# 阿勒泰西南缘珠万喀腊铜矿杂岩体特征及找矿意义*

王核[1] 刘建平[1,2] 李月臣[1,2,3] 任广利[1,2] 龚贵伦[1,2]
WANG He[1], LIU JianPing[1,2], LI YueChen[1,2,3], REN GuangLi[1,2] and GONG GuiLun[1,2]

1. 中国科学院广州地球化学研究所,广州 510640
2. 中国科学院研究生院,北京 100049
3. 新疆自然资源与生态中心,乌鲁木齐 830000
1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *China*
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*
3. *Xinjiang Resource and Environment Centre, Urumqi* 830000, *China*

2009-06-25 收稿, 2009-11-25 改回.

**Wang H, Liu JP, Li YC, Ren GL and Gong GL. 2010. Feature and prospective significance of the complex in Zhuwankala copper deposit, southwestern margin of Altay Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10):2959 – 2966**

**Abstract** Zhuwankala complex located in the Permian continental volcanic basin in southwestern margin of Altay Mountain. It consists of diorite and gabbro lithofacies with intrusive contact, which host by Lower Permian Haerjiawu Formation and Kalagang Formation. The diorite lithofacies include three transition lithofacies belts: Centre facies diorite, transition facies pyroxene diorite and margin facies alteration diorite. In the gabbro lithofacies have found the pyroxenite, serpentinite, peridotite which contains chalcopyrite and pyrrhotite. Geochemical analysis of the complex show low content of $SiO_2$, range from 47.14% to 55.90%, belong to middle to basic rock, and the $K_2O + NaO$ contents from 1.27% to 6.99%, is alkaline rock series. The complex contents high REE from $131.1 \times 10^{-6}$ to $159.7 \times 10^{-6}$, and shows LREE-rich patterns of chondrite-normalized, with the LREE/HREE ratio from 2.87 to 3.52. All rocks are obviously enriched in large-ion lithophile elements (LILE) and relatively depleted in high field strength element. The magma displays some features of island arc magma, may be drivered from the previous subducted ocean crust. The complex is include a layered anomaly in 700 ~ 800m depth from the surface by EH4 measurement, may be a mineralization lithofacies as a fine exploration target.

**Key words** Complex; Geochemistry; Prospective significance; Zhuwanlala copper deposit; Southwestern margin of Altay Mountain; Xinjiang

**摘 要** 位于阿尔泰西南缘的珠万喀腊杂岩体,产于珠万喀腊二叠纪陆相火山岩盆地,侵入地层为下二叠统哈尔加乌组和卡拉岗组,主要由闪长岩相和辉长岩相组成,二者呈侵入接触关系。其中闪长岩相存在三个过渡的岩相带:中心相闪长岩,过渡相辉石闪长岩及边缘相蚀变闪长岩。辉长岩相发现辉石岩、蛇纹岩、黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩。地球化学特征表明,$SiO_2$ 含量总体较低,为 47.14% ~55.90%,为中基性岩石。$K_2O + NaO$ 变化范围 1.27% ~6.99%,岩石为碱性岩石系列。稀土元素丰度在 $131.1 \times 10^{-6}$ ~ $159.7 \times 10^{-6}$之间,属富集 REE。LREE/HREE 比值为 2.87 ~3.52,属轻稀土富集型。微量元素总体富集大离子亲石元素(LILE),相对亏损高场强元素(HFSE),显示了岛弧岩浆的一些特点,可能是岩浆岩源区保留有早期俯冲的洋壳。EH4 测量结果表明杂岩体内存在层状低阻异常带,可能为含矿岩相。岩体下部(距离地表 700 ~800m 处)可作为进一步找矿的有利部位。

**关键词** 杂岩体;地球化学;找矿意义;珠万喀腊铜矿;阿尔泰西南缘;新疆

**中图法分类号** P618.41

---

* 本文受中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-107-03)和国家"十一五"科技支撑项目(2006BAB07B01-04)联合资助.
**第一作者简介**:王核,男,1966 年生,研究员,主要从事成矿预测研究,E-mail: wanghe@gig.ac.cn

铜镍硫化物矿床是新疆北部重要的矿床类型之一(韩春明等,2006),该类矿床主要与超基性岩体有关,分布在阿尔泰东南部(杨文平等,2004)、东天山地区(孙赫等,2007)和西天山的菁布拉克一带(张作衡等,2006,2007;孙盼盼和倪守斌,2008)。这些矿床被认为是后碰撞矿床成矿系列之一(王京彬和徐新,2006),成矿过程与地幔深部过程和壳幔相互作用密切相关(王京彬等,2008),可能与中亚地区的地幔柱活动有关(毛景文等,2006)。近几年来东天山铜镍硫化物找矿勘探不断取得突破(毛启贵等,2006;李金祥等,2007),发现了一系列矿床,包括图拉尔根大型铜镍矿床(三金柱等,2007),显示了新疆北部铜镍硫化物矿床具有很好的找矿潜力。

阿尔泰南缘分布众多的超基性岩体,其中喀拉通克大型铜镍矿床产在喀拉通克1、2、3号岩体中(王登红等,2000),对该带岩体地球化学研究表明西部的锡泊度岩体具有较好的成矿远景(杨文平等,2004)。处于同一构造环境的西延部分(吉木乃地区),珠万喀腊被认为是形成铜镍硫化物矿床有利地区(王京彬等,1999;尹意求等,2004),该矿区矿化类型复杂(尹意求等,2005),过去对该矿点进行过许多找矿工作,仍然没有取得突破。以往工作多针对矿区南部安山玄武岩中铜矿体,对寻找铜镍硫化物矿床的杂岩体的组成、岩石学及地球化学研究相当薄弱。笔者在珠万喀腊杂岩体野外调查中,发现了辉长辉石岩带,并在该带局部见到了黄铜-磁黄铁-镍黄铁矿化橄榄岩,表明岩体存在基性-超基性成分。本文对该岩体进行岩石学和岩石地球化学工作,并开展地球物理验证,试图对该岩体铜镍硫化物矿床找矿勘探提供依据。

## 1 地质背景

阿尔泰西南缘珠万喀腊二叠纪陆相火山岩盆地位于额尔齐斯缝合带南缘,属准噶尔板块北准噶尔构造区(王广瑞,1996)。该构造区以岛弧构造为主,由北向南分布有珠万喀腊二叠纪陆相火山盆地、萨吾尔晚古生代岛弧区、沙尔布尔提山早古生代复合岛区(尹意求等,2000①),珠万喀腊陆相火山盆地广泛分布晚二叠系地层,下二叠统哈尔加乌组($P_1h$)和卡拉岗组($P_1k$),哈尔加乌组主要岩性为玄武岩、辉石安山岩、英安斑岩、熔结凝灰岩、粉砂质泥岩、砂岩、砾岩,与下石炭统萨尔布拉克组呈沉积不整合接触,属陆相火山岩建造。卡拉岗组不整合沉积覆盖于哈尔加乌组之上,上部岩性为粉砂岩、砂岩、细砾岩互层,下部为流纹岩、霏细斑岩、酸性火山角砾岩夹酸性凝灰岩,底部为砾岩、砂岩、炭质页岩,含劣质煤,属陆相火山沉积碎屑岩建造。珠万喀腊陆相火山盆地呈线性展布,走向与北边的额尔齐斯缝合带一致,明显受到一个隐伏断裂的控制。该盆地属于后碰撞阶段拉张的产物(王京彬和徐新,2006)。珠万喀腊杂岩体即产于该盆地中部的低山丘陵区。

## 2 矿区地质

矿区出露地层为下二叠统哈尔加乌组($P_1h$)和卡拉岗组($P_1k$),二者呈不整合接触,地层走向NW向(图1b)。哈尔加乌组分布在矿区中部-西南部,为陆相中基性火山岩、火山碎屑岩;东北部分布卡拉岗组,由陆源碎屑沉积的砂岩、粉砂岩组成。根据出露岩性哈尔加乌组由9个岩性段($P_1h^1$ ~ $P_1h^9$)组成,卡拉岗组由3个岩性段($P_1k^1$ ~ $P_1k^3$)组成。矿区褶皱构造简单为珠万喀腊背斜,背斜轴走向断裂NW向。断裂为NW向逆断层和NE向正断层。

侵入岩为珠万喀腊杂岩体,岩体岩石学特征见下节。岩体地表为椭圆状,长轴NW向,长可达1km。侵入于珠万喀腊背斜核部,围岩为下二叠统哈尔交组第六岩性段至第八岩性段间。在野外调查中,在岩体西北部角发现塌陷角砾岩,面积300×180m$^2$,塌陷角砾岩中可见大到30×10m$^2$的闪长岩、辉长闪长岩、辉长岩岩块,由凝灰质、粉砂质胶结,且沿塌陷周围见到大量的集块岩分布,推测该塌陷角砾岩可能为沿断裂喷发的破火山口位置。

矿区内矿化类型复杂,发育有4种铜矿化,为火山-次火山型铜矿(尹意求等,2005)。通过调查认为最主要的铜矿化为与玄武安山岩有关的火山沉积+热液改造型铜矿化及新发现的杂岩体内接触带与辉长岩-橄榄岩有关的硫化物矿化,其次为火山喷气作用有关产于火山弹和火山集块中的铜矿化、与后期辉绿岩脉中的铜矿化。其中最具找矿意义的地段为杂岩体南部辉长岩-橄榄岩带,宽约10~40m,长600m,向南东倾斜,倾角>60°。局部地表铜品位0.7%~2.86%。岩石两侧破碎,糜棱岩化强烈,可能为杂岩体后期岩浆从深部沿断裂贯入的产物,深部可能存在与基性岩浆有关的硫化物矿体。

## 3 岩石学特征

珠万喀腊杂岩体岩相分带明显,由闪长岩相和辉长岩相组成,两岩相呈明显的侵入接触关系,辉长岩侵入闪长岩中。闪长岩相分布最广,构成岩体的主体,可以分为3个岩相带,各岩相带呈过渡渐变关系:中心相为中细粒闪长岩,宽约400m;过渡相为中粗粒辉石闪长岩,分布于岩体南北两侧,宽约150m;边缘相为蚀变闪长岩,位于岩体边部,宽约20~40m(图1b)。辉长岩相分布在岩体南部的闪长岩中。

闪长岩相三个岩相带岩石特征如下:

石英闪长岩:块状构造,斑状结构、半自形-自形柱粒结构,斑晶由斜长石(10%~15%,更-中长石)、石英(8%~

① 尹意求,陈大经,唐红松等. 2000. 萨吾尔山金铜成矿条件与找矿评价. 国家305项目科研报告

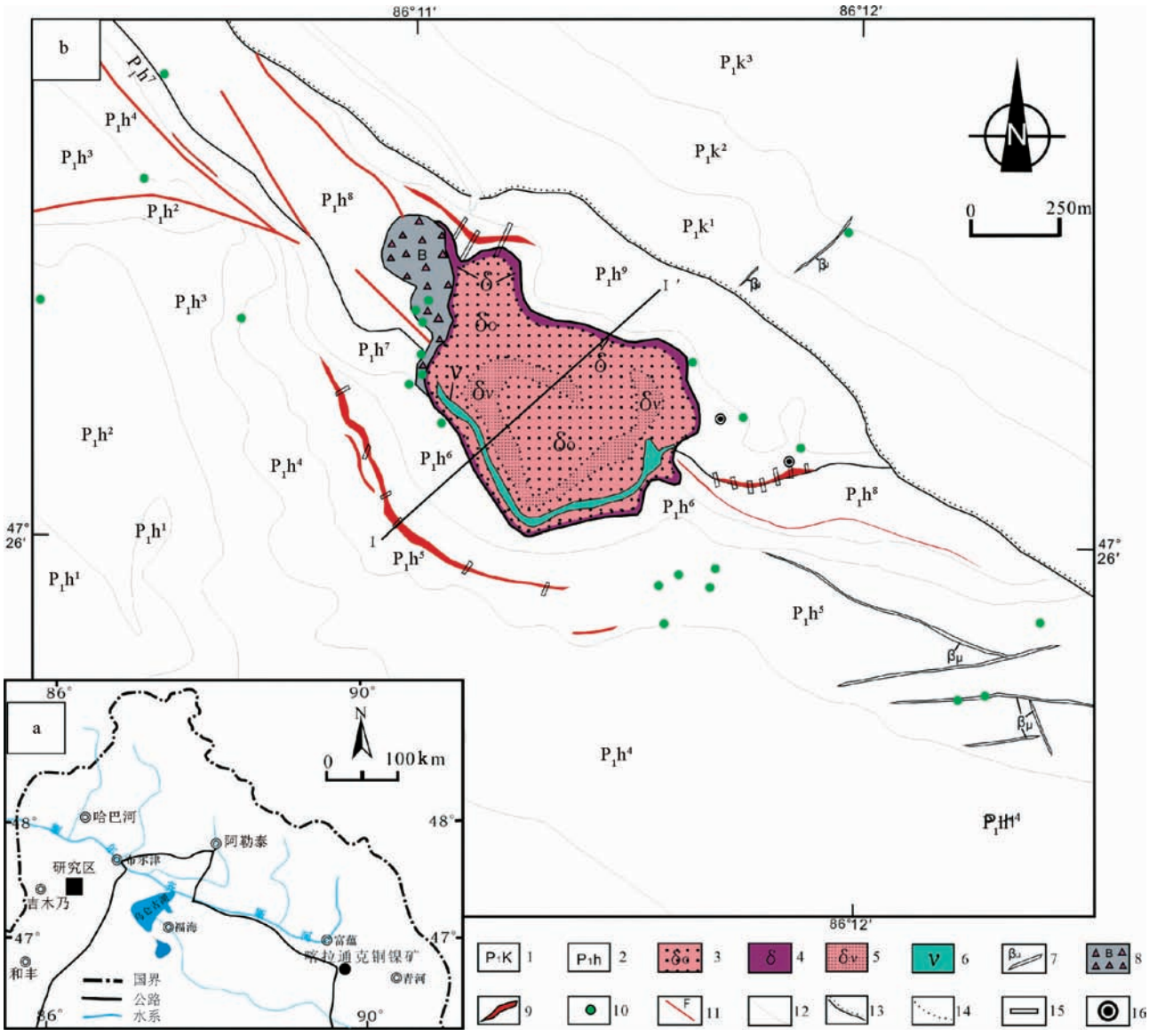



图 1　研究区位置图(a)及珠万喀腊铜矿地质图(b,据实测资料简化修改)

图(b)中:1-下二叠系卡拉冈组,$P_1k^1$-泥岩、粉砂岩、砂岩及底砾岩;$P_1k^2$-砂岩、粉砂岩夹砾岩;$P_1k^3$-含砾砂岩;2-下二叠系哈尔交组,$P_1h^9$-凝灰质粉砂岩、凝灰质砂岩夹砾岩;$P_1h^8$-安山岩、安山质凝灰岩夹含铜矿化火山角砾岩;$P_1h^7$-凝灰质角砾岩、角砾凝灰岩;$P_1h^6$-安山岩、安山质玄武岩、安山玢岩;$P_1h^5$-含角砾安山玄武岩及铜矿化体;$P_1h^4$-安山玢岩、安山玄武岩及橄榄玄武岩;$P_1h^3$-安山质角砾凝灰岩;$P_1h^2$-安山质凝灰熔岩夹安山岩;$P_1h^1$-火山角砾岩;3-石英闪长岩;4-蚀变闪长岩;5-辉石闪长岩;6-辉长岩;7-辉绿岩脉;8-塌陷火山角砾岩;9-铜矿化体及编号;10-铜矿化点;11-断层;12-地质界线;13-不整合界线;14-岩相界线;15-探槽;16-钻孔;Ⅰ-Ⅰ′线为 EH4 测量剖面位置

Fig. 1　Location map of studied area (a) and geologic map of Zhuwankala copper deposit (b)

10%)、角闪石(3% ~5%)组成;基质由大量自形-半自形更中长石、角闪石和少量的石英、交代钾长石、黑云母组成,金属矿物在其边部次生形成反应边结构。斑晶为已全部钠黝帘石化的长石。基质强碳酸盐化,角闪石均蚀变为绿泥石、少量黑云母和金属矿物,部分或全部被金属矿物取代,少数蚀变角闪石具希列结构。

辉石闪长岩:斑晶由斜长石(25% ~30%,为中长石)、辉石(5% ~7%)组成,辉石有纤闪石化、绿泥石化、黑云母化;基质由中长石、辉石和少量的石英、黑云母组成,见有交代形成的钾长石(5% ~8%),辉石的解理可辨,其边部有绿泥石化及黑云母反应边,在辉石反应边有较多的磷灰石,金属矿物呈集合体状,含量 5% ~7%。

蚀变闪长岩:绿泥石-绢云母化蚀变闪长岩,岩石大部分蚀变为绿泥石和绢云母。蚀变角闪石分布相当集中,解理清晰,多已发生纤闪石化、绿泥石化、帘石化,及少量黑云母和金属矿物;长石略显晶形、双晶缝和格子双晶,多已蚀变为绢

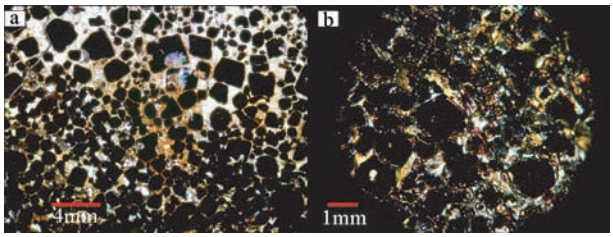



图 2 矿化橄榄岩正交偏光显微照片

a-海绵陨铁结构;b-橄榄石被金属矿物充填

Fig. 2 Photomicrographs of mineralized peridotite

a-sponge-aerosiderite; b-the olivine filled by metallic minerals

云母、石英和绿泥石,个别蚀变长石中的次生石英、绿泥石呈栉状排列。绿泥石-钠黝帘石化闪长岩,长石可辨双晶,有钠黝帘石化、水白云母化,角闪石有纤闪石化、绿泥石化、水白云母化和帘石化,次生金属矿物沿其解理分布,形成希列结构。

辉长岩相主要由辉长岩、辉石岩组成,在局部发现少量黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩,蛇纹岩。

辉长岩:由基性斜长石(40% ~55%)、普通辉石(20%)构成辉长结构,其他矿物有钾长石(5% ~8%)、黑云母(5% ~7%)、磷灰石(3% ~5%)以及金属矿物(10% ~15%),辉石已被金属矿物、黑云母及绿泥石交代,黑云母围绕金属矿物次生形成反应边结构。

黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩:分布极少,块状构造,粒状结构、海绵陨铁结构(图 2a),其中橄榄石(20%)呈淡褐色,它形粒状表面见粗大裂纹被金属矿物充填(图 2b),金属矿物(黄铜矿、磁黄铁矿)45% ~55%、叶蛇纹石 10% ~15%、滑石 5% ~10%、黑云母 10% ~15%。岩石铜含量为 0.7% ~2.86%。蛇纹岩为变余粒状结构,平行纤维变晶结构,岩石全部蚀变,蚀变矿物有叶蛇纹石、胶蛇纹石、黑云母、黝帘石、伊丁石和金属矿物,原岩可能为辉橄岩。

辉长岩相野外明显侵入闪长岩中,表明闪长岩形成早于辉长岩;黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩局部分布于辉长岩及辉石岩中,形成可能晚于辉长岩。可以推断含矿超基性岩(黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩)为岩体最后侵入形成。

## 4 地球化学特征

### 4.1 样品特征及分析方法

对 4 件岩体闪长岩(ZWK-11、14、22、38),3 件辉石闪长岩(ZWK-10、16、50)和 3 件辉长岩(ZTC11-B、ZWB-93、ZB-22)样品进行了主量元素、稀土元素和微量元素分析。所有样品元素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室完成,应用 XRF 方法(RigakuZSX100e)做主量元素分析,误差 <1%,其中 $Fe_2O_3$ 为全铁百分含量,微量元素应用 ICP-MS 分析(PE ELAN 6000),误差 5% ~10%。主量元素分析结果见表 1,稀土元素和微量元素分析结果见表 2。

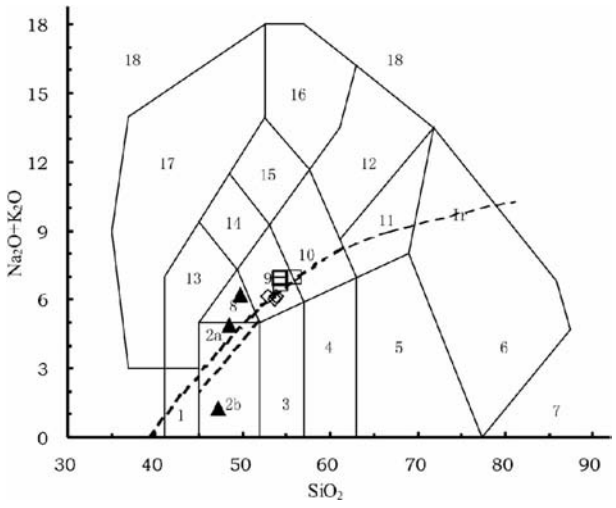



图 3 $SiO_2$-$Na_2O + K_2O$ 图解(底图据 Middlemost,1994)

▲为辉长岩;◇为辉石闪长岩;□为闪长岩,2 为辉长岩区;8 为二长辉长岩区;9 为二长闪长岩区

Fig. 3 $SiO_2$-$Na_2O + K_2O$ diagram (after Middlemost, 1994)

▲ gabbros; ◇ pyroxene diorite; □ diorites

### 4.2 主量元素

由表 1 可知,珠万喀腊岩体 $SiO_2$ 含量总体较低,变化范围为 47.1% ~55.9%,为中基性岩石。$TiO_2$ 含量低,为 1.00% ~1.42%,闪长岩为 1.10% 左右,辉石闪长岩 1% ~1.36%,辉长岩 1.12% ~1.42%。$Al_2O_3$ 变化不大,为 16.0% ~18.6%。MgO 含量介于 3.13% ~4.74%,样品 ZTC11-B 为 7.14% 较高。$Fe_2O_3$ 含量为 7.26% ~9.63%,CaO 的含量为 4.33% ~8.89%。$K_2O$ 和 $Na_2O$ 的含量较低,分别为 0.96% ~2.93% 和 0.31% ~4.19%。$K_2O + NaO$ 的含量变化在 1.27% ~6.99%。在 Alk-$SiO_2$ 图(图 3)上,落入辉长岩、二长辉长岩、二长闪长岩范围,大多数落在碱性系列范围内,只有 ZTC11-B 落在亚碱系列范围内。

杂岩体的分异指数 SI 值为 18.94 ~39.58,其中辉长岩平均 29.01、辉石闪长岩平均 21.21、闪长岩平均 22.33%,表明其经历的岩浆分异作用非常彻底。$Mg^{\#}$ 在 0.46 ~0.59,显示演化岩浆的特点,而由于主体为中基性岩石,m/f 值较低多数在 1 左右。

### 4.3 稀土元素和微量元素

由表 2 可知,珠万喀腊杂岩体各样品稀土元素丰度在 $131.1 \times 10^{-6}$ ~$159.7 \times 10^{-6}$ 之间,除 ZWK-50 为 $81.16 \times 10^{-6}$ 较低外,显示 REE 富集。样品 LREE/HREE 比值在 2.87 ~3.53 之间,平均为 3.18,表现轻稀土元素微富集;样品的 $(La/Sm)_N$ 值为 2.32 ~3.20,平均 2.88;$(Gd/Yb)_N$ 为 1.98 ~

**表 1 珠万喀腊铜矿杂岩体主量元素分析结果表(wt%)**

Table 1 The compositions of major elements (wt%) of the complex in Zhuwankala copper deposit

| 样品号 | ZTC11-B | ZWB-93 | ZB-11 | ZWK-16 | ZWK-10 | ZWK-50 | ZWK-11 | ZWK-14 | ZWK-22 | ZWK-38 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩性 | 辉长岩 | | | 辉石闪长岩 | | | 闪长岩 | | | |
| $SiO_2$ | 47.14 | 48.50 | 49.72 | 52.91 | 53.61 | 53.78 | 54.33 | 54.21 | 54.36 | 55.90 |
| $TiO_2$ | 1.28 | 1.12 | 1.42 | 1.00 | 1.36 | 1.36 | 1.11 | 1.10 | 1.04 | 1.10 |
| $Al_2O_3$ | 18.39 | 17.16 | 17.06 | 16.90 | 16.05 | 17.16 | 18.48 | 18.63 | 18.59 | 16.33 |
| $Fe_2O_3$ | 9.63 | 7.92 | 9.56 | 7.26 | 9.51 | 9.40 | 8.24 | 7.87 | 7.85 | 7.80 |
| MnO | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.13 |
| MgO | 7.14 | 4.13 | 4.74 | 3.13 | 4.71 | 4.24 | 4.38 | 4.07 | 4.49 | 4.12 |
| CaO | 4.32 | 8.89 | 7.40 | 6.75 | 7.15 | 7.45 | 6.22 | 5.62 | 6.26 | 6.10 |
| $Na_2O$ | 0.31 | 3.60 | 4.10 | 3.47 | 3.98 | 4.16 | 4.05 | 4.19 | 4.08 | 4.07 |
| $K_2O$ | 0.96 | 1.31 | 2.14 | 2.65 | 2.05 | 1.98 | 2.93 | 2.73 | 2.61 | 2.92 |
| $P_2O_5$ | 0.56 | 0.60 | 0.55 | 0.49 | 0.50 | 0.60 | 0.51 | 0.51 | 0.45 | 0.52 |
| LOI | 9.52 | 6.29 | 3.53 | 4.95 | 0.32 | 0.31 | 0.16 | 1.52 | 0.33 | 0.21 |
| Total | 99.34 | 99.67 | 100.37 | 99.63 | 99.39 | 100.58 | 100.54 | 100.58 | 100.20 | 99.21 |
| FeOT | 8.67 | 7.13 | 8.60 | 6.53 | 8.56 | 8.46 | 7.41 | 7.08 | 7.07 | 7.02 |
| $Mg^{\#}$ | 0.59 | 0.51 | 0.50 | 0.46 | 0.50 | 0.47 | 0.51 | 0.51 | 0.53 | 0.51 |
| Alk | 1.27 | 4.91 | 6.24 | 6.12 | 6.02 | 6.14 | 6.97 | 6.92 | 6.69 | 6.99 |
| Rett | 0.39 | 4.38 | 5.78 | 3.78 | 3.42 | 3.50 | 4.29 | 4.28 | 3.94 | 3.79 |
| SI | 39.58 | 24.36 | 23.10 | 18.94 | 23.26 | 21.43 | 22.37 | 21.58 | 23.58 | 21.81 |
| m/f | 1.45 | 1.01 | 0.97 | 0.84 | 0.96 | 0.88 | 1.03 | 1.01 | 1.11 | 1.03 |

Alk-$K_2O + Na_2O$; Rett-里特曼指数;SI-分异指数;$m/f = (Mg^{2+} + Ni^{2+})/(Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn^{2+})$

**表 2 珠万喀腊铜矿杂岩体微量元素分析结果表($\times 10^{-6}$)**

Table 2 The compositions of trace elements of the complex in Zhuwankala copper deposit ($\times 10^{-6}$)

| 样品号 | ZTC11-B | ZWB-93 | ZB-11 | ZWK-16 | ZWK-10 | ZWK-50 | ZWK-11 | ZWK-14 | ZWK-22 | ZWK-38 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩性 | 辉长岩 | | | 辉石闪长岩 | | | 闪长岩 | | | |
| Sc | 18.69 | 17.08 | 19.22 | 15.79 | 20.9 | 6.803 | 18.22 | 17.56 | 18.46 | 18.13 |
| Ti | 7778 | 6503 | 8503 | 5782 | 8569 | 10172 | 6437 | 6472 | 6154 | 6413 |
| V | 128 | 117 | 141 | 120 | 168 | 264 | 129 | 128 | 125 | 125 |
| Cr | 53 | 53 | 54 | 97 | 48 | 218 | 105 | 99 | 114 | 95 |
| Mn | 756.2 | 1192 | 1005 | 980.7 | 1112 | 2030 | 1029 | 972.9 | 1048 | 1011 |
| Co | 26.38 | 23.57 | 25.77 | 22.28 | 29.05 | 75.29 | 23.74 | 22.2 | 23.93 | 22.83 |
| Ni | 51.47 | 44.61 | 50 | 44.79 | 51.04 | 68.08 | 45.34 | 44.25 | 48.26 | 45.25 |
| Cu | 91.81 | 32.68 | 68.59 | 61.24 | 67.38 | 605 | 65.16 | 78.32 | 64.57 | 68.54 |
| Zn | 135.5 | 85.64 | 101.7 | 77.19 | 97.07 | 235.3 | 88.32 | 86.88 | 82.71 | 80.9 |
| Ga | 20.41 | 18.4 | 18.85 | 17.53 | 19.13 | 33.17 | 18.55 | 19.03 | 18.55 | 18.54 |
| Ge | 0.94 | 1.07 | 1.01 | 0.84 | 0.93 | 1.71 | 1.13 | 0.95 | 1.00 | 1.1 |
| Rb | 13.71 | 20.42 | 31.28 | 38.53 | 26.3 | 5.766 | 46.5 | 38.81 | 40.35 | 45.59 |
| Sr | 78.9 | 738 | 707 | 642 | 759 | 107 | 639 | 675 | 702 | 651 |
| Y | 25.09 | 21.25 | 22.33 | 19.5 | 21.01 | 8.056 | 19.98 | 20.39 | 18.7 | 21.72 |
| Zr | 140 | 135 | 207 | 195 | 183 | 194 | 220 | 192 | 186 | 238 |
| Hf | 3.50 | 3.17 | 4.66 | 4.24 | 3.94 | 4.54 | 4.65 | 4.28 | 4 | 5.28 |
| Nb | 22.18 | 7.06 | 10 | 28.64 | 14.49 | 7.70 | 10.21 | 9.50 | 9.04 | 10.77 |
| Ta | 1.3 | 0.59 | 0.60 | 1.64 | 0.87 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 0.80 | 0.92 |
| Ba | 169 | 424 | 585 | 709 | 544 | 66 | 659 | 740 | 689 | 702 |
| Pb | 9.81 | 8.68 | 13.94 | 11.32 | 6.71 | 8.06 | 9.20 | 9.14 | 8.48 | 9.94 |
| Th | 2.04 | 1.51 | 1.93 | 2.10 | 1.68 | 2.72 | 2.25 | 2.2 | 2.04 | 2.47 |
| U | 0.84 | 0.78 | 0.63 | 0.74 | 0.56 | 1.26 | 0.76 | 0.73 | 0.69 | 0.88 |
| La | 25.73 | 24.76 | 26.62 | 25.67 | 23.98 | 15.05 | 26.65 | 26.09 | 24.92 | 29.06 |
| Ce | 63.35 | 55.00 | 59.44 | 55.65 | 54.22 | 31.89 | 57.67 | 57.05 | 53.22 | 63.67 |
| Pr | 7.91 | 6.99 | 7.36 | 6.65 | 6.70 | 3.89 | 6.87 | 6.83 | 6.41 | 7.61 |
| Nd | 34.07 | 30.27 | 30.51 | 26.84 | 28.61 | 16.77 | 27.67 | 27.78 | 25.57 | 30.45 |

续表 2

Continued Table 2

| 样品号 | ZTC11-B | ZWB-93 | ZB-11 | ZWK-16 | ZWK-10 | ZWK-50 | ZWK-11 | ZWK-14 | ZWK-22 | ZWK-38 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 岩性 | 辉长岩 | | | 辉石闪长岩 | | | 闪长岩 | | | |
| Sm | 7.15 | 6.00 | 6.12 | 5.29 | 5.87 | 3.56 | 5.41 | 5.46 | 5.03 | 6.09 |
| Eu | 1.87 | 1.89 | 1.74 | 1.56 | 1.71 | 1.17 | 1.50 | 1.64 | 1.56 | 1.64 |
| Gd | 6.61 | 5.58 | 5.65 | 4.77 | 5.38 | 3.74 | 5.09 | 5.08 | 4.69 | 5.53 |
| Tb | 0.96 | 0.80 | 0.81 | 0.71 | 0.78 | 0.47 | 0.71 | 0.74 | 0.67 | 0.79 |
| Dy | 5.10 | 4.42 | 4.58 | 3.77 | 4.29 | 2.15 | 3.93 | 3.96 | 3.72 | 4.39 |
| Ho | 0.98 | 0.86 | 0.87 | 0.75 | 0.83 | 0.36 | 0.76 | 0.78 | 0.74 | 0.87 |
| Er | 2.70 | 2.33 | 2.43 | 2.08 | 2.27 | 0.92 | 2.18 | 2.21 | 1.96 | 2.42 |
| Tm | 0.38 | 0.32 | 0.35 | 0.29 | 0.31 | 0.13 | 0.30 | 0.29 | 0.29 | 0.33 |
| Yb | 2.46 | 2.10 | 2.35 | 1.97 | 2.12 | 0.93 | 2.04 | 2.01 | 1.96 | 2.24 |
| Lu | 0.39 | 0.34 | 0.36 | 0.32 | 0.34 | 0.13 | 0.32 | 0.33 | 0.31 | 0.36 |
| ∑REE | 159.7 | 141.7 | 149.2 | 136.3 | 137.4 | 81.16 | 141.1 | 140.2 | 131.1 | 155.5 |
| δEu | 0.82 | 0.98 | 0.89 | 0.93 | 0.92 | 0.97 | 0.86 | 0.93 | 0.97 | 0.85 |
| δCe | 1.08 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.03 | 1.00 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.03 |
| $(La/Sm)_N$ | 2.32 | 2.67 | 2.81 | 3.14 | 2.64 | 2.73 | 3.18 | 3.09 | 3.20 | 3.08 |
| $(La/Yb)_N$ | 7.50 | 8.45 | 8.12 | 9.36 | 8.10 | 11.61 | 9.38 | 9.32 | 9.11 | 9.32 |
| $(Gd/Yb)_N$ | 2.22 | 2.20 | 1.99 | 2.00 | 2.09 | 3.33 | 2.07 | 2.09 | 1.98 | 2.05 |
| LR/HR | 2.87 | 3.03 | 3.04 | 3.29 | 2.99 | 3.53 | 3.27 | 3.24 | 3.27 | 3.25 |

LR/HR-∑LREE/∑HREE

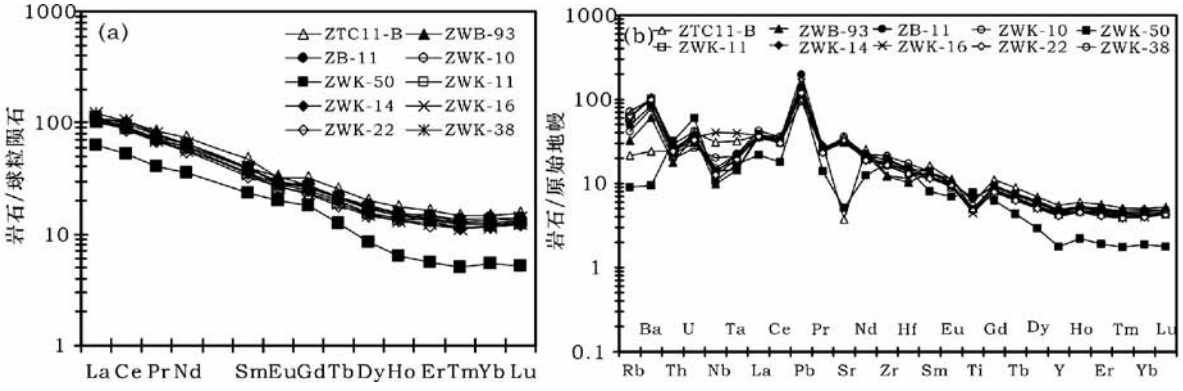



图 4 珠万喀腊岩体稀土元素球粒陨石标准化图(a)和微量元素原始地幔标准化图(b)(球粒陨石、原始地幔数据引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 4 Diagram of chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace patterns (b) of the Zhuwankala complex (after Sun and McDonough,1989)

3.33,平均 2.20,说明轻重稀土元素内部分馏都不明显,分馏程度较弱;$(La/Yb)_N$ 均大于 1,为 7.50 ~ 11.61,属重稀土轻微亏损型;δEu 值均小于 1,最小为 0.82,表现弱负铕异常,表明斜长石的分离作用不明显。δCe 值变化范围为 1.00 ~ 1.08,无异常显示。稀土元素配分图解上(图 4a),配分曲线向右倾斜,属轻稀土富集型。

由表 2 和图 4b 显示,杂岩体各岩性微量元素原始地幔标准化配分曲线基本相似,反映了杂岩体各岩性同源性及相同的演化过程。微量元素富集大离子亲石元素(LILE),如 Ba、Pb、Sr,尤其富集 Pb,其中 ZTC11-B,ZWK-50 两样品出现明显 Sr 负异常;相对亏损高场强元素(HFSE),如 Nb、Ta、Th 等。

## 5 讨论

### 5.1 形成机制

新疆北部主碰撞发生在泥盆纪末-石炭纪初,这一时期北疆地区西伯利亚、哈萨克斯坦-准噶尔完成了最后的拼合过程,早石炭世维宪期-晚二叠世后碰撞阶段(王京彬和徐新,2006),此时形成了与铜镍矿床有关的基性-超基性杂岩、碱性花岗岩和陆相钙碱性火山岩,并形成一些岩浆型铜镍硫化物矿床和陆相火山岩型铜矿床,是新疆北部铜(镍)矿床的

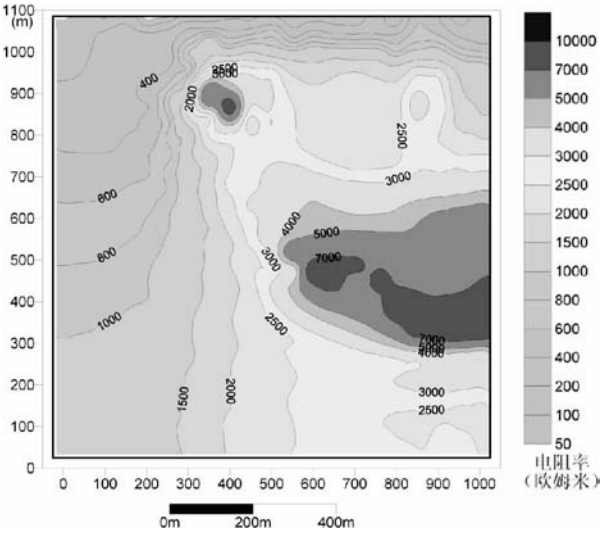



图 5 珠万喀腊杂岩体 EH4 深度-视电阻率剖面图

剖面位置见图 1(b)中的 Ⅰ-Ⅰ′线，显示岩体电阻率呈水平状，可能为重力分异的结果，地表 600～700m 位置可能为含矿岩相

Fig. 5 2D resistivity model of the EH4 conductivity image system data of Zhuwankala complex, showing the deep of mineralization anomalies

最重要成矿期(杨炳滨,1994)。对该区著名喀拉通克铜镍矿床的岩体研究成果(张招崇等,2003)表明,珠万喀腊杂岩体与喀拉通克岩体的构造背景、岩石地球化学特征具有很大地相似性。喀拉通克岩体成岩过程的研究对认识珠万喀腊岩体的成岩有重要启发。从岩体地球化学特征来看,珠万喀腊杂岩体的 $TiO_2$ 含量较低,具有岛弧岩浆的特点,同时微量元素原始地幔标准化图解具有 Nb、Ta 和 Ti 的亏损,同样显示了岛弧岩浆的特点,但与杂岩体产于后碰撞伸展期盆地环境不一致性。这些特征与喀拉通克岩体一样,可能是岩浆岩源区保留有早期俯冲的洋壳(张招崇等,2003)。

北准噶尔地区萨吾尔一带晚古生代主要为岛弧构造体系(王广瑞,1996),早石炭世为弧间浅海环境,早二叠世后碰撞拉张阶段形成陆内裂谷环境,形成珠万喀腊盆地,进入陆相火山岩喷发-沉积阶段,形成一套陆相偏碱性中基性火山岩和火山碎屑岩建岩,珠万喀腊基性-超基性杂岩体沿盆地隐伏断裂侵入并在古火山机构定位。

### 5.2 地球物理验证(EH4 连续电导率测量)特征

对杂岩体开展了 EH4 连续电导率测量,测量结果(图 5)可以看出杂岩体深部 200m 以下向南陡倾,在岩体 700～800m 深部出现一个 <2500Ω·m 的层状地质体,相对岩体整体 4000～7000Ω·m 的电阻率低。异常表现为层状特征,可能是岩浆发生重力分异作用形成不同岩相的结果。低阻异常带可能为含矿岩相,因此岩体下部(距离地表 700～800m 处)(图 5)可作为进一步找矿的有利部位。

### 5.3 找矿意义

区域地球化学测量表明,珠万喀腊矿区处于 Ni、Co、Cr、Cu、Mo 地球化学场内。物探成果表明,杂岩体辉长岩相带具有高磁性、高剩余磁场特性,EH4 测量表明在 700～800m 存在较低的层状地质体,在其相邻部位探测到深部具有低阻、高极化特征。岩体外接触带的部分矿化地段测到弱高磁、负自电、低阻(极化)重合异常,且磁异常向倾向方向位移,反映了深部异常体应为矿致异常特征。

杂岩体晚期侵位的辉石岩具有磁黄铁矿、黄铜矿矿物组合及见到海绵陨铁结构等,表明岩浆演化过程中发生过硫化物不混溶作用,预示杂岩体有利寻找熔离-贯入式硫化矿体。

珠万喀腊杂岩体目前见到含铜矿化的辉石岩相,所以杂岩体属于铜矿有关的岩体。该岩体产于后碰撞陆内伸张环境,与喀拉通克一带含矿杂岩体具有相似的成矿大地构造背景,表明该杂岩体具有寻找铜镍硫化物矿床的前景。

## 6 结论

(1)阿勒泰西南缘珠万喀腊杂岩体由石英闪长岩、辉石闪长岩、辉长岩、超基性岩(黄铜-磁黄铁矿化橄榄岩)组成,其超基性成分已经发现矿化。

(2)杂岩体石英闪长岩-辉石闪长岩属碱性系列,辉石岩属于亚碱性系列,地球化学以低 Ti、亏损 Nb、Ta 和微弱富集轻稀土元素以及富集大离子亲石元素为特征,显示了岛弧岩浆的特点,可能是岩浆岩源区有早期俯冲的洋壳。

(3)EH4 测量结果表明杂岩体内保留存在层状异常,可能是岩浆发生重力分异作用形成不同岩相的结果。低阻异常带可能为含矿岩相,岩体下部(距离地表 700～800m 处)可作为进一步找矿的有利部位。

## References

Han CM, Xiao WJ, Cui B, Mao QG, Zhang JE and Ao SJ. 2006. Major types and characteristics of Late Paleozoic copper deposits in North Xinjiang, Northwest China. Acta Geologica Sinica, 80(1):74－89 (in Chinese with English abstract)

Li JX, Qin KZ, Xu XW, Sun H, Chen SL, Wu H and Mo XH. 2007. Geochemistry of Baishiquan Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complex in East Tianshan, Xinjiang: Constraints on ore genesis and tectonic setting. Mineral Deposits, 26(1):43－57 (in Chinese with English abstract)

Mao JW, Franco PIRAJNO, Zhang ZH, Chai FM, Yang JM, Wu H, Chen SP, Chen SL and Zhang CQ. 2006. Late variscan post-collisional Cu-Ni sulfide deposits in East Tianshan and Altay in China: Principal characteristics and possible relationship with mantle plume. Acta Geologica Sinica, 80(7):925－942 (in Chinese with English abstract)

Mao QG, Xiao WJ, Han CM, Sun M, Yuan C, Yan Z, Li JL, Yong Y and Zhang JE. 2006. Zircon U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the eastern Tianshan, Xinjiang Province: Constraints on the closure of the Paleo-Asian

Ocean. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 153 – 162 (in Chinese with English abstract)
Middlemost Eric AK. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Science Reviews, 37(3 – 4): 215 – 224
San JZ, Hui WD, Wei JY and Kang F. 2007. A promising Cu-Ni target: The No. 1 complex at Tulaergen, Hami County, Xinjiang. Xinjiang Geology, 25(1): 59 – 63 (in Chinese with English abstract)
Sun H, Qin KZ, Xu XW, Li JX, Ding KS, Xu YX and San JZ. 2007. Petrological characteristics and copper-nickel ore-forming processes of Early Permian mafic-ultramafic intrusion belts in East Tian shan. Mineral Deposits, 26 (1): 98 – 108 (in Chinese with English abstract)
Sun PP and Ni SB. 2008. REE characteristics of basic-ultrabasic rocks from the Jingbulake belt in Xinjiang. Journal of University of Science and Technology of China, 38 (4): 347 – 355 (in Chinese with English abstract)
Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313 – 345
Wang DH, Chen YC, Xu ZG and Lin WW. 2000. Cu-Ni-(PGE) sulfide metallogenic series in North Xinjiang. Mineral Deposits, 19(2): 147 – 155 (in Chinese with English abstract)
Wang GR. 1996. Classification of tectonic units and geologic evoluation in the northern Xinjiang and neighboring area. Xinjiang Geology, 41 (1): 12 – 27 (in Chinese with English abstract)
Wang JB, Li B Q and Zhang JB. 1999. Metallogenic Prognosis and Cu-Au Conditions of the Ertix Ore Belt. Beijing: Metallurgical Industry Press (in Chinese with English abstract)
Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 80(1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)
Wang JB, Wang YW and Zhou TF. 2008. Metallogenic spectrum related to post-coilisional mantle derived magma in North Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 24 (4): 743 – 752 (in Chinese with English abstract)
Yang BB. 1994. Ore-controlling factors of magmatic copper-nickel sulfide deposits in northern Xinjiang. Mineral Resources and Geology, 8 (5): 330 – 333 (in Chinese)
Yang WP, Zhou G, Zhang ZC, Yan SH, He LX, He YS and Chen BL. 2004. Geochemistry of mafic intrusions on the south margin of the Altay orogenic belt and Cu-Ni sulfide ore potential of these intrusions. Geological Bulletin of China, 23 (4): 390 – 399 (in Chinese with English abstract)
Yin YQ, Tang HS, Li JX, Hu XP, Guo ZL, Ma ZM and Chen DJ. 2004. Copper-nickel potentiality of the Aidingkeluosai intrusion in Jimunai County, Xinjiang. Xinjiang Geology, 22(4): 362 – 365 (in Chinese with English abstract)
Yin YQ, Guo ZL, Hu XP, Tang HS, Li JX and Chen DJ. 2005. Mineralization type and metallogenic model of the Aidingkeluosai copper deposit in Jimunai County, Xinjiang. Geology and Prospecting, 41(3): 1 – 6 (in Chinese with English abstract)
Zhang ZC, Yan SH, Chen BL, He LX, He YS and Zhou G. 2003. Geochemistry of the Kalatongke basic complex in Xinjiang and its constraints on genesis of the deposit. Acta Petrologica et Minerlogica, 22(3): 217 – 224 (in Chinese with English abstract)
Zhang ZH, Wang ZL, Mao JW, Chai FM, Yang QF and Yang JM. 2006. Geochemistry of the Qingbulake basic complex in western Tianshan. Acta Geologica Sinica, 80(7): 1005 – 1016 (in Chinese with English abstract)
Zhang ZH, Wang ZL, Wang YB, Zuo GC, Wang LS and Lu SL. 2007. Shrimp zircon U-Pb dating of diorite from Qingbulake basic complex in western Tianshan Mountains of Xinjiang and its geological significance. Mineral Deposits, 26(4): 353 – 360 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

韩春明, 肖文交, 崔彬, 毛启贵, 张继恩, 敖松坚. 2006. 新疆北部晚古生代铜矿床主要类型和地质特征. 地质学报, 80(1): 74 – 89
李金祥, 秦克章, 徐兴旺, 孙赫, 程松林, 吴华, 莫新华. 2007. 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. 矿床地质, 26(1): 43 – 57
毛景文, Franco PIRAJNO, 张作衡, 柴凤梅, 杨建民, 吴华, 陈世平, 程松林, 张长青. 2006. 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. 地质学报, 80 (7): 925 – 942
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(1): 153 – 162
三金柱, 惠卫东, 魏俊瑛, 康峰. 2007. 康峰新疆哈密市图拉尔根 1 号杂岩体成矿远景探讨. 新疆地质, 25(1): 59 – 63
孙赫, 秦克章, 徐兴旺, 李金祥, 丁奎首, 许英霞, 三金柱. 2007. 东天山镁铁质-超镁铁质岩带岩石特征及铜镍成矿作用. 矿床地质, 26(1): 98 – 108
孙盼盼, 倪守斌. 2008. 新疆菁布拉克岩带稀土元素地球化学特征. 中国科学技术大学学报, 38(4): 347 – 355
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(2): 147 – 155
王广瑞. 1996. 新疆北部及邻区地质构造单元与地质发展史. 新疆地质, 41(1): 12 – 27
王京彬, 李博泉, 张积斌. 1999. 额尔齐斯聚矿带金铜成矿条件及找矿预测. 北京: 冶金工业出版社, 160 – 163
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(1): 23 – 31
王京彬, 王玉往, 周涛发. 2008. 新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系. 岩石学报, 24(4): 743 – 752
杨炳滨. 1994. 新疆北部岩浆型铜镍硫化物矿床控矿因素的研究. 矿产与地质, 43(8): 330 – 333
杨文平, 周刚, 张招崇, 闫升好, 何立新, 何永胜, 陈柏林. 2004. 阿尔泰造山带南缘镁铁质岩体的地球化学特征及铜镍硫化物型矿床找矿前景. 地质通报, 23(4): 390 – 399
尹意求, 唐红松, 李嘉兴, 胡兴平, 郭正林, 马忠美, 陈大经. 2004. 新疆吉木乃艾丁克罗赛岩体深部铜镍成矿评价. 新疆地质, 22 (4): 362 – 365
尹意求, 郭正林, 胡兴平, 唐红松, 李嘉兴, 陈大经. 2005. 新疆吉木乃县艾丁克罗赛铜矿的矿化类型及成矿模式. 地质与勘探, 41 (3): 1 – 6
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(3): 217 – 224
张作衡, 王志良, 毛景文, 柴凤梅, 杨富全, 杨建民. 2006. 西天山菁布拉克基性杂岩体的地球化学特征. 地质学报, 80 (7): 1005 – 1016
张作衡, 王志良, 王彦斌, 左国朝, 王龙生, 吕林素. 2007. 新疆西天山菁布拉克基性杂岩体闪长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 矿床地质, 26(4): 353 – 360