

澳大利亚奥林匹克坝铜-铀矿山

李长根

(北京矿冶研究总院,北京 100044)

摘要:澳大利亚奥林匹克坝铜-铀矿是世界上现有最大的铀矿床、第四大金矿床和第五大铜矿床。截至2011年6月,证实和控制储量为5.53亿t,含铜1.84%、 U_3O_8 0.57kg/t、金0.69g/t和银3.41g/t;测定和指示的矿石资源量为59.79亿t,含铜0.93%、 U_3O_8 0.29kg/t、金0.34g/t和银1.68g/t。矿山采用胶结充填深孔分段空场采矿法开采矿石。选矿厂采用常规的磨矿-优先浮选硫化铜精矿的流程,得到含铀、金和银的铜精矿。浮选获得的铜精矿经酸浸/铜萃取/电积法获得阴极铜,硫酸浸出/萃取/沉淀/煅烧法获得氧化铀。2007年必和必拓公司提出矿山扩建计划,增补的环境影响评估报告(SEIS)已于2011年月10月得到政府批准。扩建工程分五个阶段进行。扩建完成后该矿山将成为世界上最大的铜矿山。矿山矿产品最终年产量达到:75万t/a矿产铜,1.9万t/a氧化铀,80万盎司金/a和290万盎司/a银。

关键词:铜矿山;坑下采矿;选矿厂;铜矿;铀矿;磨矿;浮选;浸出;萃取;电积;沉淀;煅烧

中图分类号:TD928 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2012)04-0064-05

奥林匹克坝铜-铀矿山(Olympic Dam Copper-Uranium Mine)是南澳大利亚矿业中心,是一个大型铁-铜-铀-金矿区,该矿床是世界上最大的铀矿床、第四大金矿床和第五大铜矿床。

该矿床由西部矿业公司(WMC)于1975年发现。奥林匹克选矿厂于1988年投产。1997~1999年之间矿山和选矿厂均进行了扩建,使其铜年产量提高到20万t/a,铀产量提高到4300t/a,金和银的产量也得到提高^[1]。

2005年必和必拓公司用92亿澳元获得了西部矿业公司奥林匹克坝矿山的矿产权,具有至2036年开采奥林匹克坝矿床的许可证,并具有此后50年的延长期权^[2-5]。

奥林匹克坝矿冶公司具有一个坑下采矿场和一个综合矿物加工设施。目前矿山采用分段空场采矿法坑下开采矿石^[5]。用常规的磨矿和硫化矿浮选,获得含铀、金和银的铜精矿;铜精矿硫酸浸出,从酸浸液中萃取铜和铀;用氨沉淀二铀酸铵,煅烧沉淀,获得氧化铀;对铜反萃液进行净化,然后用电积法获得阴极铜^[3,5]。

2011年矿产铜产量为19.41万t/a、氧化铀4045t/a、金111368盎司/a和银98.2万盎司/a^[2]。

奥林匹克坝矿山关键数据见表1。

表1 奥林匹克坝铜-铀矿山关键数据

Table 1 Key data of Olympic Dam copper-uranium mine

产品	铜、铀、金和银
位置	澳大利亚阿德莱德西北560km
业主	必和必拓公司
矿床类型	热液角砾岩铜-铀-金-银矿床。矿石工具中等粒度浸染硫化铜矿物(黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿)矿化和细粒浸染状沥青铀矿矿化
矿石储量和资源量	2011年6月,证实和控制的矿石储量5.53亿t,含铜1.84%、 U_3O_8 0.57kg/t、金0.69g/t和银3.41g/t;测定和指示的矿石资源量59.79亿t,含铜0.93%、 U_3O_8 0.29kg/t、金0.34g/t和银1.68g/t
开采类型	坑下开采,打炮眼、爆破、铲运机装载、坑下电机车运矿、矿石提升到地表选矿厂。扩建后同时采用露天开采与坑下开采

收稿日期:2012-07-12

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。

矿物加工方法	常规的磨矿和硫化矿浮选流程, 获得含铀、金和银的铜精矿; 铜精矿硫酸浸出, 从酸浸液中萃取铜和铀; 用氨沉淀二铀酸铵, 煅烧沉淀, 获得氧化铀; 对铜反萃液进行净化, 然后用电积法获得阴极铜
矿山寿命	40年
产量	额定产量: 矿石 1200 万 t/a, 铜精矿 60 万 t/a, 精炼铜 21.5 万 t/a, 氧化铀 4500t/a, 金 10 万盎司/a, 银 80 万盎司/a 2011 年矿产铜 19.41 万 t/a、氧化铀 4045t/a、金 111368 盎司/a 和银 98.2 万盎司/a
联系信息	电话: +61 (8) 8671 8888 传真: +61 (8) 8671 1876

1 位置、气候和交通

奥林匹克坝矿山地理坐标为东经 136°53', 南纬 30°26'。该矿山位于南澳大利亚阿丹姆卡 (Andamooka) 西 26km, 南澳大利亚首府阿德莱德西北 560km 处。矿区海拔约为 100m, 月平均降雨量为 156.8mm, 7 月份降雨量最多为 32mm, 一天的最大降雨量为 151mm。年平均最高气温为 27.6℃, 平均最低气温为 12.6℃。

2 地质、矿床和储量

奥林匹克坝矿山位于干旱地区, 矿区占地 17788 公顷, 矿床埋藏深度为 350m 到 1km^[6]。

表 2 奥林匹克坝矿床的矿石储量和资源量 (至 2011 年底)

Table 2 The ore reserves and resources of Olympic Dam Mine (to the end of 2011)

资源等级	矿石量 / 亿 t	铜品位 / %	U ₃ O ₈ 品位 / kg · t ⁻¹	金品位 / g · t ⁻¹	银品位 / g · t ⁻¹
证实的储量	1.46	1.98	0.58	0.69	4.01
控制的储量	4.06	1.79	0.57	0.69	3.19
总储量	5.52	1.84	0.57	0.69	3.41
测定的资源量	14.08	1.08	0.32	0.34	2.07
指示的资源量	45.71	0.88	0.28	0.34	1.56
总资源量	59.79	0.93	0.29	0.34	1.68

奥林匹克坝矿床为超大型 Cu-U-Au-Ag 矿床, 矿体赋存在一个巨大的粗粒角砾岩岩体内。角砾岩的主要成分是花岗岩碎块和各种类型的赤铁矿。矿床由许多单个的矿带组成。矿化带包括中粒浸染硫

化铜矿物和细粒浸染状沥青铀矿。主要的硫化矿物有黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿。品位较高的矿带由浸染状辉铜矿和斑铜矿组成, 产于矿床较高部位。铀品位较高的地区, 通常含有细脉和细粒浸染状沥青铀矿, 一部分铀以钛铀矿存在, 影响铀的浸出率的提高。金和银品位虽低, 但与铜和铀共生, 因而具有经济价值。在个别金矿化的地区, 稀土元素 (包括镧和铈) 含量甚高^[2,7]。

奥林匹克坝矿床的矿石储量和资源量见表 2。

3 采矿

奥林匹克坝矿山目前是澳大利亚最大的坑采矿山, 主要采用胶结充填深孔分段空场采矿法开采。三个垂直竖井和一条斜井通到矿体。竖井深达 750m, 坑下道路网线达到 200km。破碎过的废石、脱去矿泥的尾矿、水泥和发电厂的燃料灰渣制成的混凝土用于充填采空区。坑下自动化可大幅度降低奥林匹克坝矿山的采矿生产费用。矿山采矿的创新技术包括自动化的地下运输系统、灵巧的装运机、机器人操纵的、具有决策功能的地下矿石运送体系^[2-3]。

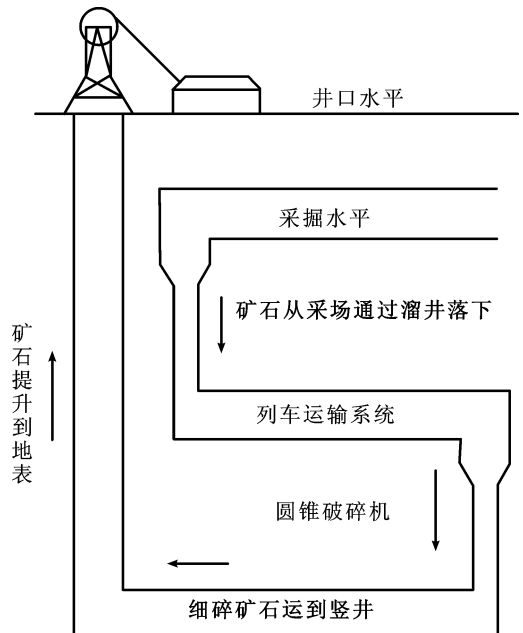


图 1 奥林匹克坝矿山坑下采矿示意图

Fig 1 The underground scheme of Olympic Dam Mine

奥林匹克坝矿山用卡车将矿石运送到坑下破碎

系统,破碎过的矿石再装载到自动化机车中,通过机车运输网络运到矿石贮存设施中,再由机车运到矿石提升系统,将矿石运到地表选矿厂(见图1)^[3-4]。

4 矿物加工设施

奥林匹克坝矿物加工设施由一座铜浮选矿厂、一座湿法冶炼厂、一座铜熔炼厂、一座硫酸制造厂和铜及金/银精炼厂组成。矿石经破碎后,由两个磨矿回路细磨,细磨的矿浆经硫化矿浮选获得含有铀的铜精矿。浮选铜精矿经硫酸浸出,溶解其中的铀和部分铜。在溶剂萃取厂中,用溶于煤油中的胺作为铀的萃取剂,从浸出贵液中萃取铀,用氨水从反萃液中将铀以二铀酸铵形式(即所谓的黄饼)沉淀出来,再在 800℃ 条件下煅烧,将二铀酸铵煅烧为高纯的氧化铀(U₃O₈);用溶于煤油中的羟肟酸作铜的萃取,从浸出贵液中萃取铜,反萃液经净化后,用电积法回收高纯阴极铜。浸出后的铜精矿经熔炼和电精炼,获得电解铜。最后从电精炼的渣中回收金和银。其工艺流程见图2。

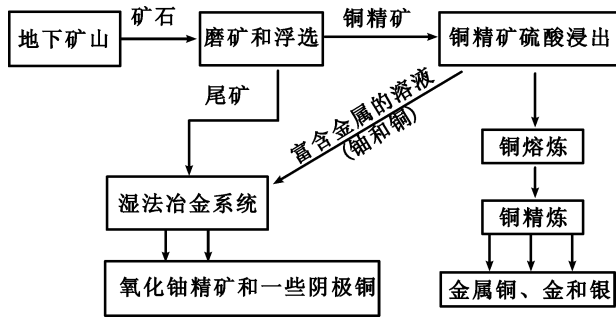


图2 奥林匹克坝矿物加工流程

Fig.2 The technical flowsheet of Olympic Dam concentrator

在铀湿法冶炼厂中安装了两台脉冲柱,利用脉冲空气,使酸浸出液与有机相均匀混合,以便化学反应更好地进行,使铀从一个相中充分地转移至另一个相中,可使铀的萃取率由 90% 提高到 97%。

矿石中大部分铀在浮选过程中进入浮选尾矿中,在选矿厂扩建中,考虑要对浮选尾矿进行酸浸,以便回收其中的铀。

在最近的扩建项目中在浮选回路中增加了斯威达拉(Svedala)半自磨机,同时增加了两台对流倾析

浓密机、电渣精炼炉,还新建一座阳极炉气净化厂和增加一些电解槽。

奥林匹克坝矿山每天用井水 3500L/d,它是南半球最大的地下水用户。从离矿山 110km 和 200km 的两个井区通过管道将井水运到矿区。由于井水是盐水,所以在使用前需要脱盐^[5]。

从阴极上剥离下来的阴极铜片由汽车运往澳大利亚各地,或运到阿德莱德港口,以便出口;生产的氧化铀全部出口。2000 年金提取厂投产。2002 年溶剂萃取厂和电积厂发生火灾,公司花费 3 亿澳元翻修。2003 年 WMC 资源公司花费 1.27 亿元翻新铜熔炼厂^[1,6,10]。

2011 年奥林匹克坝矿山矿产铜产量为 19.41 万 t/a,氧化铀产量为 4045t/a,金和银的产量分别为 11.1368 万盎司/a 和 98.2 万盎司/a^[2]。

5 矿山扩建计划

2007 年必和必拓公司宣布扩建奥林匹克坝矿山的计划。计划矿石产量提高到 7000 万 t/a,铜年产量从目前的 18 万 t/a 增加到 75 万 t/a。扩建的产量包括 51.5 万 t/a 铜,1.45 万 t/a 氧化铀,70 万盎司/a 金和 210 万盎司/a 银(见表3)。

表3 奥林匹克坝矿山扩建后的矿产品产量

Table 3 The product yields of expanded Olympic

Dam Mine

产品	额定产量	目前生产	扩产的产量	总产量
矿石产量/万 t · a ⁻¹	1200	1200	6000	7200
铜精矿产量/万 t · a ⁻¹	60	60	180	240
精炼铜产量/万 t · a ⁻¹	23.5	23.5	51.5	75.0
氧化铀产量/t · a ⁻¹	4500	4500	1450	19000
金产量/万盎司 · a ⁻¹	10	10	70	80
银产量/万盎司 · a ⁻¹	80	80	210	290

2008 年 10 月必和必拓公司提出了一个分阶段的扩建计划,矿山扩建需耗时 11 年,共分为五个阶段,第一阶段预计于 2013 年末完成:

(1)到 2013 年,优化现有矿山的操作,坑下开采矿石量达 1200 万 t/a,氧化铀产量达 4500t/a。

(2)露天采场开始出矿,矿石产量达 2000 万 t/a,建立一座新的铜选矿厂和一座铀处理厂(包括一部分铜销售中国),氧化铀的产量达到 9000t/a。

(3) 扩建矿区现有的铜熔炼厂, 以便熔炼高品位铜精矿。氧化铀的产量达到 9000t/a。

(4) 露天采场的供矿量增至 4000 万 t/a。建立一座新的铜选矿厂和一座铀处理厂。将低品位铜精矿销往中国。氧化铀的产量达到 1.4 万 t/a。

(5) 露天采场的供矿量增至 6000 万 t/a。再建立一座新的铜选矿厂和一座铀浸出厂。低品位铜精矿销售到中国熔炼厂。氧化铀产量达 1.9 万 t/a^[7]。

2008 年 10 月末, 必和必拓公司宣布预计于 2013 年完成矿山扩建五个阶段中的第一个扩建阶段。铜产量增加至 20 万 t/a, 氧化铀产量增至 4500t/a, 金产量增至 12 万盎司。2011 年 3 月奥林匹克坝项目进入可行性研究阶段。预计 2012 年中期开始扩建。第一阶段 12 亿元预投资已经于 2011 年 10 月得到公司批准, 用于购买早期矿区开采设备、卡车和一期基础设施。

扩建计划包括建立一个新的露天采场和一些矿物加工设施。除考虑在矿山建立天然气火力发电厂外, 还考虑建设一条由港口城市奥古斯塔 (Augusta) 到奥林匹克坝矿山之间的 270km 长的输电线。新的项目还需要一条长度为 105km 的铁路线, 以便与国家铁路线相连接, 还需要建一个机场和一个港口, 还要扩建员工居住的村庄。

奥林匹克坝矿山扩建完成后, 将成为世界上最大的铜矿山。矿产品最终年产量: 75 万 t/a 矿产铜、1.9 万 t/a 氧化铀、80 万盎司金/a 和 290 万盎司/a 银。矿山氧化铀的产量将占世界总产量的 35%^[1]。

计划建立的露天采场与现有的坑下采场同时运行。到 2050 年露天采场的长度达到 4.1km, 宽 3.

5km, 深 1km。约花费 6 年时间, 可将上部 350m 厚的覆盖层剥离掉, 使矿体上部曝露出来。此时要将 4.1 亿 t 表土和废石由露天采场运到占地面积 6720 公顷的岩石堆场中, 岩石堆最终高度可达 150m。

2007 年中期必和必拓公司提出了一个可供选择的方案。即将一部分产品作为铜精矿出口。而不是全部仅以精炼铜出口, 所以出口的部分铀仍然含在铜精矿中。因为奥林匹克坝矿石中的铜、铀、金和银是紧密密布的。用普通的销售含有贵金属的铜精矿的程序是不可行的, 因为铜精矿中含有一部分铀, 这会产生加工和安全防护问题。用浮选法分离硫化铜精矿时, 大部分铀被分离到尾矿中, 可用酸浸出/萃取/沉淀工艺从尾矿中回收铀。对铜精矿酸浸/萃取可回收进入到铜精矿中的铀。然后熔炼含有 45% 铜和 0.15% 铀的铜精矿, 粗铜再精炼。

选矿厂扩建约需 20 年, 需要增加以下设施:

(1) 建立几座新的选矿厂: 包括矿石磨细, 然后用浮选法生产以下产品: 含有部分可回收的氧化铀、金和银的富铜精矿; 含有大量铀和少量铜、金及银的富铀浮选尾矿。

(2) 建立一个湿法冶金厂, 从浮选厂尾矿中提取铀。

(3) 改造现有的电精炼厂和熔炼厂, 使其能够继续处理来自现有坑下采出的矿石和新开的露天采场的矿石。

(4) 现有选矿厂所用的已被证明是有效的选矿方法在扩建中仍继续应用^[1,3-5,8]。

扩建后的奥林匹克坝矿山是世界上最大的铜矿山, 其矿产品的产量和年产值对比见表 4。

表 4 世界上大矿山的矿产品年产量和年产值对比表

Table 4 Estimated value of annual production in \$ US of the largest mines in the world

	OL		Es		Ch		Gr		Oy	
	产量	亿美元	产量	亿美元	产量	亿美元	产量	亿美元	产量	亿美元
铜/万 t	75	58	99.16	76	52.8377	41	55.43	43	54.4	4.2
氧化铀/万 t	1.9	22	-	-	-	-	-	-	-	-
金/万盎司	80	13	14.7	2	n/a	n/a	178.9	29	65	11
银/万盎司	290	1	495.5	2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
钼/万 t	-	-	-	-	1.076	4	-	-	-	-
总计/亿美元		94		80		45		72		53

OL-澳大利亚奥林匹克坝矿山; Es-智利埃斯科第纳 (Escondila) 矿山; Ch-智利丘基卡马塔 (Chuquicamata) 矿山; Gr-印度尼西亚格拉斯贝尔格 (Grasberg) 矿山; Oy-蒙古奥尤托伊盖 (Oyu Toigoi) 矿山

预计奥林匹克坝矿山铜年产量于 2025 年达到最大值^[9]。由于很难预测长期市场变化和技术进步情况,必和必拓公司暂时将该矿山服务年限定为 40 年,但是其资源量可供矿山开采 100 多年^[10-13]。

参考文献:

- [1] <http://www.bhpbilliton.com/home/aboutus/regulatory/Documents/Olympic%20Dam%20Supplementary%20EIS/Information%20Sheets/BHP%20Billiton%20Olympic%20Dam%20Expansion%202011%20Summary%20Booklet.pdf>
- [2] <http://www.mining-technology.com/projects/olympic-dam/>
- [3] <http://www.infomine.com/minesite/minesite.asp?site=olympicdam>
- [4] www.infomine.com/minesite.asp?site=olympicdam
- [5] [//en.wikipedia.org/wiki/Olympic_dam,_south_australia](http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic_dam,_south_australia)
- [6] http://www.theajmonline.com.au/mining_news/news/2011/october/october-13-2011/olympic-dam-to-become-world2019s-largest-mine
- [7] http://www.eoearth.org/article/Olympic_Dam,_South_Australia
- [8] <http://www.bhpbilliton.com/home/aboutus/regulatory/Documents/Olympic%20Dam%20Supplementary%20EIS/Information%20Sheets/BHP%20Billiton%20Olympic%20Dam%20Expansion%202011%20Summary%20Booklet.pdf>
- [9] http://www.theajmonline.com.au/mining_news/news/2011/october/october-13-2011/olympic-dam-to-become-world2019s-largest-mine
- [10] <http://www.miningtechnologyaustralia.com.au/olympic-dam>
- [11] 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.
- [12] 李长根. 世界上最大的铜矿山-智利埃斯科地达铜矿山[J]. 矿产综合利用, 2012(2): 61-65.
- [13] 李长根. 世界上最大的锌矿山-美国红狗锌矿山[J]. 矿产综合利用, 2012(3): 62-66.

The Olympic Dam Copper-Uranium Mine in Australia

LI Chang-gen

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

Abstract: The Olympic Dam copper-Uranium Mine has the largest uranium deposit, fourth largest gold deposit and fifth largest copper deposit in the world. To the end of June 2011 Olympic Dam has the proved and probable ore reserves of 553 Mt containing 1.84% Cu, 0.57kg/t U_3O_8 , 0.69g/t Au and 6.41g/t Ag, as well as measured and indicated ore resources of 5979 Mt containing 0.93% Cu, 0.29kg/t U_3O_8 , 0.34g/t Au and 1.68g/t Ag. The orebody worked using a long-hole sublevel open stoping. Stopes are backfilled with cemented aggregate. The average mining rate is 12Mt/a of sulphide ores. The concentrator uses a conventional SAG mill-selective flotation flowsheet to obtain copper concentrates containing uranium, gold and silver. The cathode copper was obtained from copper concentrates with acid leaching/solvent extraction/electrowinning, the uranium oxide (U_3O_8) with leaching/solvent extraction/precipitation/calcination. The current production measure of Olympic Dam mine was 12Mt/a of ore, 600kt/a of copper concentrate, 235kt/a of refined copper, 4500t/a of uranium oxide, of 100koz/a gold and 800koz/a of silver. In 2007 BHP Billiton announced Olympic Dab mine expansion plan. The final SEIS were released to public in May 2011. Approvals from the South Australian Government and the Commonwealth was received in October 2011. After completion of the expansion project the Olympic Dam would become the largest copper mine in the world. The eventual target output of the mine will be 750kt/a of copper, 19kt/a uranium oxide, 800koz/a of gold and 2900koz/a of silver.

Key words: Copper mine; Underground mining; Ore concentrator; Copper ore; Uranium ore; Milling; Flotation; Leaching; Solvent extraction; Electrowinning; Precipitation; Calcination; Gold; Silver