

文章编号: 0258-7106(2012)03-0579-11

西藏甲玛斑岩矿床裂隙系统的初步研究及意义*

林 彬¹, 唐菊兴^{2*}, 张 志¹, 郑文宝¹, 冷秋锋¹, 钟婉婷¹, 应立娟²

(1 成都理工大学, 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 西藏甲玛铜多金属矿床是近年来在冈底斯成矿带内中东段找到的超大型斑岩矿床之一。根据甲玛矿区 165 个钻孔角岩中裂隙的统计结果, 从平面上和垂向上研究甲玛斑岩矿床裂隙的分布特征及其与上覆围岩金属矿化强度之间的关系, 认为整个矿区破裂裂隙疏密分布趋势明显, 裂隙高密度区位于 ZK1616—ZK3216 一带, 平均裂隙率达 40 条/m 以上, 最高可达 82 条/m, 并以此为中心向四周发散, 裂隙率逐渐降低。而上覆围岩(角岩)中的铜钼矿化强度同裂隙发育程度呈正相关, 平面上裂隙高密度区对应的 Cu 品位值为 0.2%~0.47%, 对应的 Mo 品位值为 0.03%~0.10%, 垂向上裂隙发育程度与铜钼矿化同样具有很好的对应关系, 即裂隙越发育, 对应的金属矿化越好, 且在角岩中具“上铜下钼”的矿化分带现象。此外, 根据对矿区裂隙成因的初步讨论, 提出了甲玛斑岩矿床裂隙系统的演化模式, 并结合 16 号勘探线上裂隙产状变化的研究成果, 进一步确定了甲玛深部隐伏斑岩体的位置。

关键词 地质学; 甲玛斑岩矿床; 裂隙系统; 铜钼矿化; 角岩; 西藏

中图分类号: P618.41; P618.65

文献标志码: A

Preliminary study of fissure system in Jiama porphyry deposit of Tibet and its significance

LIN Bin¹, TANG JuXing², ZHANG Zhi¹, ZHENG WenBao¹, LENG QiuFeng¹,
ZHONG WanTing¹ and YING LiJuan²

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Recently the Jiama copper polymetallic deposit has become one of the superlarge porphyry deposits with significant exploration breakthrough in the mid-eastern part of Gangdise metallogenic belt within Tibet. According to statistic data of fissures in hornfels obtained from 165 drill holes, the authors studied the distribution features of fissures in the Jiama porphyry deposit in relation to metal mineralization of the covering wall rocks in both horizontal direction and vertical direction. This paper points out that the fissure system has distinct distribution trend, and most fissures-crowded places are located along the zone from No.1616 to No.3216 drill holes, with the average fissure rate reaching more than 40 pieces per meter, even 82 pieces per meter at the tiptop which serves as the center of dispersion, and the fissures rate decreases outwards. The copper-molybdenum mineralization of the wall rocks is in positive correlation with the fissure rate. In horizontal direction, the fissures-crowded area has copper grade from 0.2% to 0.47% and molybdenum grade from 0.03% to 0.10%. In vertical direction, the similar phenomena also exist. There is a mineralization zone characterized by copper in the upper part

* 本文得到国家 973 项目(2011CB403103) \ 中央公益性行业科研专项(200911007-02) \ 青藏专项(1212010818089)和技术开发项目(E0804)的联合资助

第一作者简介 林 彬, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 矿床学专业。Email: linbinxt@sina.com

** 通讯作者 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 2011-06-29; 改回日期 2012-02-27。秦思婷编辑。

and molybdenum in the lower part in hornfels. This paper also discusses briefly the reason of the fissure formation and puts forward the evolution model of the fissures system in the Jiama porphyry deposit so as to delineate the porphyry body in depth, on the basis of the research result of the attitude variation of fissures along No. 16 exploration line.

Key words: geology, Jiama porphyry deposit, fissure system, copper and molybdenum mineralization, hornfels, Tibet

斑岩矿床裂隙系统的研究有助于探讨矿床内蚀变与矿化分带,因此,长期以来国内外学者对斑岩矿床中裂隙系统的研究都十分重视。Titley(1986)认为,广泛发育的多期破裂裂隙控制着斑岩铜矿的蚀变和金属矿化作用。同时,还指出破裂裂隙的发生、发展与斑岩体的冷却、“二次沸腾”以及“水破裂”等作用存在密切关系。芮宗瑶等(1984)和王之田等(1994),在对中国斑岩铜(钼)矿床的破裂裂隙研究后指出,破裂裂隙主要是岩浆从深部上升至地壳浅部形成次火山岩,经对流冷却产生热机械能,进而使大面积地壳岩石产生破裂而成。并且,进一步提出破裂裂隙为成矿热液流体运移、围岩蚀变和成矿元素沉淀提供了空间及通道。肖波等(2008)在对驱龙斑岩铜(钼)矿床的破裂裂隙研究后得出结论,驱龙矿区破裂裂隙发育程度与矿化强度之间具有良好的对应关系。

甲玛铜多金属矿床因发育大规模层状矽卡岩曾被部分研究者认定是海底喷流沉积成因矿床(杜光树等,1998;姚鹏等,2006;潘凤雏等,2002;王全海等,2002;李金高等,2001)。而据不同类型矿石中辉钼矿 Re-Os 测年结果和相关研究^{①②}表明(应立娟等,2009;2010;唐菊兴等,2010;2011;郑文宝等,2011;2012),甲玛矿床属于中新世 Langhian 期成矿,矿床属于与岩浆热液成矿作用有关的斑岩-矽卡岩型矿床。甲玛斑岩型矿床成矿系统中,从下至上主要的矿体类型为产于深部隐伏斑岩中的 $\text{M}\alpha(\text{Cu})$ 矿体、产于斑岩体外接触带矽卡岩中的铜多金属矿体、产于上部角岩中的 Cu-Mo 矿体以及脉状的独立金矿体。矽卡岩型矿体主要受控于层间构造,呈层状;而角岩中矿体主要受斑岩侵位形成的裂隙系统控制,呈筒状。因此,对角岩中裂隙系统的研究可作为甲玛矿区寻找深部隐伏斑岩的直接找矿标志。

1 矿区及矿床地质

甲玛铜多金属矿床位于西藏特提斯构造域冈底斯-念青唐古拉(地体)板片南部(图1)。矿区及邻近区域的地层主要为被动陆缘火山沉积岩系,包括上三叠统麦隆岗组(T_3^m)、中下侏罗统叶巴组(J_{1-2}^y)、上侏罗统却桑温泉组(J_3^q)和多底沟组(J_3^d)、下白垩统林布宗组(K_1^l)、楚木龙组(K_1^c)以及塔龙拉组(K_1^t)。区域上岩浆岩发育,主要分布在雅江断裂以北,是冈底斯火山-岩浆弧的重要组成部分。矿区岩浆岩在浅部呈脉岩产出,深部存在含矿斑岩体。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(唐菊兴等,2011)。目前的研究表明,含矿性较好的岩浆岩为偏中性的斑岩,其中,含矿花岗闪长斑岩中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(14.78 ± 0.33) Ma(应立娟等,2009)。冈底斯-念青唐古拉地体南缘的构造线总体走势近东西向,由于区域长期走滑效应,次级构造线多呈北西西向,推覆构造发育。甲玛矿区受控于由北向南的推覆构造及由南向北的滑覆构造。

甲玛斑岩矿床系统由4种矿体类型构成:①产于斑岩中的钼(铜)矿体:根据最新资料,矿体主要产于0~40线北边,赋矿斑岩主要为花岗闪长斑岩和二长花岗斑岩,目前已有5个钻孔探测到深部含矿斑岩,ZK2414孔连续见矿厚度达544.73 m,铜平均品位(质量分数,下同)为0.23%,钼平均品位为0.052%,矿体仍未穿透;②产于矽卡岩中的铜多金属矿体:为斑岩矿床系统的重要组成部分(王登红等,2010)。1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

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.

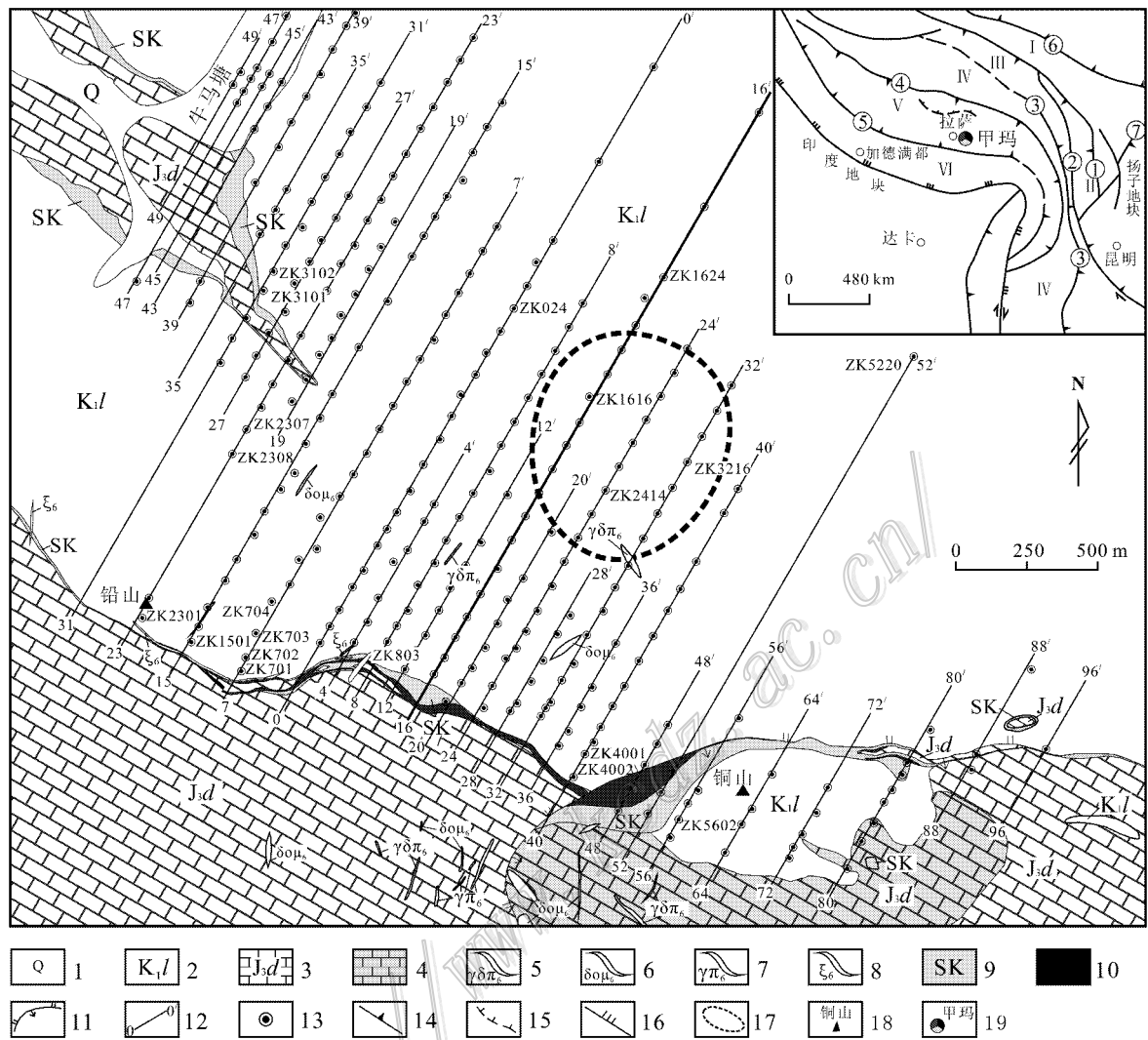


图 1 甲玛矿区地质图(据郑文宝等 2011 略作修改)

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—石英闪长玢岩脉；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—勘探线及编号；13—钻孔；14—板边带及俯冲方向；15—洋壳仰冲推覆前缘；16—主边界推覆断裂；17—隐伏斑岩体预测位置；18—矿区地名；19—甲玛矿区位置；① 甘孜-理塘断裂；② 金沙江-哀牢山断裂；③ 澜沧江断裂；④ 斑公湖-怒江断裂；⑤ 印度河-雅鲁藏布江断裂；⑥ 昆南-玛沁断裂；⑦ 龙门山断裂；I—可可西里-巴颜喀拉板片；II—义敦-乡城板片；III—喀喇崑仑-开心岭-昌都板片；IV—羌塘-唐古拉-保山板片；V—冈底斯-念青唐古拉-腾冲板片；VI—喜马拉雅板片

Fig. 1 Geological map of the Jiama mining area (modified after Zheng et al., 2011)

1—Quaternary residual, slope, alluvial and diluvial materials; 2—Sand-slate and hornfels of Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 3—Limestone and marble of Upper Jurassic Duodigou Formation; 4—Skarnized marble; 5—Granodiorite porphyry dike; 6—Quartz-diorite porphyrite dike; 7—Granite porphyry dike; 8—Granite aplite dike; 9—Skarn; 10—Skarn-type ore body; 11—Decollement fault; 12—Exploration line and its serial number; 13—Drill hole; 14—Terrane belt and subduction direction; 15—Subduction frontiers of oceanic crust; 16—Main overthrust fault; 17—Predicted location of concealed porphyry; 18—Place name in the ore district; 19—Location of the Jiama ore district; ① Ganzi-Litang fault; ② Jing-shajiang-Ailaoshan fault; ③ Lancangjiang fault; ④ Bangonghu-Nujiang fault; ⑤ Indian river-Yaluzangbujiang fault; ⑥ Kunnan-Maqin fault; ⑦ Longmenshan fault; I—Kekexili-Bayankala terrane; II—Yidun-Xiangcheng terrane; III—Kalakunlun-Kaixinling-Changdu terrane; IV—Qiang-tang-Tanggula-Baoshan terrane; V—Gandise-Nyainqentanglha-Tengchong terrane; VI—Himalayan terrane

底沟组灰岩、大理岩(矿体底板)的层间因推覆-滑覆构造作用形成的扩容空间内。主矿体走向约 300° , 长 2 800 m, 倾向 30° , 延伸大于 2 500 m(未控制边界)。矿体产状受推覆构造控制具明显的上陡下缓特点, 上部矿体倾角一般为 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 为铅锌(铜、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 号主矿体连续性非常好。目前控制的该矿体最大连续厚度约为 328.98 m(ZK1218), 其 Cu 平均品位为 0.49%, Mo 平均品位为 0.073%; ③产于角岩中的铜钼矿体: 呈筒状产于 0~40 线斑岩矿体上部角岩中, 目前该类矿体最大的厚度达 826 m(ZK3216 钻孔), Cu 平均品位 0.24%, Mo 平均品位 0.054%; ④脉状独立金矿体: 目前已在 ZK4702、ZK8807、ZK4504 等多处发现该类矿体。尤其是在 ZK4504 产于闪长玢岩中的 Au 矿体总厚度为 23.06 m, 其平均品位为 8.59 g/t。

2 研究方法

裂隙, 是指已经固结的坚硬岩石在各种地质作用下发生破裂变形而产生的空隙。当然, 这里的地质作用既包括各种构造应力作用, 也包括岩体侵位时所产生的上侵力或爆破作用。本文所研究的裂隙主要是指甲玛矿区岩体侵位时的上侵力或爆破作用所形成的裂隙, 包括已被各类矿物(如石英、方解石、辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿等)充填后所形成的脉体。虽然无法细分爆破裂隙、构造裂隙和冷缩裂隙, 但是含矿斑岩系统中的爆破裂隙相对占据优势是毋庸置疑的(芮宗瑶等, 1984)。具体研究方法如下:

(1) 针对甲玛矿区具体的钻探情况, 笔者主要选取了矿区 165 个钻孔进行上覆围岩(角岩)裂隙发育程度的数学统计, 采取分段记录再综合求平均值的方法来求得每个钻孔岩芯的平均裂隙率。先根据各钻孔的钻探深度, 将每个钻孔中的上覆围岩(角岩)大致分为上、中、下 3 段, 分别统计每段的裂隙率后, 再求三者的平均值, 得出该钻孔的平均裂隙率。

(2) 各钻孔的矿化情况主要依据钻孔岩芯的化学样品分析结果。角岩与斑岩中矿石的样品长为 2 m, 矽卡岩中矿石的样品长为 1 m。目前, 甲玛岩芯化学样品中主要测试分析的为 Au、Ag、Cu、Mo、Pb、Zn 六种元素。其中, 上覆围岩(角岩)中主要为 Cu、Mo 矿化。故以这 2 个元素来说明上覆围岩(角岩)

中矿化与裂隙发育程度的对应关系。

(3) 本文主要通过几何原理, 对 16 号勘探线上各钻孔的裂隙角度进行系统的统计。先测量各裂隙在岩芯上的垂直长度, 再通过三角函数计算出对应的角度, 并作出整个 16 号勘探线剖面上裂隙角度变化图。

3 裂隙分布特征及其与矿化对应关系

3.1 平面特征

根据目前矿区的研究程度, 甲玛矿区裂隙的发育情况主要依据角岩中裂隙的发育程度, 而裂隙发育程度主要通过裂隙密度(即裂隙率)来表示。按照上述方法, 笔者对甲玛矿区 165 个钻孔中斑岩体上覆围岩(角岩)的裂隙率进行了详细统计。各钻孔角岩的裂隙发育程度不同, 疏密分布趋势明显, 部分钻孔(如 ZK2010)平均裂隙率值高达 82 条/m, 也有部分钻孔(如 ZK1201)平均裂隙率值仅为 5 条/m。考虑到整个角岩矿体产出的海拔标高为 4 300~5 150 m, 而以 4 500~4 700 m 矿化较强, 故笔者选取海拔 4 500 m、4 600 m 和 4 700 m 三个台阶来说明整个矿区裂隙发育情况, 各台阶的裂隙率取两高程间的平均裂隙率值(图 2、图 3、图 4)。

据图 2、图 3、图 4, 甲玛矿区角岩中破裂裂隙较为发育。在海拔 4 500 m、4 600 m 和 4 700 m 三个台阶上, 裂隙率较高区域主要集中在 ZK1616—

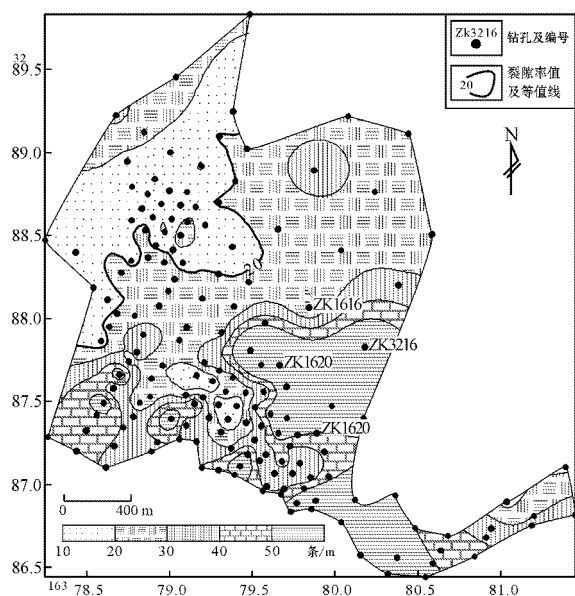


图 2 4 500 m 台阶段裂隙发育程度

Fig. 2 Development degree of fissures at 4 500 m step

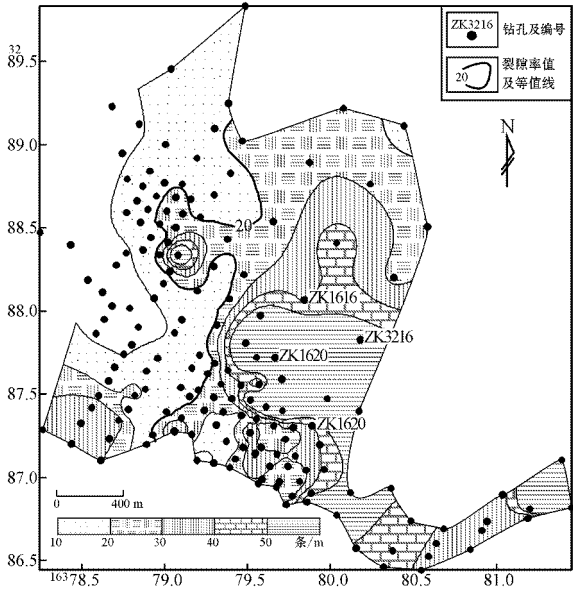


图 3 4 600 m 台阶段裂隙发育程度

Fig. 3 Development degree of fissures at 4 600 m step

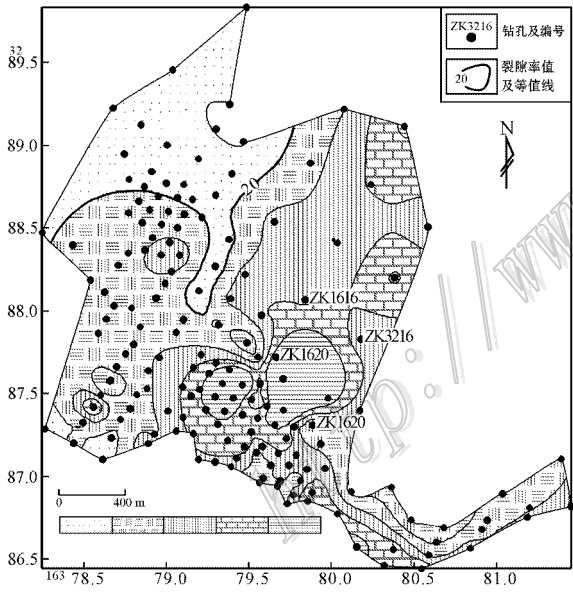


图 4 4 700 m 台阶段裂隙发育程度

Fig. 4 Development degree of fissures at 4 700 m step

ZK3216 一带,平均裂隙率均达 40 条/m 以上。同时,随着深度的变化,裂隙的分布趋势无明显变化,说明在整个平面上,甲玛裂隙高密度区主要集中在矿区中部 ZK1616—ZK3216 一带,平均裂隙率达 40 条/m 以上,最高可达 82 条/m,并以此为中心向四周发散,裂隙率逐渐降低。

同时,角岩中的裂隙高密度区也是铜钼矿化较好的范围,并且,裂隙率越高对应铜钼矿石品位也越

高。由于甲玛角岩矿体整体较均匀,且以 4 500 ~ 4 700 m 标高位段矿化最好,故以 4 600 m 台阶对应说明矿化与裂隙发育程度的关系,具有代表性。ZK1616—ZK3216 一带裂隙高密度区对应的 Cu 品位值(矿化强度)一般在 0.2% 以上,最高可达 0.47%,平均为 0.23%。对应的 Mo 品位值一般在 0.03% 以上,最高可达 0.10%,平均为 0.035%。两者均呈现越靠近中心,其值越高(图 5、图 6)的趋势。

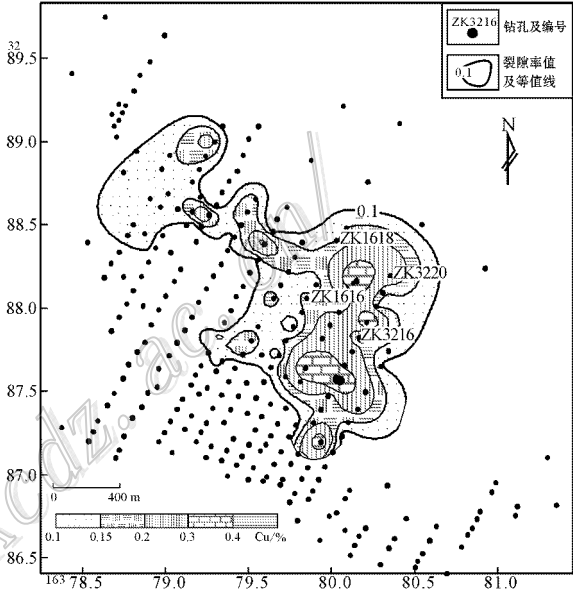


图 5 角岩 4 600 m 台阶段 Cu 品位等值线图

Fig. 5 Contour map of copper grade at 4 600 m step in hornfels ore body

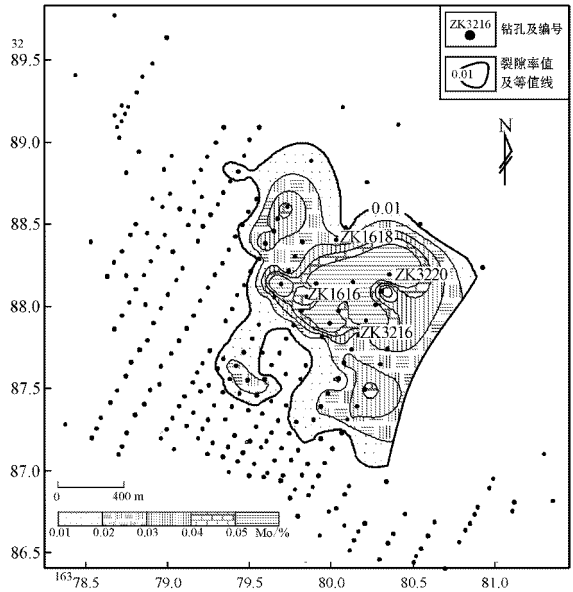


图 6 角岩 4 600 m 台阶段 Mo 品位等值线图

Fig. 6 Contour map of molybdenum grade at 4 600 m step in hornfels ore body

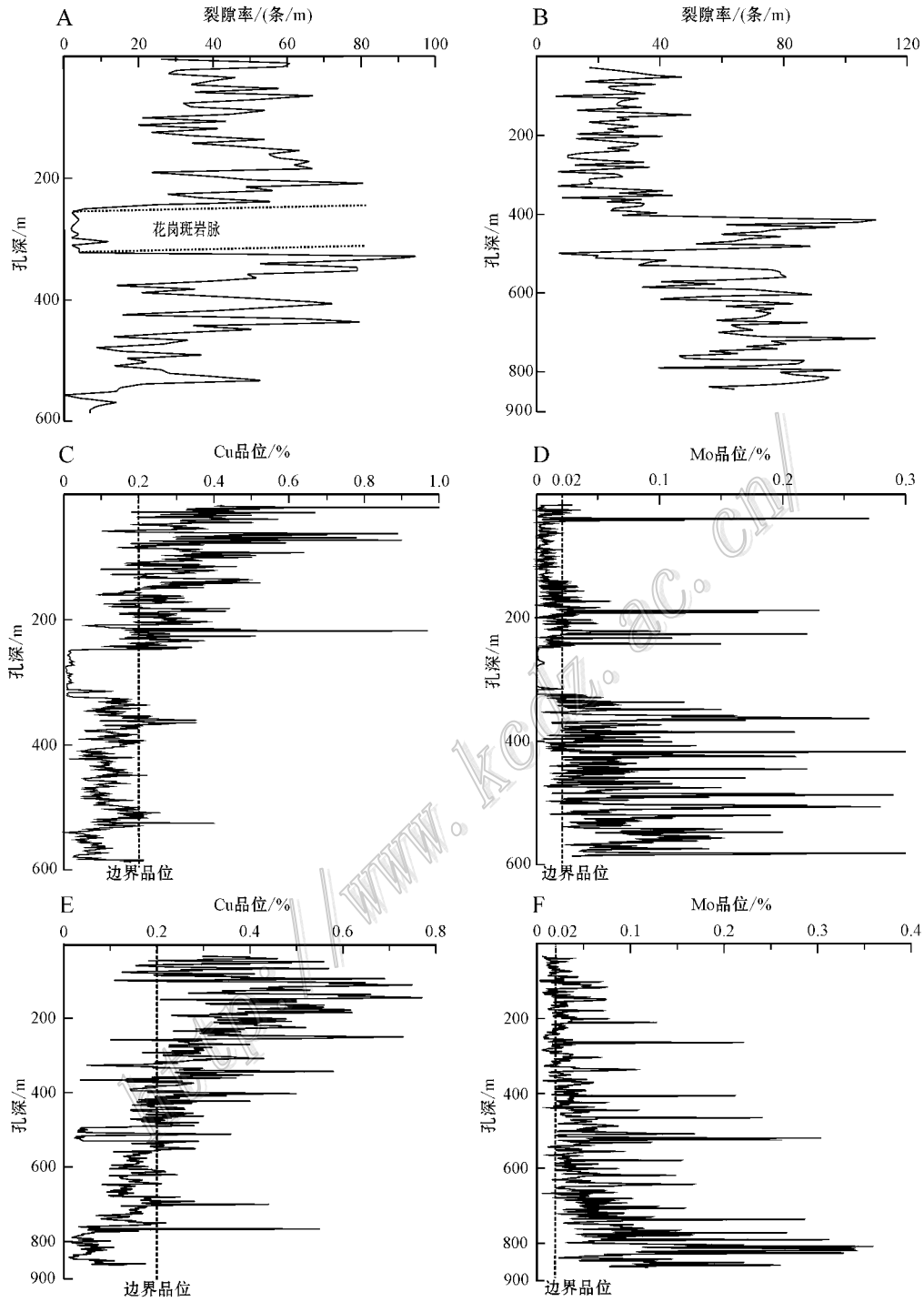


图 7 ZK1616 和 ZK3216 裂隙与矿化关系

A. ZK1616 裂隙率分布曲线 ;B. ZK3216 裂隙率分布曲线 ;C. ZK1616 铜品位曲线 ;D. ZK1616 钼品位曲线 ;E. ZK3216 铜品位曲线 ;
F. ZK3216 钼品位曲线

Fig. 7 Relationship between fissures and mineralization of No. 1616 and No. 3216 drill holes

A. Fissure distribution curve of No. 1616 drill hole ;B. Fissure distribution curve of No. 3216 drill hole ;C. Copper grade curve of No. 1616 drill hole ;D. Molybdenum grade curve of No. 1616 drill hole ;E. Copper grade curve of No. 3216 drill hole ;F. Molybdenum grade curve of No. 3216 drill hole

3.2 垂向特征

为了更详细地了解裂隙发育程度与金属矿化之间的对应关系,选取裂隙较为发育的 ZK1616 与 ZK3216 钻孔进行单个钻孔的详细分析(图 7)。

在 ZK1616 钻孔中,除了在 248.56~312.46 m 和 316.46~327.97 m 处,成矿后期穿插在角岩中的花岗岩斑脉裂隙率很低外,其他部位裂隙率均较高。在 17.66~248.56 m 处,平均裂隙率为 44.76 条/m, Cu 平均品位为 0.31%, Mo 平均品位为 0.019%, 当量 Cu 品位为 0.439%。在 248.56~327.97 m 处的花岗岩斑脉中,平均裂隙率仅为 3.77 条/m, Cu 平均品位为 0.02%, Mo 平均品位为 0.003%, 当量 Cu 品位为 0.040%。在 327.97~587.16 m 处,平均裂隙率为 35.66 条/m, Cu 平均品位为 0.12%, Mo 平均品位为 0.070%, 当量 Cu 品位为 0.595%。

在 ZK3216 钻孔中,角岩中裂隙较发育。在 34.30~411.03 m 处,平均裂隙率为 26.33 条/m, Cu 平均品位为 0.35%, Mo 平均品位为 0.030%, 当量 Cu 品位为 0.553%。在 411.03~842.42 m 处,平均裂隙率为 67.93 条/m, Cu 平均品位为 0.15%, Mo 平均品位为 0.072%, 当量 Cu 品位为 0.638%。

据此,再次说明垂向上裂隙的发育程度与金属矿化之间也呈现良好的对应关系,即裂隙发育的地方,金属矿化也较好。同时,根据对所有统计钻孔裂隙率与矿化强度的相关性统计,其相关系数为 0.479,整体相关性亦良好。另外,可以明显看出角岩中金属矿化在垂向上还表现出“上铜下钼”的矿化分带现象。

4 矿床裂隙系统形成模式

如上所述,甲玛矿区内的含矿斑岩体为隐伏岩体,成矿作用不仅发生在斑岩体内部,而且在接触带、上覆围岩中也有良好的矿化。特别是斑岩侵位、流体演化过程中形成的裂隙系统主要在上覆脆性岩石角岩中发育(图 8)。通过对比国内外斑岩矿床的裂隙系统形成模式,认为甲玛斑岩矿床裂隙系统形成模式符合经典的 Burnham 模型(图 9)(Burnham, 1979),其裂隙系统的演化大致经历了以下几个阶段:

(1) 早期:甲玛矿区中,含矿斑岩体侵位,其热量会较快传递给与其接触的较冷围岩(林布宗组的砂板岩和多底沟组灰岩、大理岩),并造成上覆和接触带围岩的热变质,形成大面积的角岩(约 20 km²)

和大理岩化。随着温度降低,岩体外侧先冷凝固晶形成固体外壳(S),而其内部仍然为处于熔融状态的熔体。因此,原来的侵入体可大致分为 3 个部分:内部为水不饱和的熔体,温度高达上千摄氏度;中间为含水量较高的水饱和壳(由少量已结晶的矿物、残留熔体和含水流体相组成),含水量较高的水饱和壳;外部则为已结晶的冷凝外壳。这三者构成一个相对完整的封闭系统。除极少量流体可以自由地逃逸到围岩中,大多数流体则被封闭于系统内部的水饱和带和水不饱和熔体相中(图 9A)。

(2) 中期:随着含矿岩体内部结晶作用继续进行,其蒸气压力会逐渐增大。当由此产生的机械能大于冷凝壳围压和抗张强度时,岩体上部将会发生再生沸腾,即所谓的“二次沸腾”,导致岩体外部冷凝壳和上覆围岩(角岩)产生破裂裂隙。同时,小部分流体会发生出熔,使得岩体内部流体压力降低,从而导致更多熔体结晶并出溶更多的水,并释放出很大的能量,使内部压力继续增高。另外,流体通过裂隙运移,会使原有裂隙进一步水压致裂,造成岩体上覆围岩(角岩)发生脆裂,产生更多裂隙(图 9B)。

(3) 晚期:随着岩浆进一步冷却,冷凝外壳厚度不断加大,而水饱和带、水不饱和和熔体相则相对变小、变深。已经形成的裂隙带,会由于矿物的沉淀结晶而封闭,形成含矿网脉带(图 8)。随着岩浆的不断降温冷却,导致上述过程多次重复,最终在岩体顶部和上覆围岩中发育复杂的裂隙系统(图 9C)。

然而,与 Burnham 模型不同的是,甲玛矿区具有多期次的岩浆混合和岩浆侵位,并存在岩浆-热液过渡现象(周云等,2011;彭惠娟等,2011)。早期岩体侵位结束后,会形成初期的裂隙系统和矿脉。当期后的岩体再次侵入时,又会重复上述过程形成新的裂隙和矿脉,并存在后期矿脉穿插或切穿早期矿脉的现象(图 8)。

多期次岩体侵位结束后,甲玛矿区最终形成了一个复杂而又庞大的裂隙系统。该裂隙系统成为含矿流体运移的主要通道。随着温度和压力的降低,含矿流体在压力差的作用下不断地向岩体顶部和围岩(角岩)中的裂隙系统迁移,并在适当的条件下沉淀出所携带的成矿物质,形成含矿脉体。此时,沿裂隙系统混入的大气降水,促进了这一过程的进行(周云等,2011)。随着流体不断地演化,晚期流体中的 $w(\text{SiO}_2)$ 较高,导致角岩中主要形成大量的石英-硫化物脉(图 8)。而在这些石英-硫化物脉中,金属矿

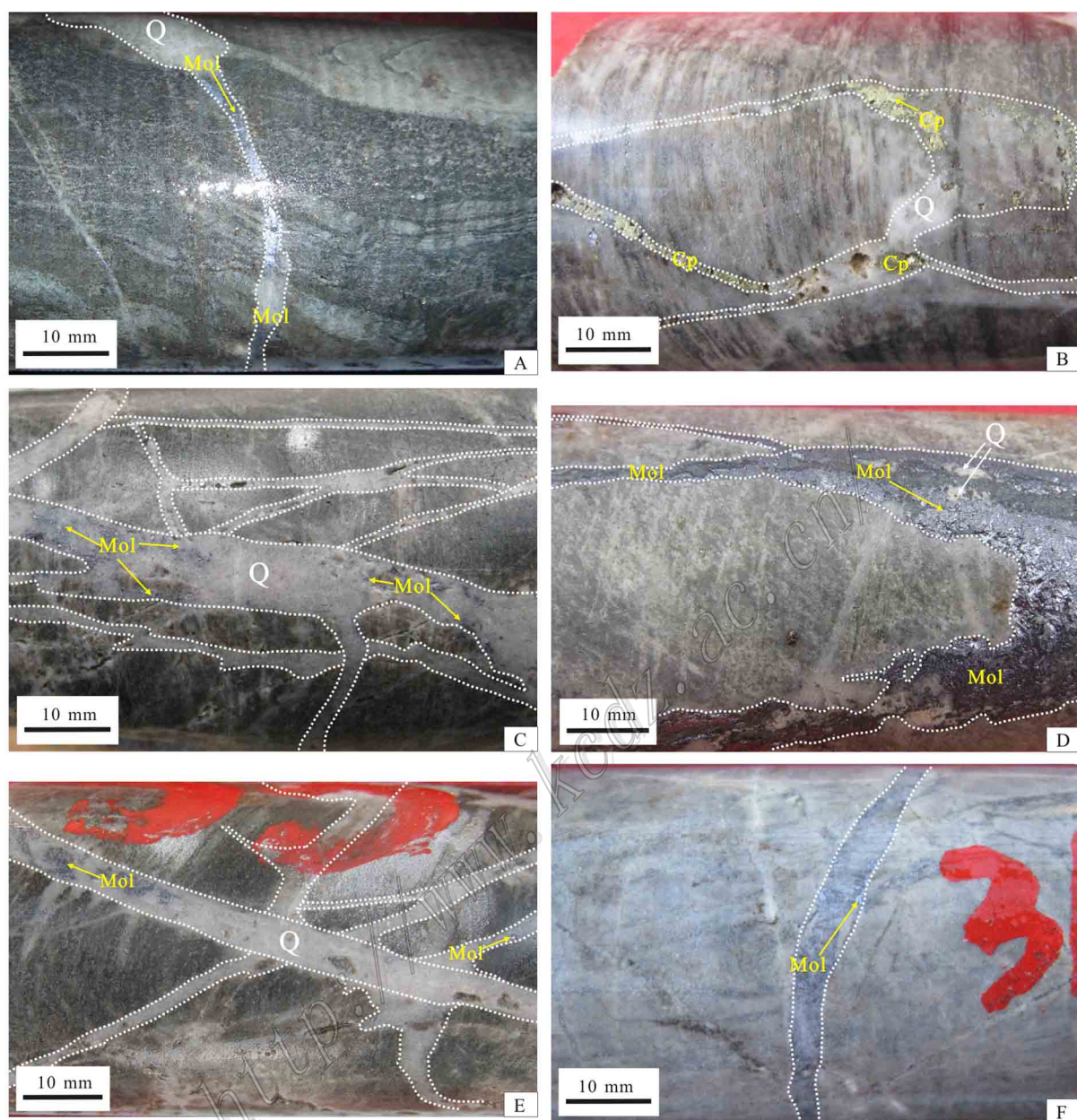


图 8 甲玛矿区 16 号勘探线中不同角度的裂隙与矿化情况

A. ZK1607—81.97 m 角岩中石英-辉钼矿脉, 脉体发育程度较差, 矿化较弱, 产状较缓(约 30°); B. ZK1612—180.25 m 角岩中石英-黄铜矿细脉, 脉体发育程度一般, 矿化一般, 产状较陡(约 $55\sim 70^\circ$); C. ZK1620—336.9 m 角岩中多期次石英-辉钼矿脉, 脉体十分发育, 矿化较好, 产状陡(约 $70\sim 80^\circ$); D. ZK1615—349.14 m 角岩中多期辉钼矿脉, 脉体发育, 矿化好, 产状陡(约 $65\sim 80^\circ$); E. ZK1617—327.65 m 角岩中多期次石英-辉钼矿脉, 脉体十分发育, 矿化较好, 产状陡(多 $50\sim 75^\circ$); F. ZK1626—981.2 m 角岩中石英-辉钼矿脉, 脉体发育程度较差, 矿化一般, 产状较缓(约 28°); Mol—辉钼矿; Cp—黄铜矿; Q—石英

Fig. 8 Fissures with different angles and different mineralizations along No. 16 exploration line in the Jima ore district
A. ZK1607—81.97 m quartz-molybdenite veins in hornfels, poorly developed, weakly mineralized with a gentle attitude (about 30°); B. ZK1612—180.25 m quartz-chalcopyrite thin veins in hornfels, moderately developed, fairly well mineralized with a steep attitude (about $55\sim 70^\circ$); C. ZK1620—336.9 m quartz-molybdenite veins of multi-periods in hornfels, well developed, fully mineralized with a extremely steep attitude (about $70\sim 80^\circ$); D. ZK1615—349.14 m molybdenite veins of multi-periods in hornfels, extremely well developed, highly mineralized with a extremely steep attitude (about $65\sim 80^\circ$); E. ZK1617—327.65 m quartz-molybdenite veins of multi-periods in hornfels, well developed, fully mineralized with a extremely steep attitude (more than $50\sim 75^\circ$); F. ZK1626—981.2 m quartz-molybdenite veins in hornfels, poorly developed, moderately mineralized with a gentle attitude (about 28°); Mol—Molybdenite; Cp—Chalcopyrite; Q—Quartz

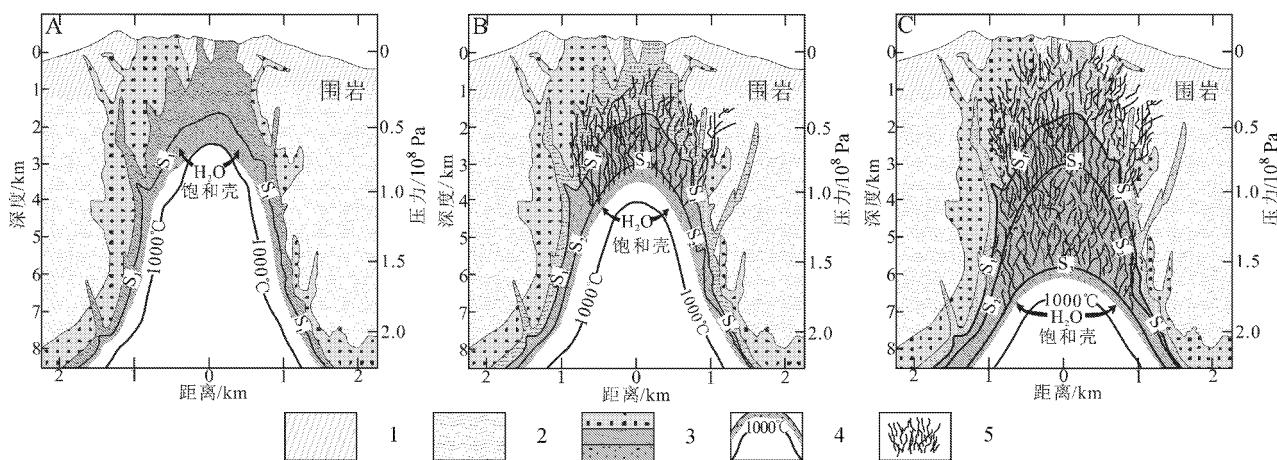


图 9 斑岩矿床裂隙系统形成模式(据 Burnham, 1979 略作修改)

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—冷凝壳;4—水饱和的壳和熔体;5—裂隙

Fig. 9 Formation model of the fissure system in porphyry deposit(modified after Burnham, 1979)

1—Sand-slate and hornfels of Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 2—Limestone and marble of Upper Jurassic Duodigou Formation; 3—Condensation carapace; 4—H₂O-saturated carapace and melt; 5—fissure

化较好,主要有辉钼矿化、黄铜矿化等,由此可能在上覆角岩中形成巨大的筒状铜钼矿体,最终促使大型或超大型斑岩型矿床的形成(郑文宝等, 2011)。

5 角岩中裂隙研究的意义

甲玛矿床的成因问题一直是争论的焦点,其中最主要的是海底喷流成因与岩浆热液成因之间的争论。根据近几年的实际勘查成果和科研资料,已确定甲玛矿床为与岩浆热液作用有关的斑岩型矿床系统。但由于整个甲玛斑岩矿床系统的斑岩体隐伏于深部(空间位置在角岩和矽卡岩下部),所以准确确定其隐伏斑岩体位置尤为重要。

角岩中裂隙特征研究的主要目的在于精确确定甲玛矿区深部隐伏斑岩体的位置,进一步核实验证甲玛矿床的成因,同时,指导矿区的进一步资源储量的勘查工作。研究表明,角岩中的裂隙系统主要在 ZK1616—ZK3216 范围内,呈筒状形态出现。据此,推断该范围之下就是隐伏岩体的中心位置,与此对应的铜钼矿化在角岩中已形成了大型规模的筒状矿体(郑文宝等, 2011),这已在 2010 年和 2011 年的勘探工作中得到证实(图 10)。

为了精确确定隐伏岩体的位置,对矿区中部 16 号勘探线上所有钻孔中裂隙的角度进行了统计。参考 Burnham 理论,靠近岩体或岩体上部围岩中的裂

隙产状应是比较陡的,一般大于 70°;而远离岩体的裂隙产状应是比较缓的,一般小于 50°。

16 号勘探线上各钻孔岩芯中裂隙的角度大致有 0~25°(缓)、25~50°(较缓)、50~70°(较陡)、70~90°(陡)4 个产状区域(图 8、图 10)。结果表明,从 ZK1602→ZK1616→ZK1626,裂隙角度大致呈现缓→陡→缓的变化趋势。即在 ZK1620 和 ZK1616 处的裂隙角度较陡,其 70~90°的裂隙分别占有所有裂隙的 39.48% 和 44.41%。以此为中心向勘探线两端延伸,裂隙角度逐渐变缓。结合整条线上裂隙的矿化情况,裂隙的发育程度不同,其矿化程度也不同,即裂隙发育的地方,矿化也较发育,与缓产状的脉体相比,陡产状的脉体矿化更好(图 8)。

从 16 号勘探线剖面来看,甲玛矿区隐伏斑岩体的中心位置位于 ZK1612—ZK1618 一带的深部。据最新勘查资料显示,在 ZK1612—ZK1618 范围内加密的多个钻孔都已经见到了深部隐伏含矿斑岩(图 10)。其中, ZK1614 钻孔斑岩见矿总厚度为 570.90 m,矿体中 Cu 平均品位为 0.24%, Mo 平均品位为 0.05%。

6 结 论

(1) 甲玛铜多金属矿床属于典型的斑岩型成矿系统。矿区内裂隙较为发育,疏密分布趋势明显,为

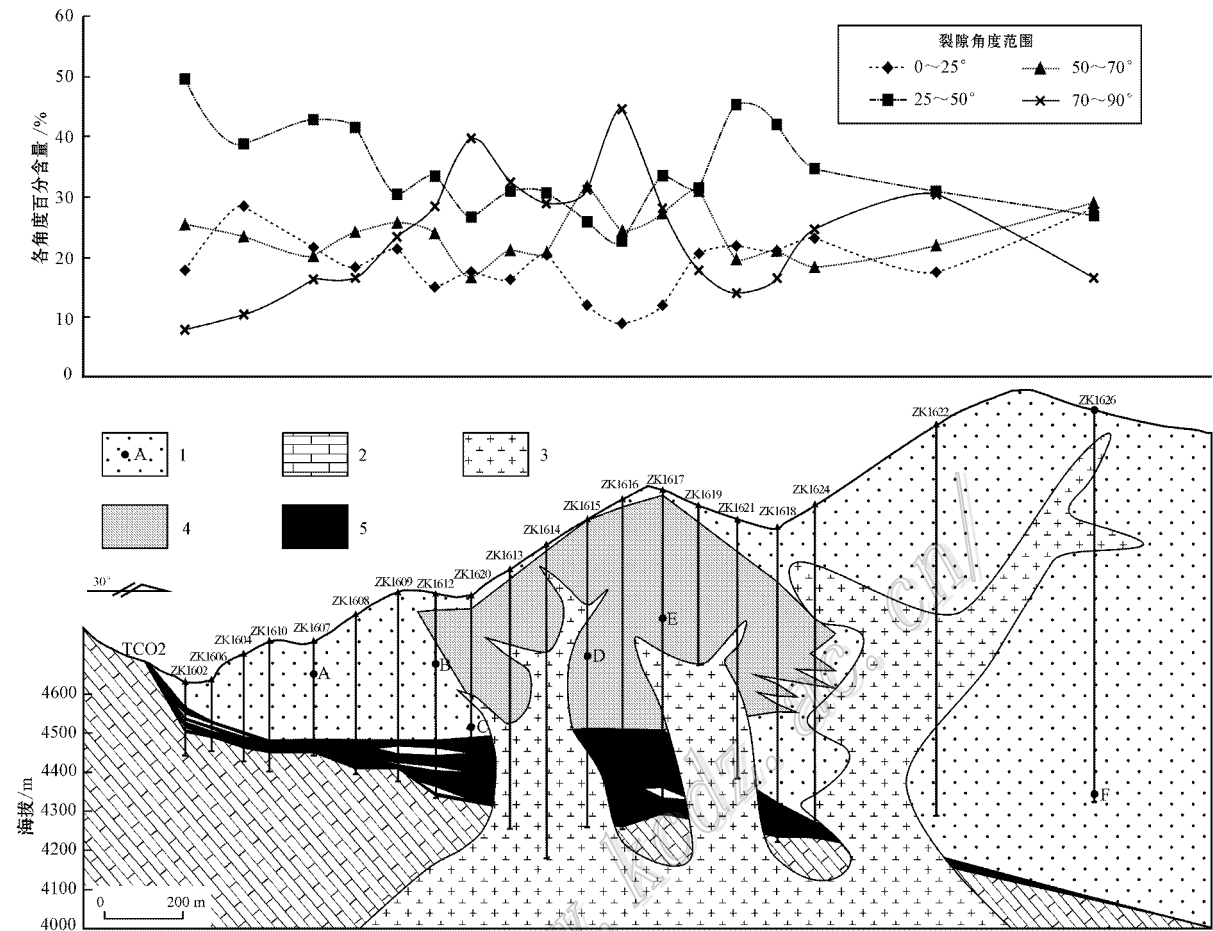


图 10 甲玛矿区 16 号勘探线剖面及对应裂隙角度曲线

1—下白垩统林布宗组砂板岩、角岩以及图 8 照片位置；2—上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩；3—斑岩体；4—角岩型铜多金属矿体；5—砂卡岩型铜多金属矿体

Fig.10 Geological section along No. 16 exploration line and corresponding fissure angle curves in the Jiama ore district
1—Sand-slate and hornfels of Lower Cretaceous Linbusong Formation and location of the photograph 8 ; 2—Limestone and marble of Upper Jurassic Duodigou Formation ; 3—Porphyry body ; 4—Hornfels type copper polymetallic ore body ; 5—Skarn type copper polymetallic ore body

一完整的裂隙系统。裂隙高密度区主要集中在 ZK1616—ZK3216 一带,其平均裂隙率达 40 条/m 以上,最高可达 82 条/m,并以此为中心向四周发散,裂隙率逐渐降低。

(2) 无论在平面上还是在垂向上,矿区裂隙率的发育程度与 Cu、Mo 金属矿化程度都呈现良好的对应关系,即矿区裂隙率较高的地方,其 Cu、Mo 矿化也较好。

(3) 矿区裂隙系统成因符合 Burnham 模式,但与之不同的是,甲玛矿区有多期次的岩浆侵位,因而,在角岩中普遍出现多期次脉体相互穿切现象。

(4) 对矿区 16 号勘探线上裂隙角度的研究结果显示,其变化的特征符合 Burnham 理论,据此推测的隐伏斑岩体位置,已在最新勘查成果中得到验证。

综上,甲玛矿区内破裂裂隙高密度区位于

ZK1616—ZK3216 一带,铜钼矿化与裂隙发育程度具有良好的对应关系。根据裂隙系统的成因模式和角度变化特征等方面的研究结果,推测角岩中的裂隙高密度区下方为隐伏斑岩体的中心位置,且该推断已初步得到证实。

志 谢 感谢陈毓川院士、多吉院士、王登红研究员和汪雄武教授对本文写作的指导,同时感谢西藏华泰龙矿业开发有限公司对笔者野外工作的支持。最后,感谢各位审稿专家提出的宝贵修改意见。

参考文献/References

杜光树,姚 鹏,潘凤雏,栗登奎,李文彬,宁英毅. 1998. 喷流成因砂卡岩与成矿——以西藏甲玛铜多金属矿床为例[M]. 成都: 四川科技出版社. 123-132.

- 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 型矿床赋矿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.
- 潘凤雏,邓 军,姚 鹏,王庆飞,刘玉祥. 2002. 西藏甲玛铜多金属矿床矽卡岩的喷流成因[J]. 现代地质, 16(4): 360-364.
- 彭惠娟,汪雄武, Müller Axel, 秦志鹏,侯 林,周 云. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿区成矿斑岩的岩浆混合作用: 石英及长石斑晶新证据[J]. 矿床地质, 30(2): 249-265.
- 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,徐 珏,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜钼矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-350.
- 唐菊兴,王登红,汪雄武,钟康惠,应立娟,郑文宝,黎枫佑,郭 娜,秦志鹏,姚晓峰,李 磊,王 友,唐晓倩. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴,邓世林,郑文宝,应立娟,汪雄武,钟康惠,秦志鹏,丁 枫,黎枫佑,唐晓倩,钟裕峰,彭惠娟. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型[J]. 矿床地质, 30(2): 179-196.
- 王登红,唐菊兴,应立娟,陈郑辉,许建祥,张家菁,李水如,曾载淋. 2010. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 40(4): 733-738.
- 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估[J]. 地质通报, 21(1): 36-40.
- 王之田,秦克章,张守林. 1994. 大型铜矿地质与找矿[M]. 北京:冶金工业出版社.
- 肖 波,李光明,秦克章,李金祥,赵俊兴,刘小兵,夏代祥,吴兴炳,彭震威. 2008. 冈底斯驱龙斑岩铜钼矿床的岩浆侵位中心和矿化中心: 破裂裂隙和矿化强度证据[J]. 矿床地质, 27(2): 200-208.
- 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玛矿床层状矽卡岩成因[J]. 岩石矿物学杂志, 25(4): 306-312.
- 应立娟,唐菊兴,王登红,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-钼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,王 焕,陈振宇,郑文宝,黎枫佑. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床中铋矿物及其与铜矿化关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 40(4): 801-809.
- 郑文宝,陈毓川,唐菊兴,畅哲生,汪雄武,应立娟,黎枫佑,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.
- 郑文宝,唐菊兴,汪雄武,王 焕,应立娟,林 彬,唐晓倩. 2012. 西藏甲玛铜多金属矿床金成矿作用浅析[J]. 吉林大学学报(地球科学版) 待刊.
- 周 云,汪雄武,唐菊兴,秦志鹏,彭惠娟,李爱国,杨 科,王 华,李 炯,张继超. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿床成矿流体来源及演化[J]. 矿床地质, 30(2): 231-248.
- Burnham C W. 1979. Magmas and hydrothermal fluid[A]. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits[C] 2nd ed. New York: John Wiley and Sons. 71-136.
- Titley S R. 1986. Evolution of fractures and alteration in the Siderite Esperanza hydrothermal system, Pima Country, Arizona[J]. Econ. Geol., 81(2): 343-370.