

红土型镍矿矿床勘查评价方法与优化

何 灿, 孙建平, 程迁群

云南省有色地质局三〇八队, 云南个旧 661000

摘 要: 红土型镍矿为含镍基性-超基性岩体经红土化作用形成的地表风化壳型矿床, 具有矿床分布相对集中、矿床规模大、矿床勘查类型简单、找矿标志明显等显著特点。本文简要总结了红土型镍矿的成矿环境、成矿条件、地质特征, 在云南省有色地质局三〇八队“走出去”实施多个红土型镍矿找矿勘查实例的基础上, 系统对红土型镍矿的找矿、勘查评价方法进行研究和总结, 提出红土型镍矿的“三段五步法”找矿勘查程序、有效找矿方法和快速勘查评价模式, 并对红土型镍矿勘查评价中的相关问题进行了探讨。

关键词: 红土型镍矿; 找矿勘查; 评价方法

中图分类号: P612; P618.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.34

Exploration and Evaluation Methods for Lateritic Nickel Deposits and Their Optimization

HE Can, SUN Jian-ping, CHENG Qian-qun

No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Gejiu, Yunnan 661000

Abstract: Lateritic nickel deposits are a kind of surface weathering crust type deposits formed by laterization of Ni-bearing basic-ultrabasic bodies, characterized by relative concentrative distribution of ore deposits, large deposit size, simple exploration type and obvious ore-prospecting criteria. The ore-forming environment, metallogenic conditions and geological characteristics are summarized briefly in this paper. Based on examples of prospecting and exploration for lateritic nickel deposits conducted by No. 308 Geological Party of Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau under the guidance of the “go out” policy, the authors systematically studied and summed up the prospecting, exploration and evaluation methods for lateritic nickel deposits, and put forward the “three-phase-and-five-step” prospecting and exploration procedure, effective prospecting means and rapid exploration and evaluation model. The problems related to the exploration and evaluation of lateritic nickel deposits are also discussed in this paper.

Key words: lateritic nickel deposit; ore prospecting and exploration; evaluation method

红土型镍矿主要产于含镍基性-超基性岩上部的红土风化壳中, 其形态明显受地形表面形态控制, 矿体呈似层状面形展布, 具有矿床分布相对集中、矿床规模大、矿床勘查类型简单、找矿标志明显等显著特点。20 世纪 80 年代初, 冶金部曾组织赴菲律宾考察红土型镍矿, 并报道了相关成果(冶金工业部, 1980), 2005 年以后随着国内一些地质勘查队伍进入东南亚矿业勘查市场, 红土型镍矿床方被高度关注,

在大量的地质找矿和勘查评价实践的基础上, 相关的地质勘查及研究工作才逐步丰富起来(陈百友等, 2013; 杨学善等, 2013), 为今后开展境外红土型镍矿床的勘查评价积累了宝贵经验。但是, 这些研究大多集中在野外成矿特征的描述性认识和成因探讨等方面(何灿等, 2008; 王瑞江等, 2008; 罗太旭, 2008; 付伟等, 2012), 对红土型镍矿床的找矿方法、勘查评价等方面研究的还不多, 或仅局限于某个矿

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: 何灿, 男, 1962 年生。高级工程师。长期从事地质矿产勘查工作。通讯地址: 661000, 云南省个旧市金湖东路 308 队院内。
电话: 0873-2225233。E-mail: 308dny@163.com。

区或某种方法上(崔敏利等, 2009; 徐强等, 2009; 付小锦等, 2010; 王志刚, 2010), 缺乏系统、完整、适应红土型镍矿成矿特点的找矿、勘查、评价体系的研究。本文以印度尼西亚的红土型镍矿为主要研究对象, 在云南省有色地质局三〇八队“走出去”成功实施多个红土型镍矿找矿勘查评价实例的基础上, 通过红土型镍矿的成矿环境、成矿条件、地质特征的归纳, 系统对红土型镍矿的找矿、勘查评价方法进行研究和总结, 提出红土型镍矿的“三段五步法”找矿勘查程序、有效找矿方法和快速勘查评价模式。

1 红土型镍矿的成矿地质特征

红土型镍矿床形成于后期上升并且遭受长期风化的古板块缝合带(已转变为大陆板块)及岛弧造山带中, 主要分布在热带与亚热带地区, 形成于洋壳型蛇绿岩套的超基性岩红土风化壳内。其成矿环境主要是: 温暖至湿热的气候带, 一般年均温度 $> 20^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 $> 1500\text{ mm}$; 稳定的准平原化及低山丘陵区域; 受风化的基岩为纯橄榄岩、斜方辉石橄榄岩等镁质超基性岩及相应的蛇纹岩; 具有较高的化学风化速度和相对较低的物理侵蚀速度(袁见齐, 1985; 孙绍有, 2012)。

红土型镍矿是一种典型的风化残余-淋积矿床, 是热带或亚热带炎热而干湿交替气候区超基性岩红土化作用的产物。因此, “红土”一词一般用来指位于热带气候区的强烈风化层的铁氧化物丰富而氧化硅贫乏的上部土层, “红土型镍矿”是指含有经济上可以开发利用的富集镍矿的风化层, 而不是指具体的土层或岩石单位(J.C. 萨玛玛, 1991)。

超基性岩红土风化壳具有垂直分带特征, 发育完整的红土风化壳包括残余红土带和腐岩带(风化蚀变橄榄岩带), 又可根据矿物组合变化及岩石化学变化细分为不同的“层”或“带”(图 1)。各个矿区

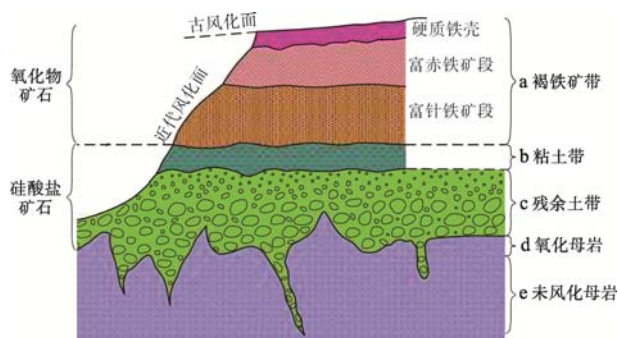


图 1 红土型镍矿床风化壳分带特征(J.C. 萨玛玛, 1991)
Fig. 1 Zoning features of the weathering crusts of lateritic nickel deposits (after Samama, 1991)

含镍红土风化壳各带、各层的发育程度是不相同的, 而同一矿区不同地段其各层的厚度也不一样。

根据东南亚不同地区红土风化壳发育情况, 云南省有色地质局三〇八队多采用三带六层的结构分类, 即残余红土带—腐岩带—基岩带; 按岩性变化从上至下可大致细分为六层, 铁质硬壳层(铁帽)、褐铁矿化粘土层、土状腐岩层、土块状腐岩层、块状腐岩层、致密块状基岩层。腐岩带各层之间及与基岩带为渐变过渡关系, 而腐岩带与上覆的铁质硬壳层(铁帽)或褐铁矿化粘土层之间无明显的分界, 接触关系也多为渐变过渡关系。其中腐岩带是红土型镍矿的主要含矿层位, 镍主要在土块状腐岩层中达最大富集(何灿等, 2008)(图 2)。

2 红土型镍矿的找矿勘查程序

红土型镍矿床在国外已有较多的找矿勘查评价实例, 但由于国内红土型镍矿分布较少, 国内此类矿床的找矿勘查评价方法的研究还不多, 目前我国还没有建立起一套完整的红土型镍矿勘查评价规范和体系。对于国内地勘单位来说, “走出去”勘查评价境外的红土型镍矿面临着以下几个方面的风险和难点。第一, 地质找矿勘查的主体在国外, 政治风

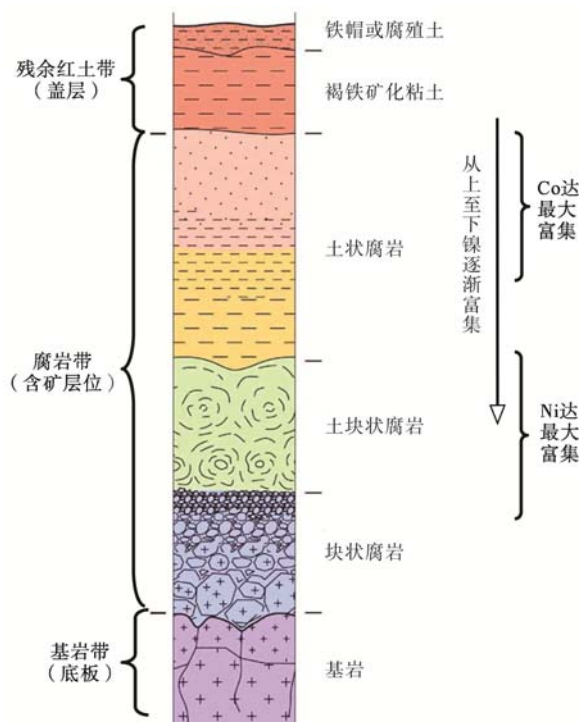


图 2 超基性岩红土风化壳垂向分带及各层含矿性
(何灿等, 2008)

Fig. 2 Vertical zoning and ore-bearing potential of the weathering lateritic crusts of ultrabasic rocks
(after HE et al., 2008)

险和法律风险比国内大;第二,属商业性质,对找矿勘查的周期和项目成本要求较为苛刻,所寻找和勘查的资源应能最终被开发利用;第三,红土型镍矿自身成矿特点,很难采用“目估”方法在野外初步区分矿石与围岩,只能通过常规的化学采样分析来准确区分,并且通常要靠加大采样密度,即实行全孔或全井连续取样,才能完全确定矿体的顶底边界;第四,属规模化矿产,含镍红土风化壳分布面积一般较大,需要施工较多数量的探矿工程才能对矿床(体)进行有效的、完整的控制;第五,多分布于温暖潮湿的气候带,地表植被茂盛,工作环境恶劣,野外地质观察及各类勘查工程手段、勘查技术方法的运用和实施较为困难;第六,生活、生产及安全等后勤保障难度较大(何灿, 2012)。

红土型镍矿的找矿勘查与一般其他金属矿产找矿勘查类似,并且也相对较为简单,其找矿勘查工作按先后顺序也大致可划分为:预查、普查、详查和勘探四个阶段。但如何提高工作效率、有效控制找矿成本,尽量降低找矿风险、减轻后勤保障压力和难度是红土型镍矿找矿勘查评价中必须要充分考虑的问题。笔者根据多年来在多个矿区的找矿实践,探索和总结出境外红土型镍矿快速、经济的找矿勘查“三段五步法”程序,它有效解决了在国外进行红土型镍矿商业化风险找矿与勘查过程中的市场风险、找矿风险和总体勘查成本的有效控制,同时把红土型镍矿的找矿勘查与矿床开发紧密结合起来,对缩短矿床勘查周期、加快矿床的开发进程,实现国外红土型镍矿的找矿-勘查-开发一体化快速、良性发展。

红土型镍矿“三段五步法”找矿勘查程序是通过合理调整主要工作内容、合理安排各种找矿勘查手段,注重各专业的合理分工协作和有效衔接,以及便于项目的组织管理和提高勘查质量等方面出发,把从立项调查到矿体勘查评价各个阶段的野外主要工作内容,重新调整划分为立项调查、地质调查找矿、矿床勘查评价三个阶段,按找矿靶区踏勘、含矿性查定、普查控制、详查评价、矿体勘探五个工作步骤逐步深入开展和实施(图 3)。

在红土型镍矿“三段五步法”找矿勘查程序中,地质调查找矿阶段的每个步骤都应对矿区进行找矿前景评价。找矿前景评价时,应考虑矿床(体)的分布面积、规模大小、矿石质量、总体远景资源量和外部开发条件。第二步在初步查明矿化红土分布及含矿性的基础上,如矿区矿化红土分布总面积小于 0.5 km^2 , 或镍金属量远景规模小于 5000 吨,在当前

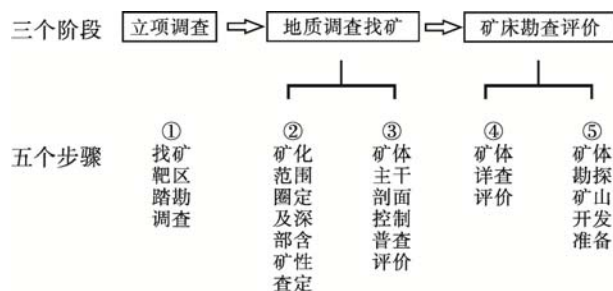


图 3 红土型镍矿“三段五步法”找矿勘查程序

Fig. 3 The “three-phase-and-five-step” procedure in search for lateritic nickel deposits

经济技术条件下进一步开展找矿勘查工作意义不大时,项目应及时中止;第三步骤在对矿化红土普查控制的基础上,如矿化红土分布总面积小于 1 km^2 , 或镍金属量远景规模小于 20000 吨,平面上矿化零星分布、红土风化壳深部矿化不连续或矿化变化较大,在当前经济技术条件下矿体无开发意义时,则不宜开展下一阶段的矿床勘查评价工作;若第三步骤确认矿区平面上矿化集中连片分布,垂向上红土风化壳矿化连续,有含镍大于 2.0% 以上的含矿层出现并能圈定出厚富矿体,且矿床远景规模达中型以上时,则及时圈定下步详查靶区,制定总体勘查方案,编制详查设计。

红土型镍矿“三段五步法”找矿勘查程序,是以地质工作为核心和重点,注重找矿勘查效果和勘查成果最终能被开发利用为目的,程序中各专业工作内容的布署和组织实施应根据各阶段的找矿评价效果,有计划、有步骤的分步进行,既要强调分阶段、分步骤进行,又要注重各阶段的有效衔接和各专业工作内容的合理分工、有效协作。在找矿风险较大的前二个阶段,应合理控制探矿工程量和各类人员、设备的投入,尤其是在没有查明红土风化壳深部含矿性和矿床前景规模的情况下,不宜盲目组织各类专业人员和大量设备进场开展大规模的勘查工程施工;而在矿床勘查评价阶段,由于涉及的专业面较广,参与野外工作的各类人员较多,有必要根据矿区实际条件,建立野外勘查基地,组建项目勘查指挥部,必要时还可建立野外工作营地,实行在项目勘查指挥部统一指挥下的地质(含水工环)、测量、工程施工(钻探、浅井)、样品加工及分析测试、后勤保障等多专业、多作业小组的合理分工与协同作业(表 1)。

3 红土型镍矿的有效找矿方法

红土型镍矿为地表风化壳型矿床,为含镍超基

表 1 红土型镍矿找矿勘查各阶段专业工作布署
Table 1 Arrangement of various stages of prospecting and exploration work for lateritic nickel deposits

阶段	立项调查阶段		地质调查找矿阶段		矿床勘查评价阶段
步骤	1.找矿靶区踏勘	2.含矿性查定	3.普查控制	4.详查评价	5.矿体勘探
地质工作	√	√	√	√	√
浅井施工		√	√	√	√
样品加工		√	√	√	√
分析化验		√	√	√	√
钻孔施工				√	√
水工环测绘				√	√
地形测量				√	√
后勤保障			√	√	√

性岩体的风化残余-淋积产物, 镍矿体产于超基性岩体上部的红土风化壳中, 受红土风化壳的分布面积、产状形态和发育程度控制, 超基性岩红土风化壳是我们研究的主要对象和找矿主体。大地构造、气候环境和地形条件决定了超基性岩红土风化壳的发育程度, 广泛分布的超基性岩和有利的地形地貌是寻找红土型镍矿的重要基础条件。适合于红土型镍矿的找矿方法主要有: 地质填图法、探矿工程法和遥感地质法, 此外国内外还有论文和资料介绍采用化探(次生晕)法、电剖面法、电测深法, 甚至还有磁法方法的(冶金工业部, 1980; 崔敏利等, 2009; 徐强等, 2009; 付小锦等, 2010)。

笔者认为脱离了红土型镍矿的具体成矿特点、矿区地质实际和野外工作环境条件, 即使使用很多先进方法, 也只能收到事倍功半的效果。对红土型镍矿而言, 在上述的各类找矿方法中, 除传统的地质填图法和探矿工程法综合性较强、更具有针对性以外, 其他方法所能解决的问题都有一定的局限性, 不论采用次生晕法、电法、磁法或遥感等各种方法, 最终都要归结到实际的地质解译和探矿工程验证上来。而国外红土型镍矿分布的地区多是热带雨林密布、人烟稀少、交通困难, 其工作环境极为恶劣, 在这样的条件下组织一次次生晕法或电法或磁法的面积性工作后, 还需要再组织一次实地的地质调查解译和工程验证过程, 这显然不如直接开展一定比例的地质填图和工程查证来得直接和有效。

地质填图法加探矿工程深部含矿性验证, 是红土型镍矿最为直接、最为有较的找矿方法。红土型镍矿的找矿主要解决如下三个问题: 一是目标工作区内广泛发育的红土风化壳是否是超基性岩(尤其是最有利于红土型镍矿形成的纯橄榄岩、蛇纹石化橄榄岩和方辉橄榄岩等)风化形成; 二是超基性岩红土风化壳的分布面积、产状形态和发育程度是否有利于红土型镍矿的形成和保存; 三是超基性岩红土

风化壳在垂向上镍的矿化富集程度是否达到工业利用价值(即深部含矿性是否有利)。大量的找矿实践表明, 通过地表露头如水系、公路边缘的自然剖面观察并结合地表浅部的样品简易分析结果, 可以快速的将超基性岩风化的含镍红土与其它岩性(如石灰岩、砂岩、泥岩等)的风化红土区别开来; 而系统的地质路线调查, 结合部分浅部探矿工程(如硐锹)的施工取样, 可以快速的确定含镍红土分布面积、产状形态, 划定各类地质界线, 并圈定出含镍红土风化壳的分布范围; 通过一定数量和一定深度的浅井工程施工取样, 可以快速的确认含镍红土风化壳的发育程度和深部含矿性。

由于红土型镍矿自身特点及其多分布于热带、亚热带地区, 在应用地质填图加探矿工程深部含矿性验证的方法开展红土型镍矿的找矿时, 也同样面临许多困难。一方面, 由于找矿区植被发育, 并多为分布广泛的地表红土覆盖, 基岩露头较少, 野外工作条件较为恶劣, 要完全按国内现行的规程规范开展矿区的地质填图工作是较为困难的; 另一方面, 红土风化壳各层的含矿性很难用“目估”的方法直接判定, 只能通过大量的取样分析才能确定, 而样品按传统方式送往实验室进行化验需要很长的周期。云南省有色地质局三〇八队根据多年来在多个矿区的找矿实践, 探索和总结出了适合在森林和红土覆盖区的红土型镍矿快速找矿模式, 即“地质填图+探矿工程揭露+便携式 X 荧光测试仪”模式。

4 勘查技术手段与总体勘查评价方案

与其它金属矿产勘查一样, 红土型镍矿勘查评价的目的, 基本上可以归结为四定: 定性、定量、定位和定价。定性是确定矿床(矿体)的地质特性和工艺性, 前者如矿石物质组成、矿石类型、矿石质量, 及其他各种地质规律性, 后者包括可采性、可选性和熔炼性等, 需要做大量的测试和地质研究工作;

定量是确定各种性状的矿石总量和分量,如总矿石量、金属量,不同类型不同深度地质的储量等;定位是确定各矿体形态,各种矿石类型和级别的边界坐标;定价是根据前三者结合对外部条件和当前资源政策(市场)确定其工业价值(董永泉,1989)。使用什么样的勘查手段和勘查方案,将直接影响红土型镍矿勘查评价工作的地质效果与经济效果。

矿产勘查技术手段和勘查评价方案的选择受矿体地质条件、自然地理条件、勘查周期和经济技术等因素的制约和影响(侯德义,1984)。对红土型镍矿而言,由于分布及产出地区多为经济欠发达地区,交通、通信、电力及生活后勤保障设施等相对较为落后,且工作区基本上多为热带雨林覆盖,野外工作环境和条件都极为恶劣;镍矿体主要产于超基性岩体上部的红土风化壳中,矿体多呈层状、似层状,规模一般较大,埋藏深度相对较浅,一般平均深度约在 20~50 m,最深可达 80~100 m;矿体中的镍等有用组分分布相对较为均匀,且连续性较好;矿体及其覆盖层多为土状、土块状构造,岩石松软而相对稳固,地下水不多。因此,在勘查技术手段的选择上,一般多采用以探矿工程控制为主;而在探矿工程的选择上,多以钻孔、浅井手段为主。此外,国外部分矿业公司还根据红土风化壳垂向各层与基岩物理特性差异较大的特点,采用地质雷达、地震和电测深等技术手段,结合探矿工程验证来进行矿床的勘查评价。

浅井施工受矿体埋藏深度、地层含水性,岩性坚硬程度及安全等因素的限制,有时难以完整地揭露和控制整个红土风化壳,但其相对灵活,易于组织;钻孔施工能完整地揭露和控制整个红土风化壳,但受野外施工条件限制多,在热带雨林密布的红土分布区,砍树、修路、架桥等辅助工作量较大,一般不易组织;地质雷达、地震和电测深等技术手段,在热带雨林密布的地区同样面临较多的问题。在进行红土型镍矿床勘查评价时,探矿工程是以浅井为主还是以钻孔为主,以及是否配合地质雷达、地震和电测深等技术手段,则应根据具体的矿体地质特征和野外施工条件确定,或根据不同的勘查阶段合理组合应用。

国外已有多个红土型镍矿区的勘查评价实例,如早期对缅甸达贡山红土型镍矿床的勘查评价,普查阶段采用钻孔按稀疏的网度对主要矿体进行面上的初步控制,详查阶段则按矿体的产状布置“+”字形的南北向和东西向勘探剖面,在勘探剖面上用钻孔进行加密控制,其中剖面的核心部位再加密一

倍钻孔控制,同时配合部分浅井进行检查、采取体重样品等。在对矿体进行资源量估算和评价时,通过“+”字形的勘探剖面研究矿体在各个方向的变异性,对建立的矿体模型进行反演估值,进而估算整个矿床的资源量。再如巴布亚新几内亚马丹省的 Ramu 镍钴矿床的勘查评价,则采用钻孔(部分为螺旋钻)及浅井对矿体进行不同网度的控制,并在此基础上又进行了大面积的地质雷达(GPR)测量扫面确定含砾残积层的顶底面,配合浅井及试采坑进行体重样和选冶试验样的采取,在对矿体进行资源量估算和评价时,则根据钻孔解释得到的红土风化壳各层的底面模型和根据 GPR 数据建立的基岩顶面模型与地表地形模型进行叠合和匹配,从而生成矿体控制模型(即最终各层模型),再对矿体模型进行反演估值,从而估算矿床资源量。而印度尼西亚的矿业公司多采用钻孔全面覆盖的勘查评价方案,通常是先以稀疏的浅井确认有矿化信息后,直接采用钻孔按不同的网度对矿体进行系统控制,工程控制程度普遍达 50 m×50 m 的网度,个别地段甚至达 25 m 的开采间距,在对矿体进行资源量估算和评价时,则分别按褐铁矿型和腐岩型两类进行矿床资源量估算。

云南省有色地质局三〇八队在印度尼西亚进行红土型镍矿勘查评价时,则多采用钻孔加浅井的勘查评价方案。在立项调查阶段和地质调查找矿阶段初期,为了了解红土风化壳的深部含矿性,通常按稀疏的工程间距沿主干剖面用浅井对矿体作骨架性控制;在地质调查找矿阶段后期和矿床勘查评价初期,为进一步查明红土风化壳的分布范围、发育程度和矿化连续性,一般采用钻孔按一定的网度对矿体进行系统控制,浅井只用于钻孔检查和各地质分层体重样品的采取;而在矿床勘查评价后期或基建探矿、生产探矿阶段,则全部采用钻孔密集控制。在对矿体进行资源量估算和评价时,则根据钻孔和浅井控制的红土风化壳各层底面和解释得到矿体顶底 DTM 模型,直接生成矿体模型,再对矿体模型进行反演估值,从而估算矿床资源量(何灿等,2005,2007a, b, 2009a, b; 李彦春等,2010, 2011)。

5 勘查评价中需要注意的几个问题

(1) 关于矿体勘探类型与工程间距

红土型镍矿体通常为产状平缓,规模较大,形态相对简单,在矿化连续性及物质成分等方面平面上无明显的方向性。镍矿体的产状、厚度、形态变化及矿化强弱主要受地形条件和红土风化壳发育程

度影响,适合采用面形的勘探网对矿体进行控制。勘查工程的布置理论上应充分考虑微地形的沟谷及未完全风化岩体对矿体的切割与破坏,但在矿体实际勘查过程中,由于勘查区往往很少有大比例尺的地形地质图可用,且勘查区多为热带雨林密布区,通视条件较差,因此在实际进行勘查工程布置和方案设计时,通常不太考虑微地形起伏变化对矿体的影响,探矿工程普遍采用正方格网的形式布置,浅井或钻孔主要布置方格网的结点上。

勘查工程控制网度受矿床地质条件的复杂程度(即勘探的难易程度)影响,由矿床的勘探类型确定。由于红土型镍矿床一般规模均较大,矿体平面形态呈似层状,矿体受断层构造的影响较小,矿体的总体厚度较为稳定,镍矿化相对较为均匀,其勘探类型多为简单类型或以第Ⅰ类型为主,个别矿体为复杂类型或第Ⅱ类型,国际上通常采用的勘查评价网度分别为 400 m×400 m、200 m×200 m、100 m×100 m、50 m×50 m,而 25 m×25 m 和 12.5 m×12.5 m,甚至 5 m×5 m 均为生产探矿的工程控制网度。

(2)关于矿体的控制深度

红土型镍矿勘查评价原则上以控制红土风化壳中的主矿体为主,工程施工深度应达红土风化壳的底部基岩内。事实上,红土型镍矿体与围岩肉眼很难区别,在工程施工管理时,地质技术人员通常根据浅井或钻孔揭露的岩石风化程度和矿化变化情况,判定工程是否应该停工。由于深部腐岩硬度较大,施工难度也较大,一般浅井在穿过矿层(或风化层)1 m 左右即可竣工,而钻孔应控制到基岩 2~3 m 后方可终孔。

(3)关于勘查评价的主要工业指标

我国《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》(DZ/T0214—2002)对红土型镍矿的一般工业指标规定如下:镍边界品位 0.5%,镍最低工业品位为 1.0%,最小可采厚度 1 米,夹石剔除厚度 1~2 m,就国外的红土型镍矿而言,由于超基性岩红土风化壳分布面积巨大、镍矿化发育普遍和广泛,以 $Ni \geq 0.5\%$ 作为矿体的边界品位显然明显偏低。因此,根据当前技术经济条件、市场价格、市场需求及具体矿床特点,合理确定红土型镍矿的边界品位和最低工业品位,对红土型镍矿的快速找矿勘查评价具有重要意义。表 2 为中国及东南亚部分红土型镍矿床勘查评价时采用的主要工业指标(何灿等, 2005, 2007a, b, 2009a, b)。

(4)矿体圈定时应注意的问题

根据红土型镍矿的矿化特点,在进行矿体圈定时,应充分考虑矿(化)体的连续性、完整性和开采的经济性。地质矿体的圈定应按照先矿化体,再镍矿体的顺序进行圈定,即:先以矿体建模边界指标为矿化体边界圈定矿化体,再在同一矿化体的基础上按边界品位和最低工业品位指标圈定镍矿体,最后再以镍矿石工业品级指标在镍矿体中分别圈出富镍矿体和贫镍矿体。

矿体圈定时应注意“无矿夹石”对矿体的影响。由于红土风化壳中镍的富集受风化程度、风化时间及矿化流体迁移路径差异的影响,超基性岩在球状风化过程中往往残留风化较晚、风化程度较低的似球状核心。这些弱风化或风化不完全的似球状岩块或“漂砾”,其直径一般在 1~3 m 之间(个别可达 4~5 m 左右),含镍品位多介于 0.7%~1.0%之间,且无

表 2 中国及东南亚部分红土型镍矿床主要工业指标
Table 2 Primary industrial indexes of part of lateritic nickel deposits in China and Southeast Asia countries

项目	中国规范要求	中国元江	缅甸达贡山	缅甸莫茅塘	印尼苏巴印	印尼马布里	印尼哈利达	印尼西富山	印尼北科纳威
边界品位/%	0.5	0.5	1.4	0.5	1	1	0.8	1	1
最低工业品位/%	1	1.05	1.4	1	1	1	1.2	1	1
矿床平均品位/%					1.5	1.5			
最小可采厚度/m	1	1	2	2	1	1	1	1	1
夹石剔除厚度/m	1-2	1	3	3	3	3	3	2	3
褐铁矿型矿石/%							TFe ≥ 25%		
腐岩型矿石/%							TFe < 25%		
富镍矿石(Ni)/%				≥ 2.0			≥ 1.8	>1.5	≥ 1.4
贫镍矿石(Ni)/%				1~1.99			1.0~1.79	1~1.5	1~1.39
伴生组分(Co)/%	≥ 0.01	≥ 0.01	≥ 0.01	≥ 0.01	≥ 0.01	≥ 0.01		≥ 0.01	≥ 0.01
共生组分(TFe)/%							≥ 40		≥ 40

规律分布。因此,在进行矿体圈定时,若工程中出现被“漂砾”分隔的两部份矿体厚度较大、镍品位较高,如其所夹的“漂砾”仅在单工程中出现时,在保证圈定后工程的平均品位大于或等于最低工业品位指标时则应一同圈入主矿体中,开采时作为矿体中的无矿岩块处理;而经相邻工程及断面对比,此“漂砾”确属矿体中的无矿透镜体时,应作为夹石单独圈出(李彦春等, 2010, 2011)。

6 结论

近几年来,得益于良好的地缘优势,云南省有色地质局三〇八队“走出去”到东南亚地区进行“淘镍”,取得了较好的成绩,先后在缅甸、印度尼西亚、菲律宾等国家开展地质找矿和勘查评价,共探获镍金属资源量近 700 万吨,提交中至超大型矿产地 7 个。

参考文献:

- J.C.萨玛玛. 1991. 矿田与大陆风化[M]. 北京: 中国地质大学出版社: 129-150.
- 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[J]. 地质与勘探, 45(4): 417-422.
- 董永泉. 1989. 试论勘探程度的合理性和储量误差估算[OL/EB]. [2013-04-02]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4f93a2870100c5v3.html.
- 付伟, 牛虎杰, 陈远荣, 雷良奇, 黄小荣, 任小瑞. 2012. 超基性岩红土风化壳中镍的表生富集规律及矿化结构研究-以印尼苏拉威西岛 Kolonodale 矿区为例[J]. 矿床地质, 31(2): 229-240.
- 付小锦, 王志刚, 张启军, 石文学, 李宏臣, 廖华明, 陈丹明, 付方建, 陈怀亮, 范丽平, 王西玉. 2010. 土壤地球化学测量在菲律宾红土型镍矿勘查中的应用[J]. 地质找矿论丛, 25(4): 127-139.
- 何灿, 高俊, 杨应平. 2009a. 印度尼西亚东南苏拉威西省北科纳威县朗克克马 D 块段红土型镍矿详查报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 何灿, 高俊, 杨应平. 2009b. 印度尼西亚东南苏拉威西省北科纳威县维维拉诺 KE 块段红土型镍矿详查报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 何灿, 李国清, 杨应平. 2007a. 印度尼西亚苏巴印镍矿区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.
- 何灿, 罗太旭, 杨应平. 2007b. 印度尼西亚北马露姑省东哈马黑拉县马布里红土型镍矿详查报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 何灿, 肖述刚, 谭木昌. 2008. 印度尼西亚红土型镍矿[J]. 云南地质, 27(1): 20-26.
- 何灿, 杨应平. 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.

- 何灿. 2012. 境外红土型镍矿的找矿勘查经验总结与探讨[G].// 有色地勘海外拓荒之路 2012 论文集[C]. 北京: 世界有色金属.
- 侯德义. 1984. 找矿勘探地质学[M]. 北京: 地质出版社: 127-132.
- 李彦春, 何灿. 2010. 缅甸达贡山红土型镍矿基建探矿资源储量估算报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 李彦春, 何灿. 2011. 缅甸达贡山红土型镍矿 2011—2012 年度生产探矿报告[R]. 个旧: 云南省有色地质局三〇八队.
- 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.
- 孙绍有. 2012. 浅谈红土型镍矿找矿靶区的选择[G].// 有色地勘海外拓荒之路 2012 论文集[C]. 北京: 世界有色金属.
- 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.
- 王志刚. 2010. 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, 46(2): 361-366.
- 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.
- 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.
- 冶金工业部. 1980. 菲律宾红土镍矿的生成及找矿勘探[J]. 地质与勘探, (1): 26-29.
- 袁见齐. 1985. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社: 184-197.

References:

- CHEN Bai-you, LIU Hong-tao, YANG Ping, SUN Yuan. 2013. The Basic Metallogenic Regularity of Global Lateritic Nickel Ore Deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 202-206(in Chinese with English abstract).
- CUI Min-li, ZHANG Bao-lin, SU Jie, XU Yong-sheng. 2009. Efficient and Fast Exploration Model of Lateritic Nickel Deposits in Sulawesi Island, Indonesia[J]. Geology and exploration, 45(4): 417-422(in Chinese with English abstract).
- DONG Yong-quan. 1989. To Estimate The Rationality And Reserves Error On The Exploration Degree [OL/EB]. [2013-04-02]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4f93a2870100c5v3.html(in Chinese).
- FU Wei, NIU Hu-jie, CHEN Yuan-rong, LEI Liang-qi, HUANG Xiao-rong, REN Xiao-rui. 2012. Supergene enrichment and mineralization texture of nickel in laterite weathered crust from ultrabasic rocks: A case study of Kolonodale ore district in Sulawesi Island, Indonesia[J]. Mineral Deposit, 31(2): 229-240(in Chinese with English abstract).
- FU Xiao-jin, WANG Zhi-gang, ZHANG Qi-jun, SHI Wen-xue, LI Hong-chen, LIAO Hua-ming, CHEN Dan-ming, FU Fang-jian, CHEN Huai-liang, FAN Li-ping, WANG Xi-yu. 2010. Applcatlon of Soil Geochemical Survey to Lateritic Nickel

- Ore Exploration IN The Phllpplnes[J]. Contributions to Geology and Mineral Research, 25(4): 127-139(in Chinese with English abstract).
- HE Can, GAO Jun, YANG Ying-ping. 2009a. The Detailed Geological Survey Report on the Lateritic Nickel Deposits in the D Block of Langgikima Ore District, North Konawe County, Southeast Sulawesi Province, Indonesia[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, GAO Jun, YANG Ying-ping. 2009b. The Detailed Geological Survey Report on the Lateritic Nickel Deposits in the KE Block of Wiwirano Ore District, North Konawe County, Southeast Sulawesi Province, Indonesia[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, LI Guo-qing, YANG Ying-ping. 2007a. The Geological Exploration Report on the Lateritic Nickel Deposits in the Subaim Ore District of Indonesia[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, LUO Tai-xu, YANG Ying-ping. 2007b. The Detailed Geological Survey Report on the Lateritic Nickel Deposits in Mabuli Ore District, Halmahera Timur County, Maluku Utara Province, Indonesia [R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can, XIAO Shu-gang, TAN Mu-chang. 2008. The Nideposits Of Lateritetypein Indonesia[J]. Yunnan Geology, 27(1): 20-26(in Chinese with English abstract).
- HE Can, YANG Ying-ping. 2005. The Geological Exploration Report on the Lateritic Nickel Deposits in the Tagaung Taung Mountain of Myanmar[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- HE Can. 2012. Summarization & Examination Of The Experience In Looking & Exploring For Lateritic Nickel Deposits In Foreign Countries [G].//The review of the Geological Exploring and Prospecting Industry on the history of Looking for Nonferrous Metal Deposits Abroad - the 2012 Collection of Academic Papers[C]. Beijing: World Nonferrous Metals(in Chinese).
- HOU De-yi. 1984. The Geology in Looking for and Exploring for Mineral Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 127-132(in Chinese).
- LI Yan-chun, HE Can. 2010. The Estimation Report on the Mineral Resources of the Lateritic Nickel Deposits in the Tagaung Taung Mountain of Myanmar in the Phase of Capital Construction Prospecting[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- LI Yan-chun, HE Can. 2011. The Capital Construction Prospecting Report on the Lateritic Nickel Deposits in the Tagaung Taung Mountain of Myanmar during the period from 2011 to 2012[R]. Gejiu: No. 308 Geological Party, Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).
- LUO Tai-xu. 2008. Geology and Ore-Forming Mechanism of Weathering Crust-type Nickeliferous Silicate Deposit At Waigeo, Indonesia[J]. Geology and Exploration, 44(4): 45-49(in Chinese).
- Ministry of Metallurgical Industry. 1980. The Formation of and the Looking and Prospecting for the Lateritic Nickel Deposits in the Philippines[J]. Geology and Exploration, (1): 26-29(in Chinese with English abstract).
- SAMAMA J C. 1991. Ore fields and continental weathering[M]. Beijing: China University of Geosciences Press: 129-150(in Chinese).
- SUN Shao-you. 2012. A Brief Talk On The Choosing of The Prospecting Target Areas for Lateritic Nickel Deposits[G].//The review of the Geological Exploring and Prospecting Industry on the history of Looking for Nonferrous Metal Deposits Abroad - the 2012 Collection of Academic Papers[C]. Beijing: World Nonferrous Metals(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).
- WANG Zhi-gang. 2010. Geological Features of Lateritic Nickel Deposits and Mineral Exploration Methods in the Dinagat Island,Philippines[J]. Geology and Exploration, 46(2): 361-366(in Chinese with English abstract).
- XU Qiang, XUE Wei-chong, XU Su-yun, ZHU Yuan-chao. 2009. Generation of Lateritic-Nickel Resources and Their Prospecting and Exploration In Indonesia[J]. Mineral Resources and Geology, 23(1): 73-75(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).
- YUAN Jian-qi. 1985. Study of mineral deposit[M]. Beijing: geological publishing house: 184-197(in Chinese).