

地质·矿床

印度尼西亚卫古岛风化壳型硅酸镍矿床 地质特征与成矿机制

罗太旭

(云南有色地质 308 队, 个旧 661000)

[摘 要]通过对印度尼西亚卫古岛风化壳型硅酸镍矿床的成矿地质条件、矿床地质特征、成矿机制的分析和研究,认为矿床是由于超镁铁岩—橄榄岩在中生代、第三纪、第四纪的热带、亚热带气候条件下,经过风化作用,镍从含镍的硅酸盐矿物中淋滤出来,随地表水向下渗透到风化壳的下部,形成富含镍的次生矿物,具有典型的风化壳型硅酸镍矿床特点。

[关键词]印度尼西亚 卫古岛 风化壳型硅酸镍矿 地质特征 成矿机制

[中图分类号] P618.63 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2008)04-0045-05

卫古岛是印度尼西亚东部伊里安群岛上的一
个小岛,地理位置为东经 $129^{\circ}50'00'' \sim 131^{\circ}15'00''$,南
纬 $0^{\circ}10'00'' \sim 0^{\circ}30'00''$ 。该岛长约 120km,宽约
40km,属于山地地貌,岛上红土型镍矿资源丰富。
2005 年,云南省有色地质 308 队、浙江华光公司和
印尼富域公司合作对该岛红土型硅酸镍矿床进行了
勘查,目前已经完成了 2 处红土型镍矿的勘查,求获
镍金属量* * 万 t。目前该岛已经发现具有开发价
值的镍矿点有 7 处,推测镍金属总量为 70~90 万 t。
文章根据作者长期参加该区野外地质工作和室内研
究的经验,总结了该岛镍矿床的地质特征与成矿机
制,对在该岛乃至印尼其它地方开展类似矿床的找
矿具有重要的理论和实际意义。

1 区域地质概况

该区所处大地构造位置为太平洋板块与印度
(大洋洲)板块聚合部的岛弧带,属菲律宾—新几内
亚的岛弧—海沟系^[4]。卫古岛位于澳大利亚板块
北侧,处于印太海沟岛弧带的东端,呈东西向展布。
晚白垩纪由于澳大利亚板块向北俯冲、挤压,岛弧式
造山作用在该区域表现较为突出,导致卫古岛一带,
构造岩浆活动十分强烈,出现了大面积的基性、超基
性岩体,整个卫古岛橄榄岩分布的面积达 600km^2 ,
为该区风化型硅酸镍矿床的形成奠定了充分的物质
基础(图 1)。

该区地处赤道附近,气候炎热湿润,雨量充足,

生物活动力强,非常有利于化学风化矿床的形成,加
之岛上大面积的超基性橄榄岩体的分布,为该区域
内形成多个风化壳红土型硅酸镍矿床提供了前提条
件。

2 矿区地质特征

2.1 地层岩性

区内地层主要出露中生代到新生代各时期浅海
到深海沉积的砂岩和灰岩、火山岩等。各岩性组地
质特征从新到老如下^[1]。

Qa 河流及海水冲积物——主要为泥、砂及砾
石,未固结,分布于河流的河漫滩、海滩,厚度 6m。

Qc 多成分砾岩——来源于古老岩石、由硅质
及碳质胶结,局部夹煤层,厚约 1~3m;总厚度约
50m,属于河流沉积环境。

Ql 礁灰岩——主要为在灰色灰岩,局部可见孔
穴构造。由珊瑚和贝壳碎屑,形成海岸台地和生物
礁。厚度近 75m。

PUR I 组——灰白色灰岩,块状产出,局部层状,
属于浅海沉积环境,厚度超过 400m。

YEBe 组——长石砂岩与黄色泥灰岩互层,脆
性,含大量小孔虫。开放浅海沉积环境,厚度约
150m。

卫古组——灰岩与砂质灰岩和泥灰岩互层,脆
性,含大量大孔虫。浅海沉积环境,估计厚度约
700m。

[收稿日期] 2006-07-24; [修订日期] 2007-04-06。

[第一作者简介] 罗太旭(1978 年—),男,2003 年毕业于河北地质学院,获学士学位,工程师,现主要从事矿产勘查与找矿工作。

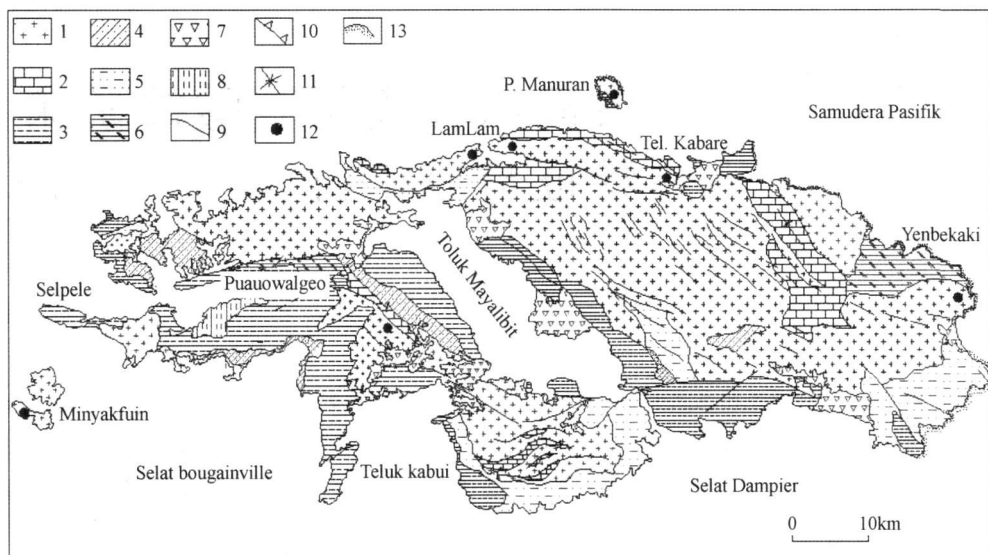


图 1 印度尼西亚卫古岛镍矿区区域地质简图

1—超基性岩；2—LAM LAM 组粉砂岩、砂岩和多源碎屑角砾岩；3—卫古组灰岩、砂质灰岩和泥灰岩互层；4—火成岩—熔岩、角砾岩和凝灰岩；5—RUMA I组粉砂质砂岩、黏土质砂岩和凝灰岩互层；6—TAUN JUNG ROMAS 组粉砂岩、杂砂岩、页岩和燧石；7—第四系河流冲积物；8—PUR I组灰岩；9—断裂；10—逆冲断层；11—向斜构造；12—镍矿点；13—沙滩

RUMA I组——粉砂质砂岩、黏土质砂岩和凝灰岩互层，部分砂岩和砾岩夹层，形成浊积层，含火山成分。开放浅海沉积环境，厚度 600~925m。

火山岩——主要为熔岩、角砾岩和凝灰岩。熔岩具枕状构造，白色，细粒，致密，出露在 Ruma I 组浊积层中，整合覆盖在 Lam lam 组地层上，厚度约 450m。分布于 Mayalibit 湾东部，最上部达到了 Rabia is 河。为普通角闪石安山岩。在该火山岩中，局部有闪长岩、辉长岩、辉绿岩和玄武岩岩墙或岩颈残余。

LAM LAM 组——粉砂岩、砂岩和多源碎屑角砾岩。多源碎屑角砾岩位于下部，含大量的侏罗纪碎屑，年代为始新世熔岩流沉积。厚度约 750m。

TAUN JUNG ROMAS 组——粉砂岩、杂砂岩、页岩和燧石，破碎及角砾状，含晚侏罗纪化石，时代可能到早白垩纪。深海沉积环境，厚度 400m。

2.2 构造及构造活动

卫古岛构造特征在航空影像上主要为东西向展布的线性构造，北西向和北东向的构造也相对发育。在岛的中部，其构造延伸方向被与 Mayalibit 湾平行的北西—南东走向的线性构造切割。线性构造的形成与逆断层面有着密切的关系。逆断层赋存于晚侏罗纪深海沉积物上面。卫古岛东部中的向斜表明，Tanjung Bomas 地层已发生了褶皱。

区内的构造始于晚侏罗纪时期太平洋形成初

期，太平洋形成的同时产生了深海沉积环境，其间聚积了 TANJUNG BOMAS 地层的深海沉积物。在大量的转换断层形成的过程中，产生了一套熔岩流，其形成了 LAM LAM 地层岩屑，这个过程一直持续到了晚第三纪。晚白垩纪，澳大利亚板块向北运动，产生了以来源于上俯冲带中的蛇绿岩为基底的岛弧。这种构造活动形成了部分深积于海平面下的 RUMA I 地层，在始新世和中新世达到了最强烈。在岛弧形成后，从是新世到晚新世，卫古地层围绕着岛屿不断发展。卫古地层发展中，从始新世到上新世，PUR I 地层中的碎屑灰岩不断受到侵蚀。YEBEN 地层中含有石英碎块，这些石英碎块可能来源于澳大利亚板块南部。地层（构造）的成长中可能深入到了岛的西南部中的灰岩沉积物中。侵蚀活动发生于岛中的抬升活动之后，从而形成了冲积沉积物和许多地方的珊瑚灰岩。

2.3 岩浆岩特征

超基性岩主要分布于卫古岛的中北部，岩性主要有橄榄岩 (Du)、方辉橄榄岩 (Hz)、辉石岩 (Pyr)、蛇纹岩 (S)，在超基性岩中，后期岩岩墙或岩脉发育。

3 矿床(带)特征

3.1 含矿层位及岩性特征

该区风化壳型硅酸镍矿床的形成与超基性岩有

关,产于超基性岩体顶部的风化壳中,超基性岩是红土型硅酸镍矿的成矿母岩和矿体的直接载体。

岩性主要由蛇纹石化的橄榄岩、方辉橄榄岩、辉石岩、蛇纹岩组成,超基性岩通常都有不同程度的蛇纹石化。未风化或弱风化的新鲜超基性岩仅出露于地表边缘,大部分超基性岩石地段显示有褐红色、紫红色黏土。在风化壳型硅酸镍矿产出区,地表多为铁帽或铁质黏土,矿化体与围岩界线清晰,受地形和风化冲刷的影响,界线大多呈锯齿状、犬齿交错。矿体主要产于蛇纹石化橄榄岩、方辉橄榄岩的完全风化带中,由于矿(化)体顶部含铁较高(铁帽),地表植物难以生长,总体比较荒凉,仅在山沟和较凹的地段生长着不太高的灌木丛。

通过研究,在超基性岩(基岩)上方风化壳内存在三个明显的分化带(图 2),从上到下分别为残余红土带(A)、蚀变橄榄岩带和镍富集带(B),原始橄榄岩带(C)。

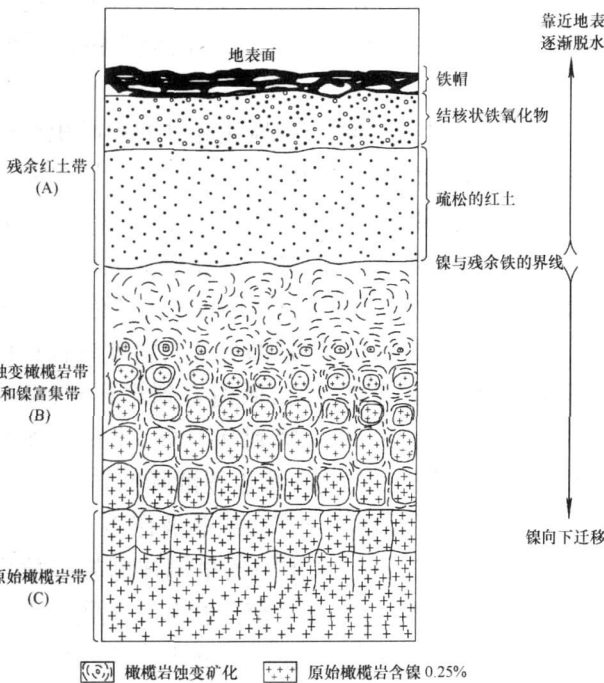


图 2 卫古岛红土型硅酸镍矿床典型剖面图
(据 chetelat 1947 略改)

由上至下各带的地质矿化特征如下:

I 残余红土带

在残余红土带中又包括两个不同的矿化层:

1) 褐铁矿化层: 即铁帽与结核状铁氧化物层,也称铁质层。此层中上部由褐色、褐红色蜂窝状、块状、皮壳状、胶状褐铁矿团块组成,块径一般在 3~5cm 之间,最大 90cm,下部见结核状铁质氧化物。主要矿物有针铁矿、赤铁矿、少量次生石英和高岭土

等。厚度一般为 0~3m,平均厚 1.11m,最厚达 4m。该层与下部的红土层多数呈渐变过渡,含镍 0.464%~1.68%,平均含镍为 1.03%。

2) 疏松红土层: 由紫红色疏松黏土组成,其性脆呈土状,该层由强烈的完全风化的橄榄岩形成。主要矿物有蛇纹石、橄榄石及少量的褐铁矿和针铁矿等,厚度一般为 1~6m,平均厚 3.60m,最厚达 10.4m。与上覆的褐铁矿层及下伏的硅镁镍矿层之间的界线可是渐变或突变的。该层含镍多在 0.566%~2.58% 之间,平均含镍为 1.43%。

II 蚀变橄榄岩带和镍富集带

又称硅镁镍矿层。此带常由黄绿色半风化、弱风化的土块状、碎块状、块状蛇纹石化橄榄岩组成。上部风化程度较高以土块状为主,间夹团块状蛇纹石化橄榄石,沿裂隙或节理多见翠绿色镍硅化物,向下逐渐变为碎块状、块状,岩石的硬度逐渐增加,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铁质薄膜,为主要的含矿层位。该层厚度一般为 2~6m,最厚大于 17.5m。与上覆的黏土层及下伏的基岩之间的过渡特征较为明显,为主要的含矿层位。该层含镍为 0.305%~3.32%,平均含镍为 1.69%。

III 原始橄榄岩带

即基岩层。此次勘查有少部分工程的深部揭露到原生硬质超基性岩——橄榄岩,主要由褐色、暗绿色、灰绿色块状弱蛇纹石化橄榄岩组成。岩石中的主要矿物有蛇纹石、蒙脱石、少量的顽辉石残余物、橄榄石等。该层含镍一般在 0.16%~0.24% 之间。

从以上分带可知,卫古岛镍矿的风化壳各层中均有不同程度的镍矿化,在从褐铁矿化层到红土层,再到硅镁岩层的转变过程中,镍逐步富集,硅镁层一般含镍大于 1.4%,为富镍矿层位。部分地段因硅镁层缺失,形成红土层直接覆盖在基岩层上。而硅镁镍矿层在风化壳边缘局部地段可出露地表。

3.2 矿体的产状、形态及分布特征

矿化区几乎被紫红色、暗红色的铁质粘土层覆盖。矿化区和非矿化区在土壤和植被等方面反差较大。矿化区尽管风化层较厚,但因铁质含量高,植被不发育,仅有低短稀疏的灌木。而非矿化区尽管风化壳较薄,但热带雨林相当发育。

矿体主要分布于山脊的平缓地带,其产状、形态和厚度均受地形控制。总体上,山脊较为平缓,矿体厚度较大,也较为稳定。而山坡则坡度变化较大,冲沟较为发育,矿体厚度也随之变化,因此,矿体的平

面形态较为复杂。

3.3 矿石矿物及围岩蚀变

矿石的结构主要为粗中粒结构、假象结构、碎裂结构、交代网格结构等。其矿石构造常见土状、土块状、致密块状及胶状构造。矿体由风化壳上部含镍大于 1.0% 的铁质矿石与下部含镍大于 1.0% 的硅镁质矿石组成, 矿石的结构、构造较为复杂, 且部分地段及深部矿石仍保留了原岩的结构、构造。

矿石的矿物成分与硅镁岩层的矿物成分大体一致。主要由含镍层状硅酸盐组成, 主要矿物有蛇纹石、蒙脱石、滑石和绿泥石等。此外, 还有以风化产物形式产出的针铁矿和石英及以残余矿物形式产出的蛇纹石化橄榄石。

矿石的化学成分主要有 Ni 及 Fe₂O₃、SiO₂、MgO、Al₂O₃、CaO、MnO、Cr₂O₃ 等。矿石中有用金属元素主要为镍、钴、铬、铁等, 镍元素主要以类质同象和吸附方式存在于硅酸盐及铁矿物中。矿石含铁一般为 4.63% ~ 57.87%, 平均含铁 35.94%, 铁主要以褐铁矿的形式出现, 主要分布于上部褐铁矿化层和红土层中。钴 0.01% ~ 1.24%, 平均含钴 0.116%, 主要以氧化钴或吸附态的形式存在于矿石中, 大部分分布在红土层中, 少量则分布在红土层下部的硅镁层中。根据业主要求, 对区内矿石还进行了 P、TSn、As、Cr、Pb、Fe、S、Zn、SiO₂ 元素组合分析 (表 1)。

表 1 矿石组合分析元素含量表

组合样数 (个)	元素	含量 (元素 /10 ⁻⁶)			备注
		最高	最低	平均	
27	P	< 10.0	< 10.0	< 10.0	
	As	35.7	16.8	22.4	
	Pb	82.0	10.0	14.5	
	TSn	71.8	< 10.0	4.5	
	Fe	52.46	9.47	32.3	含量单位: %
	S	0.240	0.029	0.078	含量单位: %
	Cr	2.61	0.29	1.60	含量单位: %
	Zn	526	141	365.3	
	SiO ₂	35.98	5.38	19.91	含量单位: %

测试单位: 云南有色地质 308 队测试公司, 2006。

围岩蚀变有: 褐铁矿化、蛇纹石化、绿泥石化、硅化、镍绿泥石化等。与成矿关系较为密切的是褐铁矿化、蛇纹石化、镍绿泥石化。

4 成矿机理分析

镍属于亲铁元素, 在地球中的含量仅次于硅、氧、铁、镁, 居第 5 位。在地核中含镍最高, 是天然的镍铁合金。在地壳中铁镁质岩石含镍高于硅铝质岩

石, 例如橄榄岩含镍为花岗岩的 1000 倍, 辉长岩含镍为花岗岩的 80 倍^[9]。

目前已知含镍矿物约 50 余种。其中硫化物, 如镍黄铁矿、紫硫镍铁矿等游离硫化镍形态存在, 有相当一部分镍以类质同象赋存于磁黄铁矿中。而氧化镍矿中, 镍红土矿含铁高, 含硅镁低, 含镍为 1% ~ 2%; 硅酸镍所含铁低, 含硅镁高, 含镍为 1.6% ~ 4.0%。目前, 氧化镍矿的开发利用是以镍红土矿为主, 它是由超基性岩风化发展而成的, 镍主要以镍褐铁矿 (很少结晶到不结晶的氧化铁) 形式存在。

Ni²⁺ 具强烈亲硫性。在岩浆结晶早期, 在镍含量一定的前提下, 镍在岩石中的富集程度取决于硫的逸度。当有足够的硫时, 镍与硫及似硫物 (砷、锑) 形成含镍硫化物, 在硅酸矿物结晶前分离出来, 形成镍的硫 (或砷) 化物 (如磁黄铁矿、镍黄铁矿、红砷镍矿)。通常所谓的镁硅镍矿 (即硅酸镍矿) 是从蛇纹石到类似粘土的水蛇纹石与皂石等镍矿物的一系列混合物的总称, 在氧化作用条件下, 部分镁被镍置换。氧化镍和硫化镍一样, 现在已成为镍的重要来源。

该区矿床类型为红土型风化壳硅酸镍淋积型矿床, 主要由超基性岩 - 橄榄岩风化而成。与在中生代、第三纪、第四纪的热带、亚热带气候条件下形成的蛇纹岩风化淋积作用有关。镍在超基性岩内是以类质同象混入物的形式代替镁而进入硅酸盐矿物中, 主要是进入橄榄岩晶格, 部分进入斜方辉石和角闪石晶格, 因而由纯橄榄岩、橄榄岩到辉石岩, 镍的含量逐渐降低, 由 0.24% 降到 0.16%, 由铁质蛇纹岩到铁镁质蛇纹岩, 镍的含量也逐渐降低。

橄榄石和辉石在风化作用或热液作用下转变为蛇纹石, 而在蛇纹石分解作用的早期镍即被释放出来, 主要呈重碳酸盐, 少量呈硫酸盐和氢氧化镍溶胶进入溶液; 随后从风化壳上部逐渐迁移到风化壳下部, 以次生镍矿物和次生含镍矿物再沉淀下来, 并导致镍的富集, 其形成可分为两个阶段。

第一阶段: 在富含二氧化碳和腐植酸的地下水作用下, 介质呈酸性反应, 橄榄石等矿物分解, 铁、镁、镍进入溶液, 而硅则形成二氧化硅胶体。因为铁形成氧化物后很稳定, 保留在原地。

第二阶段: 由于风化作用继续发展, 介质仍为酸性溶液, 更多的镁、镍、硅进入溶液, 并随溶液向下渗透到地下水带, 由于中和反应, 便呈含水硅酸盐沉淀, 或镍离子置换铁、镁离子, 形成硅酸盐和含镍硅酸盐矿物 (如硅镁镍矿、镍铁绿泥石、暗镍蛇纹石、

含镍绿高岭石) 沉淀。由于镍的溶解度比镁小, 因此, 沉淀的 Ni/Mg 高于溶液中的 Ni/Mg 比值, 于是形成了镍的富集, 达到含镍 $\geq 1.4\%$ 的矿石。

致谢: 在写作过程中得到了 308 队高俊同志的指导, 提出了许多宝贵意见, 在此表示衷心的感谢!

[参考文献]

[1] 印度尼西亚: A M NING YEAR BOOK, 1981.
[2] 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所. 国外主要有色金属矿产 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987
[3] 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 矿床学 [M]. 北京: 地质出版社, 1985
[4] 张文佑. 断块构造导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984
[5] 刘庆成, 李洪元. 红土型镍矿项目的经济性探讨 [J]. 世界有色金属, 2006 (6). 69- 70
[6] 王恭敏. 镍资源要走可持续发展的道路 [J]. 有色金属再生与

利用, 2005, (2). 13- 15
[7] 林 兰. 印度尼西亚的镍矿资源及其处理 [J]. 有色金属, 1979, (06), 10- 13
[8] 陈淑芳. 全球大型镍矿生产现状分析 [J]. 中国金属通报, 2005, (15) . P.
[9] 陈浩疏, 吴水波, 傅德彬. 镍矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1993, (5). 22- 57.
[10] 戴自希. 我国周边国家矿产资源的分布和潜力 [J]. 国土资源情报, 2001 (11).
[12] 黄宗理, 张良弼. 地球科学大词典 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
[13] 骆华宝. 中国主要含镍岩体特征及其成因 [J]. 岩石矿物学杂志 . 1993. 12 312- 324
[14] Buchanan D, Nickel London: Institute of Mining and Metallurgy 1982 25- 30

GEOLOGY AND ORE- FORMING MECHANISM OF WEATHERING CRUST- TYPE NICKELIFEROUS SILICATE DEPOSIT AT WAIGEO, INDONESIA

LUO Tai- xu

(No. 308 Geological Team, Yunnan Bureau of Nonferrous Geology, Gejiu 661000)

Abstract Based on ore- forming geological condition, ore geology, metallogenetic mechanism of weathering crust- type nickeliferous silicate deposit at Waigeo, Indonesia, it is considered that the deposit was formed by ultramafite- peridotite under tropical and sub- tropical weather in the Mesozoic Tertiary- Quaternary. Through weathering, nickel was leached from nickeliferous silicate, permeated into lower part of crust of weathering by surface water and formed nickel- rich secondary minerals. The deposit has characters of typical weathering crust- type nickeliferous silicate deposit.

Key words weathering crust- type nickeliferous silicate deposit; geological feature; ore- forming mechanism, Waigeo, Indonesia