

澳大利亚蒙特艾萨锌-铅-银-铜矿山

李长根

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘要:澳大利亚蒙特艾萨锌-铅-银-铜矿山是澳大利亚大型矿冶企业之一。它由两个独立的锌-铅-银矿山和选矿厂,以及铜矿山和选矿厂组成。截至2007年6月底,证实和控制的铜矿石储量为8400万t,含铜1.8%~3.4%;锌-铅-银矿石储量为8400万t,含锌4.8%~8.8%,铅2.2%~5.5%和银39~125g/t。铜矿山采用分段空场采矿法开采矿石;锌-铅-银矿山采用分段空场采矿法和落顶充填采矿法开采矿石。铜选矿厂采用半自磨/球磨-易浮矿物预先浮选-铜粗选-浮选柱精选-浮选机再精选工艺流程,得到铜精矿。锌-铅-银矿石选矿工艺流程包括棒磨/球磨-铅粗选-粗精矿艾萨磨再磨-铅精选-浮选铅精矿常温反浮选易浮矿物,获得铅精矿;铅粗选尾矿进行锌粗选-浮选柱精选-粗选尾矿艾萨磨再磨-锌再选-再选精选,获得锌精矿。矿山矿产品产量为铜矿石670万t/a,铜矿石,锌-铅-银矿石650万t/a,矿产锌226529t/a(锌精矿);粗铅锭125195t/a,银826万盎司/a(粗铅锭),阳极铜217907t/a,矿产铜172552t/a(铜精矿)。

关键词:矿山;选矿厂;坑下采矿;露天采矿;铜矿;锌矿;铅矿;银矿;磨矿;浮选;半自磨;艾萨磨矿机;詹姆斯森浮选机;浮选柱;超细磨

中图分类号:TD952 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2012)05-0064-06

澳大利亚蒙特艾萨锌-铅-银-铜矿山公司(Mount Isa Zinc-Lead-Silver-Copper Mine)是一个澳大利亚大型矿冶联合企业之一^[1-4],隶属澳大利亚Exstrata PLC矿业公司,由一个独立的铜矿山和选矿厂、一个锌-铅-银矿山和选矿厂、一个铜冶炼厂,一个铅冶炼厂和一个锌精矿过滤厂组成。该公司所属的4个地下采场组成了世界上最大的地下矿山^[5-6]。该公司铜矿山是世界上最深的地下矿山,井内的竖井深度已经到达1900m^[7]。该矿冶公司生

产阳极铜、含银的粗铅锭和锌精矿。

锌-铅-银矿床于1923年发现,蒙特艾萨矿山公司(MIM)于1924年成立,铜矿床于1927年发现。1934年锌-铅-银矿山投产,直到1943年才开采和选别铜矿石,但是,到1946年铜矿石开采停止。直到1953年才同时开采和处理锌-铅-银矿石和铜矿石^[6]。

蒙特艾萨铜矿山由两个地下矿山(X41矿山和Enterprise矿山)和一个选矿厂组成。铜选矿厂处理

in the original concentrator can be used for copper-sulfur bulk flotation, only adding the less equipment of copper-sulfur separation and the low-intensity magnetic separation machine used for the recovery of iron. The results of closed-circuit test show that when this new technological flowsheet was adopted, the copper concentrate with the grade of 22.78% and the recovery of 87.32%, the sulfur concentrate with the grade of 43.89% and the recovery of 50.27% and the iron concentrate with the grade of 63.34% and the recovery of 40.76% were obtained (the magnet iron recovery as 92% for the raw ore). The economic indexes obtained according to this new mineral processing flowsheet are coincided with those in the laboratory. The economic benefit of enterprise was greatly improved.

Key Words: Copper-sulphur bulk flotation; Magnetite; Mineral processing technology; Technical transformation

收稿日期:2012-08-12

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工作。

能力为 720 万 t/a 铜矿石。公司还有一个铜冶炼厂,年产阳极铜 30 万 t。

锌-铅-银矿山公司由 George Fisher 地下矿山、Black Star 地下矿山和 Handlebar Hill 露天矿山、锌选矿厂、一个铅冶炼厂和一个锌精矿过滤厂组成。选矿厂处理能力为 650 万 t/a 矿石,年产锌精矿 22.6 万 t, 12.5 万 t 铅锭,其中含银 526 万盎司银^[6]。

蒙特艾萨矿山公司关键数据见表 1。

表 1 蒙特艾萨锌-铅-银-铜矿山关键数据

Table 1 Key data of Mount Isa Zinc-Lead-Silver-Copper mine

产品	锌、铅、银和铜
位置	澳大利亚昆士兰州汤斯维尔西 1000km, 东经 139°29', 南纬 20°34'
业主	埃克斯特拉塔 (Exstrata PLC) 矿业公司; http://www.xstrata.com/
矿床类型	埋藏于层状页岩中的硫化矿床
矿石储量和资源量	至 2007 年 6 月 30 日 X41 和 Enterprise 铜矿山的证实和控制的矿石储量 8400 万 t, 含铜 1.8% ~ 3.4%; 证实和控制的矿石储量为 8400 万 t, 含锌 4.8% ~ 8.8%, 含铅 2.2% ~ 5.7% 和含银 39 ~ 125 g/t
开采方法	坑下开采和露天开采。铜矿石采用空场采矿法和滞后充填开采法开采。锌-铅-银矿石采用分段空场采矿法和落顶充填采矿法开采。
矿物加工方法	铜选矿厂采用半自磨/球磨-易浮矿物预浮选-铜粗选-浮选柱精选-浮选机再精选工艺流程, 得到铜精矿。锌-铅银矿石选矿工艺流程包括棒磨/球磨-铅粗选-粗精矿艾萨磨机再磨-铅精选-浮选精矿常温反浮选易浮矿物, 获得铅精矿; 铅粗选尾矿锌粗选-浮选柱精选-粗选尾矿艾萨磨机再磨-锌再选-再选精选, 获得锌精矿。
选矿指标	铜矿石和铜炉渣浮选的精矿中铜品位 27%, 铜回收率 70%; 锌精矿中锌回收率 80.7%, 铅精矿中铅回收率 78.8%。
选矿厂处理的矿石量	Enterprise 铜选矿厂 510 万 t/a; 蒙特艾萨锌-铅-银选矿厂 620 万 t/a (2007 年)
产品产量	矿产锌 226529 t/a (锌精矿); 粗铅锭 125195 t/a; 银 826 万盎司/a (粗铅锭); 阳极铜 217907 t/a; 矿产铜 172552 t/a (铜精矿) (2007 年 12 月 31 日)
联系信息	Private Mail Bag 6Mt Isa, QLD AUST 4825 Phone: +61 (7) 4744 2011; FAX: +61 (7) 4744 3731

1 地质、矿床、矿化和储量

蒙特艾萨矿床有两个单独的矿体: 下层的铅-锌-银矿体和上层的铜矿体。

1.1 铜矿体

几个铜矿体产在含硅的白云石角砾岩和白云岩中, 它们为不规则的矿脉, 矿石铜品位为 3% ~ 4%^[7]。铜矿石中的主要金属矿物是黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和毒砂, 次要矿物有辉钴矿、白铁矿、墨铜矿、铜锑矿、方铅矿等^[5]。由于风化和地下水的淋滤, 黄铜矿变为次生铜矿物-辉铜矿。风化还影响靠近地表的铅矿体, 方铅矿变成了白铅矿。

较大的 1000 号铜矿体长达 3000m, 是世界上最长、最富的铜矿体之一。

George Fisher 矿体与蒙特艾萨锌-铅-银矿体十分相近。它是窄长的, 并断开几段。其中含铜。

目前开采矿区南端的 1100 号矿体和 1900 号矿体, 以及北部铅矿体下部的 3000 号矿体和 3500 号矿体。截止 2008 年 X41 矿山 (1100 号矿体和 1900 号矿体) 证实的矿石储量为 2700 万 t, 其中含铜 2.1%, 测定的资源量为 5100 万 t, 其铜品位为 2.1%。已经于 2006 年在概略研究中对 X41 矿山中的一个新的 500 号矿体进行了圈定, 目前已经完成了预可行性研究^[7]。

1.2 锌-铅-银矿体

锌-铅-银矿体从地表延伸到地表以下 1000 多米, 矿体中的主要矿物由含铁闪锌矿、方铅矿和黝铜矿等金属矿物, 以及共生的黄铁矿、磁黄铁矿、碳酸盐矿物、石英和石墨等脉石矿物组成。还有少量的毒砂、白铁矿、黄铜矿、墨铜矿、淡红银矿、辉银矿产出。氧化的表面矿石中含有白铅矿、硫酸铅矿和磷氯铅矿。银和锌从表面的氧化带中除去了, 作为表生矿物沉积出来^[5]。

锌-铅-银矿石的矿物学特点是闪锌矿和方铅矿与硫化脉石矿物及非硫化脉石矿物相互紧密连生, 与方铅矿共生的银矿物性脆。非硫化脉石矿物是石英、白云石和含碳的页岩。硫化脉石矿物主要

为黄铁矿,其次是磁黄铁矿。黄铁矿具有两种不同类型:第一种是粒度比较粗的自形黄铁矿。第二种为粒度比较细($5 \sim 30 \mu\text{m}$)的黄铁矿,并含有碳,有时形成了方铅矿的镶边,属难选矿物。几乎在所有情况下,含碳的黄铁矿都是天然可浮性矿物。它的存在降低了铅精矿和锌精矿的质量^[8]。

蒙特艾萨矿山的锌-铅-银矿石分为两种:

(1) 艾萨矿床下部矿体(Racecourse 矿体)矿石:该矿体产状狭窄,用梯段回采法开采,开采的矿石边界品位较高。开采出的矿石铅、锌和银品位较高,黄铁矿含量较低,有用矿物嵌布粒度较粗。矿石中的黄铁矿自形度比细粒含碳黄铁矿的自形度高。虽然这种矿石的开采费用较高,但是由于矿石中的锌、铅和银品位较高,冶金性能较好,所以开发利用利润较高^[8]。

(2) 艾萨矿体(即 Black star 矿体)上部矿石:该矿体为厚大的矿体,用开采费用比较低的空场采矿法开采,开采的矿石边界品位比较低。这种矿石中锌和铅矿物的嵌布粒度比较细,含有大量的细粒含碳的黄铁矿。黄铁矿的核被方铅矿所取代。Black Star 矿体的矿石和 Hilton 矿体的矿石逐步取代 Racecourse 矿体的矿石是选矿厂指标降低的主要原因^[8]。

选矿厂存在两个选矿难题,即有用矿物嵌布粒度细,磨矿解离度不够和矿物分选效率不高。

含碳的黄铁矿在任何浮选条件下都具有天然可浮性,并且会消耗大量的浮选药剂,使得浮选过程难以控制,从而使铅精矿铅品位和铅回收率降低,而且还会影响后续的锌浮选指标,即降低锌的回收率和增高锌精矿中的铁含量^[8]。

2 采 矿

2.1 铜矿石开采

蒙特艾萨铜矿山公司由两个地下矿山(X41 矿山和 Enterprise 矿山)和一个选矿厂组成^[6]。

地下矿山通过地表竖井操作,其中两个竖井装备有矿石提升设备,一个为斜井,与铅矿山共用。相连通的 X-41 矿井和 Enterprise 矿井可开采大部分矿

体的矿石。应用深孔空场采矿法和滞后充填开采法开采矿石。应用废石、尾矿和泥浆对采空区进行充填。目前在 X-41 和 Enterprise 矿区正在应用分段空场采矿法(SLOS)开采矿石。

2.2 锌-铅-银矿石开采

锌-铅-银矿山由 George Fisher 和 Black Star 地下矿山,以及 Handlebar Hill 露天采场和锌选矿厂组成^[6]。艾萨矿山、选矿厂和粗铅冶炼厂于 1931 的投产,2002 年 MIM 安装了 Micromine 矿山控制系统^[9]。较大的、稳定的矿区采用分段空场采矿法开采,而 12m 宽、250m 长的不牢固的悬壁部位采用分段回采法开采。到上个世纪 90 年代改用落顶充填采矿法开采,这样可以降低开采成本和增大处理能力。MIM 公司从竞争的制造商购买了灵活可移动的设备 and 可视遥控的矿石装载系统^[9]。

2007 年 9 月,Handlebar Hill 锌-铅-银露天采场投产,可为蒙特艾萨矿山提供 4300 万 t 锌-铅-银矿石储量^[6]。

3 选矿厂

蒙特艾萨矿山有 3 个选矿厂:锌-铅-银选矿厂(建于 1931 年)、锌-铅-银选矿厂(1966 年投产)和铜选矿厂(建于 1973 年)。

3.1 铜选矿厂

蒙特艾萨铜分公司由蒙特艾萨铜矿山、铜选矿厂和铜冶炼厂组成,年采矿量为 650 万 t 矿石(从 Enterprise 和 X41 地下矿山),选矿厂处理能力为 700 万 t/a 矿石^[11],年产 19 万 t 铜(精矿)。

蒙特艾萨公司经营澳大利亚西北部一个最大的地下开采矿山,是一个采冶联合公司,生产铜精矿和阳极铜。选矿厂从含黄铜矿的矿石、转炉渣和回转炉渣中用磨矿-浮选法生产铜精矿^[10]。

蒙特艾萨铜选矿厂处理铜矿石和炉渣以生产铜精矿。目前矿石来自 1100 号、3000 号和 3500 号矿体,选矿厂 50% 给矿来自 3000 号和 3500 号矿体。黄铜矿是矿石中唯一的主要铜矿物,硫化矿物主要为黄铁矿,还有少量的磁黄铁矿。矿石硫品位平均为 8%,二氧化硅含量为 60% ~ 70%。磨矿细度为

$P_{80} = 150 \mu\text{m}$, 黄铜矿的单体解离度为 75%。

蒙特艾萨矿冶公司铜冶炼厂产生转炉渣和回转炉渣,其中含有一定数量的可回收的铜组分-辉铜矿和自然铜。当矿山选矿厂处理能力超过矿山生产的矿石量时,选矿厂就处理这些炉渣^[10]。

近年来该矿山矿石中含有的天然可浮选好的组分-含碳的黄铁矿和滑石数量增大。由于这些矿物会进入到铜精矿中,会降低铜精矿铜品位,而选矿厂目前需要将铜精矿铜品位从 25% 提高到 27%。因此需要采用易浮矿物预浮选作业,预先脱去它们^[10-11]。

铜选矿厂采用棒磨、球磨和 3 段浮选流程,生产铜精矿,在当地烘焙烧机和常规的水泡熔炼炉熔炼。1981 年浇铸成阳极铜板。1988 ~ 1989 年用功率 6.4MW 的自磨机/半自磨机代替棒磨机和球磨机^[7]。

1993 年,采用半自磨/球磨、浮选机浮选和浮选柱处理铜矿石和铜炉渣。试验结果表明,采用预先浮选除去含碳的黄铁矿和天然可浮性好的滑石比用抑制剂措施要好。1993 ~ 1996 年,用 3 台串联的浮选柱对预浮选的精矿进行精选,铜精矿铜品位从 25% 提高到 27.2%。1996 年浮选柱改用作粗浮选精矿精选作业,精矿品位也可达到要求。但是随着含碳黄铁矿和滑石数量高的矿石量的增加,又恢复预浮选作业。为了降低铜在预浮选泡沫产品中的损失,用占地表面小的高效詹姆斯浮选机对预浮选的泡沫产品再浮选,其泡沫产品抛弃到尾矿中,其槽内产品给入铜粗选作业。选矿厂工艺流程见图 1。

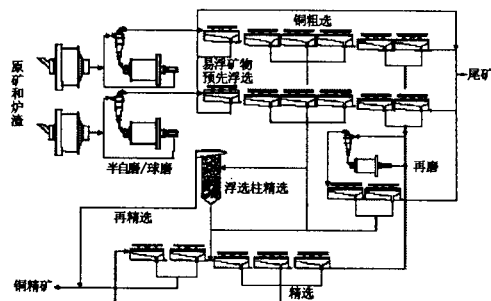


图1 铜选矿厂工艺流程

浮选所用药剂为异丁基黄原酸钠酯和甲基异丁基甲醇(MIBC)。铜矿石与两种炉渣一起浮选时,所获铜精矿铜品位为 27%,铜回收率为 70%。

1999 年蒙特艾萨铜选矿厂和冶炼厂扩建,以提高处理能力和降低选矿成本。项目于 1999 年完成。冶炼厂处理能力提高到 25 万 t/a 阳极铜^[6]。选矿厂回收三种产品,以矿浆的形式运到蒙特艾萨。用半自磨机粗磨,塔磨机再磨,用公司自己设计的浮选柱和詹姆斯浮选机进行浮选。在投产很短时间选矿厂就达产,但是为了处理铜炉渣,降低了铜的采矿处理能力^[12-13]。

Enterprise 矿山是蒙特艾萨新开发的铜资源,是澳大利亚最深的矿山。铜选矿厂采用优先浮选粗选,浮选柱精选和炉渣精选回路,以提高选矿厂的处理能力。2003 年开始使用詹姆斯浮选机^[7,14-15]。

2004 年,Xstrata 公司决定添加炉渣浮选回路,其铜产量为 4 万 t/a。还新建了 2500t/a 铜浸出厂,以处理静电脱尘器的尘^[7]。

蒙特艾萨铜冶炼厂生产出的阳极铜用火车运到汤斯维尔铜精炼厂精炼,以生产纯度达到 99.995% 伦敦金属交易所 A 级阴极铜^[14]。

3.2 锌-铅-银选矿厂

蒙特艾萨铅-锌-银选矿厂处理蒙特艾萨矿体和 Hilton 银-铅-锌矿体的锌-铅-银矿石,以得到铅精矿、锌精矿和低品位精矿^[8,16-18]。

第二铅锌选矿建于 1966 年。选矿厂包括棒磨机、球磨机、铅-银浮选、锌浮选、低品位中矿回收回路。1982 年 MIM 公司增加了重介质分选,以便对给矿进行预选,选出产率为 30% 的粗粒脉石矿物。最近应用了浮选柱精选。为了处理 George Fisher 矿床的矿石,选矿厂增大了处理能力。2000 年中期选矿厂矿石处理能力达到 250 万 t/a。此时增加了艾萨超细磨机改进精选浮选作业,以便对粗精矿再细磨。然后进行浮选,使铅回收率提高近 10%,达到 78.8%,锌回收率从 73.4% 提高到 80.7%^[9,6]。

处理 George Fisher 矿体矿石的选矿厂需要改造。选矿厂将 Isa 磨工艺引入到浮选回路中,以便对粗精矿再细磨然后浮选,使铅回收率提高近 10%,达到 78.8%,锌回收率从 73.4% 提高到 80.7%^[6]。

2008 年末,蒙特艾萨锌-铅-银选矿厂扩建完

- [10] <http://www.jamesoncell.com/EN/Downloads/technical%20papers/Expansion%20of%20the%20Mount%20Isa%20Mines%20Copper%20Concentrator%20Phase%20One%20Cleaner%20Circuit%20Expansion.pdf>
- [11] <http://www.jamesoncell.com/EN/Downloads/technical%20papers/Expansion%20of%20the%20Mount%20Isa%20Mines%20Copper%20Concentrator%20Phase%20One%20Cleaner%20Circuit%20Expansion.pdf>
- [12] <http://www.immagine.org/abstract.asp.Line=53922>
- [13] http://leap-mine.com/Miningknowledge_73.html
- [14] <http://www.infomine.com/minesite/minesite.asp.site=mtisa>
- [15] http://www.infomine.com/index/properties/MT_ISA.html
- [16] <http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/ISAMILL%20FINE%20GRINDING%20TECHNOLOGY%20AND%20ITS%20INDUSTRIAL.pdf>
- [17] http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/Improving_Fines-Recovery_by_Grinding_Finer.pdf
- [18] http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/IsaMill_Technology_Used_in_Efficient_Grinding_Circuits.p
- [19] <http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/ISAMILL%20FINE%20GRINDING%20TECHNOLOGY%20AND%20ITS%20INDUSTRIAL.pdf>
- [20] <http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/Transforming%20Flowsheet%20Design%20with%20Inert%20Grinding%20-%20the%20IsaMill.pdf>
- [21] http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/IsaMill_Technology_Used_in_Efficient_Grinding_Circuits.pdf
- [22] http://www.isamill.com/EN/Downloads/Downloaded%20Technical%20Papers/FineGrindingasEnablingTechnology_TheIsaMill.pdf

The Mount Isa Zinc-Lead-Silver-Copper Mine in Australia

LI Chang-gen

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

Abstract: The Mount Isa zinc-lead-silver-copper Mine is the one of the large mining and metallurgical industry. To the end of June 2007 Mount Isa Zinc-Lead-Silver Mine has the proved and probable copper ore reserves of 84 Mt containing 1.8% ~ 3.4% Cu as well as the proved and probable zinc-lead-silver ore reserves of 84 Mt containing 4.8% ~ 8.8% zinc, 2.2% ~ 5.5% lead and 39 ~ 125 g/t silver. The copper orebody worked using a sub-level open stoping. Stopes are backfilled with cemented aggregate. The zinc-lead-silver orebody worked using a sub-level open stoping and cut-and-fill. The copper concentrator uses SAG/ball mill-prefloatation of easy flotation minerals - copper roughing - column cleaning - recleaning flowsheet to obtain copper concentrates. The zinc-lead-silver concentrator uses rod mill/ball mill-lead roughing - regrinding in Isa mills - lead cleaning - prefloatation - zinc roughing - regrinding in Isa mills - zinc cleaning flowsheet to obtain zinc concentrates and lead concentrates containing silver. In 2007 production measure of Mount Isa zinc-lead-silver-copper mine was 6.7 Mt/a of copper ore, 6.5 Mt/a of zinc-lead-silver ore, 226529 t/a of zinc (in zinc concentrates), 125195 t/a lead bullion, 8.26 Moz/a of silver (in crude), 172552 t/a copper (in copper concentrates) and 217907 t/a copper anode.

Keywords: Mine; Concentrator; Underground mining; Open pit mining; Copper ore; Zinc ore; Lead ore; Silver ore; Milling; Flotation; SAM; Isa mill; Jamson flotation cells; Flotation column; Fine grinding