

文章编号: 0258-7106 (2006) 03-0292-10

新疆阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带 成因再认识 ——来自哈腊苏铜矿硫-铅-氢-氧同位素和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄的约束^{*}

闫升好¹, 滕荣丽², 张招崇³, 陈柏林⁴, 陈 文⁵, 周 刚⁶, 何立新⁶

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 山东地质矿产局第六地质勘查院, 山东 招远 265400;

3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 4 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

5 国土资源部同位素地质重点实验室, 北京 100037; 6 新疆地质矿产局第四地质队, 新疆 阿尔泰 836500)

摘 要 通过对卡拉先格尔铜矿带中的哈腊苏斑岩铜矿床详细的野外地质调查和系统的同位素地球化学示踪和测年研究, 探讨了阿尔泰山南缘铜矿的成矿时代及矿床成因。研究表明, 卡拉先格尔铜矿带的铜矿化主要呈不均匀团块、细脉或细脉浸染状产于受断裂控制的钾长石-石英脉、绿帘石脉以及石英-方解石脉中, 线型分布明显, 空间分布极不均匀, 缺乏典型斑岩铜矿的面型蚀变矿化分带。含矿钾长石脉 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为 $(230 \pm 5) \text{ Ma}$, 大大晚于容矿斑岩脉的形成时代[锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $(380.8 \pm 5.7) \text{ Ma}$]。硫-铅同位素指示成矿物质主要源于火山岩地层和花岗闪长斑岩脉。氢-氧同位素显示成矿流体为岩浆水和大气降水的混合物。据此认为, 卡拉先格尔铜矿带主成矿时代为印支期, 成矿作用与后造山阶段沿 NNW 向老山口断裂发育的偏碱性岩浆活动有关, 但不排除存在同造山期的斑岩型矿化。

关键词 地球化学; ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄; 斑岩铜矿; 哈腊苏铜矿; 卡拉先格尔铜矿带; 阿尔泰

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

New understanding on origin of Kalaxiangeer copper deposit on southern margin of Altay mountain, Xinjiang: Constraints from S-Pb-H-O isotope geochemistry and ^{40}Ar - ^{39}Ar age of Halasu copper deposit

YAN ShengHao¹, TENG RongLi², ZHANG ZhaoChong³, CHEN BaiLin⁴, CHEN Wen⁵,
ZHOU Gang⁶ and HE LiXin⁶

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No.6 Geological Party of Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Zhaoyuan 265400, Shandong, China; 3 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 4 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 5 Laboratory of Isotope Geochronology, Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 6 No. 4 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

Based on detailed field geological survey and systematic isotope geochemical studies, the authors have discussed the metallogenic epoch and origin of the Kalaxiangeer copper deposit on the southern margin of the Altay Mountain, Xinjiang. The copper-bearing minerals mainly occur in the form of heterogeneous gobbets and vein-

^{*} 本文得到国家科技攻关 305 项目(2001 BA609 A-07-02)、国家重点基础研究 973 项目(2001 CB409807)和“我国固体矿产资源第二轮区划深化总结”项目(200110000004)的联合资助

第一作者简介 闫升好, 男, 1966 年生, 研究员, 主要从事矿产资源调查评价工作。

收稿日期 2005-11-15; 改回日期 2006-03-20。李 岩编辑。

lets disseminated in various veins such as K-feldspar-quartz veins, epidote veins and quartz-calcite veins, which are obviously controlled by NNW-striking faults. The mineralization distribution in the ore district is highly uneven and shows lack of pervasive alteration-mineralization zonation typical of representative porphyry copper deposits. The (230 ± 5) Ma age for the formation of copper-bearing K-feldspar was obtained by $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ method, which is remarkably younger than the age of the ore-hosted porphyry $[(380.8 \pm 5.7) \text{ Ma, zircon SHRIMP U-Pb age}]$. The sulfur and lead isotope compositions indicate that the ore-forming materials were mainly derived from the volcanic rocks and granodioritic porphyries. The hydrogen and oxygen compositions suggest that the ore fluid is a mixture of magmatic water and meteoric water. According to the above results, the authors have reached the conclusions that the main metallogenic epoch in the Kalaxiangeer copper deposit is Indosinian, and that most of the mineralization might have been related to the post-orogenic meta-alkaline granitic magmatism developed along the NNW-striking Laoshankou fault. Nevertheless, it is also probable that there might have existed non-significant syn-orogenic porphyry-style mineralization.

Key words: geochemistry, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ age, porphyry copper deposit, Halasu copper deposit, Kalaxiangeer copper belt, Altay

卡拉先格尔斑岩铜矿带位于阿尔泰山南缘的卡拉先格尔—老山口一带,大地构造上处于NW向玛因鄂博断裂和NNW向可可托海—二台断裂带的构造交汇部位(图1a),以额尔齐斯—玛因鄂博断裂为界,北侧属阿尔泰加里东造山带,南侧为准噶尔海西造山带。

卡拉先格尔铜矿带目前已发现希勒克特哈腊苏、卡拉先格尔2个小型矿床及若干铜矿点。该区铜矿化最早是由新疆地质局区测大队于1960~1961年开展1:20万二台幅区域地质测量时发现的,当时命名为1723高点西和1723高点东南铜矿点(相当于卡拉先格尔I号、II号矿段),并根据铜矿化呈细脉浸染状、矿物组合单一以及矿化主要受NW-SE向断裂构造控制等认为属细脉浸染型铜矿^①。1978~1979年,新疆地质局第五地质大队对该地区铜矿进行详查评价工作时,将该地铜矿化类型定为斑岩型中低温热液矿床。此后,诸多文献将该铜矿化带称为“卡拉先格尔斑岩铜矿带”(芮宗瑶等,1984;刘铁庚等,1991;聂凤军等,2004)。

笔者自2002年参加国家305铜矿找矿研究项目期间,有机会对该地区的铜矿进行了较为详细的野外地质调查研究,并与新疆地质矿产局第四大队合作重点对原卡拉先格尔铜矿床西北的希勒克特哈腊苏(以下简称哈腊苏)铜矿点开展了调查评价,2003年经钻探工程揭露出视厚150多米、平均品位0.67%的铜矿体,并根据铜矿化与花岗闪长斑岩体

之间密切的空间关系等初步确定其为斑岩型铜矿(杨文平等,2005)。然而,随着后续勘查评价和研究工作的深入,发现铜矿化在空间上变化极大,控矿因素也颇为复杂。另外,新的测试数据显示成矿类型并非简单的斑岩型,成矿作用和成矿过程可能比较复杂。显然,对成矿类型的准确厘定关乎该地区的铜矿资源潜力评价和进一步找矿方向的确定。因此,有必要从整个矿化带的高度对该地区的铜矿类型进行重新认识。本文拟在以前工作的基础上,着重报道对哈腊苏铜矿床所做的同位素示踪和测年成果,并据此来判断成矿过程中的物源、流体源和热动力源,进而探讨卡拉先格尔铜矿带的成矿类型和矿床成因。

1 矿床地质简介

矿区范围内出露的地层主要为中泥盆统北塔山组海相中基性火山岩-火山碎屑岩建造(图1b),可分3个岩性段:第一岩性段主要由玄武安山岩、玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩组成;第二岩性段由含碳粉砂岩、板岩、砂砾岩、凝灰质砂岩、凝灰岩及片理化安山岩等组成;第三岩性段由凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质砂砾岩、火山角砾岩、安山岩以及含砾砂岩、长英质角岩等组成。地层总体走向 $280 \sim 290^\circ$,倾向NE,倾角较陡。已知铜矿化主要产于第一岩性段地层中。

区内岩石变形强烈,发育多条近平行的NW向

① 新疆自治区地质矿产局,1972,1:20万二台幅矿产图说明,内部资料。

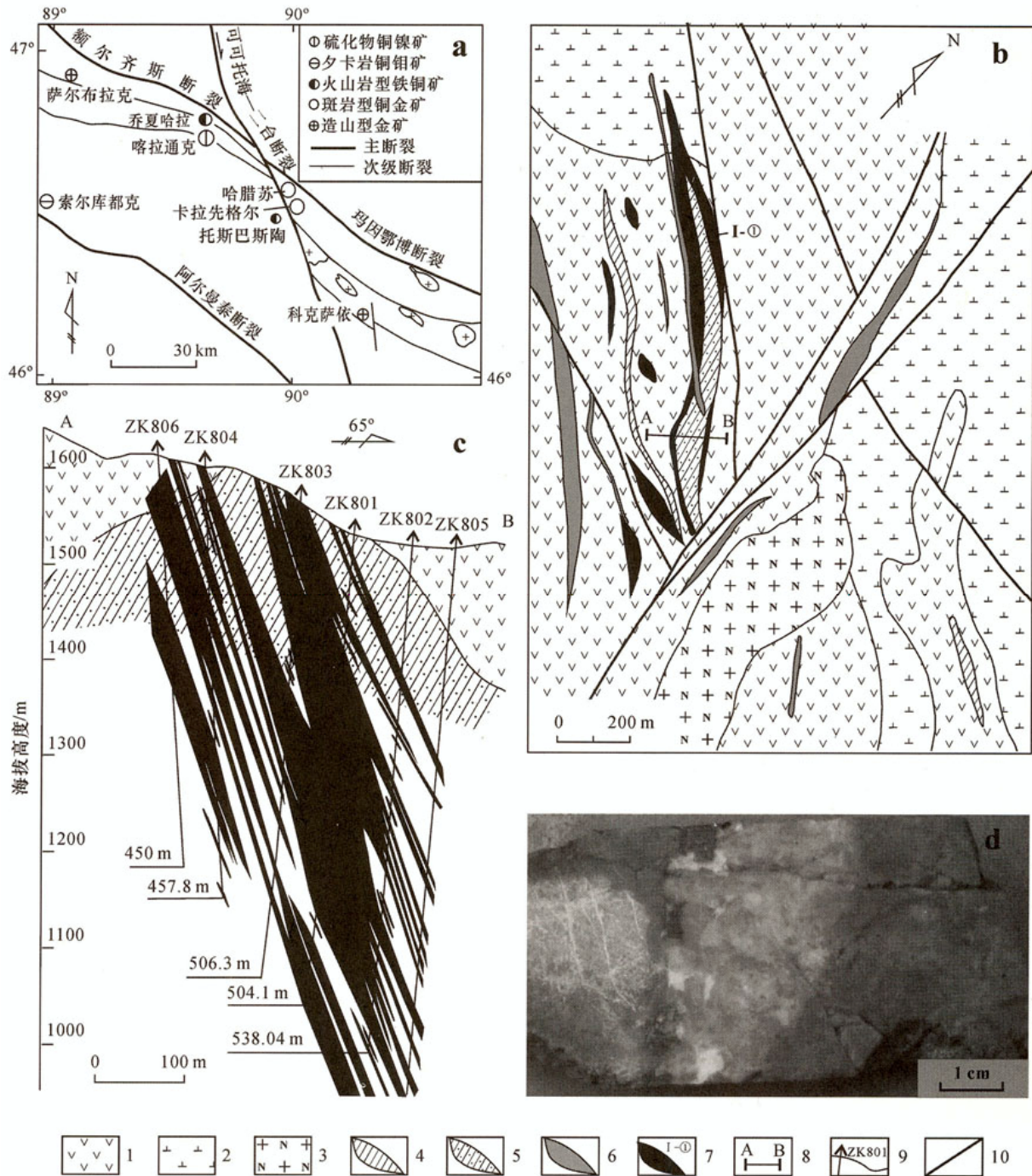


图1 阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带哈腊苏铜矿床地质图(根据新疆地质矿产局第四地质队资料修编)

a. 区域地质背景图; b. 哈腊苏矿区地质图; c. 8号勘探线剖面地质图; d. 含矿钾长石石英脉照片

1—中泥盆统北塔山组中基性火山岩; 2—闪长岩; 3—钾长花岗岩; 4—花岗闪长斑岩; 5—含矿花岗闪长斑岩; 6—正长斑岩;
7—铜矿体及编号; 8—8号勘探线位置; 9—钻孔及编号; 10—断层

Fig. 1 Geological map of the Halasu copper deposit on the southern margin of Altay

a. Map showing regional geology; b. Geological map of the Halasu copper deposit; c. Geological section along No. 8 exploration line of the Halasu deposit; d. Copper-bearing K-feldspar quartz vein

1—Intermediate-basic volcanics of Middle Devonian Beitashan Formation; 2—Diorite; 3—K-feldspar granite; 4—Granodioritic porphyry; 5—Ore-bearing granodioritic porphyry; 6—Syenitic porphyry; 7—Ore body and its serial number;

8—Location of No. 8 exploration line; 9—Drilling hole and its serial number; 10—Fault

片理化带。断裂构造发育,按走向可分为3组:第一组为NNW向,走向 $330^{\circ} \sim 340^{\circ}$,倾向NE,倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$,为可可托海—二台右行走滑断裂的次级压扭性断裂;第二组呈NW向,走向 $290^{\circ} \sim 320^{\circ}$,倾向NE,倾角 $45^{\circ} \sim 85^{\circ}$,属NW向玛因鄂博大断裂的低序次压扭性断裂,多被第一组断裂右行错断;第三组为近SN向,产状陡倾或近直立,多为规模较小的张性断裂。

矿区内海西中晚期侵入岩发育,主要有2个侵入期次:早期为岩株状细粒斜长花岗岩-闪长岩体及花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩等岩脉,岩体主要分布于矿区西北部,面积为数十平方千米;晚期为岩株状中粗粒黑云母花岗岩、钾长花岗岩体及大量的正长斑岩脉,黑云母花岗岩、钾长花岗岩体主要沿矿区西南侧的NW向老山口断裂带分布,面积数平方千米至数十平方千米。花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩脉是区内铜矿化的重要容矿岩石,其形态极不规则,具有膨大收缩现象,沿NNW向断裂带断续延长约7 km;单个岩脉走向 310° 左右,长约1 km,宽50~150 m。花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩多已片理化,局部糜棱岩化。正长斑岩脉大多为北西向,产状陡立,一般长200~500 m,宽1~5 m。正长斑岩脉常见切割矿体和其他岩体,岩石未遭受任何变形,显示其为成矿晚期产物。

2 矿化特征

1978~1979年,新疆地质局第五大队对卡拉先格尔—老山口一带的铜矿进行普查时,在整个矿化带内圈出大小矿体38个,长24~254 m,厚1.12~15.08 m,延深15~200 m,矿体走向NNW,倾向 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$,倾角 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$,矿体平均铜品位0.5%~1.0%,全矿区平均0.86%。2003~2004年,新疆地质矿产局第四大队对该地区进行重新普查时,将矿区自北向南划分为3个矿化带(分别对应哈腊苏、卡拉先格尔I号和卡拉先格尔II号),并在I号矿化带内圈出5个铜矿体、在II号矿化带内圈出4个铜矿体,在III号矿化带内圈定6个铜矿体,其中规模较大的矿体有I-①、II-①、II-②、III①、III②、III③,矿脉长112~808 m,宽1~76 m,控制斜深550 m,矿体平均铜品位0.22%~0.55%。矿体走向 $310^{\circ} \sim 320^{\circ}$,倾向NE,倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

在哈腊苏矿床,铜矿化严格受 $330^{\circ} \sim 340^{\circ}$ 方向压扭性断裂派生的次级断裂构造(劈理化带或层间破

碎带)以及花岗闪长斑岩体与围岩接触带构造的控制,矿化呈浸染状、不均匀团块状、细脉浸染状等产于花岗闪长斑岩岩脉或玄武岩地层中的各种构造裂隙、劈理以及钾长石-石英(图1d)、绿帘石或石英-方解石等热液脉体或团块中。矿体呈透镜状、不规则脉状。矿石矿物组合简单,金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿及孔雀石和蓝铜矿,次为斑铜矿、磁铁矿、镜铁矿、辉钼矿等。矿石构造主要为浸染状、细脉浸染状及网脉状构造。

热液蚀变较强,主要有钾长石化、黑云母化、硅化、绢云母化、次闪石化、绿帘石化、方解石化等。其中,钾长石化、硅化、绿帘石化、方解石化等与铜矿化关系密切。总体上,中基性火山岩中黑云母、绿帘石、次闪石、绿泥石、方解石等蚀变矿物较为发育,分布也较普遍;花岗闪长斑岩中主要发育钾长石、石英、绢云母等蚀变矿物;蚀变分带不明显,但可粗略分为花岗闪长斑岩体中的钾化带(黑云母、钾长石等)和火山岩地层中的青磐岩化带(绿帘石、次闪石、绿泥石、方解石等),而与铜矿化关系密切的钾长石化、硅化、碳酸盐化等热液蚀变在钾化带和青磐岩化带中均存在。

总体上,卡拉先格尔—老山口一带的铜矿石品位较低, w_{Cu} 一般在0.2%~1.0%之间,个别样品可达2.21%。铜矿品位与石英-金属硫化物脉或细网脉发育多寡有关。另外,矿石中伴生金品位一般 $(0.17 \sim 0.83) \times 10^{-6}$,最高 2.21×10^{-6} ,可综合回收利用。铜矿化极不均匀,沿走向及倾向变化均较大,如I号矿化带的8号勘探线(图1c)。

3 同位素地球化学特征

3.1 硫、铅同位素

为了解成矿物质来源,笔者在哈腊苏I号矿化带8号勘探线的3个钻孔岩芯(ZK801、ZK802、ZK803,见图1c)中,系统采集了火山岩、花岗闪长斑岩以及热液脉体中的矿化样品,对其中的黄铁矿(Py)和黄铜矿(Cp)单矿物样品进行了硫、铅同位素测试,分析结果见表1。由表1和图2可以看出,哈腊苏铜矿区主要金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $-6.5\% \sim -1.6\%$ 之间,平均为 -3.5% ,其中13件黄铜矿样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-6.5\% \sim -2.2\%$,平均 -4.2% ,14件黄铁矿样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.5\% \sim -1.6\%$,平均 -2.8% 。共生黄铁矿-黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}}$

表 1 阿尔泰南缘哈腊苏铜矿硫、铅同位素组成

Table 1 Sulfur and lead isotopic composition of sulfides from Halasu copper deposit, Southern Altay

样号	样品描述	测试对象	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
ZK801-5	火山岩地层中含铜石英脉	黄铁矿 ⁺	- 2.5			
ZK801-7	火山岩地层中脉状铜矿化	黄铜矿 ⁺	- 4.7			
ZK801-8	花岗闪长斑岩中细脉浸染状矿化	黄铜矿 ⁺	- 3.5			
		黄铁矿 ⁺	- 2.5			
ZK801-10	花岗闪长斑岩中脉状矿化	黄铜矿 ⁺	- 4.1			
		黄铁矿 ⁺	- 4.2			
ZK801-12	花岗闪长斑岩中细脉浸染状矿化	黄铜矿 ⁺	- 2.2			
		黄铁矿 ⁺	- 1.6	18.273(9)	15.524(8)	37.990(20)
ZK801-13	磁铁矿-黄铜矿脉	黄铜矿 ⁺	- 6.5			
ZK801-14	花岗闪长斑岩中浸染状矿化	黄铁矿 ⁺	- 4.5			
ZK801-15	火山岩地层中脉状铜矿化	黄铜矿 ⁺	- 3.1			
		黄铁矿 ⁺	- 1.6			
ZK801-18	花岗闪长斑岩中浸染状矿化	黄铁矿 ⁺	- 2.5	19.362(21)	15.589(12)	39.355(32)
ZK801-21	火山岩地层中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 5.6			
ZK801-23	钾长石脉中细脉浸染状矿化	黄铜矿 ⁺	- 3.1			
		黄铁矿 ⁺	- 3.1	18.265(12)	15.532(12)	38.064(31)
ZK801-24	花岗闪长斑岩中细脉浸染状矿化	黄铁矿 ⁺	- 2.2	18.332(9)	15.540(8)	38.298(22)
ZK801-26	花岗闪长斑岩中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 6.5			
ZK802-1	火山岩中含铜石英脉	黄铁矿 ⁺	- 1.9			
ZK802-2	火山岩中浸染状矿化	黄铜矿 ⁺	- 3.2			
		黄铁矿 ⁺	- 2.2			
ZK802-3	火山岩中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 3.8			
ZK802-5	火山岩中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 4.9			
		黄铁矿 ⁺	- 3.5	18.052(12)	15.501(11)	37.813(23)
ZK802-6	花岗闪长斑岩中细脉浸染状矿化	黄铁矿 ⁺	- 3.7	18.461(11)	15.606(9)	38.579(24)
ZK803-1	火山岩中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 3.5			
ZK803-2	火山岩中含铜石英脉	黄铜矿 ⁺	- 3.2			

注:硫、铅同位素分别由中国地质科学院矿产资源研究所地质所同位素实验室分析。分析方法:硫化物矿样以 Cu₂O 作氧化剂制样;质谱计型号:MAT251 E;硫同位素分析精度:±0.2 ‰。空白为未测。括号内为 2σ×10⁻⁴。

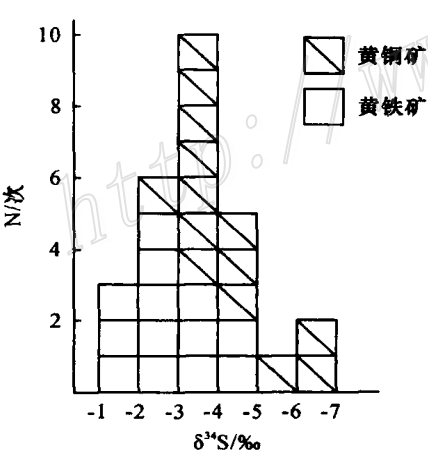


图 2 哈腊苏铜矿硫同位素组成直方图

Fig. 2 Histogram of sulfur isotope composition of sulfides from the Halasu copper deposit

> $\delta^{34}\text{S}_{\text{Cp}}$,表明硫同位素组成达到平衡。 $\delta^{34}\text{S}$ 值呈塔式分布,峰值在 - 3 ‰ ~ - 4 ‰之间,显示成矿流

体中的硫同位素达到均一化。 $\delta^{34}\text{S}$ 值全部为偏离陨石硫的负值,表明硫可能主要来自火山沉积地层中的地壳硫。

由表 1 可以看出,铅同位素比值变化较大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.052 ~ 19.362,平均为 38.458; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.501 ~ 15.606,平均为 15.549; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.813 ~ 39.355,平均为 38.350。其中,火山岩中含铜石英脉硫化物的铅同位素比值明显低于花岗闪长斑岩和钾长石脉中硫化物的相应比值。在铅同位素构造环境图解上(图 3),6 件样品的投点落在造山带铅和地幔铅增长线之间,说明矿石铅是地幔铅和地壳铅的混合物。由于哈腊苏矿区矿化体的围岩主要为辉斑玄武岩和花岗闪长斑岩,而玄武岩主体为幔源岩浆产物、花岗闪长斑岩为壳-幔混源岩浆产物,因此,推测矿石铅可能主要来源于围岩地层和花岗闪长斑岩脉。

表 2 阿尔泰山南缘哈腊苏铜矿氢、氧同位素组成

Table 2 Hydrogen and oxygen isotopic composition of quartz from Halasu copper deposit, Southern Altay

样号	样品描述	测试对象	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{H_2O}/\text{‰}$
ZK801-5	火山岩中含铜石英脉	石英	-80	11.1	2.78
ZK801-21	火山岩中含铜石英脉	石英	-89	12.2	3.88
ZK801-26	花岗闪长斑岩中含铜石英脉	石英	-83	10.4	2.08
ZK802-1	火山岩中含铜石英脉	石英	-82	10.8	2.48
ZK802-2	火山岩中含铜石英脉	石英	-85	11.4	3.08
ZK802-3	火山岩中含铜石英脉	石英	-84	12.2	3.88

注：样品测试由中国地质科学院矿产资源研究所同位素室完成。

$\delta^{18}O_{H_2O}$ 按 $1000 \ln a_{石英-水} = 3.42 \times 10^6 T^{-2} - 2.86$ (张理刚, 1985) 计算, 根据流体包裹体测温数据 $t = 280^\circ\text{C}$ 。

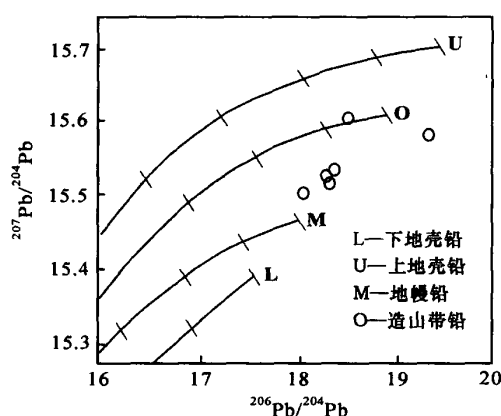


图 3 哈腊苏铜矿铅同位素构造环境图解(底图据 Zartman, 1981)

L—下地壳; U—上地壳; M—地幔; O—造山带

Fig. 3 Tectonic discrimination diagram for lead isotope of the Halasu copper deposit (after Zartman, 1981)

L—Lower crust; U—Upper crust; M—Mantle; O—Orogenic belt

3.2 氢、氧同位素

为判断成矿流体性质,对火山岩、花岗闪长斑岩中含铜石英脉中的流体包裹体进行了氢氧同位素组成测试,分析结果见表 2。由表 2 可以看出,含铜石英的 $\delta^{18}O = 10.4\text{‰} \sim 12.2\text{‰}$, $\delta D = -80\text{‰} \sim -89\text{‰}$ 。根据同位素平衡分馏方程计算出与石英平衡的流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 $2.08\text{‰} \sim 3.88\text{‰}$ 。在 $\delta^{18}O_{H_2O}-\delta D$ 相关图解上(图 4),数据投影点落在岩浆水的左下方,显示成矿流体属于岩浆水和大气降水的混合物。

4 含矿钾长石脉的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄

4.1 样品及测试方法

用于进行 Ar-Ar 法测年的样品采自钻孔 ZK801

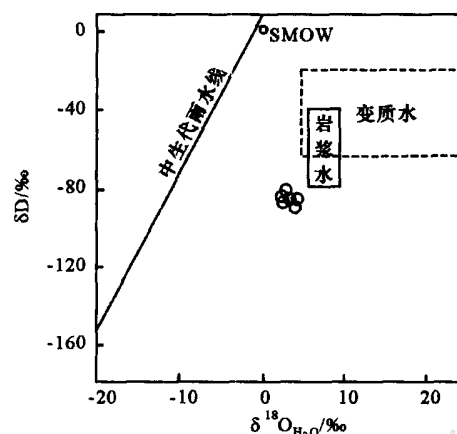


图 4 哈腊苏铜矿氢、氧同位素组成

Fig. 4 Hydrogen and oxygen isotopic composition of quartz from the Halasu copper deposit

孔深 300 m 处的钾长石-石英脉中(图 1d),野外观察,黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等金属矿物主要呈不均匀团块状、细脉浸染状产于钾长石-石英热液脉体中。Ar-Ar 法测年的实验流程详见陈文等(2002),测年结果见表 3 和图 5。由表 3 和图 5 可以看出,本次工作获得了一个稳定的坪年龄为 (230.8 ± 1.9) Ma, 相应的等时线和反等时线年龄分别为 (230 ± 5) Ma 和 (229.9 ± 2.3) Ma。在实验误差范围内,3 个年龄数据基本一致。阶段加热视年龄数据(表 3、图 5 和图 6)显示,本次研究获得的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄具有较高的可靠性。野外观察,用于测年的钾长石样品未遭受任何构造变形,因此, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄基本代表含矿钾长石的形成时代。

4.2 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄的地质含义

前文所述,卡拉先格尔地区铜的工业富集主要与钾长石化热液蚀变关系密切,黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等金属矿物主要呈不均匀团块状或细脉浸染状产于钾长石-石英脉体中。因此,本次研究获得的钾长石形成年龄代表了卡拉先格尔地区铜矿化的主要

表 3 哈腊苏铜矿含矿钾长石(ZK802-3) ^{40}Ar - ^{39}Ar 快中子活化法测年结果
Table 1 ^{40}Ar - ^{39}Ar data for mineralized K-feldspar(ZK802-3) in the Halasu copper deposit

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar 累积/%	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$t_{\text{a}}/\text{Ma} \pm 1\sigma$
1	500	45.7236	0.0330	0.1288	0.0520	6.54	0.05	35.9800	620.0 $\pm$ 13.0
2	600	33.7359	0.0088	0.0771	0.0280	18.90	0.19	31.1297	547.9 $\pm$ 9.0
3	700	14.3471	0.0044	0.0299	0.0581	97.66	0.93	13.0573	250.3 $\pm$ 3.2
4	800	9.8405	0.0010	0.0742	0.0144	478.74	4.53	9.5508	186.4 $\pm$ 2.2
5	900	10.7783	0.0009	0.4133	0.0134	393.72	7.49	10.5446	204.8 $\pm$ 2.1
6	950	11.2028	0.0007	0.5947	0.0137	405.89	10.54	11.0336	213.7 $\pm$ 2.2
7	1000	11.3650	0.0005	0.1263	0.0140	388.58	13.47	11.2095	216.9 $\pm$ 2.4
8	1060	11.7689	0.0004	0.0101	0.0142	663.52	18.46	11.6439	224.8 $\pm$ 2.3
9	1120	12.0463	0.0005	0.0069	0.0127	682.06	23.59	11.8943	229.4 $\pm$ 2.3
10	1180	12.1935	0.0006	0.0060	0.0118	810.26	29.69	12.0200	231.6 $\pm$ 2.4
11	1240	12.0157	0.0004	0.0074	0.0125	1183.59	38.59	11.8826	229.2 $\pm$ 2.5
12	1300	12.0726	0.0005	0.0060	0.0129	1768.39	51.89	11.9203	229.8 $\pm$ 2.4
13	1400	12.2426	0.0008	0.0050	0.0132	4446.28	85.34	11.9986	231.3 $\pm$ 2.4
14	1450	12.6601	0.0017	0.0056	0.0129	1947.98	100.00	12.1493	234.0 $\pm$ 2.6

注： $m=40.0\text{ mg}$ ； $J=0.011399$ ； $\lambda=5.543\times10^{-10}\text{a}^{-1}$ 。表中下角标 m 代表样品中测定的同位素比值；* 代表放射性氩。测试单位：国土资源部同位素地质重点实验室。

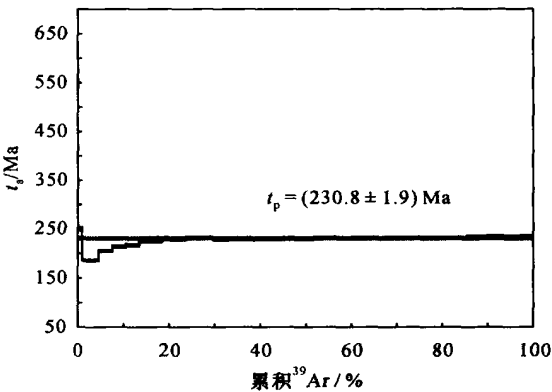
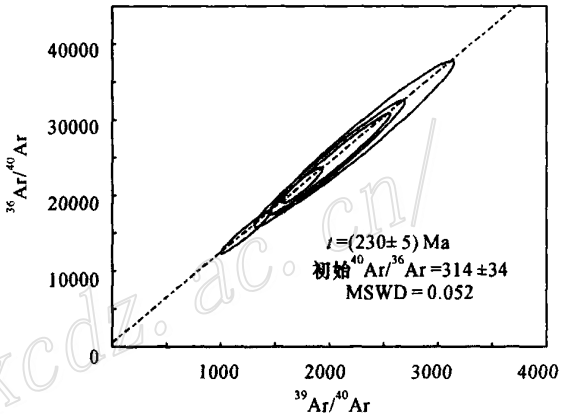


图 5 哈腊苏铜矿含矿钾长石 Ar-Ar 坪年龄图
Fig. 5 Ar-Ar plateau age of mineralized K-feldspar from the Halasu copper deposit



6 哈腊苏铜矿含矿钾长石 Ar-Ar 等时线、反等时线年龄图
Fig. 6 Ar-Ar isochron and anti-isochron age of mineralized K-feldspar from the Halasu copper deposit

成矿时代,相当于印支早期。
值得注意的是,前人将卡拉先格尔地区与铜矿化密切有关的钾长石化蚀变归因为与花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩有关的面型热液交代作用产物,并据此认为铜矿化属斑岩型(杨文平等,2005)。笔者的研究表明,钾长石化热液蚀变主要受断裂构造控制而呈线状分布,并多以钾长石-石英脉的形式产出,而且钾长石-石英脉不只局限于花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩脉体内,围岩火山岩地层中的构造蚀变带同样有钾长石-石英脉产出。再者,从研究区内各类岩石的变形特征看,容矿的花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩脉普遍遭受较强的片理化、局部达糜

棱岩化的构造变形,而含矿的钾长石-石英脉未遭受任何构造变形。因此,从地质上看,卡拉先格尔地区与铜矿化密切相关的钾长石化热液蚀变不能等同于典型斑岩型铜矿的钾化带,其形成时代明显晚于花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩脉。另外,最近笔者对容矿花岗闪长斑岩脉的形成时代进行了单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 法测年,结果为(380.8 $\pm$ 5.7) Ma(另文发表),其与本文的钾长石脉 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄相差近 150 Ma。这说明容矿斑岩体是紧随北塔山组基性火山岩之后形成的次火山岩相侵入体(张招崇等,2006),同时也暗示,很难将矿化带内广泛的钾长石化和与北塔山组基性火山岩(含厚逾 100 m 的苦橄

岩)相关的岩浆作用联系起来。因此,同位素年龄数据同样表明,研究区内广泛的钾长石化不可能是与花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩脉有关的岩浆热液作用的产物。

既然与铜矿化密切相关的钾长石化热液蚀变不可能是与花岗闪长斑岩或石英闪长斑岩脉有关的岩浆热液产物,那么成矿作用的地质背景究竟怎样呢?钾长石脉 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄指示成矿时代主体为印支期,那么,研究区内存在印支期的构造岩浆活动吗?区域地质资料显示,泥盆纪—早石炭世时,阿尔泰地区处于西伯利亚板块西南缘的活动陆缘(肖序常等,1992),形成了一套具岛弧构造属性的中基性火山岩及火山-陆源碎屑沉积建造(北塔山组和南明水组等),伴随火山活动形成少量花岗岩类侵入体(梅厚钧等,1993;李锦轶等,1999;张招崇等,2005);早石炭世末发生弧-陆碰撞造山,此前形成的各时代地层和俯冲期花岗岩类岩石均发生强烈变形变质;晚石炭世到二叠纪造山带步入后碰撞构造演化阶段,由于岩石圈拆沉引发的软流圈地幔底劈上升,沿深大断裂带形成了幔源基性-超基性杂岩体和富碱花岗岩类侵入体(韩宝福等,1998;李华芹等,1998;李锦轶等,1999);中、新生代,阿尔泰进入陆内演化阶段,但局部地区仍存在较强的构造岩浆活动和相关的成矿作用(张前锋等,1994;陈富文等,1999;王登红等,2000;2002)。如前所述,卡拉先格尔铜矿带内的侵入岩主要有2个期次,早期为斜长花岗岩-闪长岩-花岗闪长斑岩系列,晚期为黑云母花岗岩-钾长花岗岩-正长斑岩系列,后者形成时代明显晚于前者。虽然目前尚没有矿区内晚期侵入体同位素年龄数据的报道,但薛春纪(私人交流)对采自希勒克特哈腊苏矿区钻孔岩芯的花岗岩类岩石样品进行了单颗粒锆石SHRIMP U-Pb法测年,结果显示有2组锆石,其中一组的年龄与前述的花岗闪长斑岩年龄相近,另一组则与本文的钾长石 Ar-Ar 年龄接近,笔者据此分析认为,后一个年龄可能代表了矿区内的晚期次偏碱性花岗岩的形成时代。此外,矿区西南十几公里处哈依尔恨村的流纹质火山岩颈的 K-Ar 年龄为 $(211.58 \pm 3.36) \text{ Ma}$ (梅厚钧等,1993),与 NW 向老山口断裂对应的阿巴宫—库尔特提断裂带上分布有不少的印支期偏碱性花岗岩体,如阿尔泰市南的将军山岩体(同位素年龄为 $220 \sim 245 \text{ Ma}$,张前锋等,1994),据此,本文认为卡拉先格尔铜矿化带的热液蚀变矿化事件可能与区内晚期次的偏碱性花岗岩岩

浆活动有关。

5 矿床成因探讨

关于卡拉先格尔一带铜矿化的成因,长期以来一直存在较大争议,主要有两种观点:一是斑岩型(芮宗瑶等,1984;刘铁庚等,1991;杨文平等,2005),二是层控火山岩型(王福同等,1992)。前者强调造山期中酸性岩浆作用对成矿的重要性,后者强调泥盆纪海相基性火山作用的成矿意义。笔者的研究结果表明,泥盆纪海相基性火山作用和造山期中酸性岩浆作用均可能对卡拉先格尔地区的铜矿化产生一定的贡献,前者的贡献可能主要是提供物源,后者可能促使火山岩地层中高背景含量的铜部分地发生生活化富集,但大规模的铜工业富集可能主要与印支期偏碱性花岗质岩浆活动有关。其理由如下:

(1) 铜矿化主要受 $330 \sim 340^\circ$ 向断裂构造(裂隙、劈理化带或层间破碎带)控制,含铜矿物主要呈不均匀团块状、细脉或细脉浸染状赋存于钾长石-石英、绿帘石以及石英-方解石等热液脉体中,矿化明显晚于已遭受强烈片理化变形的斑岩脉。

(2) 矿体既可以产于中酸性斑岩体内或接触带中,也可以产于玄武岩地层的构造蚀变带内。空间上矿化分布极不均匀,沿走向及倾向变化均较大。

(3) 矿石矿物组合简单,含铜矿物主要为黄铜矿及孔雀石和蓝铜矿;与铜矿化有关的热液蚀变主要为钾长石化、硅化、绿帘石化及碳酸盐化。矿化蚀变均受断裂构造控制呈线型分布,缺乏典型斑岩铜矿的面型蚀变矿化分带。

(4) 与铜矿化关系密切的钾长石化热液蚀变并不是同斑岩期岩浆作用的产物,其形成 $[^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $(230 \pm 5) \text{ Ma}$]远远晚于容矿斑岩脉的形成[SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $(380.8 \pm 5.7) \text{ Ma}$],时差约为 150 Ma 。

(5) 硫-铅同位素指示成矿物质主要源于火山岩地层和花岗闪长斑岩脉。

(6) 氢-氧同位素显示成矿流体为岩浆水和大气降水的混合物。

致谢 野外工作得到新疆地质矿产局第四地质大队杨文平、王湘、贺永康、张小林等高级工程师的大力帮助,特此表示衷心感谢。

References

- Chen F W, Li H Q, Wang D H, Cai H and Chen W. 1999. New isotope chronological evidence for the presence of Yanshanian metallogenesis in the Chinese Altay orogen[J]. Sci. Bull., 44(11): 1142 ~ 1148 (in Chinese) .
- Chen W, Liu X Y and Zhang S H. 2002. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique[J]. Geol. Rev., 48 (Supp.): 127 ~ 134 (in Chinese with English abstract) .
- Han B F, He G Q and Wang S G. 1998. Post-collisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang[J]. Geol. Rev., 44(4): 396 ~ 406 (in Chinese with English abstract) .
- Li H Q, Xie C F and Chang H L. 1998. Study on metallogenic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in northern Xinjiang, China[J]. Beijing: Geol. Pub. House. 26 ~ 133 (in Chinese with English abstract) .
- Li J Y and Xiao X C. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China[J]. Scientia Geologica Sinica, 34(4): 405 ~ 419 (in Chinese with English abstract) .
- Liu T G, Yu X Y and Mei H J. 1991. The Duolanasayi-Kalaxianggeer porphyry copper-gold metallogenic belt[J]. Geol.-Geochem., (2): 71 ~ 74 (in Chinese) .
- Mei H J, Yang X C, Wang J D, Yu X Y, Liu T G and Bai Z H. 1993. The trace element geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the southern side of Ertix river and the evolutionary history of tectonic setting[A]. In: Tu G C, ed. New improvement of solid geosciences in Northern Xinjiang[C]. Beijing: Sci. Press. 199 ~ 216 (in Chinese with English abstract) .
- Nie F J, Jiang S H, Zhang Y, Liu Y and Hu P. 2004. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring areas[J]. Mineral Deposits, 23(2): 176 ~ 189 (in Chinese with English abstract) .
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xu J and Zhang H T. 1984. Porphyry copper(molybdenum) deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese) .
- Wang D H, Chen Y C, Zou T R, Xu Z G, Li H Q, Chen W, Chen F W and Tian F. 2000. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for the Azubai rare metal-gem deposit in Altay, Xinjiang: New evidence for Yanshanian mineralization of rare metals[J]. Geol. Rev., 46(3): 307 ~ 311 (in Chinese with English abstract) .
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. The metallogenic series and rules in Altay metallogenic province[M]. Beijing: Atomic Energy Pub. House. 349 ~ 398 (in Chinese) .
- Wang F T, Ma T L, Liu G H, Li Y G, Hu W L, Zhao C L and Feng Q. 1992. Metallogeny and prospecting model of the Kalatongke Cu-Ni-Au ore belt in Xinjiang[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese) .
- Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, Zhu B Q, Li J Y and Zhao M. 1992. The tectonics in the Northern Xinjiang and its adjacent area[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 169 (in Chinese with English abstract) .
- Yang W P, Zhang Z C, Zhou G, Yan S H, He L X and Chen B L. 2005. Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt[J]. Geol. in China, 32(1): 107 ~ 114 (in Chinese with English abstract) .
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics: The model[J]. Tectonophysics, 75: 1 ~ 2, 135 ~ 162 .
- Zhang L G. 1985. The application of the stable isotope to geology: The hydrothermal mineralization of metal activation and its prospecting [M]. Xi'an: Shaanxi Sci. & Technol. Pub. House (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Q F, Hu A Q, Zhang G X, Fan S and Pu Z P. 1994. Evidence from isotopic age for presence of Mesozoic-Cenozoic magmatic activities in Altai region, Xinjiang[J]. Geochimica, 23(3): 269 ~ 279 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Chai F M and He L X. Middle Devonian picrites of south margin of Altay orogenic belt and implications for tectonic setting and petrogenesis[J]. Earth Sci. — J. China Univ. Geosci., 30(3): 289 ~ 297 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Chai F M, He L X and Wan Y S. 2006. SHRIMP U-Pb dating for subduction granites in the northern of the East Junggar[J]. Sci. Bull. (in press) (in Chinese) .

附中文参考文献

- 陈富文, 李华芹, 王登红, 蔡红, 陈文. 1999. 中国阿尔泰造山带燕山期成岩成矿同位素年代学新证据[J]. 科学通报, 44(11): 1142 ~ 1148 .
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. 地质论评, 48(增刊): 127 ~ 134 .
- 韩宝福, 何国琦, 王式浣. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[J]. 地质论评, 44(4): 396 ~ 406 .
- 李华芹, 谢才富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[J]. 北京: 地质出版社. 26 ~ 133 .
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述[J]. 地质科学, 34(4): 405 ~ 419 .
- 刘铁庚, 于学元, 梅厚钧. 1991. 多拉纳萨依-卡拉先格爾斑岩铜金成矿带[J]. 地质地球化学, (2): 71 ~ 74 .
- 梅厚钧, 杨学昌, 王俊达, 于学元, 刘铁庚, 白正华. 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的微量元素地球化学与构造环境的变迁史[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. 199 ~ 216 .
- 聂凤军, 江思宏, 张义, 刘妍, 胡朋. 2004. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 23(2): 176 ~ 189 .
- 芮宗瑶, 黄崇柯, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜钼矿床[M]. 北京: 地质出版社 .
- 王登红, 陈毓川, 邹天人, 徐志刚, 李华芹, 陈文, 陈富文, 田

- 锋, 2000. 新疆阿尔泰阿祖拜稀有金属-宝石矿床的成矿时代——燕山期稀有金属成矿的新证据[J]. 地质论评, 46(3): 307 ~ 311.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社. 349 ~ 398.
- 王福同, 马天林, 刘光海, 李应桂, 胡旺亮, 赵昌龙, 袁荣林, 冯骐. 1992. 新疆喀拉通克铜镍金矿带成矿规律和找矿模式[M]. 北京: 地质出版社. 129 ~ 140.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 169.
- 杨文平, 张招崇, 周刚, 闫升好, 何立新, 陈柏林. 2005. 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[J]. 中国地质, 32(1): 107 ~ 114.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 张前峰, 胡霭琴, 张国新, 范嗣昆, 蒲志平. 1994. 阿尔泰地区中生代岩浆活动的同位素年龄证据[J]. 地球化学, 23(3): 269 ~ 279.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 何永康, 柴凤梅, 何立新. 2005. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义[J]. 地球科学, 30(3): 289 ~ 297.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何立新, 万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年. 科学通报(待刊).

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