编号:0258-7106(2017)03-0705-14

秘鲁 Don Javier 斑岩型铜钼矿床矿化蚀变特征 及矿床三维勘查模型^{*}

陈 念1,毛景文12,范成龙1,陈玉明3

(1中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2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;3中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

摘 要 Don Javier 铜矿床位于秘鲁南部著名的古近纪铜钼矿床成矿带的北端,是该成矿带新发现的一个斑岩 型铜钼矿床。初步探明其铜金属量为 129.18 万吨,平均品位 0.43%;伴生钼金属量为 5.23 万吨,平均品位 0.017%;伴生银金属量为 800.56 t,平均品位 2.64 g/t。文章重点分析该矿床成矿地质特征及成矿规律,明确矿床 周边的找矿方向,以期增加资源量满足后续评价开发的需求。通过研究 Don Javier 矿床的成矿地质条件、矿化蚀变 特征及其三维空间分布规律,认为其主要矿体发育于绢英岩化英安斑岩内。另外,通过建立矿床地质、蚀变三维模 型 结合前人的地表物探、化探成果,认为矿体北东侧及南东方向具有很好的找矿前景。

关键词 地质学 斑岩铜矿 矿化蚀变 三维模型 Don Javier 矿床 秘鲁 中图分类号: P618.41; P618.65 文献标志码: A

Alteration-mineralization characteristics and three-dimensional exploration model of Don Javier porphyry copper-molybdenum deposit, Peru

CHEN Nian¹, MAO JingWen^{1,2}, FAN ChengLong¹ and CHEN YuMing³

(1 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract

The Don Javier copper deposit is located in the northern part of the Paleogene porphyry copper-molybdenum metallogenic belt in the south of Peru. It is one of the newly discovered porphyry copper-molybdenum deposits in this metallogenic belt. The copper resource is 1.29 million tons with an average grade of 0.43%, the associated molybdenum is 52 300 tons with an average grade of 0.017% and 800.56 tons of silver with an average grade of 2.64 g/t. In order to increase the metal resources and satisfy the demand of the follow-up assessment and development of the mine, this paper helps the readers to determine the location of new prospective areas around the deposit based on studying the geological characteristics and metallogenic regularity of the deposit. By studying the geological condition of mineralization, the mineralization-alteration features and the three-dimensional distribution pattern of the deposit, the authors hold that the main orebody is hosted in the phyllic altered dacite porphyry. By establishing the three-dimensional geological model of the deposit and combining the geophysical

本文得到中国地质调查局地质调查项目"海上丝绸之路重点地区有色金属资源潜力评价(编号:121201004000150010)资助
 第一作者简介 陈 念,男,1988年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:chennian1988@hotmail.com
 收稿日期 2016-12-31;改回日期 2017-03-03。赵海杰编辑。

and geochemical prospecting results, the authors have reached the conclusion that there exist prospecting potential in the northeastern and the southeastern part of the orebody.

Key words: geology, porphyry copper deposit, mineralization and alteration, three-dimensional model, Don Javier deposit, Peru

秘鲁南部古近纪铜钼矿床成矿带是秘鲁重要的 铜金属产区。近几年,随着该区勘查工作程度的逐 渐加深,露头矿和浅表矿越来越少,深部找矿突破迫 在眉睫。庄胜矿产资源集团有限公司技术团队在充 分分析该区成矿地质背景特征的基础上,结合地表 地质调查、物探、化探成果,实现了该区深部找矿的 重大突破,并建立了一套行之有效的深部斑岩型铜 矿找矿勘查方法。

Don Javier 矿床位于秘鲁南部的 Arequipa 省 Yarabamba 区东南 8 km 处,为一个新发现的斑岩型 铜钼矿床,距矿区西北方向 18 km 处即为 Cerro Verde 超大型铜矿。自 2008 年以来, 庄胜矿产资源 集团有限公司在 Don Javier 矿权区内开展勘探工作, 先后完成了地质填图、地表化探、物探、钻探等方面 的工作,项目现已进入开发可行性研究阶段。Don Javier 矿床整体研究程度较低,前人仅对其矿床地质 特征、地球化学特征及矿床成因方面开展过初步的 研究 金文强 2010 洗杨 2011 ;高祥 2012 ;吴斌等 , 2014)。本文在前人工作的基础上,对 Don Javier 矿 床区域地质、矿床地质特征等进行综合阐述、并总结 矿床三维空间矿化蚀变规律 建立了==维矿化蚀变 模型 同时结合地表物化探成果 指明矿床周边找矿 方向。这些工作将有助于指导该矿床进一步的找矿 勘查 以期实现找矿新突破。

1 区域地质概况

Don Javier 矿区位于秘鲁南部著名的古近纪斑 岩型铜钼矿床成矿带的北端、西科迪勒拉白垩世— 古新世岩浆弧的北西段。其中,岩浆弧为纳兹卡板 块向南美板块俯冲形成。

区内北部零星出露前寒武系花岗闪长片麻岩, 中侏罗统—中白垩统海相碳酸盐岩、滨海相碎屑岩 以及部分陆相火山岩沉积序列,主要分布于区内的 南部,往上为上新统—更新统陆相火山岩沉积序列 地层,岩性主要为凝灰岩和安山岩,主要分布在区内 的东北部;全新世残积物、冲积物沿河道、沟谷等地 势较低的地方分布。 三大构造系统 SFUACC(Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri fault system) CECLLA(Cusco-Lagunillas-Laraqueri-Abaroa Structural Corridor) SFIEC (Incapuquio-EI Castillo fault system) (Sempre et al., 2004)为秘鲁南部主要的断层系统,其走向均为 NW向。Don Javier 铜矿就位于 SFIEC 断层系统的 次级断裂上, Cerro Verde、Toquepala、Cuajone 和 Quellaveco 等超大型斑岩铜矿均与该断层系统有关。 可见 SFIEC 断层系统控制着整个秘鲁南部古近纪 斑岩铜矿的分布(图 1)。

区域上出露的侵入岩主要为晚白垩世形成的 中-酸性火成岩,主要为 Toldos 英云闪长岩体, Yarabamba 超单元的花岗闪长岩、二长闪长岩和花 岗岩以及随后侵入的英安斑岩。其中,古新世侵入 的英安斑岩是 Don Javier 矿床的主要赋矿岩体, Yarabamba 超单元的花岗闪长岩则构成其主要围 岩。Yarabamba 超单元和与之同期的 Toquepala 群 被认为是秘鲁南部白垩纪—古近纪岩浆弧的代表 (张杨等,2011)。

2 矿床地质特征

2.1 地层

上侏罗统 Yura 群 Labra 组在矿区南部出露(图 2),岩性为绿色层状石英砂岩夹泥质砂岩,与 Yarabamba 岩体和英安斑岩呈侵入接触关系。

2.2 构造

矿区内可见 3 组断裂构造,分别呈 NW 向、NE 向 和 EW 向(图 2)。其中,NW 向构造与 SFIEC 断层系 统走向一致,被普遍认为是 SFIEC 断层系统的次级断 裂,与矿体走向一致,为 Don Javier 成矿有关的斑岩侵 入及后期热液运移提供了有利的构造条件;NE 向断 裂可能形成于 NW 向断裂之前,并与成矿具有密切 的联系,该方向构造为矿区的主要容矿构造;EW 向 断裂可能与矿区周围近 EW 向的铜矿脉有关。

2.3 岩浆岩

沿 NW 向断裂侵入的 Yarabamba 超单元,岩性 为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩和英



图 1 秘鲁南部 Don Jaiver 地区位置图(a)和三大断层系统及主要矿床位置图(b) 据 Sempre et al., 2004;

Singer et al., 2005 修改)

Fig. 1 Location of the Don Javier (a), three fault systems and major deposits location in southern Peru (b) (modified after Sempre et al., 2004; Singer et al., 2005)

安斑岩(表 1),其侵入年龄为(68±3) Ma(Bel, 1985)。花岗闪长岩构成 Don Javier 矿床的主要围 岩,岩体接触带具有明显的矿化。英安斑岩可分为4 期,英安斑岩期、石英英安斑岩期、斜长石黑云母斑 岩期和石英英安斑岩期,其中前两期英安斑岩含矿, 为主要的赋矿岩体,后两期斑岩含矿性较差(吴斌 等 2014)。矿区英安斑岩的侵入年龄暂无数据,但 相邻的 Cerro verde 铜矿与古新世侵入的英安-二长 斑岩相关(Quang et al., 2003),推测与 Don Javier 铜 矿有关的英安斑岩也为古新世侵入。根据微量和稀 土元素分析,Don Javier 含矿斑岩体和花岗闪长岩围 岩为形成于洋壳俯冲下的典型陆缘弧岩浆岩,且为 同源岩浆演化的产物,其岩浆源可能来自地幔楔型 区形成的玄武质岩浆(高祥,2012)。矿区可见晚期

的安山岩脉及细晶岩脉产出(表1)。

2.4 矿体特征

截止到 2014年, Don Javier 矿区按 70 m×70 m 网度施工钻孔 140个,总进尺为 138 152 m。矿体分 布在 1040 m×560 m 范围内,以 0.3%为边界品位获 得推断+控制铜资源量为 129 万吨,平均铜品位 0.43%。矿体整体呈 323°方向延伸,与区域上 SFIEC 断层系统走向一致。矿体在钻孔 ZK-01、ZK-15 附近从孔深 100 m 左右,即出现铜品位大于 0.3%的矿体,主矿体出现在孔深 500~1200 m(海拔 2400~1700 m)之间 整体呈现北西高 南东低的态势。 矿体中心位于钻孔 ZK-91 附近,该钻孔深 2149 m 終 孔时仍未穿透矿体,且铜品位往深处有增加趋势。

Don Javier 铜钼矿为隐伏矿床,以原生矿石为主。



图 2 Don Javier 矿床地质图(据 AMC 矿业咨询(加拿大)有限公司,2012 修改) 1一侏罗系砂岩; 2 闪长岩; 3—石英闪长岩; 4—花岗闪长岩; 5—花岗岩; 6—英安斑岩; 7—角砾岩筒; 8—安山岩脉; 9—推断断层; 10—矿体范围; 11—钻孔及编号; 12—勘探线及编号

Fig. 2 Geological map of the Don Javier Cu-Mo deposit (Modified after AMC Mining Consultants (Canada) Company Limited, 2012)

1—Jurassic sandstone; 2—Diorite; 3—Quartz diorite; 4—Granodorite; 5—Granite; 6—Dacite porphyry; 7—Breccia pipe; 8—Andesite vein; 9—Inferred fault; 10—Orebody range; 11—Drill hole and its serical number; 12—Exploration line and its serical number

氧化带深 10~50 m,局部深 80 m,矿化主要发生在 100 m 深度以下,因此氧化矿不发育。矿石矿物主 要为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿等,次为砷黝铜 矿、斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿等。由于矿床较 弱的表生氧化及次生富集作用,矿体上部可见少量 的孔雀石、铜蓝、蓝辉铜矿等次生矿物。脉石矿物主 要为长石(钾长石、钠长石和斜长石)和石英,其次为 绿泥石、白云母,以及少量的方解石、高岭石和微量 的石膏、金红石、榍石、磷灰石、绿帘石、锆石等(北京 矿冶研究总院, 2013)。

与 Cerro Verde 等超大型矿床相比, Don Javier 矿床次生硫化物富集带不发育,这可能是由于 Don Javier 矿床北西方向与 Cerro Verde 之间存在一条 NNE 向断裂(图 1)。断裂北西盘抬升使 Cerro verde 矿床接受剥蚀并形成富矿的次生硫化物富集带。Don Javier矿床所处的南东盘则相对下降, 矿床表生作用 表 1 Don Javer 铜矿主要中酸性岩浆岩特征(据张杨 2011 高祥 2012 ;吴斌 2014b)

Table 1 Characteristics of intermediate-acid magmatic rocks in the Don Javier copper deposit (after Zhang et al., 2011;

侵入岩	结构	产出位置	矿物组合	形成时代
花岗岩	中-细粒全晶质结构	矿体北东边缘外	主要:斜长石、正长石、石英; 次要绿泥石、绢云母、方解 石、白云母	晚白垩世
花岗闪长岩	半自形中粒等粒结构	矿区大范围分布,构成含矿 斑岩体的主要围岩,接触 带部分矿化成矿	主要:斜长石、钾长石、正长 石、石英;次要:绢云母、绿 泥石、电气石	晚白垩世
石英闪长岩	似斑状结构(似斑晶为呈自形斜长石,部分 半自形石英)	矿体附近围岩中少量分布	似斑晶:斜长石、石英;基质: 斜长石、石英、方解石、绿泥 石、绢云母	晚白垩世
英安斑岩	斑状结构(斑晶含量 10%~20%。斜长石斑 晶呈自形板状结构,石英斑晶常被溶蚀, 为交代残余矿物。基质为显晶质)	矿区大面积出露 ,为主要赋 矿岩石	斑晶 斜长石以及交代残余的 石英;基质:斜长石、石英、 绢云母	古新世
安山岩脉	斑状结构(斑晶:自形-半自形斜长石。基 质细粒状显晶质的斜长石、碳酸盐、绢云 母和少量不透明矿物)	呈脉状穿插于英安斑岩及 其围岩中	斑晶主要为斜长石。基质主 要为斜长石、碳酸盐、绢云 母	
花岗细晶岩脉	细粒结构(粒径<2 mm)	矿体北侧、东南部,呈脉状穿 插于英安斑岩及其围岩中。	石英含量20~60%,长石含量 5%,少量黑云母、角闪石等	

不明显,未形成明显的次生硫化物富集带(高光明 等 2013),这也是 Don Javier 矿床矿体埋深较大的原 因之一。

2.5 蚀变分带及矿化

矿床围岩蚀变广泛发育。钾硅酸盐化、绢英岩 化、泥化和青磐岩化分带性明显,与典型斑岩型铜钼 矿床蚀变分带相似。绢英岩化和青磐岩化为矿区主 要的蚀变类型,分布最广。

钾硅酸盐化带 位于矿体深部 NE-G 勘探线到 NE-L 勘探线之间,其分布范围有限,常被后期绢英 岩化和青磐岩化叠加改造,具有较高品位的铜矿化 (表2)。蚀变主要表现为斜长石、石英等原生矿物被 钾长石(正长石),黑云母等次生矿物交代(图 3a,b)。 整体来看,钾长石化早于黑云母化,且常常被后期蚀 变叠加形成冰长石或黑云母,导致岩石中钾长石很 难被肉眼观察到。钾化蚀变主要通过粉红色岩石和 次生黑云母的存在辨认。其他次生矿物有磁铁矿、 黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、绿泥石、绿帘石、白云母以 及微量的方解石。该带常见石英-黄铜矿-辉钼矿脉 和呈浸染状产出的黄铜矿(图 4a,b)。

硅化蚀变主要伴有黄铜矿-辉钼矿脉和石英-硫 化物网脉,以及石英电气石角砾岩和复合角砾岩。 矿脉的主要矿物组合为石英-辉钼矿-黄铜矿。

绢英岩化带 该带分布于钾硅酸盐化带之外, 二者之间无明显的界限,在钾硅酸盐化带与绢英岩 化带之间常发育有高品位的铜矿化。该带石英网脉 发育,主要表现为石英、绢云母交代原生斜长石及硅酸盐矿物。强烈的蚀变作用常改变了英安斑岩的原始结构。绢英岩化蚀变在矿区大范围分布,Don Javier铜矿的铜钼矿化主要发生在绢英岩化带内。 该带常见矿物组合有细脉状黄铜矿-黄铁矿,细脉状 石英-黄铜矿±黄铁矿±辉钼矿(图4c,d),浸染状黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿,斑点状方铅矿、闪锌矿(张杨, 2011a;高祥 2012;Rivera, 2013)。

钾硅酸盐化和绢英岩化蚀变与细脉浸染状矿体 关系密切,两者总是相伴产出,矿化和蚀变均呈过渡 关系。钾硅酸盐化带常被绢英岩化叠加,而后期青 磐岩化则叠加在前两期蚀变之上。部分青磐岩化蚀 变出现于矿体深部,叠加于钾硅酸盐化和绢英岩化 带之上。

在 NE-I 到 NE-K 勘探线之间的英安斑岩体内 可见复成分侵入角砾岩筒,角砾为英安斑岩和花岗 闪长岩,胶结物多为与热液有关的石英和硫化物。 在角砾岩筒内,特别是深部角砾岩筒常具有呈脉状 产出的高品位铜钼矿化(图 4e、f)。

泥化带 热液蚀变产生的泥化在矿区发育较 少,分布于绢英岩化和青磐岩化带之间。肉眼鉴定 特征为石英、斜长石等硅酸盐矿物大量黏土化,以高 岭土化为主,颜色为白色、灰白色。镜下鉴定特征为 长石类矿物黏土化,原岩结构遭到破坏,高岭石、伊 利石等矿物明显增多。另一种由表生作用产生的 次生泥化蚀变在矿区地表大面积分布于斑岩体中,



图 3 Don Javier 铜钼矿床的显微镜下特征

a. 英安斑岩中钾化蚀变形成的黑云母,长石+石英(Plg+Qz)和暗色矿物呈细微粒状聚集; b. 蚀变形成的冰长石(ad); c. ZK-62 钻孔 1028 m处,后期青磐岩化蚀变叠加的绿泥石和绿帘石; d. ZK-37 钻孔 556 m处,后期青磐岩化蚀变中绿帘石取代斜长石

Ad-冰长石; Bt-黑云母; Clo-绿泥石; Ep-绿帘石; Op-不透明矿物; Plg-斜长石; Qz-石英

Fig. 3 Microscopic photo of the Don Javier Copper deposit

a. Potassic alteration forming biotite, microgranulares aggregates of Plg + Qz and opaque minerals;
 b. Alteration forming adularia;
 c. Chlorite and epidote within propylitization zone at 1028 m depth of ZK-62;
 d. Plagioclases replaced by chlorites within propylitization zone at 556 m depth of ZK-37 Ad—Adularia;
 Bt—Biotite: Clo—Chlorite;
 Ep—Epidote: Op—Opaque mineral;
 Plg—Plagioclase;
 Qz—Quartz.

多与褐铁矿、赤铁矿等伴生。该带铜、钼含量明显降低,不是主要的含矿带(张杨,2011)。断层内也可见 泥化现象,多为高岭土化,主要分布于绢英岩化带 内,钾硅酸盐化带中少见。

青黎岩化带 蚀变的花岗闪长岩、英安斑岩多 呈浅绿色、青灰色。大范围分布于矿体边缘的花岗 闪长岩和英安斑岩中(图 5a、b),以大量发育绿泥石 为特征,可见绿泥石、绿帘石、石英和方解石图(3c、 d)。该带铜钼矿化整体较弱,但在局部,如矿体中心 的浅部具有较高品位的铜钼矿化(表 2)。硫化物以 黄铁矿为主,主要矿物组合为浸染状黄铁矿,星点状 黄铜矿,细脉状、斑点状黄铁矿±方铅矿±闪锌矿 (张杨,2011;高祥,2012; Rivera, 2013)。

2.6 成矿期次

根据矿床中矿物生成顺序、脉体类型及其相互 穿插关系,将 Don Javier 矿床划分为内生成矿期和表 生成矿期,其中内生成矿期又进一步分为早期热液 阶段和晚期热液阶段。

2.6.1 内生成矿期

(1)早期热液阶段:为矿床主要的成矿阶段。随 着英安斑岩的侵入及含矿流体晶出成矿,Don Javier 矿 床形成以钾硅酸盐化为中心,向外依次为绢英岩化、 青磐岩化的矿化蚀变。结合岩芯编录和显微镜下观 察,确定磁铁矿最早生成,以细脉状和粒状分布为主。 显微镜下特征为磁铁矿部分交代原生金红石(图 6a), 而磁铁矿又被黄铜矿等硫化物交代(图 6b);稍晚生成 的斑铜矿、砷黝铜矿等矿物常被后期生成的黄铜矿、 方铅矿、闪锌矿等矿物交代而呈现交代残余结构(图 6c、d);黄铜矿在整个阶段均有生成,常呈他形结构交 代金红石、磁铁矿、辉钼矿、斑铜矿等矿物(图 6e、f)。 该阶段生成的脉体类型以石英-黄铜矿±黄铁矿



图 4 Don Javier 铜钼矿床典型矿石照片

a. 钾硅酸盐化带中的石英-黄铜矿-辉钼矿脉; b. 钾硅酸盐化带中的辉钼矿和呈补丁状黄铜矿; c. 绢英岩化带中呈浸染状分布的黄铜矿 以及脉状石英-黄铜矿脉; d. 绢英岩化带中的石英-黄铜矿-辉钼矿脉; e. 角砾岩中的铜钼矿化; f. 角砾岩中的铜钼矿化 Fig. 4 Typical ore photos of the Don Javier deposit

a. Quartz-chalcopyrite-molybdenite vein in the K-silicate alteration zone;
 b. Molybdenite and patches chalcopyrite in the K-silicate alteration zone;
 c. Disseminated chalcopyrite and vein quartz-chalcopyrite vein in the phyllic zone;
 d. Vein quartz-chalcopyrite-molybdenite vein in the phyllic zone;
 e. Copper-molybdenum mineralization in the breccia;
 f. Copper-molybdenum mineralization in the breccia;

辉钼矿的 B型脉为主,主要分布于钾硅酸盐化带和绢 英岩化带内,向外的绢英岩化带和青磐岩化带内可见 含矿性较差的石英-黄铁矿±黄铜矿的 D型脉。

(2)晚期热液阶段:矿化较弱,发育少量含黄铜 矿、黄铁矿的碳酸盐脉和石膏脉。石膏脉部分位于 矿体深部的绢英岩化带内,为热液作用产物;部分分 布于矿体顶部,为成矿后表生产物。

2.6.2 表生成矿期

受制于 Don Javier 矿床形成后不明显的地壳抬 升作用,矿床次生硫化物富集带不发育,仅见少量的 铜蓝、蓝辉铜矿等次生矿物,地表沟谷地带出露孔雀 石、胆矾等表生矿物。



表 2 Don Javier 铜矿 ZK-61 钻孔岩性、蚀变、矿物和铜品位特征

注:OVB—第四系覆盖;GD—花岗闪长岩;PD—英安斑岩;ZFA—断层;Mt—磁铁矿;Py—黄铁矿;Cp—黄铜矿;Hm—赤铁矿;Mb—辉 钼矿;Jar—黄钾铁矾;Gt—针铁矿:Sp—闪锌矿;Chl—绿泥石化;Ep—绿帘石化;Cb—碳酸盐化;Anh—硬石膏;Bt—黑云母;Kfs—钾化; Tr—微量;Clays—黏土、泥化。

3 矿体模型与勘查实践

随着计算机软件的发展,大多数矿山已实现矿 山管理的数字化,形成了一套具有现代化的管理体 系和技术体系。计算机三维建模软件已广泛应用于 矿产资源勘查、矿产资源评价、矿山开发和复垦等方 面。在矿床勘探阶段,利用三维建模软件建立三维 地质和蚀变模型,能直观地体现出矿床三维空间的 矿化蚀变特征,指导探矿。本文针对 Don Javier 矿化 蚀变特征进行研究,并利用 Surpac 软件进行三维地 质建模。建立矿体地质和蚀变模型,掌握矿体矿化 蚀变方向,并结合地表物探、化探成果,指导矿体深 部及边缘找矿,增加矿床资源量。

3.1 三维地质模型

英安斑岩体呈北西-南东向分布,花岗闪长岩构 成其主要的围岩,侵入角砾岩筒位于英安斑岩体内 靠近围岩的西南侧。地层和岩体从西南至东北依次 为:花岗闪长岩→矿化花岗闪长岩→矿化英安斑岩 体(斑岩体内角砾岩筒)→花岗闪长岩。根据三维地 质模型统计结果,Don Javier 矿床矿化主要发生于斑 岩体内并靠近西南侧围岩(图7a),与英安斑岩体内



图 5 Don Javier 铜矿 NE-J 勘探线蚀变剖面图(a)和岩性剖面(b) 1—钾硅酸盐化带; 2—绢英岩化带; 3—青磐岩化带; 4—泥化带; 5—花岗闪长岩; 6—英安斑岩; 7—角砾岩带; 8—铜品位等值线 Fig. 5 Geological cross section (a) along NE-J exploration line (b) of the Don Javier copper deposit 1—Potasic-silicification zone; 2—Phyllic zone; 3—Prophylitic zone; 4—Argillic zone; 5—Granodiorite; 6—Porphyry dacite; 7—Breccias zone; 8—Contour line of copper grade

角砾岩筒具有密切的空间关系(图 5b,图 7b)。

3.2 三维蚀变模型

钾硅酸盐化带在矿区分布范围有限(图 5a,图 8a),仅在 NE-G 到 NE-J 勘探线深部见少量的钾硅 酸盐化。绢英岩化为矿区主要的蚀变类型,分布范 围最广。根据三维蚀变模型统计结果,矿体中几乎 所有的英安斑岩以及部分矿化围岩都发生了绢英岩 化,绢英岩化与铜钼矿化关系密切(图 8b)。青磐岩 化带主要分布于绢英岩化带外侧的花岗闪长岩围岩 中。NE-E 到 NE-L 勘探线深部可见后期青磐岩化 叠加于钾硅酸盐化和绢英岩化蚀变之上。热液作用 产生的泥化现象在矿体内部不发育,常围绕绢英岩 化和青磐岩化分布,次生泥化作用主要发生于地表 的英安斑岩中,矿化作用不明显。

3.3 基于三维模型的找矿预测和评价

大多数斑岩型矿床具有类似的蚀变分带特征,

这是重要的找矿标志。通过勘探数据建立矿床三维 地质和三维蚀变模型,结合物、化探手段,直观分析 矿体的空间分布规律,可进一步指导边部、深部和外 围找矿潜力(江少卿等,2015)。

通过三维模型分析表明:矿化与绢英岩化关系 密切,而绢英岩化则主要分布于英安斑岩体中,少量 分布于花岗闪长岩围岩中,成矿具有明显的专属性。 因此,基于矿区的找矿重点应放在具有绢英岩化蚀 变的英安斑岩上。

(1) 深部找矿:矿区目前已施工钻孔 140 个,平 均钻孔深度 990 m,矿体中心部位钻孔平均深度在 1200 m,但终孔时仍有矿化,绢英岩化明显。以最深 的 ZK-91 钻孔为例,钻孔进尺 2149 m,在钻孔深度 1770 m 开始至终孔时,仍见钾硅酸盐化,且越往深 部铜、钼品位均有增加趋势,表明 Don Javier 矿床中 心深部仍有很好的找矿潜力,但鉴于目前工程控制



~图 6 Don Javier 矿床显微镜下照片

a. 磁铁矿交代原生金红石; b. 黄铜矿位于磁铁矿中并交代磁铁矿; c. 黄铜矿交代黄铁矿,黄铜矿又被后期的斑铜矿交代; d. 闪锌矿和一 期形成的黄铜矿呈固溶体分解结构,方铅矿交代砷黝铜矿和二期形成的黄铜矿; e. 闪锌矿交代黄铁矿,闪锌矿又被后期的黄铜矿交代; f. 黄铜矿交代片状辉钼矿

Bn一斑铜矿; Cp-黄铜矿; CpI-与闪锌矿同期生成黄铜矿(一期); CpII-二期生成黄铜矿; Ef-闪锌矿; Gn-方铅矿; Ggs-基质、 非金属矿物; Mb-辉钼矿; Mt-磁铁矿; Py-黄铁矿; Rt-金红石; Tn-砷黝铜矿

Fig. 6 Microscopic photos of the Don Javier deposit

a. Rutile replaced by magnetite: b. Magnetite replaced by chalcopyrite; c. Pyrite replaced by chalcopyrite, and chalcopyrite replaced by bornite;
d. Sphalerite and chalcopyrite developed in stage I, tennantite and chalcopyrite (stage II) replaced by ganela; e. Pyrite replaced by sphalerite; and sphalerite replaced by chalcopyrite; f. Molybdenite replaced by chalcopyrite

Bn—Bornite; Cp—Chalcopyrite; Cp I —Chalcopyrite developed in stage I ; Cp II —Chalcopyrite developed in stage II ; Ef—Sphalerite; Gn—Galena; Ggs—Gangue, Matrix; Mb—Molybdenite; Mt—Magnetite; Py—Pyrite; Rt—Rutile; Tn—Tennantite

深度较大,尚无经济价值,不应进一步开展深部勘查。

(2) 矿体边部找矿:物探资料显示矿区具有北 西向的异常格局,为区内主要的容矿构造。矿体北 侧具有一条近 EW 向异常,钻探揭露主矿体位于这 2 个异常带之间。视电阻率(图 9a)落在 150 Ω•m 附 近,见矿钻孔视幅频率(图 9b)的值域整体在 6% ~ 8%之间(张杨,2011),由于地表出露的青磐岩化带具 有较弱的铜、钼矿化,导致矿区化探异常不明显,但仍 能反应出区内北西向的铜、钼异常格局(图 10a、b)。



图 7 Don Javier 矿床的三维地质模型 a. 低品位矿化范围(斑岩体为透明绿色部分); b. 高品位矿化范围(斑岩体为透明绿色部分)

Fig. 7 Three-dimensional geological model of the Don Javier deposit

a. Low grade mineralization zone (green part); b. High grade mineralization zone (green part)



图 8 Don Javier 矿床的三维蚀变模型

a. 绢英岩化为主要蚀变类型,后期青磐岩化叠加在早期蚀变之上; b. 矿化主要发生在绢英岩化蚀变英安斑岩中
 Fig. 8 Three-dimensional alteration model of the Don Javier deposit
 a. The phyllic represents the early main alteration which is followed by propylitization; b. The mineralization is mainly developed in the phyllic altered dacite porphyry

矿体北东侧。ZK-47 钻孔至 ZK-69 钻孔的矿体 北东侧仍为绢英岩化英安斑岩,具有较好的铜钼矿 化,推测矿化应延伸至花岗闪长岩围岩中。同时,矿 体北东方向正是矿区近 EW 向断裂的延续,矿区电 气石角砾岩和含磁铁矿爆破角砾岩同样集中于矿区 北部并呈近 EW 向延伸,该构造线上发育几条脉状 铜矿体,如矿区东北方向 4 km 处为正在开采的 Espinal小型铜矿。矿体北东边缘至含磁铁矿爆破角砾 岩出露地区具有很好的成矿潜力,建议下一步可考 虑增加工程量,确定矿体北东边界。

矿体南部 ZK-81、ZK-85、ZK-71 钻孔揭露石英 闪长岩、花岗闪长岩等围岩,深部见矿化但不连续, 岩石有一定程度的绢英岩化和钾硅酸盐化。矿体东 南部处于NW向构造异常带内,物探和化探资料显







示异常往东南方向延伸,推测矿体东南方向存在另 一个小型的矿化中心。 矿体北界线、西南界线已基本得到控制。值得 指出的是, Don Javier 矿床北西侧即为 Cercana 矿权 区。区内出露花岗闪长岩和石英闪长岩。结合钻探 及地表地质情况,矿化主要分为 2 个区域:一区为 Cercana 西北部,见小型铜矿脉,与 Don Javier 矿体东 北部的近 EW 向铜矿脉为同一矿脉系统;二区为 Cercana 东南部(Don Javier 西北部),矿化断续出现 在电气石角砾岩中,围岩无矿化,不构成经济矿体。 Don Javier 矿体北侧、北西侧、南西侧已见青磐岩化 花岗闪长岩围岩。基于 Don Javier 矿体主要赋存于 绢英岩化英安斑岩的特点,判断矿体北界、北西界及 南西界已封闭.找矿潜力不大。

陈

4 结 论

(1)Don Javier 铜钼矿床具有典型的斑岩型矿 床矿化蚀变特征,矿床蚀变分带依次为钾硅酸盐化 带、绢英岩化带、青磐岩化带。主矿体与绢英岩化关 系密切,主要分布于矿化英安斑岩体和部分围岩中。 因此,绢英岩化是主要的找矿标志。

(2)根据综合找矿模型开展找矿预测和评价, 提出进一步找矿方向。此次通过建立矿床地质、蚀 变模型,结合物探、化探资料分析,认为矿体北东侧 和南东方向具有很好的找矿潜力,使得 Don Javier 矿 床资源量有望进一步增加。

References

- AMC Mining Consultants (Canada) Company Limited. 2012. Don Javier copper molybdenum deposit N. L 43-101 technical report [R]. Internal reports. 23.
- Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy. 2013. Don Javier copper molybdenum ore dressing experiment process reports R]. Internal data. 28-29 (in Chinese).
- Bel L M L. 1985. Mineralization in the Arequipa segment : The porphyry-Cu deposit of Cerro Verde/Santa Rosa[J]. Magmatism at A Plate Edge the Peruvian Andes. 250-260.
- Gao G M , Xi Z and Li H W. 2013. Some views about the recent investigation of Don Javier [R]. Internal report. 3-4 (in Chinese).
- Gao X. 2012. Geochemical characteristics and metallogenic prognosis of Javier Don porphyry copper deposit in southern Perd D]. Central South University. 25-33 in Chinese with English abstract).
- Jiang S Q , Li L , Feng R , Sun X G , Yang T Z , Yuan H S , Yin X B , Wang C and Pan Y B. 2015. Mineralization , and three-dimensional exploration model of Rongna and Naruo deposits in Tiege-

long orefield , Duolong ore concentration area , northern Tibet J]. Mineral Deposits , 24(2): 209-224(in Chinese with English abstract).

- Jin W Q. 2010. On geological features and genesis study of the Cereana-Don Javier porphyry copper deposit in southern Peru[D]. Tutor: Gao G M. Changsha :Central South University. 30-43(in Chinese with English abstract).
- Quang C X , Clark A H , Lee J K W and Guillén B. 2003. ⁴⁰Ar-³⁹Ar ages of hypogene and supergene mineralization in the Cerro Verde santa Rosa porphyry Cu-Mo cluster , Arequipa , Peru[J]. Econ. Geol. , 98(8):1683-1696.
- Rivara A. 2013. Exploration progress of Don Javier project to december 2012-Arequipa-Peru[R]. 21-27.
- Sempre T, Sacay J, Carlotto V, Martínez W, Bedoya C, Fornari M, Roperch P, Acosta H, Acosta J, Cerpa L, Flores A, Ibarra I, Latorre O, Mamani M, Meza P, Odonne F, Orós Y, Pino A and Rodríguez R. 2004. Sistema transcurrentes de escala litosférica en el sur del perd M]. Lima : SGP. 105-110.
- Singer D A, Berger V I and Moring B C. 2005. Porphyry copper deposits of the world-Database, map, and grade and tonnage model [R]. U S Geological Survey Open-file Report.
- Wu B. 2014. Peruvian Don Javier Copper deposit metallogenic geological characteristics, economical development model and its promotion
 [D]. Tutor : Zhao P D. Beijing : China University of Geosciences, Beijing. 31(in Chinese with English abstract).
- Wu B , Fang Z and Ye Z C. 2014. The geological characteristics of Don Javier porphyry copper and molybdenum deposit [J]. Mineral Deposits , 32(6):1162(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y. 2011. Researches on geology characteristics and metallogenic prediction in Don Javier copper deposit, southern region of Peru[D]. Tutor: Gao G M. Changsha: Central South University. 26-36 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y , Gao G M , Xi Z and Li J H. 2011. Geological features of the deep fracture systems and the Paleocene Cu-porphyry belt in southern Peru[J]. Southern Metals , 179 : 19-22(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- AMC 矿业咨询(加拿大)有限公司. 2012. Don Javier 铜钼矿床 N.I. 43-101 技术报告[R]. 23.
- 北京矿冶研究总院. 2013. Don Javier 铜钼矿选矿工艺试验研究 报告[R].28-29.
- 高光明,席振,李汉武. 2013. 关于 Don Javier 近期考察的几点

认识 R].3-4.

- 高祥. 2012. 秘鲁南部 Don Javier 斑岩铜矿地球化学特征及成矿预测 (硕士论文 JD]. 导师:高光明. 长沙:中南大学. 25-33.
- 江少卿,李丽,冯瑞,孙兴国,杨铁铮,袁华山,印贤波,王策,潘燕兵. 2015. 西藏多龙矿集区铁格隆矿田荣那和拿若矿床蚀变矿化特 征与三维勘查模」]. 矿床地质 34(2)209-224.
- 金文强. 2010. 秘鲁南部 Cercana-Don javier 斑岩铜矿地质特征及成 因探讨(硕士论文 [D] 导师:高光明. 长沙:中南大学. 30-43.
- 吴斌. 2014. 秘鲁 Don Javier 铜矿成矿地质特征与开发模式研究及推 广(博士学位论文 ID]. 导师 赵鹏大. 北京 中国地质大学(北 京). 31.
- 吴斌,方针,叶震超. 2014. Don Javier 斑岩型铜钼矿床地质特征[J]. 矿床地质 32(6):1162.
- 张杨. 2011. 秘鲁南部 Don Javier 铜矿区地质特征与成矿预测研究 (硕士论文 J D],导师 高光明. 长沙:中南大学. 26-36.
- 张杨 ,高光明 ,席振 ,李建华. 2011. 秘鲁南部深大断裂与古新世斑岩 铜矿带地质特征 J. 南方金属 ,179:19-22.

ethe aco and the the aco