

阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏 斑岩铜矿的发现及其意义

杨文平¹ 张招崇^{2,3} 周 刚¹ 闫升好⁴ 何立新¹ 陈柏林⁵

(1. 新疆地质矿产局第四地质大队, 新疆 阿勒泰 836500;

2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3. 中国地质大学地球科学学院, 北京 100083;

4. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 5. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 希勒克特哈腊苏铜矿位于阿尔泰铜矿带南缘, 即原卡拉先格尔斑岩铜矿带内。初步的研究和钻孔资料表明, 铜矿体完全受斑岩体(石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩)控制, 矿石具细脉浸染状构造, 金属矿物主要为黄铜矿和黄铁矿以及少量的磁铁矿、斑铜矿和镜铁矿。其中磁铁矿形成早于黄铜矿, 指示了岩浆具有较高的氧化状态。矿化蚀变带与斑岩铜矿基本相似, 岩体内见钾长石化、黑云母化、硅化和黄铁矿化, 接触带见石英绢云母化, 围岩见青磐岩化。含矿斑岩的地球化学特征表明其属于埃达克岩(adakite): 高 SiO_2 (63%~66%)、高 Al_2O_3 (15%~17%)、富集 Sr (378×10^{-6} ~ 447×10^{-6})、无负 Eu 异常、亏损 Y (10×10^{-6} ~ 14×10^{-6}) 和 Yb (1.3×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6}) 以及低的 Sr 同位素初始值 (0.70439)、高的 $(\epsilon_{\text{Nd}})_t$ (+6.9~+8.2) 和低的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ (<10‰)。其 Rb-Sr 等时线年龄为 $(332.8 \pm 8.5)\text{Ma}$, 为早石炭世侵位的产物, 其形成与蒙古洋板块向南俯冲造成的洋壳部分熔融有关, 因此其成矿地质背景与世界巨型斑岩铜矿十分相似。另外, 在希勒克特哈腊苏铜矿外围还有数个与其十分相似的铜矿点, 因此该地区展示了良好的找矿前景, 同时也是中国又一个潜在的斑岩铜矿带。

关键词: 斑岩铜矿; 含矿斑岩; 埃达克岩; 希勒克特哈腊苏

中图分类号: P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)01-0107-08

斑岩铜矿以其规模大、埋藏浅、易开采而成为最主要的铜矿床类型, 其储量占 50% 以上^[1], 所以过去几十年来人们对斑岩铜矿进行了大量的研究和找矿工作。近年来, 东天山土屋特大型斑岩的发现兴起了在该地区寻找斑岩铜矿的热潮^[2-3]。相比之下, 阿尔泰铜矿带南缘卡拉先格尔铜矿带虽然很早就被确认为斑岩铜矿带^[4], 但找矿工作一直没有取得突破, 所以该矿点也随之被放弃, 而有关其成矿类型是否属于斑岩型也一直存在着争论。笔者从 2001 年开始通过对位于原卡拉先格尔铜矿点西北的希勒克特哈腊苏铜矿点(图 1)进行了研究, 初步确定其为斑岩型, 后来的勘探结果进一步证实了其属于斑岩铜矿, 从而取得了找矿工作的重大突破(初步评价其为中型), 为在该区进一步寻找这种类型铜矿床提供了找矿方向。本文简要介绍该矿床的地质特征, 并将对含矿斑岩及其于成矿关系的初步研究结果作一报道。

1 矿床地质

1.1 矿区地质

矿区位于前人划分的卡拉先格尔成矿带内^[4], 该成矿带严格受卡依尔特—二台断裂控制, 在卡拉先格尔附近与喀拉通克成矿带相交。矿带位于卡依尔特—二台断裂和玛因鄂博断裂之间。其中玛因鄂博断裂为阿尔泰造山带和准噶尔造山带的分界线, 即该断裂以北为阿尔泰造山带, 以南为准噶尔造山带。

矿区内地层主要为中泥盆统北塔山组(图 2), 还有少量下石炭统南明水组以及第三系、第四系。

北塔山组区内可划分为 3 个岩性段: 第一岩性段由无斑玄武岩、玄武安山岩、凝灰岩、火山角砾岩及片理化辉斑玄武岩组成, 为主要的赋矿层位; 第二岩性段由含碳泥质粉砂岩、

收稿日期: 2004-05-20; **改回日期:** 2004-10-27

基金项目: 国家 305 项目 (2001BA609A-07-02)、973 项目 (2001CB409807) 和新疆维吾尔自治区地质勘查中央专项资金项目 (200343002012) 联合资助。

作者简介: 杨文平, 男, 1963 年生, 高级工程师, 主要从事地质项目的管理工作; E-mail: aywp@sina.com。

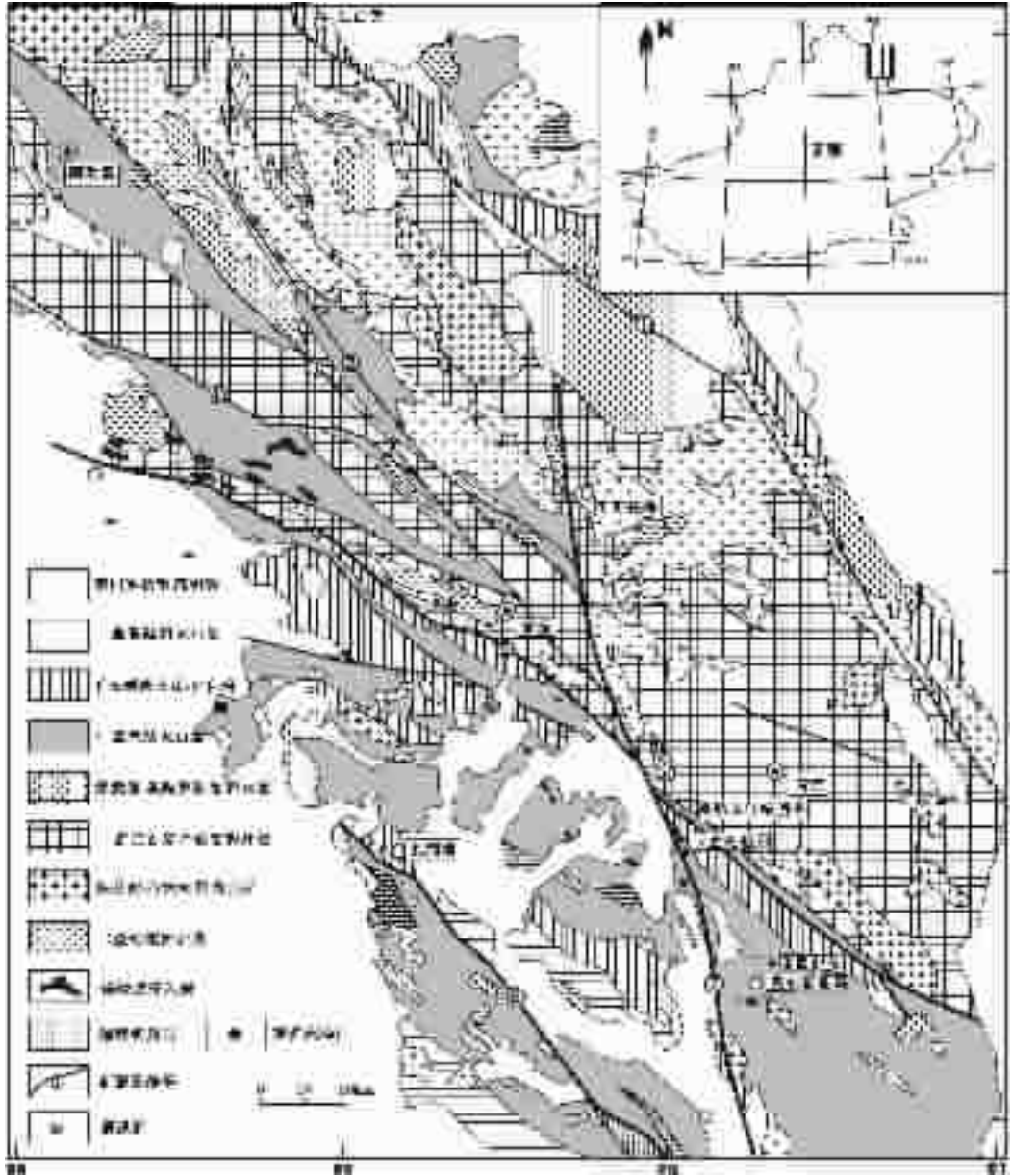


图1 阿尔泰铜矿带南缘区域地质矿产简图

断裂编号:①—诺尔特断裂;②—巴塞断裂;③—阿巴宫断裂;④—特斯巴汗断裂;
 ⑤—额尔齐斯断裂;⑥—乌伦古断裂;⑦—卡拉先格尔—二台断裂

Fig.1 Sketch map showing the regional geology and distribution of copper deposits in the Altay copper belt

Fault numbers:①—Nuoerte fault;②—Bazhai fault;③—Abagong fault;④—Tesebahah;
 ⑤—Erqiai fault;⑥—Wulung fault;⑦—Kalaxiangeer and Ertai fault

板岩、凝灰质砂岩、凝灰岩及片理化安山岩组成;第三岩性段由凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质砂砾岩、火山角砾岩等组成。区内地层为单斜岩层,局部有倒转现象,变形极为强烈。

断裂构造发育,按其走向分3组:第一组顺地层走向(330°~340°),倾向北东,倾角 50°~80°,属压扭性断裂,破碎明

显,与矿化关系密切。第二组走向 290°~320°,倾向南西,倾角 45°~85°,与第一组斜交;第三组是近南北向直立的张性断裂。

区内岩浆岩为海西中期第二期次,规模较大的有位于矿区西北的中粗粒黑云母花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩以及矿区东南的黄白色中粗粒二长花岗岩,其中前者分布面积为数

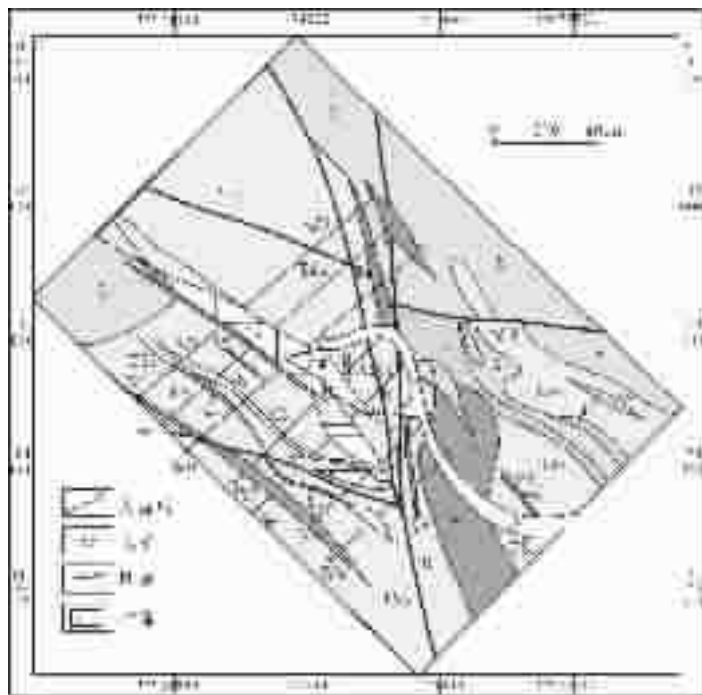


图 2 希勒克特哈腊苏矿区地质简图

Q—第四系;β—玄武岩;TSs—玄武质凝灰岩;
β+α—玄武岩+安山岩;δ—闪长岩;ξγ—正长斑岩;
δμ—闪长玢岩;ξπ—石英斑岩;γ₀—花岗斑岩;
λπ—花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩;
λφ—破碎蚀变岩;Bt—黑云母化

Fig.2 Geological sketch map of the
Xileketehalsu copper district

Q—Quaternary;β—basalt;TSs—basaltic tuff;
β+α—basalt+andesite;δ—diorite;
ξγ—syenite porphyry;δμ—diorite porphyry;
ξπ—quartz porphyry;
γ₀—granite porphyry;λπ—granodiorite porphyry and
quartz diorite porphyry;λφ—fractured altered rock;
Bt—biotite alteration

十平方千米,后者为几个平方千米,另外还有矿区东北部呈小岩株产出的正长岩。含矿母岩为花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩,沿断裂分布,总体走向 325°,倾向南西,长 640 m,一般为几十米宽,最宽处达 170 m,面积约 0.04 km²,呈压扁椭圆形。另外,还有较多的正长斑岩脉,走向大多为北西向,产状近陡立,宽一般 1~5 m,长 200~500 m,切割矿体和其他岩体,为成矿晚期的产物。

1.2 矿化特征

矿化严格受斑岩体(花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩)控制,矿化体由矿化岩体及其两侧的围岩(中基性熔岩和凝灰岩)组成。矿化体(Cu>0.2%)断续长达 1000 余米,宽 20~70 m,个别地段(西北段)宽度在 100 m 以上,矿体与围岩无明显的界线,呈渐变关系。成矿斑岩为花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩,两者呈过渡关系,具有全岩矿化的特点。从岩体向两侧围岩矿化迅速减弱,地表围岩中只见零星的孔雀石化。但相对而言,斑岩体的南西侧围岩矿化比北东侧要宽的多,前者断续矿化宽度可达上百米,而后者只有 10 余米左右。

地表 Cu 的平均品位为 0.8%,Au 的平均品位为 0.39g/t。矿体的深部形态由于只进行了 3 个钻探工程,所以其形态尚不清楚。已经进行的 3 个钻孔资料观察表明,深部具有连续矿化现象,其中 2 个钻孔的平均品位分别为 0.34%和 0.50%,局部地段具有富集现象,Cu 品位>0.6%的矿体有 100 余米。目前,0 勘探线已控制 400 m 以上,8 勘探线也已控制 500 m,这两个钻孔均未穿透矿体。

1.3 矿石类型及结构构造

矿石中金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿,另有少量的磁

铁矿、斑铜矿、镜铁矿和辉钼矿。次生矿物有铜蓝和孔雀石;脉石矿物有微斜长石、绢云母、黑云母、绿泥石、绿帘石、石英和碳酸盐(方解石)等。

矿石类型以稀疏浸染状和细脉浸染状为主。中—细粒半自形—他形粒状构造,浸染状构造和脉状构造。

大多数黄铜矿具有细脉浸染状的特点,局部地段呈石英—黄铜矿脉出现。但后一类矿石一般为富矿体,只是局部出现。黄铜矿呈粒状,粒度 0.03~0.5 mm,以 0.1~0.5 mm 为主,他形,呈散状分布于脉石矿物之间,或聚集沿裂隙充填呈脉状。黄铁矿和黄铜矿往往密切共生,以 0.1~0.3 mm 粒度的自形立方体浸染状分布,在黑云母化带中,黄铁矿与黄铜矿之比大致为 1:1;而在钾长石化带中黄铁矿少于黄铜矿。磁铁矿与黄铜矿和黄铁矿的产出不同,大多呈团块状或细脉出现,前者一般出现在深部,厚 20~50cm,后者出现在地表或浅部位置。可见黄铜矿细脉切穿磁铁矿细脉,因此磁铁矿的形成要早于黄铜矿。镜铁矿只是局部地段出现,呈集合体出现,为晚期热液作用的产物。在西北地段,还见有零星的钼矿化(辉钼矿),产于凝灰岩中。与铜矿化不呈共生关系。

1.4 蚀变特征

矿化蚀变特征总体上具有面型蚀变的特点,主要类型有硅化、钾长石化、黑云母化、绢云母化、青磐岩化和碳酸盐化等,其蚀变分带具有斑岩铜矿的蚀变分带特点;岩体内见钾长石化、黑云母化、硅化和黄铁矿化,接触带见石英绢云母化,围岩见青磐岩化。但围岩内具有面型蚀变特点的青磐岩化并不是由斑岩体侵入引起,似乎为区域变质作用造成的,但是围岩两侧的一些呈脉状的青磐岩化蚀变则与斑岩体的

侵入有关。主要蚀变类型如下:

钾长石化:仅限于花岗闪长斑岩体内,为中心蚀变带。主要特征是出现交代状微斜长石,呈他形填隙状或自形板状,具格子状双晶,含量 10%~25%,强烈地段达 70%,伴随蚀变的为浸染状黄铁矿-黄铜矿化。

黑云母化:分布在钾长石化外侧,在斑岩体的外侧以及接触带的中基性熔岩、凝灰岩中,黑云母呈斑状或条带聚集体,绿色、多色性弱,内部干净,与岩浆成因的黑云母(棕褐色)有明显的区别。

石英-绢云母化:主要特征是细鳞片状绢云母,呈密集条带与石英集合体共生,伴生黄铁矿化,其中石英呈他形。该带与黑云母化带呈过渡关系。

青磐岩化:为蚀变最外带,由绿泥石、绿帘石及方解石组成。

另外,斑岩体内的蚀变具有垂直分带现象,总体上上部为硅化、绢云母化,下部钾长石化增强。

2 含矿斑岩的地球化学特征与成矿的关系

2.1 含矿斑岩的地球化学

花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩为渐变过渡关系,它们在矿物组成上没有明显的区别,只是矿物含量上的差别,其中前者比后者石英的含量要高。岩石呈全晶质不等粒或斑状结构,块状构造。主要矿物成分有板状自形一半自形钠更长石(含量 30%~50%)、半自形—他形的正长石和石英(5%~15%),暗色矿物为短柱状绿色普通角闪石及黑云母(含量 5%~15%),副矿物为磷灰石、榍石、磁铁矿、金红石等。

主要元素、稀土、微量元素以及 Sr、Nd、O 同位素分析结果分别见表 1~4。由表 1 可知,斑岩的 Al_2O_3 含量较高,为 15.75%~16.52%, SiO_2 的含量为 63%~66%,相当于石英闪长岩的范围。其他一些元素如 K、Na 由于其活动性较强,而斑岩普遍发生蚀变,所以这些元素的含量不能反映斑岩本身的化学成分,其高的 K 含量和低的 Ca 含量则与斑岩体内的钾长

石化有关。稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 3)表明,稀土曲线表现为基本平行的轻稀土低度富集的特点,说明它们是同源岩浆演化的产物。另外,没有 Eu 的负异常相反出现略微的正异常,说明没有发生斜长石的分离结晶作用。

微量元素原始地幔标准化曲线表明(图 4),微量元素分配曲线基本相似,均呈右倾,表明大离子亲石元素(LILE, Rb、Ba、Th、U、K)相对于高场强元素(HFSE, Nb、Ta、Zr、Hf、Ti、P)明显富集,并且展示出 Nb、Ta、P、Ti 的负异常以及 Sr 的正异常,显示出岛弧岩浆的特点^[7]。

由表 4 可以看出,含矿斑岩的 O 同位素值($\delta^{18}O_{V-SMOW}$)为 7.9‰~8.6‰,在 6‰~10‰ 之间,暗示岩浆起源于地幔,并在上升过程中混染了地壳物质或者起源于下地壳,而不是起源于源岩为沉积岩的 S 型花岗岩。其 $(\epsilon_{Nd})_t$ 为 +6.9~+8.2,高的正 $(\epsilon_{Nd})_t$ 也说明不是 S 型花岗岩(<0)。Sr 同位素值虽然样品只有 3 个点,但 3 个点构成很好的等时线(图 5),为 $(332.8 \pm 8.5)Ma$,表明其形成时代为早石炭世,这与区域上相似岩性的同位素年龄一致^[8]。由此求得其初始值为 0.704394 ± 0.000085 ,也同样说明不属于 S 型花岗岩。

2.2 含矿斑岩的成因与成矿的关系

判断一个矿床的成矿潜力以及其是否属于斑岩类型,首先要看其大地构造背景是否有可能产出斑岩铜矿,然后判断含矿斑岩是否有利于斑岩铜矿的形成。

目前,已知斑岩铜矿产出的构造背景有岛弧或活动大陆边缘(如环太平洋斑岩铜矿带)^[9-11]、碰撞造山带(如位于青藏高原东缘的玉龙斑岩铜矿带)^[12-13]和大陆内部活化带的隆坳交接的隆起区一侧(如位于江南古陆的德兴斑岩铜矿带)^[14]。其中以前者规模最大。对研究区的构造演化研究表明,晚古生代早期,蒙古洋板块由北向南向准噶尔板块俯冲形成了北准噶尔岛弧,伴随产生一套钙碱性火山岩;晚泥盆世—早石炭世,北准噶尔岛弧随着俯冲作用减弱火山活动亦减弱,但是中酸性岩浆的侵入活动分布广泛^[14]。由此推测希勒克特哈

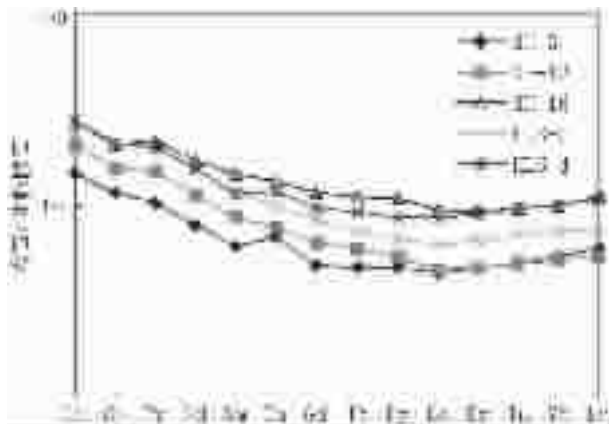


图 3 希勒克特哈腊苏含矿斑岩稀土元素配分曲线
Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution patterns of mineralized porphyry in the Xileketehalasu copper district

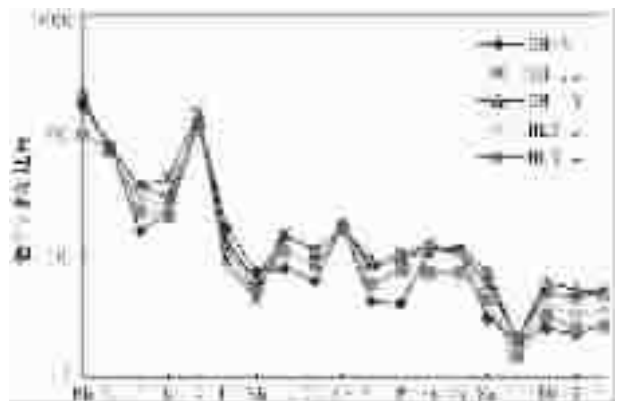


图 4 希勒克特哈腊苏含矿斑岩微量元素配分曲线
Fig.4 Chondrite-normalized trace element distribution patterns of mineralized porphyry in the Xileketehalasu copper district

表 1 希勒克特哈腊苏含矿斑岩的主要元素分析结果/%

Table 1 Major element analyses of ore-bearing porphyry in the Xileketehalasu copper ore district

| 样号 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | CO ₂ | H ₂ O | Total |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-------|
| XH-3 | 63.41 | 0.46 | 16.52 | 3.14 | 2.39 | 0.03 | 1.72 | 0.83 | 5.00 | 4.04 | 0.09 | 0.48 | 1.58 | 99.69 |
| XH-13 | 65.45 | 0.35 | 15.75 | 2.15 | 1.83 | 0.06 | 1.61 | 2.11 | 5.52 | 3.60 | 0.17 | 0.22 | 0.92 | 99.74 |
| XH-18 | 62.97 | 0.46 | 16.00 | 3.39 | 3.23 | 0.08 | 1.61 | 0.61 | 4.40 | 3.77 | 0.21 | 0.30 | 1.86 | 98.89 |
| HLS-4 | 63.30 | 0.50 | 16.85 | 3.41 | 1.56 | 0.02 | 1.66 | 0.94 | 4.19 | 4.58 | 0.24 | 0.26 | 1.64 | 99.15 |
| HLS-5 | 63.78 | 0.46 | 16.20 | 2.85 | 2.24 | 0.03 | 1.68 | 1.92 | 3.76 | 4.48 | 0.21 | 0.78 | 1.48 | 99.87 |

注:由国家地质试验测试中心通过 XRF 方法分析。

表 2 希勒克特哈腊苏含矿斑岩的稀土元素分析结果/10⁻⁶Table 2 REE analyses of ore-bearing porphyry in the Xileketehalasu copper ore district/10⁻⁶

| 样号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tb | Yb | Lu | Eu* | La/Sm |
|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| XH-3 | 5.55 | 11.20 | 1.41 | 5.65 | 1.41 | 0.60 | 1.52 | 0.28 | 1.87 | 0.39 | 1.20 | 0.19 | 1.37 | 0.23 | 1.26 | 3.94 |
| XH-13 | 7.74 | 15.20 | 2.05 | 8.05 | 1.96 | 0.66 | 1.97 | 0.35 | 2.07 | 0.41 | 1.21 | 0.19 | 1.29 | 0.21 | 1.03 | 3.94 |
| XH-18 | 10.30 | 20.00 | 2.91 | 12.20 | 3.36 | 1.16 | 3.62 | 0.65 | 4.21 | 0.83 | 2.37 | 0.37 | 2.23 | 0.43 | 1.02 | 3.07 |
| HLS-4 | 10.3 | 20.4 | 2.71 | 11.1 | 2.61 | 1.02 | 3.03 | 0.54 | 3.34 | 0.76 | 2.32 | 0.37 | 2.54 | 0.42 | 0.99 | 3.95 |
| HLS-5 | 10.4 | 20.5 | 2.68 | 11.2 | 2.67 | 0.86 | 2.64 | 0.43 | 2.62 | 0.55 | 1.68 | 0.27 | 1.81 | 0.29 | 1.10 | 3.90 |

注:由国家地质试验测试中心通过 ICP-MS 方法分析。

表 3 希勒克特哈腊苏含矿斑岩的微量元素分析结果/10⁻⁶Table 3 Trace element analyses of ore-bearing porphyry in the Xileketehalasu copper ore district/10⁻⁶

| 样号 | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Zr | Nb | Ba | Hf | Ta | Pb | Th | U | Y | Sc |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| XH-3 | 104 | 9.65 | 13.9 | 6.77 | 645 | 28.5 | 112 | 447 | 124 | 5.35 | 562 | 3.32 | 0.7 | 5.8 | 1.37 | 0.49 | 10.4 | 8.65 |
| XH-13 | 95 | 24.1 | 9.27 | 10.4 | 505 | 25.9 | 64.5 | 416 | 83.3 | 3.97 | 553 | 2.31 | 0.49 | 2.86 | 2.03 | 0.45 | 11.8 | 7.58 |
| XH-18 | 86.9 | 12.7 | 35.1 | 16.8 | 3017 | 55 | 134 | 378 | 130 | 4.68 | 540 | 3.64 | 0.53 | 6.06 | 3.24 | 0.64 | 24.0 | 8.38 |
| HLS-4 | 124 | 19.0 | 12.8 | 6.51 | 1807 | 47.0 | 154 | 381 | 142 | 3.32 | 526 | 3.76 | 0.37 | 6.46 | 3.24 | 0.93 | 20.7 | 8.07 |
| HLS-5 | 91.4 | 9.45 | 3.34 | 6.65 | 214 | 44.1 | 150 | 329 | 137 | 3.18 | 488 | 3.57 | 0.32 | 4.56 | 2.63 | 0.54 | 15.2 | 6.82 |

注:由国家地质试验测试中心通过 ICP-MS 方法分析。

表 4 希勒克特哈腊苏含矿斑岩的 Sr、Nd、O 同位素分析结果

Table 4 Sr, Nd and O isotope analyses of ore-bearing porphyry in the Xileketehalasu copper district

| 样号 | Rb(10 ⁻⁶) | Sr(10 ⁻⁶) | ⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr | ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr | 2σ | (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) t | Sm(10 ⁻⁶) | Nd(10 ⁻⁶) | ¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd | ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd | 2σ | (ε Nd)t | δ ¹⁸ O _{V-SMOW} (‰) |
|-------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|---------|---|
| XH-3 | 115.94 | 447.2 | 0.750 | 0.707961 | 0.000019 | 0.704407 | 1.30 | 5.73 | 0.1378 | 0.512920 | 0.000015 | 8.1 | 8.6 |
| XH-13 | 73.25 | 416.1 | 0.509 | 0.706800 | 0.000020 | 0.7043876 | 1.76 | 8.15 | 0.1306 | 0.512844 | 0.000010 | 6.9 | 7.9 |
| XH-18 | 127.96 | 377.5 | 0.981 | 0.709028 | 0.000020 | 0.704382 | 2.95 | 11.80 | 0.1512 | 0.512957 | 0.000010 | 8.2 | 8.1 |

注: Sr 和 Nd 同位素在中国科学院地质与地球物理研究所完成; O 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所完成; 计算所用的年龄采用 333Ma; λ(Sr)=1.39×10⁻¹¹, λ(Nd)=6.54×10⁻¹²。

腊苏含矿斑岩的形成(早石炭世时)与蒙古洋板块向南的俯冲有关。这一点同样也得到含矿斑岩地球化学特征的证实,即明显的 Nb、Ta、Ti、P 的负异常(图 4)以及高 Al 特征(表 1)等,这些特征表明其构造背景为岛弧环境。因此,从地质背景来看,本区的成矿地质背景十分有利于斑岩铜矿的形成。

哪一种岩石类型有利于斑岩铜矿的形成? 最新的研究表明,无论是岛弧-活动陆缘环境还是碰撞造山抑或是大陆内部活化带,最具成矿潜力的含矿斑岩通常是埃达克岩^[15-16]。埃达克岩是具有特定地球化学特征的一套中酸性火山岩和侵入岩组合^[17-18],其地球化学标志是: SiO₂≥56%, Al₂O₃≥15%,

MgO<3%, Y<18×10⁻⁶, Yb<1.9×10⁻⁶, Sr>400×10⁻⁶, LREEE 富集,无 Eu 的负异常。其形成通常被解释为俯冲洋壳在 75-85 km 深处(相当于角闪岩-榴辉岩过渡带)部分熔融形成的。由表 5 可知,希勒克特哈腊苏含矿斑岩的地球化学特征基本上和标准的埃达克岩一致,只是其 Na₂O/K₂O 略低,但这可能主要与后期的钾长石化有关。所以这一点也可以反过来证明含矿斑岩形成于岛弧环境。

Sillitoe^[19]根据对世界范围内大型热液铜-金矿床的研究成果,指出高氧逸度岩浆铜矿床形成的必要条件,因为 Cu 在硫化物和硅酸盐熔体中的分配系数很高,如果氧逸度低, S 呈

表5 希勒克特哈腊苏含矿斑岩和典型埃达克岩地球化学特征对比
Table 5 Comparison of geochemistry of the ore-bearing porphyry in the Xileketehalasu ore district with typical adakites

| | 典型埃达克岩 | 希勒克特哈腊苏含矿斑岩 |
|------------------------------------|--|---|
| 侵入岩岩石组合 | 花岗岩类、英云闪长岩 | 花岗岩类斑岩、石英闪长岩 |
| 岩石系列 | 钙碱性, 次为低钾拉斑系列 | 钙碱性 |
| SiO ₂ | >56% | 63%~66%, 平均 63.94% |
| Al ₂ O ₃ | >15% | 15.7%~16.2%, 平均 16.09% |
| MgO | <3% | 1.6%~1.7%, 平均 1.65% |
| Na ₂ O/K ₂ O | >2 | 1.2%~1.5%, 平均 1.31% |
| Sr | >400 × 10 ⁻⁶ , 在微量元素蛛网图上显示正异常 | 378 × 10 ⁻⁶ ~447 × 10 ⁻⁶ , 平均 414 × 10 ⁻⁶ , 明显的正异常 |
| Eu | 没有负 Eu 异常或轻微的正 Eu 异常 | 没有负 Eu 异常和轻微的正 Eu 异常 |
| Yb | <1.9 × 10 ⁻⁶ | 1.29 × 10 ⁻⁶ ~2.23 × 10 ⁻⁶ , 平均 1.63 × 10 ⁻⁶ |
| Y | <18 × 10 ⁻⁶ | 10.4 × 10 ⁻⁶ ~24.0 × 10 ⁻⁶ , 平均 15.4 × 10 ⁻⁶ |
| REE 分布 | LREE 富集 | LREE 富集 |
| Nb | 在微量元素蛛网图上显示负异常 | 在微量元素蛛网图上显示负异常 |
| ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr | <0.705 | 0.70439 |
| (ε _{Sr}) _t | >0 | +6.9~+8.2 |

表6 希勒克特哈腊苏铜矿和典型斑岩铜矿特征的对比

Table 6 Comparison of the Xileketehalasu copper deposit with typical porphyry copper deposits

| | 典型斑岩铜矿 | 希勒克特哈腊苏斑岩铜矿 |
|------------------|---|--|
| 大地构造背景 | 活动大陆边缘、岛弧、碰撞造山和大陆活化带内的隆起交接的隆起区一侧 | 岛弧环境 |
| 与深断裂的关系 | 深断裂派生的次一级构造控制, 或位于另一组构造与深断裂复合的部位 | 位于两条深断裂之间, 受其派生的次一级构造控制 |
| 斑岩的系列、岩石组合及产状、规模 | 钙碱性的花岗岩类斑岩、石英闪长斑岩、闪长玢岩; 钙碱性富碱的二长岩—石英二长岩—二长花岗岩, 但以前一组合为主。以复式岩体或单一成分岩体呈岩柱状、岩株状或蘑菇状, 面积一般<2 km ² , 通常小于 1 km ² | 钙碱性的石英闪长斑岩和花岗岩类斑岩。以岩株状产出。其面积约 0.04 km ² |
| 控矿条件 | 矿体产于岩体顶部及接触带以及附近的围岩中, 受岩体的形态控制 | 矿体主要产于岩体内部, 少量产于接触带附近。岩体全岩矿化 |
| 矿石结构、构造 | 半自形—他形结构细脉浸染状构造 | 半自形—他形结构, 细脉浸染状构造 |
| 蚀变类型、蚀变分带 | 面型蚀变, 对称分带, 由内向外依次为钾硅酸盐带、石英—绢云母化带、泥英岩化带、青磐岩化带 | 面型蚀变, 基本呈对称分带, 由岩体内向外依次为钾长石化—石英—黑云母化带、石英—绢云母化带、青磐岩化带 |
| 矿石矿物组成 | 主要矿石矿物为黄铜矿和黄铁矿, 有少量磁铁矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿、硫砷铜矿和镜铁矿等 | 主要矿石矿物为黄铜矿和黄铁矿以及少量的磁铁矿、斑铜矿和镜铁矿等 |
| 矿化组合品位 | 岛弧环境内为 Cu—Au 组合, 其他环境为 Cu—Mo—Au 一般 Cu<1%, Au 一般<1g/t | Cu、Au 组合 Cu 平均品位 0.5%, Au 平均品位 0.39 g/t |

S²⁻, 则 Cu 会优先形成铜硫化物而在早期分散^[2]。埃达克岩由于其起源于富水的俯冲洋壳的部分熔融, 因而其与一般的长英质岩浆不同, 而具有富水、富硫和高氧逸度为特征^[2], 这种特征为铜的晚期富集创造了条件。希勒克特哈腊苏含矿斑岩中副矿物出现磁铁矿以及矿石中早期形成的磁铁矿均说明, 岩浆是高氧逸度的^[2], 因此满足斑岩铜矿的必要条件。

3 斑岩铜矿的确定与找矿意义

前已述及, 希勒克特哈腊苏铜矿的成矿地质背景以及含矿斑岩的地球化学特征均与产出于岛弧或活动大陆边缘的斑岩铜矿类似。此外, 其成矿地质特征, 如与深断裂的关系、

控矿条件、蚀变类型及其分带特征、矿石构造以及矿物组合特征等也基本上与典型的斑岩铜矿相似(表6)。因此希勒克特哈腊苏铜矿属于斑岩型是完全可以肯定的。

希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的确定对指导区域找矿具有十分重要的意义。在希勒克特哈腊苏北西向数十千米的成矿带内, 分布着许多岩性及岩石组合类似于该含矿斑岩的小斑岩体, 其中与这些小斑岩体有关的已知铜矿点从北西向南东有玉勒肯哈腊苏、卡拉先格尔 1 号矿点、卡拉先格尔 2 号矿点、喀拉萨依等(图 1)。这些矿点除了斑岩体与希勒克特哈腊苏含矿斑岩相似以外, 其控矿条件、蚀变类型及分带、矿石构造以及金属矿物组合特征等均与希勒克特哈腊苏矿床十分相似。

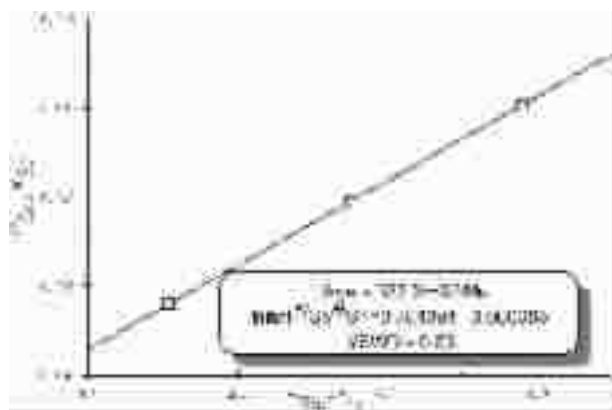


图 5 希勒克特哈腊苏含矿斑岩 Rb-Sr 等时线

Fig.5 Rb-Sr isochron of mineralized porphyry in the Xileketehalsu copper district

需要指出的是,原卡拉先格尔的 1 号和 2 号铜矿点,前人已进行了很多的工作,一直没有取得突破,对其成因也没有取得统一的认识,主要有两种,一是斑岩型,二是热液型。笔者对 2 个矿点的观察表明,这两种类型矿体在 2 个矿点都存在。两种类型的矿体在空间上基本平行,均呈北西向展布,其中斑岩型分布在南西,受花岗闪长斑岩体控制,热液型分布在北东,受压扭性构造控制。因此笔者最新的研究观察表明原卡拉先格铜矿点存在着斑岩型铜矿,有必要进一步开展工作。

近年来在蒙古国的欧玉陶盖发现了大型斑岩铜矿 (Cu: 2.25×10^6 t, 品位: 0.48%; Au: 328t, 品位: 0.70g/t), 引起了中国地质学家的广泛关注。该成矿带向西延伸后进入中国的甘肃北山后再向西,是往东天山延伸还是进入阿尔泰? 从其构造背景来看,本区与该成矿带同处于额尔齐斯—佐伦—黑河缝合带附近,所以从这点来看,本区应是该斑岩铜矿带的西段。

综上所述,希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现,使得该地区成为继东天山斑岩铜矿带之后中国又一个具有大型找矿前景的斑岩铜矿带。另外,随着该铜矿床的进一步勘探,其成矿规律也将会更加清楚,对该地区的找矿勘探必将具有重要的指导作用。

参考文献(References):

[1] Kirkham R V, Sinclair W D. Porphyry copper, gold, molybdenum, tungsten, tin and silver. *Geology of Canadian mineral deposit type* [M]. *Geol. N. Am.*, 1989. 421~446.
 [2] 王福同,冯京,胡建伟,等. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义[J]. *中国地质*, 2001, 28(1): 36~39.
 Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, et al. Characteristics and significance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xinjian[J]. *Geology in China* (Chinese Geology), 2001, 28(1): 36~39 (in Chinese).
 [3] 芮宗瑶,王福同,李恒海,等. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. *中国地质*, 2001, 28(2): 11~16.

Rui Zongyao, Wang Futong, Li Henghai, et al. Advance of the porphyry copper belt of the East Tianshan mountain, Xinjiang[J]. *Geology in China* (Chinese Geology), 2001, 28(2): 11~16 (in Chinese).
 [4] 王福同,庄道泽,胡建伟,等. 物探在新疆土屋地区铜矿找矿中的应用——兼谈斑岩铜矿藏分“三位一体”的找矿模式[J]. *中国地质*, 2002, 28(3): 40~46.
 Wang Futong, Zhuang Daoze, Hu Jianwei, et al. Application of geophysical exploration method in the Tuwu area, Winjiang—On the prospecting model of porphyry copper deposit [J]. *Geology in China* (Chinese Geology), 2001, 28(3): 40~46 (in Chinese).
 [5] 龙保林,薛迎喜,冯京,等. 新疆东天山斑岩铜矿的找矿模型试探[J]. *中国地质*, 2001, 28(5): 35~38.
 Long Baolin, Xue Yingxi, Feng Jing, et al. Prospecting model of the porphyry copper deposits of East Tianshan, Xinjiang [J]. *Geology in China* (Chinese Geology), 2001, 28(3): 35~38 (in Chinese).
 [6] 芮宗瑶,黄崇柯,齐国明,等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社, 1984. 5~12.
 Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, et al. *Porphyry Copper Deposits of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984. 5~12 (in Chinese with English abstract).
 [7] Yan Shenghao, Zhang Zhaochong, Chen Bailin, et al. Kalatongke copper-nickel sulfide deposit[A]. In: Mao J W, Goldfarb R J, R Sltmann (eds.). *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan* [C]. London: International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGOD), 2003. 131~152.
 [8] Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1973. 19: 290~300.
 [9] Mitchell A H G. Metallogenic belts and angle of dip of Benioff zones[J]. *Nature*, 1973, 245: 49~52.
 [10] Sillitoe R H. Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes[J]. *J. S. Am. Earth Sci.*, 1988, 1: 89~108.
 [11] Camus F, Dilles J H. A special issue devoted to porphyry copper deposits of northern Chile—Preface[J]. *Econ. Geol.*, 2001, 96: 233~238.
 [12] 马鸿文. 藏东玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 北京:中国地质大学出版社, 1990. 12~78.
 Ma Hongwen. *Granitoid and Mineralization in Yulong Porphyry Copper Deposit Belt of Eastern Tibet* [M]. Beijing: China University of Geoscience Press, 1990. 12~78 (in Chinese with English abstract).
 [13] 唐仁鲤,罗怀松. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[M]. 北京:地质出版社, 1995. 1~54.
 Tang Renli, Luo Huaisong. *Geology of Yulong Porphyry Copper Ore Belt in Tibet* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 1~54 (in Chinese with English abstract).
 [14] 于学元,梅厚钧,杨学昌. 额尔齐斯火山岩及构造演化[A]. 见:涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展[C]. 北京:科学出版社, 1993. 159~209.
 Yu Xueyuan, Mei Houjun, Yang Xuechang. Ertix volcanic rocks and its tectonic evolution[A]. In: Tu Guangzhi (ed.). *New Advances in Solid Earth Science in Northern Xinjing* [C]. Beijing: Science

- Press, 1993. 159~209 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17: 236~244.
Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. Characteristics and tectonic-metallogenic significance of adakite in Yanshanian Age of eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17: 236~244 (in Chinese with English abstract).
- [16] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例 [J]. 矿床地质, 2003, 22: 1~12.
Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, et al. Adakite: a significant propable ore-bearing source rock of porphyry copper: taking porphyry copper deposits in Tibet and Chile as examples [J]. Mineral Deposits, 2003, 22: 1~12 (in Chinese with English abstract).
- [17] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [J]. Nature, 1990, 347: 662~665.
- [18] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons [J]. J. Geophys. Res., 1990, 95 (B13): 21503~21521.
- [19] Siltoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. Australia Journal of Earth Sciences, 1997, 44: 373~388.
- [20] Streck J M, Dilles J H. Sulfur evolution of oxidized arc magmas as recorded in apatite from a porphyry copper batholith [J]. Geology, 1998, 26: 523~526.
- [21] Oyarzun R, Marquez A, Lillo J. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism [J]. Mineralium Deposita, 2001, 36: 794~798.
- [22] Takagi T, Tsukimura K. Genesis of oxidized- and reduced-type granite [J]. Econ. Geol., 1997, 92: 81~86.

Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt

YANG Wen-ping¹, ZHANG Zhao-chong^{2,3}, ZHOU Gang¹,
YAN Sheng-hao⁴, HE Li-xin¹, CHEN Bai-lin⁵

- (1. No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Altai 836500, Xinjiang, China;
2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
4. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
5. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The Xileketehalsu copper deposit is situated on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt, i.e., inside the original Kalaxiangeer porphyry copper belt. The preliminary study and drilling have revealed that copper orebodies are completely controlled by quartz diorite porphyry and granodiorite porphyry. The ores have veinlet and veinlet-disseminated structures. Chalcopyrite and pyrite are dominant metallic minerals with minor magnetite, bornite and specularite. Magnetite formed earlier than chalcopyrite, suggesting relatively highly oxidized magma. Its mineralization and alteration zoning essentially resemble those of typical porphyry copper deposits. K-feldspar, biotite, silicate, and pyrite alteration zones occur within the porphyry, and the quartz-sericite alteration zone is distributed in the contact between the porphyry and its wall rocks, whereas the propylitic zone occurs in the country rocks. The geochemistry of the mineralized porphyry characterizes adakite: high SiO₂ (63%–66%) and Al₂O₃ (15%–17%), enrichment in Sr (378×10⁻⁶–447×10⁻⁶), no negative Eu anomalies, depletion in Y (10×10⁻⁶–14×10⁻⁶) and Yb (1.3×10⁻⁶–1.5×10⁻⁶), and low initial Sr isotopic value (0.70439), high (ε_{Nd})_t values (+6.9–+8.2) and low δ¹⁸O_{V-SMOW} (<10‰). The Rb-Sr isochron age for the porphyry is 332.8±8.5 Ma, belonging to Early Carboniferous. Its petrogenesis is related to partial melting of oceanic crust due to southward subduction of the Mongolian ocean plate. Therefore, its metallogenic geological setting is very similar to the famous supergiant porphyry copper deposits in the world. In addition, there are some copper occurrences with similar features in the surrounding areas of the deposit. Therefore the area has good ore prospects and is another potential porphyry copper belt in China.

Key words: porphyry copper deposit; mineralized porphyry; adakite; Xileketehalsu