

印尼苏拉威西岛红土型镍矿的高效快速勘查模式

崔敏利^{1,2}, 张宝林¹, 苏捷^{1,2}, 徐永生¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

[摘要] 金属镍是我国紧缺资源之一, 印度尼西亚拥有丰富的红土型镍矿, 但是由于国外开采, 在矿业政策、技术条件、气候条件上面临很多挑战, 实施高效、快速、低成本勘探是解决这些问题的根本途径。文章以印尼苏拉威西岛的一个红土型镍矿勘查区为例, 应用高精度磁法勘探, 通过分析勘查区磁性特征圈定勘探靶区; 对实验室和 X-荧光仪分析的样品数据进行一元回归分析, 将手持 X-荧光分析仪成功应用于镍矿体的现场圈定, 从而建立了红土型镍矿的高效、快速、低成本的勘查模式。

[关键词] 红土型镍矿 高精度磁法勘探 X-荧光分析仪 勘查模式

[中图分类号] P618.63 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2009)04-0417-06

Cui Min-li, Zhang Bao-lin, Su Jie, Xu Yong-sheng. Efficient and fast exploration model of lateritic nickel deposits in Sulawesi island, Indonesia[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(4): 417-422.

0 引言

随着世界经济发展, 全球对金属镍的需求量不断增加。全球探明的镍的储量中, “红土型镍”约占 2/3, 而“硫化物型镍”约占 1/3, 目前全球镍金属行业将资源开发利用的重点放在红土型镍矿资源上面^[1]。我国的镍消费量居世界之首^[2,3], 国家为了构建矿产资源安全保障体系, 积极鼓励开展境外矿产勘探。

印度尼西亚是世界上富集红土型镍矿资源的国家之一, 印尼的红土型镍矿具有储量大, 易开采, 离海岸线近易于运输, 选冶品位低等特点, 90 年代后我国很多找矿勘查工作者远赴印尼开展红土型镍矿的勘探开发。前人对红土型的镍矿的地质特征和成因的研究积累了一些成果, 但是对于勘查方法的研究目前还不多^[1,4,5]。

尽管红土型镍矿是国内早已熟知的一种镍矿床类型, 但是找矿勘查工作依然面临着许多挑战, 主要表现在以下几个方面: 其一、国外工作, 对勘查的周期和成本要求苛刻, 而可获得的地质资料寥寥无几; 其二、在目前经济技术条件下, 很难利用“目估法”

来确定矿石的入选品位; 其三、靠加大采样密度, 对其进行化学分析是目前确定矿石和围岩的常规手段; 其四、工作区属于热带雨林气候, 植被茂盛, 地表观察困难, 工作环境恶劣。文章针对上述问题, 采用新思路新方法在印度尼西亚的苏拉威西省北部可拉卡县白石镇, 进行了快速高效低成本勘查。

1 矿床地质概况

勘探区位于东南苏拉威西省西北部可拉卡县西北角, 基本为山地, 地势西低东高。东部为中-高山区, 海拔 500m 以上。西部为中低山区, 海拔 200 ~ 500 m。仅濒临内海一线, 为低山-丘陵区, 标高海拔 200 m 以下。属于季风型热带雨林气候, 高温多雨, 雨量充沛, 湿度大, 全年无春夏秋冬之分, 仅旱季雨季有别。区内林密树高, 杂草丛生, 地表露头较少。

区内出露的岩石主要为超基性岩、泥岩、石灰岩、板岩、千枚岩等。区内的红土型镍矿的主要特点有^[4-8]:

1) 成因: 地壳表层富含 Fe、Ni 的超基性或者基性岩在大气、水、生物等条件的长期作用下, 发生物

[收稿日期] 2009-03-15; [修订日期] 2009-06-01。[责任编辑] 杨欣。
[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(编号: 2006BAB01A02) 资助。
[第一作者简介] 崔敏利(1981 年—), 男, 2005 年毕业于长安大学, 获学士学位, 在读硕士生, 从事隐伏矿床定位预测研究方向工作。

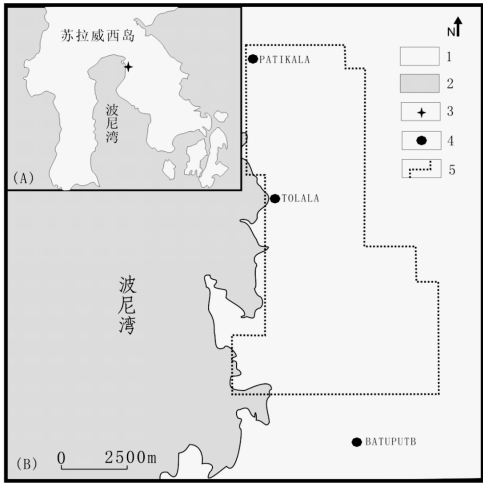


图 1 勘探区位置图 (A) 与勘探区范围图 (B)

Fig. 1 Map of the location (A) and range (B) of the survey area

1—陆地;2—海洋;3—勘探区;4—村庄;5—勘探区界线
1—land;2—ocean;3—survey area;4—village;
5—boundary of the Survey

理的、化学的、生物的变化,从而使有用的含镍矿物堆积,在质和量上能够满足工业要求;

2) 分布:主要产于中低纬度热带亚热带的湿润炎热地区,受气候条件控制特征明显;

3) 形成时代:主要为第三纪和第四纪的产物;

4) 产状:矿床分布范围与原生岩石或矿体出露的范围一致或者相距不远,多呈覆盖层分布,多为面型矿体,埋藏浅,便于露天开采;

5) 矿物组成:多为比较稳定的元素和矿物,如:Fe、Mn、Al 的氢氧化物,高岭土、磷酸盐、含镍硅酸盐等;

6) 工业指标:Ni 含量在 0.5% ~ 0.8% 即可(硅酸镍)。

2 勘查方法的选择

区内四季植被茂盛,地面覆盖较厚的腐殖质,不利于地表观察,开展地质填图工作。在这种条件下,红土型的镍矿勘查主要解决两个问题:一、有利成矿区域的圈定,最好首先确定最有利的中心区域,以便从中间向周边逐步开展工作;二、根据工业品位迅速圈定入选矿体。

根据一般的规律^[9],推测勘查区内各种岩性的磁性特点分别如下:

1) 含镍红土:含镍红土是较强的风化作用形成的,其中的磁性物质在风化过程中丢失,而且根据实

验室化验结果,其中也基本不含磁铁矿,红土中的铁元素赋存状态分别为二价铁和赤铁矿(或针铁矿),具有无磁性或弱磁性特点。从理论上讲,红土堆积越厚,磁性越弱;

2) 超基性岩:主要是辉石岩、橄榄岩,含有磁铁矿,具有强磁性;

3) 石灰岩:据现场观察,多为碎屑灰岩、角砾状灰岩或砾岩,往往呈复成份溶洞垮塌堆积,一定程度上具有弱磁性;

4) 泥岩、板岩、千枚岩等细碎屑岩:具有弱磁性。

基于以上特征,针对第一个问题,采用地面高精度磁测^[9-12],完成第一个问题中的确定矿化有利中心,甚至还有可能将含镍红土和超基性岩与其它岩石区分开来。结合地表露头观察,进而快速高效划定勘探区的地质界线,并圈定覆盖层下红土型镍矿的分布范围。

由于红土型镍矿的勘查,很难用“目估法”进行选矿,传统上是经过高密度的化学采样,再送往实验室进行化验,这样不仅成本高,工作量大,而且周期长。前人已将 X 荧光法引入矿产勘查领域并且取得了一定的效果^[13-15]。目前国外这项技术发展迅速,便携式 X-荧光仪的精度已经达到了 10⁻⁶ 级,文章尝试将新型 X-荧光仪用于本次勘探工作。针对第二个问题,使用高精度的便携式 X-荧光分析仪,现场直接对样品进行分析,快速圈定矿体和围岩。

3 勘查方法的应用

3.1 高精度磁法扫面

3.1.1 野外施工及数据处理

野外使用的是中国国土资源部航空物探遥感中心研制的高精度 Hc—95 氦(⁴He) 光泵磁力仪,其灵敏度为 0.05nT,采样率可选用 1 ~ 5 次/秒,数值和曲线同时显示,并能自动存储。同时使用 2 台美国高明(Garmin)公司生产的手持 GPS 进行测点定位。野外磁测布线基本沿着山脊和沟谷,点距为 100m。在测量过程中,严格遵守磁法勘查规范,遇有测值变化较大处,点距加密到 50m。为避免汽车、村庄等可能存在磁性物质的影响,部分测点进行了偏移。

磁测数据经正常场、日变改正,这里是赤道附近,磁场垂直分量很小,不做化极。在计算机上用 SURFER 软件按照 Natural Neighbouring 处理方法,将数据格式化,最终得到 ΔT 等值线平面图(图 2)。

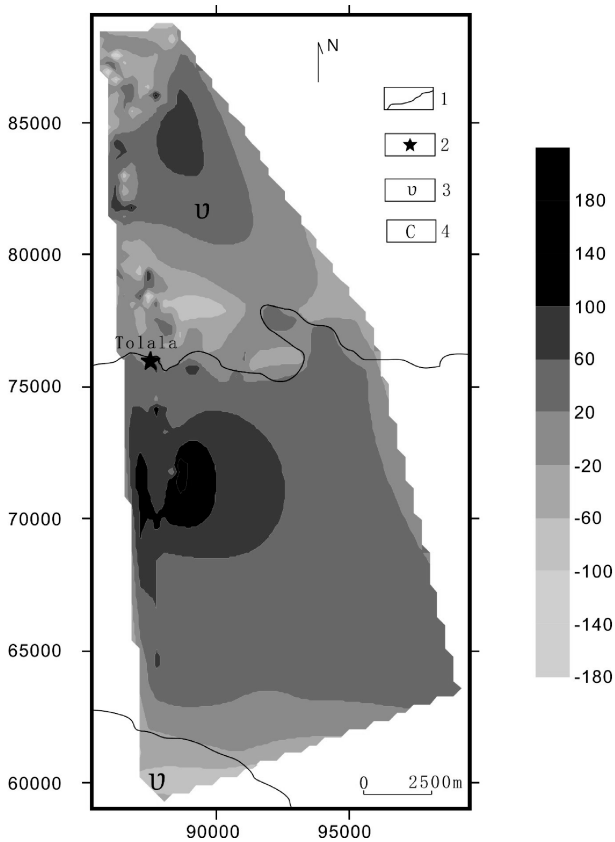


图 2 勘探区磁测 ΔT 等值线平面图

Fig. 2 Ichnography of contours by ΔT in the survey area

- 1—地质界线;2—村庄;3—超基性岩;4—石灰岩
- 1—geological boundary; 2—village ;3—ultramafic rocks;
- 4—limestone

3. 1. 2 综合解释

在图 2 中, 浅色区域和上部的深色区域对应的是超基性岩分布区, Tolala 上部的深色区域属于高山地区, 植被茂密, 覆盖层下不排除存在石灰岩。而 Tolala 下部的深色区域为石灰岩区的真实反映。

结合地质观察成果, 圈定了 2 个有利的勘探靶区(图 3)。

超基性岩主要分布在北部(图 3), 而中部 Tolala 附近岩性变化大, 南部主要是粉砂岩、板岩、千枚岩和石灰岩。最有利的成矿区在 Tolala 以北的超基性岩分布区, 主要的控矿因素是岩性、气候、地貌、新构造运动。

预测区 I 正在进行钻探和圆井取样工作, 首批 186 个样品送往雅加达的实验室分析, 从初步分析结果看, 该区的 Ni 矿石品位 0.6% ~ 1.3%, Co 矿石品位 0.05% ~ 0.15%, 矿体分布在冲洪积物的中下部, Ni 厚度一般为 3 ~ 17m。

预测区 II 位于印尼一家伐木公司的势力范围, 目前不允许进行钻探或者挖浅井, 但从磁测扫面和

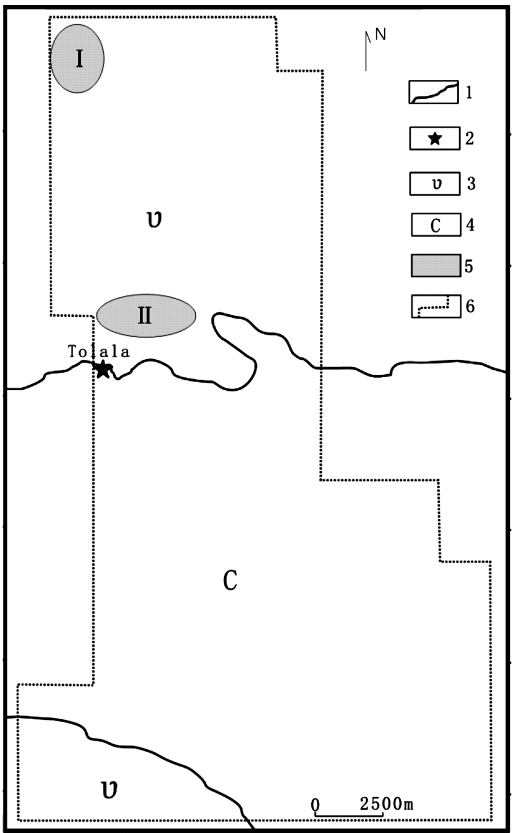


图 3 综合预测结果示意图

Fig. 3 Integrated sketch of the forecasting results

- 1—地质界线;2—村庄;3—超基性岩;4—石灰岩;
- 5—预测靶区;6—矿区边界
- 1—geological boundary; 2—village ;3—ultramafic rocks;
- 4—limestone ;5—predicting target area;6—mine boundary

实地观察结果看, 该区同样有着良好的成矿远景和开采价值。

Tolala 南部区域, 大片的石灰岩本身不具备成矿物质来源, 区内也未发现与镍矿相关的露头, 因而这部分地区可考虑放弃。

研究区西南的一角虽然有超基性岩出露, 但是根据采样化验结果, 品位没有达到工业要求, 也可考虑放弃。

3. 2 便携式 X 荧光仪分析

3. 2. 1 X 荧光仪分析

野外使用美国 Niton 公司生产的便携式 XRF 分析仪, 该仪器有两种模式: 一种是工业模式(% 模式), 可以检测出的元素包括: 钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、锆、铌、钼、钽、银、锡、钨、镓、铋、砷、铅; 另一种标准应用模式(10^{-6} 模式) 可以检测出的元素包括: 铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、砷、硒、铷、锶、银、镉、锡、铈、汞、铅。由于两种模式应用范围不同, 如果含量高于 5% 用工业模式, 低于 5% 用 10^{-6} 模

式。这里用 10^{-6} 模式测试,将样品磨成粉末状进行照射,照射时间设置为 60 秒。

便携式 X-荧光仪的应用,主要为了现场直接对镍含量进行测定,进而代替实验室化验,但是这是两种不同的测定方法,每种方法自身都有一定误差,不可能达到理想中的一致,必须对这两种化验方法的结果进行比对,发现其中的规律,从而可以在现场用 X-荧光仪进行近似定量的分析。文章选取了 10 个

样品,进行数据处理分析,以说明这个处理过程。为了提高精确度,将采集的 10 个样品,分别用“四分法”缩分到 10g,用玛瑙研钵制成粉末(约 200 目),用便携式 X-荧光仪分析,每个样品分析 5 次,除掉最高值和最低值再取平均值作为最后样品的分析结果,再将分析完的样品送回国内实验室进行分析,最后的化验结果(见表 1)。

表 1 勘探区采集样品 Ni 含量一览表

项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样品编号	SWJQ 0701-1	SWJQ 0701-2	SWJQ 0702-1	SWJQ 0702-2	SWJQ 0702-3	SWJQ 0702-4	SWJQ 0702-5	SWJQ 0703-1	SWJQ 0703-2	SWJQ 0703-3
实验室分析/ 10^{-6}	8630.00	11490.00	6810.00	8340.00	7690.00	11410.00	8950.00	7590.00	7680.00	10810.00
X-荧光分析/ 10^{-6}	5339.73	8147.78	3486.42	5013.21	4264.81	8060.25	5636.28	4185.57	4248.37	7424.17

实验室数据分析单位:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

3.2.2 数据处理

从分析结果看,二者差别很大,这主要是 Niton 公司的 X-荧光仪自身测得视含量,偏差较大,再加上样品的处理,以及测试环境的改变等因素而引起的。由于仪器本身的精密性,以及目前的技术条件限制,X-荧光仪测量还无法给出精确测量值,是个相对值。但是这里的单位是 10^{-6} 级,镍金属的工业品位要求 0.8%,这里两种方法给出的结果在 10^{-6} 级数据中,只看百位数字,发现两种数据都对样品进行了直观的定性测量,而两种方法给出的有效数字远远超出了这个精度,将两种数据制成折线图(见图 4),发现两种数据变化趋势相近,为了研究两者的变化是否具有线性关系从而达到定量分析,这里做了两种数据的一元回归分析,x 代表 X-荧光分析数据,y 代表实验室分析数据(见公式 I,表 2)。

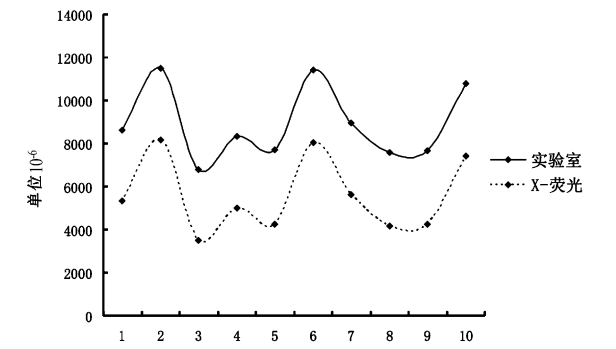


图 4 实验室数据与 X-荧光分析数据折线图
Fig. 4 Line graph of the data by lab analyzer and handheld X-ray fluorescence analyzer

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{公式 I})$$

式中:
 $r_{x,y}$ ——为 x 与 y 之间的相关系数;
 x_i ——为第 i 个样品中 x 的值;
 y_i ——为第 i 个样品中 y 的值;
($i = 1, 2, 3, \dots, n$);
 n ——样品数,这里为 10;
 $\bar{x}$ ——为 x 的平均值;
 $\bar{y}$ ——为 y 的平均值。

表 2 数据分析统计表
Table 2 Statistical of data analysis

编号	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i \times y_i$
1	5339.73	8630.00	28512716.47	74476900.00	46081869.9
2	8147.78	11490.00	66386318.93	132020100.00	93617992.2
3	3486.42	6810.00	12155124.42	46376100.00	23742520.2
4	5013.21	8340.00	25132274.5	69555600.00	41810171.4
5	4264.81	7690.00	18188604.34	59136100.00	32796388.9
6	8060.25	11410.00	64967630.06	130188100.00	91967452.5
7	5636.28	8950.00	31767652.24	80102500.00	50444706
8	4185.57	7590.00	17518996.22	57608100.00	31768476.3
9	4248.37	7680.00	18048647.66	58982400.00	32627481.6
10	7424.17	10810.00	55118300.19	116856100.00	80255277.7
总和 Σ	55806	89400.00	337796265	825302000.00	525112336.7
平均	5580.6	8940.00	——	——	——

求出 $r_{x,y}$ 为 0.9997,查“相关系数临界值表”知

$r_{0.05}^{10}$ (可信度 $\alpha=0.05$) 为 0.5760, $r_{x,y} > r_{0.05}^{10}$ 说明勘探区内的样品经过实验室分析与便携式 X-荧光仪分析,其中镍金属含量的两种数据存在线性相关。

为了进一步指导现场测试分析工作,提高工作的效率和精度,必须求出线性回归方程,这里设其为:

$$Y = bX + a;$$
 (公式 II)

式中: a —为常数项;
 b —为回归系数;
 X —实际工作中 X-荧光测得样品的镍金属含量值;

Y —将 X-荧光仪测得的样品镍金属含量值近似转化为实验室测得的值。

根据数学推导:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$
 (公式 III)

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$
 (公式 IV)

这样就可以根据公式 III、公式 IV 求出: $b = 0.9940$, $a = 3392.97$ 。

最后,得到指导实际工作的经验公式 (公式 V):

$$Y = 0.9940X + 3392.97$$
 (公式 V)

这里需要强调一点,对于这个公式是通过数理统计方法得到的,要求参与计算的每个样本都具有代表性,而且样本数量(n)越大越好,这里由于篇幅所限,为了说明处理方法仅使用了 10 个样本。为了更便于现场工作,回归系数“0.9940”接近“1”,在现场可以直接用“1”进行计算,因为用“1”,得到的数据在 10^{-6} 级,百位数字不会变化,但是 X-荧光仪在现场分析,要将样品制成粉末,多次测量求平均值。这样工作现场只要用便携式 X-荧光仪测出的值加上 3392.97 就可以作为实验室测试数据的近似值,从而实现了现场快速圈定矿体。同时,在样本很大的情况下或者其它勘查区,还可以根据这一实验过程进行数学建模,编写计算机应用程序,就可以更快更有效的处理这些数据,也便于这一方法的推广,这里不再赘述。

4 结论

在这个地区,根据当地的磁性变化特征,采用高精度磁法扫面圈定了有利成矿区,取得了良好的效果,但是地球物理方法采集的数据始终有一定干扰,

获得的异常部位也有多解性,所以实际工作中并不能完全替代挖探槽或者挖浅井的工作,它一方面指导如何有效的布置探槽、浅井、钻孔等工作,另一方面也要根据探槽、浅井和钻孔的工作成果来进行验证并且得到及时修正,这样才能提高探槽、浅井、探槽的工作质量,减少施工密度,加快工作周期。

手持 X-荧光仪在红土型镍矿的勘探中的应用国内还属首次,并且在勘探中发挥了重大的作用,但是勘探区不同,仪器设备不同,在其它的工作中还要根据实际情况进行调整改进,希望广大的同行在以后的工作中多积累新的经验。

致谢;感谢百田公司的领导及员工和福建地矿局的地质专家予以的帮助和支持。

[参考文献]

[1] 王瑞江, 聂凤军, 严铁雄, 江思宏, 王海北, 李 岩. 红土型镍矿床找矿勘查与开发利用新进展[J]. 地质评论, 2008, 54 (2): 215-224.

Wang Rui-jiang , Nie Feng-jun , Yan Tie-xiong, Jiang Si-hong, Wang Hai-bei, Li Yan. New Achievements of Mineral Exploration and Utilization of the Laterite Nickel Deposits[J]. Geological Review, 2008, 54 (2): 215-224.

[2] 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: 68-69.

Liu Qing-cheng, Li Hong-yuan. Economic discussion of laterite nickel project [J]. World Nonferrous Metals, 2006, 6: 68-69.

[3] 许智迅, 陈华超. 缓解我国矿产资源瓶颈约束对策研究[J]. 地质与勘探, 2009, 45(1): 82-88.

Xu Zhi-xun, Chen Hua-chao. Counter measure Research on Relieving the Bottleneck of Mineral Resources in China [J]. Geology and Exploration, 2009, 45(1): 82-88.

[4] 罗太旭. 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, 2008, 44(4): 45-49.

Luo Tai-xu. Geology and ore-forming mechanism of weathering crust-type nickeliferous silicate deposit Atwaigeo, Indonesia [J]. Geology and Exploration, 2008. 44(4): 45~49.

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

He Can, Xiao Shu-gang, Tan Mu-chang. The Ni deposits of laterite type in Indonesia [J]. Yunnan Geology, 2008, 27(1): 20~26.

[6] Hedenquist JW, Low enstern JB. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1994, 370: 519~526.

[7] Elias M, Donaldson M J, Giorgetta N. Geology, mineralogy, and chemistry of lateritic nickel —cobalt deposits near Kalgoorlie, Western Australia. Economic Geology, 1981, 76: 1775~1783.

[8] Gleeson SA, Butt CRM, Elias M. Nickel lateritic: A review. Newsletter of the Society of Economic Geologists, 2003, 4: 12~18.

[9] 管志宁. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 87-100.

Guan Zhi-ning. Geomagnetic field and magnetic exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005:87-100.

[10] 傅群和, 李朗田, 匡清国, 赵志祥. 鄂东地区金山店铁矿重磁异常特征及资源潜力预测[J]. 地质与勘探, 2008, 44(3): 60-64.

Fu Qun-he, Li Lang-tian, Kuang Qing-guo, Zhao Zhi-xiang. Gravity and magnetic anomaly characteristics and resource potential prediction in the Jinshandian ore mine, eastern Hubei province [J]. Geology and Exploration, 2008, 44(3): 60-64.

[11] 刘玉成, 杨艺华, 王永基. 大冶铁矿控矿构造研究及深部隐伏矿体定位预测[J]. 地质与勘探, 2006, 42(6): 10-16.

Liu Yu-cheng, Yang Yi-hua, Wang Yong-ji. Ore-controlling structures and orientation prognosis of deep concealed ores in the Daye iron mine[J]. Geology and Exploration, 2006, 42(6): 10-16.

[12] 梁德超, 邓军, 杨立强. 地面高精度磁测在胶东某金矿普查区的应用[J]. 地质与勘探, 2000, 36(3): 67-70.

Liang De-chao, Deng Jun, Yang Li-qiang. Application of ground High-precision magnetic measurement to the reconnaissance of one gold mine in eastern Shandong[J]. Geology and Exploration, 2000, 36(3): 67-70.

[13] 刘磊. 便携式荧光仪快速测量多金属矿床中的镍铜品位[J]. 成都地质学院学报, 1987, 14(4): 101.

Liu Lei. The use of series of filters in fluorescent X-ray analysis for estimating the grade of nickel and copper in multimetal sulphide ore[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1987, 14(4): 101.

[14] 张寿庭, 丁益民, 朱创业, 杨耕东. X射线荧光方法在成矿规律研究中的应用[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(2): 104.

Zhang Shou-ting, Ding Yi-min, Zhu Chuang-ye, Yang Geng-dong. The application of XRD analysis method to the minerogenetic regularity study [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19(2): 104.

[15] 曹利国, 丁益民, 王剑. X射线荧光方法进行野外找矿及成矿规律研究的现状和前景[J]. 地球物理学进展, 1998, 13(4): 109-120.

Cao Li-guo, Ding Yi-min, Wang Jian. Situations and prospects of EDXRF in geological exploration and basic research [J]. Progress in Geophysics, 1998, 13(4): 109-120.

Efficient and Fast Exploration Model of Lateritic Nickel Deposits in Sulawesi Island, Indonesia

CUI Min-li^{1,2}, ZHANG Bao-lin¹, SU Jie^{1,2}, XU Yong-sheng¹

- (1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;
2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Lateritic nickel deposits are the major targets of the mineral exploration. The Ni is one of the scarcest metals in our country and there are abundant lateritic nickel deposits in Indonesia. But in abroad, there are lot of challenges from the mining policies, technological conditions and climate. The efficient, fast and low-cost exploration is the fundamental approach to do with the questions. This article takes the lateritic nickel deposit as an example in Sulawesi Island, Indonesia. Firstly, the high-accuracy ground magnetic survey had been conducted to delineate the targets by analyzing the characters of the magnetism in the survey area. Secondly, handheld X-ray fluorescence analyzer was successfully applied in delineating the ore body of Nickel on the spot by univariate regression analysis with the data by the lab analyzer and by the handheld X-ray fluorescence analyzer. At last, the efficient, fast and low-cost exploration model of Lateritic Nickel Deposits was set up.

Key words: lateritic nickel deposit, high-accuracy ground magnetic survey, X-ray fluorescence analyzer, exploration model.