全球红土型镍矿床的基本成矿规律

陈百友¹⁾, 刘洪滔²⁾, 杨平³⁾, 孙媛¹⁾

1) 云南省有色地质局, 云南昆明 650051;

2) 云南省有色地质局地质地球物理化学勘查院, 云南昆明 650216;

3) 云南省有色地质局地质研究所, 云南昆明 650216

摘要: 全球红土型镍矿床具有明显的时空分布规律, 红土型镍矿体则具有明显的垂向分带规律。红土型镍矿化强度明显受成矿母岩成分(包括镍含量、岩石地球化学成分、矿物成分)、气候、地形地貌、水文地质、构造地质、成矿时间长短及风化完成程度的影响和控制。红土型镍矿的矿床类型主要受气候、大地构造背景、构造隆升状态控制, 并受地形地貌、排水条件、成矿母岩岩性及其蛇纹石化程度影响。

关键词: 红土型镍矿床; 基本成矿规律; 全球

中图分类号: P612; P618.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.31

The Basic Metallogenic Regularity of Global Lateritic Nickel Ore Deposits

CHEN Bai-you¹⁾, LIU Hong-tao²⁾, YANG Ping³⁾, SUN Yuan¹⁾

1) *Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650051;*

2) *Institute of Geological, Geophysical and Geochemical Exploration, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650216;*

3) *Institute of Geology, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650216*

Abstract: The global lateritic nickel ore deposits have distinct temporal and spatial distribution regularity, and the lateritic nickel ore bodies are characterized by apparent vertical zoning. The intensity of lateritic nickel mineralization is obviously influenced and controlled by the components of ore-forming parent rock (such as nickel content and lithochemical and mineral composition), climate, topography, hydrogeology, structural geology, duration of ore-forming process, and maturity of the weathering crust. Types of lateritic nickel ore deposits are mainly controlled by climate, tectonic setting and the state of structural uplift and also influenced by topography, drainage condition, lithology of ore-forming parent rock and its serpentinization.

Key words: lateritic nickel ore deposit; basic metallogenic regularity; global

世界红土型镍矿的成矿母岩年龄变化很大, 为太古代至第三纪, 但成矿年龄却相对集中于中生代和新生代, 其中大多数红土型镍矿(包括所有重要的红土型镍矿)是第三纪和第四纪形成的, 部分是中生代形成的。

不同大地构造背景下形成具经济价值的红土型镍矿床所需要的最少时间是明显不同的(何灿等, 2013; 杨学善等, 2013)。在不稳定地区, 形成具经济

价值的镍矿床所需要的最少时间是很短的, 可能一般只需 2~3 Ma; 而在稳定地区可能需要几千万年。如在近代造山带, 最年轻的夷平面年龄不超过 1~2 Ma, 但这些夷平面上已经形成了高品位的镍矿床; 而在澳大利亚和巴西的克拉通地区, 大多数红土型镍矿的形成时间达数千万年之久。正因为如此, 在世界范围内, 中生代形成的红土型镍矿仅部分见于褶皱造山带中, 如巴尔干地区的红土型镍矿, 多数

收稿日期: 2013-04-23; 改回日期: 2013-05-07。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 陈百友, 男, 1964年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事地质找矿及科研工作。地址: 650051, 云南省昆明市人民东路93号。电话: 0871-63112302。E-mail: yncbby@163.com。

则见于前寒武纪地盾, 如澳大利亚西部、巴西部分地区、非洲西部、乌克兰等地的红土型镍矿。

镍在红土风化壳剖面中的富集位置会随着时间的变化而总体呈现向下迁移的态势。一般说来, 在较年轻的剖面中, 镍相对富集于剖面上部, 镍的最大富集位置往往位于腐岩带上部(即土状腐岩中), 有时大部分甚至整个氧化带(褐铁矿带)都有工业矿化; 而在较老的剖面中, 镍的最大富集位置往往位于腐岩带中下部或底部(即土块状或块状腐岩中), 氧化带的上部一般没有工业矿化。

1 空间分布规律

1.1 区域分布规律

从成矿大地构造背景来看, 全球大约 85% 的红土型镍矿床产于增生地体中, 大约 15% 的矿床产于稳定克拉通内。从区域构造来看, 红土型镍矿床主要沿板块俯冲带的推覆构造带或稳定大陆板块内部的深大断裂带成群成带分布。从区域气候来看, 世界范围内红土型镍矿床大多分布在赤道线南北 30° 以内的热带地域, 集中产出在环太平洋的热带和亚热带地区, 并以热带温暖潮湿的气候为主。从区域地形地貌来看, 世界上大多数红土型镍矿床(如缅甸、印度尼西亚、菲律宾的红土型镍矿床)产于低山和丘陵地带; 其次产于高原(如新喀里多尼亚和澳大利亚西部的大多数红土型镍矿床)和地表向海岸缓倾的宽广海蚀平原(如古巴东部的大多数红土型镍矿床); 少数产于中山地貌区(如云南元江镍矿床的矿体产出标高为 1720~2100 m)。

1.2 矿区分布与产出规律

1.2.1 矿体形态、产状、规模及其主要控制因素

根据矿体形态和产状, 世界红土型镍矿体大致可分为 3 种类型, 即面型矿体、裂隙型矿体及接触喀斯特型矿体。其中, 面型矿体较为常见, 规模往往也较大, 其矿石总量可能占世界红土型镍矿石总量的 97% 以上; 裂隙型矿体和接触喀斯特型矿体的规模均不大, 常与面型矿体相伴产出, 其中接触喀斯特型矿体较少见(Samama, 1987)。

红土型镍矿体的形态、产状及规模主要取决于地质因素。若超基性岩体规模较大, 出露面积较宽, 并且在红土化成矿作用过程中及之后没有被活动断裂破坏, 一般容易形成规模较大的面型矿体; 反之容易形成规模较小的面型矿体。倘若岩体侵位后受到断裂的破坏, 风化作用在断裂带中发育, 就容易在断裂带形成裂隙型矿体。倘若岩体侵位于灰岩或泥灰岩中, 易沿岩体与围岩的接触带形成延深较大

的接触喀斯特型矿体。

1.2.2 矿体垂向分带规律

红土型镍矿体在矿石矿物成分、矿石化学成分、矿石类型、矿石品位等方面一般都存在明显的垂直分带, 各带之间及亚带之间通常是渐变过渡的。

一般说来, 在雨量充沛的热带、亚热带地区, 若地形有一定的起伏, 地下水局部排泄条件较好, 所形成的面型矿体通常具有 2 层结构, 上部为氧化镍矿层, 下部为含水镁硅酸镍矿层。前者主要含镍矿物是表生褐铁矿、针铁矿、锰(钴)土类, 矿石化学成分以高铁低镁为特征, 铁含量一般大于 40%, 氧化镁含量一般小于 5%, 矿石镍品位一般小于 1.2%, 但最高可达 1.5% 以上。后者主要含镍矿物是淋滤作用生成的镍蛇纹石、硅镁镍矿(暗镍蛇纹石)、镍绿泥石及滑石, 矿石化学成分以高镁低铁为特征, 矿石品位大于上覆的氧化镍矿层, 一般为 1.2%~3.0%。若为热带半干旱气候(如澳大利亚西部)或季节性潮湿的温带地中海、温带大陆性气候(巴尔干、乌拉尔等地区), 且/或地形非常平缓、基岩蛇纹石化强烈, 所形成的面型矿体往往具有 3 层结构, 上部为氧化镍矿层, 中部为粘土硅酸盐矿层, 下部为含水镁硅酸盐矿层。其中, 粘土硅酸盐矿层的主要含镍矿物一般为绿脱石、镍绿泥石, 其次为褐铁矿、针铁矿, 有时还含部分镍蛇纹石; 其矿石化学成分特点介于氧化镍矿层和含水镁硅酸镍矿层之间, 铁含量一般为 25%~40%, 氧化镁含量一般为 5%~15%; 矿石镍品位一般为 1.0%~1.5%, 平均 1.2% 左右。

2 镍矿化强度与各种成矿要素之间的关系

红土型镍矿的 6 个成矿条件, 即成矿母岩成分、气候、地形地貌、水文地质、地质构造及成矿时间, 均与红土型镍矿化强度有明显的联系。

关于气候、地形地貌、水文地质、时间与镍矿化强度之间的联系, 目前认识比较一致, 即: 热带、亚热带温暖潮湿气候有利于红土型镍矿的形成。

中-低地形起伏的低山和丘陵, 以及具深切割的高原有利于红土风化壳和红土型镍矿床的形成, 而低山、丘陵及深切割的高原的平缓山脊、缓坡、山嘴、阶地等部位则是富厚矿体的有利赋存场所; 中-高山和平原由于地形起伏过大或过缓, 则不利于红土型镍矿床, 尤其是中高品位红土型镍矿床的形成。

地下水补给与排泄条件越好, 通常红土化作用越强, 红土型镍矿品位越高, 矿体厚度越大。红土型镍矿床的形成必须有足够的时间, 最短也需数十年至数百万年以上的的时间。换句话说, 如果时间过

短, 只能形成红土型镍矿化。

以下仅就成矿母岩、地质构造、风化壳成熟度与镍矿化强度之间的关系, 逐一进行总结和分析探讨。

2.1 镍矿化强度与成矿母岩的关系

成矿母岩的成分(包括镍背景含量、岩石地球化学成分、矿物成分)和岩石类型与镍矿化强度是紧密关联的, 其蛇纹石化程度与镍矿化强度也有一定的联系。镍背景含量高(0.25%~0.40%)的母岩有利于中-高品位镍矿的形成, 镍背景含量相对较低(0.1%~0.25%)的一般只能形成中-低品位红土型镍矿或红土型镍矿化。通常, MgO 和橄榄石含量高的方辉橄榄岩、二辉橄榄岩、纯橄榄岩及其蚀变岩石, 有利于中-高品位红土型镍矿的形成; MgO 和橄榄石含量相对较低或低的橄榄辉石岩或辉石岩及其他基性岩一般只能形成低品位的红土型镍矿或红土型镍矿化或为红土型镍矿的形成提供部分成矿物质。事实上, 世界上已知的重要红土型镍矿床的成矿母岩均主要为镁质超镁铁岩, 如缅甸达贡山镍矿超基性岩的 m/f 值为 8.53(云南省有色地质局三〇八队, 2005)。因此, 在找矿实践中往往把岩石中橄榄石含量的多寡作为红土型镍矿的重要找矿标志之一。关于红土型镍矿化强度与成矿母岩的蛇纹石化程度的关系, 一般认为镍品位倾向随着成矿母岩蚀变增强而降低。如云南元江镍矿的成矿母岩主要是蛇纹岩, 矿床镍平均品位仅 0.91%。不过, 也有学者认为, 中等程度的蛇纹岩化对镍矿化最有利。

2.2 镍矿化强度与构造的关系

镍矿化强度与构造的联系主要表现在四个方面。其一, 区域构造背景影响红土型镍矿化强度。在稳定区域构造背景下, 矿区地形通常比较平缓, 排水条件一般较差, 易形成低品位红土型镍矿。反之, 在增生地体这样的活动区域构造背景下, 矿区地形起伏一般为中-低, 排水条件较好, 相对有利于中-高品位红土型镍矿的形成。第二, 矿区断裂构造(特别是在超基性岩侵位后活动的矿区构造)可以大大提高断裂带岩石的孔隙度和渗透性, 有利于沿断裂构造带形成品位较高的裂隙型红土型镍矿体。如在新喀里多尼亚, 早年开采的那些富矿均受断裂构造控制(Brand et al., 1996)。第三, 断层性质、产状与规模影响红土型镍矿化的强度。一般说来, 主要逆冲断层易于形成蛇纹石化和碳酸盐化超基性岩糜棱岩带, 透水性差, 在风化层中不易形成镍的富集。而局部剪切带和二级构造对红土型镍矿的形成

可能很重要, 最深的富集带和最高的品位通常与陡的断层和剪切带有关。第四, 特殊阻隔水构造可以导致镍的局部富集。如在澳大利亚西部的 Murin Murin 矿区, 由于不透水的风化粒玄武岩岩墙的局部限堵造成局部的高品位。

2.3 镍矿化强度与风化壳成熟度的关系

通常, 超基性岩风化壳的成熟度越高, 越有利于高品位红土型镍矿床的形成。例如, 新喀里多尼亚是全球最著名的高品位红土型镍矿床产地之一, 其高品位红土型镍矿床的特点之一是, 地表常有厚大(可达 40 m 以上)的褐铁矿带分布, 其 Fe_2O_3 含量可达 74% 以上; 相反, 澳大利亚西部的大多数红土型镍矿的品位比较低, 镍平均品位一般在 0.9% 左右, 其地表褐铁矿带的成熟度也明显低一些, 如 Bulong 和 Murrin Murrin 矿床的褐铁矿带还含较多高龄石, 最高达 60%~70% 以上。不过, 在红土型镍矿的形成过程中或之后, 部分高品位红土型镍矿床(如镍平均品位为 2.0% 的缅甸达贡山镍矿床)地表成熟度高的红土风化壳遭受较强烈的剥蚀, 导致地表现有残余红土层成熟度不太高。

3 矿床类型与若干成矿要素之间的关系

根据矿化剖面结构和主要载镍矿物学特征, 红土型镍矿床可分为三种类型, 即含水硅酸盐型镍矿床(简称“ A ”型镍矿床)、粘土硅酸盐型镍矿床(简称“ B ”型镍矿床)和氧化物型镍矿床(简称“ C ”型镍矿床)(Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2003; 王瑞江等, 2008)。“ A ”型镍矿床的腐岩带比较发育, 主要矿石矿物是含水镁-镍硅酸盐矿物, 以镍含量高为特征, 平均 1.5% 左右。一般来讲, “ A ”型镍矿床多分布于活动大地构造环境、湿热气候和排水条件较好的地区, 新喀里多尼亚、印度尼西亚、菲律宾、多米尼加共和国和哥伦比亚等国家或地区均产有此类矿床。“ B ”型镍矿床以红土化剖面中发育绿脱石过渡带(亦即粘土带)为特征, 主要含镍矿物为蒙皂石族粘土矿物, 主要含矿层位是绿脱石过渡带, 镍平均品位在 1.2% 左右。“ B ”型镍矿床主要发育在距赤道较远的南半球大陆, 代表性矿床有澳大利亚的莫林莫林(Murrin Murrin)、布隆(Bulong)等。“ C ”型镍矿床以残余红土带特别发育且腐岩带薄为特征, 含水铁氧化物和氢氧化物为红土化剖面的主要矿物成分, 主要载镍矿物为含镍针铁矿, 矿床镍平均品位在 1.0% 左右, 代表性矿床有古巴的莫亚湾(Moa Bay)、澳大利亚的考斯(Cawse)和瑞恩斯索普

(Ravensthorpe)。

综合研究表明, 红土型镍矿的矿床类型主要受气候和构造隆升状态控制。在大范围内, 热带半干旱气候条件是 B 型红土型镍矿床形成的决定性因素。澳大利亚西部具典型的热带半干旱气候, 因此与世界其他地区相比, 该区 B 型镍矿最为发育, 也最为典型。相反, 印度尼西亚具典型热带雨林气候, 主要发育 A 型镍矿, 不产 B 型镍矿。一般说来, 由地壳均衡调节作用及断层运动联合控制的、缓慢连续的差异构造隆升, 往往导致潜水面在风化壳剖面中长期保持低位, 多形成 A 型红土型镍矿; 反之, 仅由地壳均衡调节作用控制的、缓慢连续的、非差异性的区域构造隆升, 随着时间的推移, 地形起伏往往越来越小, 多形成 C 型红土型镍矿。比如, 古巴东部与多米尼加共和国的红土型镍矿是在相似的气候条件下, 由成分类似的超基性岩风化形成, 但矿床类型却不同, 古巴东部多为 C 型(Glesson et al., 2003), 多米尼加共和国大多为 A 型(Lewis et al., 2006)。

红土型镍矿的矿床类型还受地形地貌、排水条件、岩性(包括蛇纹石化程度)的影响。在地势起伏相对较大的地区, 由于潜水面在剖面中的位置低, 相对易形成 A 型矿床; 而地形起伏小或非常平缓的地区, 由于排泄受阻、浅水面高, 则不易形成 A 型矿床。澳大利亚西部之所以有许多 B 型矿床产出, 不仅与热带半干旱气候有关, 还与地形比较平缓、排水不畅有关。蛇纹石化不仅会降低排水性能, 还会影响腐岩带的发育程度, 从而影响矿床类型。部分或全部蛇纹石化的母岩, 通常形成较厚的腐岩带, 而未蛇纹石化的纯橄榄岩, 通常形成薄的石质腐岩层。如新喀里多尼亚纯橄榄岩典型风化剖面中, 褐铁矿层的厚度约为 30 m, 腐岩层(基本上均为石质腐岩层)的厚度一般仅在 1 m 左右。虽然 A、B、C 三种红土型镍矿床均可以由橄榄岩原岩风化形成, 但未蚀变的纯橄榄岩倾向形成具薄的石质腐岩层的 C 型矿床(Golightly, 1981), 而 B 型仅由蛇纹石化橄榄岩或蛇纹岩风化形成。未蚀变的纯橄榄岩之所以往往形成 C 型矿床, 是因为橄榄石与粘土矿物的晶格大小不匹配, 橄榄石分解很少形成粘土矿物(Colin et al., 1986)。

由于大地构造背景与地壳构造隆升状态有关, 且对地形地貌、排水条件都有一定或较大影响, 因而也是影响红土型镍矿床类型的主要因素。一般说来, 克拉通地区的构造隆升通常为缓慢连续的区域构造隆升, 地形一般比较平缓、排水条件差, 因而

不利于 A 型矿床的形成, 如澳大利亚西部的伊尔冈地盾。反之, 增生地体的构造隆升多数情况下为差异构造隆升, 因而地形起伏一般相对较大、排水条件好, 相对有利于 A 型矿床的形成, 如缅甸达贡山红土型镍矿床。不过, 在时间不太长, 如数百万年的某一个地质阶段, 增生地体的地壳也可能相对稳定, 构造隆升也为缓慢连续的区域构造隆升。在此情况下, 则有利于 C 型镍矿的形成, 最典型的实例是前面提及的古巴东部红土型镍矿床。

参考文献:

- SAMAMA J C. 1987. 章锦统, 胡明安, 译. 1991. 矿田与大陆风化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 陈正, 雷蕴芬. 1988. 风化壳氧化镍-硅酸镍矿石建造[J]. 成都理工大学学报, 15(1): 1-17.
- 何灿, 孙建平, 程迁群. 2013. 红土型镍矿矿床勘查评价方法与优化[J]. 地球学报, 34(s1): 221-228.
- 王瑞江, 聂凤军, 严铁雄, 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.
- 杨学善, 郭远生, 陈百友, 崔银亮, 郭欣. 2013. 世界红土型镍矿的资源分布及勘查、开发利用现状[J]. 地球学报, 34(s1): 193-201.
- 云南省有色地质局三〇八队. 2005. 缅甸达贡山红土型镍矿地质勘探报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.

References:

- BRAND N W, BUTT C R M, ELIAS M. 1998. Nickel laterites: Classifications and features[J]. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(4): 81-88 .
- BRAND N W, BUTT C R M, HELLSTEN K J. 1996. Structural and lithological controls in the formation of the Cawse nickel laterite deposits Western Australia: Implication for supergene ore formation and exploration in deeply weathered terrains[M]
- GRIMSEY E J, NEUSS I. Nickel'96, Mineral to Market. Australian Institute of Mining and Metallurgy, Australia, Special Publication: 185-191.
- CHEN Zheng, LEI Yun-fen. 1988. Ore formation of Oxidation Nickel and silicate Nickel of Weathering Crust[J]. Journal of University of Technology, 15(1): 1-17(in Chinese with English abstract).
- COLIN F, NAHON D, TRESCAZES J J, MELFI A J. 1990. Lateritic weathering of pyroxenites at Niquelandia, Goias, Brazil: The supergene behavior of nickel[J]. Economic Geology, 85: 1010-1023.
- GLEESON S A, BUTT C R M, ELIAS M. 2003. Nickel Laterites:

- A review[J]. Society of Economic Geologists Newsletter, 50(1): 12-18.
- GOLIGHTLY J P. 1981. Nickelifemus laterite deposits[J]. Economic Geology, 75th Anniversary Volume: 710-735.
- 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).
- LEWIS J F, DRAPER G, PROENZA J A, ESPAILLAT J, JIMÉNEZ. 2006. Ophiolite-related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region:A Review of their Occurrence, Composition, Origion, Emplacement and Ni-Laterite Soil Formation[J]. Geologica Acta, 4: 237-263.
- No. 308 Part, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau. 2005. Report on the Geological Exploration of Lateritic Nickel Deposit of Dagongshan, Myanmar[R]. Gejiu: No. 308 Part, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- SAMAMA J C. 1987. Translated by Zhang Jintong and Hu Mingan.1991.Ore fields and continent weathering[M]. Wuhan: Publishing House of Chinese University of Geosciences(in Chinese).
- 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(in Chinese with English abstract).
- YANG Xue-shan, GUO Yuan-sheng, CHEN Bai-you, CUI Yin-liang, GUO Xin. 2013. The Distribution and the Exploration, Development and Utilization Situation of the Lateritic Nickel Ore Resources in the World[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 193-201(in Chinese with English abstract).