

文章编号: 0258-7106(2007)03-0307-10

# 新疆哈密图拉尔根全岩矿化岩浆铜-镍-钴 矿床地质特征及找矿方向\*

三金柱<sup>1,2,3</sup>, 惠卫东<sup>1,2</sup>, 秦克章<sup>3</sup>, 孙 赫<sup>3</sup>, 徐兴旺<sup>3</sup>, 梁光河<sup>3</sup>, 魏俊瑛<sup>2</sup>,  
康 峰<sup>2</sup>, 肖庆华<sup>2,3</sup>

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2 新疆有色地勘局 704 大队, 新疆 哈密 839000; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029)

**摘 要** 东天山图拉尔根铜镍矿区受控于康古儿—黄山韧性剪切带北东段的区域性韧性剪切带之次级断裂构造, 断裂构造对该矿床的控制作用极为明显。矿区范围内现已发现 3 个镁铁质-超镁铁质杂岩体, 目前只对一号岩体进行了勘探评价, 已探明控制储量达大型规模。文章基于对一号杂岩体的矿床地质特点及其化探和物探特征的总结, 试图建立该大型铜镍矿床的找矿评价模式。一号岩体以全岩矿化为特征, 可分为 4 个岩相: 角闪橄榄岩相、辉石橄榄岩相、角闪辉石岩相和辉长岩相, 赋矿岩石主要为角闪橄榄岩、辉石橄榄岩, 矿床属于与镁铁质-超镁铁质岩浆有关的岩浆熔离贯入型 Cu-Ni-Co 矿床, 具有单期岩浆多次脉动上涌成矿的特征。岩体  $m/f$  介于 3.1~4.8 之间, 属于铁质超镁铁岩类, 且具有低钛、低碱、低  $Al_2O_3$  特征, 含矿岩相具有高硫特征( $S>1\%$ )。化探显示图拉尔根地区位于 Cu、Ni、Co 组合异常区内, Ni 异常峰值  $133 \times 10^{-6}$ , Cu 异常峰值  $83 \times 10^{-6}$ 。成矿元素 Ni、Co、Cu 在角闪橄榄岩、辉石岩中呈现富集趋势。物探显示岩体具有三高一低的地球物理异常特征。矿区位于区域性的重力高值异常区内, 在高重力背景下, 含矿岩体表现出明显的低阻、高极化及高磁异常特征。作者指出沿强变形带中间的中部弱韧性变形带追索含矿岩体, 将对扩大找矿范围具有实际意义, 岩体南西部可能为含矿岩浆上升就位的主要中心, 这里角闪橄榄岩相也十分发育, 应为矿化富集的有利地段。

**关键词** 地质学, 镁铁质-超镁铁质杂岩, 岩浆铜镍钴矿, 岩石化学, 物化探异常, 找矿方向, 图拉尔根, 东天山  
中图分类号: P618.41 P618.63 文献标识码: A

## Geological characteristics of Tulargen magmatic Cu-Ni-Co deposit in eastern Xinjiang and its exploration direction

SAN JinZhu<sup>1,2,3</sup>, HUI WeiDong<sup>1,2</sup>, QIN KeZhang<sup>3</sup>, SUN He<sup>3</sup>, XU XingWang<sup>3</sup>,  
LIANG GuangHe<sup>3</sup>, WEI JunYing<sup>2</sup>, KANG Feng<sup>2</sup> and XIAO QingHua<sup>2,3</sup>

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 No. 704 Geological Party, Xinjiang GeoExploration Bureau for Nonferrous Metals, Hami 839000, Xinjiang, China; 3 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

### Abstract

The Tulargen Cu-Ni deposit, a great breakthrough in Cu-Ni exploration in Xinjiang in the past ten years, is obviously controlled by secondary fractures in the Kangguer-Huangshan regional ductile-shear zone, similar to

\* 本文得到中国地质调查局东天山头苏泉地区铜镍金资源潜力评价项目(200110200004) 国家“十五”科技攻关新疆 305 项目东天山东段铜矿专题(2001BA609A-07, 2003BA612A-06-07) 新疆维吾尔自治区资源补偿费项目哈密图拉尔根铜镍矿普查(2004026, 2005027) 资助  
第一作者简介 三金柱, 男, 1969 年生, 高级工程师, 在读研究生, 从事矿产普查与勘探工作。E-mail: hmsws704@126.com  
收稿日期 2006-10-18 改回日期 2007-03-16。张绮玲编辑。

things of the known Huangshan and Xiangshan Cu-Ni deposits. Ore bodies are hosted in ultramafic complexes, which consist of hornblende peridotite, pyroxene peridotite, hornblende pyroxenite and gabbro. The proved nickel (125000 tons) and cobalt reserves (10 000 tons) have reached large size and copper reserves have reached medium size. The richest massive ore body with an average grade of Ni 4.56% and Cu 2.52% can reach 37.98 m in thickness in No.1503 drill hole. The ore district remains under prospecting now. The deposit was formed through deep-seated magma segregation and is characterized by bulk mineralization. It has experienced a single intrusion with multiple pulsant inburst. The  $m/f$  values are between 3.1 and 4.8, falling into the category of ferrous-ultramafic rocks. The intrusion has low Ti, total alkali and  $Al_2O_3$ , and contains high sulfur (usually higher than 1%), suggesting a good ore-forming potential. Ore minerals consist of pyrrhotite, pyrite, pentlandite, chalcopyrite and violarite. Ni and Co elements occur as isolated sulfides and sulfur-arsenic mineral components. Geochemical exploration reveals that the deposit is located in a Cu-Ni-Co anomaly area, with the Ni peak value of  $133 \times 10^{-6}$  and Cu value of  $83 \times 10^{-6}$ . Geophysical characteristics of this district show that high gravity, high polarization and high magnetic anomalies are associated with low electric resistance. The exploration direction is also pointed out in this paper. New ore-bearing ultramafic intrusions will be possibly found along the central weak shear zone between the strong shear zones on both sides, and the southwestern extension of No. 1 intrusion with well-developed hornblende peridotite is the pipe center for magma upwelling and may be a mineralization enrichment center.

**key words:** geology, mafic-ultramafic complexes, magmatic Cu-Ni-Co deposit, petrography, petrochemistry; geochemical and geophysical anomaly, exploration direction, Tulargen, eastern Tianshan

东天山黄山—镜尔泉地区是新疆最重要的铜、镍、金成矿带,该带东西长近 200 km,因其复杂的构造演化和成矿特征成为众多学者关注的地区(顾连兴等,1994;竺国强,1996;李承德等,1996;毛景文等,2002;秦克章等,2002;Qin et al.,2003;韩宝福等,2004)。自 20 世纪 80 年代初以来,新疆地矿局、有色地勘局就开始对该区的镁铁质-超镁铁质杂岩体开展地质勘查工作,曾先后发现了黄山(大型)、黄山东(大型)、香山(中型)、葫芦(中型)铜镍矿床及一批有望成矿的镁铁质-超镁铁质杂岩体。图拉尔根地区位于葫芦铜镍矿北东 20 km 处。2001 年秋,新疆有色地勘局 704 队在该区进行铜镍异常检查工作发现了地表零星矿化,2002 年发现了图拉尔根杂岩体,它由 3 个杂岩体组成,其中的一号杂岩体通过初期评价,证实有较好矿化显示(三金柱等,2003)。中国科学院地质与地球物理研究所承担院创新与十五科技攻关新疆 305 项目东天山铜矿专题,2002 年起与 704 队合作,对该远景区进行了岩相、矿田构造、矿物学研究及地球物理勘探评价工作(秦克章等,2006;孙赫等,2006;丁奎首等,2007;肖骑彬等,2005;梁光河等,2007)取得了重要进展。目前实际控制储量为:镍 10.96 万吨、铜 6 万吨、钴 1 万吨,镍、钴规模已达到大型,并发现 80 多米厚的特富矿

体。这是十年来东天山地区在镁铁质-超镁铁质杂岩体找矿取得的重大突破,对其进行总结,可推动本区和外围成矿规律与找矿研究。在大量普查勘探生产实践的基础上,本文基于对图拉尔根矿区一号杂岩体的岩相组成、矿床地质、岩石化学及其化探和物探异常特征的总结,对一号杂岩体进行含矿性评价,试图建立该大型铜镍矿床的找矿评价模式,分析找矿方向,进一步扩大矿区规模,将对查明图拉尔根地区的铜镍钴找矿潜力起到积极作用。

## 1 区域地质特征

图拉尔根铜镍矿床产于康古尔塔格—黄山韧性剪切带的次级挤压破碎带,位于黄山—镜尔泉岩浆铜镍成矿带的东段。区内地层主要为中上石炭统( $C_{2,3}$ )的一套动力变质火山碎屑岩建造和中泥盆统大南湖组( $D_2d$ )的一套火山碎屑沉积建造。矿区为一宽缓背斜,其上叠加了 NEE 向韧性剪切带。断裂构造以北东东向、北北东向为主,多表现为韧性剪切性质,片理、劈理极其发育,含矿岩体受弱韧性变形带控制,在平面上、剖面上与韧性片理带协调一致。华力西中晚期侵入的花岗闪长岩、二长花岗岩及镁铁质-超镁铁质杂岩体发育。

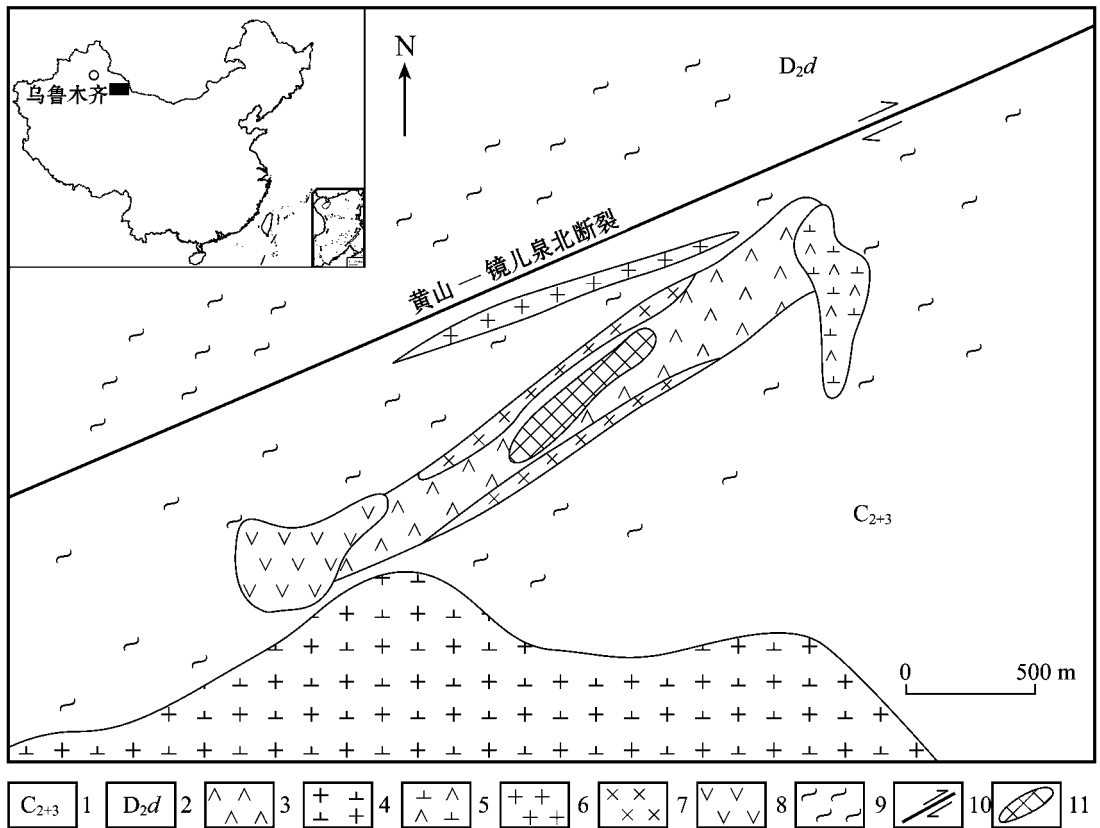


图 1 新疆东天山图拉尔根铜镍矿区地质图

1—中上石炭统安质、安山质含角砾凝灰岩、晶屑凝灰岩 2—中泥盆统大南湖组凝灰质砂岩 3—角闪橄榄岩 4—花岗闪长岩；  
5—闪长玢岩 6—花岗细晶岩 7—辉长岩 8—安山玢岩 9—挤压破碎带 10—区域大断裂 11—铜镍矿体

Fig. 1 Geological map of the Tulargen Cu-Ni deposit in eastern Xinjiang

1—Middle-Upper Carboniferous dacitic-andesitic breccia tuff , crystal tuff ; 2—Tuffaceous sandstone of Middle Devonian Dananhu Formation ; 3—Hornblende peridotite ; 4—Dioritic-porphyrite ; 5—Granodiorite ; 6—Granitic aplite ; 7—Gabbro ; 8—Andesitic porphyrite ; 9—Compresso-shatter zone ; 10—Regional deep-seated fracture ; 11—Cu-Ni ore body

矿田范围内现已发现 3 个镁铁质-超镁铁质杂岩体,各岩体长 200~1 400 m 不等,宽 20~150 m 不等。平面形态呈岩墙状、透镜状。其中的二、三号岩体地表主要为辉长岩相,矿化显示较弱,尚未进行普查评价。矿区目前揭露出的一号矿体(图 1),勘探程度最高,含矿性较好。下面主要就一号岩体的岩相、岩石化学、矿床地质特征及其化探和物探特征进行阐述和分析。

岩体的分布受康古尔-黄山断裂带的次级断裂——黄山-镜儿泉北断裂控制,总体呈 NNE 向延伸。根据磁组构参数 P 值勾出的强弱相间的韧性变形带格局中,该含矿挤压破碎带位于中部弱韧性变形带之内,两侧则为强韧性变形带。表明该岩体为同构造岩体,来自深部的镁铁质-超镁铁质岩浆就位于韧性断裂的弱变形域(秦克章等 2006)。因此,在图拉

尔根矿区,应该顺中部弱韧性变形带追索新的含矿岩体。

## 2 矿床地质特征

图拉尔根一号镁铁质-超镁铁质杂岩体侵位于中上石炭统地层中,围岩为含角砾晶屑凝灰岩、含角砾岩屑晶屑凝灰岩,岩石动力变质特征明显,挤压片理发育,糜棱岩化强烈,围岩的变质相可达角闪岩相,并有一定的混合岩化,岩体与围岩界线清晰,构造侵入特征明显,产状  $124^{\circ}/68^{\circ}$ 。岩体呈北东—南西向延伸,北东宽、南西窄,中间略有膨大。地表圈定岩体长 740 m,宽 20~60 m,岩体地表出露面积不足 0.005 km<sup>2</sup>。岩体两侧发育宽 3~5 m 的土黄色泥化带,其中见有辉长岩残块,而围岩碎裂,反映泥化

带主要发育于岩体一侧。据磁法测量,该岩体向南西侧伏,规模尚不止于此。大地电磁测深(MT)和地震勘探(肖骑彬等,2005;梁光河等,2007)显示,岩体向南西侧伏,较地表分布范围大出许多,深部向西南方向尚有较大延伸(西至41线尚未中止)。目前经钻探工程控制,矿体已向西延伸至31线。钻探验证结果显示,岩体向深部具波状起伏、膨大狭缩特征,局部膨大部位产状趋缓呈岩盆状。东段(18线—9线)岩体厚度为50~150 m,西段(13线—27线)岩体厚度150~400 m,东段延伸地表至250 m以下,西段顶板100~400 m,底板400~600 m(未完全控制),实际延伸420余米,全矿区平均延伸300余m。岩体向深部延伸较深而且变宽变大,呈巨大透镜体,属于半隐伏岩体,西段岩体规模有待于进一步探测。地表Ni平均品位0.24%~0.42%,最高1.53%;最高Cu品位5%以上。地表矿体沿走向品位变化系数27%,厚度变化系数39%,总体沿走向变化稳定。地表矿体平均品位Ni 0.42%,Cu 0.26%,Co 0.03%。

综合分析地表及钻孔见矿情况,I号矿体总体沿倾向表现为品位变富,厚度变大,沿走向则表现为:在埋藏深度上,东浅西深,在矿体厚度上,东薄(甚至尖灭)西厚,在矿体产状上,东缓西陡。原生晕测量也显示出在地表200 m深度范围内,存在一个Cu、Ni、Co异常体。矿体呈透镜状、似层状、脉状产出,特富块状矿体呈板状多产于岩体中上盘,局部矿体产于杂岩体向深部变缓部位,局部杂岩体呈岩盆状(见图2)杂岩体在5线、15线、17线剖面形态呈岩席状,厚大的囊状矿体主要赋存在岩体上部和底部,矿体形态受岩体形态制约,其产状与围岩基本一致。钻孔揭露矿体视厚度30~260 m,平均品位:Cu 0.4%,Ni 0.6%,Co 0.05%。其品位由地表向深部明显增高,同时,在走向上向岩体侧伏方向也表现出一定的矿化富集趋势。2006年施工的1503孔累计见矿厚度达83.12 m,其中在287.90~325.88 m为视厚37.98 m的块状特富矿,镍平均品位为4.56%,铜平均品位为2.52%。实现了新疆近十多年来最重要的铜镍矿找矿突破。

氧化带特征:矿区地处干旱地区,水化学作用微弱,以物理风化作用为主。矿床氧化带深度不大,在6~8 m之间。受氧化淋滤和动力变质作用影响,矿体近地表部位矿石极为破碎而呈碎裂块状、碎粒状、“羊粪蛋状”,次生孔雀石化、褐铁矿化、蓝铜矿、黄钾铁矾发育,地表常反映为鲜艳的绿色、醒目的褐黄色

杂色带,与黄山含矿岩体的地表特征相类似,疏松、多孔,块度差,形成绿色、褐黄色铁帽。同时,这种地表特征往往预示着深部海绵陨铁状矿石的存在(孙赫等,2006)。

矿石类型及结构、构造:原生矿石多呈深黑色、黑绿色,致密坚硬,多具粒状结构、固熔体分离结构,以块状、浸染状、团斑状、珠滴状构造为主。金属矿物以磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍矿、钴辉砷镍矿和镍辉砷钴矿为主(丁奎首等,2006;秦克章等,2007)。矿石中成矿元素为主要Cu、Ni和少量的Co。Ni主要以镍黄铁矿和紫硫镍矿的单矿物形式存在,少量以类质同像赋存于磁黄铁矿中。Cu主要以黄铜矿形式存在。一部分Co以钴辉砷镍矿和镍辉砷钴矿形式存在,另一部分以类质同像的形式赋存于镍黄铁矿、紫硫镍矿和磁黄铁矿中。矿体东端还见有星点状分布的古铜色的火焰状镍黄铁矿。矿石中以硫化镍为主,NiS含量占全镍含量的95%以上,说明该矿体为硫化型矿体。

II号矿体主要岩性为辉长岩,矿体为隐伏矿体(图2),目前揭露规模较小。矿体呈脉状产于角闪橄榄岩相带内,钻孔揭露视厚度在3~6 m间,矿石品位:Cu 0.11%,Ni 0.27%,Co 0.02%,矿体沿倾斜延伸154.91 m。矿石结构、构造同I号矿体。初步分析认为,该矿体的富集与构造裂隙的分布和热液活动的强弱有关。

综合分析认为,矿体具深部熔离贯入矿的特征,沿倾斜方向可能发现形成浅的富、厚、大的铜、镍矿体。因此,在杂岩体南侧仍有进一步进行深部工程验证的必要性。

### 3 一号含矿杂岩体的岩相学与岩石化学特征

一号杂岩体具多期侵位特征并具一定分异,由岩体中心向两侧及由浅部向深部均可见明显的角闪橄榄岩相、辉长岩相等岩相分带,主要岩石类型有角闪橄榄岩、角闪辉石岩、橄榄辉石岩、角闪辉长岩等,剖面及平面均表现为一个环带状杂岩体,对称分异特征明显,从中心向外依次为辉石橄榄岩相、角闪橄榄岩相、角闪辉长岩相。其中角闪辉长岩相往往呈透镜体产出,说明该杂岩体在深部岩浆充分分异之后,残余超镁铁质岩浆侵入成岩。岩石呈深黑色、黑绿色,多具中粒、中-细粒结构,块状或碎裂块状构造。

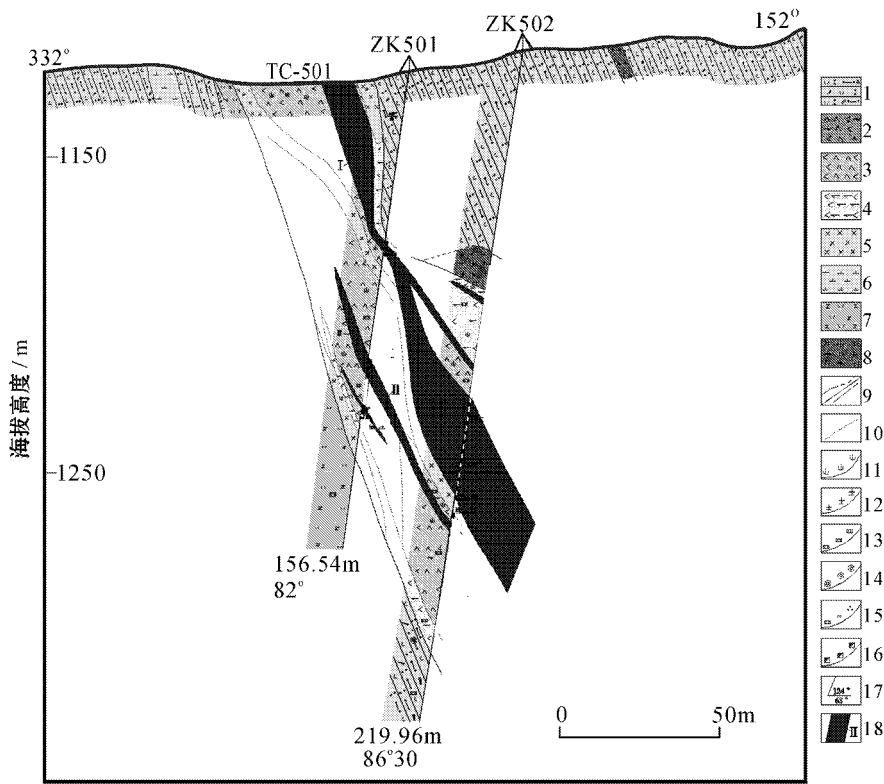


图 2 图拉尔根铜镍矿 P-5 线剖面图

- 1—糜棱岩化角砾晶屑凝灰岩 2—角闪紫苏橄榄岩 3—角闪橄榄岩 4—角闪辉石岩 5—辉长岩 6—闪长岩 7—霏细斑岩 8—斜长细晶岩；
- 9—实测推测地质界线断层；10—相变线；11—蛇纹石化；12—黏土化；13—黄铁矿化；14—硅化；15—黄铁绢云母化；16—褐铁矿化；
- 17—地质产状；18—铜镍矿体及编号

Fig. 2 Geological section along P-5 exploration line in the Tulargen Cu-Ni-Co deposit

- 1—Mylonitized crystal breccia tuff；2—Hornblend-hypersthene peridotite；3—Hornblende peridotite；4—Hornblende pyroxenite；5—Gabbro；6—Diorite；7—Felsitic porphyry；8—Plagioclase aplitite；9—Proved and inferred fault and geological boundary；10—Facies change line；11—Serpentinization；12—Argillization；13—Pyritization；14—Silicification；15—Pyrite-sericitization；16—Limonitization；17—Geological attitude；18—Cu-Ni ore body and its serial number

铜镍矿体主要分布在岩体南缘的辉橄岩相与角闪橄岩相接触带和角闪橄辉岩相中。这种模式可能反映了岩浆上侵时的脉动特征,即分期涌入式就位(孙赫等 2006)。

含矿杂岩体与围岩(C<sub>2,3</sub>)糜棱岩化含角砾凝灰岩)呈构造侵入接触关系,两者以泥化带为界,界线清晰。岩体蚀变除区域性的动力变质作用造成的糜棱岩化外,主要包括蛇纹石化、纤闪石化、透闪石化、滑石化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化和伊利石化等。纤维状具丝绸光泽的石棉集合体较多见。

常量和微量元素在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室测定。常量元素的测定采用 X 射线荧光光谱法(XRF),首先称取 0.6 g 样品,然后加入适量硼酸高温熔融成玻璃片,最后在 Shimadzu XRF-1700/1500 上采用外标法测

定氧化物含量,分析误差小于 5%。微量元素测定采用 ICP-MS 法,首先称取 40 mg 样品和国家标准(GRS1、GRS2、GRS3)用酸溶法制成溶液,然后在 ICP-MS Element II 上进行测定。其精度为:元素含量大于 10×10<sup>-6</sup>的误差小于 5%,而小于 10×10<sup>-6</sup>的误差小于 10%。SO<sub>3</sub>含量用湿法化学方法单独分析(分析人为金镇岗高工),分析误差小于 5%。S 含量据所测 SO<sub>3</sub>含量计算得出,因而不包含在由 XRF 所测的主量元素总量中,而后者所测的烧失量中即含有 SO<sub>3</sub>。岩石化学分析结果显示(表 1),图拉尔根一号岩体与黄山、喀拉通克已知含矿岩体具有很好的可比性。

(1)经计算,含矿岩石 m/f 在 3.1~4.8 间,黄山含矿岩体的 m/f 在 3.9~4.0 间。据吴利仁研究认为,超基性岩石 m/f=2~6.5 者,多与硫化铜镍

表1 图拉尔根1号岩体岩石化学组成( w(B)%)

Table 1 Petrochemical composition of No.1 intrusion in the Tulargen ore district( w(B)%)

	本文				孙赫等 2006				
	角闪橄榄岩	角闪辉石岩	角闪辉石岩	橄辉岩	辉石橄榄岩	橄辉岩	辉石橄榄岩	角闪橄榄岩	辉石橄榄岩
SiO <sub>2</sub>	38.21	40.11	44.16	42.29	45.82	43.09	36.58	38.63	41.44
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.39	0.64	0.37	0.75	0.42	0.32	0.35	0.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.8	7.48	10.09	7.48	11.65	7.63	6.18	5.54	8.69
TF <sub>e2</sub> O <sub>3</sub>	15.76	14.16	11.41	11.78	9.79	11.95	16.92	13.57	13.57
MnO	0.15	0.16	0.19	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17
MgO	27.77	27.61	20.51	27.69	17.57	27.03	28.15	29.89	23.52
CaO	2.26	2.31	4.9	3.46	5.82	3.84	1.82	1.85	4.08
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.44	1.72	1.84	3.42	2.35	0.06	0.16	0.36
K <sub>2</sub> O	0.26	0.49	1.39	0.34	0.4	0.33	0.13	0.3	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.08	0.1	0.07	0.11	0.06	0.05	0.06	0.09
LOI	8.35	6.78	4.78	4.59	4.53	3.15	9.14	9.24	6.61
总和	99.18	100.01	99.86	100.05	100.03	100.01	99.51	99.75	99.2
Mg <sup>#</sup>	77.90	79.59	78.27	82.45	78.21	81.90	76.89	81.50	77.61
m/f	4.62	4.75	3.68	4.70	3.47	4.57	4.33	4.82	3.12
S	2.80	0.58	0.24	0.20	0.07	0.23	2.64	1.24	1.49
Co*	117.00	101.00	97.26	111.09	66.07	112.50	222.26	158.47	145.73
Ni	0.34	0.10	0.08	0.09	0.04	0.09	0.32	0.17	0.19
Cu	0.25	0.03	0.03	0.02	0.00	0.02	0.25	0.06	0.12

注: Mg<sup>#</sup> = Mg<sup>2+</sup> / (Mg<sup>2+</sup> + Fe<sup>2+</sup>); m/f = (Mg<sup>2+</sup> + Ni<sup>2+</sup>) / (Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup> + Mn<sup>2+</sup>) (据吴利仁, 1963); 单位为 1。\* 单位为 10<sup>-6</sup>。

矿有关;

(2) 岩石中 Ni/Co 比值在 10~29 之间, 综合对比喀拉通克岩石样品的统计数据结果(其含矿岩石中 Ni/Co 值为 17.17), 镁铁质-超镁铁质杂岩体 Ni/Co 平均值大于 15 为有利铜镍的矿化区间;

(3) 表中同样反映出含矿岩石具有较高的 S 丰度值, 其值在 0.58%~2.80% 间, 根据黄山、喀拉通克含矿岩体的 S 丰度值统计结果, S ≥ 0.5% 的基性或超基性岩体, 有利于工业矿体的形成。

图拉尔根一号岩体具有低碱(0.2%~3.8%) 和低 Ti 特征, TiO<sub>2</sub> 最高含量为 0.75%, 平均值为 0.52%。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 平均含量为 8.7%。K<sub>2</sub>O 和 CaO 含量分别为 0.13%~1.52% 和 1.82%~5.82%, 平均值分别为 0.59% 和 3.8%, 具低钾、贫钙特征。MgO 含量介于 17.5%~29.9%, Mg<sup>#</sup> 介于 77~82 之间, 平均值为 79.7, m/f 介于 3.1~4.8 之间, 平均值为 3.9, 属于铁质超基性岩类(镁质超基性岩 m/f > 6.5; 铁质超基性岩 m/f = 2~6.5; 富铁质超基性岩 m/f = 0.5~2; 铁质基性岩 m/f = 0.5~2; 富铁质基性岩 m/f < 0.5)。岩相中 S 的含量与成矿元素含量成正相关, S 的含量越高(一般大于 0.5%), 就越有利于成矿元素的富集。从岩石化学成分上来看, 该杂岩体与东疆一带分布的二叠纪镁铁-超镁铁

岩型杂岩体(顾连兴等, 1994; Qin et al., 2003; 孙赫等, 2006) 十分相似。

## 4 化探及物探特征

### 4.1 地球化学特征

1:50 000 化探分散流结果表明, 图拉尔根地区位于 Cu、Ni、Co 组合异常区内。异常平面形态呈北东略宽、南西略窄的不规则状。Ni 异常峰值 133 × 10<sup>-6</sup>, Cu 异常峰值 83 × 10<sup>-6</sup> (雷军文等, 2003)。

地表原生晕剖面测量成果显示, 该区成矿元素 Ni、Co、Cu 在角闪橄榄岩、辉石岩中呈现富集趋势。通过聚类分析, 相关元素谱系图在 0.2 的相关水平上, 元素可分为两组, 一组为 Ni-Co-Cu-Bi-Zn-Au-Ag-Pb, 显示一种与超镁铁质岩浆有关的元素组合特征; 另一组为前缘元素 As-Sb 组合, 表明含矿镁铁质-超镁铁质杂岩体总体剥蚀较浅, 矿区深部仍有找矿前景。矿区东段钻孔原生晕测量成果显示, 元素异常表现出一定的垂向分带特征。即上部 0~70 m 范围内, 为 Cu、Pb、Zn、As、Sb 的富集区域; 中部 70~200 m 表现为 Cu、Ni、Co 异常, 且异常强度沿含矿岩体倾斜方向具有增高趋势; 200 m 以下, 则主要为弱的 Pb、Zn、Sb、As 显示。据此分析, 在地表 0~200 m

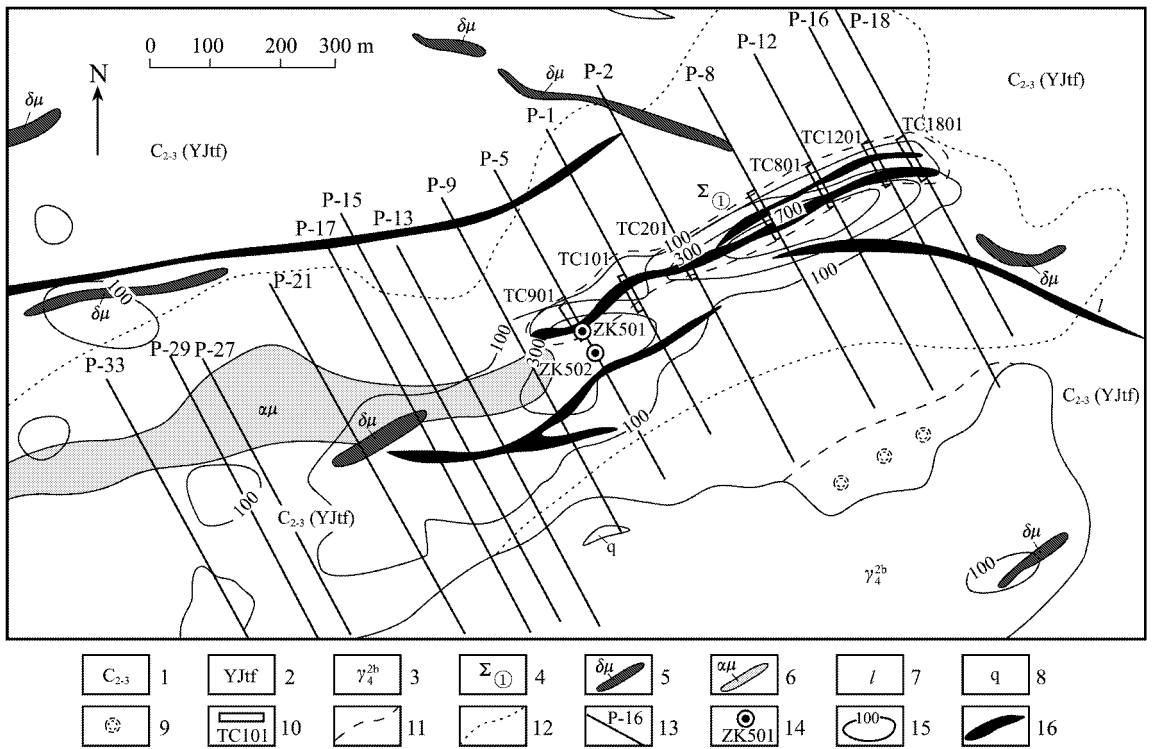


图 3 图拉尔根一号岩体地球物理综合图

1—中上石炭统英安质、安山质含角砾凝灰岩、晶屑凝灰岩；2—中上石炭统安山质含角砾晶屑凝灰岩；3—花岗岩；4—镁铁质-超镁铁质杂岩体及编号；5—闪长玢岩；6—安山玢岩；7—细晶岩脉；8—石英脉；9—硅化；10—探槽位置及编号；11—蚀变界线；12—相变界线；13—勘探线位置及编号；14—钻孔位置及编号；15—磁异常曲线；16—铜镍矿体

Fig. 3 Geological and geophysical map of No. 1 intrusion in the Tulargen Cu-Ni deposit

1—Middle-upper Carboniferous dacitic-andesitic breccia tuff, crystal tuff；2—Middle-Upper Carboniferous andesitic breccia crystal tuff；3—Granite；4—Mafic-ultramafic complexes and their serial number；5—Diorite porphyrite；6—Andesitic porphyrite；7—Aplite；8—Quartz vein；9—Silicification；10—Trench and its serial number；11—Alteration boundary；12—Facies change boundary；13—Exploratory line and its serial number；14—Drill hole and its serial number；15—Magnetic anomaly；16—Cu-Ni ore body

深度范围内,存在一个较好的 Cu、Ni、Co 异常体,沿含矿岩体倾斜方向仍具有较大的找矿空间。

#### 4.2 地球物理特征

物探激电、磁法测量结果显示,对应一号杂岩体分布地段,总体表现出高磁+低阻+高极化组合物探异常,其中磁异常按 100 nT 圈定,长近 1 400 m,宽 150~250 m 不等,总体沿 62°走向延伸,总体平面形态呈一向南西发散、北东收缩的不规则状,异常强度总体北东强、南西弱(图 3)。根据磁法推定,含矿岩体在地表以下呈向南陡倾(倾角 75~80°)的板状体,宽度 30~40 m,岩体延深 130~150 m,沿走向具有向北东翘起,向南西侧伏的特征。其上叠加极化率异常长约 900 m,宽约 50~120 m,异常中心(在 5 线附近)异常最高峰值为 10.987%,电阻率异常在 92 Ω·m 左右。磁异常可分为两部分,以 P-13 线为界,北东段呈一个两端较宽、中间较窄的哑铃状,长

900 余米,平均宽 150 m,该地段异常峰值高,存在 2 个较为显著的异常中心,中心峰值分别为 1740 nT 和 2390 nT。该异常区段大部(P-7 至 P-18 线间)与已知(出露地表的)一号含矿岩体分布地段相对应,通过前期地表及深部钻探验证,已获得了较好的找矿效果。P-13 线南西段,异常形体呈不规则状,异常长近 500 m,宽度变化较大,最宽 360 m,最窄 20 m。以宽缓磁异常为特征,强度在 100~200 nT 之间变化,钻探证实深部存在含矿岩体。初步认为该地段为已知含矿岩体向南西侧伏的隐伏部分,有可能形成含矿岩体的上侵通道,具找矿潜力。

磁参数测定结果显示,含矿杂岩体各岩石类型一般均表现出较高的磁化率,仅在不同的品位区间而强度略有不同(见表 2)。

考虑到埋深因素,在本区 100~200 nT 的低缓磁异常均应引起足够的重视。

表2 图拉尔根矿区一号杂岩体不同矿石类型磁参数测定一览表

Table 2 Magnetic parameters of various types of ores from No.1 intrusion in the Tulargen Cu-Ni deposit

矿石构造	$\alpha(\text{Ni})\%$	磁化率/ $\text{K} \times 10^{-6}\text{CGSM}$		剩磁/ $\text{Jr} \times 10^{-6}\text{CGSM}$	
		区间	平均值	区间	平均值
块状	3~6	720~1960	1097.33	202~549	307.17
稠密浸染状	1~3	118~1112	473.23	33~311	132.46
稀疏浸染状	0.1~0.5	241~1887	592.40	52~528	165.90

中国科学院地质与地球物理研究所 2003 年至 2004 年沿 12 线、5 线、21 线、41 线实施浅层地震和大地电磁测深探查,给出了地下 1 000 m 深度内的地质体的精细结构(肖骑彬等,2005;梁光河等,2007),新发现 3 个明显相连或断续相连的低阻异常体,中部异常带对应于已知含矿岩体(一号),且向下规模变大。北部异常带是隐伏含矿超基性岩体的反应,704 队所施工的大比例尺磁法及激电测量也与此吻合,经追索新发现的辉长岩露头(二号)向西延长达 1 000 余米。南部异常带(三号)则系隐伏岩体所引起(秦克章等,2006)。4 条大地电磁测深剖面及浅层地震测量结果反映出,一号岩体总体上呈南倾或陡立的不规则条带状,向深部延伸较大,规模较目前地表圈定的大出许多。地震剖面中有一些形态不规则的地质体,其内部反射界面结构与其周边地层反射界面结构明显不协调、或表现出明显的弱反射特征。已有的研究表明,这种弱反射的地质体通常是结构均匀的岩体,而具层状反射界面但其与周边地层反射界面结构明显不协调的多是脉岩。

新疆有色地勘局 704 队于 2004 年在区内开展了系统的 1:10 000 物探激电、磁法测量工作,获得了 3 个较为显著的高磁+低阻+高极化组合物探异常。通过 1:10 000 面积性磁法测量,获得了 3 个较为明显的物探组合异常区,即 M-1、M-2 和 M-3 号异常。其中 M-1 号异常,其分布地段对应着一号含矿岩体。M-2 号异常,位于 M-1 号异常西部偏北方向,对应着测区内二号岩体分布地段。M-3 号异常,位于 M-1 号异常北部偏东方向,对应着测区内三号岩体分布地段。

综上所述,图拉尔根铜镍矿区磁异常、极化率、电阻率异常三者套合良好,并表现为良好的同源性。矿区位于区域性的重力高值异常区内,在高重力背景下,含矿岩体表现出明显的低阻、高极化及高磁异常特征。即在圈定的组合物探异常分布地段均对应着镁铁质-超镁铁质杂岩体,符合岩浆型铜镍矿床的

物探异常特征。在矿区极有可能存在一个沿区域断裂之次级构造分布的(含矿)岩体群,已知一号含矿岩体只是其中的一个。其分布地段对应的组合物探异常,已证实为矿致异常。本着就矿找矿、就异常找矿的原则,在该地区进一步加强物探工作力度,将会对找矿产生积极的影响。

## 5 找矿模式与找矿方向

图拉尔根铜镍矿是在长期的构造活动背景下,含矿岩浆以重力分异作用为主,并选择合适的场所使成矿元素得以富集成矿。因此,矿床类型为较典型的岩浆熔离贯入型铜镍(伴生钴)矿床。图拉尔根一号杂岩体为含矿单式岩体,呈现脉动式侵入特征,其岩浆演化从早到晚基性程度逐渐增高,表现出与香山、黄山东等成型矿床相当的岩石组合类型。

大地电磁测深勘探对硫化物矿体深部延伸的宏观形态可进行刻画,地震勘探方法从反射形态结合地质现象,可以在宏观上预测基性、超基性岩体的延伸及分布形态,并能有效克服炭质干扰。用大地电磁测深法来探查深部隐伏低阻电性异常体是可行和有效的。首次在本区使用浅层地震等高新技术金属探矿方法,实践证明是可行的。

总结一号杂岩体的找矿模式,可初步概括为:1:5 万化探分散流  $\text{Cu}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Cr}$  异常+地表铜镍矿化(主要为杂色铁帽)+具一定分异的镁铁质-超镁铁质杂岩体+物探低阻高极化、高磁组合异常。图拉尔根地区及外围符合类似条件的岩体还较多。因此,通过对一号杂岩体进行含矿性评价,并以此作为该区镁铁质-超镁铁质杂岩体铜镍矿的评价模式,将可进一步指导图拉尔根地区的找矿工作。

区域性康古尔-黄山韧性剪切带的次级断裂构造构成其储岩储矿构造。已发现的一号矿体,从物探综合测量和已有钻探验证,均反映出一号含矿岩体向深部具规模变大、品位变富的趋势,据此推测地



表出露岩体可能只是深部厚大岩体的前缘,矿体规模还有扩大的空间。

基于上述研究,提出找矿方向如下:

(1) 图拉尔根杂岩体受弱韧性变形带控制,两者产状协调一致呈北东-南西向展布,具一定分异,岩相带与岩体轴近于一致,总体向南倾斜,对铜镍硫化物矿床而言,矿体具熔离贯入特征,岩相带的上部、底部或岩席部位,就地熔离作用分异出比重较大的金属硫化物矿浆。沿倾斜方向具有形成浅的富、厚大铜、镍矿体的可能。断裂构造对该类型矿床的控制作用极为明显。沿断裂上升的矿质热液与早期形成的矿体发生交代或充填作用,往往使原来的贫矿变成富矿,富矿变成特富矿。因此需进一步加强矿区的构造研究。由此认为,在图拉尔根矿区,沿两侧强变形带中间的中部弱韧性变形带追索新的含矿岩体,将对扩大找矿范围有帮助。

(2) 矿体受一定的岩相控制,多产于晚期比重较大的角闪橄榄岩相带内。由于韧性剪切构造的脉动性,岩相带的上部、底部或岩盆部位,应为熔离贯入作用分异出比重较大的金属硫化物矿浆的极好场所。该杂岩体向南西侧伏,目前地表矿化及岩体出露规模最大、品位相对较高的地段也位于杂岩体南西段,据此推断南西部可能为含矿岩体活动上升的主要地段,这里角闪橄榄岩相也十分发育,应为矿化富集的有利地段。可进一步加强对钻孔原生晕成果的研究,积极开展深部工程验证。

致谢 工作中得到了新疆有色地勘局杨有明局长、申茂德总工、704 队前总工聂永高工、彭晓明高工关心指导,汤中立院士、马天林研究员、钟增球教授给予指导,该项工作借鉴了新疆有色地勘局 704 队和地矿局六大队香山、黄山铜镍矿的地质成果,在此一并致谢。

## References

- Ding K S, Qin K Z, Xu Y X, Sun H, Xu X W, Mao Q and Ma Y G. 2006. Co-occurrence state and its significance to mineralization for sulfide Cu-Ni-Co deposits in Eastern Tianshan [A]. Proceedings of 8th national conference of mineral deposits, China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 471~474 (in Chinese).
- Gu L X, Chu J L, Guo J C, Liao Ji J, Yan Z F and Yang H. 1994. The east Xinjiang-type mafic-ultramafic complexes in orogenic environments [J]. Acta Petrologica Sinica, 10(4): 339~356 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Li Z H. 2004. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, north Xinjiang, and geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 49(22): 2424~2429.
- Lei J W and Qin Q X. 2003. Geochemical features of Tulargen Cu-Ni deposit [J]. Non-ferrous Metals in Xinjiang, (1): 21~23 (in Chinese).
- Li C D and Mu J L. 1996. Orogenesis shallow-rich ores and metallogenic regularity in Huangshan Cu-Ni orebelt, Hami, Xinjiang [M]. Publishing House of Chengdu Science and Technology University, 92~93 (in Chinese).
- Liang G H, Xu X W, Xiao Q B, Cai X P, Qin K Z, Zhang B L, San J Z, Hui W D and Peng X M. 2007. Application of magnetotelluric method to Cu-Ni ore exploration: A case study of Tulargen Cu-Ni deposit in Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 26(1): 120~127 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Qu W J, Du A D, Wang Z L, Han C M. 2002. Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huang shandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance [J]. Mineral Deposits, 21(4): 323~330 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Fang T H, Wang S L, Zhu B Q, Feng Y M and Yu H F. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan mountains, NW-China [J]. Xinjiang Geology, 20(4): 302~308 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Zhang L C, Xiao W J, Xu X W, Yan Z, Mao J W. 2003. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, Northwestern China [A]. In: Mao, Goldfarb and Seltman, eds. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan [C]. London. , 227~249.
- Qin K Z, Xu Y W, Liang G H, Fang T H, Ding K S, San J Z, Zhang L C, Hui W D, Peng X M, Wu H, Cheng S L, Mo X H, Xu Y X, Sun H, Miao Y, Cai X P, Kang F, Zhang B L and Xiao Q H. 2006. Advance in research on metallogenetic regularity, target selection and location prognosis for large-scale Cu, Ni and Au deposits at Eastern Tianshan [J]. Mineral Deposits, 25 (Supp): 301~304 (in Chinese).
- Qin K Z, Ding K S, Xu Y X, Sun H, Xu X W, Tang D M, Mao Q. 2007. Metallogenic potential of host intrusions of Tulargen and Baishiquan Cu-Ni deposits and occurrence of Co and Ni in Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 26(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- San J Z, Tian B, Lei J W, Qin K Z and Xu X W. 2003. The discovery of magmatic Cu-Ni deposit of Tulargen with whole-rock mineralization at eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 22(3): 270 (in Chinese with English abstract).
- Sun H, Qin K Z, Li J X, Xu X W, San J Z, Ding K S, Hui W D and Xu Y X. 2006. Petrographic, Petro-geochemical Characteristics in the Tulargen Cu-Ni-Co Sulfide Deposit, Eastern Tianshan, and Its Tectonic Background [J]. Geology in China, 33(3): 606~617 (in Chinese with English abstract).

Chinese with English abstract ).

- Wu L R. 1963. Mineralization Specificity for Mafic-ultramafic rocks in China [ J ]. Scientia Geologica Sinica, 1: 29~41 ( in Chinese ).
- Xiao Q B, Cai X P, Xu X W, Liang G H, Zhang B L, Wang J, Qin K Z, Peng X M, Hui W D, San J Z, Kang F and Zhang W. 2005. Application of shallow seismic technology and magnetotellurics to location prognosis of concealed metallic deposits: Case study of Tulargen Cu-Ni mining area, Hami, Xinjiang [ J ]. Mineral Deposits 24 ( 6 ): 676~683 ( in Chinese with English abstract )
- Zhu G Q, Yang S F and Chen H L. 1996. Tectonic stress analysis of Huangshan Cu-Ni metallogenic belt and discussion of structural controlling rock and ore mode [ J ]. Mineral Petrol., 16( 1 ): 86~93 ( in Chinese with English abstract ).

#### 附中文参考文献

- 丁奎首,秦克章,许英霞,孙赫,徐兴旺,毛骞,马玉光. 2006. 新疆东天山硫化物铜镍成矿带中钴的赋存状态与成矿意义 [ A ]. 陈毓川,毛景文,薛春纪主编. 第八届全国矿床会议论文集 [ C ]. 北京:地质出版社. 471~474.
- 顾连兴,褚建林,郭继春,廖静娟,严正富,杨浩. 1994. 造山带环境中的东疆型镁铁-超镁铁杂岩 [ J ]. 岩石学报, 10( 4 ): 339~356.
- 韩宝福,季建清,宋彪,陈立辉,李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [ J ]. 科学通报, 49( 2 ): 2324~2328.
- 雷军文,秦全兴. 2003. 图拉尔根铜镍矿地球化学特征浅析 [ J ]. 新疆有色金属 ( 1 ): 21~23.
- 李承德,慕纪录. 1996. 新疆哈密黄山铜镍成矿带浅富矿成因与成矿规律 [ M ]. 成都:成都科技大学出版社. 92~93.
- 梁光河,徐兴旺,肖骑斌,蔡新平,秦克章,张宝林,三金柱,惠卫东,彭

- 晓明. 2007. 大地电磁测深法在铜镍矿勘查中的应用——以与超基性岩有关的新疆图拉尔根铜镍矿为例 [ J ]. 矿床地质, 26 ( 1 ): 120~127.
- 毛景文,杨建民,屈文俊,杜安道,王志良,韩春明. 2002. 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, 21( 4 ): 323~330.
- 秦克章,方同辉,王书来,朱宝清,冯益民,于海峰. 2002. 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, 20( 4 ): 302~308.
- 秦克章,徐兴旺,梁光河,方同辉,丁奎首,三金柱,张连昌,惠卫东,彭晓明,吴华,程松林,许英霞,孙赫,缪宇,莫新华,蔡新平,康峰,张宝林,肖庆华. 2006. 东天山东段大型铜、镍、金矿床成矿规律研究、靶区优选与隐伏矿定位预测的重要进展 [ J ]. 矿床地质, 25( 增刊 ): 301~304.
- 秦克章,丁奎首,许英霞,孙赫,徐兴旺,唐冬梅,毛骞. 2007. 新疆东天山图拉尔根、白石泉铜镍矿床原岩含矿性及其中钴、镍赋存状态的研究 [ J ]. 矿床地质, 26( 1 ): 1~14.
- 三金柱,田斌,雷军文,康峰,徐兴旺,秦克章. 2003. 新疆东天山新发现图拉尔根全岩矿化岩浆铜镍矿床 [ J ]. 矿床地质, 22( 3 ): 270.
- 孙赫,秦克章,李金祥,徐兴旺,三金柱,丁奎首,惠卫东,许英霞. 2006. 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, 33( 3 ): 606~617.
- 吴利仁. 1963. 论中国基性、超基性岩成矿专属性 [ J ]. 地质科学, 1: 29~41.
- 肖骑斌,蔡新平,徐兴旺,梁光河,张宝林,王杰,秦克章,彭晓明,惠卫东,三金柱,康峰,张文. 2005. 浅层地震与 MT 联合技术在隐伏金属矿床定位预测中的应用——以新疆哈密图拉尔根铜镍矿区为例 [ J ]. 矿床地质, 24( 6 ): 676~683.
- 竺国强,杨树锋,陈汉林. 1996. 黄山铜镍成矿带构造控岩控矿模式初探 [ J ]. 矿物岩石, 16( 1 ): 86~93.

<http://www.kcdz.ac.cn/>