

印度尼西亚镍矿资源及利用概况

米寰鹏, 张 恒

(中国有色金属建设股份有限公司, 北京 100029)

[摘要] 印度尼西亚镍资源丰富,在储量和产量上均处于世界首位,对世界镍产业的影响也将日益增强。根据官方信息和学者研究,本文综述了印度尼西亚红土镍矿资源的分布、特点以及主要的冶炼工艺,为印度尼西亚镍矿开发和冶炼提供参考。

[关键词] 印度尼西亚; 镍; 红土镍矿; 冶炼

[中图分类号] TF815 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2022)01-0073-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.01.018

0 引言

镍因其优异的延展性、耐腐蚀性、高温性能、抗氧化性等特点,被广泛应用于生产不锈钢、高性能特种合金、镍基喷涂材料以及电池材料^[1]。其中,不锈钢是镍应用的第一大领域,约占全球镍消费的68%、我国镍消费的80%^[2]。

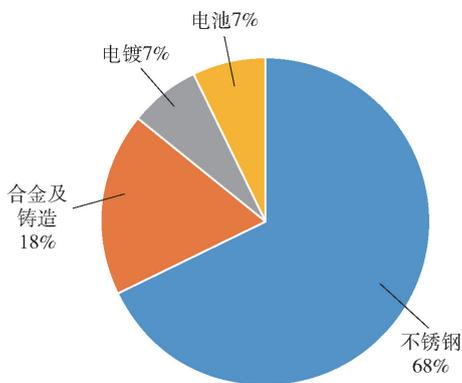


图1 世界镍消费结构

镍元素在地壳中含量约0.018%^[3],资源较为丰富,其中,海底锰结核中储量巨大,约有6.9亿t(镍金属量),但能够开采利用的陆基镍资源储量仅有9400万t,主要分布在印度尼西亚、澳大利亚、巴

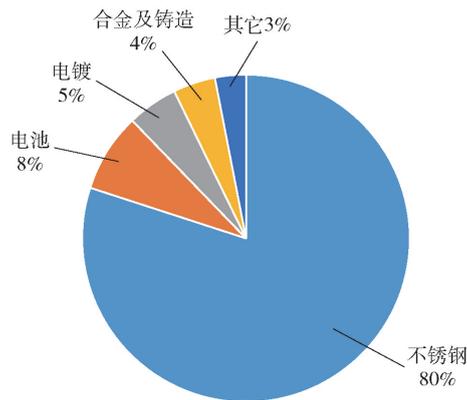


图2 中国镍消费结构

西等国家,2021年全球陆基镍资源储量分布情况如图3所示,印度尼西亚镍资源储量约2100万t,居世界首位^[4]。

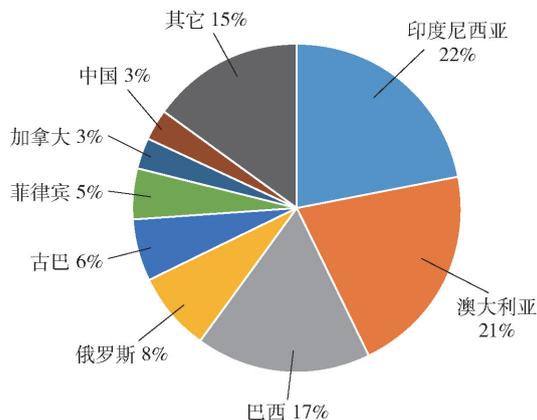


图3 全球陆基镍资源储量分布情况

陆基镍矿主要分为硫化镍矿和氧化镍矿(红土

[收稿日期] 2021-09-01

[作者简介] 米寰鹏(1990—),男,山西平遥人,工程师,硕士,主要从事矿产资源开发及工程建设管理工作。

[引用格式] 米寰鹏,张恒.印度尼西亚镍矿资源及利用概况[J].有色设备,2022,36(1):73-77.

镍矿)。硫化镍矿约占陆基镍资源储量的 40%，主要分布在加拿大、俄罗斯、澳大利亚等国家，硫化镍矿品位较高，成分相对简单，处理工艺也相对成熟，但资源量较少；氧化镍矿约占陆基镍资源储量的 60%，主要分布在赤道南北纬 30 度以内的印度尼西亚、菲律宾、巴西等热带国家^[5]，因矿石中富含 Fe₂O₃ 而显红色，所以又称红土镍矿。印度尼西亚镍矿资源主要为红土镍矿，本文均基于印度尼西亚红土镍矿展开论述。

1 印度尼西亚镍矿资源概况

近年来，印度尼西亚镍矿产量大体呈上升趋势，如图 4 所示。2014 年，由于《矿产和煤炭矿业法》中“全面禁止原矿出口政策”的正式实施，造成 2014 年至 2016 年印度尼西亚镍矿产量下降。2017 年，印度尼西亚政府放宽矿石出口限制，允许以配额制的方式有条件出口，因此 2017 年至 2019 年的镍矿产量逐步增长。2019 年，印度尼西亚政府再次颁发

原矿出口禁令，要求自 2020 年起禁止原矿出口，加之全球新冠肺炎疫情影响，市场需求下降，致使 2020 年印度尼西亚镍矿产量下降约 11%。参考近三年世界主要产镍国的镍矿产量(如图 5 所示)，印度尼西亚镍矿产量一直处于大幅领先水平，2020 年，印度尼西亚镍矿产量已达到全球产量的 27%^[4]。

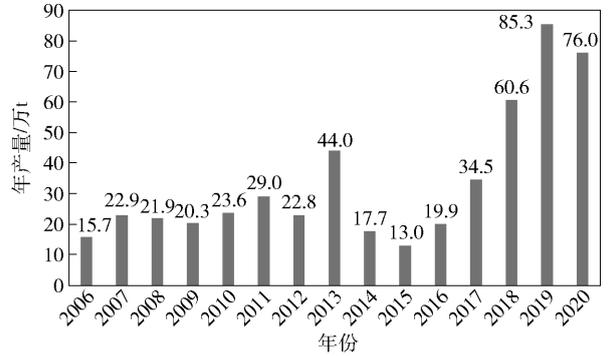


图 4 2006—2020 年印度尼西亚镍矿产量

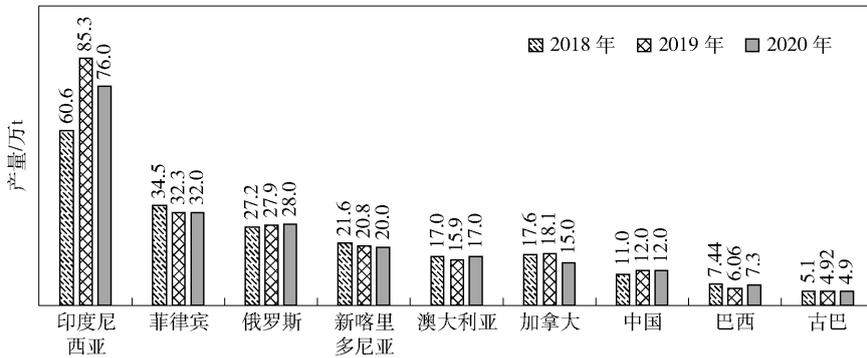


图 5 2018—2020 年世界主要产镍国镍矿产量

1.1 印度尼西亚镍矿分布

印度尼西亚红土镍矿主要分布在苏拉威西岛(Sulawesi)、马鲁卡岛(Maluku)和巴布亚岛(Papua)，另外在加里曼丹岛东部也有少量镍矿(如图 6 所示)。规模较大的镍矿床有苏拉威西岛的 Soroako 镍矿(Ni 品位 1.67%，Ni 金属储量 300 万 t)和 Pomalaa 镍矿(Ni 品位 2.3%~3.3%，Ni 金属储量 126 万 t)，马鲁卡岛的 Halmahera 镍矿(Ni 品位 1.37%，Ni 金属储量 279 万 t)^[6]。目前，印度尼西亚镍矿约 305 座，可以稳定供矿的约 50 座，其中规模较大的有印度尼西亚国有矿业公司 PT Aneka Tambang(Antam)、淡水河谷旗下的 PT Vale Indonesia(Vale)、鹰桥公司(Falconbridge)、必和必拓(BHP

Billiton)、力拓(Rio Tinto)等^[7-9]，在印度尼西亚投资镍矿的中国企业有青山集团、金川集团、新华联等。

1.2 印度尼西亚红土镍矿资源特点

1.2.1 成矿机制

超基性岩(超镁铁岩)是红土镍矿成矿的必备条件之一，在苏拉威西、马鲁卡群岛等镍矿主产区厚大的超基性岩广泛分布，为镍矿生成提供了物质基础。其次，这些岛屿处于太平洋板块和亚欧板块之间，强烈的地壳活动，不仅将地壳深处的镍元素带至地表，而且使岩石破碎，加速了超基性岩的风化、剥蚀和分解。加之这些岛屿位于赤道附近，常年温度在 30℃ 以上，降雨丰富，有利于超基性岩的风化-

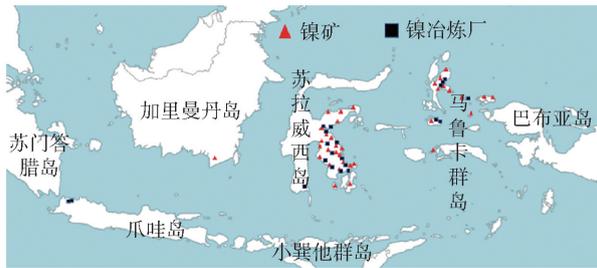


图6 印度尼西亚镍矿、冶炼厂分布图

淋滤-沉积而富集成矿。独特的地理和气候条件,造就了印度尼西亚红土镍矿矿床规模大、埋藏浅、易于露天开采的特点^[10-11]。

1.2.2 垂直分布

红土镍矿垂直分带明显,按化学元素成分和内部地质结构区分,自上而下,依次为红土带——腐岩带——岩带,如图7所示,各带的特征如下^[12-14]:

(1)红土带:上部为紫红色铁帽层,出现大量胶结成粘粒状或团块状的铁氧化物,主要矿物有:褐铁矿、赤铁矿以及少量的次生石英和高岭土等。中下部为疏松多孔状的发育黄色铁质矿层,主要矿物有:针铁矿、褐铁矿以及少量基岩的风化残留碎块。红土带整体上主要由褐铁矿组成,具有高铁低镁的特点。

(2)腐岩带:主要呈现为绿色,上部为粒度较细的风化矿物层,向下混杂的基岩风化-半风化碎块逐渐增多,主要矿物有:蛇纹石等镁铁层状硅酸盐类矿物,沿裂隙或节理多见浸染状翠绿色硅镁镍矿。腐岩带是主要的含镍矿层。

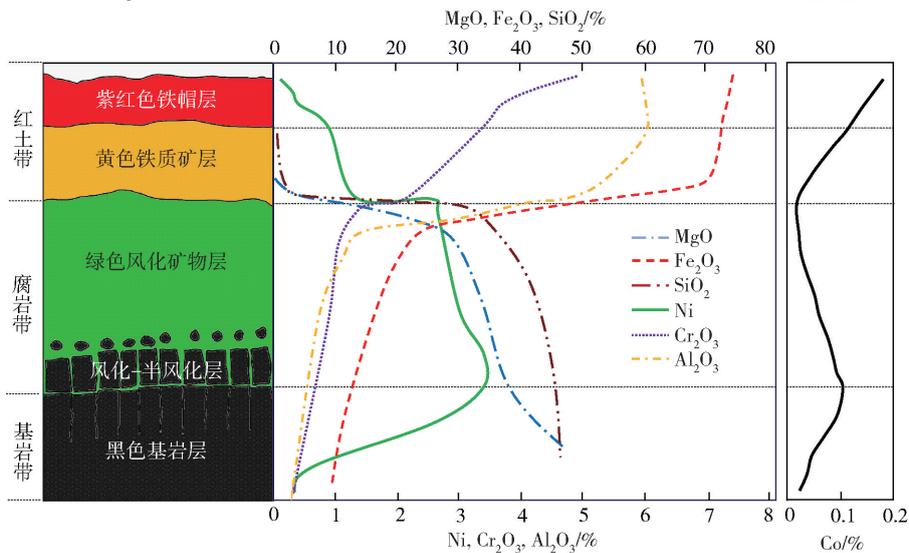


图7 印度尼西亚红土镍矿垂直分布

(3)基岩带:为暗绿色、棕灰色、灰黑色橄榄岩。岩石裂隙和节理中可见少量的浅绿色硅酸镍细脉,主要矿物有橄榄石、蛇纹石。

由垂直分布可知,印度尼西亚红土镍矿的镍品位低,各种化学元素、矿物组成含量差异大,且镍不以独立矿物而以类质同象的形式存在,因此难以利用物理选矿富集,唯有直接冶炼,且冶炼难度也较大。

综上,印度尼西亚红土镍矿具有赋存于地表,易于露天开采的优点,但也存在矿物组成复杂,难以冶炼的缺点。

2 印度尼西亚镍矿利用概况

为增加矿产品的附属价值,印度尼西亚政府颁布了原矿禁止出口法令,受此影响,很多企业被迫在印度尼西亚投资建设镍冶炼项目,尤其是2014年以后,镍冶炼厂逐渐增多,目前已有13家冶炼厂投入使用,预计2023年,印度尼西亚镍冶炼厂将达到30家(如图8所示),镍产能也将达到约189万t,届时印度尼西亚将成为全球最主要的镍生产国。印度尼西亚镍冶炼厂主要分布在镍矿主产区苏拉威西岛和马鲁卡岛,另外在爪哇岛也有四座(两座已建成)冶炼厂^[9,15],镍冶炼厂分布如图6所示。

印度尼西亚镍冶炼工艺分为火法冶炼和湿法冶炼两类。

(1)火法冶炼工艺

红土镍矿火法冶炼工艺包括高炉熔炼工艺、回

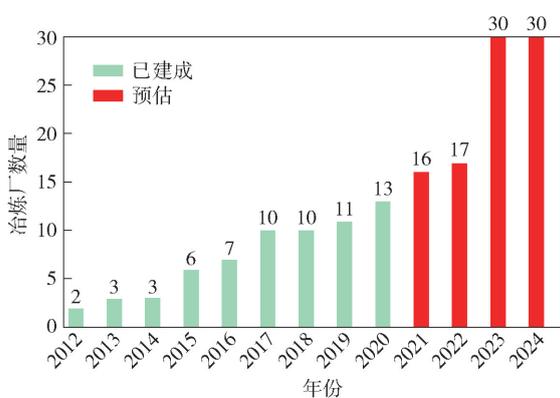


图8 2012—2024年印度尼西亚镍冶炼厂数量

转窑干燥预还原-电炉熔炼(RKEF)工艺、回转窑直接还原法等。火法工艺适于处理镍品位较高的腐岩型红土镍矿。

高炉熔炼工艺是指红土镍矿经破碎、干燥、配料后制成烧结料,然后加焦炭和熔剂进入高炉熔炼,产品为镍品位3%~5%的镍生铁(NPI, Nickel Pig Iron)^[16]。采用高炉熔炼工艺的冶炼企业有万向镍业、新华联等。

RKEF工艺是指红土镍矿于800℃下在回转窑内经干燥脱水和预还原处理,之后投入电炉,在1550~1600℃下与还原剂进行还原熔炼,产出镍含量在8%~12%的镍铁(FeNi),此工艺的镍回收率大于90%^[17]。RKEF工艺具有产品品位高、镍回收率高的优点。力勤矿业、Antam、德龙镍业等采用了RKEF工艺。RKEF镍铁产品经过硫化处理可以生产高冰镍(Nickel Matte),用以制备硫酸镍,Vale即在RKEF的基础上增设硫化过程,制备高冰镍产品^[18]。

(2)湿法冶炼工艺

湿法冶炼工艺包括高压酸浸(HPAL)工艺、还原焙烧-氨浸(Caron)工艺以及常压酸浸工艺等,在印度尼西亚,镍矿的主要湿法处理工艺为高压酸浸工艺。对于红土带中的镁含量较低、镍含量较低的褐铁矿型红土镍矿,主要采用HPAL工艺。

HPAL是指镍矿在高温(约250℃)和高压(约4MPa)的条件下,与H₂SO₄反应,使Ni、Co、Fe、Al等氧化物转化为可溶性的硫酸盐进入溶液,浸出液通过调节PH,选择性除去Fe、Al等杂质,除杂浸出液经中和提纯,加入沉淀剂即可得到纯净的中间产品——混合镍钴氢氧化物沉淀(MHP, Mixed Nickel-

Cobalt Hydroxide Precipitate),MHP再经硫酸反萃制成硫酸镍和硫酸钴。高压酸浸工艺的优势是镍、钴回收率能达到90%以上,且可利用镍品位较低的褐铁矿型红土镍矿^[19]。

近年来,新能源汽车大热,带动了对动力电池的旺盛需求,硫酸镍和硫酸钴作为电池正极三元前驱体(镍钴锰氢氧化物)的重要原料,同样需求旺盛。HPAL工艺产品正可为新能源汽车行业提供优质的电池原料。

宁波力勤矿业(Lygend)与Harita Group在OBI岛上的镍冶炼项目,采用的即是HPAL工艺,该项目将于2021年完工,每年将生产16万t电池级硫酸镍和2万t硫酸钴,将是全球产能最大的红土镍矿湿法项目^[20]。

另外,格林美、Vale也计划采用HPAL工艺建设红土镍矿冶炼项目。宁德时代甚至计划与Antam合作,于2024年在印度尼西亚直接生产电池。

以矿石处理量计,RKEF和高炉熔炼是印度尼西亚镍冶炼的主要工艺,分别占总处理量的53%和36%,但随着市场需求以及政策要求,能够与电池行业相结合的HPAL工艺,必将成为印度尼西亚镍冶炼的发展趋势。

3 结论

(1)印度尼西亚镍矿资源丰富,矿石种类为红土镍矿,具有易开采难分离的特点。

(2)以RKEF法、高炉法为主的火法工艺在印度尼西亚红土镍矿冶炼中占有主导地位。随着新能源产业的发展,以及对低镍品位红土镍矿的利用,HPAL等湿法冶炼工艺也将是印度尼西亚红土镍矿冶炼的趋势。

[参考文献]

- [1] 李建华,程威,肖志海.红土镍矿处理工艺综述[J].湿法冶金,2004(4):191-194.
- [2] 2020年全球及中国镍消费量增长统计及镍消费结构分布分析.立鼎产业研究网[EB/OL].<http://www.leadingir.com/datacenter/view/5951.html>.
- [3] 镍矿.百度百科[EB/OL].<https://baike.baidu.com/item/镍矿/2387624?fr=aladdin>.
- [4] Mineral Commodity Summaries 2021,2020,2019.USGS[EB/OL].
- [5] 潘建等.镍矿资源供需分析及红土镍矿开发利用现状[C].2019年镍产业发展高峰论坛暨APOL年会.2019

- [6] 王庆文. 浅析东南亚地区红土型镍矿地质特征及成矿规律[J]. 吉林地质, 2014, 33(1), 63 – 67.
- [7] Nickel mining in Indonesia, Wikipedia[EB/OL]. https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_mining_in_Indonesia#cite_note-vdent-8.
- [8] 林志峰, 杨建龙, 洪托. 印度尼西亚镍资源投资策略分析[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2015(6): 73 – 76.
- [9] Mineral dan Batubara[EB/OL], <https://geoportal.esdm.go.id/minerba/>.
- [10] 高树起, 刘青. 印度尼西亚红土型镍矿找矿勘查[J]. 内蒙古科技与经济, 2013(14), 41 – 43.
- [11] 徐强, 薛卫冲, 徐素云, 等. 印度尼西亚红土镍矿的生成及找矿勘探[J]. 矿产与地, 2009, 23(1), 73 – 75.
- [12] 付伟, 牛虎杰, 陈远荣, 等. 超基性岩红土风化壳中镍的表生富集规律及矿化结构研究——以印尼苏拉威西岛 Kolonodale 矿区为例[J]. 矿床地质, 2012, 31(2): 229 – 240.
- [13] 杨玉华, 何灿, 张峻源, 等. 印度尼西亚苏拉威西岛-北马露姑群岛红土型镍矿成矿预测[J]. 矿物学报, 2013, 33(4): 619 – 624.
- [14] Gultom T. High pressure acid leaching: a newly introduced technology in Indonesia [C] // The 2019 International Conference on Mining and Environmental Technology, 2019.
- [15] Laporan Kinerja Tahun 2019[B]. 2020, 24.
- [16] 朱德庆, 田宏宇, 潘建, 等. 低品位红土镍矿综合利用现状及进展[J]. 钢铁研究学报, 2020, 32(5): 351 – 362.
- [17] 武兵强, 齐渊洪, 周和敏, 等. 红土镍矿火法冶炼工艺现状及进展[J]. 矿产综合利用, 2020(3): 78 – 83, 93.
- [18] Our Operation. Vale[EB/OL]. <http://www.vale.com/indonesia/>.
- [19] 朱宇平. 红土镍矿湿法冶金工艺综述及进展[J]. 世界有色金属, 2020(18): 5 – 7.
- [20] HPAL [EB/OL] <https://www.hpalnickel.com/home/en>

Overview of Nickel Ore Resources and Utilization in Indonesia

MI Huan-peng, ZHANG Heng

Abstract: Indonesia is rich in nickel resources, ranking first in the world in terms of reserves and production, and its influence on the world's nickel industry will also increase day by day. Based on official information and scholars' research, this paper summarizes the distribution, characteristics and main metallurgical processes of nickel laterite resources in Indonesia, providing a reference for the development and metallurgy of nickel ore in Indonesia.

Key words: Indonesia; nickel; nickel laterite; metallurgy

