境外矿产

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

王志刚
(天津华北地质勘查局地质研究所,天津　300171)

[摘　要]通过对菲律宾迪纳加特岛风化壳氧化镍-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。找矿勘探工作要在找矿区域进行地质填图及工程取样扫面来确定矿化区。

[关键词]迪纳加特岛　红土镍矿　地质特征　找矿勘探
[中图分类号]P618.63　[文献标识码]A　[文章编号]0495-5331(2010)02-0361-06

Wang Zhi-gang. Geological features of lateritic nickel deposits and mineral exploration methods in the Dinagat Island, Philippines[J]. Geology and Exploration,2010,46(2):0361-0366.

1　引言

随着我国经济的快速发展,人们对矿产资源的需求正在不断的增加,尤其是近年来,国内国际矿产品价格持续走高(刘庆成等,2006),在我国两种资源、两个市场的引导下,许多有识之士纷纷走出国门,从事国外矿产资源的勘查与开发,对我国充分利用国外矿产资源起到积极的作用(王瑞江等,2008;许智讯等,2009)。笔者有幸受 XX 矿业公司委托,前往菲律宾迪纳加特岛为该公司所属红土镍矿矿权区进行地质勘查工作,现将工作中积累的经验及收集到的有关资料进行总结,希望能对投资者有一定的帮助和启发。

迪纳加特岛位于菲律宾的东南部(图 1),属菲律宾群岛重要组成部分。它北与莱特岛遥遥相对,南与棉兰老岛的苏里高隔海相望,西濒苏禄海,东临太平洋。全岛大部分地区为山地,仅沿海有零星分布的狭窄平地,海拔 0 ~ 900m,虽然绝对高程不高,但相对高差较大。全岛属典型的季风型热带雨林气候,高温多雨,湿度大,除采掘业外,其他工业欠发达。居民多以种植、捕鱼为生。全岛有色金属(镍、钴)矿产资源丰富,有多处拟开发和正在开发的矿山(王仕彬,2007)。水资源丰富,供水简单。生活用电靠燃油机发电,生产用电靠企业自给。劳动力充足(王志刚等,2009)。

2　成矿环境

本区地质工作程度很低,区域地质资料匮乏,且本次工作仅限于工作区,故仅据粗略了解的区域地质背景简述如下:该岛位于菲律宾海板块—菲律宾海沟中部西侧。沉积岩不发育,仅在岛的西侧或海边有零星出露,岩性为灰岩、礁灰岩、生物灰岩等,产状平缓(图 2),厚度不详,形成时代为第三系,前人定为洛雷托组。靠近海边局部地段有第四纪冲洪积。中生代末侵入的为深灰绿色纯橄岩、深灰色斜方辉橄岩及蛇纹石化橄榄岩和部分辉长岩构成的超基性杂岩体(图 3、图 4),资料介绍呈岩基侵入,出露面积大于 600 km^2。同位素年龄 84.8Ma,与国内对比,属燕山晚期之产物。区域内断裂构造较发育,主要有北西向和北东向两组断裂。北东向断裂早于北西向断裂,后期北东向断裂进一步活动,并切割北西向断裂(M. Hock 等,1984)。

[收稿日期]2009-11-11;[修订日期]2010-03-13;[责任编辑]陈喜峰。
[作者简介]王志刚(1982 年—),男,2005 年毕业于石家庄经济学院,获学士学位,工程师,毕业后一直从事城市地质及矿床地质调查工作,E-mail:wzg0425@163.com。

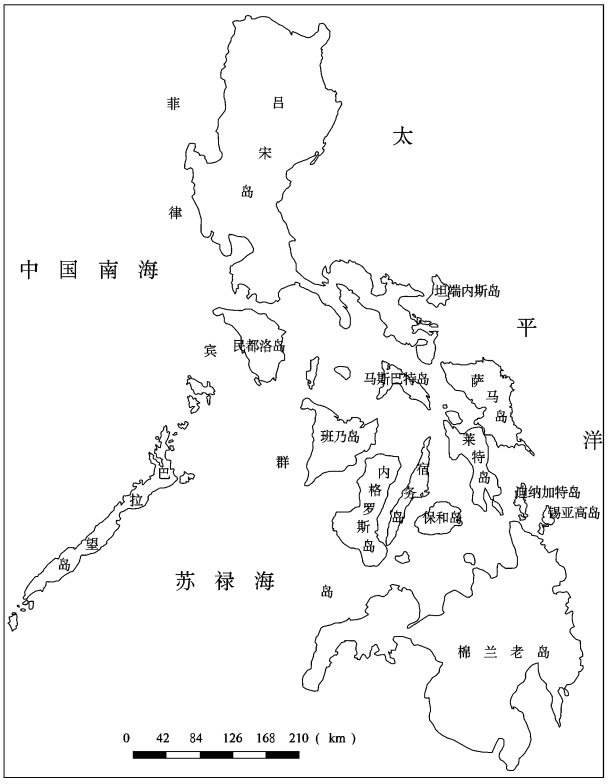


图 1 迪纳加特岛地理位置示意图

Fig. 1 Map showing the location of the Dinagat Island



图 2 迪纳加特岛沉积地层特征

Fig. 2 Dinagat i. characteristics of sedimentary strata in Dinagat Island

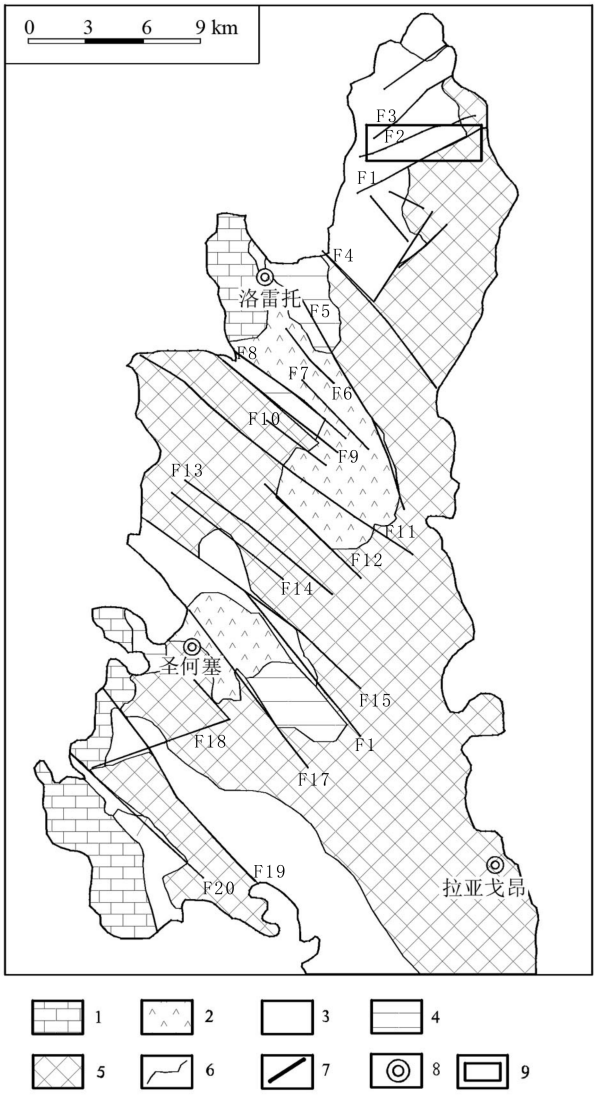


图 3 迪纳加特岛区域地质简图

Fig. 3 Schematic map of regional geology in the Dinnagat Island

1-礁灰岩;2-杂岩;3-纯橄岩;4-玄武岩;5-方辉橄榄岩;6-地质界线;7-断裂构造;8-地名;9-工作区范围

1- reef limestone;2- complex;3- dunite;4-basalt;5- harzburgite;6 - geological boundary;7-fault;8- place name;9- work area

3 矿体地质特征

本工作区位于迪纳加特岛北部,区内未发现沉积地层,岩浆岩主要是白垩纪形成的超基性侵入岩,岩性为深灰绿色纯橄岩、辉橄岩。根据首采区所采样品鉴定结果统计岩石矿物含量为:橄榄石 85 ~95%(其中约一半发生蛇纹石化),斜方辉石 3 ~10%,主要为顽火辉石。金属矿物有镍黄铁矿、黄铁矿、硫铁镍矿,并有少量磁铁矿、黄铜矿、孔雀石等。由于后期的风化改造作用,纯橄岩、辉橄岩中的橄榄石大多发生蛇纹石化,从而转变为蛇纹石化橄榄岩。辉石大多发生绢石化(冶金工业部赴菲斑岩铜矿地质考察组,1980; Hedenquist JW 等,1994;Elias M 等,1981)。

工作区内超基性岩基岩主要出露三处,分别位于工作区西南部、中北部及中东部。岩性均为蛇纹石化橄榄岩,表面生长了薄层灰绿色的苔藓类植物,打开后新鲜面为灰色,风化严重的为灰黄色。在超



图 4　迪纳加特岛杂岩体

Fig. 4　Igneous complex in Dinagat Island



图 5　迪纳加特岛工作区构造角砾岩、碎裂岩

Fig. 5　Structural breccia and fragmented rock in the work area of Dinagat Island

基性岩基岩露头的周围,依次形成了松散红土及坡积物、腐殖土掩盖下的松散红土、铁质红土等超基性岩风化壳单元,是红土镍矿成矿的主要物质基础。

本工作区断裂构造从南向北可分为三条,F1、F2、F3,主要位于超基性岩体内(图 3)。F1 为本区最大的构造破碎带,走向 60°,产状不清,宽度约 30 m,控制长度约 1500 m,北东段延出工作区,强烈的挤压使超基性岩破碎、碎裂形成青灰色构造角砾岩、碎裂岩(图 5),角砾大小不等,3 ~ 20 cm,略有磨圆,部分形成构造透镜体。F2 宽度约 20 m,控制长度约 1000 m,走向 55°,岩性与 F1 相同。F3 位于本区北部,走向 65°,宽度 15 m 左右,控制长度约 750 m 左右,岩性与 F1、F2 相同。综上所述:本区的断裂构造主要发育在超基性岩体内,形成年代晚于岩体,性质为挤压型,但由于后期风化严重改造,产状不清,在地貌上表现为冲沟或小溪,但不利于红土保存,因此对镍矿体具有破坏作用。

4　矿床地质特征

4.1　岩体风化特征

本区超基性岩体近地表部位大部分都形成了厚薄不一的风化壳,风化壳厚度几米 ~ 几十米,最浅的钻孔控制厚度 5 m,最深的钻孔控制厚度 35 m。本区风化壳风化程度深浅不一,风化程度深,颜色表现为紫红色、褐红色,Fe 含量越高;风化程度浅,表现为黄褐色、灰黄色,Fe 含量越低。整体来看,本区风化程度均可达到中等。风化壳的平面形态为面状,剖面形态为层状、似层状。风化壳的厚度随地形的变化很明显,地形越缓,风化壳厚度越厚,地形越陡,风化壳厚度越薄(刘成忠等,2009;马绍春等,2009;罗太旭,2008;何灿等,2008)。

根据前人资料,超基性岩风化壳垂直分带明显,从上到下划分为残余红土带、蚀变橄榄岩带和镍富集带、原始橄榄岩带(图 6)。本次大致参照前人的划分方法,只是根据实际情况略有改动,划分为腐殖土层、铁质红土层、松散红土层(对应残余红土带),强风化的蛇纹石化橄榄岩层(对应蚀变橄榄岩带),以及基本未风化的超基性橄榄岩层(对应原始橄榄岩带)。腐殖土层一般厚 0 ~ 0.5 m,铁质红土层厚 0.5 ~ 7 m,松散红土层厚 2 ~ 25 m,强风化的蛇纹石化橄榄岩层厚 1 ~ 5 m。以上各层、带界限呈逐渐过渡,其厚度常随风化条件的差异而不同,最底部为基本未风化的基岩。(图 7)本区钻孔岩芯,最上部为腐殖土层,其次为铁质红土层、松散红土层、强风化蛇纹石化橄榄岩层、原始橄榄岩层。

4.2　矿石特征

前已述及,本区主要岩性为纯橄岩、斜方辉橄岩。成矿母岩的存在,给富集成矿提供了丰富的物质基础。在本次工作区范围内发现了平均品位为 1.16%,储量为中型的镍矿床,矿体呈层状、似层状展布,厚度一般在 10m 左右,大部分地表红土层就是矿体。主要地质特征如下:

(1) 矿石类型:按镍矿石的物质组分及不同用途划分矿石工业类型,本区镍矿石分为红土氧化镍矿石和硅酸镍矿石两个类型(图 6)。铁质红土、松散红土主要以红土氧化镍矿石为主,而高岭土化蛇纹石化橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩等主要以硅酸镍矿

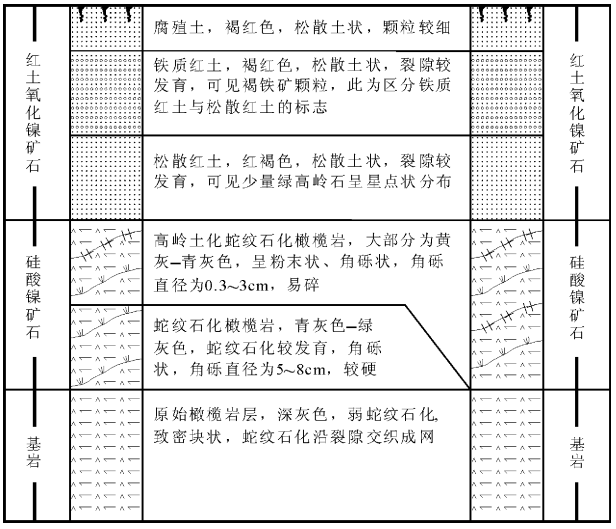


图 6　工作区综合柱状图

Fig. 6　Integrated histogram in work area

表 1　ZK03-01 钻孔 Ni 含量表

Table 1　Ni content of samples from borehole ZK03-01

样品编号	采样深度	Ni,%
ZK03-01-1	0 ~ 1 m	0.96
ZK03-01-2	1 ~ 2 m	1.14
ZK03-01-3	2 ~ 3 m	1.37
ZK03-01-4	3 ~ 4 m	1.4
ZK03-01-5	4 ~ 5 m	1.57
ZK03-01-6	5 ~ 6 m	1.34
ZK03-01-7	6 ~ 7 m	1.63
ZK03-01-8	7 ~ 8 m	1.5
ZK03-01-9	8 ~ 9 m	1.65
ZK03-01-10	9 ~ 10 m	1.67
ZK03-01-11	10 ~ 11 m	1.49
ZK03-01-12	11 ~ 12 m	1.1
ZK03-01-13	12 ~ 13.6 m	1.6
ZK03-01-14	13.6 ~ 14 m	1.2
ZK03-01-15	14 ~ 15 m	0.9
ZK03-01-16	15 ~ 16 m	0.63
ZK03-01-17	16 ~ 17 m	0.23
ZK03-01-18	17 ~ 18 m	0.26
ZK03-01-19	18 ~ 19 m	0.2

石为主。一般情况下,富矿体赋存于铁质红土、松散红土中,矿石类型主要以红土氧化镍矿石为主(图 7,表 1)。

(2) 成矿作用:在热带(或亚热带),超基性岩遭受红土化作用,进而富集成矿。红土化作用是一

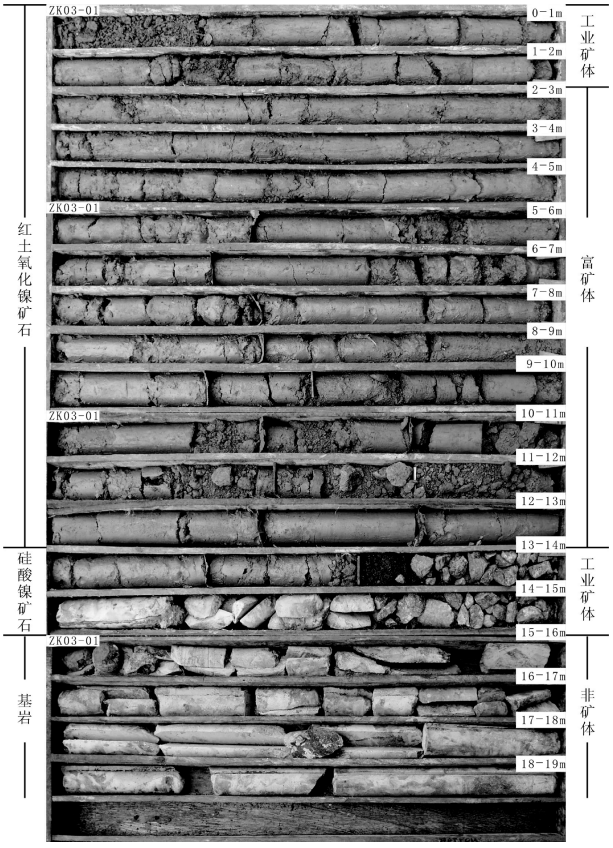


图 7　钻孔矿石类型示意图

Fig. 7　Sketch of ore types from boreholes

种风化过程-超镁铁岩石风化过程中,使 Ni 溶于地下水深处重新沉淀,形成一个含 Ni 较高的富集带,Ni 与 Si 及其它元素分离并使 Ni 沉淀。在纯橄榄岩、橄榄岩中由 Mg、Fe 硅酸盐构成的橄榄石一般含 Ni 0.25%,经风化富集后,在风化壳中形成镍矿。

(3) 赋矿层:经地质填图、钻孔和浅井揭露,含镍风化壳由上而下赋矿岩性主要为:① 腐殖土层:褐红色、暗红色,颗粒较细,结构较松散,含有植物根系。90 个钻孔见腐殖土,其中 88 个钻孔具有矿化,Ni 品位 0.3 ~ 0.7%,厚度 0 ~ 0.5 m,一般不具工业价值;

② 铁质红土层:铁质红土主要由褐红色、砖红色红土,土状、块状、皮壳状、结核状和胶状褐铁矿团块组成。Ni 品位 0.5 ~ 1.3%,厚度 0.5 ~ 7 m。属工业矿层,具工业价值;

③ 松散红土层:主要由红土及少量强风化的蛇纹石化橄榄岩碎屑组成,Ni 品位 0.8% ~ 1.7%,厚度 2 ~ 25 m,属工业矿层,具工业价值;

④ 强风化的蛇纹石化橄榄岩层:Ni 品位 1.0% ~ 2.0%,厚度 1 ~ 5 m。属工业矿层,具工业

价值。

综上可知,镍矿最有利的含矿层位是铁质红土、松散红土、强风化蛇纹石化橄榄岩层,即镍矿最有利的成矿地段是铁质红土及腐殖土出露区,其次是松散红土及坡积物出露区,而基岩出露区基本不成矿,或者说成矿意义很小。

根据钻孔及浅井的揭露,矿体的厚度及品位随着地形的起伏变化较大,坡度角较小区域,品位变富,厚度增大;反之,则品位降低,厚度减小。但总体来说,连续性较好的矿体主要分布在 250 ~600 m 标高,埋深多在 0 ~3 m 之间。

镍矿体厚度与铁质红土、松散红土厚度亦呈正相关,呈层状、似层状分布。一般来说,红土越厚,矿体也越厚。松散红土中的镍矿体品位一般在 1% 左右,而富矿体一般赋存在表层有铁质红土的松散红土层的下部或中下部,镍品位往往大于 1.5%,多呈粒状结构,土状、团块状构造,颜色不均一,并夹有少量强风化的蛇纹石化橄榄岩角砾及岩屑。

5　成因讨论

本镍矿属于典型的风化壳型红土镍矿,这类矿床是由超基性岩在热带或亚热带地区遭受红土化作用,在温带遭受粘土化作用形成的。

在橄榄岩中由 Mg、Fe 硅酸盐所组成的橄榄石一般含 Ni0.2 ~0.3%,极易红土化风化破坏,并导致 Ni 的富集,其形成可分为两个阶段,第一阶段:在富含 CO_2 的地下水作用下,促使橄榄石溶蚀,从而分解出 Fe、Mg、Ni 进入溶液,而 Si 则形成 SiO_2 胶体,而 Fe 的氧化物最后靠近地表,纤铁矿[FeO(OH)]和赤铁矿(Fe_2O_3)形式和 CO_2 一起沉淀,最后可以形成含 Ni 1 ~1.5% 的褐铁矿化红土矿;第二阶段,红土矿化的继续,由于风化作用的发展,更多的 Fe、Mg 和 Si 残留于溶液中,在酸性地下水中,随之继续下渗,最后溶液中和后变成含水硅酸盐沉淀。由于 Ni 的溶解度比 Mg 小,因此,沉淀中的 Ni Mg 比高于溶液中的 Ni Mg 比,部分随地下水流失。如果侵蚀过程地表水下降,酸性地下水又能重新侵蚀已经富集了 Ni 的沉积物,溶解搬运至深部使其重新沉淀为一种硅酸盐矿物,从而 Ni 含量逐渐积累富集,结果使含 Ni 0.25% 的原岩富集 5 ~8 倍以后形成了含 Ni 1.2 ~2.0% 的矿石(徐强等,2009)。

迪纳加特岛位于北纬 10°,地处热带,阳光直射,不仅常年保持高温,而且雨水充沛,又因超基性岩孔隙度较大,雨水下渗快,这就加大了岩体风化深度,也就加快了红土化进程,因地下水水位的不断变化,则更有利于矿化风化壳的形成。

6　找矿技术方法

根据红土镍矿的生成条件,首先是通过地质填图确定矿区范围内的远景区,然后在远景区内圈出矿化富集区段,在矿化最好的区段布置工程进行勘探(李锡等,2008;崔敏力等,2009)。具体步骤如下:(1) 研究地质条件。一般在 1:100 万地质图(或更大比例尺地质图)上选取超基性岩较为发育、特别是方辉橄榄岩或纯橄榄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更有利于成矿。

(2) 利用当地 1:50000 地形图研究工作区地形条件和地表植被情况,寻找地表有超基性岩出露、地形起伏不大、地势较为平坦的丘陵地区,特别是平坦的边缘和突出部分或平缓的斜坡、树林不发育的地区。因为红土型镍矿较为富集的地区,其地表土壤相对较为贫瘠,不适宜植物生长发育。

(3) 进行 1:10000 地质填图工作,垂直(或大致垂直)岩层走向布置观察路线。观察路线上地质点点距控制在 100 ~200 m,点数控制在 40 点/km^2 ~60 点/km^2,在填图过程中,每个地质点均进行洛阳铲取样工作,洛阳铲孔深度不应小于 3 m,必须揭露到新鲜红土层;根据在红土镍矿矿区的工作经验,在遇见有利于红土镍矿成矿地段进行手摇钻取样工作,手摇钻孔深度保证在 10 m 左右,样品为5 m/个,数量控制在 20 孔/km^2。将取回的样品送往化验室检测,根据化验结果初步圈出地表红土镍矿化较好的靶区。

(4) 在选定的红土镍矿化较好的靶区进行地质勘探,探矿工程主要选择性价比较高的浅钻。钻孔按 100 m×100 m 网度布设。将矿化带长轴方向定为 0 号勘探线线,两侧分别为奇数号和偶数号,钻孔及勘探线的布设均由专业测量人员进行,钻孔必须钻到新鲜基岩 2 米后终孔。钻孔取样按照一米一样原则进行,取样后将样品送到指定化验室进行分析化验,主要分析 Ni、Fe、Co、Mg、Cr 等成分。

(5) 最后计算矿体储量。首先计算各钻孔中矿体的平均品位及厚度,然后再计算整个矿体的平均品位、厚度及储量。矿体边界品位一般为 0.5%,最低工业品位为 1%,最小可采厚度及最大夹石剔除厚度均为 1 m,或按照指标计算矿体储量。

[References]

Cui Min-li, Zhang Bao-lin, Su Jie, Xu Yong-sheng. 2009. Efficient and fast exploration model of lateritic nickel deposits in Sulawesi[J]. Geology and Exploration, 45(04): 417-422

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

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

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

Li Xi, Luo Wen-lai. 2008. Southeast Asia lateritic nickel ore prospecting technology and methods of construction safety regulations[J]. West-China Exploration Engineering, (02): 59-61

Liu Cheng-zhong, Yin Wei-qing, Tu chun-gen, He Wei-ji. 2009. Geologic characteristics and exploration & utilization progress of laterite nickel deposits in Luzon Island, Philippines[J]. Jiangxi Nonferrous Metals, 23(02): 3-10

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

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

M. Hock, G. Friedrich, W. L. Plüger, A. Wichowski. 1984. Refractory-and metallurgical type chromite ores, Zambales ophiolite, Luzon, Philippines[J]. Mineralium Deposita, 190-199

Ma Shao-chun, Zhen Guo-long. 2009. The geological conditions of metallogenesis of mwetaung Mt laterite deposit, Myanmar[J]. Geology of Yunnan, 28(2): 167-171

Metallurgical Industry Ministry went to the Philippine porphyry copper geology study group. 1980. Philippine nickel laterite exploration of the generation and prospecting[J]. Geology and Exp loration, (02): 26-29

Wang Rui-jiang, Nie Feng-jun, Yan Tie-xiong, Jiang Si-hong, Wang Hai-bei, Li Yan. 2008. New achivements of mineral exploration and utilization of the laterite nickel deposits[J]. Geological Review, 54(2): 215-224

Wang Shi-bin. 2007. Brief introduction of geologic characteristics of chromite in Dinagat Island of the Philippines[J]. Geology of Fujian, (01): 51-56

Wang Zhi-gang, Chen Huai-liang, Wang Xi-yu, Guo Wei, Zhan Jian, Che Lu-kuan, Chen Li-zhen, Wang Xiao-ye, Wang Mao-song. 2009. Philippines dinagat 30# laterite nickel ore mine first geological survey report. TianJin: Geological Institute of North China Geological Exploration Bureau of Tianjin

Xu Qiang, Xue Wei-chong, Xu Su-yun, Zhu Yun-chao. 2009. Generation of lateritic-nickel resources and their prospecting and exploration in Indonesia[J]. Mineral Resources and Geology, 23(1): 73-75

Xu Zhi-xun, Chen Hua-chao. 2009. Countermeasure research on relieving the bottleneck of mineral resources in China[J]. Geology and Exp loration, 45(1): 82-88

[附中文参考文献]

崔敏利,张宝林,苏 捷,徐永生. 2009. 印尼苏拉威西岛红土型镍矿的高效快速勘查模式. 地质与勘探,45(04):417-422

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

李 锡,罗文来. 2008. 东南亚红土型镍矿探矿工程施工方法工艺与安全规程[J]. 西部探矿工程,(02):59-61

刘成忠,尹维青,涂春根,何维基. 2009. 菲律宾吕宋岛红土型镍矿地质特征及勘查开发进展[J]. 江西有色金属,23(02):3-10

刘庆成,李洪元. 2006. 红土型镍矿项目的经济性探讨[J]. 世界有色金属,68-69

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

马绍春,郑国龙. 2009. 缅甸莫苇塘红土型镍矿成矿地质条件[J]. 云南地质,28(2):167-171

冶金工业部赴菲斑岩铜矿地质考察组. 1980. 菲律宾红土镍矿的生成及找矿勘探[J]. 地质与勘探,(02):26-29.

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

王仕彬. 2007. 菲律宾迪纳伽特岛铬铁矿地质特征简介. 福建地质,(01):51-56

王志刚,陈怀亮,王西玉,郭 维,詹 键,车路宽,陈立桢,王晓烨,汪茂松. 2009. 菲律宾迪纳加特岛 30#矿区红土镍矿首期地质勘查报告. 天津:天津华北地质勘查局地质研究所

徐 强,薛卫冲,徐素云,朱元超. 2009. 印度尼西亚红土镍矿的生成及找矿勘探[J]. 矿产与地质,23(1):73-75

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

Geological Features of Lateritic Nickel Deposits and Mineral Exploration Methods in the Dinagat Island, Philippines

WANG Zhi-gang

(*Geological Institute of North China, Geological Exploration Bureau of Tianjin, Tianjin* 300171)

Abstract: This paper presents the analysis and investigation to the geological conditions of mineralization, geological features and mineralization mechanism of nickel oxide in weathering crust in the Dinagat Island of Philippines. It is considered that the mineral deposit was formed from the ultramafic rock-peridotite in Mesozoic, Tertiary, and Quaternary times in tropical and subtropical climatic conditions undergoing weathering. The nickels were leached from the silicate minerals and with the infiltration of surface water down to the lower part of the weathering crust. It has a typical shell-type silicate weathering character of nickel deposits. To explore the ore in the prospecting area needs geological mapping and geochemical halo secondary scanning work to determine the mineralization zones

Key words: Dinagat Island, lateritic-nickel, geological features, exploration