

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

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

毛景文¹⁾, Franco PIRAJNO²⁾, 张作衡¹⁾, 柴凤梅³⁾, 杨建民¹⁾, 吴华⁴⁾,
陈世平⁵⁾, 程松林⁴⁾, 张长青¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 西澳大利亚地质调查局, East Perth, WA 6004

3) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083

4) 新疆地质矿产勘查开发局第六地质队, 哈密, 839000; 5) 新疆哈密市国土资源局, 839000

内容提要:天山—阿尔泰东部地区是中国重要的铜镍成矿区, 近年来针对区内的铜镍矿床和相关岩体的研究不断取得进展, 找矿也取得了一系列新突破, 已经探明了十几个矿床和矿点。笔者基于以往研究成果, 结合目前地质勘查和找矿评价的新进展, 比较详细地全面总结了后碰撞铜镍硫化物矿床的基本特点、成矿规律和成矿过程, 并建立了描述性成矿模型。这些矿床沿一组平行的走向近东西的深大断裂分布, 与成矿有关的镁铁质—超镁铁质杂岩体一般不大于 5 km², 小的可为一个岩墙。矿化分两种类型: 通道型和熔离型。成矿时代为 298~270 Ma, 为中亚成矿带大规模成矿期的组成部分, 形成于后碰撞伸展阶段。与这组铜镍硫化物矿床有关的镁铁质—超镁铁质杂岩体可能是早二叠世大面积喷溢岩浆的残留根部或通道部分, 可能与地幔柱活动有关。另外, 针对区内的地质特征, 结合以往找矿的成功经验, 对区内进一步的找矿工作提出了一些设想和建议。

关键词:铜镍硫化物矿床; 后碰撞; 地幔柱; 天山—阿尔泰; 新疆

上一世纪 70 年代, 在阿尔泰东南部探明喀拉通克铜镍硫化物矿床, 在东天山黄山地区发现并探明了包括黄山、黄山东、香山、土墩、葫芦等在内的一系列铜镍硫化物矿床。近几年以来在铜镍硫化物找矿勘查方面又不断取得突破, 即在黄山矿带南侧的中天山北缘发现了白石泉、天宇和天香矿床(点), 在中天山以南的北山古生代裂谷中的坡北地区发现和探明了坡十、坡一和罗东三个矿床(点)。在黄山矿带的东端最近发现了图拉尔根铜镍矿床, 找矿前景颇好, 在西部探明了红岭矿床。通过对部分矿床中矿石的 Re-Os 同位素测年和与成矿有关基性岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年, 证明这些铜镍硫化物矿床形成于 298~270Ma 之间(李华芹等, 1998; 毛景文等, 2002; 韩宝福等, 2004; Zhou et al., 2004; 吴华等, 2005; 张作衡等, 2005), 为后碰撞岩石圈伸展阶段的产物。

在过去 20 多年, 不少学者对喀拉通克、白石泉、黄山和黄山东铜镍硫化物矿床进行了基本特点介绍、典型矿床解剖和找矿评价研究(王润民等, 1991;

潘长云等, 1991; Yan et al., 2003; Zhang et al., 2006), 局部或新疆北部地区的成矿规律研究(王福同等, 1992; 李文渊, 1996; 王登红等, 2000)以及对与成矿有关的镁铁质—超镁铁质岩石的成因及形成环境的探讨(倪志耀, 1992; 高怀忠等, 1992; 白云来, 2000; 申茂德, 2003; 张招崇等, 2003; Zhou et al., 2004; 柴凤梅等, 2006)。基于以往的研究成果, 结合目前地质勘查和找矿评价的新进展, 本文比较详细地全面总结了后碰撞铜镍硫化物矿床的基本特点、成矿规律、成矿过程和找矿方向。

1 区域地质背景

新疆东北部, 包括阿尔泰山、东准噶尔低山丘陵、准噶尔盆地和东天山, 位于北亚造山区(李锦轶等, 2006)或阿尔泰构造拼合体(Altaid Tectonic Collage)(Sengör et al., 1993)的南部边缘。该区的主要构造特征表现为晚古生代北西走向和近东西向线形造山带与前震旦纪地块镶嵌(Li Jinyi et al., 2003), 其前身为古生代期间发育的古亚洲洋。该区

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40402012)和国土资源大调查项目(编号 1212010561506)的成果。

收稿日期: 2006-01-19; 改回日期: 2006-04-11; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 毛景文, 男, 1956 年生, 1988 年 7 月于中国地质科学院获博士学位。研究员。主要从事金属矿床成矿作用和矿产勘查研究。通讯地址: 100037; 北京市百万庄大街 26 号; 电话: 010-68327333; Email: jingwenmao@263.net。

的地质构造单元从北向南依次为阿尔泰造山系、东准噶尔造山系、准噶尔地块、博格达造山带、吐哈盆地、东天山造山系和北山造山系(李锦轶等, 2006)。

该区的地质历史可以大体划分为前震旦纪、震旦纪至石炭纪和二叠纪以来等构造阶段。其中前震旦纪根据目前的地质资料又可以进一步划分为太古代—古元古代古陆块基底形成阶段和中元古代—新元古代早期塔里木古陆基底及天山等地的古陆碎块基底岩系形成阶段, 分别对应着全球大陆演化过程中的哥伦比亚超大陆和罗迪尼亚超大陆的形成阶段。新元古代中期, 伴随罗迪尼亚超大陆的解体, 包括新疆在内的中亚地区古生代洋盆形成, 塔里木古陆和新疆北部镶嵌在线状造山系中的古陆块成为古洋盆中的独立大陆块体。震旦纪至寒武纪, 是该古洋盆持续扩张时期。奥陶纪开始, 该古洋盆开始收缩, 直到石炭纪晚期, 被洋盆分隔的规模大小不等的古陆聚合在一起, 形成了中亚地区统一的大陆地壳。

二叠纪以来, 是中亚地区大陆地壳陆内演化阶段。根据区域地质背景, 又可以进一步划分为二叠纪至三叠纪初期、三叠纪晚期至新近纪和第四纪以来等演化阶段。一般认为, 二叠纪是该区地壳演化的后碰撞阶段, 除了聚合在一起的古陆块体之间的持续相互作用外, 幔源岩浆活动是该区的一个突出特征。

三叠纪晚期至侏罗纪期间, 该区地壳演化主要受区域上古太平洋(蒙古—鄂霍茨克造山带前身的洋盆)和古特提斯洋(昆仑山前身的洋盆)持续收缩和关闭的影响。白垩纪至新近纪, 是该区地质历史上比较平静稳定的发展时期。更新世开始, 由于受到印度与欧亚大陆碰撞的影响, 该区发生了比较强烈的陆内造山作用, 形成了现今所见的盆山格局。

2 铜镍硫化物矿床分布及典型矿床的地质特征

新疆北部是中国, 也是全球铜镍硫化物矿床分布最密集的地区之一, 到目前为止, 已经发现和探明铜镍硫化物矿床和矿点 19 处, 包括上世纪 70~80 年代探明的黄山、黄山东、香山、黄山南、土墩、二红洼、喀拉通克、兴地和菁布拉克; 最近几年发现的红岭、白石泉、天宇、天香、图拉尔根、坡十、坡一、罗东等(图 1、表 1)。由于勘查程度较低, 探明的储量均为中、小型, 尽管黄山东和喀拉通克按照中国现行储量标准也属于大型, 但与我国金川、加拿大 Sudbury 和 Voisey's Bay, 俄罗斯的 Noril'sk 这些世界级矿床无法比拟。除了兴地和菁布拉克矿床(注: 这两个矿床的成矿时代有争议), 绝大多数铜镍硫化物矿床在后碰撞环境形成, 主要出现在阿尔泰南部的喀拉

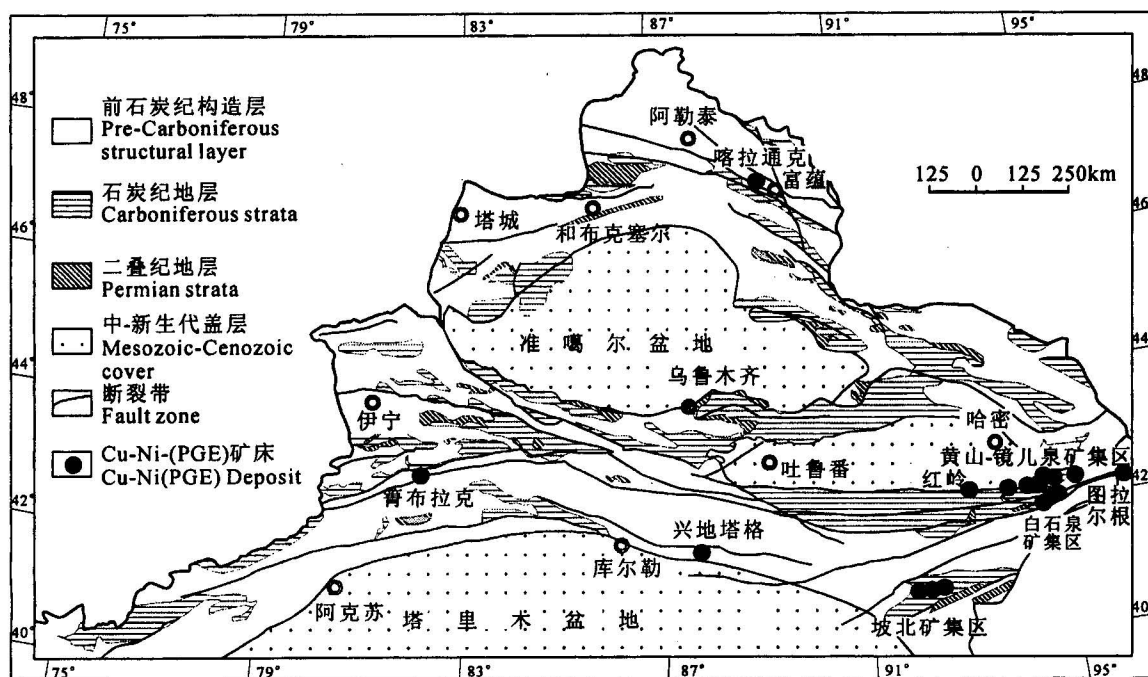


图 1 新疆北部铜镍硫化物矿床分布图(底图取自王京彬等, 2006)

Fig. 1 Map showing the distribution of Cu—Ni sulfide deposits in North Xinjiang (original base map from Wang Jingbin et al., 2006)

表 1 新疆天山—阿尔泰东部主要 Cu—Ni—(PGE)矿床基本特征一览表
Table 1 Basic characteristics of major Cu—Ni—(PGE) deposits in eastern Tianshan—Altaid of Xinjiang, China

矿集区名称 及地理位置	构造位置	矿床	岩体规模: 长×宽(km ²)	储量(万吨) /品位	含矿岩石	矿体 形态	矿石类型	岩体围岩
喀拉通克矿区 E: 89°40'32"~ 89°42' 04", N: 46°44'34"~ 46°45'31" 阿尔泰地区富蕴县 ^①	阿尔泰加里东褶皱系与准噶尔海西褶皱系结合部位	I	0.7×0.29	Cu: 23.2/1.4%; Ni: 15.4/0.88%	黑云角闪橄榄 苏长岩、角闪辉 长岩	漏斗状	浸染状、块状为 主,次为胶结 状、脉状	下石炭统南明水 组碎屑岩夹火山 岩
		II	0.875×0.52	Cu: 10.6/1.1%; Ni: 5.0/0.6%	黑云角闪苏长 岩、黑云角闪辉 长岩	脉状	浸染状为主,团 斑状、块状次之	
		III	1.3×0.2	Cu: 8.1/1.1%; Ni: 4.6/0.6%	角闪辉长岩、角 闪苏长岩	透镜状	团斑状、浸染状	
黄山—镜儿泉 E: 94°00'~95°00' N: 42°00'~42°20' 哈密地区哈密市 ^②	塔里木板 块北缘的 弧间盆地 中	黄山东	5.3×1.12	Cu: 18.8/0.3%; Ni: 36/0.52%	辉长苏长岩、角 闪二辉橄榄岩	透镜状、 似层状	浸染状为主、致 密块状、网脉状	C ₁ 干墩群浊积岩
		黄山	3.8×8	Cu: 21/0.31%; Ni: 32/0.49%	角闪辉长岩、角 闪二辉橄榄岩	彗星形	浸染状为主、致 密块状、网脉状	
		土墩	1.4×0.7	Cu: 0.3/0.2%; Ni: 1.5/0.3%	角闪橄榄岩、角 闪辉长岩、苏长 岩	透镜状	浸染状	
		香山	10×3.5	Cu: 2/0.3%;Ni: 4/0.5%	角闪单辉橄榄 岩、辉石岩、角 闪辉长岩	藕节状	浸染状、致密块 状	C ₁ 梧桐窝子组火 山岩
		图拉尔根	岩墙群	Cu: /0.27%;Ni: 10 /0.24%~ 0.42%	辉长岩、角闪橄 榄辉长岩	板状	浸染状	石炭系土墩组浊 积岩夹火山岩
		红岭	0.4×0.5	Cu: /0.27%; Ni:/0.24%~ 0.42%	超镁铁质岩(未 分)	脉状	细脉状、浸染状	C ₁ 雅满苏组凝灰 质砂岩、火山碎屑 岩
		二红洼	南:3.3×2.56 北:1.72×1.74	Cu: 0.4/0.2%; Ni:1.8/0.2%	二辉橄榄岩、辉 长苏长岩、橄榄 辉长岩	不规则 圆形	浸染状	C ₁ 干洞组变质长 石石英砂岩
白石泉矿区 E: 94° 55'~95°01', N: 41° 55'~41°59' 哈密地区哈密市 ^③	塔里木板 块与中天 山地块接 合部位	白石泉	1.6×0.4~0.7	Cu: 7.01/ 0.48%; Ni: 9.43/0.32%	橄辉岩与辉石 岩	脉状、透 镜状	稀疏浸染状,网 脉状	中元古界星星峡 组与卡瓦布拉克 组变质岩
坡北矿集区 E: 91° 27'~91°50', N: 40° 32'~40°43' 巴州若羌县 ^④	北山海西 期裂谷	坡十	2×1.6	Ni: 14.7/ 0.3% ~0.6%	斜长二辉辉石 岩、斜长橄榄岩	弧型或 近似盆 状	块状、浸染状	下石炭统红柳园 组片岩夹火山碎 屑岩

注:①根据王润民等(1991)、王登红等(2000)、Yan 等(2003)和新疆地矿局第四地质大队^①等文献综合;②根据王润民等(1987)、Qin et al. (2003)、新疆地矿局第六地质大队^②、新疆地质矿产局物化探大队^③和三金柱等(2003)等文献综合;③根据吴华等(2005)、柴凤梅等(2006)和新疆地矿局第六地质大队^④等文献综合;④根据李鸿儒(1994)、杨甲全等(2002)和李华芹等(2006)等综合。

通克矿集区、东天山地区的黄山—镜儿泉成矿带、东天山白石泉—天宇矿集区和北山裂谷中的坡北矿集区。新疆后碰撞铜镍硫化物矿床可以分为两个大类,即熔离型和通道型(conduit type)。熔离型矿床就是在岩浆定位后,发生强烈的结晶分异作用和熔离作用,铜镍金属硫化物矿浆从岩浆中分离出来,下沉到岩浆房的底部或下部成矿。典型例子有黄山、黄山东、香山和坡十矿床。通道型矿床是在下部岩浆房内通过结晶分异和熔离作用,形成了含矿岩浆,然后再一次或多次沿断裂向上侵位,含矿岩浆在通道凝固,

形成全岩矿化或大部分岩体内都是具工业品位的矿石,汤中立等(1995)强调的这种小岩体成大矿,例如,图拉尔根、白石泉和天宇等。

2.1 喀拉通克矿集区

喀拉通克矿集区位于阿尔泰南部,距富蕴县城东南 28 km,由新疆地质勘查开发局第四地质队 1978 年发现,1985 年完成地质勘查。在喀拉通克矿区探明铜 42 万吨,镍 24 万吨,钴 4000 多吨以及 2.5 吨铂和 3.4 吨钯(Yan et al., 2003)。1989 年建矿以来一直在开采。

喀拉通克矿集区位于额尔齐斯区域大断裂的南侧,该大断裂是阿尔泰加里东造山带与准噶尔海西造山带的分界(Coleman et al., 1989; 黄汲清等, 1990)。一套与成矿有关的镁铁质—超镁铁质岩体沿

萨尔布拉克—萨色克巴斯陶向复式向斜和断裂发育(图 2a),这些褶皱和与之平行的断裂可分为 NW 向和 NWN 向。区内出露的地层有下石炭统南明水组,包括下部的红色泥质砂岩、泥质板岩和灰绿色凝灰

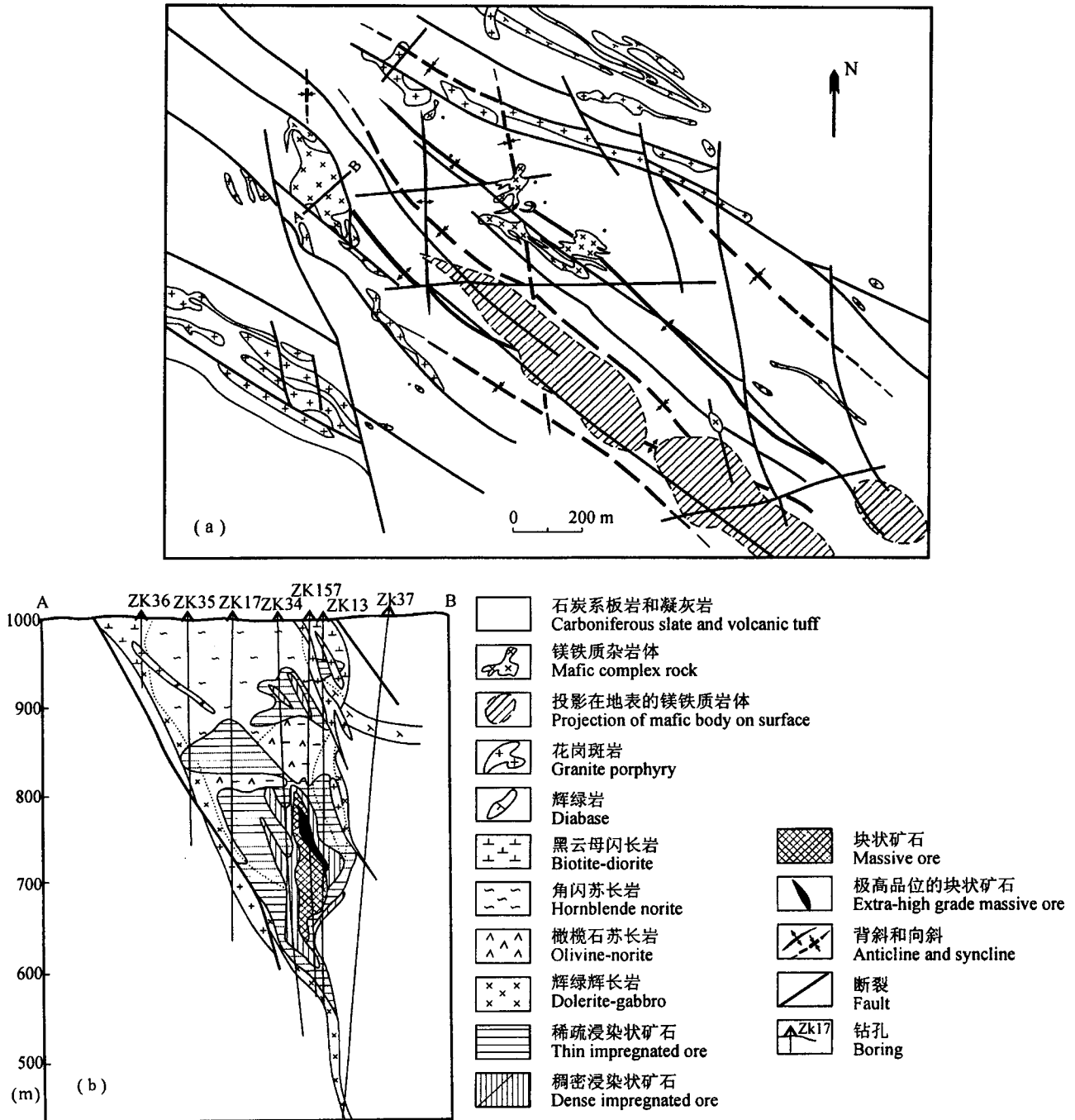


图 2 喀拉通克铜镍硫化物矿田镁铁质—超镁铁质杂岩的分布图(a)和 I 号岩体及喀拉通克主矿体的剖面图(b)

(转引自 Yan et al., 2003, 原图为新疆地质矿产局第四地质队, 1985)

Fig. 2 Map showing the distribution of mafic—ultramafic complex in the Kalatongke Cu—Ni sulfide ore district (a) and cross section of No. 1 mafic—ultramafic complex and related the largest Cu—Ni sulfide orebody (after Yan et al., 2003, the original map from No. 4 Geological Team, Xinjiang Bureau of Geology, Mineral Resources and Development, 1985)

质板岩夹灰岩和硅质岩。中部为灰色—灰黄色沉积—火山角砾岩,暗灰色含碳凝灰岩夹安山岩和凝灰质硅质岩。上部是灰黄色沉凝灰岩、暗灰色含碳质板岩和少量灰岩夹碱性玄武岩、玄武质安粗岩和安山岩。地层厚度大于450m(Yan et al., 2003)。

在喀拉通克矿集区有11个镁铁质—超镁铁质杂岩体,侵入于石炭系南明水组中—上部的板岩和凝灰岩中。根据岩体侵位的背斜构造可以分为北岩带和南岩带,I、II和III号岩体组成南岩带,其中的岩体大部分呈隐伏状态,只有I号岩体的小部分出露地表。这几个岩体分异程度高,伴随着强烈的矿化。北岩带包括IV~IX号六个杂岩体,也是局部出露,但与南岩带相比较,北岩带岩体分异程度差,没有工业性矿体被发现。

I号岩体在地表呈不规则的透镜体,695m长,39~289m宽。岩体走向333°,倾向北东60°~85°。在剖面上形如炉状,向下尖灭(图2b)。王润民等(1991)的研究表明从地表向下,岩石的镁铁质程度增强,从上到下有:富黑云母闪长岩,黑云母闪石苏长岩,黑云母闪石橄榄苏长岩和黑云母闪石辉长岩。镁铁质组分高的岩石通常含有橄榄石,而上部长英质组分高的岩石含石英。镁铁质组分高的岩石通常含矿。在I号岩体探明铜23.2万吨,镍15.4万吨,矿石平均品位分别为1.4%和0.88%。矿石可以分为稀疏浸染状、稠密浸染状、块状构造,通常以后者为核心具有分带现象(图2b)。在矿体中出现致密块状特富矿石,镍品位达6.5%,铜为11.2%。这种特富矿体与围岩以及其浸染状矿体呈明显的穿插和切割关系,表明出熔离贯入的特点。I号岩体的南东400m,长1400m,宽39~200m,长轴走向300°,向北东倾斜70°~80°,剖面上形似藕节。岩体也有比较清楚的分带,其分带模式与I号岩体相似。在II号岩体中发现有两个矿体,其一,1000m长,100m厚,围岩为黑云母闪石橄榄苏长岩;其二,类似I号岩体,矿化出现在岩体的底部。整体矿石比较贫,为浸染状。III号岩体位于最南东端,1320m长,200~420m宽。岩体中的岩相分带与前两个类似,矿体出现于岩体的底部,1000m长,20m厚。在II号和III号岩体中探明铜18.7万吨,镍9.6万吨,相应品位分别为1.1%和0.6%。

矿石主要由硫化物、砷化物、碲化物、氧化物、自然金属及金属互化物等组成。主要矿物有磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿,次要和微量矿物有磁铁矿、黄铁矿、紫硫镍矿和钛铁矿以及少量的闪锌矿、方铅矿、

硫锰矿、墨铜矿、斑铜矿、方钴矿等矿物和自然金、自然银、银金矿、碲银矿、碲镍铂钨矿、碲钨矿、镍碲钨矿、银碲碲钨矿、砷铂矿等贵金属矿物,共计发现50余种矿物。

2.2 黄山—镜儿泉矿带

黄山—镜儿泉是目前新疆探明的最大铜镍硫化物矿带,东部有新发现的图拉尔根铜镍硫化物矿床(三金柱等,2003),西部有红岭矿床(图1),中部有黄山、黄山东、黄山南、香山、二红洼和土墩等矿床(图3)。该矿带长达200多千米,沿康古尔塔格大断裂分布。与之有关的镁铁质—超镁铁质岩体和岩墙断续分布,岩体呈东西拉长的扁豆状或透镜状。岩体出露面积小,一般2~6km²,部分岩体实际上是岩浆侵入时的通道,岩体通常分异程度较高。这些岩体和岩墙的围岩为石炭统干墩群和中石炭统梧桐窝子群或企鹅山群,前者以浊积岩为主夹少量灰岩和少量火山岩,后者是一套玄武—安山质火山岩、细碧岩—角斑岩、安山质凝灰岩夹凝灰质砂岩和砂砾岩。

2.2.1 黄山东矿床

黄山东是黄山—镜儿泉成矿带中最大和具有代表性的矿床,位于哈密市东南160km处。黄山东镁铁质—超镁铁质岩体侵入中石炭统干墩群浊积岩中,为一个分异好的岩体(图4a),出露面积2.8km²,由二辉橄榄岩—辉石角闪橄榄岩相、辉石苏长岩相和闪长岩相(倪志耀,1992)组成。根据王润民等(1987)研究,黄山东杂岩体为同期多阶段侵入的复式岩体,可分为三个阶段:第一阶段为主体的辉长岩,包括橄榄辉长岩、角闪辉长闪长岩、钛铁辉长岩和闪长岩,具有火成堆积韵律层理和条带构造;第二阶段为暗色橄榄辉长苏长岩,分布在辉长岩的西部和南北两侧;第三阶段为橄榄岩,包括二辉橄榄岩—辉石角闪橄榄岩。矿体在剖面上的形态为条带状、透镜状、似层状及脉状。矿体规模不等,长度120~1140m,厚度15.5~30.6m(王志辉等,1986)。矿体产出有四种形式:一是在超镁铁质岩相的中—下部呈悬浮体(图4b),二是在超镁铁质岩相的底部或边部与辉长岩的接触带上,三是在辉长苏长岩相中呈陡倾斜的侧幕状排列,四是在辉长岩相中呈富铜的小矿脉,第一种构成工业性矿体。矿石有三种类型,即块状硫化物、稠密浸染状和稀疏浸染状。块状硫化物矿石又可以分为块状磁黄铁矿—镍黄铁矿矿石、磁黄铁矿—镍黄铁矿—黄铜矿矿石和黄铜矿—镍黄铁矿矿石以及晚期的纯黄铜矿脉。黄铜矿、镍黄铁矿

品位较高, $\text{Cu} + \text{Ni} > 1\%$ 。(3)脉状矿体赋存于各岩相的裂隙中,由硫化物细脉或含硫化物的石英脉或碳酸盐脉组成,矿体规模小, $\text{Cu} + \text{Ni}$ 大约为 1% , $\text{Cu}/\text{Ni} > 1$ 。矿石矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、针镍矿、紫硫镍矿、黄铁矿、白铁矿、方黄铜矿、辉铁镍矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、铬尖晶石、辉砷钴镍矿、红砷镍矿、叶砷铋矿和辉砷铋矿。

最近,据张家新(2003)和王玉往等(2006)报道,在香山西不仅有铜镍硫化物矿体,而且还有钛铁矿体,按 TiO_2 边界品位 5% 可以圈定 5 条矿体,一般长 $400 \sim 1000\text{m}$,厚 $1 \sim 15\text{m}$,延伸 $100 \sim 250\text{m}$, TiO_2 品位 $5\% \sim 8.4\%$, TFE 品位 $9\% \sim 19\%$, V_2O_5

品位 $0.1\% \sim 0.3\%$ 。矿体在平面上呈脉状和透镜状,剖面上为似层状,为产于角闪辉长岩中的浸染状钛铁矿辉长岩,因此,矿体与围岩的界面不清楚。矿石矿物主要为钛铁矿、钛磁铁矿和磁铁矿,还有少量的赤铁矿、菱铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、钛铁晶石和钙钛矿(王玉往等,2006)。在香山西,尽管铜镍硫化物矿与钛磁铁矿共存,但两者矿体是各自分离的,即使在同一阶段辉长岩体中可以看到两种类型矿石各自成条带状出现,对于引起这种共存分离的矿化现象的机制有待于进一步研究。

2.2.3 图拉尔根矿床

图拉尔根系新疆有色地勘局七〇四地质队在实

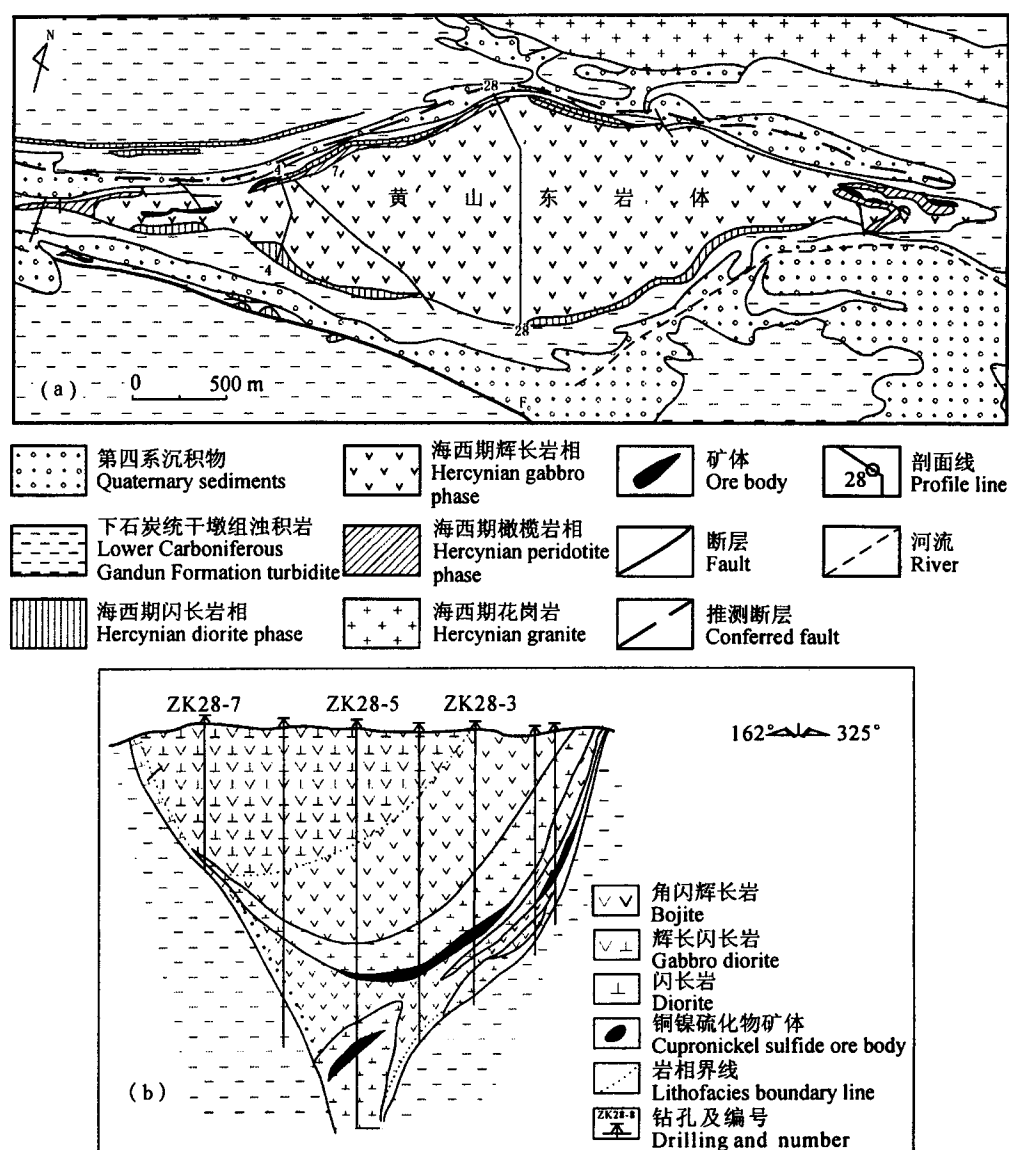


图 4 黄山东镁铁质—超镁铁质杂岩体及铜镍硫化物矿床平面图(a)和剖面图(b)(据王润民等,1987)

Fig. 4 Plan (a) and cross section (b) of Huangshandong mafic—ultramafic complex and related Cu—Ni sulfide deposit (after Wang Ruimin et al., 1987)

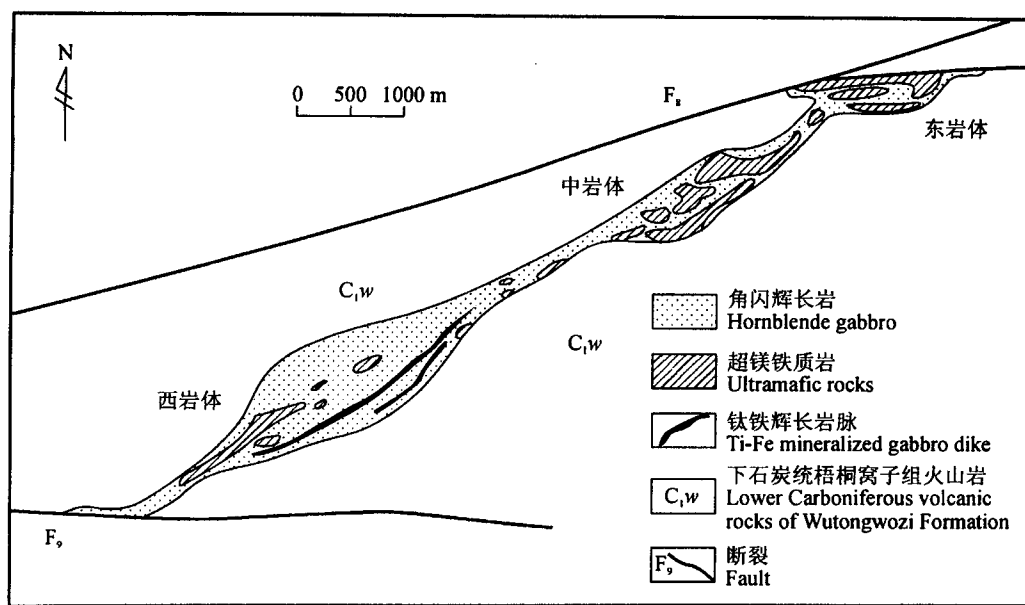


图 5 香山矿区镁铁质—超镁铁质杂岩分布图(据竺国强等,1995;王玉往等,2006)

Fig. 5 Map showing the distribution of the mafic-ultramafic complex in the Xiangshan mine (after Zhu Guoqiang et al., 1995; Wang Yuwang et al., 2006)

施国家地质大调查项目时于 2002 年检查化探异常时发现的一个铜镍硫化物矿床(三金柱等,2003)。该矿床位于黄山—镜儿泉矿带的最东边,位于哈密市东约 200km(肖骑彬等,2005)。矿区主要出露的地层为石炭系土墩组浊积岩夹火山岩,在康古尔塔格断裂北侧的地层为泥盆系大南湖组火山岩(图 6a)。在矿区南部发育一个晚古生代花岗质岩体,矿区内部有一组 NWW—近 EW 向的晚古生代花岗闪长岩、安山玢岩、闪长玢岩和花岗斑岩墙或小岩体以及镁铁质—超镁铁质杂岩体。在杂岩体中有角闪橄榄岩、斜辉橄榄岩和角闪辉长岩等。铜镍硫化物矿体出现在辉长岩相与角闪橄榄岩相接触带的角闪橄榄岩相一侧。矿体与围岩呈渐变关系,产状与岩体一致(图 6b),延伸稳定,在地表长 740m,厚 5~12m,钻孔在深部控制厚度达 31m,Ni 平均品位 0.24%~0.42%,Cu 平均 0.27%,Co 平均 0.024%(三金柱等,2003),目前控制储量 10 万吨镍,目前仍然处于勘查阶段。与矿化有关的蚀变有蛇纹石化、滑石化、绿帘石化和透闪石化,在地表还有孔雀石化、褐铁矿化和黄钾铁矾化。矿石矿物主要有磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿等。

2.2.4 红岭矿床

红岭镍矿位于黄山—镜儿泉成矿带的西部,康古尔塔格断裂以南。位于哈密市西南约 120km 处。

由新疆地矿局物化探大队 1991 年在进行航空物探地面检查时发现,并进行了初步评价,1996 年进行了普查评价。矿区内出露的地层主要为下石炭统雅满苏组下亚层,主要岩性为凝灰质砂岩、火山碎屑岩夹灰岩。矿区内的侵入岩以超镁铁质岩和钠长斑岩以及石英斑岩脉。超镁铁质岩分为 I 和 II 号两个岩体,岩体近东西走向。西部的 I 号岩体地表长 180m,宽 30m,东部的 II 号岩体地表长大于 400m,宽约 40~50m。岩体呈长条形,向北陡倾,倾角 70°~85°。岩体位于断裂破碎带内,发育有蛇纹石化和滑石化蚀变。在 II 号岩体的底部发育有铜镍矿体,矿体与下盘地层为断层接触。矿体地表长 200m,厚度约 5~15m,呈脉状近东西向展布,倾角为 70°~85°。镍的品位为 0.4%~0.8%,最高可达 1.1%,铜品位为 0.15%~0.5%,最高可达 0.77%^②,目前正在勘查之中。矿石主要呈细脉—网脉状、浸染状和块状。主要的矿石矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿和蓝铜矿等,地表褐铁矿化和黄钾铁矾化发育。主要脉石矿物为蛇纹石、滑石、绿泥石、碳酸盐等。

2.3 白石泉矿集区

白石泉铜镍硫化物矿集区地处新疆哈密市东南约 170km 处,构造位置位于中天山地块北缘、沙泉子大断裂南侧,后者是觉罗塔格晚古生代褶皱带与中天山地块的分界。在矿集区内有白石泉、天宇和天

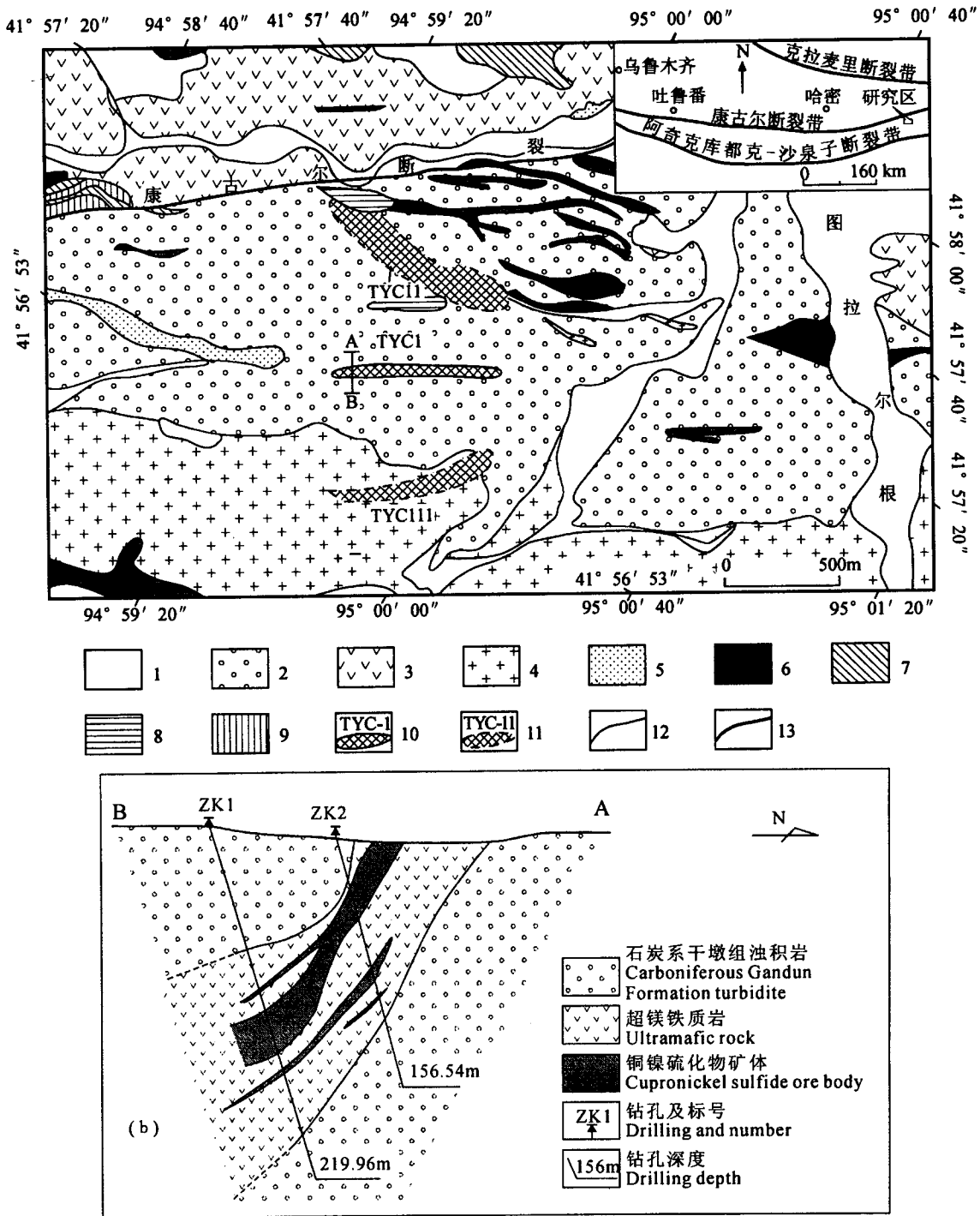


图 6 图拉尔根铜镍硫化物矿床地质平面图(a)和剖面图(b)(根据肖骑彬等,2005 修改)

Fig. 6 Plan (a) and cross section (b) of the Tulaergen Cu—Ni sulfide deposit (modified from Xiao Qibin et al. , 2005)

香三个矿床和矿点,都是属于通道型矿化。这三个矿床(点)都是近年来由新疆地质矿产勘查开发局在实施地质大调查过程中发现并进行初步评价,进一步的勘查工作正在进行之中。这三个矿床相距比较近,具有类似的成矿特征和背景。

白石泉是新疆地质矿产勘查开发局第六地质队在 2002 年进行矿产普查工作时,于中天山地块内发现的第一个 Cu—Ni 硫化物矿床。出露的地层为中元古界长城系星星峡组和蓟县系卡瓦布拉克组变质岩系。前者为一套滨海相—浅海相碎屑岩建造,岩性

组合为一套片岩、片麻岩及薄层大理岩,后者为一套浅海相细碎屑岩,岩性组合为绿泥石石英片岩、绢云母石英片岩、石英岩和大理岩,两者以断层接触(吴华等,2005)。区内构造比较简单,以沙泉子深大断裂及其派生的一系列次级断裂为主。在矿区有 20 个大小不等的小岩体,地表出露面积不大,最大的岩体为 0.8km^2 。岩体地表出露形态较为复杂,其中部出露较为完整的闪长岩,呈长轴为近北东—南西向的近似椭圆状,超基性岩体多呈脉状产于闪长岩中部及边部(图 7)。白石泉镁铁—超镁铁质杂岩体岩相复杂,根据各岩相的穿插关系可划分为两个侵入阶段共七个岩相带。第一侵入阶段为白石泉岩体出露的主体部分,约占总面积的 90%,包括闪长岩相、辉长岩相、辉长苏长岩相,且三者之间没有明显的界线。其中,闪长岩相成近似椭圆状产出,与围岩有明显的侵入接触关系,边部围岩伴有硅化、绿泥石化、角岩化,岩石类型有石英闪长岩、斑状闪长岩及辉长闪长岩;辉长岩相分布面积不大,仅分布于岩体南部的局部地段,主要有角闪辉长岩及蚀变辉长岩;辉长苏长岩相主要出露于岩体的东南部及中部,以地表球状

风化为主要特征,辉长苏长岩和细晶黑云母苏长岩为主要岩石类型(柴凤梅等,2006)。

目前,已经发现铜镍硫化物矿体 14 个,其中 5 个地表氧化矿体和 9 个盲矿体(吴华等,2005)。前者主要分布在矿区中部闪长岩体边部,伴随超镁铁质岩墙侵入闪长岩体而形成铜镍硫化物矿化;后者主要分布在规模相对大的超镁铁质岩体南部。与矿化有关的辉石岩普遍遭受纤闪石化、绿泥石化、绢云母化、褐铁矿化、磁铁矿化、镍黄铁矿化。矿体形态多为条带状、脉状,主要矿石矿物为黄铜矿、镍黄铁矿、自然铜、黄铁矿和辉铜矿。脉石矿物为橄榄石、辉石、斜长石、纤闪石、绿泥石、绢云母等。矿石以稀疏浸染状为主,平均品位:Cu $0.225\%\sim 0.44\%$, Ni $0.2\%\sim 0.57\%$, Co $0.01\%\sim 0.03\%$ 。

2.4 坡北矿集区

坡北矿集区位于罗布泊东北的北山海西期裂谷带内。与成矿有关的镁铁质—超镁铁质杂岩带是国家三〇五项目于 1989 年发现,该岩带沿 NEE 白地洼深大断裂南北两侧分布,由 20 多个镁铁质—超镁

铁质岩体组成(图 8),分布范围长 16km ,宽 8km (高怀忠,1992;李鸿儒,1994)。在过去几年,新疆地质矿产勘查开发局第六地质队通过找矿评价,发现了坡一和坡十两个铜镍硫化物矿床。2004 年杨建民等通过遥感解译和野外查证,在该岩带西端,白地洼断裂北侧发现了眼球状的罗东岩体及其地表的铜镍硫化物矿化,次年第六地质队探明为一个新矿点(图 8),进一步的勘探正在进行之中。在矿集区内出露的地层有下石炭统红柳园组片岩夹火山碎屑岩、中石炭统茅头山组条带状混合岩、凝灰岩夹大理岩和上石炭统胜利泉组浅变质岩夹正常碎屑岩、火山碎屑岩和熔岩(杨甲全等,2002)。

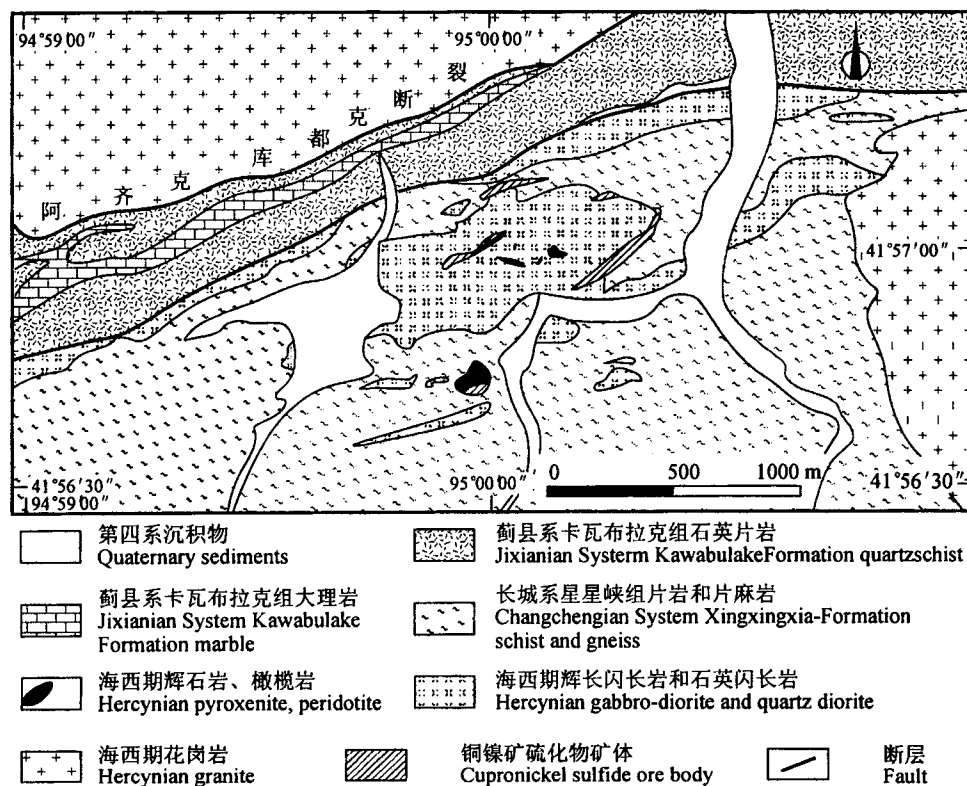


图 7 白石泉铜镍硫化物矿床地质图(据吴华等,2005;柴凤梅等,2006;毛启贵等,2006)

Fig. 7 Geological map of the Baishiquan Cu—Ni sulfide deposit
(modified from Wu Hua et al., 2005; Chai Fengmei et al., 2006;
Mao Qigui et al., 2006)

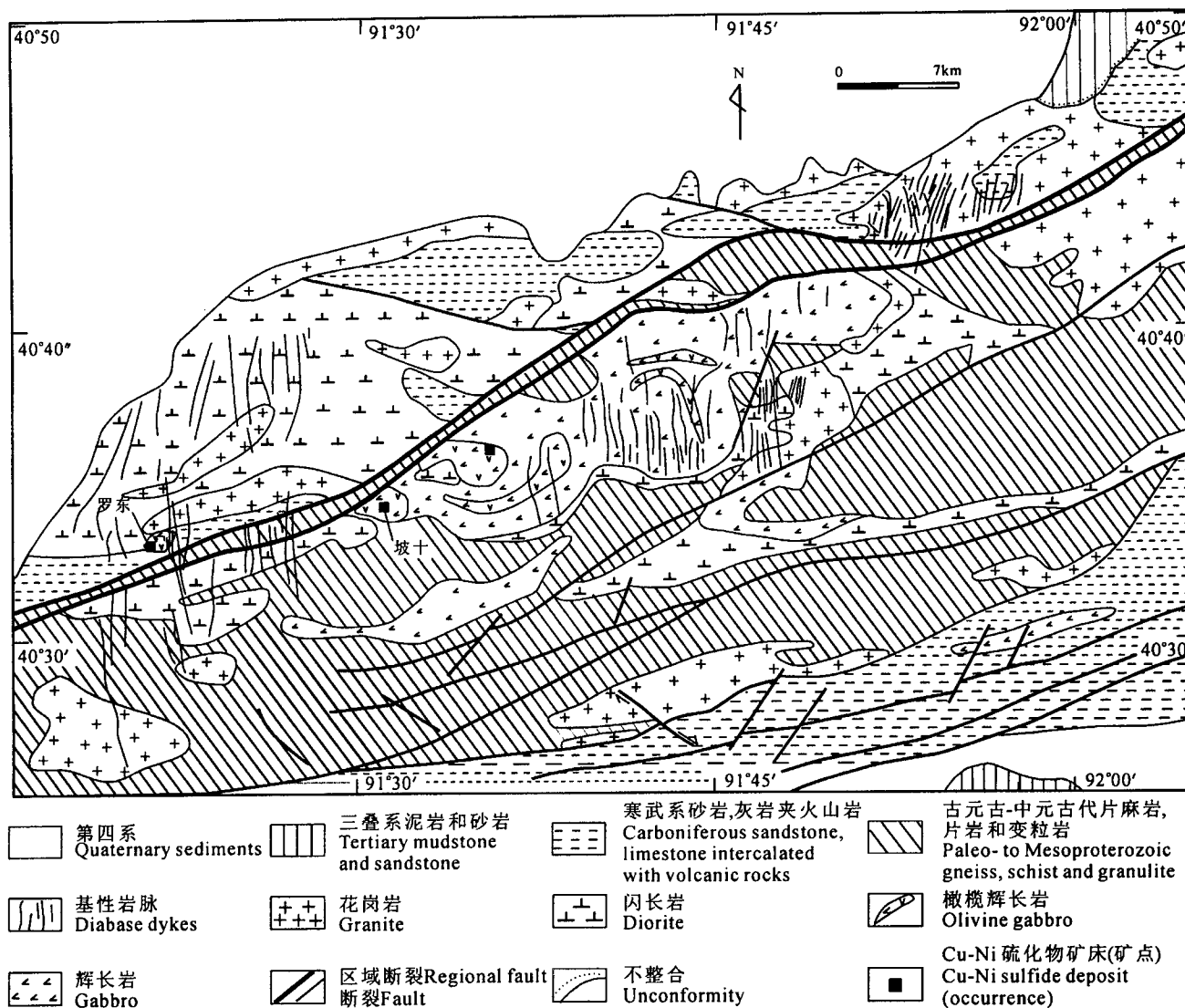


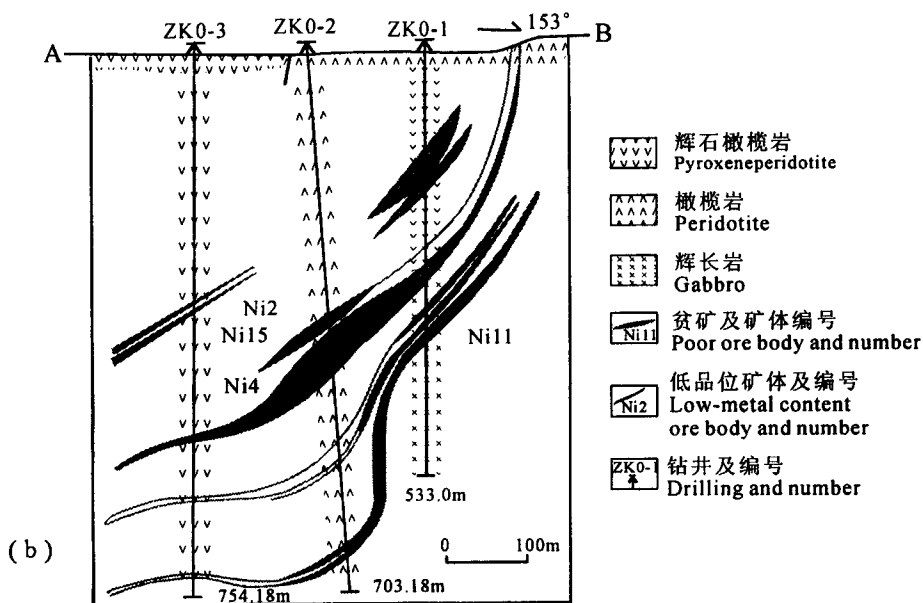
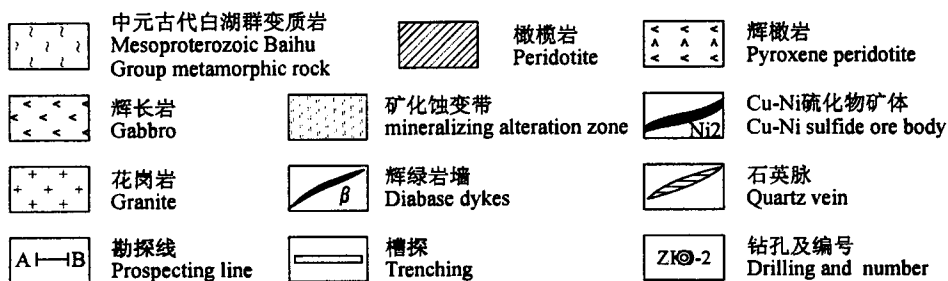
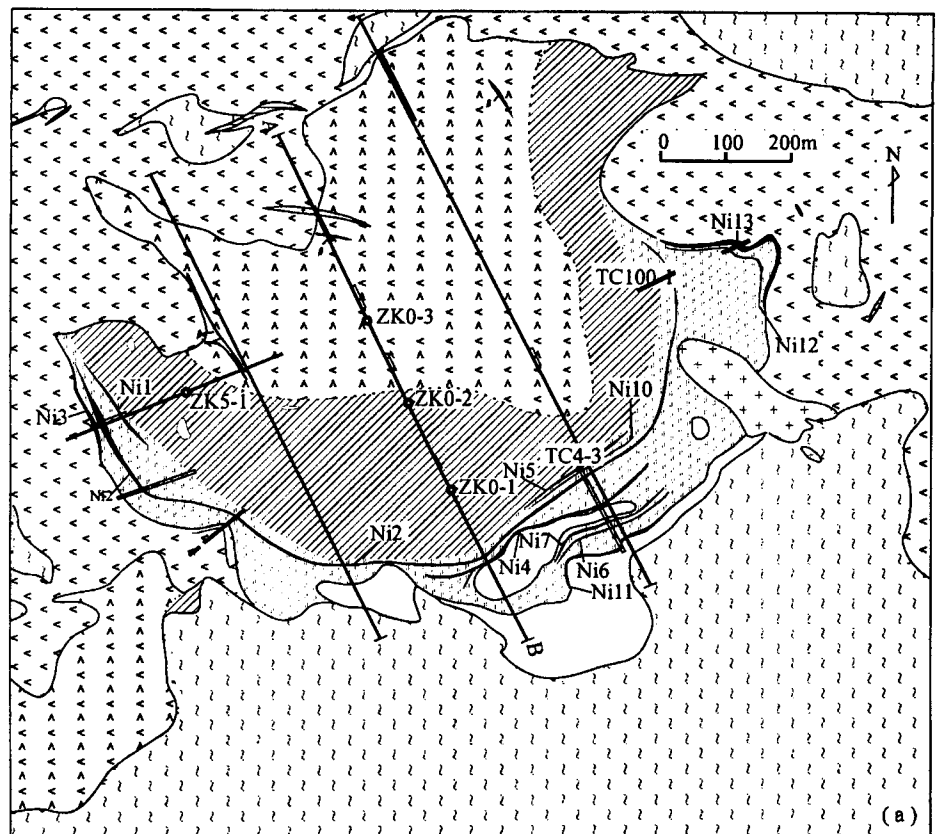
图 8 坡北地区地质略图及铜镍硫化物分布图(根据 1:20 万地质图和有关资料编制)

Fig. 8 Sketch map of geology and distribution of Cu—Ni sulfide deposits in the Pobei area, Beishan Variscan rift (compiled from the geological map at scale of 1:200,000 and the other related data)

坡一和坡十杂岩体位于白地洼深大断裂南侧,好似两个超镁铁质岩体侵位于一个比较大的辉长岩体之中。坡一岩体位于岩带中段,侵位于石炭系下统红柳园组及早期细粒辉长苏长岩中,岩体平面形态呈不规则梯形,东西长达 3.2km,南北宽约 1.08km,出路面积 3.6km²。南部较缓,倾角约 40°,东北部较陡,倾角为 70°。坡十岩体位于坡一岩体西侧,东西长约 2km,南北宽 1.6km,约 3.2 km²,平面为一个椭圆状(图 9a)。两个岩体岩相分带明显而且相似,从中心向外有橄榄岩、辉石岩和辉橄岩,橄榄辉长岩和辉长苏长岩(图 9a)。罗东杂岩体位于矿集区的西部,白地洼深大断裂北侧,形似一个大眼睛

(图 10),370m 长,210m 宽,大部分面积为辉长岩和橄榄辉长岩,超镁铁质岩,包括橄榄岩、辉橄岩和辉石岩相对较晚侵位,最晚是 NS 向和 NW 向辉绿岩墙。矿化与橄榄岩密切相关,目前正在勘查之中。

尽管坡一岩体矿化异常明显,经过钻探也圈定了几个矿体,但是在矿体中很难见到硫化物,绝大多数镍赋存在橄榄石中。因此,坡一目前不构成工业价值的矿床。在坡十已经探明了一个具有工业价值的镍矿床,其赋矿围岩为斜长二辉辉石岩、斜长橄榄岩和橄榄岩。这些超镁铁质岩位于中心,向外有橄榄辉长苏长岩、橄榄辉长岩和辉长岩。在坡十杂岩体的地表圈定了 4 个矿体和钻探发现 5 个隐伏矿体。在地



表矿体呈半圆状(图 9a)出现在橄榄质岩相与辉长岩之间的靠橄榄质岩相一侧。矿体各处产状均显示,矿体倾向岩体中心,倾角 $22^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 不等。矿体主要产于二辉(角闪)橄榄岩中下部或底部,呈悬浮状产出。矿体形态与岩体底部形态基本相似,呈弧形或近似盆状产出(图 9b)。矿石镍品位一般 $0.3\% \sim 0.6\%$,局部较富,镍品位达 0.96% ,并见底部熔离型矿体及脉状贯入型镍矿脉。矿石中铜、钴含量较低,一般达不到边界品位,只有局部镍含量较高时(镍含量 $> 0.6\%$),铜、钴品位则可达边界品位以上。在坡十岩体,工程控制镍资源量 14.7 万吨,进一步的勘查正在进行之中。矿石矿物主要有:镍黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、铬尖晶石,其次含极少量墨铜矿、斑铜矿、针镍矿。脉

图 9 坡十铜镍硫化物矿区镁铁质—超镁铁质杂岩和矿体平面图(a)和剖面图(b)

(根据新疆地质矿产勘查开发局第六地质队原图修编,2005)

Fig. 9 Plan (a) and cross section (b) of the Poshu mafic-ultramafic complex and orebodies (modified after No. 6 Geological Team, Xinjiang Bureau of Geology, Mineral Resources and Development, 2005)

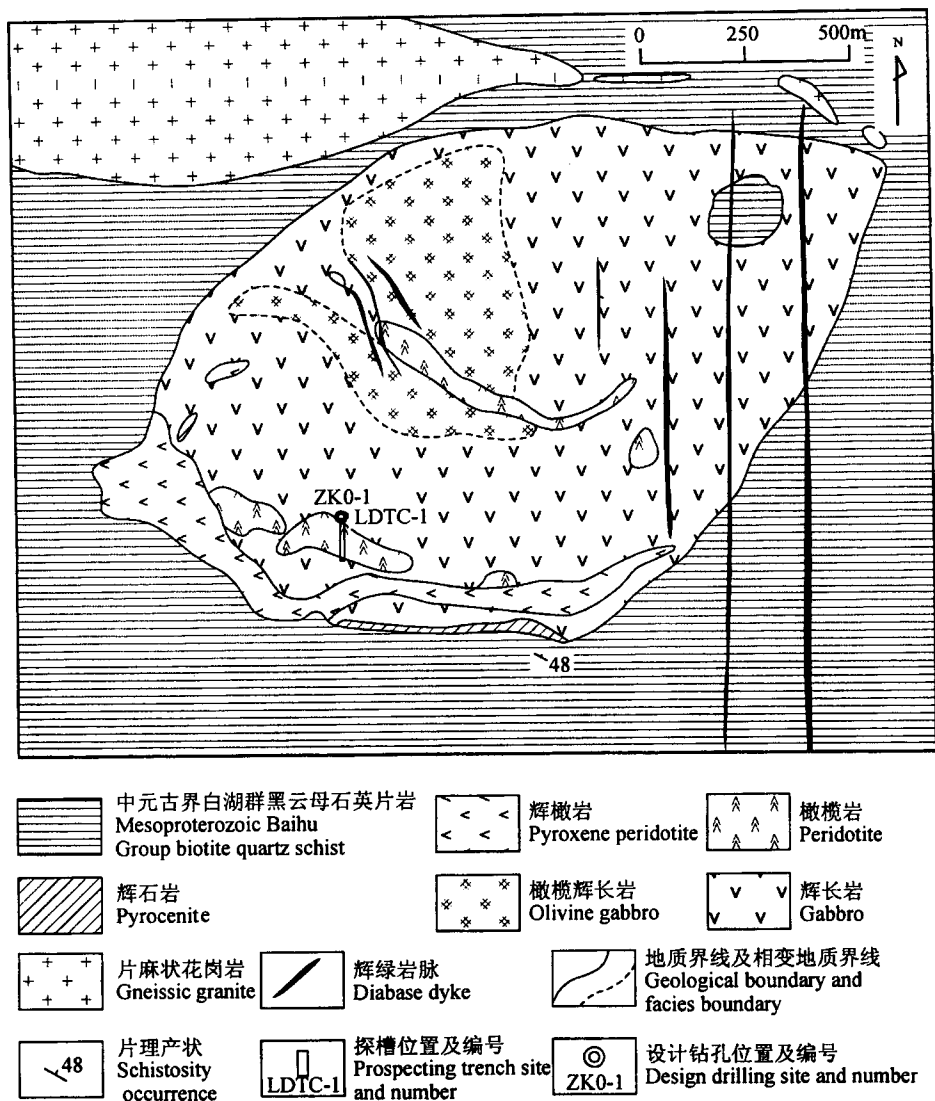


图10 罗东镍硫化物矿区镁铁质—超镁铁质杂岩和矿体平面图

(根据新疆地质矿产勘查开发局第六地质队原图修编, 2005)

Fig. 10 Plan of the Luodong mafic—ultramafic complex and orebodies

(modified after No. 6 Geological Team, Xinjiang Bureau of Geology, Mineral Resources and Development, 2005)

石矿物主要有: 橄榄石、普通辉石、顽火辉石、普通角闪石、金云母、斜长石。矿石具有自形一半自形粒状结构, 局部具陨铁结构。矿石构造以星散浸染状—稀疏浸染状为主, 局部具稠密浸染状构造与块状构造。

3 讨论和结论

3.1 天山—阿尔泰东部铜镍硫化物的基本特点

Zhou 等(2003)指出, 关于铜镍硫化物成因最重要的术语似乎是矿石结构(块状对浸染状)和矿石的分布(层状对层控状), 它们受硫化物饱和度和侵入

动力学(堆积岩浆通道对分异岩床)所影响。东天山铜镍硫化物矿床以品位低的浸染状矿石为主, 只有在喀拉通克和天香发育有高品质块状矿石, 但都是成矿晚期出现的贯入型矿浆。矿体以似层状为主, 通常出现于岩浆房的底部, 成矿晚期形成的矿体抑或为矿浆贯入抑或为岩浆活动期后形成的热液脉状矿。在天山—阿尔泰东部, 铜镍硫化物矿床从形态上可分为熔离型和通道型两种, 前者以喀拉通克、黄山、黄山东和坡十为代表, 后者代表性矿床有白石泉、天宇、图拉尔根和香山。汤中立等(1995)、汤中立(1996, 2002)通过对金川世界级矿床的研究, 发现金川岩体面积只有 1.34km^2 , 却赋存了 545 万吨镍(品位 1.06%)和 350 万吨铜, 因此提出了小岩体成大矿理论, 即母岩浆在侵入到现在的位置之前, 在深处就发生了熔离作用和部分结晶分异作用, 使母岩浆分离成含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆和不含矿岩浆, 然后对现在空间而言发生了一次或多次上侵入。汤中立等(1995, 2006)通过对我国主要矿床铜镍硫化物矿床的总结研究,

归纳为四个主要类型, 并进一步突出小岩体成矿的理论体系。Chai 和 Naldrett (1992) 根据岩体的化学组成特点, 提出另一个模式, 即铜和镍并非来自周围的纯橄岩, 而是镁质玄武岩浆的结晶分异, 富矿的纯橄岩是岩浆房的根部, 其上部的大面积镁质玄武岩可能已经被剥蚀。Naldrett(1999)进一步指出加拿大的 Voisey's Bay 和美国的 Kambalda 等世界级大矿都有类似特点, 属于通道型矿床。同时, 他们对于俄罗斯的 Noril'sk 超大型矿床的研究, 所提出的成矿模型也基本类似于汤中立(1996, 2002)提出的理

论, 尽管 Noril'sk 超大型矿床成矿为西伯利亚溢流玄武岩喷溢晚期次火山岩浆侵位的产物。综观天山—阿尔泰东部的铜镍硫化物矿床, 与之有关的镁铁质—超镁铁质岩体都比较小, 即使岩浆分异引起的岩相分带比较清楚的喀拉通克、黄山东和坡十岩体, 出露面积也都小于 5 km^2 , 而且钻孔控制表明他们向下迅速减小(图 2b, 图 4b)。由此可以认为, 无论是典型通道型还是与分异明显岩体, 它们在同一时期沿几组深大断裂分布, 而且相间产出, 岩体普遍呈现出拉长状, 似乎反映出为大面积岩浆活动的根部特点。

在天山—阿尔泰东部, 铜镍硫化物矿床中的矿石以稀疏浸染状为主, 品位很低。在坡—镁铁质—超镁铁质岩中, 超镁铁质岩体分析结果表明镍已经达到工业品位, 但是很少见到硫化物矿物, 几乎所有的镍都被保存在橄榄石中。Li Chusi 等(2003)研究表明引起这种现象的主要原因是岩浆体系缺少硫。尽管 Re/Os 同位素(毛景文等, 2002; 张作衡等, 2005; 李月臣等, 2006; 韩春明等, 2006)和 Sm/Nd 同位素(Zhou et al., 2004)研究表明, 研究区的含矿岩浆在侵位时有相当的地壳组分混染到岩浆房, 但是被熔入的地壳组分多为缺少硫化物的浊积岩、碎屑岩、碳酸盐岩和片岩。不像俄罗斯 Noril'sk 超大型矿床有关岩体直接侵位于膏盐层(Naldrett et al., 1992)。

3.2 成矿的构造环境和成矿模型

岩浆型 Cu—Ni—PGE 硫化物矿床分类方案较多, 这些分类方案多与镁铁质—超镁铁质岩石的特征有关(柴凤梅等, 2005)。Naldrett(1989, 1997)根据

矿床所处的构造环境和含矿岩石特征划分出四个类型, 即: 绿岩带型、大陆边缘裂谷型、克拉通型和活动造山带型, 后者又进一步分为与同造山侵入岩有关的矿床和阿拉斯加型杂岩体有关矿床。所谓的阿拉斯加型杂岩体指的是具有岛弧火山岩的特点, 同时可能具有硅铝层弧后成因的同心环带状岩体。汤中立和李文渊(1995)根据成矿时代、构造环境及岩石组合, 将矿床分为元古宙与陨石坑有关的矿床、元古宙以后与大陆裂谷有关的小型侵入体矿床、显生宙与大陆裂谷溢流玄武岩有关的矿床、太古宙绿岩带与科马提岩有关的矿床和与古元古代大陆层状侵入体有关的矿床。Pirajno(2000)强调地幔柱与铜镍硫化物的密切关系。俄罗斯的 Noril'sk 世界级大矿和中国峨眉山地幔柱中丰富的铜镍硫化物矿组合(包括金宝山、杨柳坪、力马河等)和超大型钒钛磁铁矿(攀枝花)就是很好的典例。天山—阿尔泰东部的铜镍硫化物矿床分布在造山带中, 但并不是同造山的也不是活动大陆边缘的产物, 而是后碰撞的结果。最近几年对喀拉通克、黄山东和香山三个铜镍硫化物矿石的 Re-Os 同位素测年(表 2), 获得 $298 \sim 282 \text{ Ma}$ 数据(毛景文等, 2002; 张作衡等, 2005; 李月臣等, 2006), 对矿化有关的岩体(包括喀拉通克、黄山东、黄山、白石泉、坡十和坡一)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年数据, 得到成岩时代为 $285 \sim 270 \text{ Ma}$ (韩宝福等, 2004; Zhou et al., 2004; 吴华等, 2005; 李华芹等, 2006; 姜常义等, 2006)。这些年龄数据不仅揭示成岩与成矿的密切关系, 更重要的是反映出这些铜镍硫化物矿带及矿集区虽然横跨阿尔泰、准噶尔、觉

表 2 天山—阿尔泰东部铜镍硫化物矿床和有关岩石的最新年龄数据

Table 2 Geochronological data of Cu—Ni sulfide ores and related mafic—ultramafic rocks in Tianshan—Altaid of Xinjiang, China

矿床或岩体名称	构造位置	测试方法和岩石/矿石	年龄(Ma)	资料来源
喀拉通克矿床	阿尔泰造山带	Re-Os 等时线, 硫化物: I 号矿体 II 号矿体	282.5 ± 4.8 290.2 ± 6.9	张作衡等, 2005
喀拉通克 1 号岩体	阿尔泰造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 苏长岩	287 ± 5	韩宝福等, 2004
黄山东矿床	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	282 ± 20	毛景文等, 2002
香山矿床	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	298 ± 7.1	李月臣等, 2006
香山岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb	285 ± 1.2	Qin et al., 2003
喀拉通克杂岩体	阿尔泰造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 苏长岩	287 ± 5	韩宝福等, 2004
黄山东杂岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 黑云母橄榄苏长岩	274 ± 3	韩宝福等, 2004
黄山岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 闪长岩	269 ± 2	Zhou et al., 2004
白石泉杂岩体	中天山地块	SHRIMP 锆石 U-Pb: 石英闪长岩	285 ± 10	吴华等, 2005
		辉长闪长岩	284 ± 9	
		辉长岩	284 ± 8	
坡一杂岩体	北山裂谷	SHRIMP 锆石 U-Pb, 辉长岩	278 ± 2	李华芹等, 2006
坡十杂岩体	北山裂谷	锆石 U-Pb, 角闪辉长岩	274 ± 4	姜常义等, 2006

罗塔格造山带、中天山地块和北山海西期裂谷,但明显为同一地球动力学事件的产物。其实,在石炭纪末期—二叠纪早期这一次成矿事件不仅形成铜镍硫化物矿床,还有与花岗岩浆活动有关的铁—铁铜—铅—锌—银矿,剪切带型金矿和浅成低温热液金矿(李华芹等,1998;Mao et al., 2005)。不仅在中国新疆,在毗邻的中亚天山—阿尔泰同样是一次大规模区域性成矿事件,例如,南天山世界级金矿带也是在这个时间段形成(Yakubchuk, 2001; Mao et al., 2004)。

对于新疆北部及中亚洋盆的演化过程以及关闭方式和缝合带位置有不同的认识(马瑞士等, 1990;肖序常等,1991;何国琦等,1994;Li Jinyi et al., 2003;Xiao et al., 2004;李锦铁等,2006),但大家趋向于整个大洋在石炭纪中晚期到二叠纪早期关闭。正如李锦铁等(2006)所指出,新疆北部及邻区的古洋盆打开和关闭的时间,在不同地区是不同的。夏林圻等(2004)的研究表明,在中亚天山分布着 150 万 km² 的 345~325Ma 时代的大面积火山岩都是后碰撞裂谷内环境的产物,与地幔柱活动关系密切。最近几年以来,在新疆北部及邻区碰撞后过程越来越受到重视。王京彬等(2006)总结提出新疆北部后碰撞具有明显的继承性、旋回性、阶段性和方向性,经历了早石炭世伸展—晚石炭世挤压隆升和早二叠世伸展—晚二叠世挤压隆升两个旋回。其中前一个伸展可能与主碰撞导致的岩石圈板片拆沉有关,后一个伸展则可能与刚性增强的新陆壳下地幔源岩浆的底侵作用有关。尽管有上述不同认识,但是不同学者对于该区二叠纪期间的幔源岩浆活动和相应的构造背景,则基本上没有分歧。本文已经描述了该区二叠纪幔源岩浆侵入杂岩的时空分布和基本特征;该区早二叠世的火山岩,虽然由于风化剥蚀作用只有零星残留,但局部可见巨厚层玄武质火山岩,例如,位于天山与阿尔泰之间的三塘湖盆地内的早二叠世火山岩达 1000 多米厚(郝建荣等,2006),揭示出当时的岩浆喷发规模是相当可观的。如上所述,在早二叠世后碰撞伸展事件期间有大规模成矿作用,还有大面积地壳垂向增生产生的花岗岩,其 Nd 值在 +6.7 到 +9.3 之间(Jahn et al.,

2000;2004)。无论是大规模成矿作用还是大规模地壳垂向增生,巨大的热能源是必要的。显而易见,同时期的强烈镁铁质岩浆—火山活动是这一大规模区域事件的引发动因,它由下地幔底侵上涌,喷溢到地表,可能是整个中亚地区地幔柱活动的一部分,也不排除是早石炭世地幔柱活动的继续。这些沿多条区域性大断裂与铜镍硫化物矿床有关的東西向断续出现的镁铁质—超镁铁质岩体很可能是大面积喷溢熔岩的根部或补给通道。由于受新特提斯洋关闭和青藏高原的碰撞隆升影响,新生代以来天山—阿尔泰再次大幅度隆升,原来可能大面积分布的早二叠世镁铁质火山岩已经被大量剥蚀,但其根部,抑或喷出岩的根部抑或潜火山岩的根部仍然保留着。无论是具有分异的岩体和相应的似层状矿体还是全岩矿化的通道型矿体,无论是下部岩浆房分异到上部现在看见的岩浆房定位成矿还是仅仅在现在位置岩浆房成矿,无论岩体是一次侵位或喷溢还是多次侵位和成矿,目前所见到的小镁铁质—超镁铁质杂岩体都可能是残留的根部(图 11)。

3.3 对于进一步找矿勘查的思考

随着矿产资源价格的攀升,迎来了一个找矿勘查的新时期。过去几年新疆在铜镍硫化物矿找矿方面不断有新进展,大家关注如何才能找到更多,尤其是大型—超大型矿床。

按照赋矿围岩特点,铜镍硫化物矿床有两种类型,即以南非 Bushveld 和加拿大 Sudbury 为代表的大型层状岩体有关的矿床(尽管后一个被认为是陨石撞击成因)和与小型杂岩体有关的通道型矿床。新疆北部东段已经探明的矿床均属后者。因此,在新疆乃至中亚地区,沿区域性深大断裂进一步开展找矿

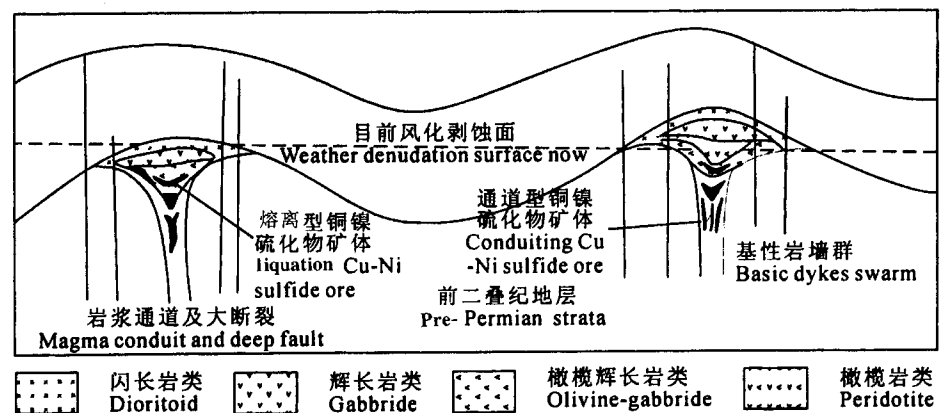


图 11 天山—阿尔泰地区后碰撞铜镍硫化物矿床形成与保存的模式图

Fig. 11 Model map showing the ore-forming and change of the post-collisional Cu—Ni sulfide deposits in Tianshan—Altaid region

评价的原则就是首先圈定那些出露面积很小的镁铁质—超镁铁质杂岩体及其相关的辉绿岩墙。

由于新疆大部分地区属于裸露区,与铜镍硫化物矿床有关的镁铁质—超镁铁质岩体通常在地表已经强烈的蚀变,例如,蛇纹石化、纤闪石化、绿泥石化和透闪石化等。在这样的景观区使用遥感技术快速捕获含水矿物和含铜矿物,确定杂岩体和岩墙是一种有效的途径。过去几年已经有了比较好的尝试和积累(杨建民等,2003),进一步提高精度,有效地剔除干扰因素,将会更加有效地快速识别含矿岩体。

黑色岩系和膏盐层发育的地区应该给予高度重视,在镁铁质—超镁铁质岩浆房侵位时有足够多的地层硫的混入,是形成大型—超大型矿床的重要基础。

致谢:本研究在工作过程中得到新疆地质矿产勘查开发局及所属第六地质队和第四地质队、国家三〇五办公室有关领导和同事的大力支持和帮助;并与李锦铁、刘德权、秦克章等同事进行过交流,受益匪浅,在此一并致谢。

注 释

- ① 新疆地矿局第四地质大队. 2003. 富蕴县喀拉通克铜镍 2 号详查地质报告.
- ② 新疆地矿局第六地质大队. 1987. 新疆哈密地区超基性岩调查研究报告.
- ③ 新疆地矿局物化探大队. 1996. 新疆哈密红岭镍矿综合物探普查评价成果报告.
- ④ 新疆地矿局第六地质大队. 2003. 新疆哈密市白石泉铜镍矿点预查报告.

参 考 文 献

- 白云来. 2000. 新疆哈密黄山—镜儿泉镍铜成矿系统的地质构造背景. 甘肃地质学报, 9: 1~7.
- 柴凤梅, 张招崇, 毛景文, 董连慧, 张作衡. 2005. 岩浆型 Cu—Ni—PGE 硫化物矿床研究的几个问题探讨. 矿床地质, 24: 325~335.
- 柴凤梅, 张招崇, 毛景文, 董连慧, 叶会寿, 张作衡, 吴华, 莫新华. 2006. 中天山白石泉镁铁—超镁铁质岩体岩石学与矿物学. 岩石矿物学杂志, 25(1): 1~12.
- 高怀忠. 1992. 新疆坡北基性—超基性岩带 I 号岩体地质特征及其含矿性研究. 地球科学, 17: 391~401.
- 韩春明, 肖文交, 赵国春, 屈文俊, 毛启贵, 杜安道. 2006. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re—Os 同位素研究及其地质意义. 岩石学报, 22: 163~170.
- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东镁铁—超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U—Pb 年龄及其地质意义. 科学通报, 22: 2324~2328.
- 郝建荣, 周鼎武, 柳益群, 刑秀娟. 2006. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析. 岩石学报, 22: 189~198.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 香港: 香港文化教育出版社, 1~437.
- 黄汲清, 姜春发, 王作勋. 1990. 论新疆及邻区开合构造和板块的手风琴运动. 新疆地质, 1: 3~6.
- 姜常义, 程松林, 叶书峰, 夏明哲, 姜寒冰, 代玉财. 2006. 新疆北山地区坡山北镁铁质岩石地球化学与岩石成因. 岩石学报, 22: 115~126.
- 李承德, 慕纪录, 竺国强. 1996. 新疆哈密黄山成矿带浅富矿成因与成矿规律. 成都: 成都科学技术出版社, 1~204.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 蔡红, 朱家平, 周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 202~221.
- 李华芹, 陈富文, 梅玉萍, 吴华, 程松林, 杨甲全, 代玉财. 2006. 新疆坡北基性—超基性岩带 I 号岩体同位素年龄及其地质意义. 矿床地质, 25(4)(出版中).
- 李鸿儒. 1994. 新疆坡北基性—超基性岩带控岩构造特征及成矿专属性. 中国区域地质, (3): 227~233.
- 李锦铁, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明. 2006. 新疆北部及邻区地壳格架及其形成的初步探讨. 地质学报, 80: 148~168.
- 李月臣, 赵国春, 屈文俊, 潘成泽, 毛启贵, 杜安道. 2006. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re—Os 同位素测定. 岩石学报, 22: 245~251.
- 马瑞士, 叶尚夫, 王锡银, 刘冠邦. 1990. 东天山造山带构造格架和演化. 新疆地质科学, (2): 21~36.
- 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. 矿床地质, 21: 323~330.
- 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 孙敏, 袁超, 闫臻, 李继亮, 雍拥, 张继恩. 2006. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性—超基性岩体锆石 U—Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约. 岩石学报, 22: 153~162.
- 倪志耀. 1992. 新疆哈密黄山东镁铁—超镁铁杂岩体成因探讨. 西北地质, 12: 9~16.
- 潘长云, 王润民. 1992. 新疆喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床的成矿模式. 矿床地质, 11: 113~124.
- 肖骑彬, 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, 张伟. 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. 矿床地质, 24: 676~683.
- 三金柱, 田斌, 雷军文, 康峰, 秦克章, 徐兴旺. 2003. 新疆东天山新发现图拉尔根全岩矿化岩浆铜镍矿床. 矿床地质, 22: 270.
- 申茂德. 2003. 东天山香山铜镍矿区构造与成岩成矿. 新疆地质, 21: 195~198.
- 孙燕, 慕纪录, 肖渊甫. 1996. 新疆香山铜镍硫化物矿床浅富矿体特征. 矿物岩石, 16(1): 51~57.
- 汤中立, 李文渊. 1995. 金川铜镍硫化物矿床模式及地质特征对比. 北京: 地质出版社, 14~209.
- 汤中立. 1996. 中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制. 地质学报, 70(3): 237~243.
- 汤中立. 2002. 中国的小岩体岩浆矿床. 中国工程科学, 4(6): 9~12.
- 汤中立, 闫海卿, 焦建刚, 李小虎. 2006. 中国岩浆硫化物矿床新分类与小岩体成矿作用. 矿床地质, 25: 1~9.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 林文蔚. 2000. 新疆北部 Cu—Ni—(PGE)硫化物矿床成矿系列探讨. 矿床地质, 19: 147~155.
- 王福同, 马天林, 刘光海, 李应桂, 胡旺亮, 赵昌龙, 袁荣林, 冯骥. 1992. 新疆喀拉通克铜镍金矿带成矿规律和成矿模式. 北京: 地质出版社, 1~298.

- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80: 23~31.
- 王润民, 李楚思. 1987. 新疆哈密黄山东铜镍硫化物矿床成岩成矿的物理化学条件. 成都地质学院学报, 14: 1~9.
- 王润民, 赵昌龙, 马文鹏. 1991. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床. 北京: 地质出版社, 1~319.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 彭晓明, 惠卫东, 秦全新. 2006. 岩浆铜镍矿与砷钛磁铁矿的过度类型——新疆哈密香山矿床. 地质学报, 80: 61~73.
- 王志辉, 王润民, 李思楚, 周振冬. 1986. 黄山东铜镍硫化物矿床矿石物质组分的研究. 矿物岩石, 6(3): 88~102.
- 吴华, 李华芹, 莫新华, 陈富文, 路远发, 梅玉萍, 邓岗. 2005. 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. 地质学报, 79: 498~502.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 李向民, 马中平, 王立社. 2004. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱. 地质通报, 23: 903~910.
- 肖序常, 汤耀庆. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京: 北京科学技术出版社, 1~29.
- 杨甲全, 钟莉, 邓刚. 2002. 北山地区坡北1号、10号基性—超基性岩体成矿预测及找矿方向. 新疆地质, 20: 214~218.
- 杨建民, 张玉君, 陈薇, 王志良, 姜立丰, 姬厚贵, 韩春明. 2003. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常技术方法在东天山戈壁地区的应用. 矿床地质, 22(3): 278~286.
- 张家新. 2003. 新疆哈密市香山矿区钛铁矿床特征及远景评价. 新疆有色金属, (3): 15~17.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 何立新, 何永胜, 周刚. 2003. 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. 岩石矿物学杂志, 22: 217~224.
- 张作衡, 柴凤梅, 杜安道, 张招崇, 闫升好, 杨建民, 屈文俊, 王志良. 2005. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪. 岩石矿物学杂志, 24: 285~293.
- 竺国强, 杨树峰, 陈汉林. 1995. 东疆香山铜镍含矿镁铁超镁铁杂岩体控岩控矿构造讨论. 地质找矿论丛, 10(3): 1~13.
- Chai G, Naldrett A J. 1992. Characteristics of Ni—Cu—PGE mineralization and genesis of the Jinchuan deposit, Northwest China. *Economic Geology*, 87: 1475~1495.
- Coleman R. 1989. Continental growth of Northwest China. *Tectonics*, 8: 621~635.
- Jahn B M, Wu Fuyuan, Chen Bin. 2000. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic. *Episodes*, 22: 82~92.
- Jahn B M, Windley B, Natal'in B, Dobretsov N. 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, Preface, 23: 599~603.
- Li C, Ripley E M, Mathez E A. 2003. The effect of S on the partitioning of Ni between olivine and silicate melt in MORB. *Chemical Geology*, 201: 295~306.
- Li J, Xiao W, Wang K, Sun G, Gao L. 2003. Neoproterozoic—Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. In: Mao J W, et al. eds. *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan*. London: IAGOD Guidebook Series 10, 31~74.
- Mao J W, Konopelko D, Seltmann R, Lehmann B, Chen W, Wang Y T, Eklund O, Usabaliev T. 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan. *Economic Geology*, 99(8): 1771~1781.
- Mao J W, Goldfarb G J, Wang Y T, Hart C J, Wang Z L, Yang J M. 2005. Late Paleozoic base and precious metal deposits, East Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting. *Episodes*, 28(1): 23~36.
- Naldrett A J. 1989. *Magmatic sulphide deposits*. New York: Oxford Univ. Press, 1~186.
- Naldrett A J, Lightfoot P C, Fedorenko V, Doherty W, Gorbachev N S. 1992. Geology and geochemistry of intrusions and flood basalts of the Noril'sk region, USSR, with implications for the origin of the Ni—Cu ores. *Economic Geology*, 87: 975~1004.
- Naldrett A J. 1997. Key factors in the genesis of Noril'sk, Sudbury, Jinchuan, Voisey's Bay and other world class Cu—Ni—PGE deposits: Implication for exploration. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 281~351.
- Naldrett A J. 1999. World-class Ni—Cu—PGE deposits: Key factors in their genesis. *Mineralium Deposita*, 34: 227~240.
- Pirajno F. 2000. *Ore Deposits and Mantle Plumes*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Qin Kezhong, Zhang Lianchang, Xiao Wenjiao, Xu Xingwang, Yan Zhen, Mao Jingwen. 2003. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, Northwest China. In: Mao Jingwen, et al., eds. *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan*. London: IAGOD Guidebook, Series 10, 227~248.
- Sengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 209~304.
- Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z, Sun S, Li J L. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of Central Asia. *American Journal of Sciences*, 304: 370~395.
- Yakubchuk A, Seltmann R, Shatov V V, Cole A. 2001. The Altaids: tectonic evolution and metallogeny. *SEG Letter*, 46, 7~14.
- Yan S, Zhang Z, Wang D, Chen B, He L, Zhou G. 2003. Kalatongke magmatic copper—nickel sulfide deposit. In: Mao Jingwen, et al., eds. *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan*. London: IAGOD Guidebook, Series 10, 131~152.
- Zhang Z C, Mao J W, Zhang Z H, Yan S H, Chen B L, Pirajno F, Yang W P, He L X. 2006. Geology, geochemistry and isotope systematic of mafic intrusion and Cu—Ni ores of the Kalatongke region, Hercynian orogenic belt, Xinjiang North China. *Mineralium Deposita*, (submitted).
- Zhou M F, Yang Z X, Song X Y, Keays R R, Lesher C M. 2002. Magmatic Ni—Cu—(PGE) Sulphide Deposits in China. In: Cabri L J, ed. *The Geology, Geochemistry, Mineralogy, Mineral Beneficiation of the Platinum-Group Elements*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Special Volume, 54: 619~636.
- Zhou M F, Lesher C M, Yang Z X, Li J W, Sun M. 2004. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni—Cu—(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwestern China: Implication for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt. *Chemical Geology*, 209: 233~257.

Late Variscan Post-collisional Cu—Ni Sulfide Deposits in East Tianshan and Altay in China: Principal Characteristics and Possible Relationship with Mantle Plume

MAO Jingwen¹⁾, Franco PIRAJNO²⁾, ZHANG Zuoheng¹⁾, CHAI Fengmei³⁾, YANG Jianmin¹⁾,
WU Hua⁴⁾, CHEN Shiping⁵⁾, CHENG Songlin⁴⁾, ZHANG Changqing¹⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *Geological Survey of Western Australia, 100 Plain Street, East Perth, WA 6004, Australia*

3) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083*

4) *No. 6 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Minerals Exploration, Hami, Xinjiang, 839000*

5) *Hami Bureau of Land and Resources, Hami, Xinjiang, 839000*

Abstract

In the past twenty years 18 Cu—Ni sulfide deposits and occurrences were discovered in the Chinese Tianshan and Altay orogenic belts in northern Xinjiang, China. There are several belts and ore districts along several parallel deep faults. The Kelatongke and several other Cu—Ni mineralized intrusions are located along the Etrix fault, which separates the Altay orogenic belt and Junggar Basin. The Huangshan, Huangshandong, Xiangshan, Tudun, Erhongwa, Tula'ergen and Hongling deposits distribute along the Kanggurtag suture, which separates the Qol Tag orogenic belt and Turpan—Hami Basin. The Baishiquan, Tianyu, and Tianxiang deposits are located along the Aqikkuduk fault, which separates the Qol Tag orogenic belt and Middle Tianshan Precambrian terrane. The Poyi, Poshi and Luodong deposits are located along the Hongliuhe fault, which separates the Middle Tianshan Precambrian terrane and the Baishan Variscan rift. Re—Os dating for Cu—Ni sulfide ores reveals that the various ore belts formed in a small age range of 298~282 Ma. This age range is almost identical to the ages of related intrusions and dikes dated by the SHRIMP U—Pb zircon method. Tectonic and geochronological studies explain that the amalgamation of continental blocks mainly occurred during the Late Carboniferous in the Central Asian Orogenic Belt. Large-scale metallogenesis in this region was developed during post-collisional tectonism in the latest Carboniferous to Early Permian. The Cu—Ni sulfide deposits are one component of this large-scale metallogenesis. The Cu—Ni sulfide deposits in northern Xinjiang can be divided into: (1) magma conduit type and (2) differentiated sill type. Some mafic—ultramafic systems exhibit lithological zoning caused by strong differentiation. Stratiform ore bodies are hosted by ultramafic rocks at the base of the magma chamber. Good examples are provided by the Kelatongke, Huangshandong and Poshi deposits. Others, such as the Xiangshan, Baishiquan, Tianyu, and Tula'ergen deposits, are hosted by magma conduits consisting of peridotite, troctolite, and pyroxenite. These ultramafic rocks either occur within faults or are surrounded by slightly younger diorite intrusions. These two types of orthomagmatic Cu—Ni sulfide deposits are also distributed along the same ore belts. For instance, the differentiated sill-related Huangshandong coexists with the magma conduit type of the Tula'ergen deposit in the Qol Tag orogenic belt. Orthomagmatic Cu—Ni sulfide deposits in northern Xinjiang were formed during post-collisional extensional tectonism and possibly related to a Late Carboniferous—Early Permian mantle plume event. The mafic—ultramafic systems and associated Cu—Ni deposits are commonly accompanied by dike swarms and are characterized by elongated outcrops developed along several parallel regional faults. These mafic—ultramafic systems and accompanying dikes are generally fractionated, hinting that they were feeders of now eroded flood basalts.

Key words: Cu—Ni sulfide deposit; post-collision; mantle plume; Tianshan; Altay; Xinjiang