

# 世界红土型镍矿开发和高压酸浸技术应用

肖振民

(华东有色地勘局·南京 210007)

**摘要** 由于世界镍需求增长和硫化镍资源短缺,红土型镍矿资源开发将成为未来十年镍业发展的主要趋势。1999年以来,澳大利亚西部新建的总投资20多亿澳元的三个高压酸浸技术HPAL镍厂成为该趋势的标志。文章分析了红土型镍矿资源开发利用的长处及其两种类型,重点介绍了高压酸浸HPAL技术在西澳镍厂应用近况、问题、原因及纠正措施,并论述了该技术在未来世界镍业发展中的应用趋势。

**关键词** 红土型镍矿 高压酸浸 氢氧化镍 硫镍 铁镍

## STATUS OF EXPLOITATION OF LATERITE TYPE NICKEL ORE AND APPLICATION OF HIGH PRESSURE ACID LEACHING TECHNOLOGY IN THE WORLD

Xiao Zhenmin

(China Huadong Non-Ferrous Metal Mineral Exploration Company 210007)

**Abstract:** Due to increasing demand on nickel and shortage of nickel sulphide, the exploitation of laterite type nickel ore will become popularized in the futural 10 years. The symbol of popularization is the 3 nickel making plants using HPAL technology, built up in western Australia with a total investment of over 2 billion \$ A. The advantages and two types of laterite type nickel ore exploitation are described. The emphases of description are status of application of HPAL technology in western Australia, existing problems and their reasons and measures to be taken to improve the technology. Besides, the future of application of HPAL technology is predicted.

**Keywords:** laterite type nickel ore, high pressure acid leaching (HPAL)

目前,世界每年超过100万t镍金属产量中,红土型镍矿约占1/3,约有30万t,其中镍铁技术生产的镍约有20万t。但在未来7年中,即2007年前,全球将有10个以上大型红土型镍厂计划兴建或扩建,这些项目将主要是采用PAL高压酸浸技术,并非铁镍工艺,项目规模一般年产为2~5万t镍金属量,总计年产量与2000年相比将增长20~30万t镍。这是一个值得注意的世界镍业发展动向。(拟扩建或兴建的项目见表1。)

### 1 世界红土型镍矿开发进展的原因

随着世界90年代经济发展,占镍用途65%的不锈钢需求增长坚挺,镍需求前5年平均每年增长4%以上,预测今后5~10年,增长率3.5%~4%,其中亚州的镍需求增长率将是7%。然而,世界可供近期开发的硫化镍资源,除了加拿大的

Voisey bay 镍矿以外,几乎寥寥无几。全球至今约探获7000万t镍金属量的资源。其中,硫化镍约3000万t,占42%。其余均为红土型镍。开发利用红土型镍的长处在于:①红土型镍资源丰富,全球均有4100万t镍金属量,勘查成本低。②采矿成本极低。③选冶工艺已经成熟。红土型镍矿的火法冶炼铁镍技术业已成熟,压力酸浸技术亦趋成熟。该技术始于50年代,首次用于古巴Moa Bay矿,称AMAX-PAL技术。此后,70年代澳洲QNI公司建成Yabula镍厂,酸浸处理新喀里东尼亚、印尼及澳洲昆士兰州的红土型镍矿。加拿大Sherritt公司湿法处理红土型镍矿的技术已获公认。④红土型镍矿可以生产出氧化镍、硫镍、铁镍等中间产品,其中硫镍,氧化镍可供镍精炼厂使用,以解决硫化镍原料不足的问题。至于铁镍更是便于用于制

造不锈钢,降低生产成本。如印尼 Antam 公司利用本土的红土型镍矿,生产铁镍的成本去年已降至 1.4 美元/磅镍(1 磅=0.453kg—编者注)年产量

近 1 万 t 含镍量。⑤世界红土型资源主要分布于近赤道地区,大部分靠近海岸,便于外运。

表 1 世界红土型镍矿计划兴建或扩建项目

国家项目	经营公司或合资者	资 源				采用技术	项目现状	投产年份	年产量 (万 t)
		矿石量 (亿 t)	金属量 (万 t)	品位 (%)					
新喀里东尼亚									
Goro	Inco (加)	2.66	417	1.57	0.18	PAL	FS	2003	5.4
Nakety	Argosy (澳)	1.25	190	1.51	0.12	PAL	AS	2006	3.4
Koniambo	Falconbridge (加)					PAL	AS	2005	2.7
印度尼西亚									
Soraco	PT Inco (加)					Fe-Ni	OP	2001	4.5*
Pomalas	Anatam	0.19	35.3	1.88	Fe-Ni	OP	2001	1.1*	
						EP	2005	1.5	
Gag Island	BHP/Falcon/Antam 合资	2.40	324	1.35	0.18	PAL	FS	2003	3.28
Weda Bay	Weda Bay Mineral/ OMG	2.02	276	1.37	0.12	PAL	AS	2007	3.0
澳大利亚									
Cawse	Centaur/ANL	4.37	340	0.78	0.05	PAL	OP	2001	0.9*
							EP	2006	4.1
Bulong	Preston	1.40	140	1.10	0.08	PAL	OP	2002	0.9*
							EP	2006	2.0
Murrin Murrin	Anaconda/Glencore	3.33	333	1.0	0.06	PAL	OP	2001	1.0*
							EP	2006	4.5
Ravensthorpe	Comet/Billiton	1.58	126	0.80	0.03	PAL	FS	2006	3.5
Mt Margaret	Anaconda	3.76	267	0.71	0.06	PAL	FS	2004	2.9
Syerston NSW	Black Range	1.07	70.6	0.66	0.11	PAL	FS	2005	2.0
巴布亚新几内亚									
Ramu	Highlands/Orogen 合 资	1.43	144	1.10	0.11	PAL	AS	2005	3.28
菲律宾									
Nonoc	Impala (南 非) / Philnicor	1.44	158	1.10	0.11	Fe-Ni	FS		4.2
古巴									
Moy Bay	Cubanickel	0.60	60	1.0	0.08	PAL	OP		4.2*
Pinares		2.04	204	1.0	0.09		FS		
San Felipe							FS		3.0
哥伦比亚									
Cerro Mastoso	Billiton/QN1 (英、 澳)					Fe-Ni	OP	1999	2.9*
							EP	2002	4.0
委内瑞拉									
Loma de Niquel	Anglo (南 非) / American					PAL	OP	2002	1.7*

OP 已投产 EP 扩建 FS 详细可行性研究 AS 预可行性研究 \* 已达年产量

因此,红土型镍建厂的投资虽然较大,一般每磅镍年生产能力需 9~11 美元,但由于上述长处,如果工艺合理,管理有素,其每磅镍的生产成本可

低于硫化镍。以澳大利亚最大的镍业公司西部矿业公司(WMC)为例,每磅镍的总成本(包括投资摊销)自 1996 年 3.0 美元降至 2.0 美元(2000

年)。工艺成熟、管理先进的红土型镍矿也可以达到这个水平。特别是近几年红土型镍矿压力酸浸技术项目的详细可行性研究报告,将钴的价值计算在内,每磅镍的生产成本均在1.4美元以下。因此,红土型镍矿开发利用的技术重心已由火法转为湿法的酸浸技术。

## 2 红土型镍矿资源的两种类型——“湿型”和“干型”

随着近几年澳大利亚西部三个红土型镍厂的投资兴建,人们对于红土型镍矿资源的利用性能及其类型又有新的认识,现可分为两类:一类称为“湿型”,主要分布于近赤道地区,如新喀里东尼亚、印尼、菲律宾、巴布亚新几内亚和加勒比海地区;另一类称为“干型”,主要分布于距赤道较远的南半球大陆,以西澳为代表。这两类红土型镍矿资源的性状及采选条件区别如表2所示。

表2 红土型镍矿两种类型比较表

类 型	湿 型	干 型
矿石品位	较高, Ni>1.1% (1.3%~1.5%) Co>0.08% (0.1%±)	较低, Ni 0.8%~1.1% Co 0.05%~0.08%
矿物成分	含粘土较少,易处理	含粘土成分相对较多
原岩	蛇纹石化强烈	蛇纹石化较弱
风化作用	水系发育,风化淋滤强烈	地表水系不发育,“干型” 风化
地 形 及 开采条件	山区地貌为主,开采条件 相对不利	长期准平原化,开采极易

## 3 西澳红土型镍矿开发利用近况

西澳红土型镍矿的开发均为近几年世界镍业发

展的热点,也成为投资者关注的热点。自1999年初起,西澳相继有三个高压酸浸的镍厂开始生产,这三个厂为考斯(Cawse)、布隆(Bulong)和莫林莫林(Murrin Murrin),一期工程均基建完毕,年生产能力0.9~1万t,年设计能力2.8万t镍,总投资额为21.6亿澳元。

### (1) 资源

西澳红土型镍矿资源十分丰富,但直到1996年后才明确成为开发勘探对象。总计探获资源量有1200万t镍金属量,平均含镍0.8%~1%,Co 0.06%~0.08%。这些资源均为西澳东部几个巨型超基性岩带近地表的风化产物,与著名的太古界绿岩带中硫化镍矿和金矿带分布同一区域,基础设施好,天然气管道能源现存;地势平坦,开采条件优越,采矿成本极低。

除西澳外,红土型镍矿资源在东澳亦有分布,产于东澳昆士兰州北部及新南威尔士州中西部,已探获有300万t镍金属量,全澳合计达1500万t镍金属量。此外,西澳硫化镍尚有400万t金属量,硫化镍与红土型镍同产于一个超基性岩带,但并不是在同一矿床内垂向上共生,即并不象铜矿床那样,次生富集带的铜矿下方通常均有原生硫化铜矿。(西澳硫化镍以大而贫称著于世,如凯斯山镍矿(Mt Keith)储量近5亿t矿石量,0.54%Ni,大露采,年采选1000万t矿石量,产36万t精矿,含4.7万t镍。)

西澳三个红土型镍厂的资源、投资、年产量及达产程度见表3。

表3 西澳三个HPAL镍厂项目简况

项目	经营公司	资源矿石量 (亿t)	品位(%)		设计镍厂 年产量(万t)	已投资 (亿澳元)	每磅镍 投资(USD)	至去年10月 累计产量(t)	达产率 (%)
			Ni	Co					
Cawse 考斯	Centaur	4.37	0.78	0.05	I期0.9 II期4.1	3.76	11.37	7000	82
Bulong 布隆	Preston	1.40	1.0	0.08	I期0.9 II期2.0	3.40	10.288100	66	
Murrin Murrin 莫林莫林	Anacanda	3.33	1.0	0.06	I期1.0 II期4.5	14.5	8.80	15000	37

### (2) HPAL 高压酸浸技术

这三个厂采用的基本工艺流程均为高压酸浸HPAL(High Pressure Acid Leach),但后半部流程有所不同。考斯镍厂生产氢氧化镍中间产品,然后再电解生产出金属阴极镍和硫化钴。布隆厂的流程则不经过氢氧化镍中间产品的过程,直接电解生产

镍和钴金属。莫林莫林则与古巴Moy Bay镍厂现场流程相近,并沿用加拿大Sherritt技术,先生产混合的硫化镍/钴中间产品,而后电解精炼生产出金属镍和钴。

现以考斯镍厂为例,简介其流程。给料准备及粗选提高品位(给料+水+絮凝剂flocclant)→

PAL 压力酸浸（加酸和蒸气，在高压容器中进行）→浓缩和中和反应（加石灰、絮凝剂，该流程中和反应后部分物料至尾砂库）→混合氢氧化物沉淀（加镁、石灰、絮凝剂）→镍电解、精炼（加氨、 $\text{CO}_2$ 、蒸气、反应剂、硫化氨和能量）→获产品金属镍（阴极镍）和产品硫化钴沉淀物。

考斯镍厂是三个厂投产以后运行最好的一个，生产流程运行基本顺利，达到了预计的镍浸出量，主要反应剂的用量亦低于设计水平，已生产出合格的镍金属产品，至 2000 年 10 月底已生产出 7000t 金属镍，达到设计能力的 82%。生成镍成本已从 4.10 美元/磅镍降至 1.54 美元/磅镍。试产过程中曾出现不少问题，但并非是致命性的。

### （3）试生产中的问题及其原因

这三个厂前两年试生产过程中设备和流程运行中都不同程度出现一些问题，主要是设备的材料选择不当，以致产生故障；技术设计中净水、循环氨和蒸气等供应能力不足、配套脱节等问题，但以考斯厂为例。具体叙述设备和流程运行中出现的问题及其补救措施。①在高压容器中原使用的钛焊条接缝线上出现裂纹（纠正良好）；②设备出现故障和局部设备材料被溶蚀，原因是反应过程中出现不良条件、管道连接处的失效和一些承压材料选择不当，例如泵、阀门和管道材料。（纠正办法：更换材料）；③高压容器的关闭阀门工作不正常。（替换阀门）；④高压容器中给料搅拌器上出现积泥。（解决办法：控制给料泥浆的成分、调整其成分致使给料泥浆顺利通过高压容器。）⑤用水脱盐设备的规模不足，制约了制造蒸气的发电设备中水的有效供应（弥补办法：减少化学物质的剂量，改进流程及维修过程。长期解决办法：再建一个备用的水脱盐装置，增加经过处理水的储备量。）⑥疏泵的实用功能不足（安装一个更大的疏泵）。⑦氨再淋滤使用的设计规模不足，限制了金属生产过程中规模和产量（弥补办法：减少氨的重复使用线，执行紧缩使用氨的流程。）⑧镍金属产品中锌的含量超过原设计标准。（调整指标，并继续实施调整后的指标）。⑨钴品位高的矿石中含锰量高，致使石灰耗量增大和再循环过程中负重增加。（解决办法：配矿、减少高品位钴矿石的含量比例，保持矿石给料中含 Mn 量小于 3%）。

由于上述这些设备故障和流程中的问题，造成了①试产过程生产成本超支，这些项目的可行性研究、生产成本应为每磅镍 1.4 美元以下、布隆镍厂

去年 10 月份前生产成本从 7.20 美元/磅镍降至 3.10 美元，仍然居高，尚未稳定；②达产时间延长；③因改进材料和设备部件，增添新装置、追加了基建成本。

产生上述设备和流程中问题的原因是：①对于西澳“干型”红土型镍矿中成分复杂性及粘土含量估计不足；②设备材料的选择对其抗压性、抗腐蚀性不够充分；③对西澳水源中含盐度的腐蚀性估计不足；④精炼系统设计结构中供料部分能力不足，无应变余地。此外，这三个厂工业规模的上马之前均未经过小型工业试生产阶段也是一个明显的缺陷或失误。

### 4 红土型镍矿利用发展趋势

尽管西澳这三个 PAL 镍厂设备材料和流程出现这些问题，但并非致命性的，能够予以纠正和补救。这三个项目均已生产出指标合格的产品，成本递减，趋于达产。因此，世界上又有一批新的红土型镍矿 PAL 镍厂的兴建和扩建项目开始着手进行，发展趋势十分明显，可以归纳为：

（1）由于硫化镍可供开发资源的明显减少、世界未来十年镍产量的增加将主要来源于红土型镍矿资源的开发，而红土型镍矿资源开发中，PAL 技术发展趋势大于铁镍技术；

（2）PAL 湿法技术与红土型镍矿的火法冶炼厂的投资成本大体相当，即年生产能力每磅镍 8~12 美元。但是，PAL 技术的镍厂在下一轮兴建或扩建项目中，其基建投资将会明显下降；

（3）PAL 流程的生产成本在一般情况下低于铁镍流程，加上 PAL 方法耗能明显低于铁镍流程。因此，在经济上，PAL 技术方法将显示出其优越性；

（4）由于“湿型”红土矿资源具有品位较高、粘土少、易于处理的优点，与“干型”红土矿资源相比，“湿型”资源的开发项目更具有开发利用的优势。

（5）红土型镍矿的 PAL 技术可在现场生产出中间产品：氢氧化镍或硫镍，由此可以提供现有镍精炼厂的扩产或解决供料不足的问题，这是目前西方许多镍公司所采取的经营方向。这个经营思路值得我国借鉴。

（收稿日期：2001 年 11 月 26 日）

〔作者简介〕 肖振民 教授级高级工程师  
澳大利亚皇家矿业协会高级会员 注册地质师