

编号: 0258-7106(2011)04-0635-10

新疆希勒库都克铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄 及其地质意义*

龙灵利¹, 王玉往¹, 杜安道², 王京彬¹, 王莉娟¹, 王书来¹, 蒲克信¹, 屈文俊²

(1 北京矿产地质研究院, 北京 100012; 2 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要 新疆富蕴县内的希勒库都克铜钼矿床是与花岗斑岩有关的斑岩型铜钼矿床。通过对矿石中 8 件辉钼矿 Re-Os 同位素的测定, 得到了 $(326.6 \pm 7.1) \text{ Ma} \sim (333.1 \pm 4.6) \text{ Ma}$ 的模式年龄, 加权平均年龄为 $(329.4 \pm 1.6) \text{ Ma}$, 一个相关性很好的等时线年龄 $(327.1 \pm 2.9) \text{ Ma}$, 表明其形成于早石炭世中期, 它可能形成于同碰撞向后碰撞造山转换时期或后碰撞造山早期阶段。该矿床辉钼矿的 $\alpha(\text{Re})$ 为 $117.8 \times 10^{-6} \sim 572.1 \times 10^{-6}$, 反映其成矿物质可能主要来源于地幔源区。

关键词 地球化学, 铜钼矿床, Re-Os 同位素年龄, 希勒库都克, 新疆

中图分类号: P618.41; P618.65 **文献标志码**: A

Molybdenite Re-Os age of Xilekuduke Cu-Mo deposit in Xinjiang and its geological significance

LONG LingLi¹, WANG YuWang¹, DU AnDao², WANG JingBin¹, WANG LiJuan¹, WANG ShuLai¹,
PU KeXin¹ and QU WenJun²

(1 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China; 2 National Research Central of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

The Xilekuduke deposit in Fuyun County of Xinjiang belongs to a porphyry Cu-Mo deposit related to granite porphyry. Seven samples of molybdenite were analyzed for Re-Os isotopic dating, and model ages of $(326.6 \pm 7.1) \text{ Ma}$ to $(333.1 \pm 4.6) \text{ Ma}$ were obtained. A weighted mean model age of $(329.4 \pm 1.6) \text{ Ma}$ is well fitted with isochron age of $(327.1 \pm 2.9) \text{ Ma}$. This dating result suggests that the ore deposit was formed in a transitional stage from syn-collision to post-collision or early post-collision stage during middle Early Carboniferous. Rhenium content of molybdenite samples from the Xilekuduke Cu-Mo deposit ranges from 118×10^{-6} to 572×10^{-6} , implying that its ore-forming material mainly originated from mantle source.

Key words: geochemistry, Cu-Mo deposit, Re-Os isotopic age, Xilekuduke, Xinjiang

希勒库都克铜钼矿位于新疆北部富蕴县境内, 北距县城约 40 km。在前人工作积累的基础上, 北京矿产地质研究院自 2000 年以来一直对该区进行

研究, 初步查明其为一小型铜钼矿床, 钼具有中型以上的找矿潜力。至今, 该矿床的研究程度较低, 成矿时代、成矿物质来源及成矿构造背景等问题尚不明

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(编号 2007CB411304 和 2001CB409806)的资助

第一作者简介 龙灵利, 女, 1979 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事矿床地质研究工作。Email: longlingli799@163.com

收稿日期 2010-09-25; 改回日期 2011-04-01。张绮玲编辑。

确。

目前,Re-Os 同位素分析法是对金属矿床最有效的定年方法。近年来,随着高分辨率质谱仪的应用,Re-Os 同位素体系在矿床学研究方面取得了很大进展(Walker et al., 1991; Horan et al., 1994; Mao et al., 2006; 韩春明等, 2006; 聂凤军等, 2007; 李厚民等, 2007; Zhang et al., 2008; 宋史刚等, 2008)。本文通过对希勒库都克铜钼矿区中辉钼矿 Re-Os 同位

素的测定,厘定其成矿时代,并对其成矿物质来源及构造背景进行了初步探讨。

1 成矿地质背景及矿床地质特征

1.1 成矿地质背景

希勒库都克铜钼矿床位于准噶尔板块北缘,介于 NWW 向额尔齐斯断裂和乌伦古断裂之间(图 1)。额



图 1 东准噶尔北部地质构造略图(a)(据沈远超等, 2007; 陈华勇等, 2000 改绘)和希勒库都克铜钼矿区地质图(b)^①
1—寒武纪—石炭纪变质复理石建造; 2—泥盆纪细碧角闪岩建造; 3—泥盆纪火山岩和火山碎屑岩; 4—石炭纪火山岩和火山碎屑岩; 5—泥盆纪—石炭纪火山沉积岩; 6—第四纪沉积物; 7—早古生代花岗岩; 8—晚古生代花岗岩; 9—国界; 10—断裂及编号; 11—金矿床; 12—稀有金属矿床; 13—铜矿床; 14—研究区; 15—石炭系凝灰质砂岩、粉砂岩; 16—第三系红色黏土岩、泥岩、粉砂质泥岩; 17—花岗闪长岩; 18—花岗岩; 19—花岗斑岩; 20—石英闪长岩; 21—安山玢岩; 22—石英正长岩; 23—断层; 24—钻孔及编号。构造单元: I—乌伦古海沟; II—萨吾尔—阿尔曼太岛弧; III—克兰弧后盆地; IV—可可托海岩浆弧; V—诺尔特断陷盆地。断裂: ①—乌伦古; ②—额尔齐斯; ③—哈巴河; ④—玛因鄂博; ⑤—红山嘴; ⑥—玛儿卡库里; ⑦—萨尔布拉克; ⑧—二台断裂。矿床: a—多拉纳萨依金矿床; b—赛都金矿床; c—可可托海伟晶岩型稀有金属矿床; d—索尔库都克 Cu-Mo 矿床; e—萨尔布拉克金矿床; f—喀拉通克 Cu-Ni 矿床

Fig. 1 Regional geological-tectonic map of northern East Junggar, Xinjiang (a) (after Shen et al., 2007; Chen et al., 2000) and geological map of the Xilekuduke Cu-Mo ore district (b)^①

1—Sinian-Cambrian metamorphic flysch formation; 2—Devonian spilite-keratophyre formation; 3—Devonian volcanic and volcanoclastic rock; 4—Carboniferous volcanic and volcanoclastic rocks; 5—Devonian-Carboniferous volcanic sedimentary rock; 6—Quaternary sediments; 7—Early Paleozoic granite; 8—Late Paleozoic granite; 9—National boundaries; 10—Fault and its serial number; 11—Au deposit; 12—Rare metal deposit; 13—Cu deposit; 14—Study area; 15—Carboniferous tuff sandstone, sandstone; 16—Tertiary red clay, mudstone, silty mudstone; 17—Granodiorite; 18—Granite; 19—Granite porphyry; 20—Quartz-diorite; 21—Andesite-porphyrity; 22—Quartz syenite; 23—Fault; 24—Drill hole and its serial number. **Tectonic units:** I—Wulungu trench; II—Sawur-Armantai island arc; III—Kelan back-arc basin; IV—Keketuohai magmatic arc; V—Nuoerte fault basin. **Fault:** ①—Wulungu; ②—Erqisi; ③—Habahe; ④—Mayinebo; ⑤—Hongshanzui; ⑥—Maerkakuli; ⑦—Saerbulake; ⑧—Ertai. **Ore deposits:** a—Duolanasayi gold deposit; b—Saidou gold deposit; c—Keketuohai pegmatite type rare metal deposit; d—Suoerkudouke Cu-Mo deposit; e—Saerbulake gold deposit; f—Kalatongke Cu-Ni deposit

① 王书来, 蒲克信. 2008. 新疆富蕴县希勒库都克铜钼矿普查报告. 北京矿产地质研究院. 内部资料.

尔齐斯断裂是区域最重要的构造带,为准噶尔板块和西伯利亚板块接合部位(陈哲夫等,1997;成守德等,2001)。沿额尔齐斯构造带发育一条多金属矿或金矿带,向西与哈萨克斯坦的矿区阿尔泰的南阿尔泰构造岩浆(多金属-金-银)成矿带相连(沈远超等,2007)。希勒库都克铜钼矿区位于该带之中,其周边发育有喀拉通克铜镍矿、索尔库都克铜钼矿、萨尔布拉克金矿等。区内发育地层主要由泥盆纪—石炭纪火山岩和火山碎屑岩组成。

1.2 矿床地质特征

矿区内断裂构造发育,受区域构造的影响,区内内次级断裂以 NW 向、NNW 向为主,NW 向的萨尔布拉克断裂从矿区的北部通过。矿区出露的地层主要为下石炭统南明水组,以及少量第三系、第四系的覆盖层。下石炭统南明水组为一套滨海-浅海相的火山碎屑岩、陆源碎屑岩岩系,以凝灰质砂岩为主,夹粉砂岩、粉砂质泥灰岩、凝灰质泥板岩、玻屑凝灰岩、硅质岩、不纯大理岩等。矿区北部有大面积的花岗闪长岩出露,侵入到南明水组中,围岩发生角岩化和硅化等蚀变;岩石为灰白色,中粒结构,岩体中发育暗色微粒包体(王玉往等,2008),并有浸染状铜矿化,西南部出露较大面积的花岗闪长岩、花岗斑岩、石英闪长岩、安山玢岩,中北部亦出露有少量的安山玢岩,岩体周边有明显的褐铁矿氧化边^①。

希勒库都克铜金矿化产于花岗闪长岩体东南边缘,地表矿化长大约 100 m,宽 40 m;铜钼矿化主要与花岗斑岩关系密切,以细脉浸染状、细脉状、浸染状产于花岗斑岩中或围岩南明水组中。矿区以钼矿化为主,存在环带状蚀变分带,从内到外有黑云母、钾长石、石英、硫化物→石英、绢云母、硫化物→绿泥

石、绿帘石的矿化分带,这种蚀变矿化组合与典型的斑岩矿床类型相似^①(王玉往等,2008)。矿床发育以下几种含钼矿石类型:石英+辉钼矿+黄铁矿脉(图 2a)、石英+辉钼矿+黄铜矿+黄铁矿脉(图 2b)、纯辉钼矿脉(图 2c)、石英+辉钼矿脉(图 2d)、石膏+黄铜矿+辉钼矿脉(图 2e)和浸染状辉钼矿(图 2f)。其中石英-辉钼矿脉为矿区主要的矿化类型,辉钼矿主要分布在石英脉壁上。

2 样品采集与处理

矿区处于初期的勘查阶段,加之地表覆盖较为严重,所以本文主要对 ZK401 钻孔进行系统取样。考虑样品的代表性,在样品采集时尽可能选取不同标高、不同类型的辉钼矿矿石。采样位置及矿石类型见表 1。

野外采集的矿石样品送至河北省廊坊市区域地质调查研究所实验室进行辉钼矿单矿物的挑选。首先将矿石样品机械破碎,过筛(根据辉钼矿颗粒大小定筛孔目数)后进行浮选,上浮辉钼矿纯度达 85%;再次浮选,使上浮辉钼矿达 95%,再对浮选的辉钼矿进行重液分选,重的部分以辉钼矿为主,然后在显微镜下进行挑选并对其称重。

3 分析方法

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析和质谱测定均在国家地质实验测试中心完成,化学分离流程和质谱测定技术详见文献(杜安道等,1994;Du et al.,2004;屈文俊等,2003)。简述如下:准确称取待分析

表 1 希勒库都克铜钼矿 Re-Os 同位素定年样品特征及采样位置

Table 1 Characteristics and sampling location of Re-Os dating samples from the Xilekuduke copper-molybdenum deposit			
样品编号	矿石类型	辉钼矿粒径/mm	采样位置
X7913-5	石英-辉钼矿-黄铁矿脉	1	ZK401 孔,183m 深
X7913-12	纯辉钼矿脉	0.5~1	ZK401 孔,247m 深
X7913-19	石英-辉钼矿脉	1	ZK401 孔,383m 深
X7913-20	纯辉钼矿脉	1~2	ZK401 孔,388m 深
X7913-27	石英-辉钼矿-黄铜矿脉	0.5~2	ZK401 孔,461m 深
D21	石英-辉钼矿脉	2	ZK001 孔,553m 深
D22	石英-辉钼矿脉	<1	ZK002 孔,298m 深

① 王书来,蒲克信.2008.新疆富蕴县希勒库都克铜钼金矿普查报告.北京矿产地质研究院.内部资料.

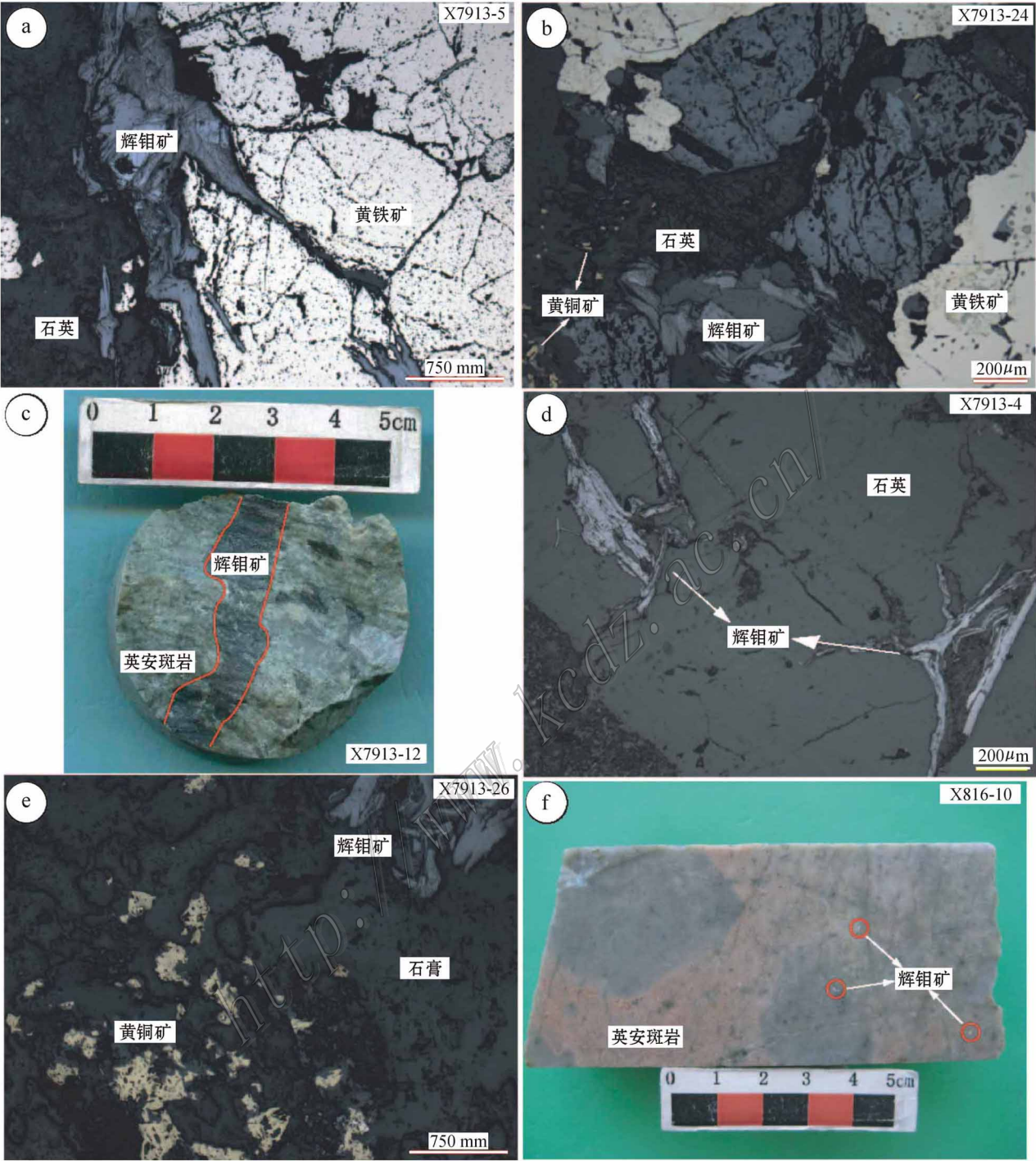


图 2 希勒库都克铜钼矿矿石类型镜下及手标本照片

a. 石英-辉钼矿-黄铁矿脉; b. 石英-辉钼矿-黄铜矿-黄铁矿脉; c. 纯辉钼矿脉; d. 石英-辉钼矿脉; e. 石膏-黄铜矿-辉钼矿脉; f. 浸染状辉钼矿

Fig.2 Ore type of the Xilekuduke copper-molybdenum deposit in Xinjiang

a. Quartz-molybdenite-pyrite vein; b. Quartz-molybdenite-chalcopyrite-pyrite vein; c. Molybdenite vein; d. Quartz-molybdenite vein; e. Gypsum-chalcopyrite-molybdenite vein; f. Disseminated molybdenite

样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管底部。缓慢加液氮到有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到 - 50

~ - 80℃。放装好样的 Carius 管到该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释

剂加入到 Carius 管底部,再加入 2 mL 10 mol/L HCl、4 mL 16 mol/L HNO₃、1 mL 30% H₂O₂,当管底溶液冰冻后,用丙烷氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分。放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 200℃,保温 24 h。在底部冷冻的情况下,打开 Carius 管,并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中;于 105~110℃蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO₄,用于 ICP-MS 测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中待分离 Re,将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,加热近干。重复 2 次以降低酸度。加入 10 mL 5mol/L NaOH 稍微加热,转为碱性介质,转入 50 mL 聚丙烯离心管中,离心,取上清液转入 120 mL Teflon 分液漏斗中;加入 10 mL 丙酮,震荡 5 min。萃取 Re。静止分相,弃去水相,排丙酮到 150 mL 已加有 2 mL 水的 Teflon 烧杯中。在电热板上 50℃加热以蒸发丙酮。加热溶液至干。加数滴浓硝酸和 30% 过氧化氢,加热蒸干以除去残存的 Os。用数毫升稀 HNO₃ 溶解残液,稀释到硝酸浓度为 2%。备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。如含 Re 溶液中盐量超过 1 mg/mL,需采用阳离子交换柱除去钠。

采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re:选择质量数 185、187 用 190 检测 Os。对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192。用 185 检测 Re。本实验全流程 Re、Os 和 ¹⁸⁷Os 空白值分别为(0.0275 ± 0.0012) ng ~ (0.0406 ± 0.0013) ng、(0.0001 ± 0.0001) ng、(0.0000 ± 0.0000) ng(见表 2),远远小于所测样品的 Re、Os 含量(表 3),不会影响实验中 Re、Os 含量的准确测定。分析质量用国家标准物质(GBW04435)控制。

4 分析结果

希勒库都克铜钼矿区 7 件辉钼矿样品 Re-Os 同

表 2 本次实验空白水平

Table 2 Blank level in this test

样品名称	Re/ng		普 Os/ng		¹⁸⁷ Os/ng	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
BK	0.0275	0.0012	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
BK	0.0406	0.0013	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000

位素分析结果见表 3。辉钼矿的 $w(^{187}\text{Re})$ 为 74.04 ~ 359.6 $\mu\text{g/g}$, $w(^{187}\text{Os})$ 为 401.1 ~ 1962 $\mu\text{g/g}$ 。辉钼矿 Re-Os 模式年龄分布于(326.6 ± 7.1) Ma ~ (333.1 ± 4.6) Ma 之间,较为一致,加权平均年龄为(329.4 ± 1.6) Ma(图 3b),对此结果进行等时线加权拟合,得到一条相关性很好的等时线(图 3a)。等时线年龄的初始值 ¹⁸⁷Os = 5.4 ± 5.9,平均权重方差 MSWD = 0.76,等时线年龄为(327.1 ± 2.9) Ma。这一结果可能反映了希勒库都克铜钼矿床的成矿时代。

5 讨论

5.1 成矿年龄的确定

由于 Re-Os 同位素体系封闭性好,受后期改造很弱,所以可以直接准确地测定成矿时代(Stein et al., 1998)。而辉钼矿的铼和钨含量都较高,通过辉钼矿 Re-Os 同位素的分析可以准确测得成矿年龄。本文获得希勒库都克铜钼矿区 7 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素分析结果,其等时线年龄(327.1 ± 2.9) Ma 与模式年龄加权平均年龄(329.4 ± 1.6) Ma 在误差范围内是一致的。从 MSWD 值及拟合概率来看,其等时线年龄和加权平均模式年龄都是可靠的。同时,笔者对含矿花岗斑岩(可能为含矿母岩)进行锆石 U-Pb 年代学的测定,其加权平均年龄为(329.6 ± 4.1) Ma(龙灵利等, 2009),这与辉钼矿 Re-Os 年龄在误差范围内是一致的。辉钼矿及含矿母岩的年龄结果一致较好地限定了希勒库都克铜钼矿形成时代为早石炭世中期。

5.2 成矿物质来源

Re-Os 同位素体系不仅可以精确地确定硫化物矿床形成的时间,同时可以示踪成矿物质来源以及指示成矿过程中不同来源物质混入的程度(Foster et al., 1996; Lambert et al., 1999)。Mao 等(1999)在综合分析、对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后认为:从地幔到壳幔混源再到地壳,矿石中含 Re 量呈数量级下降,从幔源、I 型到 S 型花岗岩有关的矿床, $w(\text{Re})$ 从 $n \times 100 \times 10^{-6} \rightarrow n \times 10 \times 10^{-6} \rightarrow n \times 10^{-6}$ 。因此,辉钼矿中 Re 的含量一定程度上可以指示成矿物质的来源(Mao et al., 1999; Stein et al., 1997)。

近年来国内积累了大量辉钼矿 Re-Os 同位素数据。成矿物质来源于地幔或以地幔物质为主的矿

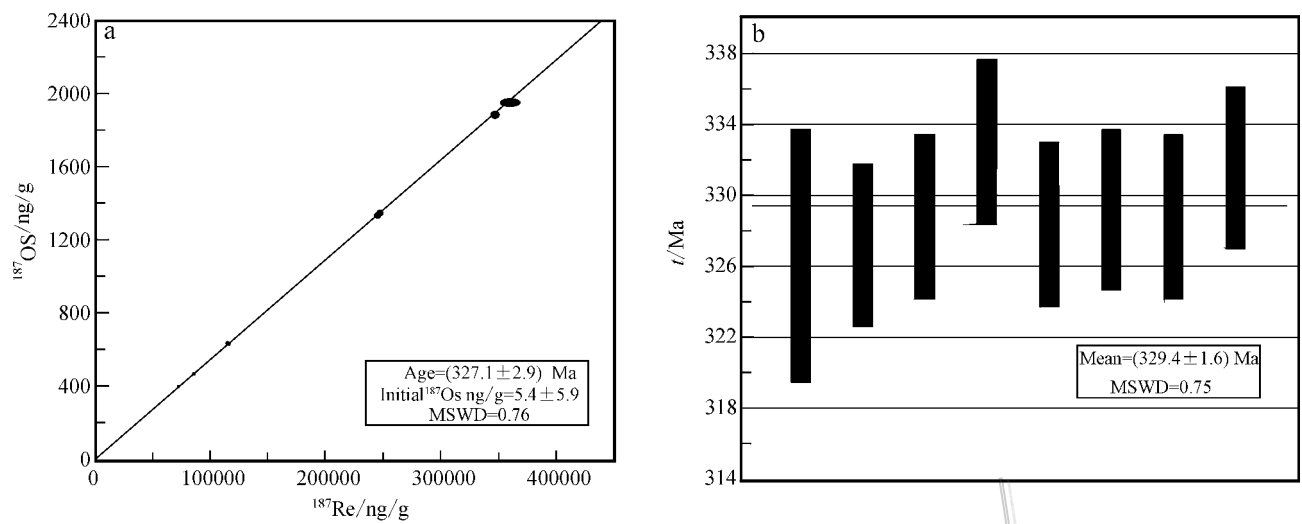


图 3 希勒库都克铜钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素等时线 (a) 和模式年龄加权平均值 (b)

Fig. 3 Re-Os isotopic isochron curve (a) and weighted average of Re-Os model age data (b) of molybdenites from the Xilekuduke copper-molybdenum deposit in Xinjiang

表 3 希勒库都克铜钼矿 Re-Os 同位素含量及模式年龄

Table 3 Re-Os iostopic data of molybdenite and model ages of the Xilekudouke copper-molybdenite deposit in Xinjiang

样品编号	m/g	$w(\text{Re}) (\mu\text{g/g})$		$w(\text{普 Os}) (\text{ng/g})$		$w(^{187}\text{Re}) (\mu\text{g/g})$		$w(^{187}\text{Os}) (\text{ng/g})$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
X7913-5	0.02052	572.1	11	0.053	0.000	359.6	6.7	1962	16	326.6	7.1
X7913-5	0.0205	551.5	4.5	0.323	0.725	346.6	2.9	1895	15	327.2	4.6
X7913-12	0.02072	138.7	1.2	0.690	0.729	87.20	0.72	479.0	3.8	328.8	4.6
X7913-19	0.02038	184.9	1.4	0.022	0.007	116.2	0.9	646.7	5.5	333.1	4.6
X7913-20	0.02029	390.2	3.2	0.014	0.007	245.2	2.0	1345	11	328.4	4.6
X7913-27	0.0205	186.2	1.4	0.007	0.007	117.1	0.9	643.8	5.2	329.2	4.5
D21	0.02202	393.6	3.0	0.003	0.003	247.4	1.9	1359	12	328.8	4.6
D22	0.02106	117.8	0.9	0.003	0.003	74.04	0.57	410.1	3.3	331.6	4.5

注: $w(\text{普 Os})$ 是指普通 Os 的浓度, 根据 Nier 值的 Os 同位素丰度, 通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出, $w(^{187}\text{Os})$ 是 ^{187}Os 同位素总量。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测定的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差, 置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度 (1.02%), 置信水平 95%。模式年龄 t 按公式 $t = \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})/\lambda$, 其中 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。实验分析人为屈文俊、曾法刚, 技术负责为杜安道。

床, 如华北克拉通南缘黄龙铺碳酸盐脉型钼(铅)矿床辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $256.0 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$, 平均 428.36×10^{-6} (黄典豪等, 1985); 冈底斯带斑岩铜矿床中辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $87.72 \times 10^{-6} \sim 1\,218.2 \times 10^{-6}$ (侯增谦等, 2003; 孟祥金等, 2003; 芮宗瑶等, 2003)。成矿物质具有壳幔混合源的矿床, 如河南南泥湖-三道庄斑岩-矽卡岩型钼钨矿床辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $13.1 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$, 陕西金堆城斑岩钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $12.9 \times 10^{-6} \sim 19.7 \times 10^{-6}$, 辽宁杨家杖子矽卡岩型钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $33.4 \times 10^{-6} \sim 53.1 \times 10^{-6}$ (黄典豪等, 1994; 1996)。成矿物质主要来自壳

源(上地壳)的矿床, 其辉钼矿中 Re 含量明显偏低, 如湖南柿竹园钨锡钼铋矿床辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $1.04 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ (李红艳等, 1996), 甘肃小柳沟钨矿床辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $0.8 \times 10^{-6} \sim 8.7 \times 10^{-6}$ (毛景文等, 1999), 小秦岭大湖金(钼)矿及泉家峪石英脉型金钼矿体中辉钼矿 $w(\text{Re})$ 分别为 $1.53 \times 10^{-6} \sim 2.31 \times 10^{-6}$ 和 $5.38 \times 10^{-6} \sim 17.3 \times 10^{-6}$ (李厚民等, 2007), 熊家山钼矿床辉钼矿中 $w(\text{Re})$ 为 $0.17 \times 10^{-6} \sim 0.61 \times 10^{-6}$ (孟祥金等, 2007)。从表 3 中可明显看出希勒库都克铜钼矿床辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $117.8 \times 10^{-6} \sim 572.1 \times 10^{-6}$, 远高于壳幔混合源矿

床的 Re 含量,与地幔源或以地幔物质为主的矿床值相近,这反映希勒库都克铜钼矿床的成矿物质可能主要来自地幔源区。

5.3 成矿构造背景

前人研究表明,额尔齐斯蛇绿混杂岩带所代表的古准噶尔洋,形成于早泥盆世(陈哲夫等,1995; Wang et al., 2000),闭合于晚泥盆世(王京彬等, 2006),还有学者认为古准噶尔洋一直持续到石炭纪(李锦轶等,1999;2006)。在晚泥盆世末—石炭纪,古准噶尔洋分割的准噶尔板块和西伯利亚板块发生碰撞,洋壳逐渐消失,之后逐渐进入后碰撞造山演化阶段。新疆北部后碰撞阶段主体时限为早石炭世—晚二叠世(王京彬等,2006)。近年来,部分学者在大量地球化学和年代学研究的基础上,认为新疆北部广泛发育 330~280 Ma 的后碰撞造山阶段的岩浆活动(Han et al., 1997; Chen et al., 2004; 韩宝福等, 2006; 林锦富等, 2007; 苏玉平等, 2008), 325~310 Ma 和 305~280 Ma 是东准噶尔后碰撞深成岩浆活动的两个高峰期(韩宝福等, 2006)。

准噶尔板块北缘 327 Ma 的希勒库都克铜钼矿床可能形成于同碰撞向后碰撞造山转换或后碰撞早期挤压-伸展转变的构造环境中,对应于东准噶尔地区后碰撞早期深成岩浆活动强烈时期。

新疆北部后碰撞的伸展阶段和挤压-伸展转变期,是大规模成矿的高峰期,后碰撞成矿的 3 个高峰期分别为 340~330 Ma、300~285 Ma、270~260 Ma(王京彬等, 2006)。327 Ma 希勒库都克斑岩型铜钼矿及西准噶尔地区 310 Ma 的包古图斑岩型铜矿(宋会侠, 2007)可能为近同一时期产物,同为新疆北部后碰撞早期成矿阶段的产物。

斑岩型矿床作为一种最重要的铜金矿床和铜钼矿床类型,主要产于岛弧和陆缘弧环境(Sillitoe, 1972; Mitchell, 1973),该背景下可以形成大型-巨型的斑岩铜金矿(Sillitoe et al., 1991; Camus et al., 2001)。近年来,部分学者提出大陆碰撞造山带也是斑岩型矿床产出的主要环境,藏东玉龙斑岩铜矿带和冈底斯斑岩铜矿带是其典型代表(Hou et al., 2003),玉龙斑岩铜矿带形成于晚造山转换成矿期(即后碰撞早期)(侯增谦等, 2006a; 2006b),其中玉龙斑岩铜矿、驱龙斑岩铜钼矿达世界级规模(芮宗瑶等, 1984; 杨志明等, 2008)。

目前,类似于玉龙斑岩铜矿带形成于后碰撞造山环境中的矿床实例并不多见。本文根据希勒库都

克斑岩型铜钼矿成矿时代 327 Ma,结合前人区域背景研究成果,将其成矿时限限定于后碰撞造山的早期阶段或同碰撞向后碰撞构造转换阶段,这与青藏高原碰撞造山带中玉龙斑岩铜矿带形成构造背景类似。如此来看,希勒库都克铜钼矿区具有一定的找矿潜力,进一步推测在新疆北部寻找与之类似的斑岩型铜钼矿具有一定的可能性。以上仅是本文基于单一辉钼矿 Re-Os 同位素年龄所做的初步判断,对于该矿床是否具有后碰撞造山环境下矿床特征,是否的确与青藏高原碰撞造山带中玉龙斑岩铜矿具有可比性,这还需要进一步对矿区矿床地质、地球化学等方面进行综合对比研究。

6 结 论

(1) 希勒库都克铜钼矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (327.1 ± 2.9) Ma, 其成矿可能发生在早石炭世中期;

(2) 希勒库都克铜钼矿成矿物质主要来自地幔源区,可能形成于同碰撞向后碰撞造山转换或后碰撞早期的构造环境中。

志 谢 野外工作中得到了“新疆富蕴县希勒库都克铜金矿普查”项目组成员的大量帮助,河北省廊坊区域地质调查研究所实验室李林庆主任在辉钼矿的分选过程中给予帮助,在本文完成过程中得到了韩春明研究员、张会琼工程师及廖震工程师的帮助,在此一并向他们表示感谢。

References

- Camus F and Dilles J H. 2001. A special issue devoted to porphyry copper deposits of northern Chile-Preface[J]. *Econo. Geol.*, 96: 233-238.
- Chen B and Jahn B M. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence[J]. *Journal of Asian Earth Science*, 23: 691-703.
- Chen H Y, Chen Y J and Liu Y L. 2001. Metallogenesis of the Ertix gold belt, Xinjiang and its relationship to Central Asia-type orogenesis[J]. *Science in China (Series D)*, 3: 245-255.
- Chen Z F and Xu X. 1995. Opening-closing tectonic system at the continental margin of Altay, China[A]. *Selected academic theses of 3rd Tianshan geology and mineral resources of Xinjiang* [C]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House. 15-27 (in Chinese with Eng-

- lish abstract).
- Chen Z F, Cheng S D, Liang Y H and Xu X. 1997. Opening-closing tectonics and mineralization in Xinjiang[J]. Urumqi : Xinjiang Science Technology and Hygienic Publishing House. 1-394 (in Chinese with English abstract).
- Cheng S D and Xu X. 2001. On compiling of map of tectonics of Xinjiang and neighbouring areas[J]. Xinjiang Geology , 19(1): 33-37 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica , 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Stein R M H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials : Molybdenite HLP and JDC[J]. Geostandard and Geoanalytical Research , 28(1): 41-52.
- Foster G, Lambert D D, Frick L R and Maas R. 1996. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archaean nickel ores from uncontaminated komatiites[J]. Nature , 382 : 703-706.
- Han B F, Wang S G, Jahn B M, Hong D W, Kagami H and Sun Y L. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur river A-type granites from North Xinjiang, China : Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence , and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. Chemical Geology , 138 : 135-159.
- Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Zhang L. 2006. Late paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part 1): Timing of post-collisional plutonism[J]. Acta Petrologica Sinica , 22(5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract).
- Han C M, Xiao W J, Zhao G C, Qu W J, Mao J G and Du A D. 2006. Re-Os isotopic analysis of the Kalatongke Cu-Ni sulfide deposit , Northern Xinjiang , NW China , and its geological implication[J]. Acta Petrologica Sinica , 22(1): 163-170 (in Chinese with English abstract).
- Horan M F, Morgan J W, Grauch R J, Coveney M, Murowchick J B and Hulbert J. 1994. Rhenium and osmium isotopes in black shales and Ni-Mo-PGE-rich sulfide layers , Yukon Territory , Canada , and Hunan and Guizhou Provinces , China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 58 : 257-265.
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D and Wang W. 2003. Re-Os age for molybdenites from the Gangdese porphyry copper belt on Tibetan plateau : Implication for geodynamic setting and duration of the Cu mineralization[J]. Science in China (Series D), 33 : 609-618 (in Chinese).
- Hou Z Q, Ma H W, Zaw K, Zhang Y Q, Wang W J, Wang Z and Pan G T. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt : Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. Econ. Geol. , 98 : 125-145.
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Yang Z S, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt : II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. Mineral Deposits , 25(5): 521-543 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang A J, Pan G T, Qu X M and Nie F J. 2006b. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau : Tectonic setting , tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. Geology in China , 33(2): 340-351 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wang Y C, Nie F J and Jiang X J. 1985. A new type of molybdenum deposit : Geological characteristics and metallogenic mechanism of the Huanglongpu carbonatite vein-type molybdenum (lead) deposit , Shaanxi[J]. Acta Geologica Sinica , 59 : 241-267 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H L. 1994. Re-Os isotope age of molybdenum deposits in East Qinling and their significance[J]. Mineral Deposits , 13(3): 221-230 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Du A D, Wu C Y, Liu L S, Sun Y L and Zou Y Q. 1996. Metallogenic mechanism of Mo(Cu) deposits in the North China platform : Re-Os age of molybdenite and its geological significance[J]. Mineral Deposits , 15 : 289-297 (in Chinese with English abstract).
- Lambert D D, Foster J G, Frick L R, Li C and Naldrett A J. 1999. Re-Os isotopic systematics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co magmatic ore system , Labrador , Canada[J]. Lithos , 47 : 69-88.
- Li H M, Ye H S, Mao J W, Wang D H, Chen Y C, Qu W J and Du A D. 2007. Re-Os dating of molybdenites from Au(Mo) deposits in Xiaolingling gold ore district and its geological significance[J]. Mineral Deposits , 26(4): 417-424 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuoyuan polymetallic tungsten deposit , southern Hunan[J]. Geological Review , 42(3): 261-267 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y and Xiao X C. 1999. Brief reviews on some issues of frame work and tectonic evolution of Xinjiang crust , NW China[J]. Scientia Geologica Sinica , 34(4): 405-419 (in Chinese with English).
- Li J Y, Wang K Z, Li Y P, Sun G H, Zhu C H, Li L Q and Zhu Z X. 2006. Geomorphological features , crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. Geological Bulletin of China , 25(8): 895-909 (in Chinese with English abstract).
- Lin J F, Yu H X, Yu X Q, Di Y J and Tian J F. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang , NW Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica , 23(8): 1876-1884 (in Chinese with English abstract).
- Long L L, Wang J B, Wang Y W, Wang L J, Wang S L and Pu K X. 2009. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Xilekuduke Cu-Mo deposit , Fuyun area , Xinjiang , China[J]. Geological Bulletin of China , 28(12): 1840-1851 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic

- dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 63(11-12) : 1815-1818.
- Mao J W , Zhang Z H , Zhang Z C , Yang J M , Wang Z L and Du A D . 1999. Re-Os age dating of molybdenites in the Xiaoliugou tungsten deposit in the northern Qilian Mountains and its significances[J]. *Geological Review* , 45(4) : 412-417 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , Wang Y T , Lehmann B , Yu J J , Du A D , Mei Y X , Li Y F , Zang W S , Stein H J and Zhou T F . 2006. Molybdenite Re-Os and albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Cu-Au-Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications[J]. *Ore Geology Reviews* , 29 : 307-324.
- Meng X J , Hou Z Q , Gao Y F , Huang W , Qu X M and Qu W J . 2003. Development of porphyry copper-molybdeum-lead-zinc ore-forming system in East Gangdese Belt , Tibet : Evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit[J]. *Mineral Deposits* , 22(3) : 246-252 (in Chinese with English abstract).
- Meng X J , Hou Z Q , Dong G Y , Liu J G , Qu W J , Yang Z S , Zou L Y , Wang L J and Xiao M Z . 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit , Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica* , 81(7) : 946-951 (in Chinese with English abstract).
- Mitchell A H G . 1973. Metallogenic belts and angle of dip of Benioff zones[J]. *Nature* , 245 : 49-52.
- Nie F J , Zhang W Y , Du A D , Jiang S H and Liu Y . 2007. Re-Os isotopic age dating of Molybdenite separates from the Chaobuleng Skarn iron-polymetallic deposit , Dong Ujinqin Banner , Inner Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 28(4) : 315-323 (in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D . 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. *Rock and Mineral Analysis* , 22(4) : 254-257 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y , Huang C K , Qi G M , Xu Y and Zhang H T . 1984. The porphyry Cu(Mo) deposits in China[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-350 (in Chinese).
- Rui Z Y , Hou Z Q , Qu X M , Zhang L S , Wang L S and Liu Y L . 2003. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Mineral Deposits* , 22(3) : 217-225 (in Chinese with English abstract).
- Shen Y C , Shen P , Li G M , Zeng Q D and Liu T B . 2007. Structural ore-control regularities of oritic gold belt in north Xinjiang[J]. *Mineral Deposits* , 26(1) : 33-42 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe R H . 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposit[J]. *Econ. Geol.* , 67 : 184-197.
- Sillitoe R H and Camus F . 1991. A special issue devoted to gold deposits in the Chilean Andes[J]. *Econ. Geol.* , 86 : 1153-1345.
- Smoliar M I , Walker R J and Morgan J W . 1996. Re-Os ages of group IIA , IIIA , IVA and VIB iron meteorites[J]. *Science* , 271 : 1099-1102.
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Du A and Sun Y . 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenum from the East Qinling molybdenum belt , Shanxi Province , China[J]. *Econ. Geol.* , 98 : 175-180.
- Stein H J , Sundbläck K and Markey R J . 1998. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite , Kuttila , Finland and Proterozoic molybdenite , Kabeliai , Lithuania : Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting[J]. *Mineral Deposits* , 33 : 329-345.
- Song H X . 2007. Study on geological and geochemical characteristics and metallogenic time of Baogutu porphyry copper deposit (master candidate paper) [D]. Supervisor : Song B and Liu Y L . Beijing : Chinese Academy of Geological Science , 40-47 (in Chinese with English abstract).
- Song S G , Ding Z J , Yao S Z , Zhou Z G , Zhang S X and Du A D . 2008. Re-Os isotopic dating of molybdenite and its implications for molybdenum mineralization of Wenquan porphyry , Wushan , Gansu Province[J]. *Northwestern Geology* , 41(1) : 67-73 (in Chinese with English abstract).
- Su Y P , Tang H F and Cong F . 2008. Zircon U-Pb age and petrogenesis of the Huangyangshan alkaline granite body in East Junggar , Xinjiang[J]. *Acta Mineralogica Sinica* , 28(2) : 111-126 (in Chinese with English abstract).
- Walker R J , Morgan J W , Naldreu A J , Li C and Fassett J D . 1991. Re-Os isotope systematics of Ni-Cu sulfide ores , Subury igneous complex , Ontario : Evidence for a major crustal component[J]. *Earth and Planetary Science Letters* , 105 : 416-429.
- Wang J B , Zhang J H , Ding R F and Fang T H . 2000. Tectono-metallogenic system in the Altay orogenic belt , China[J]. *Acta Geologica Sinica* (English Edition) , 74(3) : 485-491.
- Wang J B and Xu X . 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in Northern Xinjiang , China[J]. *Acta Geologica Sinica* , 80(1) : 23-31 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y W , Wang J B , Wang S L , Wang L J , Ding R F and Pu K X . 2008. Magma mixing in the Xilikuduke area , Fuyun County , Xinjiang and its mineralization significance[J]. *Acta Geological Sinica* , 82(2) : 221-233 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M , Hou Z Q , Song Y C , Li Z Q , Xia D X and Pan F C . 2008. Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet : Geology , alteration and mineralization[J]. *Mineral Deposits* , 27(3) : 279-318 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H , Mao J W , Du A D , Pirajno F , Wang Z L , Chai F M , Zhang Z C and Yang J M . 2008. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in northern Xinjiang , NW China and its geological significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 32(2-4) : 204-217.

附中文参考文献

- 陈华勇 , 陈衍景 , 刘玉琳 . 2000. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿作用及其与中亚型造山作用的关系[J]. *中国科学(D 辑)* , 30(增刊) :

- 38-44.
- 陈哲夫,徐新.1995.中国阿尔泰陆缘开合构造系基本特征[A].见:新疆第三届天山地质矿产学术讨论会论文选辑[C].乌鲁木齐:新疆人民出版社.15-27.
- 陈哲夫,成守德,梁云海,徐新.1997.新疆开合构造与成矿[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社.1-394.
- 成守德,徐新.2001.新疆及邻区大地构造编图研究[J].新疆地质,19(1):33-37.
- 杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文俊.1994.辉钼矿的铼-钼同位素地质年龄测定方法研究[J].地质学报,68(4):339-347.
- 韩宝福,季建清,宋彪,陈立辉,张磊.2006.新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)—后碰撞深成岩浆活动的时限[J].岩石学报,22(5):1077-1086.
- 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[J].岩石学报,22(1):163-170.
- 侯增谦,曲晓明,王淑贤,高永丰,杜安道,黄卫.2003.青藏高原冈底斯斑岩铜钼矿 Re-Os 年龄:成矿作用时限与动力学背景应用[J].中国科学(D辑),33:609-618.
- 侯增谦,潘桂棠,王安建,莫宣学,田世洪,孙晓明,丁林,王二七,高永丰,谢玉玲,曾普胜,秦克章,许继峰,屈晓明,杨志明,杨柱森,费洪彩,孟祥金,李振清.2006a.青藏高原碰撞造山带:II.晚碰撞转换成矿作用[J].矿床地质,22(5):521-543.
- 侯增谦,莫宣学,杨志明,王安建,潘桂棠,屈晓明,聂凤军.2006b.青藏高原碰撞造山带成矿作用:构造背景、时空分布和主要类型[J].中国地质,33(2):340-351.
- 黄典豪,王义昌,聂凤军,江秀杰.1985.一种新的钼矿床类型-陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特征及成矿机制[J].地质学报,59(3):241-257.
- 黄典豪,吴澄宇,杜安道,何红蓼.1994.东秦岭地区钼矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J].矿床地质,13:221-230.
- 黄典豪,杜安道,吴澄宇,刘兰笙,孙亚莉,邹晓秋.1996.华北地台钼(铜)矿床成矿学研究-辉钼矿的铼-钼年龄及其地质意义[J].矿床地质,15:289-297.
- 李红艳,毛景文,孙亚莉,邹晓秋,何红蓼,杜安道.1996.柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J].地质论评,42(3):261-267.
- 李厚民,叶会寿,毛景文,王登红,陈毓川,屈文俊,杜安道.2007.小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钼定年及其地质意义[J].矿床地质,26(4):417-424.
- 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.
- 李锦轶,王克卓,李亚萍,孙桂华,褚春华,李丽群,朱志新.2006.天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J].地质通报,25(8):895-909.
- 林锦富,喻亨祥,余心起,狄永军,田建涛.2007.新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].岩石学报,23(8):1876-1884.
- 龙灵利,王京彬,王玉往,王莉娟,王书来,蒲克信.2009.新疆富蕴地区希勒库都克铜钼矿床含矿斑岩的年代学与地球化学特征[J].地质通报,28(12):1840-1851.
- 毛景文,张作衡,张招崇,杨建民,王志良,杜安道.1999.北祁连山小柳沟钨钼矿床 Re-Os 同位素测年及其意义[J].地质论评,45(4):412-417.
- 孟祥金,侯增谦,高永丰,黄卫,屈晓明,屈文俊.2003.西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限:帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J].矿床地质,22(3):246-252.
- 孟祥金,侯增谦,董光裕,刘建光,屈文俊,杨竹森,左力艳,万禄进,肖茂章.2007.江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re-Os 年龄[J].地质学报,81(7):946-951.
- 聂凤军,张万益,杜安道,江思宏,刘妍.2007.内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿铼-钼同位素年龄及地质意义[J].地球学报,28(4):315-323.
- 屈文俊,杜安道.2003.电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钼地质年龄[J].岩矿测试,22(4):254-257.
- 芮宗瑶,黄素珂,齐国明,徐钰,张洪涛.1984.中国斑岩铜(钼)矿床[M].北京:地质出版社.1-350.
- 芮宗瑶,侯增谦,屈晓明,张立生,王龙生,刘玉琳.2003.冈底斯斑岩铜矿成矿时代与青藏高原隆升[J].矿床地质,22:217-225.
- 沈远超,申萍,李光明,曾庆栋,刘铁兵.2007.新疆额尔齐斯金矿带构造控矿规律研究[J].矿床地质,26(1):33-42.
- 宋会侠.2007.新疆包古图斑岩铜矿地质地球化学特征及成矿时代[D].导师:宋彪,刘玉琳.北京:中国地质科学院.40-47.
- 宋史刚,丁振举,姚书振,周宗桂,张世新,杜安道.2008.甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J].西北地质,41(1):67-73.
- 苏玉平,唐红峰,丛峰.2008.新疆东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因[J].矿物学报,28:117-126.
- 王京彬,徐新.2006.新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J].地质学报,80(1):23-31.
- 王玉往,王京彬,王书来,王莉娟,丁汝福,蒲克信.2008.新疆富蕴希力库都克地区岩浆混合作用及其成矿意义[J].地质学报,82(2):221-233.
- 杨志明,侯增谦,宋玉财,李振清,夏代详,潘凤雏.2008.西藏驱龙超大型斑岩铜矿床地质、蚀变与成矿[J].矿床地质,27(3):279-318.