

# 印度尼西亚红土型镍矿

何 灿, 肖述刚, 谭木昌

(云南省有色地质三 八队, 个旧 661000)

**摘 要:** 红土型镍矿分布在环太平洋亚热带 - 热带多雨地区。镍矿体产于超基性岩上部的红土风化壳中, 受地形控制明显, 成因类型为红土型硅酸镍氧化矿, 以褐铁矿型和腐岩型为主, 矿石质量和可利用性均较好。

**关键词:** 红土型镍矿; 矿石质量; 成因类型; 印度尼西亚

**中图分类号:** P618.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885(2008)01-020-07

笔者先后在印度尼西亚参与威古岛拉姆拉姆东、西富山, 哈马黑拉岛苏巴印、马布里等四个红土型镍矿勘查项目。以苏巴印镍矿为例, 介绍红土型镍矿的地质特征及开发前景。

## 1 红土型镍矿基本特征

红土型镍矿为地表风化壳型矿床, 为含镍基性 - 超基性岩体的风化 - 淋滤 - 沉积产物。有以下特点:

(1) 矿床分布相对集中。多集中分布在环洋亚热带 - 热带多雨地区, 如: 印度尼西亚、菲律宾、古巴、巴西、澳大利亚、新喀里多尼亚、巴布亚新几内亚等。此外在亚热带 - 热带其它地区也有零星分布, 如缅甸北部达贡山、姆韦当, 我国的元江等。

(2) 矿床规模大。一般多个矿体集中连片分布, 分布面积从几平方千米到几百平方千米, 规模均可达大型或超大型, 蕴藏的镍金属量十几万吨到几百万吨, 甚至可达上千万吨。仅印尼哈马黑拉岛的东支岛上, 已探明的四个大矿区、控制及远景镍金属资源量达一千万吨以上, 如: 安坦公司探明镍金属资源量达 108 万吨 (平均含镍达 2.4 %), 维达湾公司探明和控制镍金属资源量达大型或超大型以上, 哈利达公司探明和控制镍金属资源量约为 15 ~ 20 万吨, 我队苏巴印镍矿区第一阶段探明镍金属资源量达 43 万吨以上, 远景可达 200 万吨以上。

(3) 矿床类型简单。属超基性岩风化淋积矿床, 镍矿体产于超基性岩上部的红土风化壳中。矿体呈似层状面形展布, 分布范围与红土风化壳基本一致, 受地形控制明显。

(4) 矿石类型相对复杂。镍矿体的矿石自然类型以褐铁矿型和腐岩型为主, 工业类型为硅酸镍氧化矿石。矿体中镍主要以类质同象或吸附状态分散在相关矿物中, 分布比较均匀。镍矿体多伴生或共生铁、镁, 矿石中还含铬、锰、钴和钒等元素, 矿石综合利用条件较

收稿日期: 2007-05-10

作者简介: 何灿 (1962~), 男, 云南弥勒人, 工程师, 从事矿产资源勘查开发。

好，为炼优质合金钢用“天然合金矿石”。

(5) 找矿标志明显。大面积超基性岩红土风化壳，是该类矿床最直接、最主要的找矿标志；而有利的地形条件，如高差变化不大的山丘或地形坡度较为平缓的缓坡地段，则有利于镍矿床的形成、发育和保存。

红土型镍矿的成矿特点决定其地质找矿方法和勘查手段相对简单。矿床易于快速评价，勘查成本较低；矿体出露地表适宜大规模露天开采，且基本无废石、废土剥离，开采成本较低；但镍在矿石中的赋存状态又决定不能采用洗矿抛尾办法来提高矿石的镍品位，矿石只能直接冶炼，加上该类型矿床多产于交通欠发达及资源配置相对欠佳地区，矿石的选冶成本则相对较高。

## 2 红土型镍矿地质特征

### 2.1 红土风化壳结构分带

典型的超基性岩红土风化壳存在三个明显的分化带，从上至下为残余红土带 - 腐岩带 - 基岩。残余红土带即通常所说的盖层，由红色褐铁矿组成，以铁高镁低为特征；腐岩带按岩性又可分为三个主要层位：红黄色土状腐岩、黄色黄绿色土块状腐岩和浅黄色至浅灰色块状腐岩；基岩即是形成风化壳带的母岩（图1）。

残余红土带为褐红色腐植土及褐红色、褐黄色粘土，两者为渐变过渡关系，局部夹褐铁矿团块和结核。呈土状、碎块状、蜂窝状。主要矿物有针铁矿、赤铁矿、少量次生石英和高岭土等。化学成分以  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较高为特征， $\text{CaO}$ 、 $\text{MnO}$  和  $\text{Co}$  含量亦相对较高，在次生石英发育地段， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较低， $\text{SiO}_2$  含量相对增高。厚 0 ~ 5m，部分矿区该段缺失或不发育。

腐岩是指化学成分未发生充分改变的基岩（橄榄岩）风化物质，没有体积改变，大多仍保留原岩的结构特征。多为红黄色、

黄色至浅黄绿色，呈土状、碎块状、块状。上部风化程度较高以土状为主，间夹团块状蛇纹石化橄榄石和网格状次生石英碎块，沿裂隙或节理多见黑褐色铁锰质细脉及绿色镍硅化物，局部夹大块弱风化或未风化的橄榄石团块；向下逐渐变为碎块状、块状，岩石的硬度逐渐增加，沿裂隙或节理多见网格状次生石英细脉及绿色镍硅化物薄膜。特征是与残余红土层相比具有较低的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ；与基岩相比则又具有较低的  $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$ ，随着风化程度和深度的

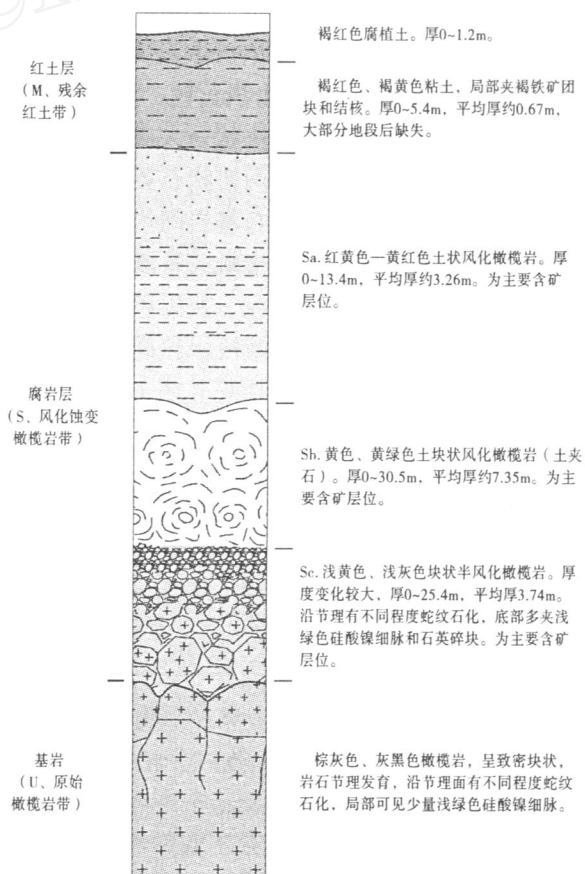


图1 印尼苏巴印镍矿区红土风化壳分带示意图

Fig. 1 Zonation of Laterite Weathering Crust of Subah in Ni Ore field of Indonesia

增加, 这种差别会越来越小。

腐岩带由上至下根据颜色、结构、构造大致可分为三个岩性层:

土状腐岩层 (Sa): 为红黄色 - 黄红色土状风化橄榄岩, 偶夹块状、大块未风化橄榄岩团块 (浮砾)。主要矿物有蛇纹石、橄榄石、少量褐铁矿和针铁矿等。岩石风化程度较高, 多呈粘土状, 松散易碎, 厚 0 ~ 13m, 平均厚约 3 ~ 5m。

土块状腐岩层 (Sb): 为黄色、黄绿色土块状风化橄榄岩, 间夹大块未风化橄榄岩团块和砾石。以仍保留原岩的原始结构和矿物晶体结构为显著特征, 由上至下岩石的硬度逐渐增加, 由土状逐渐变为碎块状、块状。沿节理或裂隙多见网格状次生石英细脉及翠绿色镍硅化物和褐黑色、黑红色锰土和铁质薄膜, 厚 0 ~ 30m, 平均厚约 5 ~ 7m。

块状腐岩层 (Sc): 为浅黄色、浅灰色块状半风化橄榄岩, 多夹黄绿色土块状风化橄榄岩, 由上向下呈碎块状 - 块状 - 大块状逐渐变化。岩石沿节理有不同程度的蛇纹石化, 底部多夹浅绿色硅酸镍细脉和网格状石英细脉或碎块, 厚 0.3 ~ 25m, 平均厚 3 ~ 5m。

腐岩层各层之间及其与基岩间均为渐变过渡关系。而腐岩带与上覆腐植土层或褐红色粘土层之间无明显的分界, 接触关系既可是渐变、也可能是突变。

基岩为暗绿色、棕灰色、灰黑色橄榄岩。致密块状, 岩石节理发育, 沿节理面有不同程度蛇纹石化, 局部可见少量浅绿色硅酸镍细脉。岩石中的主要矿物有橄榄石、蛇纹石、蒙脱石、少量的顽火辉石残余物等 (表 1)。

表 1 苏巴印镍矿区红土风化壳各层主要化学成份表 (%)

Tab. 1 Chemical Analysis of Laterite Weathering Crust of Subuh NiOrefield

岩性及层位	Ni	TFe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnO	Na <sub>2</sub> O
Sa层平均值	1.12	42.11	15.11	0.47	8.61	3.28	0.02	0.76	0.03
Sb层平均值	1.95	27.34	30.01	12.59	2.61	2.24	0.03	0.72	0.04
Sc层平均值	0.97	7.18	39.97	30.68	2.45	0.51	0.21	0.14	0.04
腐岩层平均值	1.43	27.22	27.53	13.07	4.57	2.15	0.075	0.59	0.037
基岩平均值	0.38	5.46	39.45	38.1	0.67	0.38	0.1	0.12	0.041

## 2.2 红土风化壳各层含矿性

红土风化壳各层都有不同程度的镍、钴矿化。从上至下, 镍在残余红土带到腐岩带的转变过程中逐步富集, 在腐岩带的中上部的土状 - 土块状腐岩层中达到最大富集, 且品位会增高到边界品位以上而形成矿体, 少数亦可在较深的腐岩底部才出现最大富集。镍含量与岩石的蚀变、风化程度有关, 在蛇纹石化强烈及硅酸镍细脉发育部位含镍可达工业品位以上; 钴主要在腐岩带的上部土状腐岩层中达到最大富集。

残余红土层 (M): 上部腐殖土段镍、钴含量相对较低, 但与普通的土壤相比又显异常。镍平均品位均在边界品位以下, 下部褐红色、褐黄色粘土段镍含量相对较高, 局部地段含镍可达工业品位以上。一般含镍 0.25 ~ 1.83 %, 平均 0.86 %, 含钴在 0.01 ~ 0.33 %, 平

均 0.07 %。

土状腐岩层 (Sa)：含镍 0.16 ~ 4.77 %，平均 1.31 %，含钴在 0.01 ~ 0.91 %，平均 0.10 %，是主要的镍含矿层位和富钴层位。

土块状腐岩层 (Sb)：含镍 0.01 ~ 7.23 %，平均 1.60 %，含钴在 0.01 ~ 0.71 %，平均 0.05 %，是主要的镍含矿层位。

块状腐岩层 (Sc)：上部蛇纹石化强烈和浅绿色硅酸镍细脉发育地段镍含量相对较高，可达工业品位以上而形成矿体，含镍 0.03 ~ 6.94 %，平均 1.07 %；含钴在 0.01 ~ 0.34 %，平均 0.02 %。也是主要的镍含矿层位。

基岩 (U) 含镍品位在 0.13 ~ 2.02 %，平均 0.37 %，而未风化的原生橄榄岩的镍原始含量约在 0.25 %左右 (表 2, 图 2)。

表 2 印尼苏巴印镍矿区红土风化壳各层及镍矿石矿化统计

Tab. 2 Statistics of Laterite Weathering Crust and NiMetallogenesis in Subahn NiOrefield of Indonesia

层 位	样品数 (件)	占样品数 (%)	Ni ( % )	Co ( % )	TFe ( % )	MgO ( % )
红土风化壳	6 661	-	1.29	0.06	19.16	18.91
残余红土层 (M)	189	2.84	0.86	0.07	35.77	1.67
土状腐岩层 (Sa)	1 375	20.64	1.31	0.1	33.16	6.49
土块状腐岩层 (Sb)	2 934	44.05	1.6	0.05	18.52	19.18
块状腐岩层 (Sc)	1 620	24.32	1.07	0.02	9.77	28.01
基岩 (U)	543	8.15	0.37	0.01	6.12	35.18
镍矿石	3 375	50.7	1.47	0.07	22.03	15.58

2.3 镍矿体地质特征

镍矿体主要产于超基性岩岩体顶部红土风化壳中的风化 - 半风化橄榄岩层 (腐岩层) 中上部，矿体分布范围与红土风化壳一致，矿体边界大致相当于地表红土层和半风化层的分界线。镍矿体面形展布，平面形态复杂，多为似层状、透镜状、条状，在产状、形态和厚度上均受地形及红土风化壳的发育程度控制。地形相对较为平缓的红土风化壳深厚地段，矿体厚度较大且较连续稳定；山脊和坡度较陡，以及冲沟切割较深地段，矿体较薄，连续性相对较差，局部地段甚至基岩出露。

镍矿体按不同边界品位人为圈定。对比其它已知红土型镍矿的矿体边界品位划分，如哈利达公司矿山边界品位为 Ni 0.8 %，缅甸达贡山矿床为 Ni 1.4 %，印尼卫古岛拉姆拉姆东、西富山矿床为 Ni 1 %，菲律宾苏里高矿床为 Ni 0.7 %。印尼苏巴印镍矿区的按 Ni 1 %的边界品位为指标圈定矿体，即含镍在 1 %以上的红土风化层部分即为工业矿体。

由于矿体根据化学分析结果，由含镍大于边界品位从矿化体中人为圈定，且样品按每米一个连续采取，采样时一般不区分红土风化壳中各层的地质变化情况，因此矿体与矿化层之间并无明显截然边界。多数情况下，含镍品位大于边界品位以上的矿体相当于腐岩层的上、

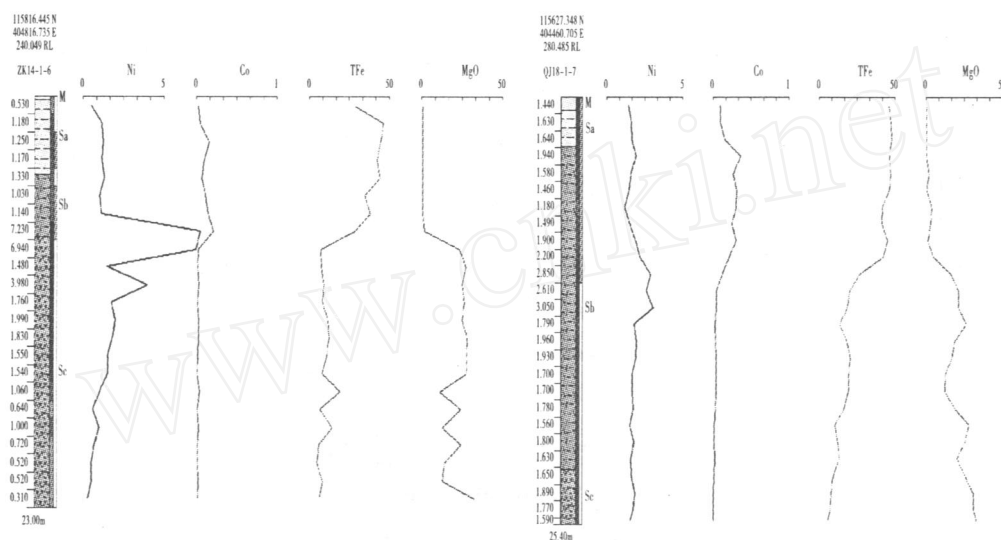


图 2 红土风化壳中各层镍、钴、铁、镁矿化分布情况

Fig. 2 Distribution of Ni, Co, Fe and Mg Metallogenesis in Laterite Weathering Crust

中部，一般腐岩层的顶部界线即为矿体的顶板，但在部分地段矿体向上延伸到残余红土带的褐铁矿化层中或向下延伸到腐岩层的下部，少数情况下矿体包含了整个腐岩层。

矿体内一般不含夹石，局部地段由于风化差异可出现分支。主矿体中上部土状、土块状风化层中局部有含镍小于边界品位的无矿间隔出现，多系风化层中类似于“浮砾”或“漂砾”的半风化或弱风化基岩团块造成，对矿体和矿化的连续性影响不大。

镍矿床埋深不大，一般 0~5m。矿体的盖层包括红土风化壳中的残余红土层及腐岩层顶部含镍小于边界品位的部分地段，部分矿区由于地形剥蚀，矿体可直接出露地表。矿体的底板围岩则多以含镍小于边界品位的块状风化、半风化橄榄岩为主，局部地段为风化至弱风化的蛇纹石化橄榄岩。矿体与顶、底板围岩为渐变过渡关系，矿体的顶、底板均大致平行于地表面。而由于选择性风化作用、超基性岩的红土化作用以及镍在腐岩层中的选择性富集作用的影响，矿体底板较矿体顶板变化要大。

### 3 矿石质量及可利用性

#### 3.1 化学成份变化

由于矿体主要产于红土风化壳中的腐岩层中上部，矿石的化学成分与腐岩层的化学成分非常相似。矿石中  $\text{TFE}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  较腐岩层中的平均值稍高，而  $\text{MgO}$  和  $\text{SiO}_2$  含量则相对较低：由于镍在层状硅酸盐中替代了  $\text{Mg}$ ，矿体中的  $\text{MgO}$  平均含量较超基性母岩低得多；矿石中其他微量元素的含量与红土风化壳各层中无明显差别。

#### 3.2 矿石矿物

矿石矿物也与腐岩层的矿物组成大体一致。由含镍层状硅酸盐组成，按其含量多少依次为蛇纹石、蒙脱石、滑石和绿泥石。此外，还有以风化物形式产出的针铁矿和石英、顽火辉

石及有时成残余矿物形式产出的蛇纹石化橄榄石。矿石中还有数量不等的磁铁矿、铬铁矿、褐铁矿、硬锰矿以及极少量的黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿。

### 3.3 有用元素赋存状态

矿石中有用金属元素主要为镍，伴生钴、铁、铬等。矿石中的镍主要以硅酸镍形式产出。根据矿石物相分析，镍在硅酸镍矿物中平均占 88.9%，其他相中含镍占 8%，硫化镍和硫酸镍中占的比例较小，分别占 1.4%和 1.7%。矿石中含镍较高，但真正构成富镍矿物的数量并不多，大部分镍都不同程度地浸染在蛇纹石、滑石、绿泥石、铁闪石以及少量褐铁矿中。这些富镍的矿物主要为镍蛇纹石、镍绿泥石、镍硬锰矿、少量镍黄铁矿及更少量的六方硫镍矿、黑硫铜镍矿等镍的硫化物。

矿石中钴以吸附形式出现，主要矿物为含锰氧化矿物和锰钴土。锰钴土多分布在土状腐岩层中、土状腐岩层与土块状腐岩层的分界处，呈条带状和壳状赋存在残留的树根上；而在土块状腐岩层中则呈残留衬里状、充填物或镶边状赋存于裂隙或节理中，在断面或断口上表现为黑色斑点。

### 3.4 结构构造

矿石的结构、构造与腐岩层岩石的结构、构造类似。因此矿石中多见次生构造，部分地段及深部矿石仍保留了原岩的结构、构造。矿石的结构为粗中粒结构、假象结构、碎裂结构、交代网格结构；构造为土状、土块状、致密块状、胶状等。由于红土风化壳上部的硅酸盐矿物分解形成的  $\text{SiO}_2$  胶体沿裂隙或节理充填形成含镍绿蛋白石、石髓脉，矿石中还可见蜂窝状、网格状构造。

### 3.5 矿石类型及可利用性

矿石的成因类型为红土型硅酸镍氧化矿石，矿石的自然类型以褐铁矿型和腐岩型为主。褐铁矿型矿石以低镍高铁低镁为特征，含镍一般小于 1.4 % 以下；腐岩型矿石以高镍低铁高镁富硅为特征，含镍一般在 1~2 % 以上。

根据矿体中 Ni 的含量，镍矿石中可以分为贫镍矿石 ( $\text{Ni } 1 \sim 1.4 \%$ ) 和富镍矿石 ( $\text{Ni } > 1.4 \%$ ) 两类，并可以单独圈出 Ni 2 % 以上的特富镍矿体。根据国内现行勘查规范中红土型镍矿石工业技术品级指标，矿石的工业类型按 MgO 的含量分为铁质矿石 ( $\text{MgO } < 10 \%$ )、铁镁质矿石 ( $\text{MgO } 10 \sim 20 \%$ ) 和镁质矿石 ( $\text{MgO } > 20 \%$ ) 三个品级。铁质矿、铁镁质矿和镁质矿三种矿石类型可大致对应土状腐岩层、土块状腐岩层和块状腐岩层的矿体层位。

目前国际上对红土型镍矿的选冶工艺已基本成熟。镍矿体中下部的高镍高硅镁的铁镁质和镁质镍矿石，适合采用火法熔炼工艺生产镍铁产品，也是过去红土镍矿资源中的主要开发对象。而中上部的低镍高铁低镁的铁镁质和铁质镍矿石，以往则多采用湿法提取工艺，最近几年国内对中上部的低镍高铁低镁的褐铁矿含镍红土和铁质镍矿石的火法冶炼取得了重大突破，从冶炼设备上铁高硅低部分可入高炉冶炼，而镍高铁镁低的部分则用矿热炉冶炼，因此红土型镍矿的矿石质量和可利用性均较好。

## 参 考 文 献

- [1] 小博尔德, J. R. 镍 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1977.

- [2] 冶金部情况研究所. 世界镍矿资源概况 [M]. 北京: 冶金工业出版社. 1979.
- [3] 地质部. 1959年全国镍矿专业会议文献汇编 [C]. 北京: 地质出版社. 1960.

## THE NIDEPOSITS OF LATERITE TYPE IN INDONESIA

HE Can, XIAO Shu-gang, TAN Mu-chang

*(Nonferrous Geology Team 308 of Yunnan, Gejiu 661000)*

**Abstract:** The Ni deposits of laterite type are distributed in the circum - Pacific subtropical - tropical rainy regions. The Ni orebodies occur in the laterite weathering crust of the upper part of ultrabasic rocks, which are controlled evidently by landform and belong to the oxidizing deposit of Ni silicate of laterite type in genesis. The main ores belong to limonite type and humus rock type. The ore quality and utilization are good.

**Key Words:** Ni Deposit of Laterite Type; Ore Quality; Genetic Type; Indonesia