

西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义

郑有业^{1,3}, 薛迎喜², 程力军³, 樊子珲³, 高顺宝¹

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质调查局, 北京 100035

3. 西藏地勘局, 西藏拉萨 850000

摘要: 驱龙斑岩铜(钼)矿床位于冈底斯东段火山岩浆弧与日多盆地的弧-盆转换部位, 受盆缘控盆、控岩构造控制, 形成于汇聚造山向伸展走滑转换的瞬时过渡环境(15~16 Ma), 是冈底斯东段新发现的最具找矿潜力的超大型斑岩铜(钼)矿床, 也是该带斑岩矿床勘查的重大突破。该矿床成矿流体为饱和及过饱和盐水-蒸气沸腾流体, 蚀变具有以斑岩体为中心、面状、环带分布特征, 矿化分为3期5阶段, 硬石膏化及绢英岩化与铜矿化关系密切。并对一些今后必须加强研究的关键性科学问题进行了探讨。

关键词: 驱龙; 超大型; 铜(钼)矿床; 发现; 意义。

中图分类号: P618.41; P618.65

文章编号: 1000-2383(2004)01-0103-06

收稿日期: 2003-10-20

Finding, Characteristics and Significances of Qulong Superlarge Porphyry Copper (Molybdenum) Deposit, Tibet

ZHENG You-ye^{1,3}, XUE Ying-xi², CHENG Li-jun³, FAN Zi-hui³, GAO Shun-bao¹

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. China Geological Survey, Beijing 100035, China

3. Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lasa 850000, China

Abstract: Qulong porphyry copper(molybdenum) deposit, which is located in the arc-basin transform place between the magma arc of eastern Gangdise and Riduo basin, controlled by basin-controlled, rock-controlled structure in basin edge, and formed in instantaneous transition environment of transform from convergent to extension, is the most potential superlarge deposit in ore-finding and its finding is the important breakthrough in the exploration process of porphyry deposit in eastern belt of Gangdise Mountain. The ore fluid of Qulong porphyry copper(molybdenum) deposit is composed of saturation and supersaturation brine-steam boiling fluids; its distribution characteristics of wall rock alteration include centering by porphyry, surfacing, and annular zone; it has undergone mineralization of 3 periods including 5 phases. It is found that the copper mineralization correlates with anhydritation and sericitization. This paper also probes into some key science issues which call for further studies and attention.

Key words: Qulong; superlarge; copper (molybdenum) deposit; finding; significance.

1 成矿地质背景

驱龙斑岩铜(钼)矿床位于西藏墨竹工卡县境内, 向西距拉萨市 80 km。大地构造位于冈底斯东段陆缘火山-岩浆弧中的拉萨-日多弧内局限盆地的

南部边缘。从晚古生代到中新世, 随着新特提斯洋壳俯冲→弧-陆碰撞→陆内俯冲造山→大规模隆升后的伸展走滑等深部过程, 产生了规模空前的钙碱性系列花岗岩、壳源“S”型淡色花岗岩、超浅成斑岩及大量从基性至酸性的火山岩, 构成了青藏高原地区

最为醒目的冈底斯火山—岩浆杂岩带,并伴随着不同的流体活动及成矿作用(董树文,1999).其成矿类型由雅江缝合带向北,具有由夕卡岩型、浅成低温热液型→剪切带型(蚀变岩型)→斑岩型→斑岩型+喷流型→喷流型→热液充填交代型的分带趋势,成矿总体显示出同源多位、同位多期、深源浅成、多因复成的特点(郑有业等,2002).

矿区地层主要为中侏罗统叶巴组(J_{2y})的一套英安质—流纹质火山岩、火山碎屑沉积岩及碳酸盐岩等,双峰式特征明显,构成了多个火山喷发—沉积韵律旋回,具有活动大陆边缘环境下形成的钙碱性系列火山岩的组合特点.侵入岩为喜山早期侵入的柴木错拉复式岩体,K—Ar 同位素年龄为 62.2~65.4 Ma(夏代祥等,1993),岩性主要为中细粒黑云母二长花岗岩、斑状黑云母二长花岗岩等.喜山晚期的二长花岗斑岩、石英斑岩、流纹斑岩、辉绿(安山)玢岩等呈小岩株、岩枝、岩脉侵入其中或接触带附近,构成了一个复杂的火山岩浆成矿系统.本区的构造线方向为近 E—W 向,而主要控矿构造为 NE 向的复合型断裂带,分布在拉萨—日多弧内盆地的南部边缘,并具有多期性和继承性活动的特点.早期主要表现为盆缘同生断裂(控盆断裂),控制了以叶巴组为主的火山弧的形成;晚期主要表现为控岩和控矿断裂,控制了普下、拉抗俄、驱龙、象背山、塔龙尾

(任云生等,2002)等含矿斑岩体及松多雄、帮浦、日乌多等多金属矿体的空间线状展布.

2 矿床成矿特征

经过 2002 年的野外勘查,在驱龙矿区共发现 4 个斑岩体及 5 个矿化体(图 1),其中 I、II、III 号斑岩体矿化较好.

2.1 含矿斑岩体特征

I 号斑岩体:二长花岗斑岩,呈岩枝状,面积约 0.15 km²,产状陡立,以被动方式侵位于黑云母二长花岗岩中,界线基本清楚,岩相分带不明显,其边缘及顶部挤压破碎现象普遍,在斑岩体西侧边部及顶部可见隐爆角砾岩.同时在斑岩体内可见辉绿玢岩及闪长玢岩脉等穿插.

II 号斑岩体:二长花岗斑岩,呈岩株状,倾向北,面积约 0.75 km²,边界参差不齐,以被动方式侵位,接触带附近辉绿岩、斑岩脉交织穿插,但界线清楚.岩体内岩性有一定差异,由东向西石英的成分减少而长石的成分增加.I、II 号斑岩体相距 180 m,其深部有可能连为一体,成生于同一构造—岩浆旋回.

2.2 蚀变及矿化特征

铜(钼)矿(化)体主要产于含矿斑岩体与黑云母

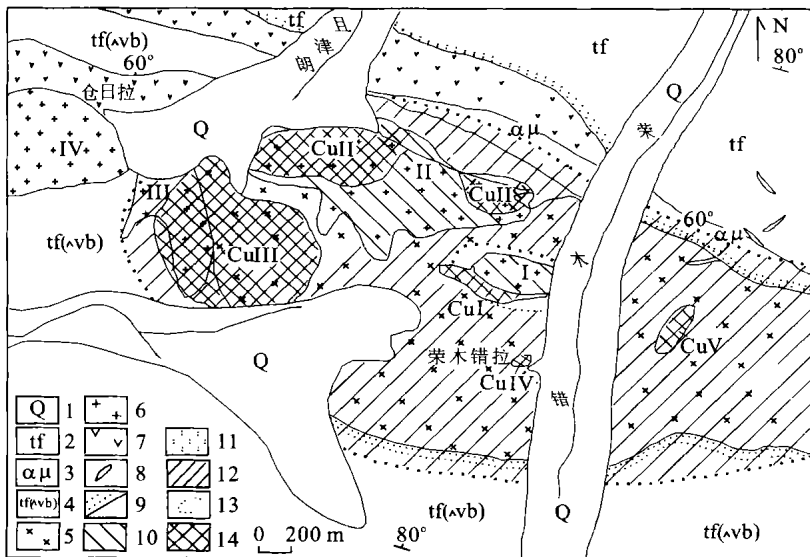


图 1 西藏自治区墨竹工卡县驱龙铜(钼)矿床地质简图

Fig. 1 Geology sketch map of Qulong copper (molybdenum) deposit, Tibet

1. 第四系; 2. 流纹质凝灰岩; 3. 安山玢岩及英安岩; 4. 英安质含火山角砾凝灰岩; 5. 黑云母二长花岗岩; 6. 石英斑岩二长花岗岩; 7. 流纹斑岩; 8. 脉岩类; 9. 角岩化; 10. 黄铁绢英岩化; 11. 高岭土化; 12. 青盘岩化; 13. 蚀变界线; 14. 铜矿化范围及矿化体编号

二长花岗岩的内外接触带中,以含矿斑岩体为中心,形成具有中心式、面状、环带分布的蚀变特征,并配套有相应的矿化分带。

Cu I 矿(化)体:控制程度最高,总体为隐伏一半隐伏矿体,主矿体隐伏深度 98 m,地表仅外接触带矿化出露,长约 500 m,厚约 10~50 m,为斑岩体全岩矿化。该矿体矿石、矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、孔雀石、铜兰、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、金红石等,它们呈浸染状、团块状、细脉状分布于二长花岗岩斑岩及内外接触带中。由斑岩体向外,细脉状、团块状矿化增多,形成相对较晚。黄铁矿多呈自形、半自形晶分布于斑岩体中,靠近接触带含量明显增多,并往往被磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿等交代。黄铜矿常呈他形、细粒(粒径 0.05~0.2 mm)分布在斑岩体中;而分布在石英细脉(团块)中的黄铜矿颗粒粗大,多沿石英颗粒间隙分布,粒径 0.5~15 mm,黄铜矿内部多见辉钼矿、方铅矿呈筛孔状分布。磁铁矿、金红石呈他形粒状。辉钼矿呈针状、片状分布在石英细脉内或交代黄铁矿、黄铜矿;其矿化分带由内向外依次为:黄铁矿化、磁铁矿化→黄铜矿化、黄铁矿化→黄铁矿化、黄铜矿化、辉钼矿化。矿区岩石蚀变强烈,蚀变作用由含矿斑岩体向外表现为钾化+绢英岩化+硬石膏化→粘土化+绢英岩化+硬石膏化+青盘岩化→青盘岩化。钾化仅在 I 号斑岩体深部见到;而粘土化在斑岩及外接触带中普遍存在,其强度与表生条件及构造破碎程度有关;黄铁绢英岩化在内外接触带很发育,由镶嵌粒状石英、团块状或细粒鳞片状绢云母及不规则粒状黄铁矿等组成,绢云母化在基质中较斑晶更强,表现为团块集合体和分布在基质粒间;斑岩体中的黑云母具褐色多色性,属高温型,多已蚀变成白云母;青盘岩化在斑岩体外接触带的黑云母二长花岗岩、安山玢岩中发育普遍,表现为绿泥石、绿帘石、方解石等呈弥漫状或细脉状分布其中。

Cu II 矿(化)体:主体位于 II 号斑岩体内,局少量位于外接触带附近。矿体呈哑铃状,长约 1.5 km,宽 50~300 m 不等。矿化在斑岩体内较强,可见孔雀石、铜兰、蓝辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、辉钼矿等呈浸染状、团块状及细脉状分布,其含量有随海拔降低而矿化增强的趋势。蚀变分带依次为:绢英岩化+硬石膏化(斑岩体内)→绢英岩化+硬石膏化+青盘岩化(外接触带附近)→青盘岩化(黑云母二长花岗岩及英安岩);由此形成矿化分带:黄铜矿+黄铁矿

→黄铁矿+黄铜矿+辉钼矿→黄铁矿+弱黄铜矿化;绢英岩化、硅化与铜矿化关系密切,蚀变强度与矿化强度呈正相关;而黄铁矿化与铜矿化关系不密切。

2.3 成矿期次

根据脉体穿插关系、矿物共生组合及矿物生成顺序等,可将驱龙铜(钼)矿床划分为残浆期、热液期和表生期 3 期 5 个阶段。残浆期是斑岩体在大量硅酸盐矿物结晶的晚期,自形、半自形的黄铁矿和他形磁铁矿及少量他形黄铜矿充填在硅酸盐矿物的晶隙中,构成浸染状矿化体,一般品位较低。主要的矿化发生在热液期,可进一步分为 3 个阶段:(1)多金属硫化物阶段形成最早,由黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿等与石英、绢云母、铁白云石等一起呈浸染状、团块状、细脉状分布于硅酸盐矿物粒间或裂隙中,构成重要的工业矿体;(2)硬石膏—硫化物阶段。此阶段广泛发育于含矿斑岩体的深部,主要由硬石膏、黄铁矿、黄铜矿等组成;(3)石英—辉钼矿阶段。这一阶段的辉钼矿晶形大多较完整,呈针状、弯曲的片状与石英、方铅矿等一起沿构造裂隙充填,构成脉状、网脉状辉钼矿的主体。地表可见大量辉钼矿石英脉转石,其品位最高可达 5% 以上。表生期是原生矿石在表生条件下,由风化、淋滤及次生富集形成的孔雀石、蓝铜矿、辉铜矿、铜蓝、钼华等,并见次生富集带。

3 成矿动力学环境

驱龙含矿斑岩中发育大量的流体包裹体,石英及硬石膏中的 43 组流体包裹体数据表明:包裹体类型以富液包裹体为主,气液比一般在 10%~15%,同时可见许多含子矿物的三相包裹体及少量的富气包裹体;其大小一般在 5~15 μm ,以 10 μm 左右为多,形态不规则,成群、成带分布在团块状、网脉状石英及硬石膏中,未见熔流包裹体。由含矿斑岩体中流体包裹体均一温度直方图(图 2)可以看出:石英、硬石膏的包裹体均一温度主要在 250~400 $^{\circ}\text{C}$ 之间,可分为 3 组,估计与热液期不同的矿化阶段相对应,但主要温度区间为 300~350 $^{\circ}\text{C}$ 。经中国地质大学激光拉曼光谱测定,流体包裹体成分主要有液相: H_2O 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- ;气相: CO_2 、 H_2O 、 N_2 、 CH_4 ;固相:石膏、石盐。从流体包裹体类型、成分及组合特征来看,应属于饱和及过饱和盐水+蒸气沸腾流体包裹体组合。这种沸腾流体应形成于压力条件突然下降的半

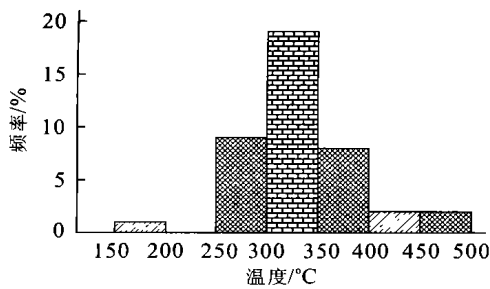


图 2 原生流体包裹体均一温度直方图

Fig. 2 Homogenization temperature histogram of original fluid inclusion

开放—开放环境,成矿物质也是此时大量沉淀,与主要的矿化阶段相吻合。

驱龙 I 号含矿斑岩体中辉钼矿石英脉中辉钼矿 Ro-Os 模式年龄为 (15.36 ± 0.21) Ma (中国科学院地质地球物理研究所测试, 2001, 3 个样平均); 驱龙 ZK001 及 TC₁ 中辉钼矿 Ro-Os 模式年龄为 (15.99 ± 0.91) Ma (中国科学院地质地球物理研究所测试, 2002, 4 个样平均); 驱龙含矿斑岩体中单颗粒锆石 U-Pb 年龄 17.0 Ma (中国科学院地质地球物理研究所测试, 2003)。可见驱龙斑岩铜矿床的成矿年龄应在 16 Ma 左右。这一时间与冈底斯造山带陆内汇聚体制向伸展走滑体制转换的时间大致相当。

驱龙斑岩铜矿床的形成受其所处大地构造背景及成矿环境控制。在中新世 (17~15 Ma), 冈底斯造山带由汇聚造山向伸展走滑转换的过渡时期, 由于软流圈上涌、深部物质减压分熔等因素, 诱发深熔作用, 形成富含挥发分、侵位能力极强的花岗岩浆 (陈衍景等, 1999; Yin and Harrison, 2000), 沿 NE 向控盆控岩(矿)断裂(盆缘深断裂)侵位产生一系列的斑岩体、相关的小侵入体及火山岩。驱龙含矿斑岩体就是在这一过渡体制下深部壳幔作用的产物。其流体包裹体组合也反映其形成环境从相对封闭向相对开放、半开放的环境转变, 这与成矿发生于汇聚造山环境向伸展走滑过渡的结论是一致的。

4 关键科学问题

由于该矿床处于勘查初期, 存在许多亟待解决的关键科学问题:

现象之一: 驱龙斑岩铜矿床在地表以下 180 m 开始大量发育结晶颗粒粗大的紫红色硬石膏(以前许多专家将其错定为萤石), 它们呈脉状(最宽达

5 cm)、团块状、浸染状分布于裂隙、晶隙中, 含量可达 1%~10%, 这在国内外都是罕见的。浅部以白色为主, 深部紫红色硬石膏增多及总体含量增加, 并与铜矿化成正比, 是重要的矿化标志。同时在矿石中还发现存在大量的磁铁矿与金红石这一现象。大量的研究表明, 在氧化型花岗岩浆中硫以 S^{6+} 形式为主, 当硫达到饱和后则不会形成硫化物而形成硬石膏和磁铁矿, 铜并不进入硬石膏而是仍然留在岩浆中, 并最终进入流体成矿; 而当岩浆处于还原态时, 其中的硫呈 S^{2-} , 就会晶出磁黄铁矿等硫化物或发生硫化物熔体的分离, 此时岩浆中的绝大多数铜将会进入磁黄铁矿或硫化物熔体中而发生分散, 从而阻碍了斑岩铜矿的形成 (Streck and Dilles, 1998; Tarkian and Stridny, 1999)。驱龙斑岩铜矿床中大量硬石膏的出现, 说明含矿斑岩浆为氧化态。这种含膏盐流体将相当数量的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 离子带入岩浆, 氧化态硫、氯离子大量存在, 有利于铜金富集在流体相中, 是大型斑岩矿床形成的必要条件 (Sillitoe, 1997)。但矿石中金红石的大量出现, 使之与氧化态岩浆之说相矛盾。

另一方面, 驱龙铜矿床位于拉萨—日多弧间(断陷)盆地南部边缘这一盆山转换部位, NE 向控盆控岩(矿)复合深断裂由挤压向伸展转换过程中所引起的“泵吸”作用使来源于深部的含矿热流体与来自拉萨—日多弧间(断陷)盆地中晚侏罗统含膏盐地层中的矿化热卤水发生混合, 构成了一个物质和能量的双对流成矿流体循环系统, 使二长花岗岩及其周围岩石产生强烈的蚀变交代及充填作用, 形成浸染状、团块状及网脉状矿化。这也与驱龙含矿斑岩体中 90% 以上的斑晶已发生蚀变的地质事实相吻合。但究竟是哪种成因或兼而有之需要进一步的研究。

现象之二: 最近一些学者指出冈底斯成矿带的含矿斑岩体属钾玄岩系列。驱龙含矿斑岩体及围岩的岩石化学成分分析结果(表 1)表明, 均富碱、高钾和 $w(K_2O) > w(Na_2O)$; 从 $w(K_2O) - w(Si_2O)$ 图解(图 3)可以看出: 除个别样品落在高钾钙碱性系列区外, 绝大多数样品均落在钾玄岩系列区; 在 $w(K_2O) - w(Na_2O)$ 图上(图 4), 除少数样品落在超钾质区外, 大部分样品均落在钾玄岩质区。表明驱龙的含矿斑岩体与荣木错拉黑云母二长花岗岩类似, 在岩石化学成分上属钾玄岩系列至高钾钙碱性系列的岩石。然而在镜下观察, 含矿斑岩体及围岩均已发生强烈蚀变, 具变余斑状结构, 变余斑晶石英、

表 1 驱龙斑岩铜(钼)矿床围岩与含矿斑岩石化学成分

Table 1 Petrochemistry components of wall rock and mineralizing porphyry in Qulong porphyry Cu (Mo) deposit $w_B/\%$

序号	样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	Los	备注
1	HL01	67.02	15.20	0.56	6.83	2.66	1.24	0.70	0.020	1.40	1.51	0.085	0.15	1.78	
2	HL02	68.61	14.63	0.40	6.11	3.32	1.86	1.27	0.02	0.95	1.03	0.16	0.87	0.20	
3	HL03	70.01	15.27	0.28	4.82	4.01	1.78	0.65	0.03	0.84	0.92	0.09	0.46	0.16	
4	HL04	67.03	14.61	0.45	6.66	3.45	3.01	1.40	0.07	0.72	0.71	0.21	0.38	0.82	驱龙含矿二长花岗岩
5	HL05	68.72	15.14	0.44	4.27	2.21	3.34	0.38	0.03	1.15	1.36	0.20	0.19	1.80	长花岗岩
6	HL06	61.88	16.34	0.51	4.42	2.67	2.25	0.71	0.04	2.78	3.02	0.19	0.07	4.65	
7	HL07	69.99	13.49	0.31	6.28	2.85	2.16	0.90	0.02	0.52	1.01	0.12	0.79	2.70	
8	HL08	70.48	12.09	0.30	5.18	2.27	2.95	0.92	0.01	0.47	1.06	0.11	0.73	2.85	
9	IXH1	62.78	17.94	0.55	4.29	2.89	2.10	1.00	0.021	1.79	2.28	0.16	0.18	2.79	
10	IXH2	66.04	15.31	0.51	2.83	2.47	2.98	3.76	0.056	1.98	1.51	0.21	0.17	1.88	荣木错拉黑云母二长花岗岩
11	IXY10	68.68	15.02	0.46	4.36	0.22	0.68	0.84	0.009	0.96	4.21	0.02	0.08	4.54	
12	IXY15	65.88	17.01	0.53	5.11	0.27	1.61	0.12	0.01	2.28	2.24	0.062	0.11	4.22	

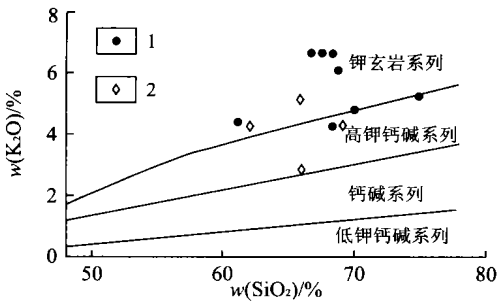


图 3 含矿斑岩及围岩 $w(K_2O)-w(SiO_2)$ 图解

Fig. 3 $w(K_2O)-w(SiO_2)$ diagram of wall rock and mineralizing porphyry

1. 驱龙含矿二长花岗岩; 2. 荣木错拉黑云母二长花岗岩

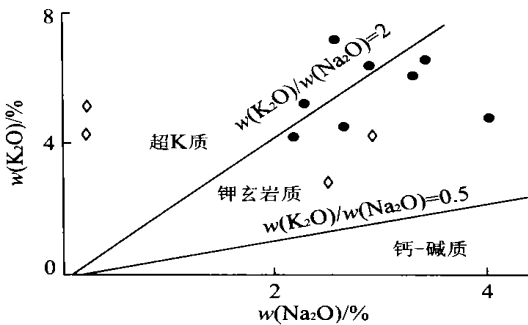


图 4 含矿斑岩及围岩 $w(K_2O)-w(Na_2O)$ 图解(图例同图 3)

Fig. 4 $w(K_2O)-w(Na_2O)$ diagram of wall rock and mineralizing porphyry

钾长石、斜长石只占 5%左右, 蚀变矿物绢云母、石英等达 60%以上. 也就是说含矿斑岩中的绝大多数硅酸盐矿物已发生了蚀变. 笔者所测试的岩石化学结果都是针对已蚀变的含矿斑岩体进行的, 高钾有可能是蚀变引起的(铜、钼元素呈正相关的分析结果证明了这一点), 并不代表含矿斑岩体原有的成分.

问题在于: 含钾的热流体是含矿斑岩本身结晶分异时析出的还是来自围岩? 或者两者都有? 这是一个值得深入研究的课题.

5 找矿新进展

5.1 勘查历史回顾

1986—1988 年西藏区调队在进行 1:20 万拉萨幅区域化探扫面时在驱龙发现了拉 27 号异常, 并同时安排了三级异常查证, 证实为矿致异常; 1994 年西藏区调队在该区进一步开展了二级异常查证, 发现了 4 个铜(钼)矿化体, 但由于认识的深入程度等原因, 勘查工作没有继续进行下去. 2000 年底笔者在系统研究、分析、处理冈底斯东段地、物、化、遥资料的基础上, 认为驱龙铜矿点的资源潜力应在 $200 \times 10^4 t$ 以上, 并在 2001 年初编写的《西藏冈底斯东段铜多金属成矿带矿产资源评价及找矿突破》立项论证报告中将驱龙矿点列为首选靶区. 经过大调查项目 2002—2003 年的野外初步勘查验证, 该矿床有望成为世界级的超大型斑岩铜(钼)矿床.

5.2 勘查新进展

根据勘查初期矿区的交通条件及钻探工作量, 2002 年的工作重点放在了 I 号含矿斑岩体上. 在 0 线施工了 ZK001、ZK002 两个钻孔(图 1), 但均未打穿矿体. ZK001 孔深 501.44 m, 打在含矿二长花岗岩中, 98 m 时开始见矿, 已控制工业矿体厚 403.44 m(未打穿矿体), 铜平均品位 0.501%, 最高品位 1.79%; 钼平均品位 0.0317%. 其中孔深 314~334 m 之间铜平均品位 1.23%, 且终孔品位仍

达 0.93%，说明矿体向深部仍有延伸；ZK002 孔深 400 m，打在了含矿斑岩体的外接触带（黑云母二长花岗岩）中，24 m 时开始见矿，且向下 Cu、Mo 品位有增高的趋势；2003 年在 II 号矿体上施工了 ZK1101 孔，钻进 662 m 时还未打穿矿体。

5.3 资源潜力评估

从水化学、渗湿土测量、幅频激电等成果来看：形成 3 km 及 6 km 长“孔雀河”的铜离子主要是来自 I、II 号含矿斑岩体；1:1 万土壤测量在 II 号含矿斑岩体上显示出以斑岩铜矿化前缘晕为主的组合异常；同时，在 II 号斑岩体北部叶巴组火山岩地层中揭露出宽 70 m 的铜矿化，显示出 I、II 号含矿斑岩体是矿区中最有希望取得找矿突破的地段。根据中国地调局 2002 年底下发的有关资源量计算规范，估算 Cu I 号矿体 $333 + 334_1$ 资源量 Cu: 112.8×10^4 t; Mo: 7.1×10^4 t。考虑到最有找矿前景的 Cu III、Cu IV、Cu V 号矿体仍有待勘查，矿区西北部仍有重要找矿前景的物探异常有待验证，因此预计驱龙斑岩铜矿床 $(400 \sim 500) \times 10^4$ t 的资源量是有可能实现的。

6 结论及启示

(1) 驱龙铜（钼）矿床产于冈底斯东段火山—岩浆弧与拉萨—日多弧间盆地的盆—弧转换部位；控矿构造具有早期控盆、晚期控岩控矿的多期性、继承性大型构造特征。(2) 以含矿斑岩体为中心，形成具有中心式、面状、环带分布的蚀变特征，并配套有相应的矿化分带。硬石膏化及绢英岩化与铜矿化关系密切，但黄铁矿化与铜矿化无关。(3) 饱和及过饱和盐水—蒸气沸腾流体包裹体组合表明，矿床形成的压力条件应是快速下降的半开放环境，这与矿床形成于汇聚造山向伸展走滑转换的过渡环境相吻合，其成矿时代为 15~17 Ma。(4) 矿石中淡紫色高温硬石膏、磁铁矿及金红石的出现，特别是罕见的大量硬石膏的出现，其来源、形成机理及在成矿过程中的作用等都是有待解决的重要科学问题。(5) 该矿床的初步勘查成果是冈底斯东段斑岩铜（钼）矿床勘查的一个重大突破。它对于指导外围勘查、缓解国内铜进口压力以及促进西藏经济的跨越式发展等具有非常重要的现实意义。

References

Chen, Y. J., Chen, H. Y., Liu, Y. L., et al., 1999. The progress

and study history of endogenetic deposit in collisional process. *Chinese Science Bulletin*, 44(16): 1681—1689 (in Chinese).

Dong, S. W., 1999. Tectono-magma evaluation and mineralization in orogenic belts. In: Chen, Y. C., ed., *The present theories and methods of mineral resource exploration and assessment*. Seism Publishing House, Beijing, 83—89 (in Chinese with English abstract).

Ren, Y. S., Zhang, J. S., Fan, W. Y., et al., 2002. Prospective for recasting of Jiama copper-polymetallic ore deposit, Tibet. *Geology and Prospecting*, 38(5): 30—32 (in Chinese with English abstract).

Sillitoe, R. H., 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373—388.

Streck, J. M., Dilles, J. H., 1998. Sulfur evolution of oxidized arc magmas as recorded in apatite from a porphyry copper batholith. *Geology*, 26: 523—526.

Tarkian, M., Stridrný, B., 1999. Platinum-group elements in porphyry copper deposit, a reconnaissance study. *Mineralogy and Petrology*, 65: 161—183.

Xia, D. X., Zhang, P., Zhou, X., et al., 1993. The regional geology of Xizang autonomous region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic evolution of the Himalaya-Tibetan orogen. *J. Earth Planet. Sci.*, 81: 211—280.

Zheng, Y. Y., Wang, B. S., Fan, Z. H., et al., 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet and the metallogenic potentialities of copper-gold polymetal. *Geological Sciences and Technology Information*, 21(2): 55—60 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈衍景, 陈华勇, 刘玉琳, 等, 1999. 碰撞造山过程内生矿床作用的研究历史和进展. *科学通报*, 44(16): 1681—1689.

董树文, 1999. 造山带构造岩浆演化与成矿作用. 见: 陈毓川. 当代矿产勘查评价的理论与方法. 北京: 地震出版社, 83—89.

任云生, 张金树, 范文玉, 等, 2002. 西藏甲马铜多金属矿床远景预测. *地质与勘探*, 38(5): 30—32.

夏代祥, 张平, 周详, 等, 1993. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.

郑有业, 王保生, 樊子瑋, 等, 2002. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析. *地质科技情报*, 21(2): 55—60.