

王恒, 王鹏, 李建, 等. 新疆若羌坡北地区镁铁-超镁铁质侵入岩含矿特征及找矿方法探讨[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 777-784.  
Wang Heng, Wang Peng, Li Jian, et al. A tentative discussion on features of mafic-ultramafic rocks and exploration methods in Pobei area of Ruoqiang, Xinjiang[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 777-784(in Chinese with English abstract).

## 新疆若羌坡北地区镁铁-超镁铁质侵入岩含矿特征及找矿方法探讨

王 恒<sup>1</sup> 王 鹏<sup>1</sup> 李 建<sup>1</sup> 冯 京<sup>2</sup> 邓 刚<sup>1</sup> 吕新彪<sup>3</sup>

(1.新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局 第六地质大队, 新疆 哈密 839000; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3. 中国地质大学(武汉) 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 新疆若羌坡北地区因发现了众多岩浆硫化物型镍矿而受到关注, 坡一镍矿为近期发现评价的超大型岩浆硫化物型铜镍矿床。但未发现有规模的高品位富矿体, 不能满足矿产开发的条件。文章从坡北镁铁-超镁铁岩带地质特征出发, 对坡北地区已经发现的岩浆硫化物矿床含矿特征进行了归纳总结, 分析岩体就位成矿有利部位, 开展了富矿成矿预测。结合已经总结出的综合地质、物探、遥感、化探等的找矿方法组合, 通过地质实践, 取得了很好的找矿进展, 首次在坡北一带发现了深熔贯入式镍矿床——坡东镍矿。

**关键词:** 坡北地区; 岩浆硫化物型镍矿; 富矿预测; 找矿方法; 坡东镍矿

中图分类号: P618.41; P618.63; P588.12 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)03-0777-08

### A tentative discussion on features of mafic-ultramafic rocks and exploration methods in Pobei area of Ruoqiang, Xinjiang

WANG Heng<sup>1</sup>, WANG Peng<sup>1</sup>, LI Jian<sup>1</sup>, FENG Jing<sup>2</sup>, DENG Gang<sup>1</sup>, LV Xin-biao<sup>3</sup>

(1.No. 6 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Hami 839000, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

**Abstract:** The Pobei area in Ruoqiang of Xinjiang has drawn much attention among geologists due to numerous magmatic sulfide nickel deposits discovered in this area. The Poyi deposit is a magmatic sulfide copper nickel ore deposit discovered recently. Due to its low grade ore and lack of high grade rich orebodies, it can not meet the requirements of mineral development. Based on geographic features of mafic-ultramafic rocks on the northern slope, the authors summarized the features of magmatic sulfides already discovered, and made an analysis of favorable ore-forming conditions so as to carry out ore metallogenic prediction. In combination with the comprehensive methods for ore exploration which comprise geography, physical exploration, remote sensing and chemical exploration, the authors made a pretty good progress through practice: the anatectic penetration type Podong Ni deposit was discovered for the first time in Pobei area.

收稿日期: 2015-01-12; 改回日期: 2015-03-23

基金项目: 中国地质调查局项目“岩浆铜镍硫化物矿床成矿与找矿方向调查”(12120114044401)资助。

作者简介: 王恒, 男, 1984年生, 硕士, 工程师, 长期从事成矿预测、矿产评价工作; E-mail: 87497556@qq.com。

**Key words:** Pobei area; magmatic sulfide nickel deposit; rich ore prediction; exploration method; Podong nickel deposit

**About the first author:** WANG Heng, male, born in 1984, engineer, master, majors in geology, prediction and evaluation of mineral resources; E-mail: 87497556@qq.com.

坡北镁铁-超镁铁岩大地构造位于中亚造山带东天山南缘,塔里木盆地东北缘的北山裂谷铁、铜、镍、金、磷、钒、铀、稀有金属、宝石成矿带西段(图1-a)。其地处新疆罗布泊北部,隶属新疆若羌县管辖。坡北镁铁-超镁铁岩带形成于早二叠世<sup>[1-5]</sup>,以往的研究工作多针对坡北镁铁-超镁铁岩的侵位时间、控矿因素、成矿作用等方面的问题开展<sup>[6, 1-3, 7-9, 5, 10-17]</sup>,忽视了对坡北镁铁-超镁铁岩的演化过程同成矿的内在联系的研究,尤其对富矿定位、矿产勘查等问题涉及甚少。

为在坡北镁铁-超镁铁岩开展找富矿工作,实现找矿突破,笔者根据坡北镁铁-超镁铁岩的整体地质特征,系统进行岩相划分,并根据其接触关系分析岩浆侵入次序,经过含矿性对比,总结出岩体演化同成矿作用之间的内在联系;并利用坡一镍矿勘查过程中总结的找矿综合方法,首次在坡北一带发现了贯入式富镍矿,掀起坡北一带新一轮的找矿热潮。

## 1 区域地质概况

坡北镁铁-超镁铁岩体位于北山裂谷<sup>[18, 7]</sup>,侵位于下石炭统红柳园组地层中(图1-C)。下石炭统红柳园组(C<sub>1h</sub>)地层下部为砾岩、砂砾岩、杂砂岩,上部为灰岩与钙质砂岩、页岩的不均匀互层,不整合于中新元古代地层之上。白地洼-淤泥河超壳大断裂穿过本区,控制着坡北镁铁-超镁铁岩体的空间分布。区内岩浆岩较为发育,主要为华力西中晚期侵入岩,岩石类型从超基性至酸性岩类均有出露,坡北镁铁-超镁铁侵入岩为本区岩浆硫化物型铜镍矿床的重要含矿建造。区域上主要产出铜镍、金等矿产,目前已经发现有坡一超大型铜镍矿、坡十大型镍矿、坡东镍矿等13个镍矿床。

## 2 坡北镁铁-超镁铁侵入岩地质特征

### 2.1 成岩时代

坡北地区与铜镍矿有关的镁铁-超镁铁岩体,已积累了大量成岩、成矿年代学资料,成岩年龄集

中在280 Ma左右<sup>[1-5]</sup>,大多数研究认为是早二叠世塔里木地幔柱活动的产物<sup>[1, 4, 18, 7, 5]</sup>。

### 2.2 岩体群岩浆类型与侵入期次

坡北岩体为早二叠世侵入的复式镁铁-超镁铁质杂岩体,岩体长70 km,宽2~10 km,杂岩体由多个环状的岩体组成(图2),笔者将整个坡北镁铁-超镁铁杂岩体划分为6个侵入期次,分别对应A、B、C、D、E、F。其中A、B、E、F等4个岩体内未见超镁铁岩出露,辉长岩、橄榄辉长岩呈岩基产出。C岩体以辉长岩、橄榄辉长岩为主,可见少量脉状超镁铁岩穿插其中。D岩体岩相齐全,主要有辉长岩相、橄榄岩相、苏长岩相等,可见坡一、坡十、坡三、坡七、坡东等多个超镁铁岩体。根据地表各岩相之间的接触关系结合遥感影像特征,判断岩体侵入顺序为A→B→C→D→F→E。

根据坡北镁铁-超镁铁岩的岩相横向剖面资料(图3~4),我们将岩相按由早到晚侵入次序细化为8个侵入阶段(表1)。整个坡北镁铁-超镁铁岩带中各岩体的结晶分异随岩浆演化程度增高而增高,岩相复杂程度也因结晶分异程度增高而增高<sup>[3, 6, 8-9]</sup>。

尤其第四侵入次(D)岩体,其岩相最为齐全(表1、图3),目前已经发现的坡一、坡十、坡东等镍矿均产于该岩体中,含矿岩相为第三阶段辉橄岩、第四阶段蚀变辉橄岩、第六阶段苏长岩及含长辉石岩。

第五、六侵入次(E、F)岩体中目前已经发现较晚侵入的第五阶段及第七阶段的岩相,应存在第六阶段的含矿岩相。

因此,坡北镁铁-超镁铁岩带中,第四侵入次、第五侵入次、第六侵入次岩体为寻找铜镍矿床的重点区域。

### 2.3 岩石地球化学

坡北镁铁-超镁铁岩主量元素特征,晚期侵入的岩体更富镁质,基性程度更高,尤其第四侵入次(D)岩体中多数为超镁铁岩,更有利于镍元素的富集。

岩石的固结指数 $SI=100MgO/(MgO+FeO+Fe_2O_3+Na_2O+K_2O)$ 可以确定岩浆的分异程度,其与 $Al_2O_3$ 的关系可以区分在岩浆分异过程中的含矿性,

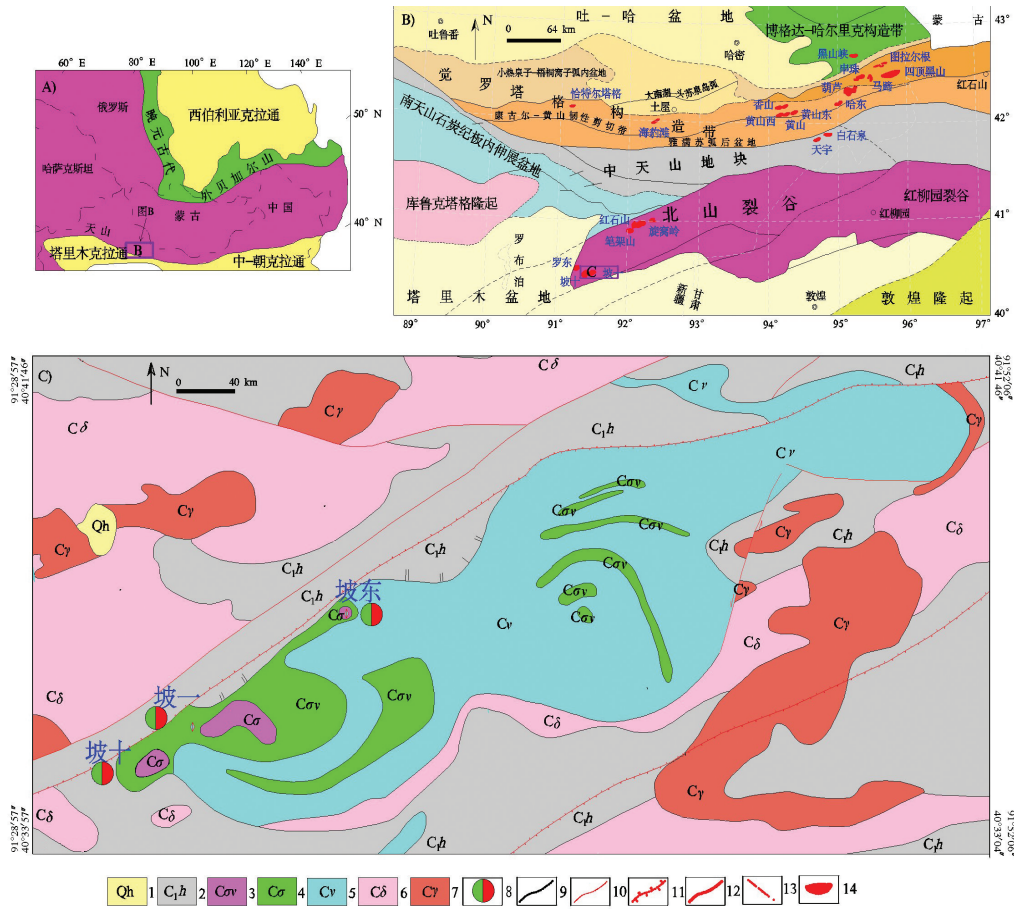


图1 新疆北山一带构造位置及地质概况图

- 1—第四系冲洪积物; 2—石炭系红柳园组; 3—辉橄岩; 4—橄辉辉长岩; 5—辉长岩; 6—闪长岩; 7—花岗岩; 8—铜镍矿; 9—地质界线;  
10—断层; 11—逆断层; 12—深大断裂; 13—推测断层; 14—镁铁—超镁铁岩

Fig. 1 Tectonic location and geological map of Beishan area in Xinjiang

- 1—Quaternary alluvial and diluvial sediments; 2—Carboniferous Hongliuyuan Formation; 3—Augite peridotite; 4—Olivine gabbro; 5—Gabbro;  
6—Diorite; 7—Granite; 8—Copper nickel deposit; 9—Geological boundary; 10—Fault;  
11—Reverse fault; 12—Deep fracture; 13—Inferred fault; 14—Mafic-ultramafic rocks

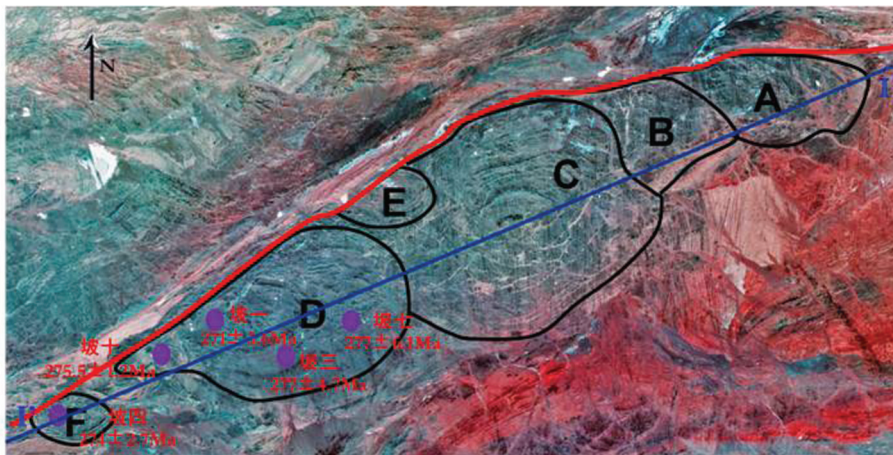


图2 坡北镁铁—超镁铁岩体 ETM 遥感环形影像图

Fig.2 ETM remote annular image of Pobei mafic-ultramafic intrusion

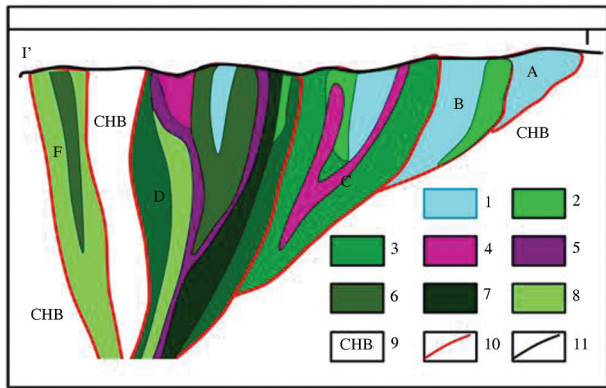


图3 坡北镁铁-超镁铁岩带岩相分布剖面示意图  
 1—第一阶段浅黄绿色细粒辉长岩;2—第一阶段橄辉长岩、橄长岩;3—第二阶段镁铁岩;4—第三阶段超镁铁岩;5—第四阶段超镁铁岩;6—第五阶段浅灰绿色细粒辉长岩;7—第六阶段苏长岩;8—第七阶段灰白色细粒辉长岩;9—长城系白湖群地层;10—岩浆侵入期次界线;11—岩相侵入阶段界线  
 Fig.3 Geological section of Pobei mafic-ultramafic rock facies (after No. 6 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2014)  
 1—First stage of gabbro; 2—First phase of olivine gabbro, troctolite; 3—Second stage intrusive gabbro; 4—Third stage intrusive ultramafic rock; 5—Fourth stage intrusive ultramafic rock; 6—Fifth stage intrusive gabbro; 7—Sixth stage of norite invasion; 8—Seventh stage, grayish white fine-grained gabbro; 9— Baihuqun Group of Changcheng System; 10—Magmatic intrusion stage boundaries; 11—Lithofacies boundaries

从坡北镁铁-超镁铁岩带看,由东向西随着岩石固结指数的升高,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量逐渐降低,显示分异程度增高,西部岩体有利于成矿。

坡北镁铁-超镁铁岩第四期侵入的超镁铁岩的原始岩浆硅酸盐/硫化物的质量比R为2333,而根据Naldrett(2011)<sup>[9]</sup>理论研究认为R=100~2000时,Ni、Cu、PGE等成矿金属中主要是Ni富集成矿,PGE含量低,比如Sudbury矿区。R=2000~10000时,矿石中Cu、Ni和PGE等成矿金属含量都有所增加,但PGE含量未达品位。R=10000~100000时,硫化物中Ni、Cu含量与低R值的岩浆体系中含量比较变化不大,主要是PGE含量增高很快,比如Merensky reef。按现有成矿理论是应该有富矿石的。

综上,坡北镁铁-超镁铁岩体岩石化学特征印证了岩浆由东向西侵入的次序,同时印证了整个岩带由西向东岩体结晶分异程度增高,演化程度增高的地质判断。因此晚期侵入的岩浆有利于镍矿成矿,且有可能赋存有高品位镍矿体。

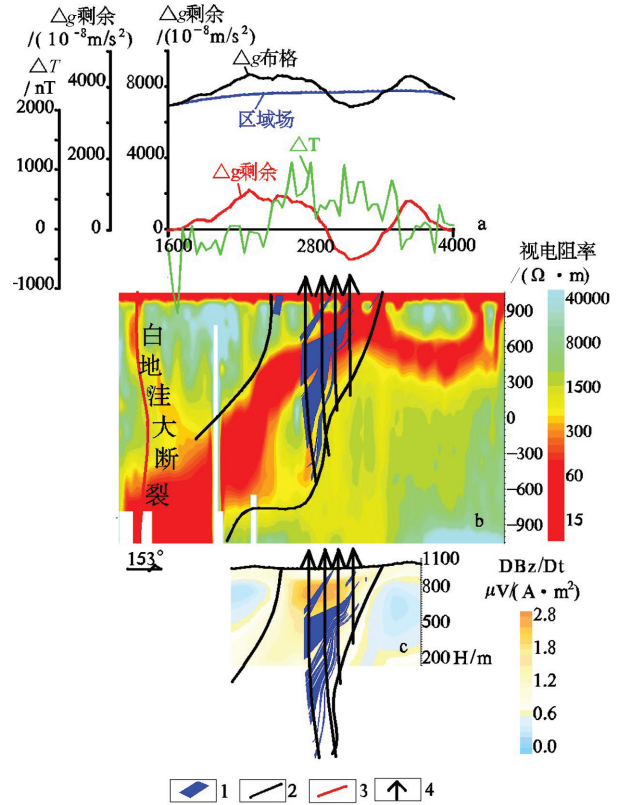


图4 坡—镍矿27号勘探线综合剖面对照图  
 a—重磁剖面;b—地质及CSAMT成果套合剖面;c—地质及TEM成果套合剖面;1—镍矿体;2—超镁铁岩相界线;3—白地洼大断裂;4—已施工钻孔  
 Fig.4 Contrasting composite geological sections along No. 27 exploration line  
 a—Gravity and magnetic profile; b—Nested profile of geology and CSAMT results; c—Geology and TEM results of nested profile;  
 1—Nickel orebody; 2—Ultramafic rock facies boundary; 3—Baidiwa great fracture; 4—Drilled hole

### 3 坡北镁铁-超镁铁侵入岩赋矿特征

#### 3.1 岩相赋矿特征

目前坡北镁铁-超镁铁侵入岩的含矿岩相(坡一、坡十、坡东)主要集中于第四侵入次的岩浆中,含矿岩相有第三阶段辉橄岩相、第四阶段蚀变辉橄岩相、第六阶段苏长岩相及斜长辉石岩相。矿体形态严格受到岩相空间形态的控制,呈透镜状、脉状出现,矿体镍品位0.2%~1.83%,局部可达4%以上,伴生有铜、钴等元素。

坡北一带矿体地质特征见表2。

#### 3.2 矿石特征

矿石矿物主要为镍黄铁矿、黄铜矿,可见少量斑

表1 坡北镁铁-超镁铁岩体岩相组成及侵入时序一览

Table 1 Rock facies composition and intrusive sequence of Pobei mafic-ultramafic intrusion

| 侵入次    | 岩相                    | 第一侵入次A | 第二侵入次B | 第三侵入次C | 第四侵入次D | 第五侵入次F | 第六侵入次E      |
|--------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 第一侵入阶段 | 浅黄绿色细粒辉长岩             | √      | √      | √      |        |        |             |
|        | 浅色橄榄辉长岩               |        | √      | √      |        |        |             |
|        | 橄长岩                   |        | √      | √      |        |        |             |
| 第二侵入阶段 | 辉长岩                   |        |        | √      | √      |        |             |
|        | 橄榄辉长岩                 |        |        |        | √      |        |             |
| 第三侵入阶段 | 纯橄岩                   |        |        | √      | √      |        |             |
|        | 辉橄岩(含矿)               |        |        |        | √      |        |             |
|        | 斜长单辉橄长岩               |        |        |        | √      |        |             |
| 第四侵入阶段 | 辉石岩                   |        |        |        | √      |        | 早<br>↓<br>晚 |
|        | 蚀变纯橄岩                 |        |        |        | √      |        |             |
|        | 蚀变辉橄岩(含矿)             |        |        |        | √      |        |             |
| 第五侵入阶段 | 浅灰绿色细粒辉长岩             |        |        |        | √      |        |             |
|        | 磁铁矿 <sup>+</sup> 化辉长岩 |        |        |        | √      | √      | √           |
| 第六侵入阶段 | 苏长岩(富矿)               |        |        |        | √      |        |             |
|        | 含长辉石岩(富矿)             |        |        |        | √      |        |             |
| 第七侵入阶段 | 灰白色细粒辉长岩              |        |        |        | √      | √      | √           |
| 第八侵入阶段 | 斑杂辉长岩                 |        |        |        | √      | √      | √           |

表2 坡北镁铁-超镁铁岩含矿特征

Table 2 Ore-bearing characteristics of Pobei mafic-ultramafic rock

| 名称   | 坡 <sup>[12]</sup>                     |                                 | 坡 <sup>[14]</sup>               |                                 | 坡东                              |                                 |
|------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 含矿岩相 | 辉橄岩                                   | 蚀变辉橄岩                           | 辉橄岩                             | 蚀变辉橄岩                           | 苏长岩                             | 斜长辉石岩                           |
| 矿体形态 | 层状                                    | 似层状                             | 层状                              | 似层状                             | 层状                              | 脉状                              |
| 赋存部位 | 岩相底部                                  | 岩相底部                            | 岩相底部                            | 岩相底部                            | 全岩含矿                            | 全岩含矿                            |
| 矿体规模 | 长度700~1800 m, 厚20~253 m, 延深500~1500 m | 长度>400 m, 厚2~52.34 m, 延深大于800 m | 长度>400 m, 厚2~52.34 m, 延深大于800 m | 长度>400 m, 厚20~62.4 m, 延深大于300 m | 长度>400 m, 厚20~62.4 m, 延深大于300 m | 长度>400 m, 厚20~62.4 m, 延深大于300 m |
| 矿石品位 | 0.2%~1.12%                            | 0.2%~0.47%                      | 0.2%~0.96%                      | 0.2%~0.56%                      | 0.2%~4.34%                      | 0.2%~1.5%                       |
| 矿石结构 | 自形-半自形粒状、海绵陨铁状                        |                                 |                                 |                                 | 海绵陨铁状、团斑状结构                     |                                 |
| 矿石构造 | 星散浸染状、稀疏浸染状、稠密浸染状                     |                                 |                                 |                                 | 稠密浸染状、块状                        |                                 |

表3 坡北镁铁-超镁铁岩含矿岩相及围岩物性、地球化学特征对比

Table 3 Ore-bearing petrofacies of Pobei mafic-ultramafic rock and rock physical properties as well as geochemical characteristics of wall rocks

| 物性                           | 含矿岩相(均值)                   |                         | 围岩(均值)                     |                         |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                              | $K \times 10^{-6} 4\pi SI$ | $Jr \times 10^{-3} A/m$ | $K \times 10^{-6} 4\pi SI$ | $Jr \times 10^{-3} A/m$ |
| 磁性                           | 1076                       | 1075                    | 305                        | 185                     |
| 电物性                          | $\rho s(\Omega \cdot m)$   | $\eta s(\%)$            | $\rho s(\Omega \cdot m)$   | $\eta s(\%)$            |
|                              | 340.7                      | 36.36                   | 822                        | 1.61                    |
| 密度/( $10^3 \text{ kg/m}^3$ ) | 浅表                         | 深部                      | 浅表                         | 深部                      |
|                              | 2.70                       | 3.05                    | 2.89                       | 2.89                    |
| 地球化学                         | Cu、Co、Ni组合                 |                         | Cr、V、Ti组合                  |                         |

铜矿、针镍矿。矿石结构主要为自形-半自形粒状、海绵陨铁状、团斑状等结构。矿石构造主要为星散浸染状、稀疏浸染状、稠密浸染状、块状等构造。

## 4 坡北一带铜镍矿找矿方法组合

### 4.1 含矿岩相物性及地球化学特征

由于岩浆硫化物型铜镍矿床的矿体同岩关系密切,一般来说矿体即赋存于较晚期侵入的岩相

中,因此利用有效的方法甄别含矿岩相成为找矿突破的关键。

惠卫东等(2011)<sup>[20]</sup>总结认为图拉尔根矿体和含矿岩体具有高极化(3%~5%)、高磁(>100 nT)、高重力(剩余重力异常  $0.1 \times 10^{-5} \sim 0.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ )、低阻(<300  $\Omega$ )的物探组合异常特征,其地球物理异常可以概括为“三高一低”,并提出“基性-超基性杂岩体+高磁、高极化、高重力、低电阻+Cu、Ni、Co综合异常+褐铁矿化、孔雀石化”为核心的矿床综合信息找矿模型,对于野外地质找矿具有指导意义。

对于喀拉通克矿区,在1:2万布格重力图上,矿区处重力异常等值线出现一些明显的局部拱形扭曲,去除背景场和干扰,可见明显的剩余异常( $200 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ );在1:2.5万航磁图上,含矿岩体显示在较稳定的低磁场背景上强度为100~200 nT范围较小的局部异常。找基性-超基性岩带是找铜镍矿的前提,可用重力和航磁二阶导数确定岩体的范围、深部产

状和形态,喀拉通克的矿体同样具有“三高一低”的特征,此外探测低阻盖层下良导体能力的瞬变电磁法,在喀拉通克7号岩体找矿效果较好<sup>[21]</sup>,当然在实际勘查中化探异常是很重要的<sup>[22]</sup>。坡北一带含矿岩相具有明显高磁、低重、低阻、高激化等物性特征,套合有明显的铜钴镍化探组合异常(表3)。

#### 4.2 含矿岩相识别方法

坡北勘查实践证明CSAMT在基性-超基性岩通道寻找中起到重要作用,以坡一镍矿区为例,主矿体位于超镁铁岩相底部或岩相产状变缓的位置(图4)。

通过近年的找矿实践,我们认为在坡北镁铁-超镁铁岩带内利用低重、高磁、铜钴镍综合化探异常锁定超镁铁岩体位置,然后利用以下方法识别含矿岩相(图4):(1)通过地质测量划分岩相,并判断各超镁铁岩浆侵入的序次。(2)通过重磁数据处理识别含矿岩相,并初步判断其深部延伸情况。(3)利用CSAMT及TEM物探成果进一步了解含矿岩相深部的形态,最终判断镍矿体赋存部位,指导钻探部署。

## 5 讨 论

与镁铁-超镁铁岩体有关的铜镍矿的矿体就位模式主要有:(1)“深部熔离-贯入成矿”<sup>[23-26]</sup>,这个过程中主要是重力分异在起作用,其中的贯入矿体可沿现存岩体内部的构造裂隙或围岩裂隙贯入成矿;(2)通道成矿:以加拿大Voisey's Bay岩浆铜镍硫化物矿床<sup>[27]</sup>和俄罗斯Norilsk岩浆铜镍硫化物矿床<sup>[28]</sup>为代表,矿体主要集中在岩浆流经的部位,新疆早二叠世<sup>[29]</sup>图拉尔根矿区也被认为属于岩浆通道成矿<sup>[30]</sup>。

坡北镁铁-超镁铁岩带自20世纪90年代开展铜镍矿找矿工作以来,陆续发现了坡一超大型镍矿、坡十大型镍矿等一批岩浆硫化物型铜镍矿床。这些矿床规模大、品位较低,目前满足不了矿业开发的要求。根据以往坡北一带的成果,认为其属于“深部熔离-贯入成矿”。坡北地区是否仍具有找矿潜力,在哪寻找高品位镍矿体,利用什么方法可以达到更好的找矿效果等问题成为目前找矿工作亟待解决的问题。

坡北镁铁-超镁铁岩带出露面积达670 km<sup>2</sup>,目前已经发现的岩浆硫化物铜镍矿床多数赋存于坡

北岩带第四、第五侵入期次岩体内以超镁铁质岩石为主体的小型侵入体中,从质量平衡角度看,主岩体规模大有形成大型矿床的潜在物质基础。

坡北镁铁-超镁铁岩内各期次岩浆由东向西依次侵入,岩浆侵位越晚,其结晶分异程度及熔离成矿程度越高。利用地质、物探、化探等多种方法组合开展以第四侵入期次岩体为主要研究对象的找矿工作,在坡东镍矿多处发现贯入式矿体,矿体赋存于较晚期侵入的第六阶段苏长岩、含长辉石岩相中,矿石一般呈海绵陨铁结构,块状构造,镍品位最高可达4.34%。坡东镍矿的发现充分证实了对坡北镁铁-超镁铁富矿体赋存于晚期侵入的岩体及岩相中的判断,同时也证明了找矿手段的有效性。

坡北镁铁-超镁铁岩体在演化过程中均经历明显的同化混染作用<sup>[18]</sup>,但岩体的围岩为长城系古老的贫硫变质岩,同化混染作用没有提高坡北镁铁-超镁铁岩体的硫含量,因此坡北第四侵入期次的岩体内第三、第四阶段的岩浆虽然成矿,但品位不高。在岩浆房中辉石、橄榄石等硅酸盐矿物的大量结晶必然会明显地提高剩余岩浆中硫的浓度<sup>[19]</sup>,同化混染作用带来的外来物质也必然会降低岩浆房中本身的温度,致使结晶分异作用增强。结晶分异作用及同化混染作用相辅相成,不断提高岩浆房中剩余岩浆的硫浓度,最终使硫化物达到过饱和并成矿。因此坡北镁铁-超镁铁岩体的成矿过程就是其自身演化的过程,越晚期侵入的岩浆,其演化程度越高,含矿性越好。

目前矿产勘查评价多针对坡北镁铁-超镁铁岩体第四侵入期次的岩体开展,而针对第五、第六侵入期次工作投入不足,现已经在第五、第六侵入期次发现了晚期阶段侵入的岩相,判断其亦有寻找岩浆硫化物型铜镍矿的潜力。

## 6 结 论

(1)坡北镁铁-超镁铁杂岩体为早二叠世东天山地块造山后伸展过程中,地壳减薄大规模幔源岩浆多期次多阶段侵入的复式杂岩体。

(2)坡北镁铁-超镁铁岩体各岩浆侵入次岩体的结晶分异程度和熔离程度是随岩浆演化程度增高而增高的,岩浆演化程度越高,成矿越好。

(3)通过综合研究优选成矿有利地段后,利用

地质+遥感+物探+化探的综合找矿方法,可以有效的甄别坡北镁铁-超镁铁岩体的含矿岩相。

(4)通过对坡北镁铁-超镁铁岩地质特征的研究成果,结合综合找矿方法,2014年在第四侵入次岩体中发现了坡东镍矿,这一发现预示着在第五、六侵入期次岩体中仍有寻找富镍矿体的找矿潜力。

**致谢:**论文撰写中,得到了李文渊老师、张照伟老师、夏明哲老师的悉心指导,审稿专家和编辑部李亚萍老师提出了宝贵修改意见,新疆地矿局第六地质大队卢鸿飞、贾红旭、赵献军、李远、陈强、满毅等同志,中国地质大学(武汉)刘月高、阮班晓等同志的支持和鼓励,在此一并感谢!

#### 参考文献(References):

- [1] 姜常义,程松林,叶书锋,等.新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体岩石地球化学与岩石成因[J].岩石学报,2006,22(1):115-126.  
Jiang Changyi, Cheng Songlin, Ye Shufeng, et al. Lithochemochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body, at Beishan region, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1): 115-126 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李华芹,陈富文,梅玉萍,等.新疆坡北基性-超基性岩带 I 号岩体 Sm-Nd 和 SHRIMP U-Pb 同位素年龄及其地质意义[J].矿床地质,2006,25(4):463-469.  
Li Huaqin, Chen Fuwen, Mei Yuping, et al. Isotopic ages of No. 1 intrusive body in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(4): 463-469(in Chinese with English abstract).
- [3] 李华芹,梅玉萍,屈文俊,等.新疆坡北基性-超基性岩带 10 号岩体 SHRIMP U-Pb 和 矿石 Re-Os 同位素定年及其意义[J].矿床地质,2009,28(5):633-642.  
Li Huaqin, Mei Yuping, Qu Wenjun, et al. Shrimp zircon U-Pb and Re-Os dating of No. 10 intrusive body and associated ores in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and its significance[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(5): 633-642(in Chinese with English abstract).
- [4] Qin Kezhang, Su Benxu, Sakyi P A, et al. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-Bearing Mafic-Ultramafic Intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): Constraints on a ca. 280 Ma mantle plume[J]. American Journal of Science, 2011, 311(3): 237-260.
- [5] 姜常义,郭娜欣,夏明哲,等.塔里木板块东北部坡一镁铁质-超镁铁质层状侵入体岩石成因[J].岩石学报,2012,28(7):2209-2223.  
Jiang Changyi, Guo Naxin, Xia Mingzhe, et al. Petrogenesis of the Poyi mafic-ultramafic layered intrusion, NE Tarim Plate[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(7): 2209-2223(in Chinese with English abstract).
- [6] 高怀忠.新疆坡北基性-超基性岩带 1 号岩体地质特征及其含矿性研究[J].地球科学,1992,4:3.  
Gao Huaizhong. Geological characteristics of No.1 basic ultrabasic intrusive body and its ore potentiality, Pobei, Xinjiang[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1992, 4: 3(in Chinese with English abstract).
- [7] Yang Shenghong. The Permian Pobei Mafic-ultramafic Intrusion (NE Tarim, NW China) and Associated Sulfide Mineralization[D]. The University of Hong Kong (Pokfulam, Hong Kong), 2011.
- [8] 凌锦兰.新疆北山地区罗东镁铁质-超镁铁质层状岩体的地球化学特征与岩石成因[D].长安大学,2011.  
Ling Jinlan. Luo Dongmei in Beishan Area of Iron-mafic Geochemical Characteristics of Layered Rock Mass and Rock Formation [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011(in Chinese with English abstract).
- [9] 邓刚,贾红旭,王恒.新疆北山裂谷红石山镍矿床特征及找矿方向[J].新疆有色金属,2011,(5):8-11.  
Deng Gang, Jia Hongxu, Wang Heng. Xinjiang Beishan rift valley Gongshishan nickel ore deposit characters and prospecting direction [J]. Journal of Xinjiang Nonferrous Metals, 2011, (5): 8-11(in Chinese with English abstract).
- [10] 柴凤梅,夏芳,陈斌,等.新疆北山坡一含铜镍镁铁-超镁铁质岩体铬铁矿特征研究[J].新疆大学学报:自然科学版,2012,28(4):389-394.  
Chai Fengmei, Xia Fang, Chen Bin, et al. Xinjiang north slopes of a copper nickel magnesium iron-super mafic intrusions chromite characteristics study [J]. Journal of Xinjiang University: natural science edition, 2012, 28 (4) : 389-394(in Chinese with English abstract).
- [11] 郭娜欣,姜常义,宋艳芳,等.塔里木板块东北部坡北岩体内橄榄辉长苏长岩岩石成因[J].地质论评,2012,58(5):873-885.  
Guo Naxin, Jiang Changyi, Song Yanfang, et al. Petrogenesis of olivine Gabbro in Pobei Complex Northeast Tarim Plate[J]. Geological Review, 2012, 58(5): 873-885(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘艳荣,吕新彪,梅微,等.新疆坡北镁铁-超镁铁杂岩体中橄榄石成分特征及其成因意义[J].矿物岩石地球化学通报,2012,31(3):249-256.  
Liu Yanrong, Lv Xinbiao, Mei Wei, et al. Genetic significance and composition characteristics of olivine from Pobei mafic-ultramafic complex[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2012, 31(3): 249-256(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘艳荣,吕新彪,梅微,等.新疆北山地区坡北镁铁-超镁铁岩体单斜辉石的矿物学特征及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2012,31(2):212-224.  
Liu Yanrong, Lv Xinbiao, Mei Wei, et al. Mineralogy of

- clinopyroxene from Pobei mafic-ultramafic complex in Beishan area, Xinjiang, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2012, 31(2): 212-224(in Chinese with English abstract).
- [14] Xia Mingzhe, Jiang Changyi, Li Chusi, et al. Characteristics of a newly discovered Ni-Cu sulfide deposit hosted in the Poyi ultramafic intrusion, Tarim Craton, NW China[J]. *Economic Geology*, 2013, 108(8): 1865-1878.
- [15] 王亚磊, 张照伟, 张铭杰, 等. 新疆坡北镁铁-超镁铁质岩体地球动力学背景探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 2013, 32(5): 693-707. Wang Yalei, Zhang Zhaowei, Zhang Mingjie, et al. Geodynamic setting of the Pobei mafic-ultramafic intrusion in Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2013, 32(5): 693-707(in Chinese with English abstract).
- [16] 夏明哲, 赵献军, 宋艳芳, 等. 塔里木板块东北部坡十侵入体铂族元素地球化学特征及成矿作用[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(1): 1-8. Xia Mingzhe, Zhao Xianjun, Song Yanfang, et al. Geochemical characteristics of the platinum group elements from the Poshi intrusion, north-eastern Tarim block and its mineralization[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [17] Yang Shenghong, Zhou Meifu, Lightfoot P C, et al. Re-Os isotope and platinum-group element geochemistry of the Pobei Ni-Cu sulfide-bearing mafic-ultramafic complex in the northeastern part of the Tarim Craton[J]. *Mineralium Deposita*, 2014, 49(3): 381-397.
- [18] Su Benxu, Qin Kezhang, Sakyi P A, et al. Geochemistry and geochronology of acidic rocks in the Beishan region, NW China: petrogenesis and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(3): 31-43.
- [19] Naldrett, A. Fundamentals of magmatic sulfide deposits[J]. *Reviews in Economic Geology*, 2011, 17: 1-50.
- [20] 惠卫东, 赵鹏大, 秦克章, 等. 东天山图拉尔根铜镍硫化物矿床综合信息找矿模型的应用[J]. *地质与勘探*, 2011, 47(3): 388-399. Hui Weidong, Zhao Pengda, Qin Kezhang, et al. Application of comprehensive information to exploration of the Tulargen Cu-Ni sulfide deposit in Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(3): 388-399(in Chinese with English abstract).
- [21] 杨永强, 程丽红. 新疆喀拉通克铜镍矿床综合信息找矿模型[J]. *地质找矿论丛*, 1998, 13(3): 61-66. Yang Yongqiang, Cheng Lihong. The integrated information model for prospecting of Kalatongke type Cu-Ni ore deposit in Xinjiang[J]. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 1998, 13(3): 61-66(in Chinese with English abstract).
- [22] 庄道泽. 新疆东天山成矿地质条件与综合信息预测模型研究[D]. 吉林大学, 2005. Zhuang Daoze. Research on Metallogenic Geological Conditions and the Predicting Models of Compound Information[D]. Jilin University, 2005(in Chinese with English abstract).
- [23] Arndt N T, Goldstein S L. Use and abuse of crust-formation ages[J]. *Geology*, 1987, 15(10): 893-895.
- [24] 汤中立. 金川硫化铜镍矿床成矿模式[J]. *现代地质*, 1990, 4(4): 55-64. Tang Zhongli. Jinchuan copper sulfide nickel deposit metallogenic model[J]. *Geoscience*, 1990, 4(4): 55-64(in Chinese with English abstract).
- [25] 汤中立. 超大型岩浆硫化物矿床的类型及地质对比意义[J]. *甘肃地质学报*, 1992, 1(1): 24-47. Tang Zhongli. Very large magmatic sulfide ore deposit types and geological comparison significance [J]. *Journal of Gansu Geology*, 1992, 1(1): 24-47(in Chinese with English abstract).
- [26] 汤中立. 中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制[J]. *地质学报*, 1996, 70(3): 237-243. Tang Zhongli. Main metallogenic mechanism of magmatic sulfide deposits in China [J]. *Journal of Geology*, 1996, 70(3): 237-243(in Chinese with English abstract).
- [27] Lightfoot P C, Keays R R, Evans-Lamswood D, et al. Saturation history of Nain Plutonic Suite mafic intrusions: origin of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co sulfide deposit, Labrador, Canada[J]. *Mineralium Deposita*, 2012, 47(1-2): 23-50.
- [28] Turovtsev D. Contact metamorphism of the Noril'sk intrusions[J]. *Scientific World*, Moscow, 2002, 319.
- [29] JinZhu S, KeZhang Q, Zhong LiT, 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*, 2010, 26(10): 3027-3035.
- [30] 孙赫, 秦克章, 李金祥, 等. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相, 岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 606-617. Sun He, Qin Kezhang, Li Jinxiang, et al. Petrographic and geochemical characteristics of the Tulargen Cu-Ni-Co sulfide deposit, East Tianshan, Xinjiang, and its tectonic setting[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 606-617(in Chinese with English abstract).