

菲律宾保和岛达瑙镍矿地质特征及成因探讨

陈德杰

(河南省有色金属地质矿产局第一地质大队, 河南 郑州 450016)

摘要: 菲律宾保和岛达瑙镍矿床位于西比克尔-东莱特岛 (Western Bicol-Eastern Leyte) 蛇绿岩带附近, 矿体分布在超基性岩体顶部的褐铁矿层、腐泥土层中, 与地表红棕色土壤的分布范围基本一致。层中硅镁镍矿较为发育, 主要含镍矿物为镍绿泥石、暗镍蛇纹石。化学分析结果显示成矿物质来源于超基性岩; 对矿区超基性岩、气候、地理位置、岩石破碎程度等特征进一步分析研究, 认为该矿床的成因类型为风化壳淋积矿床。地壳抬升超基性岩接受风化, 释放出 Ni^{2+} 。 Ni^{2+} 随地表水下渗至褐铁矿层下部的腐泥土层 (风化岩石) 中被蛇纹石矿物捕获, 富集成矿。类质同象中的 Mg^{2+} 释放出来, 由于本区地层渗透性好, Mg^{2+} 至基岩处富集。一般而言, 红土层下面的风化岩石含 Ni 最富。

关键词: 菲律宾保和岛; 达瑙镍矿; 地质特征

中图分类号: P618.63; P611 **文献标识码:** A

保和岛达瑙市位于赤道附近, 属热带季风性气候, 终年炎热湿润, 雨量充沛, 生物活动力强, 非常有利于化学风化矿床 (尤其是红土型镍矿) 的形成。区内大面积分布的超基性岩为红土风化壳型硅酸镍矿床的形成提供了充足的物质来源 (刘成忠等, 2009)。保和岛位于菲律宾大断裂中段, 矿产资源丰富。近年来, 在东西沿海, 发现了一些镍矿床及矿点。中国地质科学院亚洲地质图编图组 (1980)、中国地质调查局发展研究中心境外矿产资源研究室 (2009)、冶金工业部赴菲斑岩铜矿地质考察组 (1980)、杜劲光 (1984)、赵国权 (1990) 和刘成忠 (2010) 等均就菲律宾镍矿进行过考察和调查, 发现具有工业价值的镍矿多为红土型。红土型镍矿多产于蛇绿岩带上, 主要与地理位置、地形、气候、构造复杂程度、超基性岩和岩石破碎程度等有关。

虽然菲律宾以及中国的专家都对红土型镍矿进

行过考察和勘查, 但是勘查重点集中在巴拉望、苏里高等岛, 保和岛镍矿的地质勘查程度较低, 对镍矿的形成机制存有争论。笔者旨在前人工作的基础上, 通过对矿区矿床地质、矿体特征、地球化学等方面的研究, 以探讨该矿床的矿化特征及形成机制。

1 区域地质概况

该区所处大地构造位置与菲律宾大断裂南中部隔海相望, 相距约 10 km。菲律宾大断裂及其两侧断裂对菲律宾侵入岩、火山岩及矿产的分布起到了重要的控制作用 (杜劲光, 1984)。菲律宾中生代岩浆活动强烈, 形成超基性、基性-中性-酸性系列侵入岩。其中, 橄榄岩、纯橄榄岩和辉长岩主要分布在保和岛东西沿海, 镍矿床与各种基性-超基性岩组成的蛇绿岩系伴生 (陈浩疏等, 1993)。

收稿日期: 2011-09-08; 修回日期: 2012-04-20

基金项目: 2007 年度国外矿产资源风险勘查基金项目“菲律宾保和锰铬镍矿普查”

作者简介: 陈德杰 (1965-), 男, 河南柘城人, 硕士研究生, 地质高级工程师, 从事矿产普查与勘探工作。E-mail: 575591482@qq.com.

出露地层主要有上新统一更新统 (NQS) 海陆相沉积岩、上中新统 (N₂) 沉积岩和火山岩、晚渐新统一中新统 (N₁) 沉积岩和火山岩、白垩系 (K) 沉积岩和火山岩 (图 1)。保和岛的北部和东部有白垩系出露，在一条北北东向的往西冲的冲断裂一侧，出露了基底杂岩和超基性岩。岩浆岩主要有中-酸性岩浆岩和基性-超基性岩浆岩。中-酸性

岩包括：闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩和二长岩，局部有辉长岩、正长岩和花岗岩；基性-超基性岩有橄榄岩、纯橄岩和层状辉长岩，橄榄岩和纯橄岩多蛇纹石化。区域构造发育，褶皱多为北东—南西向，延伸 120~250 km，岛上的新第三系褶皱轴向为北西向，褶皱仍具箱状特点。断层为北西、近南北向，延伸约 30~60 km。

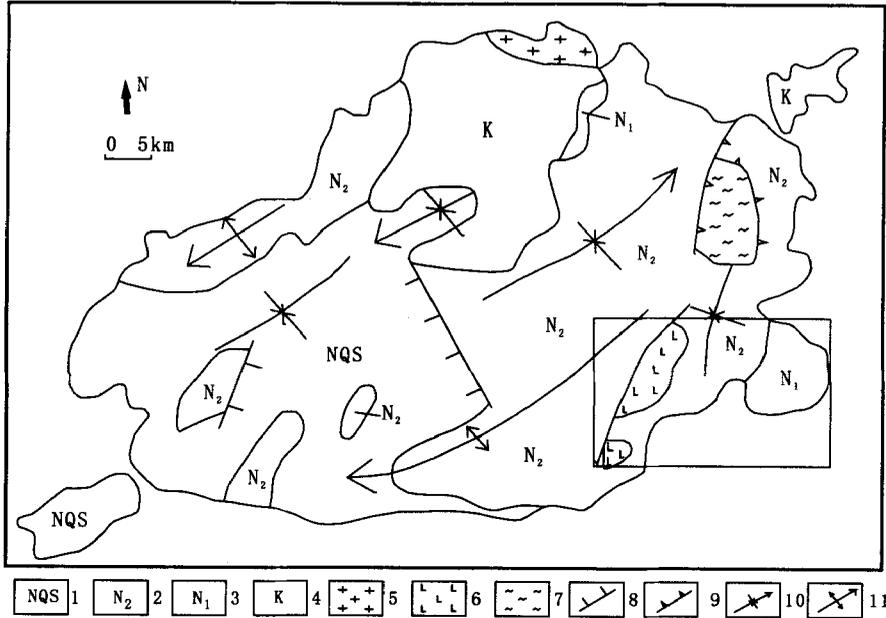


图 1 菲律宾保和岛区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map of Bohol, Philippines

- 1. 上新统一更新统；2. 上中新统；3. 晚渐新统一中新统；4. 白垩纪；5. 中-酸性岩；6. 基性-超基性岩；
- 7. 变质岩；8. 正断层；9. 逆断层；10. 向斜；11. 背斜

2 矿区地质

矿区位于保和岛基性-超基性岩分布区，西比克尔 (Western Bicol) -东莱特岛 (Eastern Leyte) 蛇绿岩带的边部 (Aurelio, 1996)。主要是第三纪地层，主要有乌拜火山岩组、卡门组、赛尔拉-布隆斯石灰岩组和第四系。乌拜火山岩组 (Ubay Volcanics) 主要在区内北部有零散分布，主要由块状安山质和玄武质火山岩混合物，以及侵入的辉长岩和辉绿岩组成；卡门组 (Carmen Formation) 岩性主要包括顶部的赛维拉泥灰岩、托比根砾岩、卡门砂岩和页岩，以及下沉在底部的凝灰岩、里汉页岩互层；赛尔拉-布隆斯石灰岩组 (Sierra-Bullones Limestone) 主要为块状、凹状、含化石

的泥灰质灰岩，在岛内广泛分布，与下部的卡门组呈不整合接触；第四系 (Quaternary Alluvium) 多为泥、淤泥、沙和砂砾沿着河道、冲积平原及水系较低地段分布，在海边包括了部分抬起的珊瑚礁。

本地区的岩浆岩主要是白垩纪的保和蛇纹岩、枕状玄武岩、角闪片岩及哈格娜 (Jagna) 斑岩型安山岩。白垩纪的保和蛇纹岩、枕状玄武岩、角闪片岩在中部地区大面积分布，而哈格娜斑岩型安山岩仅在东部地区零星分布 (图 2)。

区内构造较发育，多为北西、北东向小褶皱或小断层。

本区磁异常较为零散，多为点状异常，异常梯度大。

化探元素组合以 Ni、Cr 为主，并伴生多元素

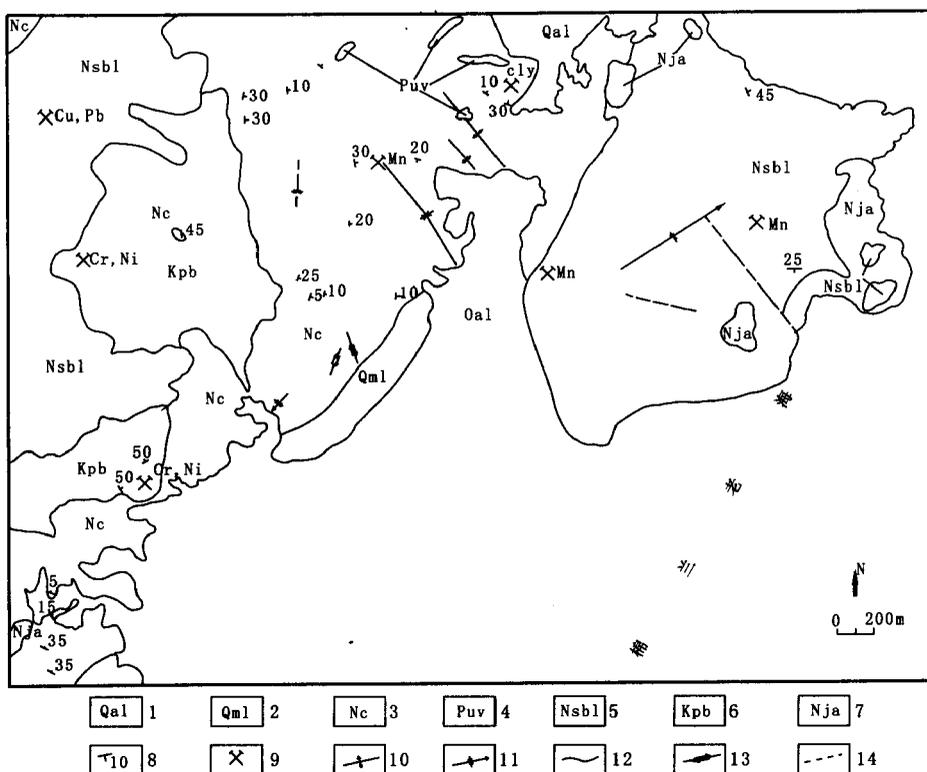


图 2 菲律宾保和岛达瑙镍矿矿床地质图

Fig. 2 Geological map of Danao nickel deposit in Bohol, Philippines

- 1. 第四纪冲积物；2. Marbojoc 灰岩；3. 卡门组角闪片岩；4. 乌拜火山岩；5. Sier Bullons 灰岩；6. 保和蛇纹岩/枕状玄武岩；
- 7. Jagna 安山岩；8. 地层产状；9. 矿点；10. 背斜；11. 向斜；12. 地层界线；13. 平移断层；14. 推测断层

组合，异常强度高，规模大，且与超基性岩分布区范围相吻合，找矿前景良好。经查证，地球化学异常为致矿异常，可能由超基性岩体引起。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

矿体分布在超基性岩体顶部的褐铁矿层和腐泥土层中，与地表红棕色土壤的分布范围基本一致。矿体总体上受地形控制，呈不规则状，走向北东—南西、近东西，长 60~146 m，宽 30~50 m。矿石矿物主要为硅镁镍矿，其次含有少量的针镍矿、红砷镍矿、镍黄铁矿和磁黄铁矿等。含矿层中可见少量大块破碎蛇纹岩，褐铁矿化、绢云母化强烈，局部有绿帘石化、绿泥石化和碳酸盐化。矿化以 Ni 为主，伴生有 Co、Fe，Ni 品位为 0.80%~3.00%，平均品位为 0.74%，厚 1.0~8.00 m，平均为 4.00 m。

3.2 矿石特征

矿石矿物主要有：蛇纹石、绿泥石、辉石、褐铁矿、绢云母及少量蛇纹石化橄榄石。镍矿物主要以硅酸盐形式产出，为高含水硅酸镍矿，属于蛇纹石族矿物，其次为硫砷化合物，如针镍矿、红砷镍矿等。

矿石的结构主要为粒状、鳞片变晶结构，构造主要有土状、块状、胶状和蜂窝状构造。矿石中有用组分主要为 Ni，品位大多数为 0.8%~1.8%，最高为 3.00%。镍矿石按品位划分为（刘成忠等，2009）：低品位矿石（0.3%~0.8%）、中等品位矿石（0.8%~1.4%）、高品位矿石（1.4%~1.8%）和特高品位矿石（≥1.8%）。区内低等品位矿石少见，常见中高等品位矿石。

矿石自然类型归类为氧化物-硅酸镍矿石，由橄榄岩、纯橄岩等超基性岩经风化分解形成硅镁镍矿、含镍蛇纹石等层状硅酸盐矿物。矿石的工业类型归类为硅酸镍矿石，Ni 主要呈类质同象存在于

镍矿石中。

4 矿床成因探讨

4.1 成矿有利条件

镍矿的形成主要与超基性岩、气候、地理位置、岩石破碎程度等有关(冶金工业部赴菲斑岩铜矿地质考察组, 1980)。

菲律宾群岛受菲律宾大断裂的影响, 中生代岩浆活动强烈, 在保和岛东西沿海形成的橄榄岩、纯橄岩和辉长岩等超基性侵入岩分布范围广, Ni含量普遍较高, 为红土型镍矿的形成提供了充足的物质来源。

保和岛地处赤道附近, 属于热带气候, 温度大致在 30℃ 以上, 过去 5 年的平均降雨量为 1 773~2 852 mm, 化学反应强烈, 有利于岩石的风化淋滤。

保和岛干、湿季较明显。一般在 3、4 和 5 月降雨量最少为干季, 每年的第一季度降雨量最多为湿季。干季地下水位下降, 湿季上升, 由于地下水的上下循环, 促使岩石分解。本区位于保和岛东部海岸地区, 海水蒸发强烈, 降雨中的氯化钠含量高, 从而提高了 Ni 的溶解度, 有利于 Ni 的次生富集。

本区腐泥土层中普遍含有蛇纹岩砾石, 孔隙度高, 有利于地下水的循环。

以上地质、地理位置、气候等因素都显示了本区成矿条件优越, 具有形成红土型镍矿的巨大潜力。

4.2 成矿物质来源

区内镍矿均位于基底超基性岩顶部, 产于褐铁矿化强烈的褐铁矿层和腐泥土层中。经浅井工程揭露, 含矿层垂向分带较明显(图 3), 自上而下依次为红棕色表土(1带)→褐铁矿层(2带)→软质腐泥土层(3带)→硬质腐泥土层→新鲜岩层。

从矿区纵剖面图上可以看出, 各个带层的颜色深浅不一, 这可能与不常见矿物, 如铬铁矿和磁铁矿有关。

红棕色表土(1带): 土质较为松散, 具可塑性, 植物根系较发育, 腐殖质含量高。低 Ni、低 MgO、高 Fe, Fe 含量可达 45% 以上。矿物成分主要为针铁矿、赤铁矿、石英、白云母、伊利石和高

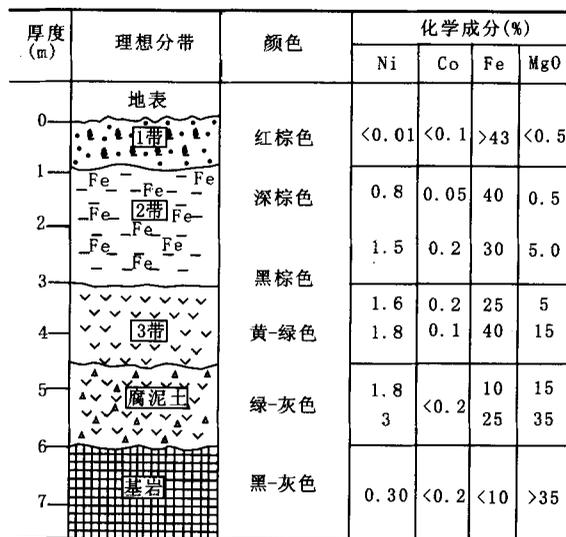


图 3 菲律宾保和达瑙镍矿典型纵剖面图

Fig. 3 Typical vertical section of Danao nickel deposit in Bohol, Philippines

岭土等。该层在区内普遍厚度较小, 大部分地区残坡积红土盖层的厚度不超过 1 m。该层中含有铁质砾石, 可见褐铁矿化。

褐铁矿层(2带): 主要为铁黏土矿物, 棕色、深棕色和黑棕色, 可塑性、渗透性强, 含有铁豆岩或者硬盖层, 底部可见弱风化的基岩砾石。Ni、MgO 含量升高, Fe 含量依然高, 但有下降的趋势。褐铁矿化、绢云母化强烈, 可见轻微的蛇纹石化。

软质腐泥土层(3带): 褐铁矿层和腐泥土层的过渡带, 黄色、绿色, 风化严重, 孔隙度高, 红土发育, 厚度不一。有一层磁铁矿, Fe 含量急剧减少, Ni、MgO 含量升高, 可找到 Ni 品位较高的硅镁镍矿。

腐泥土层: 厚度取决于风化的强度和红土层发育程度, 甚至在同一区域厚度不一, 从不足 1 m 至 8 m 以上。腐泥土层的颜色为绿色混合着黄色和棕色, 从上到下颜色依次为蓝色、灰色、黑色。Fe 含量相对于褐铁矿层中的含量急剧降低, Mg 含量升高, 高品位矿石随处可见。该层裂隙十分发育, 裂缝中多发育黄绿色的蛇纹石。高品位矿石与 Ni 元素的向下迁移有关, 最后沉积在腐泥土层的大量裂隙中。沿着裂缝无处不在的绿色蛇纹石通常与硅镁镍矿有关。

从地表到基岩, Ni 含量变化趋势为低→高→

低; MgO 含量为低→较高→高, 至基岩处含量达到极致; Fe 含量随深度的变化急剧下降。热带风化、高湿度、高温破坏超基性岩复杂的物性结构, 释放了 Fe、Mg、Ni、Co 等元素, 最终形成新的矿物和化学复杂体。在氧化环境中稳定的矿物, 如铁氧化物、铝氧化物和黏土矿物在地表附近沉积下来, 不稳定成分, 如 SiO₂ 和 MgO 淋滤出来, 沿着地层中的裂隙下渗, 少量元素, 如 Ni、Co 随地表水迁移下渗在适宜的条件下残余富集。

由此可见, 保和岛达瑙 Ni 矿成矿物质主要来自下伏超基性岩体。

但是区内发现的少量针 Ni 矿、Ni 黄铁矿等物质来源还需做进一步工作加以印证, 可能为早期岩浆熔离作用导致 Ni 硫化物富集。

4.3 矿床成因

区内橄榄岩、纯橄岩等超基性岩中 Ni 含量普遍较高, 为镍矿的形成提供了充足的物质来源。基底基性-超基性岩经过构造抬升, 在保和岛气候温差变化大和水气充足的条件下, 岩体高度风化, 形成红土型风化壳。以类质同象混入橄榄石和辉石中的 Ni 元素活化分异转入蛇纹石中, 后来蛇纹石又经分解, 即析出 Ni 来, 在地表水的作用下, Ni 被淋滤出来 (刘成忠, 2010)。

Ni 的富集部位和赋存状态取决于地表水的淋滤条件 (萨玛玛, 1991)。本区地表水淋滤条件良好, Ni 的淋滤作用得到充分发挥, 风化壳中的褐铁矿层和腐泥土层较发育, 向下迁移的 Ni 被中上部的褐铁矿层和下部的腐泥土层的蛇纹石等矿物捕获, 呈类质同象存在于其中的 Mg²⁺, 从而释放了 Mg²⁺, 形成 Ni 硅酸盐矿物。当 Ni 在地形条件较好的丘陵地带富集到一定程度, 即形成镍矿床, Mg²⁺ 随着地表水下渗至基岩层。因此, Ni 主要赋存于褐铁矿化强烈的褐铁矿层和腐泥土层中。

少量针镍矿、镍黄铁矿等含 Ni 硫化物早期经过岩浆熔离, 使得镍硫化物富集, 与镍硅酸盐矿物叠加, 后期又经受淋滤沉积, Ni 元素富集成矿。

红土型镍矿是超基性 (镁铁质-超镁铁质) 岩体风化-淋滤-沉淀的产物, 其产出规模、分布范围和品位高低与母岩类型、气候条件、地形地貌和构造条件具有密切成因联系 (袁见齐等, 1985; 骆华宝等, 1993; 陈浩琉等, 1993; 颜平等, 2006)。从该区镍矿形成的有利条件和矿床成因分析, 认为

该矿床为风化壳淋滤沉积矿床。

5 结论

通过近两年的勘查, 对保和岛地区的区域地质以及矿区地质有了一定程度的了解, 对成矿有利条件和物质来源进行了深入分析研究, 认为该区镍矿成矿物质主要来源于基底超基性岩, 超基性岩抬升接受风化破碎剥蚀, 分离出 Ni, Ni 随流体渗入褐铁矿层和腐泥土层中, 被蛇纹石捕获, 呈类质同象存在于蛇纹石中的 Mg²⁺, 在适宜的地形中富集成矿。少量的镍硫化物可能由于早期岩浆熔离作用从而富集, 后期又叠加淋积硅酸镍。矿床成因为风化壳淋滤沉积矿床。通过对矿床地质、矿体特征等的研究与探讨, 确定了矿床类型, 指出了找矿方向, 有效地指导了找矿。

致谢: 本文在成文过程中, 得到了河南有色金属地质矿产局第一地质大队境外项目组工作人员的大力帮助, 在此表示感谢。

参考文献 (References):

- 陈浩琉, 吴水波, 傅德彬, 等. 镍矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Chen H Y, Wu S B, Fu D B, et al. Nickel deposit [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993.
- 杜劲光. 菲律宾地质矿产概况[J]. 地质与勘探, 1984, (9): 33-36.
- Du J G. Overview of Geology and Mineral Resources Philippines [J]. Geology and Prospecting, 1984, (9): 33-36.
- 刘成忠, 尹维青, 涂春根, 等. 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, 2009, (23): 3-10.
- Liu C Z, Yin W Q, Tu C G, et al. Geologic Characteristics and Exploration & Utilization Progress of Laterite Nickel Deposits in Luzon Island, Philippines [J]. Jiangxi Nonferrous Metals, 2009, (23): 3-10.
- 刘成忠. 风化矿床简介 [EB/OL]. <http://blog.sina.com.cn/s/blog648cf9ab0100hk0c.html>. 2010-04-09.
- Liu C Z. Introduction about weathered deposits [EB/OL]. <http://blog.sina.com.cn/s/blog648cf9ab0100hk0c>.

- html. 2010-04-09.
- 骆华宝, 乔德武. 中国主要含镍岩体特征及成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 1993, (12): 312-324.
- Luo H B, Qiao D W. Geological Setting and Genesis of Major Nickel-bearing Rock Bodies in China [J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 1993, (12): 312-324.
- 萨玛玛 J C. 矿田与大陆风化 [M]. 章锦统, 译. 北京: 中国地质大学出版社, 1991.
- Samama, J. C. . Ore fields and continental weathering [M]. China University geology (Beijing) Publish House, Beijing, 1991.
- 颜平. 缅甸莫苇塘红土型镍矿地质特征及成因探讨 [J]. 黑龙江国土资源, 2006, (5): 21-26.
- Yan P. Geological characteristics and genesis of Mo Wei Tang lateritic nickel deposit, Myanmar [J]. Heilongjiang Land Resources, 2006, (5): 21-26.
- 冶金工业部赴菲斑岩铜矿地质考察组. 菲律宾红土镍矿的生成及找矿勘探[J]. 地质与勘探, 1980, (1): 26-29.
- The group to investment porphyry copper deposits of Philippines of Ministry of Metallurgical Industry. Laterite Nickel deposits formation and exploration of Philippine [J]. Geology and Prospecting, 1980, (1): 26-29.
- 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生, 等. 矿床学 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- Yuan J Q, Zhu S Q, Zhai Y S, et. Mineral deposits [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1985.
- 赵国权. 菲律宾主要金属矿产及其地质概况[J]. 有色金属(矿山部分), 1990, (1): 46-48.
- Zhao G Q. Major metal minerals and geology of Philippines [J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 1990, (1: 46-48) .
- Aurelio, M. A. A review of mechanisms of ophiolite emplacement: Philippine examples [J]. J. Geol. Soc. Phil., 1996, 51 (3/4): 87-89.

Geological Characteristics and Preliminary Study to Genesis of Danao Nickel Deposit in Bohol, Philippine

CHEN De-jie

(The First Geological Team of Henan Provincial Bureau of Nonferrous Metal
Geology and Mineral Resources, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: Danao nickel deposit is located near the Western Bicol-Eastern Leyte ophiolite belt. Ore-bearing limonite and saprolite layers above ultramafic rocks consisted with red-brown soil where garnierite ores developed well. Chemical analysis showed that the mineralization source is ultramafic rocks; further analysis and study on the ultramafic rock, climate, geography, and degree of rocks fragmentation suggested the genesis type of deposit is weathering crust-eluvial type. According to the crust uplift, the ultramafic rocks weathered to release Ni^{2+} which was captured by the serpentines when infiltrated to the limonite and saprolite layers with surface water, isomorphied and then released Mg^{2+} . Due to the high permeability, Mg^{2+} were enriched near the basement rocks, while Ni^{2+} serpentine was into the limonite and saprolite layers, precipitated down, and concentrated to mineralize.

Key words: Bohol of Philippines; danao nickel deposit; geological characteristics