第 26 卷 第 1 期
2011 年 3 月:85-89

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 26 No. 1
Mar. 2011: 85-89

智利劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿床地质特征及找矿标志

李建旭[1,2,3],郑厚义[2,3],高海鸥[2,3]

(1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院,北京 100083;
2. Sinotex Mineral Exploration Chile Limitada,智利 圣地亚哥;
3. 有色金属矿产地质调查中心,北京 100012)

摘 要: 智利劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿床赋存于下白垩统 Los Chilcas 单元钙碱性安山岩及安山质熔结角砾岩中,矿体呈脉状、似脉状、透镜状,形成群脉状分布的多个矿化中心。矿体受走滑剪切的NW 向、SN 向、NE 向断裂控制,断裂及微裂隙的高渗透系统成为热液流体的流动通道和成矿空间。矿物组成主要为斑铜矿、辉铜矿,黄铜矿;以矿体为中心,内带为斑铜矿-辉铜矿-赤铁矿,外侧及向深部为黄铜矿及黄铁矿。区域蚀变普遍,有赤铁矿化、青磐岩化、钠化等;与铜矿化有关的蚀变作用为硅化、碳酸盐化或绿泥石化、赤铁矿化,钠化或钾化。找矿标志为中生界火山-沉积岩系、高渗透构造带、孔雀石化蚀变等特征。

关键词: 劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿床;曼陀型矿床;勘查模式;找矿标志;智利

中图分类号: P613;P618.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2011)01-0085-05

0 引言

智利铜矿资源十分丰富,铜矿产品年产量约占世界的 37%[1],矿床类型主要为斑岩型铜矿。但是,在智利中部(21°—34°S)的海岸山带中部还有一种独特的铜矿床类型广泛分布,如 El Soldado(埃尔索尔达多)铜矿、Punta del Cobre 铜矿、Mantos Blancos 铜矿等。铜矿赋存于侏罗系-下白垩统海相-陆相火山岩中,铜矿化多产于熔岩和火山角砾岩中,少量赋存于灰岩、页岩与火山岩互层的层位中,局部受断层控制,这种矿床属于层控铜硫化物矿床,被称为曼陀(Manto)型铜矿。

关于曼陀(Manto)型铜矿床成因的认识有多种模式:火山成因模式认为流体直接从深成的花岗岩中分离[2];变质成因模式[3-4]认为流体产生于火山岩层的低级变质作用;混合成因模式[5]认为流体是岩浆与火山岩的混合机制;另外还有喷流沉积成因[6]。有些学者视其为铁氧化物铜金型(IOCG)矿床[7-8],或是 IOCG 矿床的地表浅部类型[9]。Sillitoe 认为曼陀型矿床与 IOCG 矿床有相似的成矿环境及矿床特征,其关系目前还不明确[10]。国内学者(毛景文[11]、方维萱[12-13]、李泽琴[14]等)对此类矿床也进行过研究。

劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿位于 El Soldado(埃尔索尔达多)铜矿 NE 方向的曼陀(Manto)型矿床集中区,位于圣地亚哥北西方向 250 km 处。本文重点阐述劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿的控矿岩性、控矿构造、矿化蚀变等地质特征,并对成矿规律及找矿标志进行探讨。

1 区域地质背景

中生代以来不断西移的南美板块与向东俯冲的

收稿日期: 2009-11-30

基金项目: 财政部海外风险勘探基金项目和中色地科高新技术研发项目联合资助。

作者简介: 李建旭(1968-),男,河南人,高级工程师,博士研究生,从事境外矿产勘探开发。通信地址:北京市朝阳区安定门外北苑五号院四区有色大厦 903 室;邮政编码:100012;E-mail:lijianxu163@163.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大洋板块(菲尼克斯- 纳兹卡)相互作用,形成了智利安第斯活动大陆边缘的岩浆弧及弧后盆地[15]。劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿即赋存于该体系下的下白垩统上段 Las Chilcas 单元(图 1)。Las Chilcas 单元为一套海相- 陆相过渡环境的火山- 沉积序列[16],岩性有安山岩、安山质熔结火山角砾岩和集块岩、凝灰岩、及薄层砂岩,与下伏 Veta Negra 单元整合接触。Veta Negra 单元为浅海- 大陆沉积,岩性为斑状安山岩、熔岩夹火山碎屑岩。Veta Negra 单元的下部为海相沉积的 Lo Prado 单元,它是智利中部最大的曼陀(Manto)型铜矿——El Soldado 铜矿(矿石量> 200 Mt,平均品位为 1.35%[17])的赋矿层位。

主要构造为 SN-NNW 向左行走滑断层和重新活化的正断层;正断层倾向 W,倾角 60°。地层呈单斜状构造,倾向 E,倾角约 30°,向东倾角逐渐增大。

深成 LLLAPEL 岩体侵入到白垩系所有单元中,主体呈 330°~ 340°方向延伸,岩性为闪长岩、花岗闪长岩、英云闪长岩,少量二长岩和石英闪长岩。岩体的侵入引起区域性的热液蚀变。岩体的侵入时代为 94~ 123 Ma[16]。

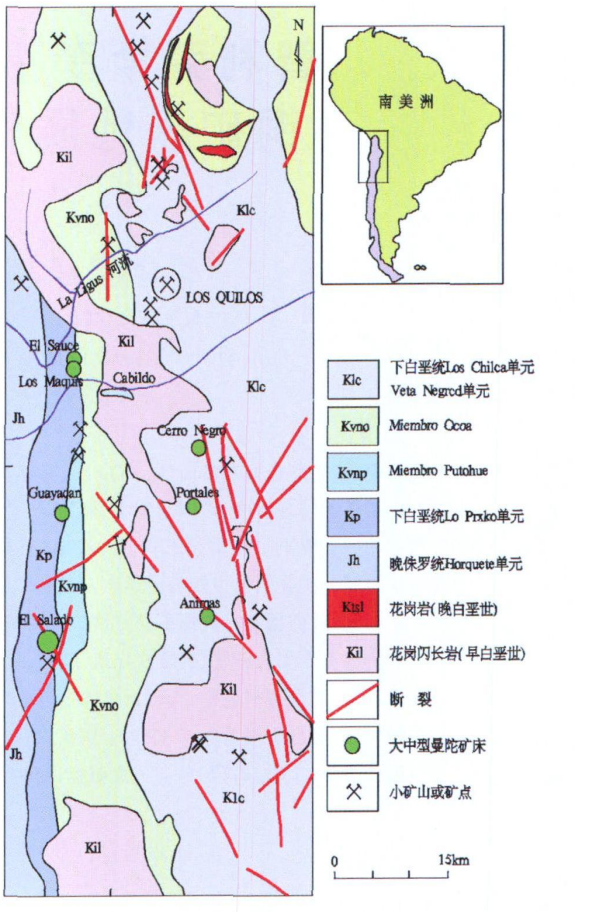


图 1 区域地质图(据 Rivano G,1996 修编)

Fig. 1 Regional geogical map of Los Quilos Cu deposit

2 成矿控制因素

2.1 控矿岩性

劳斯奎洛斯(Los Quilos)铜矿区内出露的地层为下白垩统 Las Chilcas 安山岩、安山质熔结角砾岩、凝灰岩及薄层砂岩;中酸性侵入体沿矿化中心呈小岩株产出,主要岩性为闪长岩、花岗闪长岩和石英闪长岩(图 2)。

安山岩具斑状结构、气孔和杏仁状构造;斑晶为斜长石、角闪石,细粒- 中粗粒,常见聚斑及双晶;岩石中还可见细粒磁铁矿;杏仁体及长石斑晶常蚀变充填绿帘石、绿泥石和方解石。基质主要为长石、暗色矿物、玻璃质及次生矿物。熔结火山角砾岩分布面积广泛,角砾大小不一,次圆状- 次棱角状,成分复杂。普遍发生赤铁矿化、青磐岩化,蚀变形成的绿帘石呈长石假象。

铜矿化体均产于安山岩及安山质熔结角砾岩、凝灰岩中。矿化带岩石破碎,矿化体沿断裂常延伸至岩体边缘。断裂和裂隙附近常具较强的硅化、碳酸盐化,说明有较强的热液活动。

2.2 控矿构造

矿区内发育 3 组断裂构造(图 2),由 NNW 向、NE 向、SN 向断裂构成了区内的构造系统。NNW 向断裂走向 320°~ 340°,左行走滑,倾角 30°~ 50°。NE 向断裂走向 30°,近直立,右行滑动。SN 向断裂为张性断裂,走向 350°~ 10°,倾角 60°~ 80°。矿区构造活动与早白垩世区域阿塔卡玛(Atacama)断裂左侧走滑机制相符[17]。

矿区的 3 组断裂均为含矿构造。断裂沿岩性接触带发育,或切错地层;遇脆性岩性岩石特别破碎,节理及微裂隙发育。断层、微裂隙、劈理与安山岩及安山质熔结角砾岩的气孔构造一起构成了强渗透系统,成为热液流体的通道,并为成矿提供了空间。在矿区南部和东部的构造密集处形成了“矿化中心”(图 2)。

矿体走向与断裂一致,呈不连续的似脉状、透镜状,中间为贫矿化带相连,断裂两侧的矿化较弱,$w(Cu) < 0.1\%$。单脉最长 2 000 m;在断裂交汇部位矿体宽可达 30 m 左右,$w(Cu) = 1\% \sim 2\%$,倾向

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

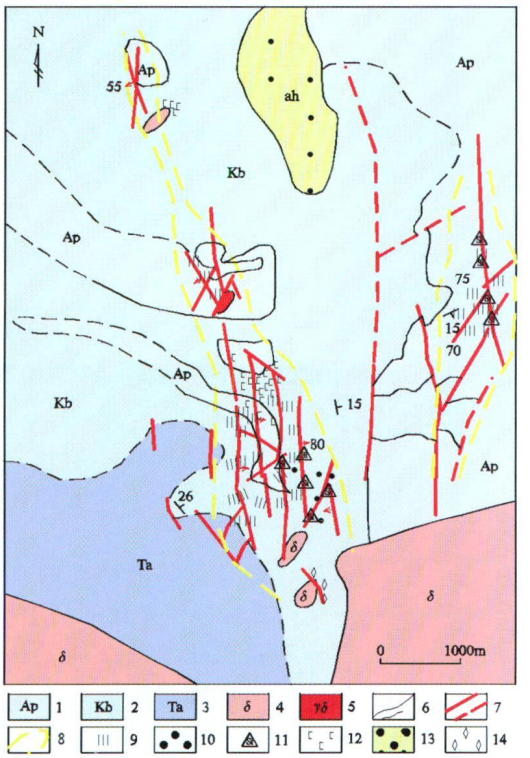


图 2　智利 **Los Quilos** 铜矿区地质简图

Fig. 2　Geological sketch of Los Quilas Cu deposit

1. 安山岩 2. 安山质熔结角砾岩 3. 凝灰岩 4. 闪长岩 5. 花岗闪长岩 6. 地质界线 7. 断裂 8. 构造矿化蚀变带 9. 铁锰碳酸盐化 10. 重晶石化 11. 硅化角砾岩 12. 青磐岩化 13. 硅化、褐铁矿化 14. 碳酸盐化

延伸大于 300 m。矿石矿物主要为辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿或磁铁矿, 在浅部以孔雀石、蓝铜矿、硅孔雀石、氯铜矿为主, 少量斑铜矿、辉铜矿、黄铜矿等; 在深部以辉铜矿、斑铜矿为主, 呈脉状及细脉状产出。脉石矿物有绿泥石、绿帘石、石英、方解石, 少量钠长石、绢云母。浅部受风化淋滤作用, 矿石的铜品位有所降低而不是富集[18], 这一点有别于斑岩铜矿; 深部铜品位从矿体中心(辉铜矿–斑铜矿) 向外、向下(黄铜矿– 黄铁矿) 降低。

2.3　控矿岩体

矿区内 SN 向串珠状出露有多个小岩株, 岩体均距“矿化中心”约 1 000~ 2 000 m。岩体中心为闪长岩、花岗闪长岩, 岩体边缘的石英增多。岩体普遍发生钠质蚀变, 钠化、绿泥石化、绿帘石化呈脉状或沿裂隙分布; 同时还有赤铁矿化, 表现为浸染状、脉状赤铁矿交代暗色矿物。

3　矿化蚀变特征与找矿标志

3.1　矿化蚀变类型及分带

3.1.1　蚀变类型

矿区蚀变主要有青磐岩化、硅化、铁锰碳酸盐化、泥化、重晶石化、钾化和钠化。其中硅化、碳酸盐化或铁绿泥石化与成矿有关。

硅化主要分布在断裂中, 地表形成了明显的(含铜) 硅化角砾。

铁锰碳酸盐化在矿化带末端及外侧呈脉状, 主要为铁白云石、铁绿泥石或粗晶方解石, 标志晚期的热液活动。

青磐岩化(绿泥石、绿帘石、方解石) 主要以脉状产于构造带裂隙中, 或交代岩块、长石斑晶, 呈团块状。强烈的青磐岩化常伴有弱铜矿化, 但规模一般很小。

泥化通常被限定在构造带中。

重晶石化分布在 NE 向构造带中, 呈菊花状或板状集合体, 反映了酸性氧化的环境。

3.1.2　蚀变期次

早期为硅化和高岭土化。在硅化角砾中含少量硫化物, 黄铜矿呈浸染状分布, 并伴有高岭石化(泥化) 。

中期为铁碳酸盐化。铁碳酸盐呈悬浮式胶结火山岩及硅化角砾, 推测其间有热水爆炸发生, 并快速冷凝结晶, 角砾没有经过运移, 并经历了热液溶蚀作用。

晚期为重晶石化。形成于高硫化、高氧化状态的开放空间。

表生期为褐铁矿化。表生环境下氧化形成。

3.1.3　蚀变水平分带

在矿区以矿体为中心形成明显的水平蚀变分带(图 3) : ①内带为角砾状铁碳酸盐硅化蚀变带, 含较多黄铜矿, 铁白云石呈细脉状、网脉状、浑圆状围绕硅化角砾产出; ②中带为网脉状铁碳酸盐硅化蚀变带或铁绿泥石化蚀变带, 硫化物含量减少(围绕硅化角砾产出) ; ③外带为铁碳酸盐蚀变带, 晚期细脉状及网脉状铁白云石脉穿插在早期的铁碳酸盐化蚀变带中。

3.1.4　矿化垂向分带

①上部为风化形成的含铜褐铁矿化带, 以氧化矿物为主, 有少量黄铜矿; ②中部为孔雀石氧化带,

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

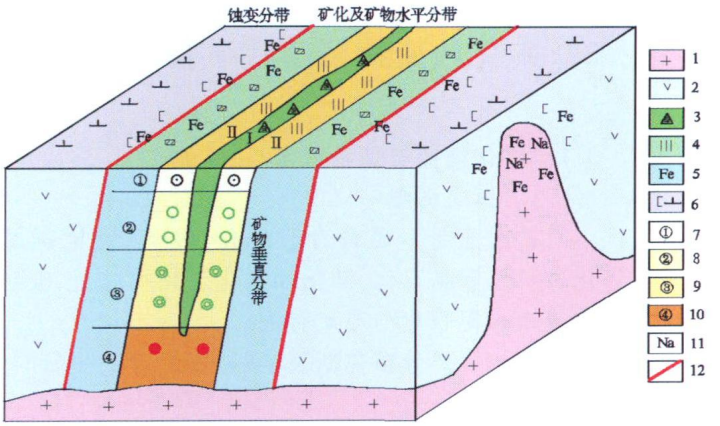


图 3 矿化蚀变及矿物分带示意图

Fig. 3 Sketch showing mineralizationr alteration and mineral zonation

1. 中酸性岩体 2. 安山岩 3. 角砾状铁碳酸盐硅化蚀变带(铜硫化物带) 4. 网脉状铁碳酸盐硅化蚀变带(铜氧化物带) 5. 铁锰碳酸盐蚀变带 6. 区域性蚀变(青磐岩化、赤铁矿化) 7. 含铜褐铁矿化带 8. 孔雀石氧化带 9. 辉铜矿- 斑铜矿富矿带 10. 黄铜矿- 黄铁矿带 11. 钠化 12. 断裂破碎带

主要为孔雀石、蓝铜矿, 少量斑铜矿、辉铜矿、黄铜矿; ③下部为辉铜矿- 斑铜矿富矿带; ④底部为浸染状、脉状黄铜矿- 黄铁矿带(图 3)。

由于岩体(火山机构) 作用形成断裂系统, 早期的压剪性断裂为成矿热液活动提供了通道, 在脆性的安山岩中形成了裂隙或劈理。角砾岩形成并发生硅化, 网脉状铁碳酸盐胶结火山岩及硅化角砾, 同时部分金属硫化物发生沉淀, 浸染状分布在硅化角砾中, 形成了早期含金属硫化物的角砾硅化蚀变。中期随热液活动的加强, 压力增加, 发生热液爆炸作用, 并快速冷凝结晶, 形成了铁碳酸盐在角砾岩空隙间的悬浮式胶结及网脉状与硅化互层产出现象, 伴有大量金属硫化物的沉淀, 为主要成矿阶段。晚期由于温度的降低, 氧化环境更为明显, 形成重晶石和铁碳酸盐细脉- 网脉, 并伴有少量硫化物生成。

3.2 成矿作用及找矿标志

3.2.1 成矿作用

安山岩及熔结角砾岩可能为成矿提供了物质来源。研究表明, 安山岩中铜的含量极不均匀, 在环太平洋带中, 智利火山岩的铜背景值高, 可能与变质或蚀变有关[3]; 强烈的碱钙性蚀变使铜铁等物质迁出[13], 进入到热液循环系统中。

密集的微裂隙系统可使热液进入到最有利的空间沉积成矿。

中酸性岩浆岩侵入到安山岩及熔结角砾岩中, 引起断裂的重新活动, 使脆性岩石产生微裂隙, 多次构造活动使岩石破碎, 成为含矿热液流动循环的良好通道和金属沉淀的有利空间。

含矿热液在岩浆活动提供的能量或地热梯度驱动下, 在高渗透性的系统中循环, 多次的构造活动为成矿元素的沉淀提供了足够的空间, 形成了矿区南部及东部的矿化集中区。

3.2.2 找矿标志

(1) 侏罗系- 下白垩统火山- 沉积岩, 构造薄弱地段(如不整合面、岩性接触面、断裂)。

(2) 早白垩世中酸性侵入岩体外围 1 ~ 2 km 范围, 岩体及其围岩普遍的赤铁矿化及钠化地段。

(3) 强硅化蚀变是热液活动的直接结果, 铜的矿化则更加强了矿化的指示作用。

(4) 孔雀石是矿化活动在地表的直接标志, 辉铜矿的出现则指示深部的富矿地段。

(5) 强烈明亮色调的赤铁矿化及蚀变晕圈是近矿围岩蚀变。

(6) 铁锰碳酸盐化常出现在矿化体外侧及末端, 代表热液较晚的活动阶段。

(7) 重晶石化反映了强酸性氧化环境, 常出现在浅表, 是隐伏矿床的重要标志。

4 结论

智利劳斯奎洛斯(Los Quilos) 铜矿床赋存于下白垩统安山岩及安山质熔结角砾岩中, 矿体受断层控制。矿物组成主要为斑铜矿、辉铜矿、黄铜矿, 以矿体为中心, 内带为斑铜矿- 辉铜矿- 赤铁矿, 外侧及向深部为黄铜矿- 黄铁矿带。蚀变水平分带的内带为含铜硅化角砾岩化带, 中带为网脉状铁碳酸盐硅化蚀变带或铁绿泥石化蚀变带, 外带为铁碳酸盐蚀变带。找矿标志主要有中生代火山- 沉积建造、高渗透性裂隙系统、深成侵入岩体、蚀变矿物等。

致谢: 本文基于有色地质调查中心中色地科矿产勘查股份有限公司的海外风险勘查中央财政专项基金项目成果写成, 并得到该公司的大力协助, 感谢所有工作人员的支持, 特别感谢方维萱(教授) 研究员的指导。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参考文献:

[1] Camus F, Dilles J H. A special issue devoted to porphyry copper deposits of northern Chile[J]. Econnomic Geology, 2001, 96: 233-237.

[2] Klohn E, Holmgren C, Ruge H. El Soldado, a Stratabound copper deposit associated with alkaline volcanism in the central Chilean coastal range[M]// Fonbote L, Amstutz G C, Cardozo M, et al. Stratabound ore deposits in the Andes, 1990: 435-448.

[3] Sato T. Manto type copper deposits in Chile——a review[J]. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 1984, 35(11): 565-582.

[4] Westra G. La importancia del metamorfismo de carga en la formación de yacimientos de cobre de tipo manto: preprint, Keynote Address[M]. V Cong. Geol. Chileno, Santiago, 1988: 18.

[5] Fontboté L. Stratabound ore deposits in the Andes: A review and a classification according to their geotectonic setting[M]// Fonbote L, Amstutz G C, Cardozo M, et al. Stratabound ore deposits in the Andes, 1990: 79-110.

[6] Espinoza S. Volcanismo y metalogénesis, una introduccion al tema[M]// Actas de ler. coloquio sobre Vacanismo y Metalogénesis Dep. Geociencias Univ. del Norte., 1981, 16-27.

[7] Williams P J. Fe-oxide-Cu-Au deposits of the Olympic Dam/Ernest Henry-type[M]// New developments in the understanding of some major ore types and environments, with implications for exploration. In: Proc Prospectors and Developers Association of Canada Short Course, Toronto, 1999: 2-43.

[8] Pollard P J. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide-Cu-Au mineralization[M]// Porter T M. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide, 2000: 27-41.

[9] Orrego M, Robles W, Sanhueza A, et al. Mantos Blancos y Mantoverde: depósitos del tipo Fe-Cu-Au Una comparación con implicancias en la exploración[J]. Actas 9th Congr. Geol. Chileno, 2000(2): 145-149.

[10] Richard H. Sillitoe Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view[J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 787-812.

[11] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金(IOCG)型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查[J]. 矿床地质, 2008, 27(3): 267-278.

[12] 方维萱. 云南东川滥泥坪铁氧化物铜金型(IOCG)矿床发现与找矿方向[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊): 199.

[13] 方维萱, 柳玉龙, 张守林, 等. 全球铁氧化物铜金型(IOCG)矿床的 3 类大陆动力学背景与成矿模式[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 404-413.

[14] 李泽琴, 王奖臻, 刘家军, 等. 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(1): 39-42.

[15] Grocott J, Taylor G K. Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, northern Chilean Andes (25°30′S to 27°00′S)[J]. J Geol Soc Lond, 2002, 159: 425-442.

[16] Rivano G. Geologia de las hojas quillota Y portillo, servicioo, nacional de geologia Y mineria[M]. Subdireccion nacional de geologia, 1996.

[17] Contador N, Glavic M. Sublevel open stoping at El Soldado mine: A geomechanic challenge. Underground mining methods, engineering fundamentals and international case studies[M]. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2001: 263-269.

[18] Boric R, Holmgren C, Wilson N S F, et al. The geology of the El Soldado Manto type Cu (Ag) deposit, central Chile[M]// Porter T M. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Volume 2, PGC Publishing, Adelaide, 2002: 163-184.

[19] Sillitoe R H. Gold and copper metallogeny of the central Andes: past, present, and future exploration objectives[J]. Econ. Geol., 1992, 87: 2205-2216.

[20] Kirkham R V. Volcanic redbed copper. In: Eckstrand O R, Sinclair W D, Thorpe R I. Geology of Canadian mineral deposit types[J]. Geol Surv Can Geol Can, 1996, 8: 241-252.

[21] Mpodozis C, Ramos V. The Andes of Chile and Argentina[M]// Ericksen G E, Cañas Pinochet M T, Reinemund J A. Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Circum-Pacific Council Energy Min Resour Earth Sci Ser, 1990, 11: 59-90.

(下转第 118 页)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

到 99% 以上; $w(P)$ 从 0.27% 降至 0.07% 以下, 使 $P/Mn < 0.0015$。

参考文献:

[1] 张一敏. 高磷锰矿磁选- 反浮选试验研究[J]. 中国锰业, 1994, 12(1): 27-31.
[2] 毛钜凡. 菱锰矿的磁选焙烧脱磷研究[J]. 中国锰业, 1992, 10(2-3): 105-109.
[3] 丁楷如, 余逊贤. 锰矿开发与加工技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1991: 527.
[4] 刘尧. 十年来我国锰矿选矿技术的新进展[J]. 中国锰业, 1992, 19(2-3): 84-88.
[5] 李前懋. 我国碳酸锰矿石中磷的赋存状态研究[J]. 中国锰业, 1987(1): 5-7.

Processessing research on P reduction from a manganese deposit in Gabon

JU Xing, LI Yao-ming, GUO Wen-jun, ZU Shu-yu

(Sinosteel Tianjin Geological Academy, Tianjin 300181, China)

Abstract: Material research on Gabon manganese ore reveals that no independent phosphorous minerals exist and phosphorous is closely related to iron that is included in Mn phase of groundmass and phosphorous can not be removed thoroughly from the ore by solution of iron. Chemical and physical ore procession methods are applied to the P reduction tests. As a result roasting-acid leaching proves the effective P reduction processing.

Key Words: Mn ore; mechanical ore dressing; P reduction procession; roasting-acid leaching; Gabon

---

(上接第 89 页)

Geological characteristics and ore marks for prospecting of Los Quilos copper deposit in Chile

LI Jian-xu[1,2,3], ZHENG Hou-yi[2,3], GAO Hai-ou[2,3]

(1. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
2. Sinotex Mineral Exploration Chile Limitada, Santago, Chile;
3. China Nonferrous Metals Resources Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: Los Quilos copper deposit in Chile is located in alkaline andesite and andesitic welding breccia of Lower Cretaceous Los Quilos rock unit. Ore bodies are in vein, vein like bodies and lenses controlled by strike slip shear faults trending NW、SN、NE respectively. Ore veins occur in swamps and form multi-mineralization centers. High permeable fracture and micro-fracture system serves the ore fluid conduits and ore-forming space. Bornite, chalcocite and chalcopyrite are main minerals. Minerals occur in zones at ore body. Bornite-chalcocite-hematite is the inner zone and outward and to depth is chalcopyrite-pyrite zone. Regional alteration is common, such as hematitization, propylitizatition, albitization etc. The Cu-mineralizationr-related alterations are silicification, carbonation, chloritizatioon, hematitization, sodium and potassium alterations. Mesozoic volcanic-sedimentary rock sequence, high permeability zone and malachitization are the prospecting marks.

Key Words: Los Quilos Cu deposit; Manto type copper deposit; prospecting model; prospecting mark; Chile

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net