

[文章编号] 1671-9727(2011)01-0059-08

## 西藏甲玛矿区钼成矿作用与找矿方向

郑文宝<sup>1</sup> 冷秋锋<sup>1</sup> 畅哲生<sup>2</sup> 应立娟<sup>3</sup> 林 彬<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国黄金集团, 北京 100011;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**[摘要]** 用甲玛矿床成功的勘查经验指导矿区下一步工作以及区域找矿。甲玛矿床经过详细的勘探与研究, 已经成为冈底斯成矿带内最典型和最完整的斑岩型矿床系统。该系统包括了斑岩型钼矿体、夕卡岩型铜多金属矿体、角岩型钼(铜)矿体以及外围独立金矿体。文章以斑岩型钼矿、夕卡岩型钼矿以及角岩型钼矿为研究对象, 进行了详细的地质特征描述。在地质研究的基础上, 结合前人研究成果, 对甲玛钼的来源及沉淀过程进行了简要分析, 并在此基础上提出了甲玛斑岩矿床系统模型。文章还提出了运用斑岩矿床系统模型开展矿区及区域找矿评价的建议。

**[关键词]** 地质特征; 成矿作用; 找矿方向; 甲玛斑岩矿床系统; 西藏

**[分类号]** P561

**[文献标识码]** A

西藏甲玛铜多金属矿床在过去一直因其浅部具有铜铅锌矿石组合而被称为甲玛铜铅矿床。由于该矿床具有呈层状、似层状产出的夕卡岩, 矿石有层纹状、条带状构造以及矿石组合为铜铅锌矿等特征, 不少研究者认为该矿床成因为海底喷流沉积<sup>[1,2]</sup>。还有研究者指出矿区存在位于 7 号勘探线铅山段附近的古海底热液喷口<sup>[3]</sup>。根据矿区元素分带情况, 如果有喷口存在, 理论上应位于铅山<sup>[4]</sup>。针对喷流沉积矿床而言, 矿床勘查的重点围绕喷口进行是毋庸置疑的。因此, 前人在勘查过程中, 由于受到矿床成因与勘查面积的局限, 找矿成果一直未取得突破。2008~2010 年, 有研究者对矿区展开了地质勘探与详细的研究工

作<sup>[5~10]</sup>, 提出以与斑岩成矿作用有关的斑岩-夕卡岩-角岩型矿床成因观点指导勘查, 并确定矿区浅部的主攻矿种为铅锌铜(金银), 而深部的主攻矿种转变为钼铜(金银)或钼(金银), 随后找矿取得重大突破。

近年来, 在冈底斯成矿带中东段陆续探明了多个以钼为主或共生钼矿的矿床, 如甲玛、驱龙、帮浦以及沙让等, 但对这一区域钼矿的单独报道还较少, 对钼矿的勘查还未引起足够的重视<sup>[11]</sup>。因此, 甲玛的勘查思路对区域找矿尤为重要, 如冈底斯中东段念青唐古拉地区的拉屋、洞中拉、马雄朗、哈海岗、亚贵拉、蒙亚啊等矿区, 这些曾经的铅锌矿区中已有多个矿区在深部找到了中型及更大

**[收稿日期]** 2010 10 09

**[基金项目]** 国家科技支撑项目(2006BAB01A01)、青藏专项(1212010818089)、西藏华泰龙矿业开发有限公司 勘探项目、技术开发项目(E0804)、中央公益性行业科研专项(200911007-02)

**[作者简介]** 郑文宝(1982-), 男, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: zhengwenbao2009@sina.com。

规模的钼或钨矿体。由此可以看出,对矿床成因以及主攻矿种的确定决定了找矿是否能取得突破。以甲玛矿床成功的找矿经验指导矿区以及类似区域下一步的找矿工作,是本文的主要目的。

1 区域及矿区地质概况

甲玛矿区大地构造位置处于西藏特提斯构造域冈底斯-念青唐古拉(地体)板片中南部。冈底斯-念青唐古拉地体自北向南分为:班戈-嘉黎早燕山期陆缘岩浆弧、措勤-纳木错晚燕山期弧后盆地、念青唐古拉断隆、冈底斯晚燕山-早喜马

拉雅期陆缘岩浆弧共 4 个次级构造单元。矿区位于冈底斯晚燕山-早喜马拉雅期陆缘岩浆弧中段北部。甲玛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( $T_{3m}$ )、中下侏罗统叶巴组( $J_{1-2y}$ )、上侏罗统却桑温泉组( $J_{3q}$ )和多底沟组( $J_{3d}$ )、下白垩统林布宗组( $K_{1l}$ )、楚木龙组( $K_{1c}$ )以及塔龙拉组( $K_{1t}$ )。甲玛夕卡岩主要呈层状、厚板状产于林布宗组砂板岩、角岩(矿体顶板)与多底沟组灰岩、大理岩(矿体底板)的层间扩容空间内(图 1)。

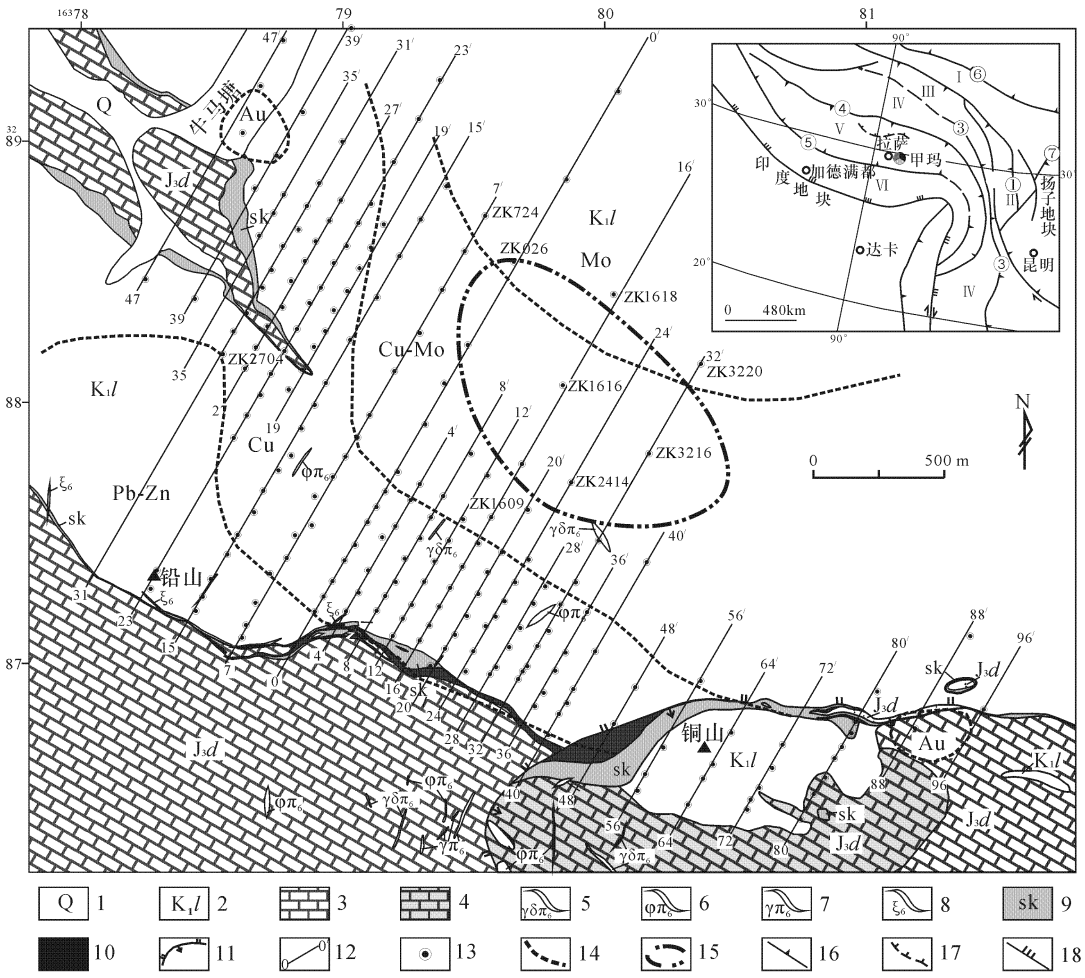


图 1 甲玛铜多金属矿床元素平面分带与地质叠合图

Fig. 1 Congruent map of the element zoning and geology in the Jiama Cu polymetallic deposit

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. 夕卡岩化大理岩; 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. 夕卡岩; 10. 夕卡岩型矿体; 11. 滑覆构造断裂; 12. 勘探线及编号; 13. 钻孔; 14. 元素分带界线; 15. 预测深部斑岩体位置; 16. 板边带及俯冲方向; 17. 洋壳仰冲推覆前缘; 18. 主边界推覆断裂。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. 喀喇昆仑-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

区域上岩浆岩很发育,分布广泛,既有出露面积巨大的深成侵入体,又有巨厚的火山喷发沉积岩层,主要分布在雅鲁藏布江断裂以北,是冈底斯火山-岩浆弧的重要组成部分之一。矿区岩浆岩在浅部呈脉岩产出;据最新勘查资料,深部存在大岩体。矿区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  $\text{Re-Os}$  等时线年龄为  $(14.78 \pm 0.33) \text{ Ma}^{[8]}$ 。

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,深部应有北东向隐伏构造。由于受印度板块与欧亚板块碰撞影响,冈底斯-念青唐古拉地体南缘发育若干北西西向的推覆构造系。甲玛矿区受控于由北向南推覆构造与由南向北滑覆构造。矿区推覆构造包含一系列倒转褶皱,如红塔背斜、牛马塘背斜以及夏工普向斜;矿区滑覆体分布于铜山-布朗沟-莫古郎沟一带。自南向北,滑覆体可分为:滑覆体后部带、滑覆体中部带和滑覆体前部带,整个滑覆体的出露面积约为  $4 \text{ km}^2$  (图1)。

## 2 钼矿体地质

### 2.1 矿体形态、规模、产状

甲玛矿区钼矿体类型包括斑岩型、夕卡岩型以及角岩型3种。(1)斑岩型钼矿:矿体主要呈筒状产于0~40线北边,赋矿斑岩主要为花岗闪长斑岩与二长花岗斑岩,目前已有钻孔(ZK2414)连续见矿厚度达544.73 m,铜平均质量分数为0.23%,钼平均质量分数为0.052%,矿体仍未穿透。矿体总体赋存于夕卡岩型矿层下部,并有部分穿切夕卡岩层进入角岩中。(2)夕卡岩型钼矿:常与铜矿共生产出,构成甲玛夕卡岩型铜钼矿体部分。矿体走向约 $300^\circ$ ,延长大于3 km,倾向 $30^\circ$ ,倾角一般小于 $20^\circ$ ,延伸大于2.5 km。随着夕卡岩型矿体向北边延伸,逐步过渡为夕卡岩型单钼矿体,如ZK026, ZK3220, ZK724孔等。(3)角岩型钼矿:呈直立筒状产于0~40线斑岩型矿体上部围岩角岩中,目前见角岩型矿体最厚的钻孔是ZK3216,矿体厚度达826 m,铜平均质量分

数为0.24%,钼平均质量分数为0.054%。

### 2.2 钼矿石特征

根据氧化程度将甲玛矿区钼矿石类型分为硫化矿石和少量氧化矿石,氧化矿石仅在角岩中原生钼矿石上部靠地表出现钼华。

根据矿石构造进行分类,主要有稀疏浸染状钼矿石和细脉浸染状钼矿石,约占总体储量的95%以上;次要类型为稠密浸染状钼矿石、团斑-团块状钼矿石。

根据主要有用矿物及组合对钼矿石进行分类,主要类型有:黄铜矿-辉钼矿矿石、辉钼矿矿石。

根据各有用元素的工业利用指标,可分为铜钼矿石、铜伴生钼矿石、钼铜矿石、钼伴生铜矿石以及钼矿石。

根据赋矿岩石进行分类主要有:夕卡岩型钼矿石、角岩型钼矿石、斑岩型钼矿石及构造角砾岩型钼矿石等,以前3类钼矿石为主。

甲玛矿区钼矿石中主要的矿石矿物以辉钼矿为主,并见有共生、伴生矿物,如黄铜矿、斑铜矿、白钨矿、辉铋矿、磁铁矿等;脉石矿物主要以石英为主,其次为夕卡岩矿物,如石榴子石、透辉石、硅灰石、绿帘石、绿泥石等。

钼矿石的结构表现为辉钼矿呈鳞片状、叶片状集合体和单晶,有时也见以放射状、脉状、菊花状产出。矿物片径0.01~5 mm,石英脉中的片径均较大。在黄铜矿、斑铜矿内有时见辉钼矿的自形包体,也见有黄铜矿细脉穿插辉钼矿板状晶体。斑岩型钼矿石主要构造为典型的稀疏浸染-细脉状(图2-A, B);夕卡岩型钼矿石构造以稀疏浸染状和细脉浸染状为主,有少量稠密浸染状、团斑-团块状钼矿石(图2-C, D);角岩型钼矿石同样为典型的稀疏浸染-细脉状构造(图2-E, F)。斑岩-夕卡岩-角岩型钼矿石构造展示了甲玛矿床典型且完整的斑岩钼矿床系统特征。

### 2.3 辉钼矿的化学成分

矿区不同产状辉钼矿的化学组成如表1,含有的主要微量元素为Fe、Se,其次为Cu、Zn,其中尤以Se的含量最为稳定(表1)。Se由于同S的化学参数很接近,因此Se具有很强的亲硫性,很容易进入镍、钴、钼、铜的硫化物晶格中<sup>[12]</sup>,这正是Se在辉钼矿中含量稳定的原因。

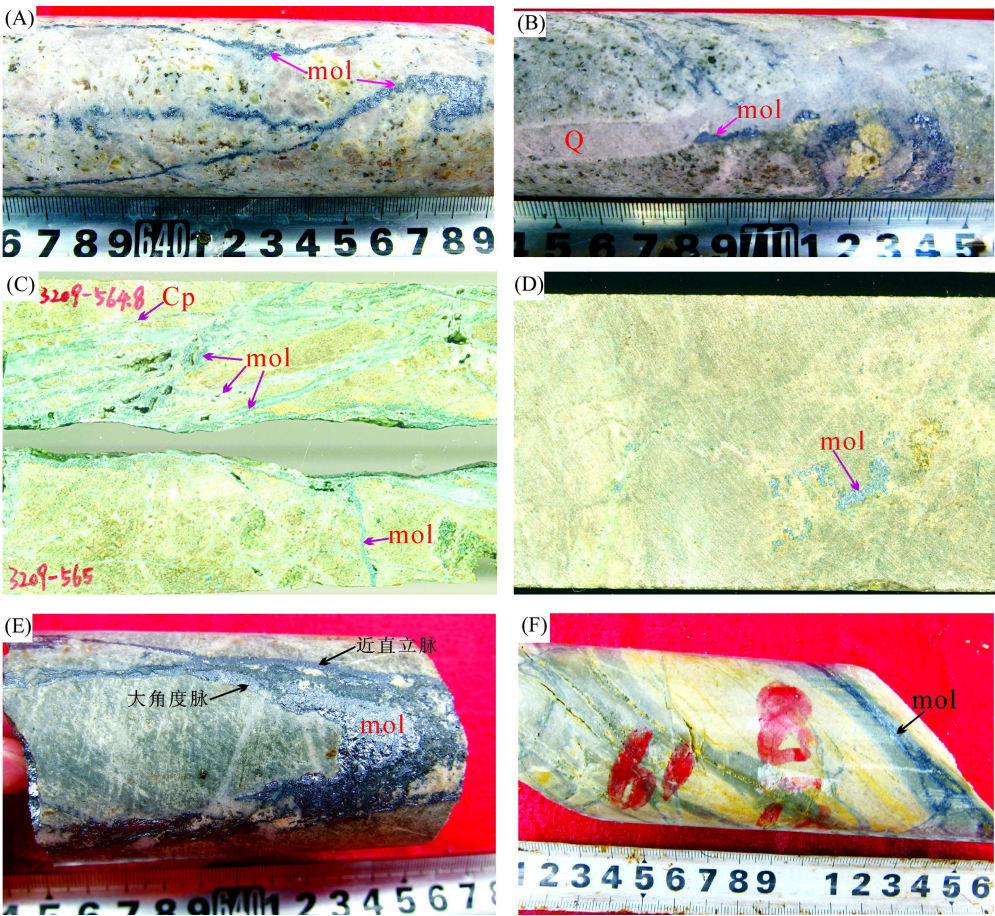


图 2 钼矿石构造特征

Fig. 2 Structural characteristics of molybdenum ore

(A) ZK1614, 423.8 m, 辉钼矿呈细脉状产于二长花岗斑岩中; (B) ZK813, 607 m, 花岗斑岩中的石英-辉钼矿脉; (C) ZK3209, 564.8 m, 辉钼矿在石榴子石夕卡岩中呈浸染-细脉状产出; (D) ZK1609, 386.3 m, 辉钼矿在石榴子石夕卡岩中呈浸染状产出; (E) ZK1615, 349.14m, 角岩中的两期辉钼矿脉, 可见近直立脉切割大角度一期辉钼矿脉; (F) ZK4013, 135.18 m, 角岩中顺层硅化交代形成的缓角度辉钼矿脉。mol. 辉钼矿, Q. 石英

表 1 辉钼矿的电子探针数据(w/%)  
Electron probe data on molybdenite

样品 编号	岩石 名称	As	Ag	Fe	S	Ni	Sb	Cu	Zn	Te	Co	Au	Se	Mo	Total
JM 2409 - 453.1	硅灰石 夕卡岩	0.021	0	0.017	39.603	0	0	0.002	0	0	0	0.031	0.056	59.333	99.063
		0	0	0	39.453	0	0	0.008	0.034	0	0	0	0.093	58.706	98.294
		0	0.003	0	40.292	0.027	0	0	0.035	0	0	0	0.056	60.443	100.856
		0	0	0.042	40.315	0.043	0.003	0.022	0.003	0.136	0	0.026	0.07	60.251	100.911
		0	0	0.014	39.685	0	0.015	0.044	0.054	0.149	0	0.021	0.033	59.171	99.186
JM 2409 - 455.85	夕卡岩化 花岗斑岩	0	0	0.074	39.93	0.016	0	0	0	0	0.035	0.005	0.077	60.672	100.809
		0	0	0.02	40.13	0.002	0.039	0.012	0.047	0	0.028	0.057	0.028	60.016	100.379
		0	0.019	0.04	39.681	0.03	0	0.007	0.002	0	0	0	0.098	60.343	100.22
		0	0	0.04	40.078	0	0	0	0	0	0.036	0	0.028	60.25	100.432
JM 2805 - 463	石榴子石 夕卡岩	0	0.017	0.159	39.836	0.046	0	0.571	0	0.256	0.061	0.033	0.078	59.555	100.612
		0	0.031	0.234	39.249	0.119	0	0.64	0.055	0	0.016	0.111	0.033	57.838	98.326
		0.006	0.08	0.143	39.436	0.047	0	0.958	0.009	0.244	0.031	0.01	0.025	58.79	99.779
JM 003 - 161.3	石榴子石 夕卡岩	0	0	0.038	40.069	0	0	0.006	0.011	0.04	0.012	0	0	58.93	99.106
		0	0	0.163	40.588	0	0.014	0.019	0.032	0.037	0	0.096	0	60.1	101.049

注: 由中国地质科学院矿产资源研究所陈振宇分析, 2010 年 5 月

## 2.4 蚀变与钼矿化

矿区岩石蚀变类型繁多, 主要有热接触围岩蚀变和热液交代围岩蚀变2种。发育角岩化及大理岩化、夕卡岩化、绢云母化、硅化、黑云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、钾化及泥化等。甲玛围岩蚀变可分为4期, 从早到晚依次为: 岩浆岩期、热接触变质期、夕卡岩期、热液期(石英-硫化物期和碳酸盐-硫化物期)。岩浆岩中的蚀变主要为钾化(黑云母化、钾长石化为主)、黄铁绢云岩化、硅化、青磐岩化、泥化, 具有斑岩铜钼矿常见的蚀变; 尤其是矿化中心的泥化特别强烈, ZK1616、ZK3216等钻孔角岩型钼(铜)矿石中发育强烈的泥化。钼矿化主要与硅化、泥化以及钾化关系最为密切, 而普遍发育在夕卡岩与角岩接触带的绿泥石化-绿帘石化-夕卡岩化角岩中的钼矿化, 是否与绿泥石化、绿帘石化以及矿体顶板接触带特定的pH、Eh值环境有关, 有待进一步研究。

## 3 成矿作用过程与矿床模型

### 3.1 钼的来源

斑岩钼矿系统一般可能起源于上地幔或下地壳熔融生成的中性岩浆, 且下部可能存在一个基性岩浆热源。中性岩浆上升侵位至上地壳形成岩浆房, 通过结晶分异生成中酸性岩浆岩, 并随着基性岩浆的加入, 提供成矿物质以及挥发组分, 促使成矿元素富集<sup>[13~15]</sup>。对成矿物质来源的研究方法目前主要是通过同位素示踪。甲玛矿区铅同位素特征表明成矿物质主要来源于下地壳, 部分来自上地壳, 测试矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿以及磁黄铁矿<sup>[1, 16]</sup>; 而周云对辉钼矿中铅同位素的测定结果, 以高<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb比值和低<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb比值为特征, 清楚地显示钼为上地幔来源<sup>[17]</sup>。此外, 根据甲玛矿区辉钼矿Re-Os同位素的测定结果<sup>[9]</sup>, 矿区角岩中辉钼矿的<sup>187</sup>Re质量分数为 $(121.5 \sim 387.4) \times 10^{-6}$ , 夕卡岩中为 $(123.7 \sim 304.7) \times 10^{-6}$ ; 而斑岩中辉钼矿的<sup>187</sup>Re质量分数相对较低, 为 $(38.75 \sim 130.5) \times 10^{-6}$ , 平均为 $69.0 \times 10^{-6}$ 。由于铼在地球各圈层中的含量差异, 与岩浆成矿作用有关的矿床中辉钼矿中含铼量的高低在一定程度上取决于岩浆的来源<sup>[12, 18, 19]</sup>。综合近年来国内与岩浆成矿作用有关矿床中辉钼矿Re-Os同位素测试数据, 可以得出以下几条规律:

(1) 成矿物质来源于地幔或以地幔物质为主的矿

床, 辉钼矿Re的质量分数多在 $(10 \sim 1\,000) \times 10^{-6}$ <sup>[20~22]</sup>; (2) 成矿物质具有壳幔混合源的矿床, 每克辉钼矿中的Re含量多在十几微克至几十微克<sup>[23, 24]</sup>; (3) 成矿物质完全来自上地壳的矿床, 辉钼矿Re含量明显偏低 $(n \times 10^{-6}$ 或更低)<sup>[18, 25, 26]</sup>。结合前人的辉钼矿Re-Os同位素数据<sup>[27]</sup>, 甲玛铜多金属矿床辉钼矿中<sup>187</sup>Re的质量分数变化于 $(38.75 \sim 1\,402.72) \times 10^{-6}$ , 平均值为 $312.49 \times 10^{-6}$ 。成矿物质钼可能来源于地幔或以地幔物质为主。综上所述, 甲玛矿床钼可能来源于上地幔。

### 3.2 钼的运移和沉淀

根据周云对甲玛矿区流体包裹体以及熔融包裹体的初步研究, 成矿元素Cu、Pb、Zn强烈选择进入挥发组分中富集迁移, 而钼则主要通过流体进行运移<sup>[17]</sup>。钼在纯水中以H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>存在, 在中低盐度( $w_{\text{NaCl}} < 11\%$ )流体中以KHM<sub>2</sub>O<sub>4</sub>形式存在, 在高盐度( $w_{\text{NaCl}} > 20\%$ )流体中以MoO<sub>2</sub>Cl<sup>+</sup>络合物形式存在<sup>[28]</sup>。根据流体包裹体盐度测定结果, 甲玛矿床斑岩内石英-辉钼矿脉中石英的流体包裹体为 $w_{\text{NaCl}} = 33\% \sim 41\%$ 的高盐度流体<sup>[17]</sup>, 因此, 甲玛矿床钼的搬运可能主要以络合物MoO<sub>2</sub>Cl<sup>+</sup>形式为主。

钼的沉淀除了与温度、压力降低以及Eh值改变有关外, 另外一个重要影响因素就是流体中pH值的变化。在流体运移过程中, pH值降低有利于钼的沉淀<sup>[29]</sup>。基本原理为:  $3\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{MoO}_4 + 4\text{H}_2\text{S} = \text{KAl}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2 + 2\text{K}^+ + 6\text{SiO}_2 + 2\text{MoS}_2 \downarrow + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ 。据计算, 甲玛矿床流体pH值变化趋势为早期夕卡岩期为5.0<sup>→</sup>晚期夕卡岩期为5.57<sup>→</sup>石英-硫化物期为4.84<sup>[17]</sup>: 很显然, 在主成矿期<sup>→</sup>石英-硫化物期流体pH值是降低的。

### 3.3 矿床模型

综合上述地质特征及钼成矿“源、运、储”的初浅分析, 甲玛斑岩矿床系统的形成机制是含矿斑岩在上升侵位过程中, 由于压力降低, 岩浆会发生二次沸腾。二次沸腾一方面会产生大量上升热流体, 另一方面会产生强大的机械能。强大的机械能必然会导致斑岩顶部以及上部围岩破裂, 使成矿系统打开, 形成筒状裂隙系统<sup>[10, 30]</sup>。而热流体在上升过程中, 不仅在筒状裂隙系统中因温度、压力降低以及与雨水混合沉淀成矿; 同时, 受推覆-滑覆构造控制, 林布宗组与多底沟组层间薄弱面



开启,形成储矿空间,流体发生部分侧向运移,沿层间流动交代底部大理岩形成夕卡岩并受到顶板致密角岩盖层的保护使矿液不至于散失掉而沉淀下来。由推覆构造+黑色碎屑岩系+碳酸盐岩+斑岩构成的这样一套构造-地层-岩浆岩组合,一般情况下,可形成一套比较完整的斑岩矿床系统。其中矿体类型包括斑岩型、夕卡岩型、角岩型、外围独立金银矿体以及 Manto 型等<sup>[31]</sup>。据此,初步建立甲玛斑岩矿床系统模型如图 3。

4 找矿方向

以近地表夕卡岩型铅锌矿体为线索,寻找深部夕卡岩型铜钼矿体以及斑岩型钼矿体为最终目标,是在甲玛矿区一致坚持的勘查思路。通过勘查,目标已基本实现。甲玛矿区下一步找矿工作很明显是继续加大对深部隐伏斑岩钼矿体的勘查,扩大资源储量。与此同时,根据矿床模型,还要注重对外围独立金银矿体以及 Manto 型矿体的勘查,完善斑岩矿床系统模型。令人欣喜的是,据最新勘探成果,在外围石英闪长玢岩中已经发现了独立的金矿体,这充分说明了找矿思路的可

行性。

此外,冈底斯成矿带中东段念青唐古拉地区,很多矿区均具有推覆构造+黑色碎屑岩系+碳酸盐岩+斑岩的构造-地层-岩浆岩组合特征,同甲玛矿区地质环境类似。而且在拉屋、洞中拉、马雄朗、哈海岗、亚贵拉、蒙亚啊等矿区中已有多处在深部发现了斑岩型钼或钨矿体。这说明甲玛矿床的勘查思路对区域找矿也是具有一定借鉴价值的。

本文在研究分析矿区斑岩钼矿床系统地质特征以及钼矿成矿作用的基础上,得出矿区钼等成矿元素主要来源于深部隐伏斑岩体,“顺藤摸瓜”似地以寻找深部隐伏斑岩钼(铜)矿体为勘查最终目标。此种思想的正确性在近两年的勘查成果中已经得到证实,并将继续指导下一步找矿工作。

本文是在陈毓川院士、多吉院士、叶天竺研究员、王瑞江研究员、王登红研究员以及栗登奎教授高级工程师的指导和帮助下完成的,在此表示诚挚的感谢;同时感谢西藏华泰龙矿业开发有限公司为作者野外与室内工作提供资助。

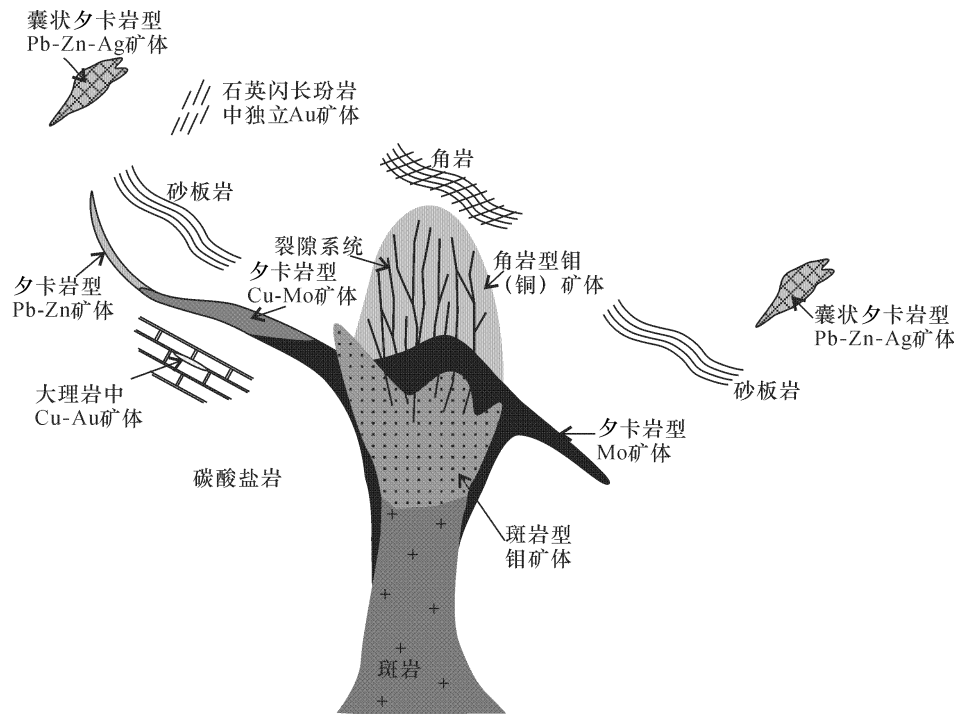


图 3 甲玛斑岩矿床系统模型  
Fig. 3 System model of the Jiama porphyry deposit

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 杜光树, 姚鹏, 潘凤铤, 等. 喷流成因夕卡岩与成矿——以西藏甲玛铜多金属矿床为例[M]. 成都: 四川科技出版社, 1998: 123–132.
- [2] 潘凤铤, 邓军, 姚鹏, 等. 西藏甲玛铜多金属矿床夕卡岩的喷流成因[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 360–364.
- [3] 任云生, 栗登连, 张金树. 西藏甲玛铜多金属矿床金的叠加成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(3): 225–228.
- [4] 郑文宝, 陈毓川, 宋鑫, 等. 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, 2010, 29(5): 775–782.
- [5] 唐菊兴, 王登红, 钟康惠, 等. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛铜多金属矿区 0164080、015 线矿段铜多金属矿勘探报告[R]. 拉萨: 西藏国土资源厅, 2009.
- [6] 唐菊兴, 王登红, 钟康惠, 等. 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[R]. 拉萨: 西藏国土资源厅, 2009.
- [7] 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 等. 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, 2010, 31(4): 495–506.
- [8] 应立娟, 唐菊兴, 王登红, 等. 西藏甲玛铜多金属矿床夕卡岩中辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 265–268.
- [9] 应立娟, 王登红, 唐菊兴, 等. 西藏甲玛铜多金属矿辉钼矿  $\text{Re-Os}$  定年及其成矿意义[J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1165–1174.
- [10] 郑文宝, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 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, 2011, 30(2): 15–24.
- [11] 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 等. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 698–702.
- [12] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 242–336.
- [13] 简伟, 柳维, 石黎红. 斑岩型钼矿床研究进展[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 309–313.
- [14] White W H, Bookstrom A A, Kamilli R J, *et al.* Character and origin of Climax-type molybdenum deposits[J]. *Economic Geology*, 1981, 75: 270–315.
- [15] Carten R B, Geraghty E P, Walker B M. Cyclic development of igneous features and their relationship to high temperature hydrothermal features in the Henderson porphyry molybdenum deposit, Colorado [J]. *Economic Geology*, 1988, 83: 266–290.
- [16] 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带? [J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 356–364.
- [17] 周云. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿成矿流体特征及演化[D]. 成都: 成都理工大学档案馆, 2010.
- [18] 李逸群, 颜晓钟. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 181–186, 368–370.
- [19] Foster J G, Lambert D D, Frick L R, *et al.*  $\text{Re-Os}$  isotopic evidence for genesis of Archean nickel ores from uncontaminated komatiites[J]. *Nature*, 1996, 382: 703–706.
- [20] 黄典豪. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 221–230.
- [21] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿  $\text{Re-Os}$  年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(7): 609–618.
- [22] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿  $\text{Re-Os}$  年龄及成矿学意义[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 660–666.
- [23] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床成矿学研究——辉钼矿的铼-钨年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 289–297.
- [24] 丰成友, 李东生, 屈文俊, 等. 青海祁漫塔格索拉吉尔夕卡岩型铜钼矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 223–227.
- [25] 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 等. 柿竹园钨多金属矿床的  $\text{Re-Os}$  同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 1996, 42(3): 261–267.
- [26] 毛景文, 张作衡, 张招崇, 等. 北祁连山小柳沟钨钼矿床  $\text{Re-Os}$  同位素测年及其意义[J]. 地质论评, 1999, 45(4): 412–417.
- [27] 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的  $\text{Re-Os}$  同位素年龄及意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(5): 482–489.
- [28] Ulrich T, Mavrogenes J. An experimental study of the solubility of molybdenum in  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{KCl-H}_2\text{O}$  solutions from 500 °C to 800 °C, and 150 to 300 MPa [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 2316–2330.
- [29] 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 等. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991: 5–75.
- [30] 芮宗瑶, 黄崇钊, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 223–300.
- [31] 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 等. 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, 2009, 28(2): 109–118.

# Molybdenum metallogenesis and prospecting direction of the Jiama deposit in Tibet

ZHENG Wen bao<sup>1</sup>, LENG Qiu feng<sup>1</sup>, CHANG Zhe sheng<sup>2</sup>,  
YING Li juan<sup>3</sup>, LIN Bin<sup>1</sup>

1. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*

2. *China National Gold Group Corporation, Beijing 100011, China;*

3. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

**Abstract:** The successful experiences in prospecting the Jiama deposit are used to guide the further work in prospecting the region. On the basis of the detailed prospecting and investigations, the Jiama deposit has been supposed to be the most typical and complete porphyry deposit system in the Gangdisi mineralization belt. This system includes the porphyry-type molybdenum, skarn-type copper-polymetal, hornfels-type molybdenum (copper) and peripheral self-golden ore bodies. This paper studies the porphyry-type molybdenum, skarn-type copper-polymetal and hornfels-type molybdenum ore bodies and describes their geological features in detail. And, combined with the geological studies and the previous research results, the paper makes a brief analysis of the origin and deposition process of Jiama molybdenum. Further, it proposes a system model of the Jiama porphyry deposit and recommends it as a method to assess the regional prospecting.

**Key words:** geological characteristics; mineralization; prospecting direction; Jiama porphyry deposit system; Tibet