

## 世界上最大的铜矿山 - 智利埃斯科地达铜矿山

李长根

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

**摘要:**智利埃斯科地达(Escondida)铜矿山是世界上目前最大的铜矿山,具有世界上最丰富的铜资源。根据2009年资料,该矿山的铜矿石储量为41.57亿t,铜品位0.76%,其中含铜3156.7万t铜,矿石资源量为46.50亿t。矿山规划中采用的矿石储量为6.62亿t,其铜品位为2.12%。是世界铜矿山的生产成本最低的企业之一。矿山采用常规露天开采方法。平均每天开采24万t/d高品位硫化矿、4万t/d低品位硫化矿和3.5万t/d氧化矿。矿山由两个露天采场、两个选矿厂、一个氧化矿堆浸场、一个低品位硫化矿生物堆浸场和一个溶剂萃取/电极厂组成。矿山设计铜年产量为120万t。硫化矿选矿厂采用磨矿-浮选流程,得到含金和银的铜精矿。精矿铜品位为38%~43%,回收率为84%~86%。氧化矿堆浸采用破碎-制球-堆浸工艺。低品位硫化矿采用破碎-制球-筑堆-生物堆浸工艺。堆浸场得到的贵液送溶剂萃取/电积厂处理,得到阴极铜。堆浸场对氧化矿石堆浸的铜浸出率分别为80%和54%(对可溶性铜),堆浸场对低品位硫化矿石堆浸的铜浸出率分别为37%和29%(对全铜)。矿山和选矿厂基本投资为56.4亿美元,而矿山铜的直接操作费用仅为60.8美分/磅铜。

**关键词:**露天采矿;选矿厂;铜矿;浮选;堆出;生物浸出;溶剂萃取/电积

**中图分类号:**TD928 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2012)02-0061-05

智利埃斯科地达铜矿山(Escondida copper mine)是世界上现有最大的铜矿山,它具有世界上最丰富的铜资源,是世界铜矿山生产成本最低的企业之一。该矿山之所以称为“Escondida”(西班牙文为“隐藏的”),是因为其主矿体没有露头,而是被埋藏在几百米深的铜含量很贫的岩石下面。

埃斯科地达铜矿山归以下四家公司所有:BHP公司(必和必拓公司)(57.5%股份)、RIO Tinto公司(力拓矿业公司)(30%股份)、JECO公司(日本杰科株式会社)(10%股份)和IEC(世界银行所属国际金融公司)(2.5%股份)。

埃斯科地达矿床于1981年5月发现,1988年开始预矿山开拓,第一个选矿厂洛斯科洛拉多斯(Los Colorados)选矿厂(当时矿石处理量3.50万t/d)于1990年建成投产,经三期扩建,选矿厂于1998年将矿石处理能力提高到12万t/d。1998年处理氧化矿的溶剂萃取/电极厂建成投产,年产阴极铜12.5万t,2001年3月氧化矿溶剂萃取/电极厂扩

建,阴极铜年产量提高到15万t。2002年第二个选矿厂拉古拉塞加选矿厂(Lagula Seca选矿厂)建成投产,日处理矿石11万t/d。2005年10月第二个露天采场(埃斯科地达北露天采场)向第二个选矿厂供矿。2006年6月处理低品位铜矿石的生物堆浸场投产,年产阴极铜18万t。埃斯科地达铜矿山主要的公开信息见表1。

### 1 位置和交通

埃斯科地达铜矿山位于智利北部干旱的阿塔卡马沙漠区域内,距智利北部港口城市安托法加斯塔(Antofagasta)东南160km处,海拔3050m。有公路直通安托法加斯塔市,见图1。

### 2 地质、矿床和资源量

埃斯科地达铜矿区是一个南北向延伸18km、东西向延伸3km的狭长的斑岩型铜矿床群,厚度达300m,贫淋滤帽覆盖着厚的高品位次生浅成矿化的

收稿日期:2012-01-17

作者简介:李长根(1941-),男,教授级高级工程师,主要从事矿物加工及资源综合利用研究和设计工作。

表 1 埃斯科地达铜矿山主要公开信息

Table 1 The key deta of Escondida copper mine

内容	参数
商品	Cu、Au 和 Ag
业主	BHP (57.50%), RIO Tinto (30%), JECO (10%) 和 IEC (2.5%)
产量	77.9 万 t 铜, 13.2 万盎司金和 500 万盎司银 (目前铜产量可达 120 万 t/a)
矿床类型	斑岩型铜矿床
储量和资源量	含银的铜矿石 41.5 亿 t, 铜品位 0.76% (至 2009 年的证实的储量和可能的储量)
开采方式	露天开采
选矿	硫化矿破碎、磨矿和浮选; 氧化矿堆浸, 低品位硫化矿生物堆浸, 然后溶液萃取/电积
联系方式	智利 Avda. de la Minería 501, PO Box (casilla) 690 and 530, Antofagasto; 电话: (56-55) 247 935; 传真: (56-55) 247 545



图 1 埃斯科地达铜矿山地理位置

Fig. 1 The ceographical location of Escondida copper mine

主矿体。矿区有两个世界最大的斑岩型铜矿床, 为层状次生富集矿床: 埃斯科地达矿床和埃斯科地达北矿床, 两者相距 5km。

埃斯科地达铜矿床的矿石分为三类: 深成矿石、浅成矿石和氧化矿石。

该矿床被淋滤帽所覆盖, 淋滤帽从表面向下延到 200m 处。其特点为氧化铁矿物组合 (赤铁矿、黄钾铁矾和针铁矿) 丰富, 铜和钼含量分别为  $(100 \sim 600) \times 10^{-6}$  和  $(10 \sim 480) \times 10^{-6}$ 。铜品位较高厚度较大的浅成硫化矿物带一般埋藏在赤铁矿矿层中, 而厚度较小铜品位较低的浅成硫化矿层被富的黄钾铁矾帽所覆盖。氧化矿石占总资源量的 5%, 氧化层厚度为 3~200m 位于淋滤帽与浅成富集层之间, 存在于富黑云母化、绿泥石-绢云母化蚀变安山断裂带中, 氧化铜矿物有水胆矾、块铜矾、绿盐铜矿、赤铜矿和黑铜矿, 铜品位为 0.2%~1.5%。

存在于富集层中的浅成硫化矿层矿石的资源量

约占矿床总资源量的 65%, 其厚度为 20~400m。浸染状或细脉状浅成矿化矿物由细粒辉铜矿、铜蓝和少量的蓝辉铜矿、铁铜蓝组成。浅成硫化铜矿石的铜品位一般为 0.3%~2.0%, 局部达到 3.5%。

埋藏在下部的深成硫化矿层的矿石资源量约占总资源的 30%。其特点是有早期铜矿物组合 (磁铁矿、黄铜矿和斑铜矿) 存在。钾蚀变的地区铜品位低于 0.3%, 而石英-绢云母区域的铜品位为 0.4%~0.6%, 在个别地区铜品位可超过 1.0%。

根据 2009 年资料, 该矿山的矿石储量为 41.57 亿 t, 铜品位为 0.76%, 其中含铜 3156.7 万 t 铜, 矿石资源量为 46.50 亿 t。矿山规划中采用的矿石储量为 6.62 亿 t, 其铜品位为 2.12%。

截止 2002 年的埃斯科地达铜矿山的矿石储量和资源量见表 2。

表 2 埃斯科地达铜矿山的矿石储量和资源量

Table 2 The ore reserves and resources of Escondida copper mine

	储量		资源量	
	Mt	Cu 品位/%	Mt	Cu 品位/%
矿床	埃斯科地达矿床			
硫化矿石	15.48	1.21	579	0.9
低品位可浮选的矿石	575	0.6	815	0.6
低品位可浸出的矿石	0	0	666	0.4
氧化矿石	198	0.7	55	0.5
混合矿石	49.7	1.03	62	0.6
小计	2370.7	1.02	2177	0.62
矿床	埃斯科地达北矿床			
硫化矿石			649	1.3
低品位可浮选的矿石			642	0.6
低品位可浸出的矿石			142	0.8
氧化矿石			55	0.5
混合矿石			43	0.8
总计	2370.7	1.02	3653	0.74

注: 上表为截止 2002 年的数据。储量包括证实的储量和概略的储量, 资源量包括测定的资源量、指示的资源量和推断的资源量。

### 3 采 矿

该铜矿山有两个露天采矿场, 第一个采场—埃斯科地达露天采场于 1988 年 8 月开始预剥离工作。第二个采场—埃斯科地达北露天采场于 2005 年 10 月开始向第二个选矿厂供矿。该矿山采用常规的露

天开采方法开采硫化矿石和氧化矿石。埃斯科地达露天采场见图2。



图2 埃斯科地达铜矿露天采场外貌

Fig. 2 The airspace of open-pit physiognomy of escondida copper mine

该矿山采用常规的露天开采方法开采硫化矿和氧化矿。采场台阶高度为15m。采场应用8台比塞洛斯/埃雷49-R和49-RII型电动炮眼钻机、1台因杰尔索尔/朗德DMM2柴油炮眼钻机和2台P&H250XP-ST炮眼钻机打炮眼。采用硝酸铵/燃油炸药进行爆破。爆破后的矿石由电铲、铲运机和前端装载机分别将矿石装载到载重卡车中。

露天采场内两台半移动式 $1.88 \times 1.37\text{m}$ 旋回破碎机将硫化矿石破碎,然后由长距离运输胶带输送机运到洛斯科洛拉多斯选矿厂附近的粗矿堆场(堆存矿量为38.5万t矿石)中。氧化矿石也在采场中经第三台旋回破碎机破碎后,再运到第二段/第四段破碎厂中。部分矿石在露天采场中经第四台 $1.52 \times 2.80\text{m}$ 旋回破碎机破碎后,再由胶带式输送机运到新的拉古拉塞加选矿厂中。

整个服务年限内露天采场的平均剥采比为1.7:1。

#### 4 选 矿

有两个浮选厂(洛斯科洛拉多斯浮选厂和拉古拉塞加浮选厂)、一个氧化矿堆浸场、一个低品位硫化矿生物浸出场和一个溶剂萃取/电积厂。

洛斯科洛拉多斯选矿厂。洛斯科洛拉多斯选矿厂工艺流程见图3。粗粒矿石由两条平行的长距离运输胶带输送机运到洛斯科洛拉多斯选矿厂的两个磨矿回路中。第一段磨矿回路由2台 $8.53 \times 4.27\text{m}$ 半自磨机(功率为5500马力)和1台 $11.00\text{m} \times 5.79\text{m}$ 半自磨机(功率为18000马力)组成。第二段磨矿由4台 $5.49 \times 7.47\text{m}$ 球磨机(功率为5500马力)、2台 $6.10 \times 10.21\text{m}$ 球磨机(功率为9000马

力)和1台 $7.32 \times 10.52\text{m}$ 球磨机(功率为18000马力)球磨机和2台直径为2.13m短头圆锥砾石破碎机组成,半自磨机与球磨机组成见图4。半自磨机排出的顽石经砾石破碎机破碎后,再给到球磨机中再磨,以提高自磨机的处理能力和降低磨矿作业的能耗。

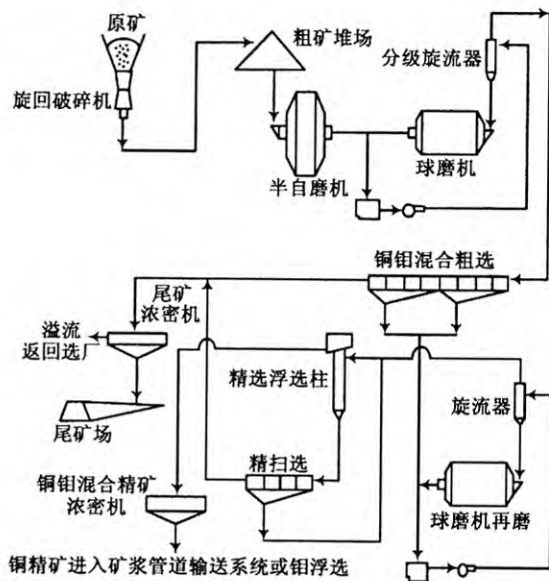


图3 埃斯科地达铜矿洛斯科洛拉多斯选矿厂工艺流程

Fig. 3 The technical flowsheet of Los Colorados concentrator in Escondida copper mine



图4 由半自磨机和球磨机组成的磨矿回路

Fig. 4 The grinding circuit consisted with SAM grinding and ball mill

半自磨机和球磨机的排矿合并,泵到分级旋流器组中,其沉砂返回球磨机再磨。旋流器溢流给人80台容积为 $100\text{m}^3$ 浮选机粗选,浮选精矿经3台 $4.27 \times 8.08\text{m}$ 球磨机再磨,再用14台 $4 \times 4\text{m}$ ,高度为13m浮选柱和52台容积为 $44\text{m}^3$ 浮选机精选,78台

容积为  $44\text{m}^3$  浮选机进行精扫选(图 5)。浮选精矿进入直径为  $52\text{m}$  浓密机浓缩至固体浓度为  $56\%$ 。尾矿经  $125\text{m}$  浓密机浓缩后,排入尾矿场中,浓密机溢流返回浮选厂中再用。



图 5 埃斯科地达选矿厂浮选车间

Fig. 5 The flotation plant of Escondida concentrator

当铜精矿中的钼品位较高时,钼浮选回路启动。在铜钼分离作业中,采用铁氰化钠抑制铜矿物,用浮选柱浮选辉钼矿。

拉古拉塞加浮选厂。拉古拉塞加浮选厂工艺流程与洛斯科洛拉多斯选矿厂流程相近。第一段磨矿采用 1 台  $11.58 \times 6.10\text{m}$  半自磨机,第二段磨矿采用 3 台  $7.62 \times 12.19\text{m}$  球磨机磨矿。采用 54 台容积为  $160\text{m}^3$  Wemco 型浮选机粗选、20 台容积为  $160\text{m}^3$  Wemco 型浮选机第一次精选、20 台容积为  $160\text{m}^3$  Wemco 型浮选机精扫选和 8 台浮选柱第二次精选。

精矿的浓缩和装运。两个浮选厂浓缩后的铜精矿通过长度为  $170\text{km}$ 、直径为  $230\text{mm}$  的管道运送到科罗索港口,在那里铜精矿经浓密机脱水后,用带式压滤机和陶瓷过滤机过滤,使其水分降到  $9\%$  以下后,再装船运往日本、德国、中国和芬兰。

浮选铜精矿铜品位为  $38\% \sim 43\%$ ,其中含  $2\text{g/t}$  金和  $56\text{g/t}$  银,铜的回收率为  $84\% \sim 86\%$ 。

氧化铜矿堆浸。氧化矿石在露天采场破碎后经长距离胶带输送机运到第二段/第四段破碎厂中,用 2 台标准圆锥破碎机和 4 台短头圆锥破碎机破碎,接着用 2 台圆盘制球机制球。球的粒度为  $-15\text{mm}$ 。再用放射形筑堆机在浸出垫子上筑堆。配制硫酸溶液,再布液和收液。贵液送溶剂萃取/电积厂处理。在堆浸过程中,埃斯科地达矿床的氧化矿石的铜浸出率为  $80\%$ (对可溶铜),埃斯科地达北矿床的氧化矿石的铜浸出率为  $54\%$ (对可溶铜)。

低品位硫化铜矿石堆浸。像氧化矿石一样,矿

石经破碎后制球-筑堆-布液-收液得到贵液。为了提高硫化铜的浸出率,采用细菌来促进硫化铜转变成可溶的氧化铜,而进入溶液中。浸出得到的贵液也给到溶剂萃取/电积厂中处理。在堆浸过程中,埃斯科地达矿床的低品位硫化矿石的铜浸出率为  $37\%$ (对全铜),埃斯科地达北矿床的低品位硫化矿石的铜浸出率为  $29\%$ (对全铜)。

溶剂萃取/电积厂。两个堆浸场得到的贵液采用常规的溶剂萃取/电积工艺生产阴极铜。萃取池菜三排,两排用于萃取,一排用于有机相的清洗和反萃取。电积车间安装有 480 台电积槽。

## 5 矿山经济

截止 2006 年底该项目总投资为 56.4 亿美元。

洛斯科洛拉多斯选矿厂硫化矿石处理能力为  $12.7\text{万 t/d}$ ,拉古拉塞加浮选厂硫化矿石处理能力为  $11\text{万 t/d}$ 。氧化矿石浸出/溶剂萃取/电积工艺处理的阴极铜产量为  $15\text{万 t/a}$ ,埃斯科地达北矿床低品位硫化矿浸出/溶剂萃取/电积工艺处理的阴极铜产量为  $18\text{万 t/a}$ 。矿山铜的年设计产量为  $120\text{万 t}$ 。

2008 年该矿山精铜产量为  $125.5\text{万 t}$ ,占智利总产量的  $23.5\%$ 。埃斯科地达铜矿山已经成为智利经济的一个重要部分。根据 CIA World Factbook 资料,2007 年该矿山销售额为  $102.1\text{亿美元}$ ,占智利 2007 年的 GDP( $2344\text{亿美元}$ )的  $4.3\%$ ,占智利出口额的  $15\%$ 。2006 年末,公司雇用了 2951 名雇员和 3158 名合同工。

2007 年铜的平均价格为  $3.23\text{美元/磅铜}$ ,而矿山总的直接操作费用仅为  $60.8\text{美分/磅铜}$ ,矿山运行有很大利润,向智利缴纳  $22\text{亿美元}$ 税。

## 参考文献:

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/escondida>.
- [2] [www.infomine.com/minesite/escondida](http://www.infomine.com/minesite/escondida).
- [3] [www.google.com.hk/search?q=escondida=mine7hl=zh-cn7neww](http://www.google.com.hk/search?q=escondida=mine7hl=zh-cn7neww).
- [4] [www.mining-technology.com/projects/escondida](http://www.mining-technology.com/projects/escondida).
- [5] [www.portergeo.com.au/database/mineinfo.asp?mineid=mn204](http://www.portergeo.com.au/database/mineinfo.asp?mineid=mn204).
- [6] [www.infomine.com/minesite/escondida.html](http://www.infomine.com/minesite/escondida.html).
- [7] [www.geomineinfo.com/com/complimentary%20downloads/escondida/pdf](http://www.geomineinfo.com/com/complimentary%20downloads/escondida/pdf).
- [8] 李长根. 刚果民主共和国腾克丰古鲁梅铜钴矿山[J]. 矿产综合利用, 2012(1): 64-68.



## The Copper Mine with the Largest Production in the World -Chilean Escondida Copper Mine

LI Chang-gen

(Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing, China)

**Abstract:** The Chilean Escondida Copper Mine is the copper mine with the largest production in the world. It has the world's largest sources of copper. The mineral deposit has reserves of 4,157 million tonnes ore containing 31.567 million tonnes copper, and mineral resources amounting to 4,650 million tonnes (2009). Planning for the mine considered the utilization of 662 million tonnes with an average copper grade of 2.12 percent. The mine is one of the lowest cost producers in the world. Escondida mine is a conventional open-pit operation. The average daily mining rate will be 240,000 tpd of high-grade sulphide ore, 40,000t/d of low-grade sulphide ore and 35,000t/d oxide ore. Escondida mine consists two pit mines, two concentrator plants, one heap leach of oxide ore, one heap leach of low-grade sulphide ore and one SX-EW plant (for cathode production). In the two concentrator plants the flotation concentrates at Cu grades of 38% ~ 43% and at Cu recoveries of 84% ~ 86% are obtained with SAG mill-flotation flowsheet. The oxide ores treat with crushing-agglomeration-stacking-leaching flowsheet. The low grade sulphide ores treat with crushing-agglomeration-stacking-bacteria assisted leaching flowsheet. 54% ~ 80% soluble copper in oxide ores and 29% ~ 37% total copper in the low grade sulphide ores enter into pregnant solutions. The capital cost of mine and processing plants approaches US \$ 56.4 billions. The operation cost of mining and processing is 0.84 US/lb copper.

**Key words:** Open pit; Ore processing plant; Copper ore; Flotation; Heap leaching; Bacteria assisted heap leaching; Solvent extraction/electrowinning

(上接49页)

### 4 结 语

1. 对该硅钙质磷矿,以酸性选矿废水为抑制剂,双反浮选工艺,可以获得良好的精矿指标,精矿  $P_2O_5$  品位明显提高。

2. 新型脱硅捕收剂 BY 水溶性好,具有良好的脱硅效果。

3. 以酸性废水为抑制剂,经济环保,可望实现选矿废水的循环利用。

### 参考文献:

[1] 李成秀,文书明. 我国磷矿选矿现状及其进展[J]. 矿产

综合利用,2010(2):22-25.

[2] 王淀佐. 矿物加工学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003.

[3] 解田,苏迪,邱树毅. 某硅钙质磷矿反浮选碳酸盐脉石矿物捕收剂应用研究[J]. 化工矿物与加工,2009(10):4-5.

[4] 李军旗,李轶韬,曾从江. 贵州织金中低品位磷矿浮选试验研究[J]. 矿业研究与开发,2010,30(5):44-49.

[5] 张仁忠,令狐昌锦. 瓮福磷矿 a 层矿和 b 层矿的混合选矿实践[J]. 化工矿物与加工,2007(8):8-10.

[6] 杨志权,杨安淬,陈仕勋. WF S 调整剂在瓮福磷矿选矿厂的应用[J]. 矿产综合利用,2010(4):47-48.

## Resource Utilization of Tiny-fine-particle minerals in Backwater

ZENG Li, JIANG Xiao-ming, YANG Yuan-min

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou, China)

**Abstract:** Flotation experiment was carried on the low-grade silicon-calcium phosphate rock in Guizhou by using acid industry wastewater and the way of double reverse flotation. The effects of grinding size and the dosage of acidulous water and collector on the grade and recovery of  $P_2O_5$  concentrate were investigated. The results showed when the grinding fineness is 76.8% -0.074mm and the acidulous wastewater and the new-type desilication collector BY were adopted, a phosphate concentrate with the  $P_2O_5$  grade as 31.29% and the recovery rate as 85.90% was obtained. As a result, not only was the cost reduced, but also the better flotation index was obtained.

**Key words:** Phosphate rock; Acidulous water; Flotation; Phosphate concentrate