

新疆黄山—镜儿泉地区岩浆型镍铜硫化物矿床远景分析

娄德波¹ 肖克炎¹ 王登红¹ 王小慧² 丁建华¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 天津商业大学商学院珠宝系, 天津 300134)

摘要: 为了提高成矿地质认识在资源远景分析和矿产勘查中的应用效果, 本文以新疆黄山—镜儿泉地区镍铜硫化物矿床为例, 通过三个步骤: (1) 详细总结成矿关键过程, (2) 根据关键过程确定地质要素, (3) 利用地质、物探、化探和遥感等地质调查资料获取地质要素, 从而将矿床成因及时空分布规律与区域地质、矿产、物探、化探和遥感资料联系起来, 将成矿地质理论的概念性认识, 转换为可用于远景分析的地层、构造、岩体等地质要素。通过使用特征分析方法, 对地质要素进行综合, 共圈定黄山、图拉尔根等 13 个成矿远景区, 为今后的镍铜矿找矿指明了方向。

关键词: 镍铜硫化物矿床; 预测要素; 远景分析; 黄山—镜儿泉; 新疆

中图分类号: P618.43; P618.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1278-12

在地质找矿工作方面要取得进展, 主要取决于三个方面, 即成矿地质理论的进步、找矿勘查技术的革新以及数据处理方法的提高。近些年来, 成矿地质理论取得了长足的发展, 人们采用各种理论, 如成矿系列、成矿系统等分析不同尺度上矿床形成和保存的地质过程, 包括“源、运、储、变、保”等, 以及时空分布规律^[1]。然而, 如何将成矿地质理论研究所取得的成果转化为用于矿产勘查以及资源远景分析的标准, 却一直存在许多迷惑^[2]。其主要原因是缺乏有效的思路将对矿床成因及时空分布规律的理解和区域地质矿产调查资料的应用联系起来。本文试图以黄山—镜儿泉地区岩浆型镍铜硫化物矿床为例, 通过对两者的分析, 来阐述其转化过程, 确定预测要素, 并在此基础上圈定远景区。

1 区域地质矿产概况

1.1 地质背景

黄山—镜儿泉地区位于新疆东天山东部, 吐哈

盆地南侧, 以甘新公路为界, 与西段的康古尔地区共同组成了康古尔—镜儿泉构造岩浆岩带(图 1)。泥盆—石炭纪期间, 觉罗塔格洋沿阿齐克库都克—沙泉子断裂向北俯冲形成弧后盆地, 至石炭纪末期, 这一带的大洋盆地已经完全碰撞闭合; 从早二叠世开始, 该区进入碰撞后伸展阶段, 发生了镁铁质—超镁铁质岩和花岗岩类的就位, 区内区域变质作用、混合岩化和韧性剪切活动强烈。区内构造主要包括 3 条近北东东向大断裂带, 即北部的康古尔大断裂带和南部的雅满苏断裂带以及阿奇克库都克大断裂带; 地层主要为泥盆—石炭纪火山岩, 其中雅满苏断裂以北梧桐窝子组是一套海相喷发的基性熔岩, 绿色—暗绿色细碧岩, 干墩组是一套巨大的火山碎屑沉积岩和含炭硅质岩, 断裂以南为雅满苏组, 主要为一套双峰式的火山岩; 此外, 在阿奇克库都克断裂以南, 主要分布着前寒武纪古老变质岩系, 岩性为大理岩和变质砂岩; 区内岩体主要为镁铁质—超镁铁质岩类和花岗岩岩类, 其中镁铁质—超镁铁质岩体主

收稿日期: 2012-10-23; 改回日期: 2013-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41002119, 40902029)和中央公益性科研院所基本科研业务费专项(K1103)联合资助。

作者简介: 娄德波, 男, 1979 年生, 副研究员, 主要从事数学地质及矿产资源评价研究; E-mail: llddbb_e@126.com。

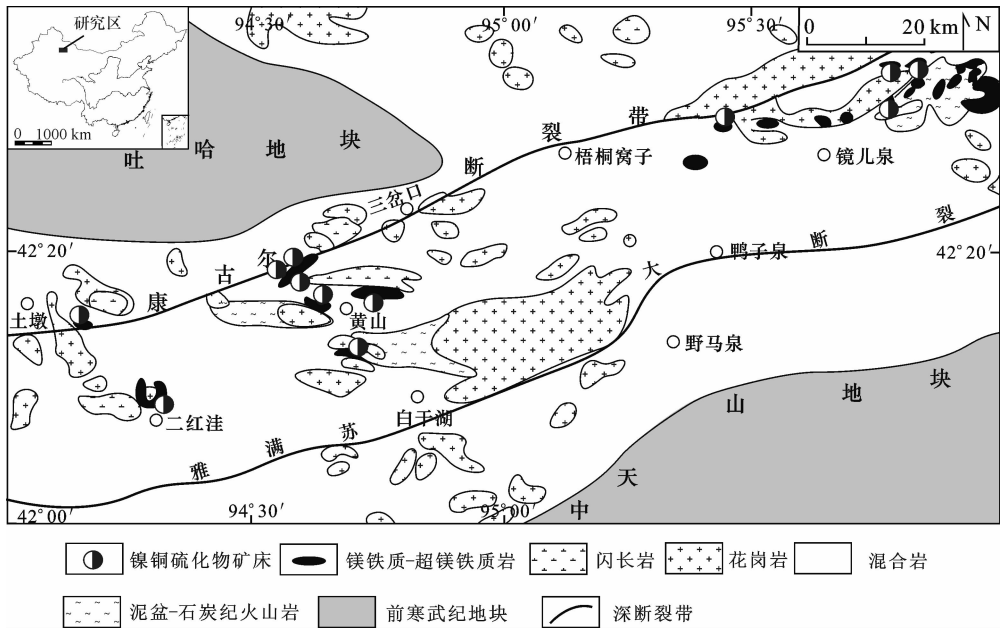


图 1 黄山—镜儿泉地区地质略图^[3]

Fig.1 Geological map of Huangshan-jing'erquan area, eastern Tianshan^[3]

要分布在康古尔大断裂带附近,岩石类型有橄榄岩、辉橄岩、橄辉岩、二辉岩、辉长苏长岩以及辉长岩和闪长岩,岩体规模较小,最大者不超过 10 km²,该类岩石中往往产出镍铜硫化物矿床;花岗岩类遍布全区,主要包括钙碱性—钾长钙碱性花岗岩、片麻状花岗岩和过铝花岗岩,其中钙碱性—钾长钙碱性花岗岩与斑岩型矿床有关,而过铝花岗岩往往与稀有元素伟晶岩型矿床有关^[3]。

1.2 镍铜硫化物矿床

在黄山—镜儿泉地区产出有岩浆型镍铜硫化物矿床、斑岩型铜铅矿床和伟晶岩型锂铍矿床,其中岩浆型镍铜硫化物矿床在该区乃至整个东天山地区占据重要的地位,目前已经勘探查明黄山和图拉尔根两个大型矿床,香山、黄山南、二红洼、葫芦、土墩、白石泉、天宇和马蹄等中小型矿床。该类矿床的成矿时代与岩体近似,不同方法获得的年龄在 288~269 Ma,表明该类矿床是早二叠世造山后碰撞伸展阶段的产物^[4,5]。矿床在区域上主要受康古尔—黄山弛张性深大断裂、阿奇克库都克—沙泉子深大断裂及其次级断裂控制,沿断裂上侵就位的镁铁质—超镁铁岩体是其主要含矿围岩,岩浆熔离作用是主要的成矿方式,且各岩相分异程度越高,含矿性越好。主要矿石矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和黄铁矿等。区内主要镍铜硫化物矿床特征如表 1。

2 地质要素分析

区域地质预测要素分析的一个重要特点是既要在矿床成因以及时空分布规律指导下进行,又需要将这些研究的概念性成果,转化为区域上的地层、构造、岩浆岩以及成矿物质等区域地质调查资料可以表达的信息,才能获取用于远景区圈定的预测要素。因此,本文在进行各类预测要素分析时,(1)详细总结与之有关成矿关键过程;(2)根据关键过程确定用做预测要素的地质要素;(3)充分利用现有的地质、矿产、物探、化探和遥感等地质调查资料,通过直接提取或者间接推断的方式获得地质要素。

2.1 地层预测要素分析

硫饱和机制是镍铜硫化物矿床研究的重要内容^[4],一般认为,硫在岩浆中的溶解度是温度、压力、氧逸度和硫逸度的函数^[15,16],因此,要形成岩浆 Ni-Cu 硫化物矿床原始岩浆必须产生硫化物的熔离,而引起硫化物熔体熔离的机制主要包括:(1)岩浆分异^[7],富 Fe 矿物的分异(橄榄石、辉石、磁铁矿)可能导致 S 溶解度降低,而产生 S 饱和;(2)不同成分的 S 不饱和岩浆的混合导致 S 饱和^[8];(3)围岩混染,通过熔体的液化作用或者含硫化物围岩的混染导致外来硫的加入,而产生 S 饱和^[19,20],或者也可能是围岩中的 Si 或者 Ca 的加入,降低了岩浆硫的溶解度^[21-23]。其中,地层围岩混染

表 1 黄山—镜儿泉地区主要镍铜硫化物矿床特征

Table 1 Features of major Ni-Cu sulfide deposits in Huangshan-Jing'erquan area

| 矿床名称 | 成矿时代/Ma | 出露面积/km ² | 含矿岩石 | 围岩特征 | 构造特征 | 矿床赋矿/储量 (万吨) @品位 | 矿石构造 | 矿石矿物 |
|------|------------------|----------------------|--------------------|--|--|--|------------------|---------------------|
| 图拉尔根 | 300.5±3.2 (U-Pb) | <0.005 | 辉长岩、角闪橄榄辉长岩 | 蓟县系卡瓦布拉克群岩性主要为一套变质的碳酸盐岩夹多层变质碎屑岩 | 区域上受康古尔—黄山断裂控制 | 大型 (Ni-Cu-Co) Ni: 125@0.11% Cu: 80@0.4% Co: 100@0.03% | 浸染状 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和辉砷镍矿等 |
| 葫芦 | 283±13 (Re-Os) | 0.75 | 辉石岩、角闪橄榄岩 | 下石炭统梧桐窝子组以灰绿色为主,局部黄色、黄灰色,主要含玄武岩、细碧岩、角斑岩、石英角斑岩、凝灰岩和硅质岩等 | 区域上受康古尔—黄山断裂控制 | 中型 (Ni-Cu-Co) Ni: 80.2@0.23%~0.61% Cu: 39.6@0.1%~0.49% Co: 5.1@0.02%~0.042% | 浸染状、海绵陨铁状、脉状和共状等 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿等 |
| 黄山东 | 282±20 (Re-Os) | 2.8 | 辉长苏长岩和角闪二辉橄榄岩等 | 下石炭统王埠组变余含铁粉砂岩、板岩及生物碎屑灰岩中 | 区域上受康古尔—黄山断裂控制 | 大型 (Ni-Cu-Co) Ni: 383.6@0.52% Cu: 188.2@0.27% Co: 16.7@0.024% | 浸染状为主、致密块状和网脉状等 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和砷镍矿等 |
| 黄山 | 269±2 (U-Pb) | 1.7 | 苏长岩、辉橄岩、二辉橄榄岩 | 下石炭统王埠组变余含铁粉砂岩、板岩及生物碎屑灰岩中 | 区域上受康古尔—黄山断裂控制 | 大型 (Ni-Cu-Co) Ni: 334@0.47% Cu: 208@0.31% Co: 19.5@0.026% | 浸染状、致密块状和网脉状等 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和辉砷镍矿等 |
| 黄山南 | | 4.22 | 辉石角闪橄榄岩、橄橄岩和二辉橄榄岩等 | 下石炭统 梧桐窝子组, 为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造 | 区域上受雅满苏大断裂控制 | 小型 (Ni-Cu-Co) Ni: 8.3@0.3%~0.61% Cu: 13@0.2%~0.64% Co: 0.44 | 浸染状和海绵陨铁状等 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿等 |
| 香山 | 298±7.1 | 2.8 | 角闪单辉橄辉岩、辉石岩和角闪辉长岩等 | 下石炭统 梧桐窝子组, 为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造 | 区域上受康古尔—黄山断裂控制 | 中型 (Ni-Cu-Co) Ni: 87.5@0.38% Cu: 61.8@0.21% Co: 5.1@0.03% | 浸染状和致密块状等 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和紫硫镍矿等 |
| 二红洼 | | 12 | 二辉橄辉岩、辉长苏长岩和橄橄辉长岩等 | 下石炭统王埠组, 主要为变质碎屑岩夹碳酸盐岩 | 位于雅满苏断裂以南, 并受其控制 | 小型 (Ni-Cu) Ni: 18@0.2% Cu: 4@0.2% | 浸染状 | 磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿等 |
| 土墩 | | 0.9 | 角闪橄辉岩和角闪辉长岩等 | 石炭纪梧桐窝子组, 为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造 | 位于康古尔大断裂南侧, 非受其控制, 区内断裂构造发育, 但往往被第四系掩盖 | 中型 (Ni-Cu-Co) Ni: 26.3@0.28% Cu: 15.9@0.21% Co: 1.7@0.022% | 浸染状 | 磁黄铁矿、黄铜矿和镍黄铁矿等 |
| 白石泉 | 281±0.9 (U-Pb) | 1 | 橄辉岩和辉石岩等 | 蓟县系卡瓦布拉克群, 是一套绢云母石英片岩、绿泥石英片岩、石英岩和大理岩等 | 位于沙泉子高角度逆冲大断裂南侧 1~3 km 处, 矿区内部裂构造为发育, 皆为大规模之次级断裂 | 小型 (Ni-Cu) Ni: 94.3@0.32% Cu: 70.1@0.48% | 稀疏浸染状和网脉状等 | 黄铜矿、镍黄铁矿、自然铜和黄铁矿等 |

注: 资料来源于孙赫等^[10-11]。

是硫饱和乃至矿床形成的可能的重要因素之一^[19,24]。

目前,在黄山—镜儿泉地区,国内外学者已经对一些典型矿床硫饱和和机制,以及地层围岩对成矿的贡献做了一些研究。如 Tang 等^[25]通过微量元素、稀土元素以及同位素研究,认为白石泉、香山、图拉尔根、天宇和黄山遭受了地壳的混染,从而促进了硫饱和以及硫化物矿床的形成。因此在黄山—镜儿泉地区,当镁铁质—超镁铁质岩体在上地壳就位时,早期形成的(二叠纪之前)富 Si、Ca 和 K 的长英质岩石或者富 S 的膏岩层与其接触发生同化混染便成为矿床形成的可能的重要因素。通过对 1:20 万区域地质图进行时间、空间和物质组分条件对比分析,确认蓟县系卡瓦布拉克群,下石炭统干墩组、下石炭统梧桐窝子组、石炭纪雅满苏组对矿床的形成可能做出了贡献,提取出来作为地层预测要素。地层预测要素与镍铜硫化物矿床关系如图 2 所示。

2.2 构造预测要素分析

岩浆型镍铜硫化物矿床从构造位置上均与深大断裂或者板块缝合带及其次生断裂密切相关,它们往往是重大构造岩浆事件的产物,也是地壳应力长期聚集和突然释放的表现形式之一^[14]。由于深大断裂的减压作用,导致深部岩浆房的不含矿岩浆、贫矿岩浆、富矿岩浆和矿浆脉动式快速上侵,大量的不含矿岩浆喷出地表或侵入浅部空间,贫矿岩浆、富矿岩

浆和矿浆可能由于相对较重沿着深大断裂的次级断裂侵入到终端岩浆房成矿^[26],断裂构造为成矿物质提供了运移通道和存储空间,因此弛张性的深大断裂及其次级断裂往往是岩浆型镍铜硫化物矿床的重要预测要素之一。

在黄山—镜儿泉地区,断裂构造对于成矿的作用已经被众多资料所证实,如汤中立等^[27]指出,伸展阶段的深大断裂是镍铜矿产出的重要位置,并指出东天山的黄山—镜儿泉一带是重要的镍铜找矿远景区;姜德波等^[27]认为弛张性深大断裂及其次级断裂交汇处是成矿的有利部位。通过对 1:20 万区域地质图、1:10 万航磁资料和 ETM 遥感影像进行分析,根据各类资料的学科特点,进行直接提取或者推断解译的方式,提取康古尔塔格深大断裂、雅满苏深大断裂、沙泉子深大断裂等作为预测要素。采用证据权方法^[28-30]确定深大断裂带宽度 3 km 的影响范围。深大断裂带与镍铜硫化物矿床之间的空间关系如图 3 所示。

2.3 岩浆岩预测要素分析

镁铁质—超镁铁质岩浆对镍(Ni)、铜(Cu)、钴(Co)和铂族元素(PGE)具有成矿专属性^[6]。研究表明,高 Mg 的岩浆在形成之初离开地幔时硫是不饱和的^[31],并且需要较高级度的部分熔融^[32],所以可以携带大量成矿元素上升到地壳。镁铁质—超镁铁质岩体,作为镍铜硫化物矿床的成矿母岩,不仅是成矿物

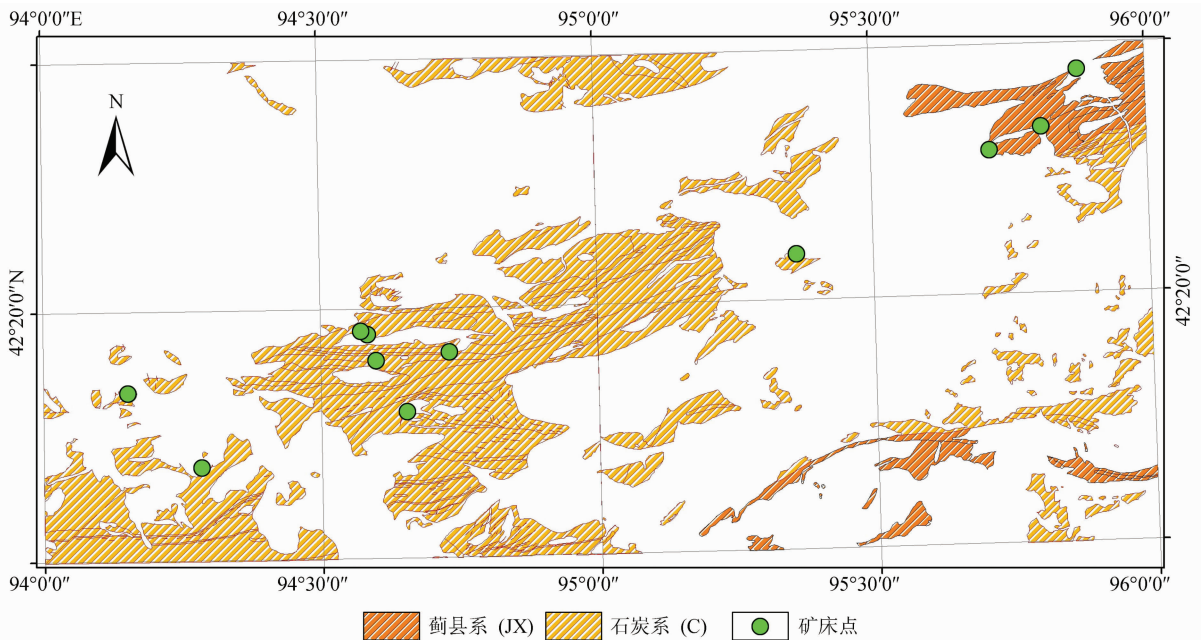


图 2 地层预测要素与镍铜硫化物矿床关系图
Fig.2 The relationship between strata and Ni-Cu sulfide deposits

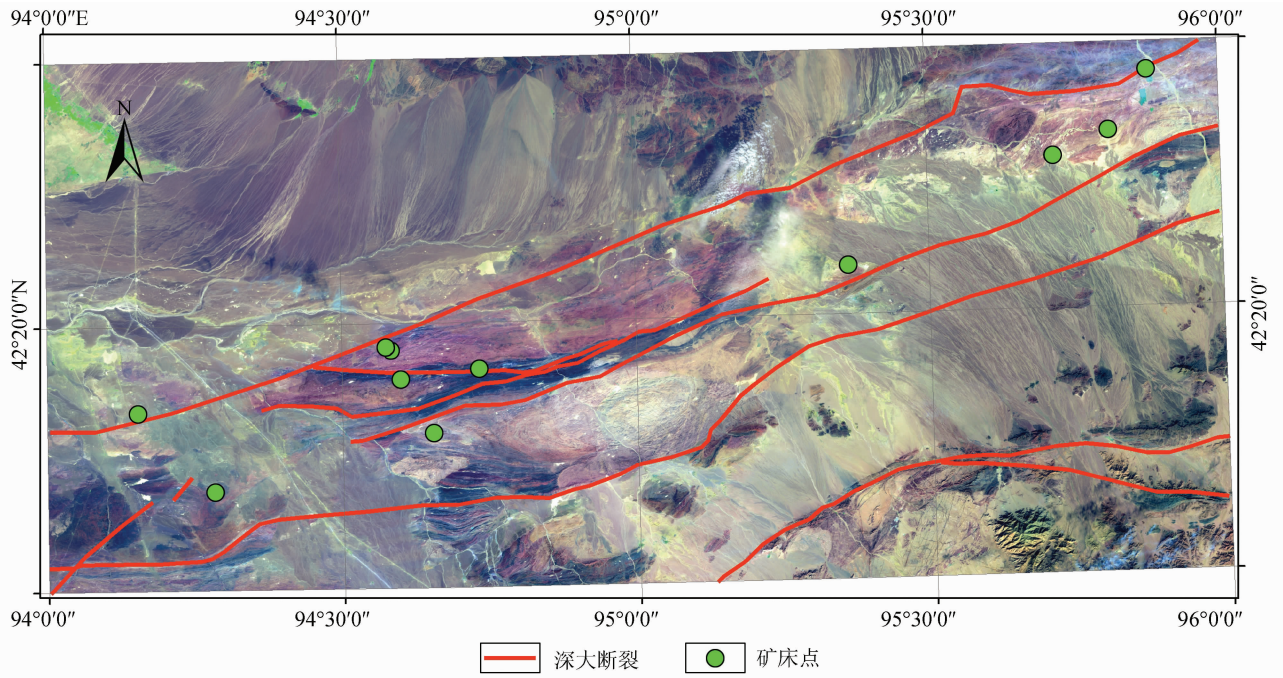


图3 构造预测要素与镍铜硫化物矿床关系图

Fig.3 The relationship between structures and Ni-Cu sulfide deposits

质的提供者,而且在空间和时间上也存在着密切的关系^[3],通过熔离作用和分异作用形成的镍铜矿体经常作为岩体的底部和边部而存在于岩体之内,已经成为众所周知的事情,因此镁铁质-超镁铁质岩体是寻找镍铜硫化物的一个直接而有效的预测要素。

然而,不像在世界上其他镍铜矿产大国,大部分镍铜矿产于层状镁铁质-超镁铁质岩体内,面积比较大。在中国镍铜矿一般都赋存在小岩体内,如作为中国最大的镍铜矿,甘肃金川矿床,面积仅有 1.34 km²。在黄山-镜儿泉地区也不例外,大部分在 0.1~1 km²,一般小于 10 km²,在中小比例尺上,通过填图来寻找镁铁质-超镁铁质岩体并不是一件容易的事情^[29],尽管在一些地区针对镁铁质-超镁铁质岩体在中小比例尺填图过程中进行了加密工作。因此在矿产预测时,除了通过在 1:20 万区域地质图上直接提取外,更加重视通过 1:10 万航磁资料和 ETM 遥感影像资料,来获取镁铁质-超镁铁质岩体的信息。在航磁数据中,主要是提取梯度带上的中小规模的磁异常;在遥感影像上主要是提取那些暗色调的串珠状的环形异常,并将其作为岩浆岩预测要素。岩浆岩预测要素与镍铜硫化物矿床关系如图 4 所示。

2.4 成矿物质预测要素分析

众所周知,在全球范围内著名的镍铜(钴)矿床

的形成几乎均和其赋矿母岩中所具有高丰度的 Ni、Cu、Co 值密切相关;换言之,岩体中该类元素的丰度是判别岩体含矿性的重要标志^[7]。在与镁铁质-超镁铁质岩有关的岩浆型镍铜硫化物矿床中,Ni、Cu 等元素既是成矿的物质基础,又是直接的找矿标志。在区域上,作为镍铜成矿物质的表现形式,区域地球化学测量数据,尤其是 Ni、Cu、Co 等成矿元素以及与之相关共生存存在的区域地球化学测量数据,为研究成矿物质预测要素提供了丰富的信息。

然而随着找矿工作的深入,地表矿越来越少,寻找隐伏矿和难识别矿越来越成为当务之急。在黄山-镜儿泉地区,前人采用成矿元素,尤其是主成矿阶段的成矿元素进行资源远景分析以及找矿勘查已经取得一定的成果^[34,35],但总体上对信息的深入挖掘还不够。为了更科学地体现关键预测要素,深入分析和提取致矿异常,尤其是复杂背景下的弱异常,本次成矿预测要素研究,采用主成分分析与多重分形滤波技术(S-A)相结合的方式^[36]。首先使用主成矿元素 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe₂O₃ 进行主成分分析,结果显示第一主成分的方差贡献已经超过 87%,因此可以将其因子得分作为找矿标志,然后采用 S-A 方法将因子得分异常从背景当中分离出来,得分异常如图 5 所示,其与矿床之间有着较好的对应关系。

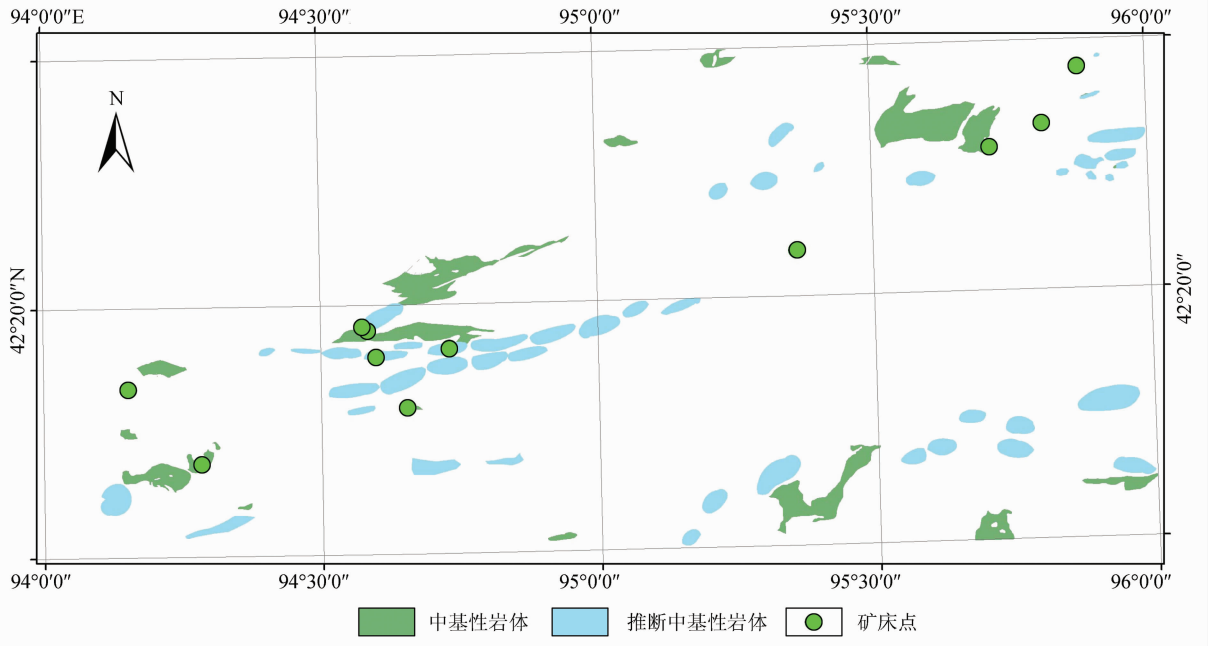


图 4 中基性岩体与矿床关系图

Fig.4 The relationship between basic rocks and Ni-Cu sulfide deposits

3 远景区圈定

远景区圈定就是在不确定性条件下制定最优决策的工作^[37],其主要目的是圈定远景区并对其进行优选,从而为矿产勘查提供有利的找矿靶区和合理的部署建议。其圈定原理通常可表达为 $F=\phi(x_1,x_2,\dots,x_n;a_1,a_2,\dots,a_n)$,其中, x_1, x_2, \dots, x_n 为预测变量, $a_1,a_2,$

\dots,a_n 为变量的权重, ϕ 为数学模型表达形式, F 为成矿概率或有利度。近几十年来,许多学者已经提出或引入大量的数学模型到资源远景分析中来,主要有特征分析法、(模糊)证据权法、神经网络方法、信息量法、回归分析以及模糊数学等^[38-48]。这些方法各有自身的优势和不足,在一定的适用条件下才能使用,如证据权法要求变量的条件独立性;Bp 神经网络需

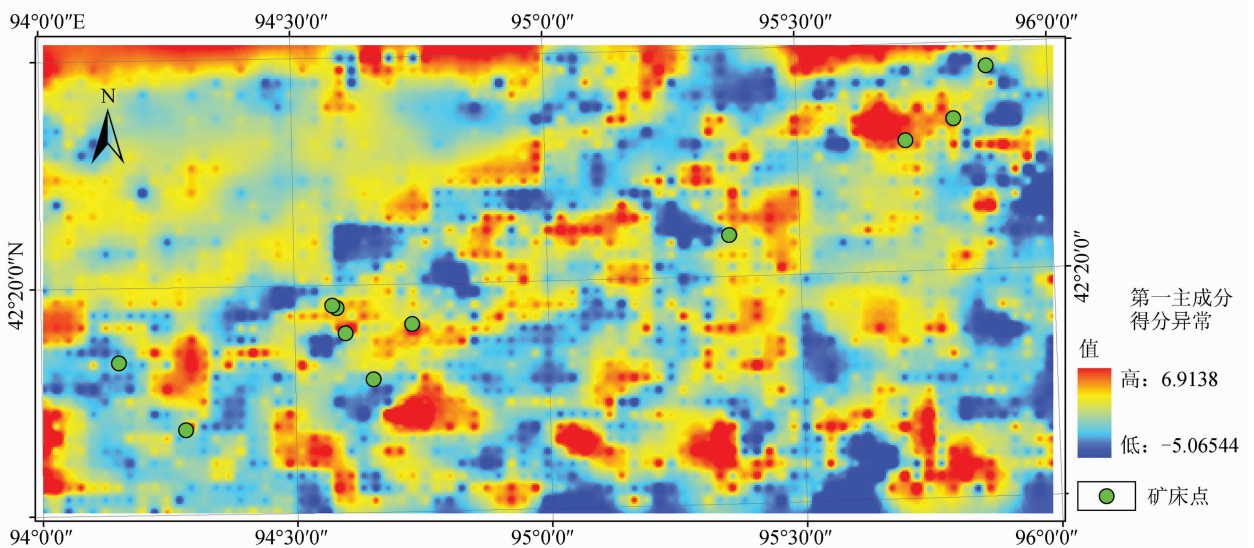


图 5 Ni、Cu、Co、V、Ti、Fe₂O₃ 第一主成分因子得分异常与镍铜硫化物矿床关系图

Fig.5 The relationships between factor scores of Ni, Cu, Co, V, Ti and Fe₂O₃ elements and Ni-Cu sulfide deposits

表2 远景区圈定要素
Table 2 Factors of delineating prospective areas

| 预测要素 | 预测变量 | 确定方法 | 变量权重 | 资料来源 |
|------|--------------------------------------|---|------|--|
| 地层 | 蓟县系卡瓦布拉克群、下石炭统干墩组、下石炭统梧桐窝子组和石炭系雅满苏组等 | 通过研究典型矿床与围岩成矿时代对比、空间接触关系以及围岩物质成分来确定 | 0.2 | 1:20万烟墩幅和梧桐窝子泉幅区域地质图 |
| 构造 | 区域性深大断裂带(如康古尔塔格断裂、雅满苏断裂和沙泉子断裂等) | 根据区域地质填图资料,航磁和遥感影像推断资料来确定综合性区域深大断裂,并通过使用证据权方法确定断裂带宽度范围(3km) | 0.3 | 1:20万烟墩幅和梧桐窝子泉幅区域地质图,1:10万航空磁测资料,ETM遥感影像 |
| 岩浆岩 | 镁铁质-超镁铁质岩体(如橄榄岩、辉长岩、闪长岩等) | 根据区域地质填图资料,航磁和遥感影像推断资料来确定可能的镁铁质-超镁铁质岩体 | 0.3 | 1:20万烟墩幅和梧桐窝子泉幅区域地质图,1:10万航空磁测资料,ETM遥感影像 |
| 成矿物质 | 镍、铜、钴等元素等因子得分异常 | 通过主成分分析结合S-A方法来获取 | 0.2 | 1:20万烟墩幅和梧桐窝子泉幅Ni、Cu、Co、V、Ti和Fe ₂ O ₃ 区域地球化学测量数据 |

要较多的模型区,且各变量缺乏明确的地质意义等。

鉴于黄山—镜儿泉地区的预测工作具有以下特点:(1)目前,研究区内已经发现镍铜矿产地9处,虽然具有一定数量,但数量相对较少;(2)岩浆型镍铜硫化物矿床的成矿过程较为清晰;(3)推断地质构造和矿致异常具有一定的不确定性。因此,以知识驱动和数据驱动相结合的方式,从地质、航磁、化探和遥

感影像资料中提取要素,权重通过匹配系数方法来完成,具体如下表2所示。然后使用特征分析方法来计算成矿有利度。在以上工作的基础上共圈定13个成矿远景区,如图6和表3所示。

4 结论

(1) 资源远景分析中通过确认成矿关键过程,将

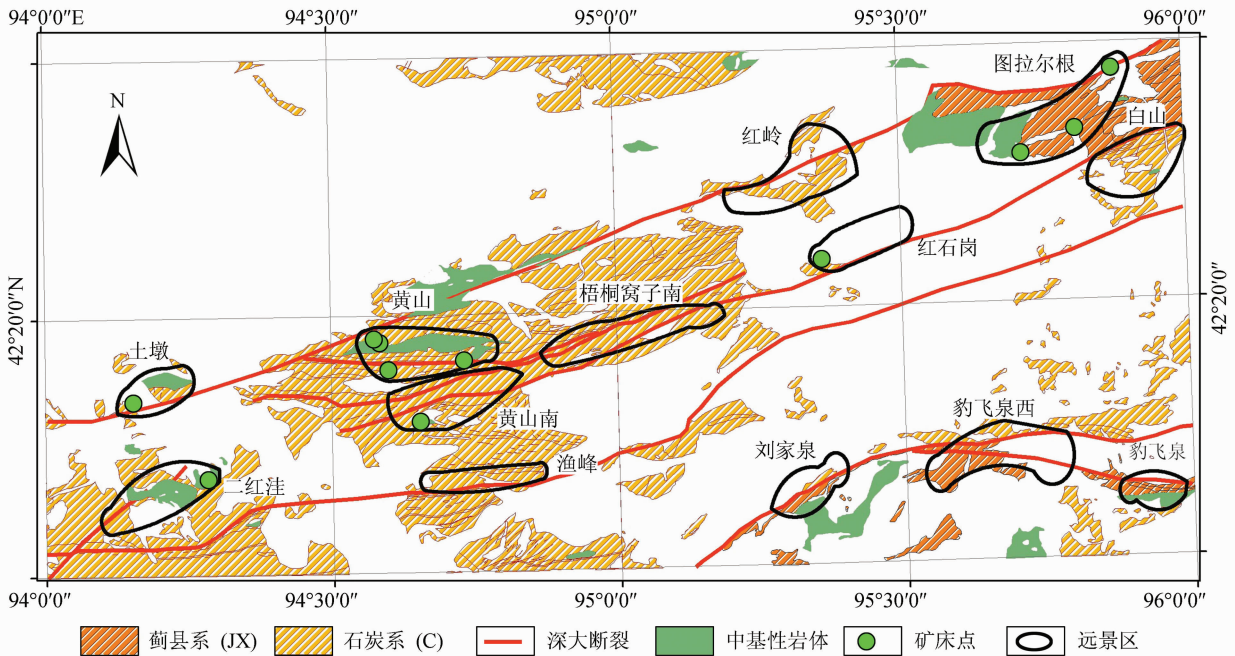


图6 黄山—镜儿泉成矿远景区分布图
Fig.6 Map of Huangshan-Jing'erquan prospective area

表 3 成矿远景区评述
Table 3 Chart of prospective area appraisal

| 序号 | 远景区名称 | 成矿地质条件 | 物化探异常 | 找矿工作进展 | 远景评价 |
|----|-------|---|--|--|-------------------------------|
| 1 | 土墩 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为康古尔塔格北东东深大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁梯度带附近, 航磁局部异常的边部, 可能存在隐伏的中基性岩体; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 区内已经发现土墩中型镍铜矿床, 该矿床为隐伏矿床 | 成矿有利度为 0.8, 找矿潜力很大, 为 A 类远景区 |
| 2 | 一红洼 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为康古尔塔格北东东深大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁梯度带附近, 航磁局部异常的边部; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 区内已经发现一红洼小型镍铜矿床 | 成矿有利度为 0.6, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |
| 3 | 黄山 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为康古尔塔格北东东深大断裂和另一条东西向大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁梯度带附近, 航磁局部异常的边部; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 区内已经发现黄山、黄山中大型镍铜矿床、香山中型镍铜矿床、M44-1 小型镍铜矿床 | 成矿有利度为 1, 找矿潜力很大, 为 A 类远景区 |
| 4 | 黄山南 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为两条北东东向较大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为少量的石英闪长岩 | 位于航磁低异常区; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 区内已经发现黄山南小型镍铜矿床 | 成矿有利度为 0.8, 找矿潜力较大, 为 A 类远景区 |
| 5 | 渔峰 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为两条北东东向较大断裂通过 | 位于航磁异常区内, 多个磁异常呈串珠状分布; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.7, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |
| 6 | 梧桐窝子南 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统梧桐窝子组, 岩性为一套海相基性火山岩—细碧岩—硅质岩—碳酸盐岩建造; 有利构造为两条北东东向较大断裂通过 | 位于航磁梯度带靠近负异常一侧; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.5, 有一定找矿潜力, 为 C 类远景区 |
| 7 | 红岭 | 区内出露成矿有利地层组为下石炭统土墩组, 其岩性复杂, 主要为变质碎屑岩—英碳酸盐, 玄武岩、安山岩; 有利构造为康古尔塔格北东东深大断裂通过 | 位于航磁梯度带附近, 多个磁异常呈串珠状分布; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.4, 有一定找矿潜力, 为 C 类远景区 |
| 8 | 红石岗 | 有利构造为两条北东东向较大断裂通过 | 位于航磁梯度带靠近负异常一侧; | 区内已经发现红石岗小型镍矿床 | 成矿有利度为 1, 找矿潜力很大, 为 A 类远景区 |
| 9 | 图拉尔根 | 区内出露成矿有利地层组为前县系卡瓦拉克群, 其岩性主要为一套变质的碳酸盐岩—多变质碎屑岩; 有利构造为康古尔塔格北东东深大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁梯度带附近, 多个磁异常呈串珠状分布; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 区内已经发现图拉尔根大型镍矿床, 马蹄和葫芦小型矿床 | 成矿有利度为 0.7, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |
| 10 | 白山 | 区内出露成矿有利地层组为前县系卡瓦拉克群, 其岩性主要为一套变质的碳酸盐岩—多变质碎屑岩; 有利构造为两条北东东向较大断裂通过; 出露的中基性岩体主要为少量的石英闪长岩 | 位于航磁梯度带靠近负异常一侧; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.7, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |
| 11 | 刘家泉 | 区内出露成矿有利地层组为前县系卡瓦拉克群, 其岩性主要为一套变质的碳酸盐岩—多变质碎屑岩; 有利构造为近北东向的沙泉子深大断裂; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁正负异常过渡带; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.7, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |
| 12 | 豹飞泉西 | 区内出露成矿有利地层组为前县系卡瓦拉克群, 其岩性主要为一套变质的碳酸盐岩—多变质碎屑岩; 有利构造为近北东向的沙泉子深大断裂 | 位于航磁正负异常过渡带; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.5, 有一定找矿潜力, 为 C 类远景区 |
| 13 | 豹飞泉 | 区内出露成矿有利地层组为前县系卡瓦拉克群, 其岩性主要为一套变质的碳酸盐岩—多变质碎屑岩; 有利构造为近北东向的沙泉子深大断裂; 出露的中基性岩体主要为石英闪长岩和二长闪长岩 | 位于航磁低异常区; 区内有多个 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe ₂ O ₃ 的中小规模异常 | 迄今为止还未发现镍铜矿床(点) | 成矿有利度为 0.7, 找矿潜力较大, 为 B 类远景区 |

矿床成因及时空分布规律与区域地质、矿产、物探、化探和遥感资料联系起来,将成矿规律的概念性认识,转换为可用远景分析的地质要素,对于解决矿产预测中信息转化问题是一条可行的途径。

(2)本次预测中,和以往一个较大的不同,就是将地层也作为一个重要要素加以研究,从时间、空间、物质的角度认识到蓟县系卡瓦布拉克群,下石炭统干墩组、下石炭统梧桐窝子组、石炭系雅满苏组对硫饱和以及矿床的形成可能做出了贡献。

(3)在分析处理区域物化探资料时,一方面要在成矿规律认识下进行,另一方面要重视资料本身和预测目标的特点(如取样比例尺、取样介质、岩体规模、岩体埋深)等。在此基础上选择合理的方法,如本文在化探数据分析时,选择 Ni、Cu、Co、V、Ti 和 Fe_2O_3 元素,并采用主成分分析与 S-A 技术相结合的思路等。

(4)在地质要素分析的基础上,通过使用特征分析方法进行综合,共圈定黄山、图拉尔根等 13 个成矿远景区,其中 A 类远景区 4 个, B 类远景区 5 个, C 类远景区 4 个,为今后的镍矿找矿指明了方向。

参考文献 (References):

- [1] 翟裕生, 王建平, 邓军, 等. 成矿系统时空演化及其找矿意义[J]. 现代地质, 2008, 22(2):143-150.
Zhai Yusheng, Wang Jianping, Deng Jun, et al. Temporal-spatial evolution of metallogenic systems and its significance to mineral exploration[J]. Geoscience, 2008, 22(2):143-150(in Chinese with English abstract).
- [2] McCuaig T C, Beresford S, Hronsky J. Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system[J]. Ore Geology Reviews, 2010, 38(3):128-138.
- [3] 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 等. 东天山黄山—镜儿泉地区二叠纪地质—成矿—热事件: 幔源岩浆内侵及其地壳效应 [J]. 岩石学报, 2007, 23(11):2869-2880.
Gu Liangxing, Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, et al. Permian geological, metallurgical and Huangshan—Jing'erquan Area, Eastern Tianshan: Indications for mantle magma intraplating and its effect on the crust [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (11):2869-2880(in Chinese with English abstract).
- [4] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re—Os 同位素测定及其地球动力学意义 [J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 323-330.
Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, et al. Re—Os dating of Cu—Ni Sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(4):323-330(in Chinese with English abstract).
- [5] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质, 2002, 20(4):302-308.
Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan mountains, NW, China [J]. Xinjiang Geology, 2002, 20 (4):302-308(in Chinese with English abstract).
- [6] 孙赫, 秦克章, 徐兴旺, 等. 东天山镁铁质—超镁铁质岩带岩石特征及铜镍成矿作用[J]. 矿床地质, 2007, 26(1):98-108.
Sun He, Qin Kezhang, Xu Xingwang, et al. Petrological characteristics and copper—nickel ore—forming processes of Early Permian mafic—ultramafic intrusion belts in East Tianshan [J]. Mineral Deposits, 2007, 26 (1):98-108 (in Chinese with English abstract).
- [7] 秦克章, 丁奎首, 许英霞, 等. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(1): 1-14.
Qin Kezhang, Ding Kuishou, Xu Yingxia, et al. Ore potential of protoliths and modes of Co—Ni occurrence in Tulargen and Baishiquan Cu—Ni—Co deposits, East Tianshan, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(1):1-14(in Chinese with English abstract).
- [8] 三金柱, 秦克章, 汤中立, 等. 东天山图拉尔根大型铜镍矿区两个镁铁—超镁铁岩体的锆石 U—Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(10):3027-3035.
San Jinzhu, Qin Kezhang, Tang Zhongli, et al. Precise zircon U—Pb age dating of two mafic—ultramafic complexes at Tulargen large Cu—Ni district and its geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(10):3027-3035(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈世平, 王登红, 屈文俊, 等. 新疆葫芦铜镍硫化物矿床的地质特征与成矿时代[J]. 新疆地质, 2005, 23(3):230-233.
Chen Shiping, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological features and ore formation of the Hulu Cu—Ni sulfide deposit, eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(3):230-233(in Chinese with English abstract).
- [10] 中国矿床发现史·新疆卷编委会. 中国矿床发现史·新疆卷[M]. 北京:地质出版社, 2001:76-88.
The Group of an Editorial Board of the Discovery History of Mineral Deposits of China—Volume of Xinjiang. The Discovery History of Mineral Deposits of China—Volume of Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001:76-88(in Chinese with English abstract).
- [11] 毛景文, Pirajno F, 张作衡, 等. 天山—阿尔泰东部地区海西晚期后碰撞铜镍硫化物矿床: 主要特点及可能与地幔柱的关系[J]. 地质学报, 2006, 80(7):925-942.
Mao Jingwen, Pirajno F, Zhang Zuoheng, et al. Late Variscan Post-collisional Cu—Ni Sulfide deposits in east Tianshan and Altay in China: Principal characteristics and possible relationship with mantle plume[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7):925-942(in Chinese with English abstract).
- [12] 李月臣, 赵国春, 屈文俊, 等. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re—Os 同位素测定[J]. 岩石学报, 2006, 22(1):45-51.

- Li Yuechen, Zhao Guochun, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotopic dating of the Xiangshan deposit, East Tianshan, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (1):45-51 (in Chinese with English abstract).
- [13] 吴华, 李华芹, 莫新华, 等. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩的形成时代及其地质意义[J]. *地质学报*, 2005, 79(4):498-502.
- Wu Hua, Li Huaqin, Mo Xinhua, et al. Age of the Baishiquan mafic-ultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance[J]. *Geologica Sinica*, 2005, 79(4):498-502(in Chinese with English abstract).
- [14] Naldrett A J. World-class Ni-Cu-PGE deposits: Key factors in their genesis[J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34:227-240.
- [15] Maclean W H. Liquidus phase relations in the FeS-FeO (Fe₃O₄)-SiO₂ system and their application in geology [J]. *Petrol.*, 1969, 29: 53-72.
- [16] Wendlandt R F. Sulphide saturation of basalts and andesite melts at high pressures and temperatures [J]. *Am. Mineral.*, 1982, 67:877-885.
- [17] Haughton D R, Roeder P L, Skinner B J. solubility of sulfur in mafic magmas[J]. *Econ. Geol.*, 1974, 69:451-467.
- [18] Li C S, Maier W D, Waal S A. The role of magma mixing in the genesis of PGE mineralization in the Bushveld Complex; thermodynamic calculations and new interpretations [J]. *Econ. Geol.*, 2001, 96:653-662.
- [19] Ripley E M, Park Y R, Li C, et al. Sulfur and oxygen isotopic evidence of country rock contamination in the Voisey's Bay Ni-Cu-Co deposits, Labrador, Canada[J]. *Lithos*, 1999, 47:53-68.
- [20] Leshner C M, Campbell I H. Geochemical and fluid dynamic controls on the composition of Komatiite-hosted nickel sulphide ores in Western Australia[J]. *Econ. Geol.*, 1993, 88:804-816.
- [21] Irvine T N. Crystallisation sequence of the Muskox intrusion and other layered intrusions; Origin of the chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores [J]. *Geochim. cosmochim. Acta*, 1975, 39:991-1020.
- [22] Li C S, Maier W D and Waal S A. Sulfide capacity of magma: A quantitative model and its application to the formation of the sulfide ores at Sudbury[J]. *Econ. Geol.*, 1993, 88:1253-1260.
- [23] 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 新疆喀拉通克基性杂岩体的地球化学特征及其对矿床成因的约束[J]. *岩石矿物学杂志*, 2003, 22(3):217-224.
- Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Bailin, et al. Geochemistry of the Kalatongke basic complex in Xinjiang and its constraints on genesis of the deposit[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2003, 22(3):217-224(in Chinese with English abstract).
- [24] 柴凤梅, 张招崇, 毛景文, 等. 岩浆型 Cu-Ni-PGE 硫化物矿床研究的几个问题探讨[J]. *矿床地质*, 2005, 24(3):325-335.
- Chai Fengmei, Zhang Zhaochong, Mao Jingwen, et al. Discussion on some problems concerning magmatic copper-nickel-PGE [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(3):325-335(in Chinese with English abstract).
- [25] Tang Dongmei, Qin Kezhang, Sun He. The role of crustal contamination in the formation of Ni-Cu sulfide deposits in Eastern Tianshan, Xinjiang, Northwest China: Evidence from trace element geochemistry, Re-Os, Sr-Nd, zircon Hf-O, and sulfur isotopes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012:1-16.
- [26] 汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 岩浆硫化物矿床勘查研究的趋势与小岩体成矿系统[J]. *地球科学与环境学报*, 2011, 33(1):1-9.
- Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Jiang Changyi, et al. Trends of research in exploration of magmatic sulfide deposits and small intrusions metallogenic system [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33(1):1-9(in Chinese with English abstract).
- [27] 姜德波, 肖克炎, 孙艳, 等. 成矿概率面金属量法在东天山铜镍矿预测中的应用[J]. *中国地质*, 2010, 37(1):182-189.
- Lou Debo, Xiao Keyan, Sun Yan, et al. The application of areal productivity based on the probability of mineral occurrence: a case study of copper-nickel sulfide deposits in the East Tianshan mountains[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1):183-190(in Chinese with English abstract).
- [28] Bonham-Cater G F, Agterberg F P, Wright D F. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential [C]//Agterberg F P, Bonham-Cater G F (eds.). *Statistical Applications in the Earth Sciences* [M]. *Geology Survey Canada*, 1989, (9):171-183.
- [29] Bonham-Cater G P. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS* [M]. *Oxford: Pergamon Press*, 1994:398.
- [30] Cheng Qiuming, Agterberg F P. Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping[J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(1):27-35.
- [31] Keays R R. The role of komatiitic and picritic magmatism and saturation in the formation of ore deposits[J]. *Lithos*, 1995, 34:1-18.
- [32] 李金祥, 秦克章, 徐兴旺, 等. 新疆东天山白石泉 Cu-Ni 硫化物矿床杂岩体的地球化学特征及其对矿床成因和构造背景的制约[J]. *矿床地质*, 2007, 26(1):43-57.
- Li Jinxiang, Qin Kezhang, Xu Xingwang, et al. Geochemistry of Baishiquan Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complex in East Tianshan, Xinjiang: Constraints on ore genesis and tectonic setting [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(1):43-57(in Chinese with English abstract).
- [33] 华仁民, 王登红. 关于花岗岩与成矿作用若干基本概念的再认识[J]. *矿床地质*, 2012, 31(1):165-175.
- Hua Renming, Wang Denghong. Clarification of some basic concepts concerning the granite-related mineralization [J]. *Mineral Deposits*, 2012, 31(1):165-175(in Chinese with English abstract).
- [34] 姜德波, 肖克炎, 左仁广, 等. 分形滤波技术在新疆黄山—镜儿泉镍铜成矿带中的应用[J]. *地球学报*, 2012, 33(1):83-90.
- Lou Debo, Xiao Keyan, Zuo Renguan, et al. The application of fractal filtering technique to the study of the Huangshan-Jing'er

- erquan Ni-Cu metallogenic belt, Xinjiang [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012, 33(1):83-90(in Chinese with English abstract).
- [35] 娄德波, 肖克炎, 左仁广, 等. 奇异性填图技术在新疆东天山黄山-镜儿泉镍铜成矿带中的应用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(3):705-714.
- Lou Debo, Xiao Keyan, Zuo Renguang, et al. Application of singularity mapping technique on identifying local anomalies by debris geochemical data—a case study from Huangshan-Jing'erquan Ni-Cu belt in Eastern Tianshan, Xinjiang, Western China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(3):705-714(in Chinese with English abstract).
- [36] 成秋明. 奇异性理论在个旧锡铜矿资源预测中的应用: 成矿弱信息提取和复合信息分解[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2009, 34(2):232-242.
- Cheng Qiuming. Application of singularity theory in prediction of Tin and Copper mineral deposits in Gejiu district, Yunnan, China: weak information extraction and mixing information decomposition [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2009, 34(2):232-242(in Chinese with English abstract).
- [37] 赵鹏大. 成矿定量预测与深部找矿 [J]. *地学前缘*, 2007, 14(5):1-10.
- Zhao Pengda. Quantitative mineral prediction, deep mineral exploration [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5):1-10(in Chinese with English abstract).
- [38] MacCcommon R B, Botbol J M, Sinding-Larsen R and et al. Characteristic Analysis—1981: Final Program and a Possible Discovery[J]. *Mathematical Geology*, 1983, 15(1):59-83.
- [39] Agterberg F P, Bonham-Carter, Wright D F. Statistical Pattern Integration for Mineral Exploration [C]//Gaal Gabor, Merriam Daniel F, (eds.), *Computer Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment for Metals and Petroleum*. Oxford: Pergamon Press, 1990:1-19.
- [40] Cheng Qiuming, Agterberg F P. Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping[J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(1):27-35.
- [41] Agterberg F P, Cheng Qiuming. Conditional independence test for weights-of-evidence modeling [J]. *Natural resources research*, 2002, 11(4):249-255.
- [42] Agterberg F P, Boham-Carter G F. Measuring the performance of mineral-potential maps [J]. *Natural Resources Research*, 2005, 14(1):1-17.
- [43] 张生元, 武强, 成秋明, 等. 基于模糊预测对象的证据权方法及其在土地沙漠化评价中的应用 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2006, 31(3):389-393.
- Zhang Shengyuan, Wu Qiang, Cheng Qiuming, et al. Weights of evidence method based on fuzzy training layer and its application in desertification assessment [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(3):389-392(in Chinese with English abstract).
- [44] Singer D A, Kouda R. A comparison of the weights-of-evidence method and probabilistic neural networks [J]. *Natural Resources Research*, 1999, 18(9):287-298.
- [45] 赵鹏大, 吕新彪. 长江中下游地区地质异常及成矿预测 BP 模型 [M]. 北京:地质出版社, 2006:1-100.
- Zhao Pengda, Lv Xinbiao. Geological Anomalies and BP Model for Mineral Prediction in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006:1-100(in Chinese with English abstract).
- [46] 李裕伟, 赵精满, 李晨阳. 基于 GMS、DSS 和 GIS 的潜在矿产资源评价方法(上册)[M]. 北京:地质出版社, 2003:291-327.
- Li Yuwei, Zhao Jingman, Li Chenyang. Potential Mineral Resource Assessment Method Based on GMS, DSS and GIS (first volume)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:291-327(in Chinese with English abstract).
- [47] Agterberg F P, Chung C F, Divi S R, et al. Preliminary geomathe-matical analysis of geological, mineral occurrence and geophysical data, southern district of Keewatin, Northwest Territories[J]. *Geology Survey of Canada, Open File:718,29p*.
- [48] 肖克炎, 张晓华, 陈郑辉, 等. 成矿预测中证据权重法与信息量法及其比较[J]. *物探化探计算技术*, 1999, 21(3):223-226.
- Xiao Keyan, Zhang Xiaohua, Chen Zhenghui, et al. Comparison of method of weights of evidence and information [J]. *Computing Techniques and Geochemical Exploration*, 1999, 21(3):223-226(in Chinese with English abstract).

A prospective analysis of magmatic Ni–Cu sulfide deposits in Huangshan–Jing’erquan area, Xinjiang

LOU De-bo¹, XIAO Ke-yan¹, WANG Deng-hong¹, WANG Xiao-hui², DING Jian-hua¹

(1. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China*)

Abstract: In order to improve the application effect of metallogenic regularity in prospecting analysis and mineral prospecting, the authors adopted three steps for exploration work in Huangshan–Jing’erquan area of Xinjiang. The three steps are as follows: (1) the detailed summarization of critical mineral process; (2) the determination of geological factors; (3) the extraction of geological factors from geological, geophysical, geochemical and remote sensing data. These steps help to convert the metallogenic regularity into geological factors by linking the genesis and distribution of ore deposits in space and time to regional geology, geophysics, geochemistry and remote sensing. 13 prospective areas such as Huangshan and Tula’ergen were delineated by using characteristic analysis to study geological factors. The results obtained by the authors indicate the direction for future Ni exploration.

Key words: Ni–Cu sulfide deposit; prognostic factor; prospective analysis, Huangshan–Jing’erquan; Xinjiang

About the first author: LOU De-bo, born in 1979, doctor, associate researcher, mainly engages in the study of mathematical geology and mineral resource assessment; E-mail: llddbb_e@126.com.