

超基性岩红土风化壳的含矿性分析与 快速找矿勘探方法

高 俊, 彭留伟, 刘传高

云南省有色地质局三〇八队, 云南个旧 661000

摘 要: 红土型镍矿是超基性岩受风化作用的产物, 而矿体内因残留有原超基性岩的副矿物——铬铁矿、钛铬铁矿、钒钛铁矿、钛铁矿等, 以及风化作用形成的赤铁矿、褐铁矿、硅酸镍矿、含钴的锂硬锰矿、钾硬锰矿等, 使得矿石成为非常特征的富铁、铬、锰、镍、钴、钒“天然合金矿石”。更因其矿床规模巨大, 埋藏浅, 易于勘探与露天开采, 已逐渐被规模化开发利用, 成为重要的镍原料开采对象。本文以印尼北科纳威地区的矿床为例, 试图对该类矿床的形成机理与找矿勘探方法作一些分析与总结。

关键词: 找矿勘探方法; 含镍风化壳; 红土型镍矿; 超基性岩

中图分类号: P618.2; P611 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.35

Ore Potential Analysis and Rapid Prospecting and Exploration Methods for Laterite Weathering Crust of Ultrabasic Rocks

GAO Jun, PENG Liu-wei, LIU Chuan-gao

No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Gejiu, Yunnan 661000

Abstract: The lateritic nickel deposit is the product of the weathering of ultrabasic rocks. In the ore body, there exist relict accessory minerals of the original ultrabasic rocks, such as chromite, titanochromite, vanadic ilmenite, and ilmenite, whereas weathering has formed minerals like hematite, limonite, nickel silicate, Co-bearing lithiophorite, and potash psilomelane. All these minerals have caused the ores to become vary characteristic “natural alloy ores” with abundant Fe, Cr, Ni, Co and V. In addition, as the ore deposits are characterized by large size, shallow burial and easy exploration and opencasting, they have been gradually explored and utilized in large scale and have become the important exploitation objects for nickel materials. Exemplified by nickel deposits in Konawe area of Indonesia, this paper has tentatively made an analysis and summarization of the formation mechanism and prospecting methods for this kind of ore deposits.

Key words: prospecting and exploration methods; Ni-bearing weathering crust; lateritic nickel deposit; ultrabasic rock

由于气候原因, 大多数红土镍矿床多分布在南、北回归线之间, 少数分布在欧洲的地中海之北岸, 且以亚洲的菲律宾、缅甸、印度尼西亚、巴布亚新几内亚, 拉丁美洲的古巴、巴西、危地马拉、多米尼加、波多黎各、哥伦比亚、委内瑞拉, 大洋洲的新喀里多尼亚及澳大利亚东部等赤道与近赤道国家集中分布为特征, 并形成两个重要的红土型镍矿成矿带, 即: 环西太平洋成矿带与加勒比成矿带。

而其中环西太平洋成矿带的菲律宾、印度尼西亚和新喀里多尼亚三个国家的储量总和就占约全球资源的一半以上, 是全球最大的红土镍矿集中区(图 1)。

从矿床类型来看, 世界红土镍矿主要有两种类型。一种是风化残余-残积矿床, 包括搬运再沉积矿床, 这类矿床主要分布在欧洲东南部的巴尔干半岛及非洲中部一带, 以前南斯拉夫的格拉维塞(Glavica)硅酸镍矿床、希腊的拉雷姆纳(Larymna)铁

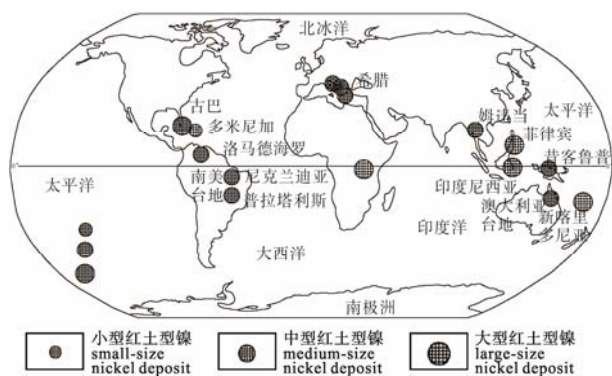


图 1 全球红土型镍矿床分布简图

Fig. 1 Simplified map showing distribution of lateritic nickel deposits in the world

镍矿床和布隆迪的穆桑加堤(Musongati)红土型镍矿为代表。另一种是风化淋积型硅酸镍矿床,他是红土镍矿中最典型最重要的一种类型,在亚洲及拉丁美洲有大量分布,以环西太平洋成矿带和加勒比成矿带上分布的大量矿床为代表,其中又以印度尼西亚及新喀里多尼亚的这类矿床最为特征。在印度尼西亚,最近几年红土镍矿的勘查找矿取得重大进展,使苏拉威西岛东部成为印尼红土型镍矿最重要的集中区之一(付伟等, 2010), 估计红土镍金属资源远景储量大于 1 亿吨,如在苏拉威西岛东部的北科纳威地区, 2009 年, 云南省有色地质局 308 队仅在约 40 km² 范围内就探获红土镍经济储量镍金属达 500 万吨, 而这个地区超基性岩的分布面积达上万 km²。

与硫化镍矿床不同的是, 这些红土镍矿床, 大多产于大洋蛇绿岩套底部的蛇纹石化橄榄岩之上, 或少量产于造山区的阿尔卑斯型岩体表面, 矿石为蛇纹石化橄榄岩遭受化学风化作用而形成, 主要成矿于新生代第三纪。

1 含镍风化壳形成的基础条件

1.1 基岩条件

大多数具有工业意义的红土型镍矿床主要发育于橄榄岩基岩之上, 其他岩石, 即使是基性岩也很难形成红土型镍矿床。而能够形成红土型镍矿的基岩, 主要为缺少石英的纯橄榄岩或蛇纹岩, 因为此类岩石本身含 Ni、Co、Fe、Mn 等成矿元素较高, 矿质来源丰富, 加之橄榄岩矿物组合属不稳定的可溶性矿物, 容易受到风化作用发生红土化, 使得含镍残余物质经表生作用达到富集, 其他含长英质较多的岩石则具有较强的抗风化能力, 不易发生红土化。

红土镍矿的原生岩石产出类型主要有两种, 一种是中、新生代造山活动带的逆冲蛇绿岩套蚀变蛇

纹岩, 这些大洋壳岩石多数是在晚中生代至早第三纪发生侵位, 而其中的超铁镁质岩石已蚀变为蛇纹岩, 这种产出于板块拼接区岛弧带的大洋蛇绿岩套, 以节理、裂隙非常发育、不含硫化物为特征, 由于多分布在热带及亚热带地区, 雨水充足而排水良好, 所以最容易形成淋积硅酸镍红土型镍矿, 这就是为什么有工业意义的大型、超大型红土型镍矿床多集中分布在古巴、巴西、新喀里多尼亚、印度尼西亚、菲律宾、澳大利亚东北部等一些热带、亚热带国家的主要原因; 另一种是前寒武纪地盾区内的阿尔卑斯型绿岩带超铁镁质岩集中区, 如欧洲东南部, 非洲中部及美洲的巴西东南部的红土镍矿床, 尽管这类岩石(橄榄岩-辉长岩杂岩)也发生红土化, 但能形成风化壳的机率要小得多, 其矿床规模也比大洋蛇绿岩套之上形成的要小得多。

基岩的蚀变作用与红土含矿性关系密切, 中等强度的蛇纹石化有利于高品位硅镁镍矿床的发育, 未蚀变或过度蛇纹石化均不利于矿床发育。

1.2 气候、环境条件

气候的因素是导致超基性岩遭受风化的重要原因之一, 炎热、多雨的气候条件, 有利于岩石中的矿物发生分解与充分氧化。热带和亚热带的湿润炎热地区, 气温高, 雨量充足, 生物活动力强, 岩石往往发生强烈的化学风化作用。根据实验, 温度增加 10°C 水解反应速度能增加 2~2.5 倍。这对矿物的分解、元素的迁移起着非常重要的作用, 并能促使化学反应的平衡系统向产生新的物质方向进行, 而一般热带雨林气候存在着丰雨期与少雨的季节变化, 这种干湿交替的气候变化条件, 可促使超基性岩中的矿物得到较为彻底的分解与氧化, 从而形成很深的红土风化壳。

而在一些纬度较高的地区, 如新西兰及南极边缘, 尽管超基性岩分布相当广泛, 但由于不具备有利的气候条件, 因此, 红土镍矿不发育。

1.3 地貌条件

高差不大的山区、丘陵地形对风化矿床的形成最为有利。由于坡度平缓, 地下水位高, 植物繁茂, 化学风化和生物风化作用强烈, 并且风化产物能大量残留原地, 因此, 低山平台、山前丘陵、圆滑的山脊地貌有利于风化物堆积, 而高山、沟谷地貌不利于形成风化壳。

1.4 水文地质条件

由于洋壳型超基性岩本身就具有一定的孔隙率和大量的裂隙度, 非常容易吸收地表水, 并使其稳定而缓慢地往下渗透, 因此, 超基性岩本身最易于

发生化学风化。而红土镍矿的形成是由地表往下逐渐发展的,直到潜水面附近风化作用才停止。若潜水面缓慢下降,则风化作用的前锋界面也相应下降,因而能够形成富厚的风化壳。相反,若潜水面上升,则风化壳停止发展,并可被以后的物理风化剥蚀殆尽。

1.5 地质构造条件

构造作用对风化矿床的形成与保存起着重要作用,稳定的大地构造环境可促成厚大风化壳的形成,更使其得以保留。区域性的断层带控制着矿床的发育空间与展布形态,侵蚀基准面决定风化壳的最终厚度,而地壳的垂直升降运动将引起该基准面的变化,造成某一地带的相对上升,另一地带的相对下降,并影响到地下水面的稳定性。长期稳定的地下水面有利于风化壳形成明显的分带,而地下水面的变化将造成各带界面的改变。

基岩中发育良好的断裂、裂隙、节理系统,一方面使超基性岩更容易遭受侵蚀发生风化,促进可渗透带的持续扩张,使岩石中的可溶性矿物得到充分分解,一方面又为风化溶解物质的排出与迁移提供了重要的通道,形成良好的渗透淋滤空间,保证了持久的氧化环境而不被地下水所还原。

1.6 时间条件

在岩石的风化过程中,分解、淋滤易溶化合物(如硫化物、硫酸盐、卤化物等)也需要较长的时间,而分解硅酸盐矿物则需要更长的时间。如前苏联的南乌拉尔风化型硅酸镍矿床是在长达 15~20 Ma 万年的时间间隔内形成的(袁见齐等, 1985)。因此,只有在一个较长时期稳定的地质环境中,才可以使风化作用进行得彻底,使岩石中的各种矿物组份的绝大部分被分解或淋滤,使极稳定的矿物和惰性组份被残留下来,从而形成厚度巨大的风化壳矿床。

2 含镍风化壳的分带与含矿性特点

正常情况下,发育完整的超基性风化壳包括上、下两个带,5个主要分层(陈浩琰等, 1993; 罗太旭, 2008)。各分层之间为过渡关系,一般很难找到明显的界线,但“层”与“层”之间的矿物组合变化及岩石化学变化还是有明显的分带性,而在上、下带之间多会出现一个过渡带,虽然这个带在宏观上不是十分清晰可见,但这个过渡带错综复杂的化学组分却表明了红土风化壳内组分上的过渡特征。由于各种原因,虽然各地产出的红土风化壳地质特征不尽相同,但上、下两个带的分带一般是存在的,现以印度尼西亚东南苏拉威省北科纳威地区产出的红

土风化壳为例,将各分带与各亚层的特点分析如下:

印尼北科纳威地区产出的超基性岩风化壳地质特征,与东南亚地区环西太平洋成矿带上产出的红土型镍矿床地质特征基本一致,有较强的代表性,自上而下包括以下两带五个分层,即:上带(A)铁质红土镍矿带与下带(B)硅酸镍矿带,底部(C)为未风化之基岩(图 2)。

其中上带包括:

(1)褐铁矿层:褐铁矿层可以是原地的,也可以是搬运后再堆积的。原地褐铁矿多形成铁帽,平均厚约 4 m,主要矿物为针铁矿、赤铁矿、高岭石,次要矿物为锰氧化物、石英、蒙脱石及少量尖晶石。该层矿物的变化特点是上部以赤铁矿为主,下部以针铁矿为主,高岭石含量向下逐渐减少,而石英则逐渐增多。元素化学特征变化是 Fe、Cr 保持稳定上升,而其他 Ni、Co、Mn、MgO 的含量明显下降。该层铁品位平均可达 52%,镍品位为 0.35%,一般不达工业要求。

(2)铁质结核层:为较疏松的暗红色红土,含豆粒状、豆夹状或结核状铁氧化物,主要成分为粉末状褐铁矿,缺乏粘土矿物,一般厚约 1~2 m。

(3)多孔红土层:此层由松软多孔的铁质红土和少量的粘土类矿物(蒙脱石为主)组成,主要矿物有针铁矿、赤铁矿,含少量次生石英和高岭土,该层在矿区总体比较发育,厚度一般有 20 m,局部可达

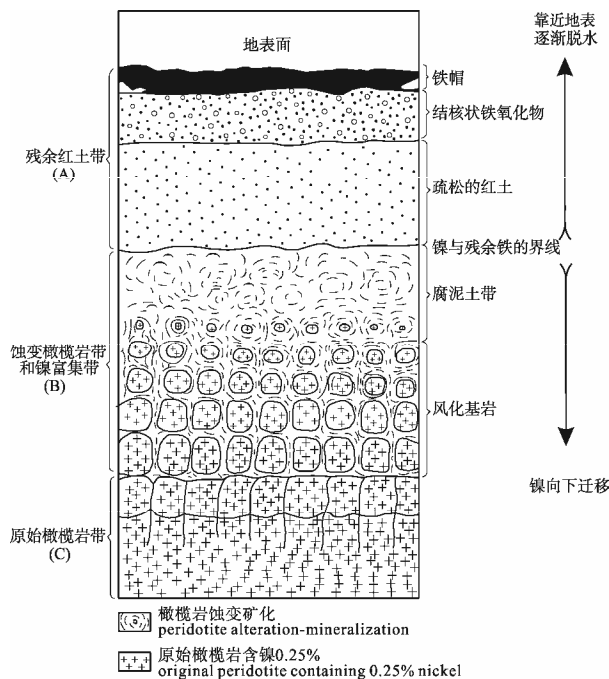


图 2 红土型镍矿床典型综合剖面图(据 Chetelat, 1947)
Fig. 2 Typical composite profile of lateritic nickel deposit (after Chetelat, 1947)

50 m 以上。含铁平均 47%，在该层的下部含镍品位为 0.7%~1.0%，可构成工业矿层。

下带包括：

(4)腐泥土层：由蛇纹岩风化的腐泥土组成，偶夹有原岩残核。腐泥土矿物成分主要为叶蛇纹石、蒙脱石，次要为绿泥石、滑石、石英等，还有少量残存的尖晶石、磁铁矿等，该层一般厚 1~46 m，局部可达 80 m，主要化学变化特征是由上往下镍和硅逐渐增高，镍是从低到高再变低，铁则是由高向低逐渐变化，此层顶部有一个过渡层，以其复杂的化学组分为特征，含铁、镍、铬、锰较高。该层为红土镍矿的主要含矿层，一般含 Ni 1%~5.84%，平均 2.31%，最高可达 10%。

(5)风化基岩层：该层直接发育于原生基岩之上，由半风化—弱风化的蛇纹岩组成，岩石沿节理与裂隙遭受氧化分解，原生矿物蚀变产生绿脱石、绿泥石、叶蛇纹石和蒙脱石，并释放出少量铁、锰氧化物和氢氧化物，镍主要以类质同像的形式赋存在含水硅酸盐矿物之中。该层也是红土镍矿的主要含矿层之一，厚 2~30 m，一般含 Ni 1%~4.42%，平均 1.51%，在有硅镁镍矿充填部位，含镍可达 8%~12%。此层中所夹未风化的岩核不含矿，采矿时必须剔除。

3 含镍风化壳的形成机理

氧和二氧化碳这两种物质是导致岩石风化的最主要因素，他们在水圈和大气圈内比其他任何地方都丰富。因此，水解作用常常伴随着氧化作用(主要是二价铁变为三价铁的氧化作用)和碳酸化作用。所

有这三种作用，都在紧靠大气圈和岩石圈的界面以下随时地进行着，并与植物根系的生长和有机质的腐烂有密切关系。

与其它风化矿床不同的是，超基性岩风化壳中形成的淋积矿床是以化学风化为主，要求的条件是稳定的环境与长时间持续的作用，它们都是时间和风化作用强度的函数。对岩浆岩来说，矿物风化的顺序同矿物从岩浆中结晶的次序相同，在深处较早结晶的那些矿物，在地表则是首先分解的。

因此，在空气、水、植物和微生物的共同作用下，可导致在未风化的岩石和大气圈之间进行某些风化成矿作用，并形成—个风化壳，而从这个风化壳中，通常可鉴别出一系列的“层”或“层位”，且每一“层”都具有一定的生物、物理和化学的作用和特性。以印尼北科纳威地区红土型镍矿床为例，各层物质成分与化学成分见表 1(何灿等, 2009a, b)。

表中反映出超基性岩风化后所含各元素的迁移能力与富集变化特征，按照地球化学迁移率(原岩中化学元素含量与风化壳最终产物中含量的比值)，MgO、SiO₂、CaO 和 Ni 显示较大的迁移能力，TiO₂、Cr₂O₃、Fe₂O₃ 显示最小的迁移能力。事实上，在风化较彻底的风化壳中很难有 Cl、S 存在，Ca、Na、Mg、K 只微量存在，SiO₂、P、Mn、Fe、Al、Ti 比较大量地残留原地。所以超基性岩风化壳上部的完全风化带残留有大量的铁、铬等氧化物，常常形成红土型铁矿床，而风化壳中的半风化带则聚集 Ni、SiO₂ 和 MgCO₃，可形成硅酸镍矿床。

矿床学研究认为，镍在超基性岩中是以类质同像混入物的形式代替镁而进入硅酸盐矿物内，主要

表 1 印尼北科纳威镍矿区红土风化壳物质组成及主要化学成分
Table 1 Material components and major chemical composition of lateritic weathering crust in the Konawe nickel ore district, Indonesia

块段	岩性	Ni	Co	TFe	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	S	C	Cu/10 ⁻⁶	Pb/10 ⁻⁶	Zn/10 ⁻⁶	V ₂ O ₅ /10 ⁻⁶
K	褐铁矿层	0.35	0.022	52.09	0.17	8.54	1.59	3.29	0.20	<0.03	<0.03	0.19	0.27	0.02	0.17	1.35	75.7	18.0	194.0	445.3
	铁质结核层	0.96	0.065	47.84	0.50	8.59	5.87	2.94	0.59	<0.03	<0.03	<0.03	0.18	0.02	0.15	1.05	90.9	16.7	247.3	448.3
	红土层	1.33	0.073	49.05	1.16	8.54	5.26	3.45	0.68	<0.03	0.07	0.65	0.15	0.02	0.18	1.04	95.6	13.6	292.5	405.5
	腐泥土层	2.00	0.090	38.85	4.13	6.56	16.29	2.84	0.81	<0.03	0.09	0.37	0.11	0.02	0.13	1.18	72.3	16.5	287.6	295.9
	风化岩层	1.47	0.032	13.56	28.85	1.87	38.54	0.91	0.30	<0.03	<0.03	0.87	0.03	0.01	<0.03	0.97	68.1	15.4	62.2	77.7
	基岩	0.33	0.013	7.37	38.21	1.37	41.30	0.36	0.21	<0.03	0.08	1.22	0.07	0.02	<0.03	1.02	41.5	20.7	73.4	79.5
D	铁质结核层	0.97	0.035	48.37	0.37	12.39	1.98	2.62	0.38	<0.03	<0.03	<0.03	0.29	0.03	0.21	1.26	88.8	9.9	232.8	556.0
	红土层	1.65	0.157	46.43	0.72	11.99	3.72	3.16	0.17	<0.03	<0.03	<0.03	0.24	0.01	0.20	1.42	153.1	10.0	372.7	508.7
	腐泥土层	3.22	0.046	19.88	17.71	4.49	30.39	1.16	0.40	<0.03	<0.03	0.27	0.12	0.02	<0.03	1.28	52.3	14.4	228.3	190.1
	风化岩层	1.44	0.028	13.97	27.01	2.49	35.25	0.85	0.26	<0.03	<0.03	0.44	0.10	0.01	<0.03	0.90	27.4	22.1	101.1	119.9
	基岩	0.48	0.015	7.98	35.08	1.63	38.50	0.39	0.16	<0.03	<0.03	0.93	0.11	0.02	<0.03	1.20	12.6	35.6	23.2	74.8
总平均(80 件样品)		1.51	0.062	33.65	10.67	6.82	18.63	2.24	0.57	<0.03	0.08	0.53	0.16	0.02	0.17	1.12	74.9	16.0	229.7	304.3

注：分析单位为中国地质科学院矿产资源研究所，样品由云南省有色地质局三〇八队送检，计量单位除注明外均为%。

是进入橄榄岩晶格, 部分进入斜方辉石和角闪石晶格, 因而, 从纯橄榄岩到橄榄岩再到辉石岩, 镍的含量是逐渐降低的, 一般由 0.24% 降到 0.16% (袁见齐等, 1985), 由铁质蛇纹岩到铁镁质蛇纹岩, 镍的含量也逐渐降低。

尽管超基性岩风化壳矿床的形成过程较为复杂, 但一般的成因过程包括了以下描述。首先是橄榄石和辉石在风化作用或热液作用下转变为蛇纹石, 在蛇纹石分解作用的早期, 镍即被释放出来, 并呈重碳酸盐和少量硫酸盐及氢氧化镍溶胶进入溶液; 随后这些从岩石中释放出来的镍元素随着地下水上的不断下渗, 从风化壳上部逐渐迁移到风化壳下部, 再以次生镍矿物和次生含镍矿物沉淀下来, 从而导致镍的富集, 形成可供开发的镍矿床, 其矿床的形成过程可分为两个主要阶段。

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, 橄榄石等矿物被分解, 铁、镁、镍进入溶液, 而硅则形成二氧化硅胶体向下迁移, 钙则大量流失, 因为铁形成氧化物后很稳定, 而保留在原地形成铁帽。

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中, 使得溶液由酸性向碱性变化, 由于中和反应, 镍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, 于是在风化壳的下部便形成了镍的富集。

4 含镍风化壳的寻找条件与勘探方法

正确认识和评价含镍风化壳的发育程度与含矿性是找矿成功与否的关键, 影响超基性岩风化壳的发育程度与含矿的因素虽然比较复杂, 但主要由区域构造条件、岩石条件、气候条件等所决定。

大多数红土镍矿床主要分布在热带与亚热带地区, 主要形成于洋壳型蛇绿岩套的超基性岩风化壳内, 大地构造环境、气候环境决定了风化壳的发育程度, 广泛分布的超基性岩是寻找红土镍矿的重要基础条件。

红土型镍矿的找矿主要解决三个问题: 一是工作区内广泛发育的红土风化壳是否是超基性岩(尤其是最有利于红土型镍矿形成的纯橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩和方辉橄榄岩等)风化形成; 二是超基性岩

红土风化壳的分布面积、产状形态和发育程度是否有利于红土型镍矿的形成和保存; 三是超基性岩红土风化壳在垂向上镍的矿化富集程度是否达到工业利用价值(即深部含矿性)。因此, 对于红土型镍矿的勘探而言, 除采用传统的地质填图配合探矿工程方法具有较强的综合性和针对性以外, 其他方法所能解决的问题都有一定的局限性。大量的实践证明, 要卓有成效地进行红土型镍矿的找矿, 必须对其成矿地质条件进行科学分析, 根据野外实际地理、地质条件, 合理选择和应用有效性高、针对性强的找矿方法。而地质填图配合探矿工程开展风化壳含矿性查定, 是红土型镍矿最为直接、最为有效的找矿方法。采用一定比例尺的地质填图结合部分探矿工程取样, 并对一定深度的风化壳揭露与控制, 即可快速地评价和解决上述三个问题。

具体工作中, 一是通过地表露头如水系、公路边缘的自然剖面观察并结合地表浅部的样品简易分析结果, 可以快速的将超基性岩风化的含镍红土与其它岩性(如基性岩、石灰岩、砂岩、泥岩等)的风化红土区别开来; 二是通过系统的地质路线调查, 结合部分浅部探矿工程(如硐锹)的施工取样, 可以快速的确定含镍红土分布面积、产状形态; 三是通过一定数量和一定深度的浅井工程施工取样, 可以快速的确认含镍红土风化壳的发育程度和深部含矿性; 四是通过系统的地质填图和稀疏的工程控制, 可以快速的划定各类地质界线, 并圈定出含镍红土风化壳的分布范围。

由于红土型镍矿的自身特点及其多分布于热带、亚热带地区, 应用地质填图加探矿工程深部含矿性验证的方法开展红土型镍矿的找矿, 也同样面临许多困难。一方面, 由于找矿区植被发育, 并多为分布广泛的地表红土覆盖, 基岩露头较少, 野外工作条件较为恶劣, 要完全按现行的规程规范开展矿区的地质填图工作是较为困难的; 另一方面, 红土风化壳各层的含矿性很难用“目估”的方法直接判定, 只能通过大量的取样分析才能确定, 而样品按传统方式送往实验室进行化验需要很长的周期。根据云南省有色地质局三〇八队多年来和多个矿区的找矿实践, 按照红土型镍矿的成矿特点, 探索和总结出了适合在森林与红土覆盖区的红土型镍矿快速找矿模式, 即“地质填图+探矿工程揭露+便携式 X 荧光测试仪”模式(何灿等, 2008, 2013; 孙绍有, 2012)。

对某一地区超基性岩风化壳的含矿性如何评价,

能否快速发现并找到可供开发的红土型镍矿床, 云南省有色地质局三〇八队的实践经验值得借鉴。其工作程序主要包括以下几个方面:

(1)开展区内遥感地质解译, 获取工作区内地质、构造、岩浆岩等方面的重要信息, 为地质调查评价工作方案的制定提供依据, 以此确定工作靶区。

(2)采用区域地质图和较详细的地形图结合 Google Earth, 基本了解工作区内的地形、地貌、地层及地质构造特征, 合理布置并规划好野外工作路线, 对工作区进行 1: 5 万路线地质调查, 配合地表取样分析, 大致圈定工作区超基性岩含矿红土的分布范围。

(3)采用浅井对含镍红土进行揭露并配合相应的样品测试工作, 对红土风化壳的垂向分带特征和含矿性进行研究, 初步查明红土风化壳各岩性分层的变化规律及镍矿化的富集程度是否达到工业利用价值。

(4)对成矿有利地段采用浅井或浅钻工程在风化壳主轴线上进行骨干性解剖和控制, 初步查明镍矿化的发育程度和连续性, 对镍矿化红土的分布面积、规模大小、矿石质量和总体找矿远景进行初步的合理评价, 确定可进一步工作的勘查靶区。

(5)对确定的成矿区域开展实用而有效的详查与勘探, 求获资源储量。

值得注意的是, 由于风化作用条件的差异, 超基性岩风化壳上一般形成以褐铁矿为主的红土镍矿床和以硅酸镍为主的红土镍矿床。这两类矿床都需对风化壳的深部进行揭露, 才能对该风化壳的含矿性做出正确的评价。

在野外较难区分的是超基性岩与基性岩形成的红土, 这两类红土外观差异不大, 只是所含成矿元素的不同才有所区别, 特别是一些指示元素如 Ti 的含量变化可将其区分开来, 一般超基性岩风化壳 TiO_2 含量不大于 0.5%, 而基性岩形成的风化壳 TiO_2 含量远远超过此含量, 甚至可大于 1%。

参考文献:

- 陈浩琉, 吴水波, 傅德彬. 1993. 镍矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 付伟, 周永章, 陈远荣. 2010. 东南亚红土镍矿床地球化学特征及成因探讨—以印尼苏拉威西岛 Kolonodale 矿床为例[J]. 地学前缘, 17(2): 127-139.
- 何灿, 高俊, 杨应平. 2009a. 印度尼西亚东南苏拉威西省北科纳县朗克克马 D 块段红土型镍矿详查报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 何灿, 高俊, 杨应平. 2009b. 印度尼西亚东南苏拉威西省北科纳

县朗克克马 KE 块段红土型镍矿详查报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.

何灿, 孙建平, 程迁群. 2013. 红土型镍矿床勘查评价方法与优化[J]. 地球学报, 34(s1): 221-228.

何灿, 肖述刚, 谭木昌. 2008. 印度尼西亚红土型镍矿[J]. 云南地质, 27(1): 20-26.

罗太旭. 2008. 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[J]. 地质与勘探, 44(4): 45-49.

孙绍有. 2012. 浅谈红土型镍矿找矿靶区的选择[G].//有色地勘海外拓荒之路 2012 论文集. 北京: 世界有色金属: 83-86.

袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 1985. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社.

References:

- CHEN Hao-liu, WU Shui-bo, FU De-biao. 1993. Nickel deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- FU Wei, ZHOU Yong-zhang, CHEN Yuan-rong. 2010. Geological And Geochemical Characteristics Of Laterite Nickel Deposit And Ore Genesis—A Case Study Of Kolonodale Deposit In Sulawesi, Indonesia, Southeast Asia[J]. Earth Science Frontiers, 17(2): 127-139(in Chinese with English abstract).
- HE Can, GAO Jun, YANG Ying-ping. 2009b. The Detailed Geological Survey Report on the Lateritic Nickel Deposits in the KE Block of Wiwirano Ore District, North Konawe County, Southeast Sulawesi Province, Indonesia[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, GAO Jun, YANG Ying-ping. 2009a. The Detailed Geological Survey Report on the Lateritic Nickel Deposits in the D Block of Langgikima Ore District, North Konawe County, Southeast Sulawesi Province, Indonesia [R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, SUN Jian-ping, CHENG Qian-qun. 2013. Exploration and Evaluation Methods for Lateritic Nickel Deposits and Their Optimization[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 221-228(in Chinese with English abstract).
- HE Can, XIAO Shu-gang, TAN Mu-chang. 2008. The Laterite Ni Deposits In Indonesia[J]. Yunnan Geology, 27(1): 20-26(in Chinese with English abstract).
- LUO Tai-xu. 2008. Geological Characteristics And Ore-forming Mechanism Of Laterite Nickeliferous Deposit In Wageo, Indonesia[J]. Geology And Exploration, 44(4): 45-49(in Chinese with English abstract).
- SUN Shao-you. 2012. A Brief Talk On The Choosing Of The Prospecting Target Areas For Lateritic Nickel Deposits [G]. // The review of the Geological Exploring and Prospecting Industry on the history of Looking for Nonferrous Metal Deposits Abroad - the 2012 Collection of Academic Papers. Beijing: WORLD Nonferrous Metals: 83-86(in Chinese).
- YUAN Jian-qi, ZHU Shang-qing, ZHAI Yu-sheng. 1985. Ore deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).