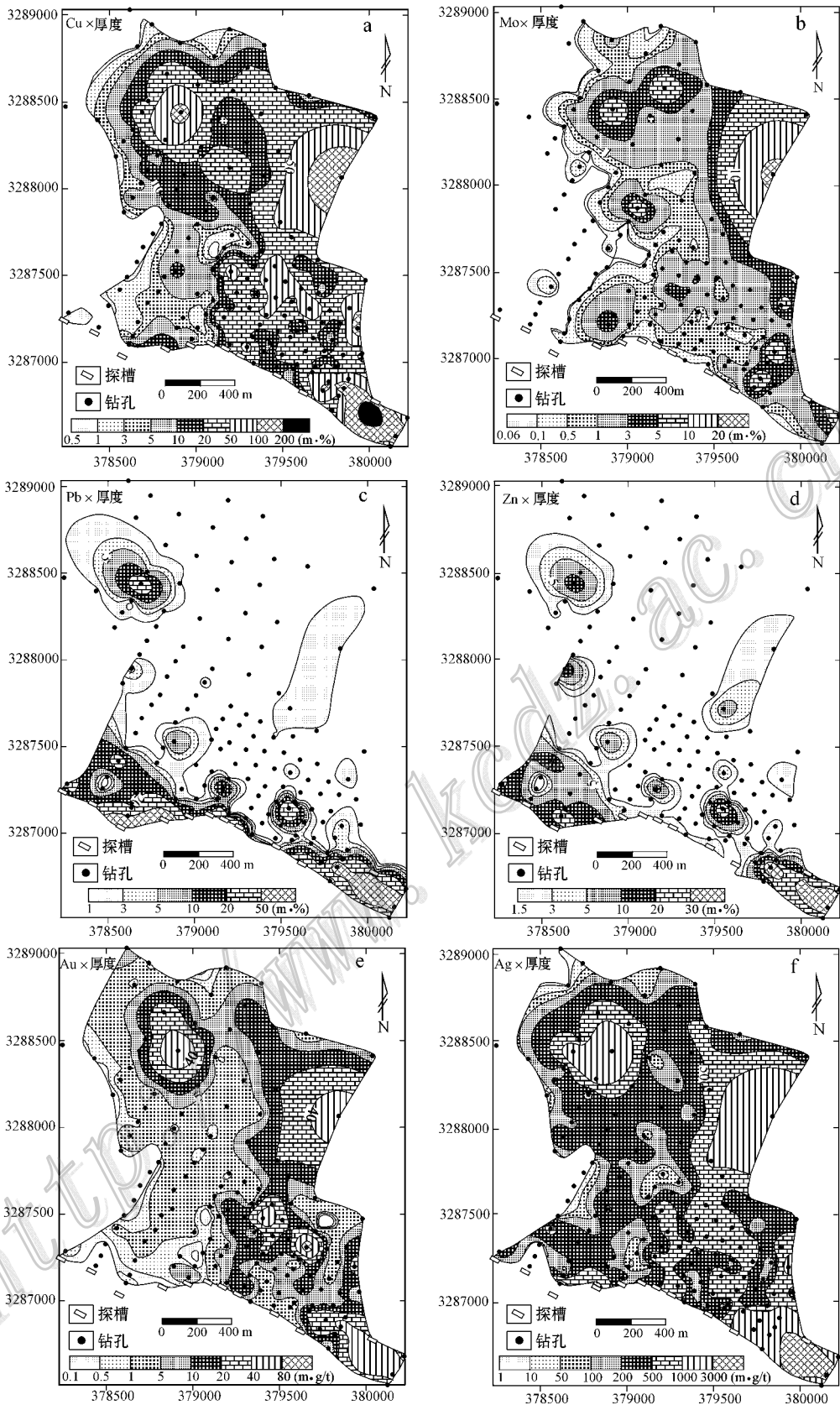
1—Quaternary residual, slope, alluvial and diluvial materials; 2—Sandy slate hornfels of Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 3—Limestone marble of Upper Jurassic Duodigou Formation; 4—Skarnized marble; 5—Granodiorite porphyry dike; 6—Quartz albite porphyry dike; 7—Granite porphyry dike; 8—Fine-grained granitic dike; 9—Skarn; 10—Skarn-type ore body; 11—Decollement fault; 12—Element zoning boundary; 13—Ore-intersecting drill hole; 14—Drill hole intersecting no mineralization; 15—Exploration line and its serial number

山附近,两者的品位×厚度值多大于 5 m·%;金、银的矿化富集规律也和 Cu 元素一致,至少存在 2 个矿化富集中心,全矿区金银矿化均较强,Au 品位×厚度值基本都大于 5 m·g/t,Ag 品位×厚度值大于 200 m·g/t(图 2e、2f)。

元素比值分带特征:由 $(Pb + Zn)/Cu$ 与 Au/Cu 比值分带图(图 3f、3e)可以看出,Pb、Zn 均分布在矿头或近地表处,一般在海拔 4 600 m 以上,矿石矿物组合为方铅矿+闪锌矿+(斑铜矿+黄铜矿)。Au 与 Cu 呈很好的正相关关系(图 4),整个矿区 Au 和

Cu 的相关系数为 0.64,样本数 20 336 件,Au 置信度为 98.7%,Cu 置信度为 98.5%。此外,还见到呈晚期浅成低温热液成因的独立金矿体,分布于矿区边部(图 1 中 ZK4702 孔金矿体厚 2.77 m,Au 平均品位 4.15 g/t;ZK8801 孔金矿体厚 3.54 m,Au 平均品位 4.77 g/t)。

Mo/Cu 高值区(图 3d)显示中高温元素组合的分布范围,表明近岩体接触带和隐伏含矿斑岩可能在 ZK026 附近及以北。从 2009 年施工钻孔的成果看,7 线至 40 线之北东是隐伏斑岩体之所在(图 1)。

图2 甲玛铜多金属矿床元素品位 \times 厚度分布等值线图Fig. 2 Distribution contours of element grade \times thickness in the Jiama copper-polymetallic deposit

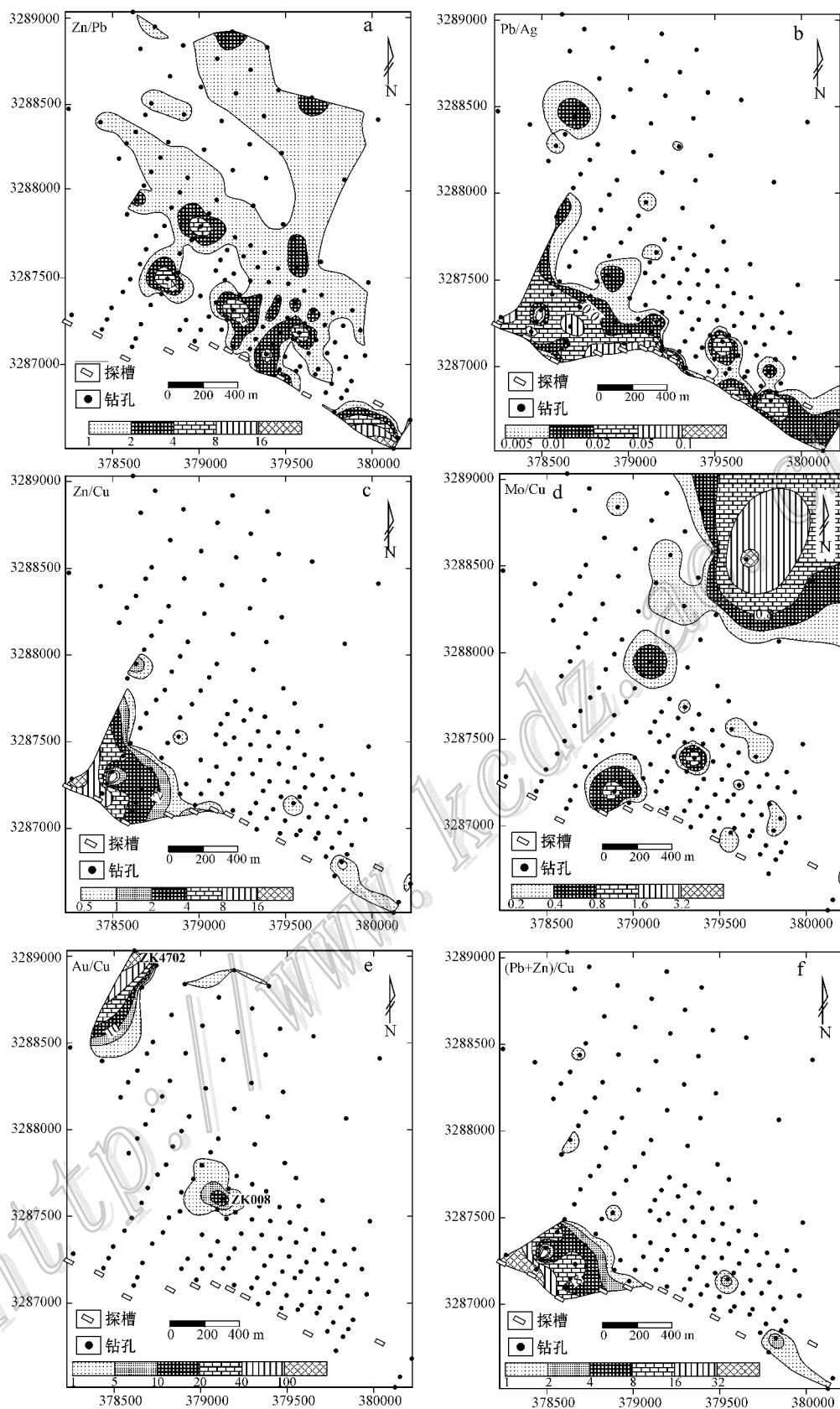


图 3 甲玛铜多金属矿床元素比值分布图

Fig. 3 Distribution of element ratios in the Jima copper-polymetallic deposit

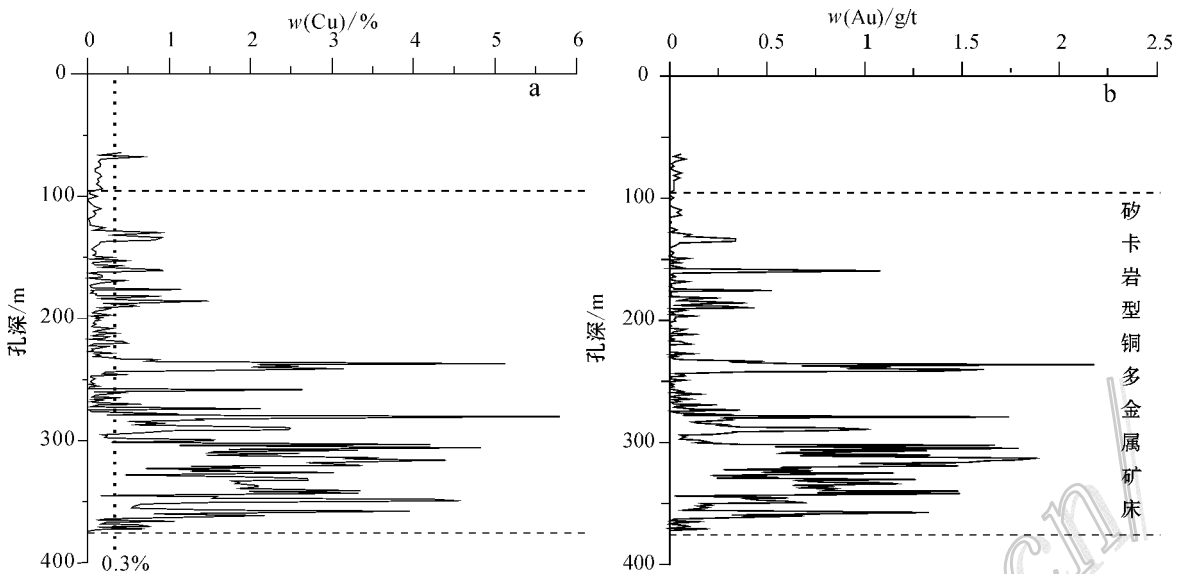


图4 ZK5602孔Cu-Au相关关系图

Fig. 4 Cu-Au correlativity in ZK5602 drill hole

从图3d可以看出, Mo/Cu 高比值区除主要分布在ZK026外, ZK003、ZK712、ZK1207也有分布,而这3个钻孔岩芯中正是有多段具矿化花岗斑岩岩脉穿插,钻孔中岩脉与 Mo/Cu 比值良好的对应关系表明,依据 Mo/Cu 比值高低追索岩体是可靠的,钼硫化物更加靠近接触带和隐伏岩体。

典型的海底喷流成因矿床所具有的一个重要特征是近管道相 Pb/Ag 比值高与远离喷口 Zn/Pb 、 Zn/Cu 比值高的元素分带特征(祝新友等,2007)。假如本矿床属于海底喷流型矿床, Pb/Ag 、 Zn/Cu 却在近地表以高比值出现,显示喷流近管道相(喷口)应位于近地表处,但本矿床矿化中心却在矿区的北东侧深部,这与典型喷流成因矿床的特征是矛盾的(图3a~3c)。

因此,无论是元素品位 \times 厚度的分带特征,还是元素比值分带特征都显示出成矿元素的平面分带由SW向NE总体表现为: $Pb + Zn(Au + Ag) \rightarrow Pb + Zn(Cu + Au + Ag) \rightarrow Cu(Mo + Au + Ag) \rightarrow Cu + Mo + (Au + Ag) \rightarrow Mo$,即矿化由铅锌矿化向铜钼矿化至钼矿化,构成了一个完整的与岩浆作用有关的元素分带特征。元素的平面分带特征表现出以NE部位则古朗地区为中心向外,高温至低温的元素分布序列,反映了热液从高温至低温的演化规律及流体的运移方向。另外,根据单样当量铜(EQ_{Cu})换算指标[换算公式: $EQ_{Cu}\% = (0.33 \times Au + 0.0056 \times Ag + 1 \times$

$Cu + 10.04 \times Mo + 0.29 \times Pb + 0.38 \times Zn)$ %, Au 、 Ag 单位为 g/t ,其他元素为%],当量铜品位 \times 厚度数据显示了全矿区当量铜品位 \times 厚度值基本都大于 $10 m \cdot \%$,说明甲玛铜多金属矿床成矿元素丰富、成矿强度大,属于爆发式成矿。

2.2 剖面分带特征

以矿区中部0号勘探线剖面为例对元素剖面上分布特征进行研究。据图5b可以看出0号勘探线剖面上的元素分带总体由地表至矿体延深方向(30° 方向从SW至NE)表现为 $Pb + Zn \rightarrow Cu \rightarrow Cu + Mo \rightarrow Mo$ 。剖面上分带特征同平面上完全一致,同样也表明了热液来源于东北部。

曾庆丰(1986)认为可以依据 Zn/Pb 比值的变化来确定流体运移的方向和寻找隐伏矿体。在甲玛0号勘探线剖面图上(图5a),依据每个钻孔 Pb 、 Zn 含量,绘制 Zn/Pb 比值曲线,由曲线可以看出,由NE至SW,比值总体呈减小趋势。说明流体运移的方向由NE至SW,流体源位于矿区NE部位。

3 讨论

3.1 矿床成因

甲玛铜多金属矿床成因和矿床类型一直是争论的焦点,其主要分歧集中在是海底喷流成因的沉积型矿床,还是与斑岩岩浆作用有关的斑岩-砂卡岩型

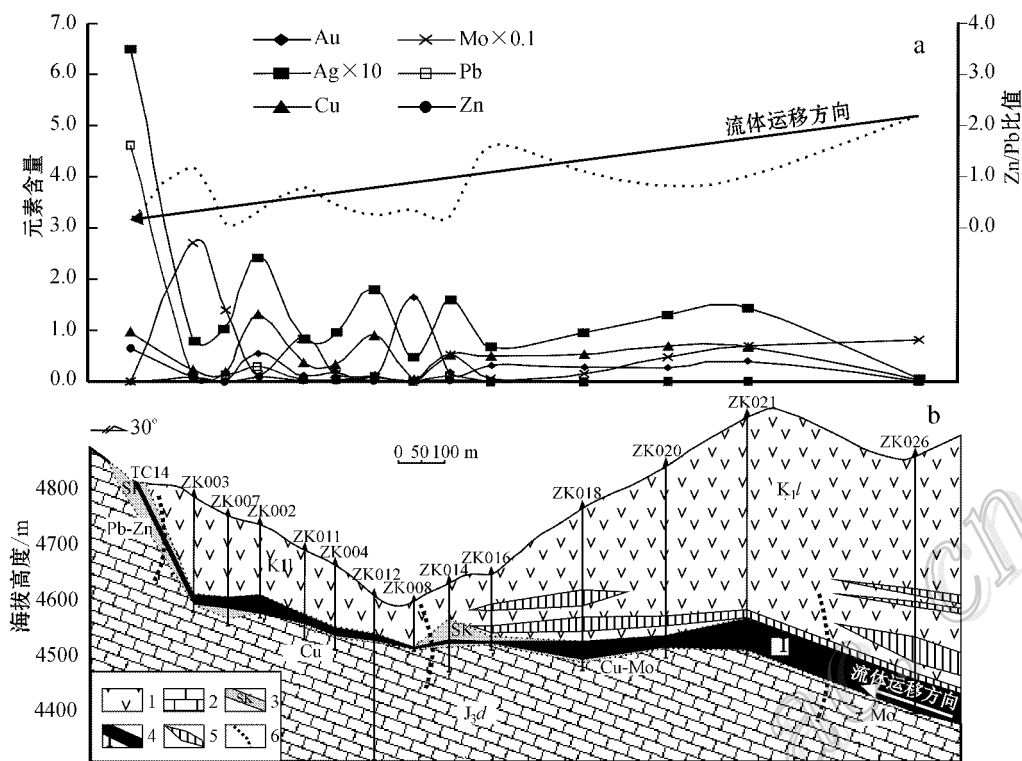


图 5 甲玛铜多金属矿床 0 号勘探线元素分带图

1—林布宗组砂板岩、角岩；2—多底沟组灰岩、大理岩；3—矿化矽卡岩；4—矽卡岩型铜多金属矿体；5—角岩型矿体；6—矿石类型和成矿元素分带界线示意

(注：Au, Ag 元素含量单位为 10^{-6} ；Cu, Mo, Pb, Zn 元素含量单位为%)

Fig. 5 Element zoning along No. 0 exploration line of the Jiama copper-polymetallic deposit

1— K_1l sandy slate, hornfels; 2— J_3d limestone, marble; 3—Mineralized skarn; 4—Skarn copper-polymetallic ore body; 5—Hornfels ore body; 6—Element zoning boundary

矿床。上文中，主要成矿元素在平面上、剖面上的分布、分带特征，解决了矿区热源、热液源以及矿液转移方向等问题，成矿元素显示出从深部近斑岩体的 $Mo \rightarrow Mo(Cu)$ 带，到中部的 $Cu(Mo) \rightarrow Cu(Pb, Zn)$ 带，以及浅部 $Pb, Zn(Cu), Au$ 带的分布规律，具有明显的斑岩-矽卡岩型矿床成因的元素空间分布特征。

而成矿时代的确定亦是解决矿床成因问题的重要手段，以往学者提出的海底喷流沉积矿床成因观点，主要缺陷在于未能确定矿床的成矿时代。应立娟等(2009)通过对甲玛矿区辉钼矿的 Re-Os 同位素定年结果(矽卡岩中辉钼矿等时线年龄为 $(15.34 \pm 0.10) Ma$ 、 $(15.18 \pm 0.98) Ma$ 和 $(15.70 \pm 0.36) Ma$ ，斑岩中辉钼矿等时线年龄为 $(14.78 \pm 0.33) Ma$ ，角岩中辉钼矿等时线年龄为 $(14.67 \pm 0.19) Ma$)以及考虑到辉钼矿的产出状态，与黄铜矿等的共生组合关系，认为辉钼矿的成矿时代可代表区内主要矿石矿物的成矿时代(14.5~15 Ma)，属于中

新世 Langhian 期成矿，这与冈底斯成矿带上其他主要大中型斑岩-矽卡岩型铜矿的成矿时代一致。秦志鹏等(2010)通过测定矿区含矿斑岩脉和矿区外围象背山斑岩体的锆石 U-Pb 年龄，得出矿区斑岩的成岩年龄为 15~16 Ma 的结果，进一步说明了斑岩与成矿有着直接联系。因此，矿床成矿时代的精确测定，为斑岩-矽卡岩型的矿床成因观点提供了重要证据。

同时，多方面证据显示甲玛铜多金属矿不具有喷流沉积矿床的特征，如本文所述的元素分带特征，矿石矿物分带特征，喷口，典型的二元结构(即矿床上部为似层状、块状硫化物矿体，下部为浸染状、细脉状和网脉状硫化物矿体)(侯增谦等，1996；Mitchell et al., 1981；Sawkins et al., 1984；李红阳等，2006)，由重晶石岩、天青石岩、硅质岩和电气石岩组成的喷气流岩等。

因此，甲玛铜多金属矿的矿床类型属斑岩-矽卡

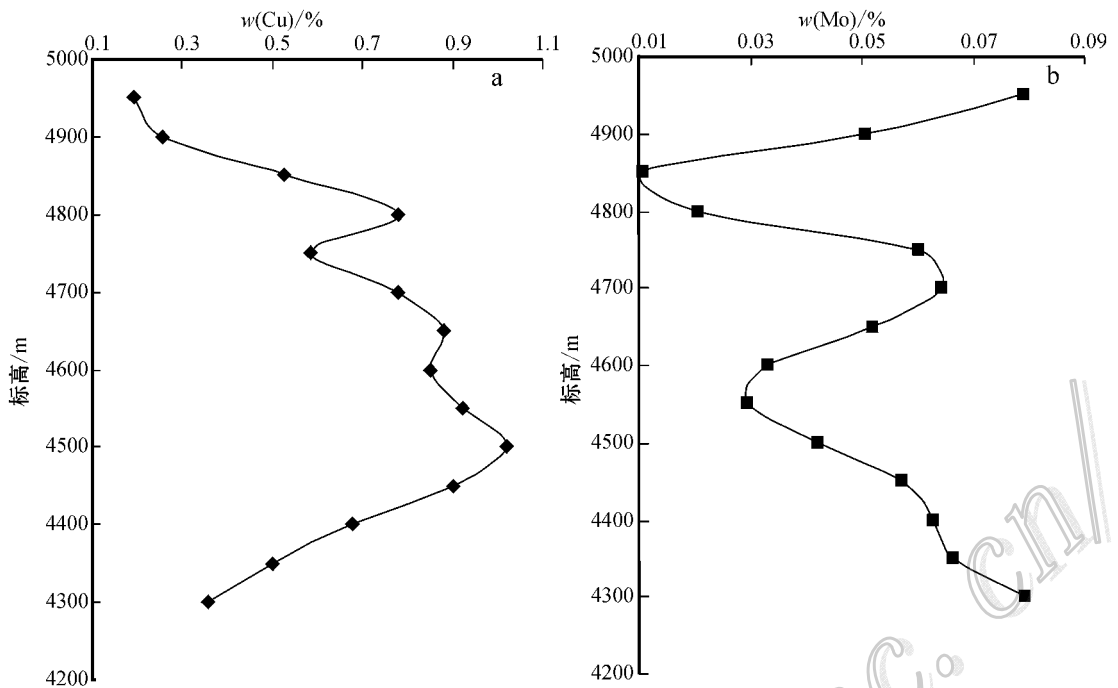


图6 Cu、Mo元素矿化强度分布图

Fig. 6 Distribution of Cu, Mo mineralization intensities

岩-角岩型,并叠加有成矿晚期的浅成低温热液型金的成矿。

3.2 深部预测

根据元素的分带特征和矿物组合特点,显示在矿区NE部则古朗地区深部寻找到斑岩型矿床的可能性最大。从矿区矽卡岩型矿体铜、钼平均品位随海拔高度变化的矿化强度曲线(图6)也可以看出,在海拔4500m中段面左右铜矿化最强,随深度渐弱,至4300m中段,铜平均品位已降至0.3%左右(图6a),钼矿化在4950m、4700m中段左右矿化较强,而且,在4400m中段以下,钼矿化具逐渐增强趋势,钼平均品位已达0.08%(图6b)。因此,有理由相信在矿区深部可以找到斑岩型铜钼矿体。

4 结论

(1) 甲玛铜多金属矿床为西藏冈底斯成矿带中东段内斑岩-矽卡岩型的重要矿床,其铜、钼、铅+锌、伴生金、伴生银均达到大型规模,该矿床的找矿突破是矿床成矿系列理论指导实践的结果,矿床由斑岩型铜钼(金、银)矿体、矽卡岩型铜钼铅锌(金、银)

矿体以及角岩型铜钼矿体组成。

(2) 矿区内由NE方向(则古朗)至SW方向(铅山)元素组合由高温向低温组合演化,元素的空间分带为从深部近斑岩体的Mo→Mdx(Cu)带,到中部的Cu(Mo)→Cu(Pb、Zn)带,以及浅部Pb、Zn(Cu)和Au带,表明了热液的运移方向是由则古朗向铅山方向流动。

(3) 矿区0号勘探线剖面所表现出由NE至SW Zn/Pb比值降低的规律,与平面上元素的分带特征完全一致,显示流体的运移方向是由NE向至SW向,流体源位于矿区NE部则古朗地区。

(4) 据Zn/Pb、Mo/Cu比值的平面分带特征,Cu、Mo元素在垂向上的矿化强度分布特征,认为隐伏岩体位置可能位于ZK026附近,在第7勘探线—第40勘探线之间,为进一步找矿指明了方向。

志 谢 本文是在多吉院士、叶天竺研究员、王瑞江研究员、粟登逵高级工程师、刘鸿飞教授级高级工程师的指导下完成的,在此深表谢意!感谢西藏华泰龙矿业开发有限公司为笔者的野外工作和室内工作提供了资助。

References

- Allegre C J, et al. ,1984. Structure and evolution of the Hi-malayan-Tibet orogenic belt [J]. *Nature* , 307 : 17-22.
- Du G S, Yao P, Pan F C, Su D K, Li W B and Ning Y Y. 1998. Sedimentation-exhalation skarn and ore-formation exemplified by Jiama copper-polymetallic deposit, Xizang [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Pub. House. 123-132 (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 Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. *Geology Geochemistry* , 29(4): 41-48 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q and Urabe T. 1996. Hydrothermal alteration of ore-bearing volcanic rocks and mass chemical change in the Gacun Kuroko-type deposit, western Sichuan [J]. *Mineral Deposits* , 15(2): 98 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D and Huang W. 2003. Re-Os dating for molybdenite from porphyry copper deposit in Gangdese metallogenic belt, Xizang: Ore-forming time-limit and application of kinetics [J]. *Science in China (Series D)* , 33 : 509-618 (in Chinese).
- Li G M and Rui Z Y. 2004. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the Gangdise metallogenic belt, southern Xizang [J]. *Geotectonica et Metallogenia* , 28(2): 165-170 (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. 2005a. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance [J]. *Mineral Deposits* , 24(5): 482-489 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Liu B, Qu W J, Lin F C, She H Q and Feng C Y. 2005b. The porphyry-skarn ore-forming system in Gangdese metallogenic belt, southern Xizang: Evidence from molybdenite Re-Os age of porphyry-type copper deposits and skarn-type copper polymetallic deposits [J]. *Geotectonica et Metallogenia* , 29(4): 482-490 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Liu B, She H Q, Feng C Y and Qu W J. 2006. Early Himalayan mineralization on the southern margin of the Gangdese metallogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of the Chongmuda skarn-type Cu-Au deposit [J]. *Geological Bulletin of China* , 25(12): 1482-1486 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Yang Q R and Li Y J. 2006. Modern Mineralization Theory [M]. Seis. Pub. House. 55-78 (in Chinese).
- Li J G, Wang Q H, Zheng M H, Zhou Z Y, Hu X Q, Yao P, Liu H F and Yang C Y. 2001. The controls of the host basins on ore-forming elements from the Sedex deposits in Xizang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology* , 21(4): 12-20 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z Q, Xu X, Pan G T, Li T Z, Yu G M and Yu X J. 1990. Tectonics, geological evolution and genetic mechanism of Qinghai-Xizang plateau [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 44-47 (in Chinese).
- Mitchell A H G and Garson M S. 1981. Mineral deposits and global tectonic settings [M]. Academic Press. 100-140.
- Pan F C, Deng J, Yao P, Wang Q F and Liu Y X. 2002. The eruptive origins of copper and multi-metal deposits in the skarns in Jiama, Tibet [J]. *Geoscience* , 16(4): 360-364 (in Chinese with English abstract).
- 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.
- Qin Z P, Wang X W, Tang J X, Zhou Y, Gao Y M, Ying L J, Tang X Q and Peng H J. 2010. Adakite's zircon cathodoluminescence, U-Pb age and trace element characteristics of Jiama Cu-polymetallic deposit in Tibet [J]. *Geochimica* (in press).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Liu Y L. 2003a. 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).
- Rui Z Y, Lu Y, Li G M, Wang L S and Wang Y T. 2003b. Looking forward to the prospects of porphyry copper deposits in Tibet [J]. *Geology in China* , 30(3): 302-308 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Zhang L S, Wang L S and Wang Y T. 2003c. Porphyry copper deposits and continental volcanism [J]. *Seismology and Geology* , 25(Sup.): 79-85 (in Chinese with English abstract).
- Sawkins F J. 1984. Metal deposits in relation to plate tectonics [M]. Springer-Verlag. 1-110.
- She H Q, Feng C Y, Zhang D Q, Pan G T and Li G M. 2005. Characteristics and metallogenetic potential of skarn copper-lead-zinc polymetallic deposits in central eastern Gangdese [J]. *Mineral Deposits* , 24(5): 509-518 (in Chinese with English abstract).
- She H Q, Feng C Y, Zhang D Q, Li G M, Liu B and Li J W. 2006. Study on the fluid inclusions from Jiama skarn copper polymetallic deposit and Qulong porphyry copper deposit in Gandese copper belt [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 22(3): 690-696 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Chen Y C, Wang D H, Wang C H, Xu Y P, Qu W J, Huang W and Huang Y. 2009a. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo 'gyamda County, Tibet and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica* , 83(5): 698-702 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Huang Y, Li Z J, Deng Q, Lang X H, Chen Y and Zhang L. 2009b. Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xaitongmoin County, Tibet [J]. *Mineral Deposits* , 28(1): 16 (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. 2010. Geological features and metallogenetic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 31(4): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q H, Wang B S, Li J G, Yao P, Li Z, Zhou Z Y, Cheng L J and Liu H F. 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdese island arc, Tibet, and its copper polymetallic ore belt [J]. *Geological Bulletin of China* , 21(1): 36-40 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Song Y C, Li Z Q, Xia D X and Pan F C. 2008.

- Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet: Geology alteration and mineralization [J]. Mineral Deposits, 27(3): 279-318 (in Chinese with English abstract).
- Yao P and Du G S. 1999. The geochemistry and origin of the host rocks in the Jiama polymetallic ore deposit, Xizang [J]. Tethyan Geology, 23: 47-56 (in Chinese with English abstract).
- Yao P, Zheng M H, Peng Y M, Li J G, Su D K and Fan W Y. 2002. Sources of ore-forming materials and the genesis of the Jiama copper and polymetallic deposit in Gandise island-arc belt, Xizang [J]. Geological Review, 48(5): 469-478 (in Chinese with English abstract).
- Yao P, Li J G, Gu X X, Zheng M H and Chen J K. 2006. A discussion on the genesis of the stratabound skarn in the Jiama copper and polymetallic deposit of Tibet on the basis of REE and silicon isotope geochemistry [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(4): 306-312 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J, Tang J X, Wang D H, Chang Z S, Qu W J and Zheng W B. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite in skarn from the Jiama copper polymetallic deposit of Tibet and its metallogenic significance [J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 265-268 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Q F. 1986. On the hydrothermal ore-forming conditions [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 66-68 (in Chinese).
- Zhu X Y, Deng J N, Wang J B, Lin L J, Fan J C and Sun S Q. 2007. Study on marble of the Xitieshan lead-zinc Sedex deposit, Qinghai Province: Interaction between exhaled brine and seawater [J]. Geological Review, 53(1): 56 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 杜光树, 姚鹏, 潘凤雏, 粟登奎, 李文彬, 宁英毅. 1998. 喷流成因砂卡岩与成矿——以西藏甲马铜多金属矿床为例 [M]. 成都: 四川科技出版社. 123-132.
- 冯孝良, 管仕平, 牟传龙, 侯增谦, 李胜荣. 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): 41-48.
- 侯增谦, T. Urabe. 1996. 川西岷村黑矿型矿床含矿火山岩系热液蚀变与物质-化学变化 [J]. 矿床地质, 15(2): 98.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 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 [J]. 中国科学(D辑), 33(7): 509-618.
- 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 [J]. 大地构造与成矿学, 28(2): 165-170.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 林方成, 刘波, 余宏全, 丰成友, 屈文俊. 2005a. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 $Re-Os$ 同位素年龄及意义 [J]. 矿床地质, 24(5): 482-489.
- 李光明, 刘波, 屈文俊, 林方成, 余宏全, 丰成友. 2005b. 西藏冈底斯成矿带的斑岩-砂卡岩成矿系统——来自斑岩矿床和砂卡岩型铜多金属矿床的 $Re-Os$ 同位素年龄证据 [J]. 大地构造与成矿学, 29(4): 482-490.
- 李光明, 刘波, 余宏全, 丰成友, 屈文俊. 2006. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用-来自冲木达铜金矿床的 $Re-Os$ 同位素年龄证据 [J]. 地质通报, 25(12): 1482-1486.
- 李红阳, 杨秋荣, 李英杰. 2006. 现代成矿理论 [M]. 北京: 地震出版社. 55-78.
- 李金高, 王全海, 郑明华, 周祖翼, 胡晓强, 姚鹏, 刘鸿飞, 杨成玉. 2001. 西藏 Sedex 型矿床赋盆地性质对成矿元素的制约作用 [J]. 沉积与特提斯地质, 21(4): 12-20.
- 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 李泰钊, 余光明, 余希静. 1990. 青藏高原大地构造与形成演化 [M]. 北京: 地质出版社. 44-47.
- 潘凤雏, 邓军, 姚鹏, 王庆飞, 刘玉祥. 2002. 西藏甲马铜多金属矿床砂卡岩的喷流成因 [J]. 现代地质, 16(4): 360-364.
- 秦志鹏, 汪雄武, 唐菊兴, 周云, 高一鸣, 应立娟, 唐晓倩, 彭慧娟. 2010. 西藏甲马铜多金属矿床钾质似埃达克岩锆石阴极光、U-Pb 年龄及其微量元素特征 [J]. 地球化学(待刊).
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003a. 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.
- 芮宗瑶, 陆彦, 李光明, 王龙生, 王义天. 2003b. 西藏斑岩铜矿的前景展望 [J]. 中国地质, 30(3): 302-308.
- 芮宗瑶, 张立生, 王龙生, 王义天. 2003c. 斑岩铜矿与陆相火山活动 [J]. 地震地质, 25(增刊): 79-85.
- 余宏全, 丰成友, 张德全, 潘桂棠, 李光明. 2005. 西藏冈底斯中东段砂卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析 [J]. 矿床地质, 24(5): 509-518.
- 余宏全, 丰成友, 张德全, 李光明, 刘一波, 李进文. 2006. 西藏冈底斯铜矿带甲马砂卡岩型铜多金属矿床与驱龙斑岩型铜矿流体包裹体特征对比研究 [J]. 岩石学报, 22(3): 690-696.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009a. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿-钼同位素年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 83(5): 698-702.
- 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 邓起, 郎兴海, 陈渊, 张丽. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿床元素地球化学特征 [J]. 矿床地质, 28(1): 16.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫估, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010. 西藏甲马铜多金属矿床地质特征及其矿床模型 [J]. 地球学报, 31(4): 1-12.
- 王全海, 王保生, 李金高, 姚鹏, 李志, 周祖翼, 程力军, 刘鸿飞. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评价 [J]. 地质通报, 21(1): 36-40.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代洋, 潘凤雏. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿 [J]. 矿床地质, 27(3): 279-318.
- 姚鹏, 杜光树. 1999. 西藏甲马多金属矿床容矿岩石的地球化学特征及其成因初步研究 [J]. 特提斯地质, 23: 47-56.
- 姚鹏, 郑明华, 彭勇明, 李金高, 粟登奎, 范文玉. 2002. 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 [J]. 地质论评, 48(5): 469-478.
- 姚鹏, 李金高, 顾雪祥, 郑明华, 陈建坤. 2006. 从 REE 和硅同位素特征探讨西藏甲马矿床层状砂卡岩成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 25(4): 306-312.
- 应立娟, 唐菊兴, 王登红, 杨哲生, 屈文俊, 郑文宝. 2009. 西藏甲马铜多金属矿床砂卡岩中辉钼矿-钼同位素定年及其成矿意义 [J]. 岩矿测试, 28(3): 265-268.
- 曾庆丰. 1986. 热液矿床成矿条件 [M]. 北京: 地质出版社. 66-68.
- 祝新友, 邓吉牛, 王京彬, 林龙军, 樊俊昌, 孙淑秋. 2007. 锡铁山喷流沉积矿床卤水与海水的相互作用 [J]. 地质论评, 53(1): 56.