

# 土壤地球化学测量在菲律宾红土型 镍矿勘查中的应用

付小锦<sup>1</sup>, 王志刚<sup>2</sup>, 张启军<sup>3</sup>, 石文学<sup>2</sup>, 李宏臣<sup>2</sup>,  
詹华明<sup>2</sup>, 陈丹明<sup>3</sup>, 付方建<sup>2</sup>, 陈怀亮<sup>2</sup>, 范丽平<sup>2</sup>, 王西玉<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 天津华北地质勘查局地质研究所, 天津 300171;

3. 中钢矿业开发有限公司, 北京 100080)

**摘要:** 通过在菲律宾迪纳加特岛红土型镍矿勘查区开展土壤地球化学测量工作, 发现了一批有价值的地球化学异常。根据红土型镍矿的成矿地质条件与特征, 评价了异常区的找矿潜力, 圈定了红土型镍矿的找矿靶区, 并在靶区的工程查证中取得了较好的找矿效果。工作效果证明, 土壤地球化学测量方法对于红土型镍矿的找矿具有高效、快速和低成本的优势。

**关键词:** 土壤地球化学; 菲律宾; 红土型镍矿; 找矿方法

**中图分类号:** P632.1; P618.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)04-0372-05

## 0 引言

目前世界上的镍矿主要有两种类型: 一是经岩浆分异作用富集而成的硫化镍矿, 另一种则是由超基性岩经风化、淋滤作用富集而成的红土镍矿<sup>[1-3]</sup>。

红土镍矿一般分布在靠近赤道的南纬 15°到北纬 15°的热带—亚热带地区, 如古巴、巴西、印度尼西亚、菲律宾、澳大利亚、新喀里多尼亚和巴布亚新几内亚等<sup>[4-8]</sup>。

红土型镍矿床虽然早已为人们所熟知, 但目前还是主要依靠在探坑或浅井中大量取样来圈定矿化富集地段, 勘查工作周期长、投入多、风险大。虽然有资料介绍用土壤地球化学测量方法进行红土型镍矿的找矿勘查, 但采用面积性化探工作作为找寻红土镍矿主要工作方法的报道却为数不多。笔者于 2008 年参加了菲律宾迪纳加特岛红土镍矿的地质勘查工作, 勘查工作中采用土壤地球化学测量方法进行红土镍矿的地质评价, 取得了较好的找矿效果<sup>[9]</sup>。

## 1 迪纳加特岛地质概况

迪纳加特岛位于菲律宾棉兰老岛以北(图 1), 东邻太平洋、西临莱特湾、南与棉兰老岛北端的苏里高隔海相望, 全岛面积 835 km<sup>2</sup>, 人口约 8 000 人, 经济不发达。该岛属季风型热带雨林气候, 高温、多雨、湿度大、台风多, 年平均气温 27 °C, 年降雨量约 4 400 mm。地表植被发育, 覆土厚 3~5 m。岛上沟谷水系发育, 淡水在雨季能满足矿山小规模生产与生活需求。矿区附近的洛雷托有 5 000 t 级码头, 到苏里高的轮渡每天有班轮往返<sup>[10-11]</sup>。

迪纳加特岛位于菲律宾海沟的西侧, 以分布大面积火成岩和少量沉积岩为特点。火成岩主要有斜方辉橄岩和纯橄岩, 还有部分辉长岩和玄武岩; 沉积岩仅有少量礁灰岩和第四纪冲、洪积物。断裂构造主要有 NE 向和 NW 向两组, 其中 NE 向断裂的形成早于 NW 向断裂, 在后期活动中, NE 向断裂又将 NW 向断裂切割(图 2)<sup>[12-13]</sup>。

收稿日期: 2009-11-18; 改回日期: 2010-03-15

**作者简介:** 付小锦(1983-), 女, 天津蓟县人, 硕士研究生, 2007 年在天津外国语学院获学士学位, 现就读中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 矿物学、岩石学、矿床学专业。通信地址: 北京市海淀区学院路 29 号; 邮政编码: 100083; E-mail: fuxiaojinamina@126.com

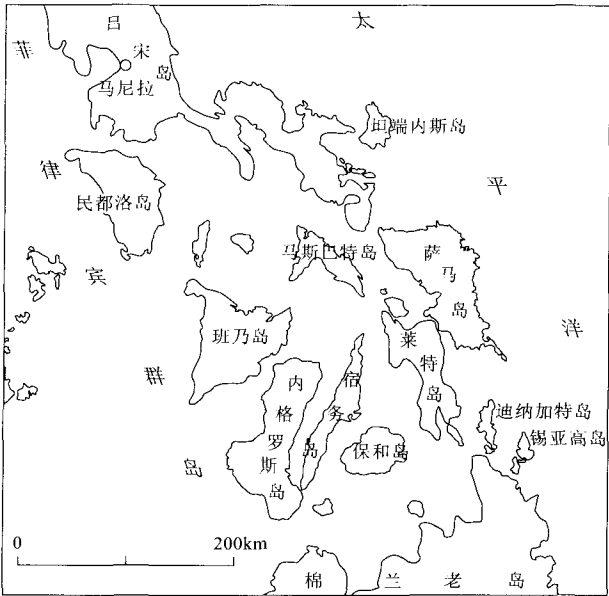


图 1 迪纳加特岛地理位置示意图  
Fig. 1 Location Map of Dinagat Island

地层。火成岩主要为白垩纪超基性岩体,岩性为深灰绿色纯橄岩和方辉橄橄岩。根据首采区样品鉴定结果统计,岩石中的矿物含量:橄榄石 85%~95%,斜方辉石 3%~10%(主要为顽火辉石)。金属矿物有镍黄铁矿、褐铁矿和硫铁镍矿,并有少量磁铁矿、黄铜矿和孔雀石等。纯橄岩和方辉橄橄岩中的橄榄石大多发生蛇纹石化,从而变为蛇纹石化橄榄岩;辉石大多发生绢石化。

工作区从南向北的  $F_1$ ,  $F_2$  和  $F_3$  断裂主要位于超基性岩体内。 $F_1$  为区内最大的构造破碎带,走向  $60^\circ$ ,倾向和倾角不清,宽度约 30 m,控制长度约 1 500 m,断裂沿北东方向延出本区。强烈的挤压使超基性岩碎裂,形成青灰色构造角砾岩和碎裂岩。角砾大小不等,直径 3~20 cm,略有磨圆,部分形成构造透镜体; $F_2$  走向  $55^\circ$ ,宽度约 20 m,控制长度约 1 000 m; $F_3$  走向  $65^\circ$ ,宽度 15 m 左右,控制长度约 750 m, $F_2$  和  $F_3$  的构造特征与  $F_1$  相似,均为挤压性质。由于后期风化严重,产状不清,在地貌上表现为冲沟或小溪,不利于红土的保存,因此对镍矿体具有一定破坏作用<sup>[14-15]</sup>。

3 工作方法

在工作区内按 100 m×40 m 的网度布设土壤地球化学测量点。为了力求采样点分布均匀合理,以最大限度地控制元素含量异常,共布设了 3 000 个采样点。

3.1 样品采集及质量控制

取样时首先去除样点表层植被,然后进行单点采样。采样深度>35 cm,若遇人为污染或地形影响则作适当移位,确保样品的真实性。采样编录以表格形式对采样位置的坐标、岩性、地势、采样深度等进行详细记录。采集的样品过 60 目筛后装袋、编号;样品经核对无玷污和编号错误送实验室。送实验室的样品质量平均为 250 g。检测的元素为 Ni, Co, Fe, Mg, Cr 等 5 项。

本次化探测量工作通过罗盘和 4 台 GPS 仪同点位测量对比,误差<5 m,确保测点精度。

部分测点因故无法正常取样,通过适当位移仍无法取得合格样品的测点作舍弃点处理,在设计的 3 000 个取样点中,舍弃 435 个点,本次共采集 2 565 个点,采样率达 85% 以上,能够满足土壤地球化学测量采样标准。

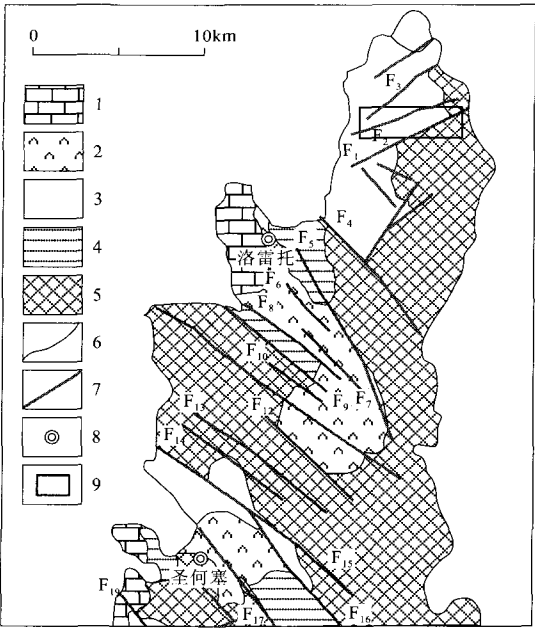


图 2 迪纳加特岛地质简图  
Fig. 2 Geological sketch map of Dinagat island  
1. 礁灰岩 2. 杂岩 3. 纯橄岩 4. 玄武岩 5. 方辉橄橄岩  
6. 地质界线 7. 断裂构造 8. 工作区范围

2 工作区地质简况

工作区位于迪纳加特岛的北部,区内未见沉积

本次工作设计 5% 的重采样,对采样质量进行监控,重采样与基本样一同加工送检。获得数据后计算两次分析值的相对偏差,结果误差很小,相对误差均控制在允许范围内,证明样品采集质量可靠。

3.2 背景值及其异常下限的确定

确定元素背景值和异常下限时通常采用图解法(剖面图解法、直方图解法、概率格子法)或算法,其中大部分方法都属于概率统计的方法<sup>[16]</sup>。本次的背景值和异常下限确定也采用概率统计法。

将原始数据全部取对数,并通过 SPSS 软件包做出直方图(图 3),可以看出,该组数据大体上呈两个对数正态曲线的综合形态,即在频率分布图中呈现双峰曲线,左侧为背景部分,右侧为异常部分。这是因为红土镍矿属于典型的风化壳型矿床,是由超基性岩在热带或亚热带气候环境下发生红土化,在温带气候环境下发生黏土化而形成的,与其他景观环境相比较具有一定的特殊性,其研究的总体中由于区域风化程度不同包含多个总体,所以是复合母体。

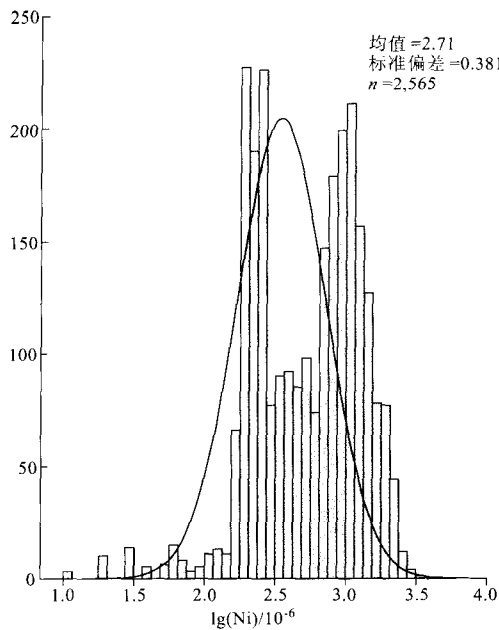


图 3 Ni 的对数直方图

Fig. 3 Ni logarithmic histogram

本组数据用众值( $M_0$ )代替平均值( $\bar{X}$ )作为背景值,用众值左侧的频率分布曲线推算右侧另一半曲线的方法求得背景值。其计算公式为:

$$T=M_0+KS_0$$

式中, $T, M_0, S_0$  分别表示异常下限、众数和标准偏差;系数  $K$  为经验值(2~3),我们选取  $K=2$ ,即:

$$T=M_0+2S_0$$

将数据代入公式,即: $T=2.000+2\times0.381=2.762$

将对数异常下限取反对数,即  $T=578\times10^{-6}$ 。根据计算结果,结合本测区元素质量分数的特征、元素的工业品位以及数据频率统计使异常数据保持占有所有数据的 30%~40% 的原则,进一步确定异常下限的使用值为  $700\times10^{-6}$ <sup>[17]</sup>。

3.3 异常分布及其特征

按异常下限的 1 倍、2 倍和 5 倍勾绘衬度异常图。剔除单点异常后,圈出 3 个较大异常,计算异常强度和异常规模等参数,按异常规模进行排序(表 1)。表中的异常强度为异常区内异常质量分数平均值,异常规模为异常质量分数平均值与异常面积的乘积。

Ni-3 异常的规模最大,分布于测区东南部,异常最高值为  $3\,900\times10^{-6}$ ,异常下限为  $700\times10^{-6}$ ,面积  $4.487\text{ km}^2$ ,异常区主要分布方辉橄榄岩,推测为本区工业矿体及高品位镍矿的主要分布地段;Ni-2 异常分布于测区南部,异常最高值为  $1\,360\times10^{-6}$ ,异常下限为  $700\times10^{-6}$ ,面积为  $0.277\text{ km}^2$ ,异常区的基岩主要为纯橄岩,具有寻找工业矿体的前景;Ni-3 异常分布于测区中部,异常最高值为  $1\,320\times10^{-6}$ ,异常下限  $700\times10^{-6}$ ,面积为  $0.279\text{ km}^2$ ,异常内的基岩主要为纯橄岩,具有寻找工业矿体的前景(图 4)。

4 异常的验证及其效果

4.1 工程验证方法

对工作区土壤地球化学异常的验证主要采取浅井和钻探两种方式。

表 1 Ni 元素异常特征参数  
Table 1 Nickel anomalies characteristic parameter

编号	形态	走向	面积(km <sup>2</sup> )	强度(10 <sup>-6</sup> )	规模( $\bar{x}\cdot\text{km}^2$ )	排序
Ni-1	不规则	NW	0.28	923	257.51	3
Ni-2	椭圆形	近 EW	0.28	1062	294.17	2
Ni-3	不规则	EW	4.49	1812	8130.44	1

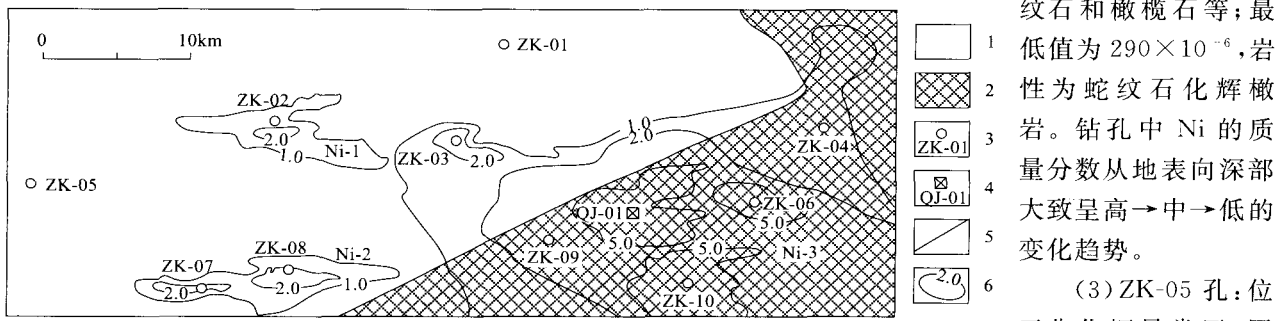


图 4 工作区地质及土壤地球化学异常分布图

Fig. 4 Geological map of the working area with soil geochemical anomalies

1. 纯橄岩 2. 方辉橄岩 3. 钻孔及编号 4. 浅井及编号 5. 地质界线 6. 异常等值线

浅井的施工费用较高,工作量较大,故只布设 1 个,用于系统揭露 Ni-3 异常区异常最高值的地质及矿化情况。浅井采用小方井,井口规格为 1 m×1 m,挖到新鲜基岩后终止;井位用手持 GPS 定位;样品在浅井一壁垂向采取,样长一般为 1 m,最长不超过 1.5 m,以刻槽样为主,刻槽断面规格 10 cm×3 cm;样品实际重量与理论重量误差<15%,保证样品具有代表性。

钻孔主要布设在异常较强地段,为了解非化探异常区地质体矿化情况,在非异常区亦布设 2 个钻孔。所有钻孔均打穿红土层及蚀变橄榄岩带,钻入基岩 3 m 后终孔;矿心采取率达 95% 以上。钻探工程质量合格,达到一级孔要求。

#### 4.2 工程验证结果

样品测试结果表明,钻孔、浅井样品的分析数据与化探异常相互吻合,化探异常的强度与钻孔、浅井样品的品位呈正相关。3 个异常区的样品分析数据能达到工业矿体或富矿体的品位指标;非异常区钻孔的样品品位明显较低,低于工业矿体指标。

(1) ZK-02 孔:位于 Ni-02 异常的高值中心,钻孔位置与化探取样点位置相同。化探取样  $w(\text{Ni})=1\,360\times 10^{-6}$ ;钻孔取样 14 件, $w(\text{Ni})$  平均值为  $969\times 10^{-6}$ ;最高值为  $1\,940\times 10^{-6}$ ,样品岩性为褐红色铁质红土,主要矿物为蛇纹石和橄榄石;最小值为  $200\times 10^{-6}$ ,样品为蛇纹石化纯橄岩。钻孔中 Ni 的质量分数从地表向深部大致呈高→中→低的变化趋势。

(2) ZK-10 孔:位于 Ni-03 异常区的高值中心,因地形原因钻孔位置偏离化探取样点 0.5 m。化探取样  $w(\text{Ni})=3\,600\times 10^{-6}$ ;钻孔取样 22 件, $w(\text{Ni})$  平均值为  $1\,301\times 10^{-6}$ ;最高值  $2\,850\times 10^{-6}$ ,岩性为褐红色铁质红土,可见星点状褐铁矿,主要矿物有蛇

纹石和橄榄石等;最低值为  $290\times 10^{-6}$ ,岩性为蛇纹石化辉橄岩。钻孔中 Ni 的质量分数从地表向深部大致呈高→中→低的变化趋势。

(3) ZK-05 孔:位于非化探异常区,因地形原因钻孔位置偏离化探取样点 0.3 m。化探取样  $w(\text{Ni})=520\times 10^{-6}$ ,钻孔取

样 19 件, $w(\text{Ni})$  平均值为  $167\times 10^{-6}$ ;最高值  $390\times 10^{-6}$ ,为黄褐色松散红土,含少量蛇纹岩角砾,主要矿物为蛇纹石、橄榄石等;最小值  $20\times 10^{-6}$ ,岩性为蛇纹石化纯橄岩。钻孔柱状中 Ni 的质量分数由地表向深部有由高变低的变化趋势。

(4) QJ-01 浅井:位于 Ni-03 异常区的高值中心,浅井位置与化探取样点相同。化探取样  $w(\text{Ni})=3\,900\times 10^{-6}$ ;浅井取样 17 件, $w(\text{Ni})$  平均值  $1\,629\times 10^{-6}$ ;最高值  $2\,980\times 10^{-6}$ ,为褐红色铁质红土,主要矿物为蛇纹石、橄榄石等;最低值  $230\times 10^{-6}$ ,为蛇纹石化辉橄岩。浅井中 Ni 的质量分数呈从高→中→低的变化趋势。

本区红土镍矿中  $w(\text{Ni})$  的总体趋势为高→中→低,造成这种趋势的主要原因是因为越接近基岩则风化程度、红土化作用越弱,蛇纹石化越不发育,从而导致  $w(\text{Ni})$  的降低。从数据中还可发现,本区纯橄岩分布地段  $w(\text{Ni})$  普遍低于方辉橄岩分布地段的  $w(\text{Ni})$ ,似乎暗示着方辉橄岩更有利于成矿。

综上所述,土壤地球化学测量方法在菲律宾红土型镍矿区找矿评价中非常有效,是一种勘查发现能力较强的找矿方法,具有高效、快速、低成本的勘查特点。因钻孔或浅井在采样过程中未剔除地表腐殖土层,故可能造成钻孔或浅井样品的  $w(\text{Ni})$  小于化探样品的  $w(\text{Ni})$ 。

## 5 红土型镍矿区土壤地球化学测量工作流程

根据红土镍矿的特点及土壤地球化学的工作方法,红土型镍矿区土壤地球化学测量的工作流程如下:

(1) 选定远景区。一般在中小比例尺地质图上

选取超基性岩较为发育、特别是橄榄岩或纯橄岩较为发育的地段作为首选工作区,原岩越破碎、含镍越高、蛇纹石化角砾岩化越严重则越有利于成矿。

(2)在远景区内布置尽可能穿越红土区的测线,采取100 m×40 m的矩形规则测网。若矿体走向或断层走向不甚清楚时,化探采样的点距和线距应采用等距离布设,即普查阶段采用300 m×300 m的方形网,若测区范围大可以先采用500 m×500 m,然后选择有望地段加密到300 m×300 m或150 m×150 m,发现异常后,采用50 m×50 m方形网进行详细评价。采样深度为35 cm,分析元素为Ni, Co, Fe, Mg, Cr等。

(3)根据化探结果,选择矿致异常进行地质填图、勘探施工等。

(4)根据填图、勘探工程结果以及相应指标进行相应储量计算。

**致谢:**本文在撰写过程中,徐锡华教授给予了热情指导,在此表示感谢,同时感谢审稿人提出的宝贵意见。

#### 参考文献:

- [1] 陈浩疏,吴水波,傅德彬. 镍矿床[M]. 北京:地质出版社, 1993, (5): 22-57.
- [2] 袁见齐,朱上庆,翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社, 1985.
- [3] 刘冰川. 菲律宾铜、镍矿产资源[J]. 中国金属通报, 2005(28): 24-25.
- [4] 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]. 矿产与地质, 2009, 23(1): 73-75.
- [5] 王瑞江,聂凤军,严铁雄,等. 红土镍矿找矿勘察与开发利用新进展[J]. 地质论评, 2008, 54(2): 215-224.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 崔敏利,张宝林,苏捷,等. 印尼苏拉威西岛红土型镍矿的高效快速勘查模式[J]. 地质与勘探, 2009, 45(4): 17-22.
- [10] 王志刚,陈怀亮,王西玉,等. 菲律宾迪纳加特岛30#矿权区红土镍矿首期地质勘查报告[R]. 天津:天津华北地质勘查局地质研究所, 2009.
- [11] 王仕彬. 菲律宾迪纳加特岛铬铁矿地质特征简介[J]. 福建地质, 2007(1): 51-56.
- [12] 王志刚. 菲律宾迪纳加特岛红土型镍矿床地质特征及找矿勘查方法[J]. 地质与勘探, 2010, 46(2): 61-66.
- [13] Elias M, Donaldson M J, Giorgetta N. Geology, mineralogy, and chemistry of lateritic nickel-cobalt deposits near Kalgoorlie[J]. Western Australia Economic Geology, 1981, 76: 1775-1783.
- [14] Hock M, Friedrich G, Plüger W L, et al. Refractory-and metallurgical-type chromite ores, Zambales ophiolite, Luzon, Philippines[J]. Mineralium Deposita, 1984: 190-199.
- [15] Hedenquist J W, Lowenstein J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1994, 370: 519-526.
- [16] 刁理品,韩润生,方维萱,等. 沟系土壤地球化学测量在贵州普晴锑金矿勘查区应用与找矿效果[J]. 地质与勘探, 2010, 46(1): 20-27.
- [17] 长春地质学院找矿教研室. 找矿方法[M]. 北京:地质出版社, 1979.

## APPLICATION OF SOIL GEOCHEMICAL SURVEY TO LATERITIC NICKEL ORE EXPLORATION IN THE PHILIPPINES

FU Xiao-jin<sup>1</sup>, WANG Zhi-gang<sup>2</sup>, ZHANG Qi-jun<sup>3</sup>, SHI Wen-xue<sup>2</sup>  
LI Hong-chen<sup>2</sup>, ZHAN Hua-ming<sup>2</sup>, CHEN Dan-ming<sup>3</sup>, FU Fang-jian<sup>2</sup>,  
CHEN Huai-liang<sup>2</sup>, FAN Li-ping<sup>2</sup>, WANG Xi-yu<sup>2</sup>

- (1. Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Geological Institute of North China, Geological Exploration Bureau of Tianjin, Tianjin 300171, China;
3. Sinosteel Mining CO. Ltd., Beijing 100080, China)

**Abstract:** Soil geochemical survey conducted in the lateritic nickel ore exploration at an island of Philippines revealed a group of valuable geochemical anomalies. Based on geological characteristics of lateritic nickel ore deposit and the metallogenic condition of the island targets of the lateritic nickel ore are lineated and the ore potential is evaluated. Workings were operated with good results suggesting that soil geochemical survey is an effective and quick technology for the lateritic nickel ore exploration at low cost.

**Key Words:** soil geochemical survey; Philippines; lateritic nickel ore; ore prospecting technology