

李宁, 杨富全, 李超, 等. 新疆东天山小白石头钨(钼)矿辉钼矿 Re - Os 同位素年龄及成矿时代[J]. 岩矿测试, 2019, 38(1): 112 - 122.

LI Ning, YANG Fu-quan, LI Chao, et al. Re-Os Isotopic Age of Molybdenite from the Xiaobaishi W-(Mo) Deposit, Eastern Tianshan, Xinjiang and Its Geological Implication[J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(1): 112 - 122.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201805250064】

新疆东天山小白石头钨(钼)矿辉钼矿 Re - Os 同位素年龄及成矿时代

李宁¹, 杨富全^{1*}, 李超², 张志欣³, 杨成栋¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆矿产资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 小白石头钨(钼)矿床位于新疆东天山造山带中的中天山地块南缘, 该矿床是一个由黑云母花岗岩和花岗闪长岩侵入中元古界卡瓦布拉格群形成的矽卡岩型钨(钼)矿床。辉钼矿作为其主要的矿石矿物之一, 呈不同产出状态分布于花岗闪长岩、黑云母花岗岩、矽卡岩和石英脉中。目前, 对于小白石头钨(钼)矿成矿时代尚有争议, 特别是与花岗闪长岩有关的辉钼矿化形成时代缺乏精确的限定。本文选取与花岗闪长岩有关的不同产状辉钼矿进行 Re - Os 同位素定年, 获得 Re - Os 加权平均模式年龄为 $245.0 \pm 1.7\text{Ma}$, Re - Os 等时线年龄为 $245.5 \pm 4.3\text{Ma}$ 。准确的 Re - Os 同位素定年限定小白石头钨(钼)矿床的成矿年龄和花岗闪长岩的侵位年龄为 245Ma 左右, 为矿床模型建立和找矿方向确定提供了关键依据, 同时也为东天山区域成矿规律总结提供了重要的年代学证据, 并指出新疆东天山—甘肃北山地区存在一条找矿潜力巨大的三叠纪钨钼成矿带。

关键词: 东天山; 小白石头钨(钼)矿床; 辉钼矿; Re - Os 同位素年龄; 花岗闪长岩; 三叠纪

要点:

(1) 准确的辉钼矿 Re - Os 同位素测年结果揭示了小白石头钨(钼)矿床的成矿时间为 245Ma 左右。

(2) 确定了小白石头矿区黑云母花岗岩和花岗闪长岩为同期岩浆事件, 其矿化为同期成矿事件。

(3) 指出新疆东天山—甘肃北山地区存在一条三叠纪钨钼成矿带。

中图分类号: P597.3

文献标识码: A

精确测定成矿时代是探讨成矿机制、建立矿床模型、总结成矿规律、开展成矿预测的基础。随着测试技术的发展, 越来越多的高精度测年方法被应用于确定成矿时代, 如 Re - Os 法, 含钾矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法^[1], 锆石^[2]、榍石^[3]、石榴石^[4]、锡石^[5]、铌钽矿^[6]、独居石^[7]、磷钼矿 U - Pb 定年等。Re - Os 同位素体系目前已经成为矿床学最重要的定年技术之一, 它能够直接应用于矿石矿物(如硫化

物矿物或磁铁矿)测定矿物形成年龄的方法^[8], 尤其是对于辉钼矿, 研究表明其初始富集 Re 且基本上不含 Os, 辉钼矿中的 Os 全部是放射性成因的 ^{187}Os ^[9]。因此, 对辉钼矿进行 Re - Os 定年是获取其成矿事件发生时间的最有效方法之一, 如江西朱溪超大型钨矿床、新疆东戈壁超大型钨矿床和吉林东风北山钨矿床都是应用辉钼矿确定成矿时代^[10-12]。

收稿日期: 2018 - 05 - 25; 修回日期: 2018 - 07 - 23; 接受日期: 2018 - 08 - 10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41672072)

作者简介: 李宁, 博士研究生, 主要从事矿床学研究。E-mail: 512359151@qq.com。

通信作者: 杨富全, 博士生导师, 研究员, 主要从事矿床地质和成矿规律研究。E-mail: fuquanyang@163.com。

中亚造山带是全球最大的增生造山带和全球四大成矿域之一^[13-14]。新疆东天山造山带是中亚造山带的重要组成部分,其位于塔里木板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块的聚合部位,东西长超过 550km,南北宽超过 110km^[15]。作为中亚造山带晚古生代构造演化的重要组成部分,东天山造山带从泥盆纪到二叠纪经历了一个完整的拉张、俯冲、碰撞、碰撞后演化过程^[16],以发育岩浆岩型铜镍矿、斑岩型铜矿、造山带型金矿、与海相火山作用相关的铁矿而闻名^[17-19]。近年来,随着一系列三叠纪钨钼矿床,如小白石头中型钨(钼)矿、沙东大型钨矿、东戈壁超大型钼矿、白山大型钼矿等^[20-23]的发现和深入研究,为研究东天山造山带三叠纪板内环境的成矿作用提供了重要信息。

小白石头钨(钼)矿床位于中天山地块东部南缘,距离甘肃—新疆边界附近的星星峡断裂约 17km。矿体沿卡瓦布拉格群与花岗闪长岩、黑云母花岗岩接触带产出。矿区分为 5 个矿段,主矿段(1 矿段)已控制白钨矿储量为 3.03 万吨(矿体平均品位 WO_3 为 0.76%)^[20]。对于小白石头矿区与成矿密切相关的黑云母花岗岩体的侵位时代已进行了许多研究:陈岳龙等^[24]最早获得了该岩体的全岩 Rb-Sr 年龄($294 \pm 49Ma$)和黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 全熔年龄(227Ma);李华芹等^[25]获得了矿区 3 矿段似斑状中细粒黑云母花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄($244 \pm 5Ma$);李鹏等^[26]测得小白石头矿区黑云母花岗岩的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $322 \pm 5Ma$ (MSWD=3.2);Deng 等^[20]指出小白石头矿区辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 239.7~251.4Ma 以及钼矿化花岗岩的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $242 \pm 1.7Ma$ (MSWD=0.35),认为其代表了小白石头钨(钼)矿床的成矿年龄。Deng 等^[20]获得的辉钼矿 Re-Os 年龄(239.7~251.4Ma)可以代表与黑云母花岗岩有关的钨钼矿形成时代,但对于花岗闪长岩年龄和与之有关的辉钼矿成矿时代仍然缺乏详细研究。与黑云母花岗岩有关的矿化和与花岗闪长岩有关的矿化是否为同一期成矿事件是一个重要科学问题,直接关系到成矿规律总结和进一步找矿方向的确定。

本文在详尽野外调查及室内研究基础上,选取了小白石头钨(钼)矿区 5 矿段与花岗闪长岩相关的辉钼矿作为研究对象,利用辉钼矿 Re-Os 同位素定年技术,精确厘定辉钼矿成矿年龄,限定花岗闪长岩侵位时代,对于研究新疆东天山三叠纪钨钼成矿带成矿规律和找矿勘查具有重要意义。

1 矿床地质特征

1.1 区域地质背景

东天山造山带由北向南划分为三个主要的构造-岩浆单元:博格达—哈尔克构造带、觉罗塔格构造带和中天山地块^[27]。小白石头钨(钼)矿床位于东天山造山带的中天山地块东南缘,其结晶基底为中元古界星星峡群、卡瓦布拉格群和新元古界天湖群等,岩性主要为片岩、片麻岩、大理岩和石英岩等绿片岩相或角闪岩相变质岩^[26]。中天山地块北缘以阿奇克库都克—沙泉子断裂为界,与觉罗塔格构造带的阿奇山—雅满苏带相邻;南缘以红柳河断裂带与北山构造带相邻^[28]。中天山地块的大多数侵入岩为 I 型花岗岩^[29]。沿着中天山地块的北缘分布着一系列与二叠纪超镁铁质混杂岩有关的 Cu-Ni 矿床,如白石泉铜-镍矿床等^[30]。

1.2 矿区地质特征

矿区出露地层主要为卡瓦布拉格群,岩性主要为白色大理岩、灰黑色条带状炭质灰岩、石英片岩、黑云母石英片岩等。矿区地层大部分向北倾斜,构成了北倾的单斜构造^[26]。矿区断裂比较发育,主要为北东向断裂,多分布于 3 矿段。矿区主要侵入岩为花岗闪长岩和黑云母花岗岩(图 1)。花岗闪长岩主要分布在矿区中部和西部,灰-灰白色,块状构造,中细粒结构,主要由斜长石(~50%)、钾长石(~10%)、石英(~20%)和暗色矿物(角闪石+黑云母,~20%)构成(图 2a 和 b)。黑云母花岗岩分布在矿区西部。

小白石头钨(钼)矿床是矽卡岩型矿床,矿体分布在黑云母花岗岩/花岗闪长岩与大理岩接触带中,矿化类型主要有矽卡岩型(钨矿、钼矿)和石英大脉型钼矿,以及少量云英岩型锡矿。矿区主要分为 5 个矿段,已圈定 96 个矿体(图 1)。其中,3 矿段为钨矿主矿段,钨矿赋存于黑云母花岗岩与大理岩接触带之中;5 矿段为钼矿主矿段,钼矿赋存于花岗闪长岩中,其与围岩形成于矽卡岩和石英脉中。矿石中金属矿物主要为白钨矿,其次为辉钼矿,少量黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等。非金属矿物主要为矽卡岩矿物,包括石榴石、硅灰石、透辉石、绿帘石、透闪石、阳起石、方柱石、石英、萤石等。白钨矿呈半自形浸染状或星点状分布于矽卡岩中,或呈细脉状分布于石英脉中。辉钼矿呈自形-半自形浸染状、团块状分布于花岗闪长岩(图 2c 和 d)、矽卡岩中(图 2e 和 f),或呈半自形脉状分布于石英脉中(图 2g 和 h)。岩体内蚀变主要有绢云母化、钾长石化、钠长石化、绿

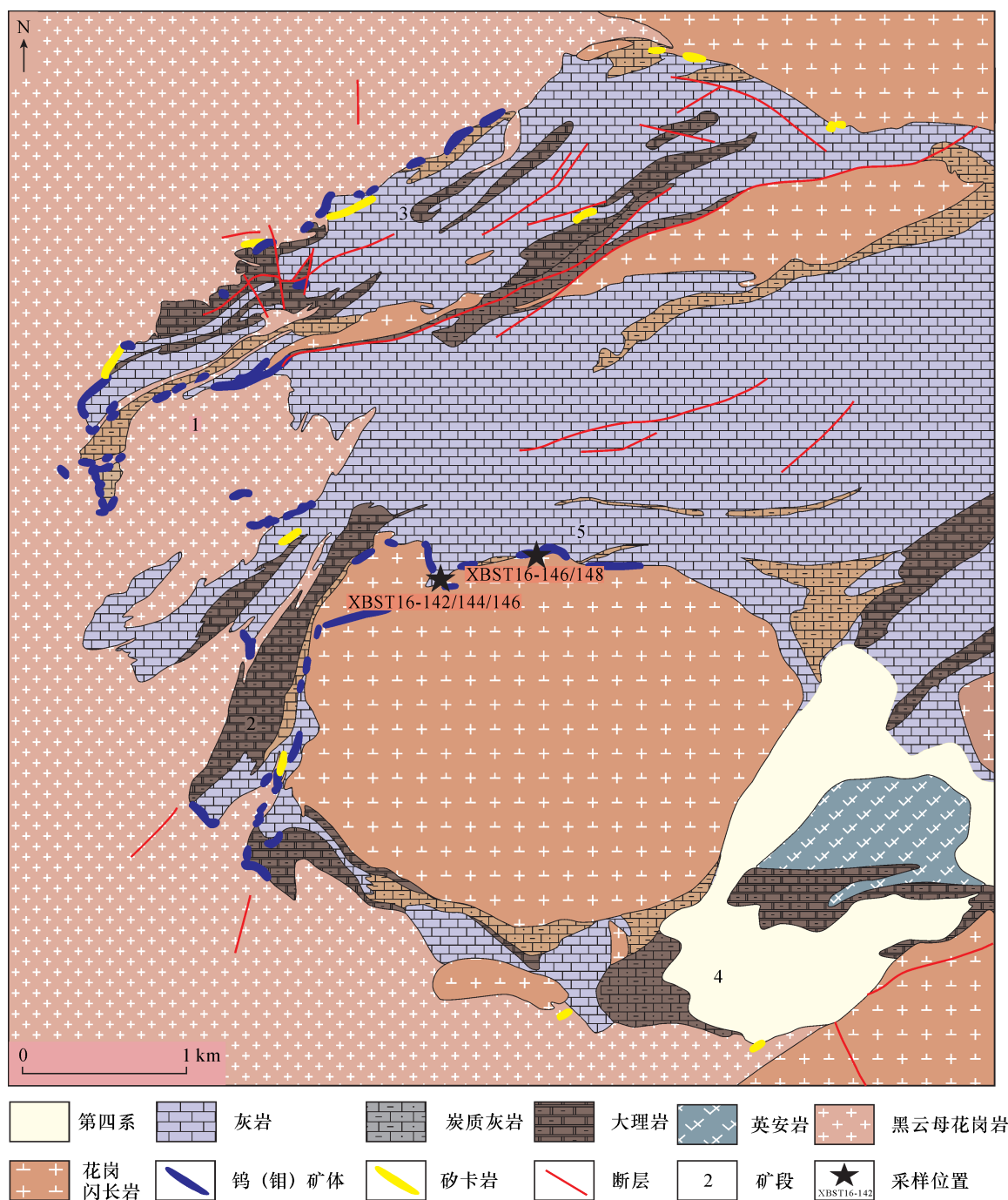


图1 小白石头钨(钼)矿区地质图^[20]

Fig.1 General geologic map of the Xiaobaishitou W-(Mo) ore district^[20]

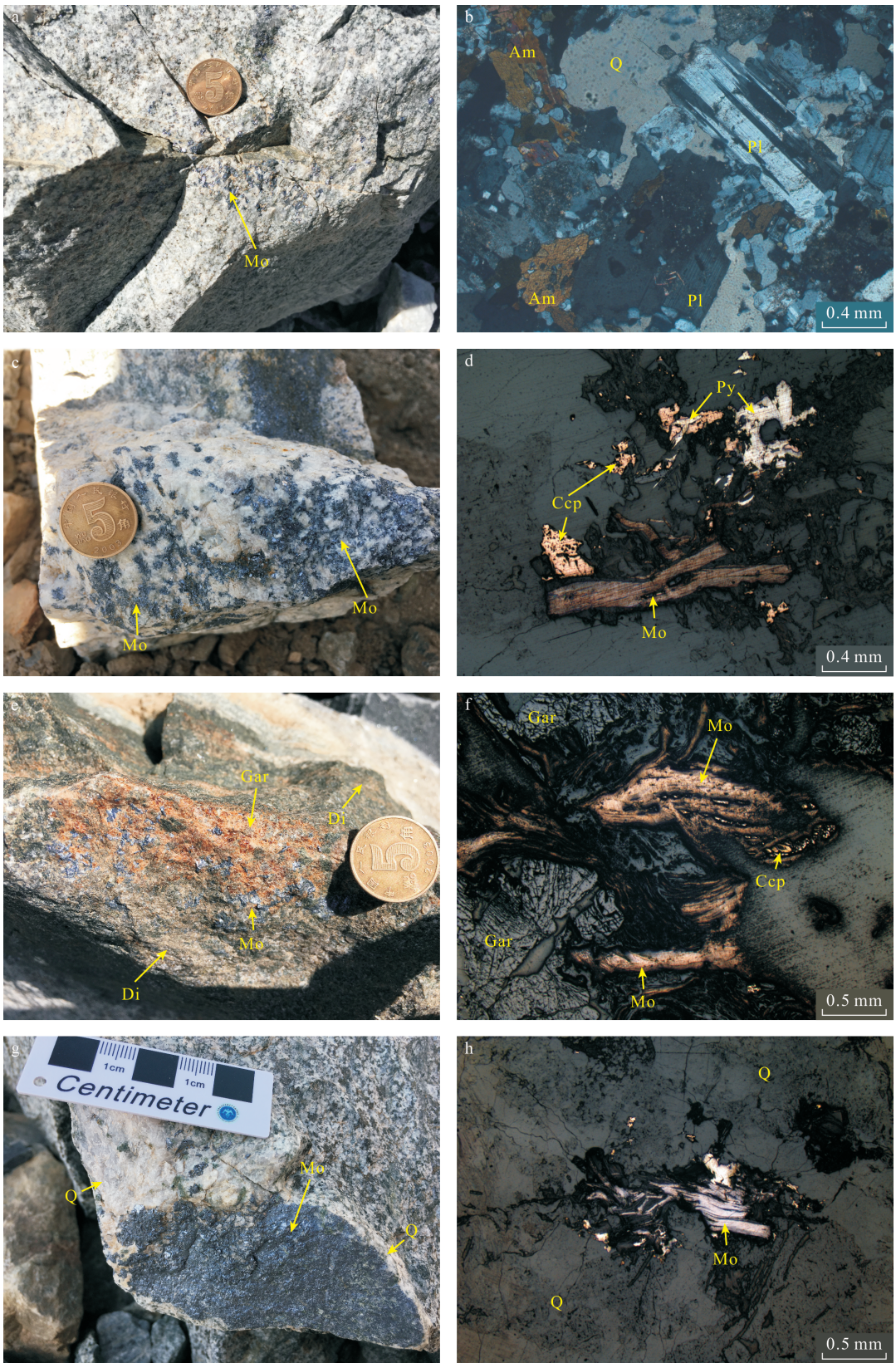
帘石化、绿泥石化、云英岩化和硅化等。岩体与碳酸盐岩接触带主要为砂卡岩化、萤石化、硅化、碳酸盐化,具有明显分带性。

2 实验部分

2.1 样品特征及处理

5件辉钼矿样品采集于小白石头钨(钼)矿区5矿段(图1)。为保证实验精度,采集了不同产状的

样品。其中,3件辉钼矿样品为辉钼矿化花岗闪长岩(XBST16-142、XBS616-144、XBS616-145,图2b和c);1件为含辉钼矿石榴石砂卡岩(XBS616-146,图2d和f);1件为花岗闪长岩中的含辉钼矿英脉(XBS616-148,图2g和h)。样品的分选工作在河北省区域地质矿产调查研究所完成。在无污染环境下,将样品粉碎至60~80目,经淘洗、磁选和双目镜分选,使样品纯度达99%以上。然后用玛瑙钵



a—花岗闪长岩的块状构造; b—花岗闪长岩的花岗结构; c—花岗闪长岩中的浸染状辉钼矿; d—花岗闪长岩中的自形辉钼矿; e—石榴石砂卡岩中团块状辉钼矿; f—石榴石砂卡岩中的半自形辉钼矿; g—花岗闪长岩裂隙中的石英脉型辉钼矿; h—石英脉中的半自形辉钼矿。

Mo—辉钼矿; Q—石英; Hbl—角闪石; Pl—斜长石; Py—黄铁矿; Ccp—黄铜矿; Gar—石榴石; Di—透辉石。

图 2 小白石头钨(钼)矿花岗闪长岩和辉钼矿特征

Fig. 2 Characteristics of granodiorite and molybdenite in the Xiaobasititou W-(Mo) deposit

研磨至200目,保证用于Re-Os同位素测试分析的辉钼矿质纯,无污染。

2.2 辉钼矿^{Re-Os}同位素分析测试方法

辉钼矿Re-Os同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心Re-Os同位素年代学实验室完成,测定仪器为美国ThermoFisher公司的TAJ X-series电感耦合等离子体质谱仪。化学分离、ICP-MS测定和数据处理遵照Re-Os同位素测试的实验流程与标准执行^[31-34],主要测试分析流程如下。

(1)样品分解:准确称取适量(200mg)辉钼矿样品,通过长细颈漏斗加入Carius管底部(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)。缓慢加入液氮至有半杯乙醇的保温杯中,使其成黏稠状,调节温度为-50℃至-80℃。将已经装好样品的Carius管置于该保温杯中,用纯浓盐酸通过长细颈漏斗准确称取¹⁸⁵Re和¹⁹⁰Os混合稀释剂转入Carius管底部。再依次加入5mL 10mol/L硝酸和30% H₂O₂。

当Carius管底的溶液冰冻后,用丙烷和氧气火焰高温加热Carius管的细颈部分,使之密封。擦净表面残留的乙醇后,将其放入两端有带孔螺旋帽的不锈钢套管中。将不锈钢套管轻轻放入鼓风机中,等待回升至室温后,再逐渐升温至200℃,保温24h。取出,在底部冷却的情况下打开Carius管,用40mL水将管中溶液转入蒸馏瓶中。

(2)蒸馏分离铼:把装有5mL超纯水的25mL比色管放入冰水中,准备吸收蒸馏出的OsO₄。连接蒸馏装置,在105~110℃条件下蒸馏50min。所得OsO₄溶液可直接用于ICP-MS测定其Os同位素比值。将蒸馏残液转入150mL聚四氟乙烯烧杯中等待分离铼。

(3)萃取分离铼:将第一次蒸馏残留液置于电热板上,加热烘干。为了降低酸度,在接近烘干时加水重复两次。加入5~6mol/L氢氧化钠溶液10mL,

略微加热,使样品转为碱性介质。将样品转入聚四氟乙烯离心管中,加入4~10mL丙酮,振荡5min萃取铼。离心后,用滴管取上层清液转入已经加入2mL水的聚四氟乙烯烧杯中。在电热板上加热至50℃以蒸发丙酮,后加热溶液到120℃至干。加入数滴浓硝酸和30% H₂O₂,加热蒸干以去除残留的Os。加入数滴稀硝酸溶解残渣,稀释到硝酸浓度为2%,用ICP-MS测定Re同位素比值。

(4)质谱测定:Re和Os的测定,均使用TAJ X-series电感耦合等离子体质谱仪测定同位素比值。对于铼,选择质量数为185和187,使用190监测铱;对于钨,选择质量数为186、187、188、189、190和192,使用185监测铼。

3 结果与讨论

3.1 Re-Os同位素测试结果

小白石头钨(钼)矿区5件辉钼矿样品的Re-Os同位素测试结果列于表1。本次测定的辉钼矿中的普Os含量很低,接近于零,表明辉钼矿形成时几乎不含¹⁸⁷Os,其中的¹⁸⁷Os由¹⁸⁷Re衰变形成,说明所获得的模式年龄能够准确反映矿化年龄。¹⁸⁷Re含量为4454~12775ng/g,¹⁸⁷Os含量为18.21~52.36ng/g,两者变化协调一致。5件样品的Re-Os模式年龄十分接近,变化于244.0±4.1~245.6±3.9Ma之间,辉钼矿Re-Os加权平均模式年龄为245.0±1.7Ma,MSWD=0.101(图3a)。五个点采用ISOPLOT程序^[35]进行等时线拟合,得到了辉钼矿Re-Os等时线年龄为245.5±4.3Ma,MSWD=0.19(图3b)。

3.2 成矿时代及其地质意义

3.2.1 小白石头钨(钼)矿成矿时代

本次研究用于Re-Os同位素测年的辉钼矿处于封闭体系,其形成年龄可代表辉钼矿形成年龄,即

表1 小白石头钨(钼)矿床辉钼矿Re-Os同位素组成

Table 1 Re-Os isotopic data of molybdenite in the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit

样品编号	样品质量 (mg)	Re含量(ng/g)		普Os含量(ng/g)		¹⁸⁷ Re含量(ng/g)		¹⁸⁷ Os含量(ng/g)		模式年龄(Ma)	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
XBST16-142	30.51	11297	87	0.02870	0.00030	7100	55	29.03	0.22	244.9	3.6
XBST16-144	30.10	11222	124	0.01770	0.00030	7054	78	28.73	0.22	244.0	4.1
XBST16-145	10.42	7087	48	0.07453	0.00137	4454	30	18.21	0.12	244.8	3.4
XBST16-146	50.42	12012	122	0.00038	0.00876	7550	77	30.96	0.22	245.6	3.9
XBST16-148	50.19	20326	258	0.00756	0.00883	12775	162	52.36	0.40	245.5	4.4

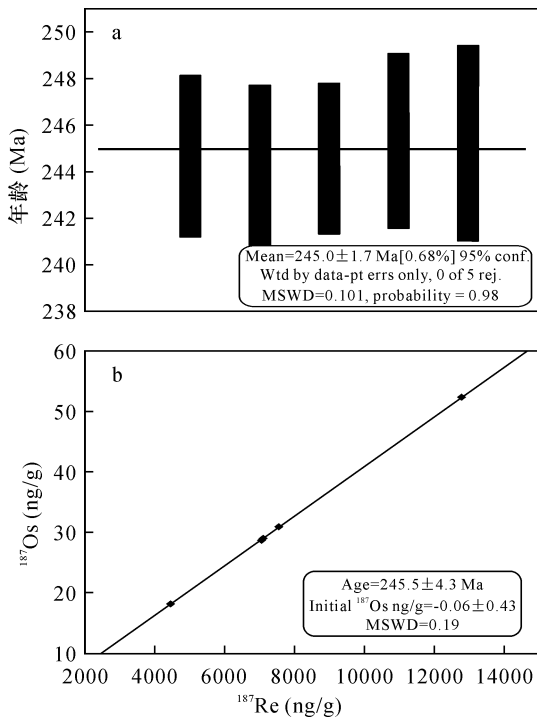


图 3 小白石头钨(钼)矿辉钼矿 Re-Os 同位素加权平均年龄(a)和等时线年龄(b)

Fig. 3 Re-Os isotope (a) weighted average age and (b) isochrone age of molybdenites from the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit

5 矿段辉钼矿形成于 245Ma 左右,与黑云母花岗岩有关矿化的辉钼矿加权平均年龄 (244.9 ± 4.2 Ma)^[20]一致,表明与黑云母花岗岩有关的矿化和与花岗闪长岩有关的矿化,为同一成矿事件的产物。本次获得的辉钼矿年龄也限定了与成矿密切相关的花岗闪长岩侵位年龄为 245Ma 左右。该年龄数据略早于矿区黑云母花岗岩年龄(锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄 246.4 ± 1.7 Ma, MSWD = 1.3; 未发表数据),且与 Deng 等^[20]数据(黑云母花岗岩年龄为 242 ± 1.7 Ma, 钼矿化花岗岩年龄为 240.5 ± 2.1 Ma)十分相近,表明黑云母花岗岩和花岗闪长岩为同一岩浆侵入事件形成的不同侵入体。本次研究结合 Deng 等所测数据,限定小白石头钨(钼)矿床的形成年龄在 245Ma 左右,成矿时代为早三叠世。

3.2.2 东天山三叠纪区域成矿事件

前人大量研究认为新疆东天山地区成矿作用主要发生在晚古生代,且主要与石炭纪到二叠纪的岩浆侵入活动密切相关,形成了一系列与之相关的岩浆岩型铜镍矿、造山型金矿和斑岩型铜矿。尽管东天山造山带从晚古生代至中生代构造演化复杂,成

矿时代存在一定争议,但大多数学者认同东天山造山带在二叠纪属于碰撞后构造环境^[36-38]。研究表明,进入三叠纪后,东天山地区岩石圈开始伸展并伴随着幔源岩浆底侵^[20,23]。尤其是在中-晚三叠世,岩石圈进一步拆沉、伸展和减薄,幔源岩浆底侵下地壳形成壳幔混合花岗岩^[22,39]。这些岩浆将富集在下地壳中的钨、钼元素初步富集,并沿着先期形成的构造薄弱带上升到成矿有利部分富集成矿。

近年来,在东天山和北山发现了多个三叠纪岩体及相关的钨、钼矿床(图 4),包括矽卡岩型钨矿(沙东大型钨矿、小白石头中型钨(钼)矿、绿洲泉小型钨矿、姜山小型钨矿、望家山小型钨矿、黄碱滩小型钨钼矿等)和斑岩型钼矿(东戈壁超大型钼矿、白山大型钼矿)。其中,矽卡岩钨矿形成于 239 ~ 245Ma,斑岩钼矿形成于 233 ~ 246Ma(图 4)。东天山这些矿床构成了一条东西长超过 100km 的东天山三叠纪钨钼成矿带,该带延伸到甘肃北山,如红尖兵山中型钨矿(云英岩中白云母 Ar-Ar 坪年龄为 217Ma^[47])、玉山钨矿(矿石中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 250Ma^[48])、小狐狸山中型钼矿(辉钼矿 Re-Os 年龄为 213 ~ 220Ma^[49])、花黑滩中型钼矿(辉钼矿 Re-Os 年龄为 225Ma^[50])等。这条三叠纪钨钼成矿带再向东可以延伸到蒙古境内。综上所述,在新疆东天山-甘肃北山存在一条三叠纪钨钼矿带,其中目前已发现 12 个钨、钼矿床,另存在多个疑似三叠纪矿床,该矿带具有较大找矿潜力。

4 结论

研究表明,小白石头为矽卡岩型钨(钼)矿床,其成矿与矿区花岗闪长岩和黑云母花岗岩的侵位密切相关。本次获得辉钼矿 Re-Os 加权平均模式年龄和等时线年龄分别为 245.0 ± 1.7 Ma 和 245.5 ± 4.3 Ma,确定与花岗闪长岩有关的辉钼矿形成于 245Ma,与前人获得的与黑云母花岗岩有关辉钼矿年龄一致。确定了小白石头矿区与黑云母花岗岩有关的矿化和与花岗闪长岩有关的矿化为同一期成矿事件,限定小白石头钨(钼)矿形成于早三叠世。

本研究获得准确的小白石头辉钼矿 Re-Os 定年数据,不仅对小白石头钨(钼)矿构建矿床模型有重要意义,而且为找矿方向的确认提供了重要依据,同时也为东天山三叠纪成矿规律的总结提供了有利的证据,进一步指出了新疆东天山-甘肃北山地区存在着一一条找矿潜力巨大的三叠纪钨钼成矿带。

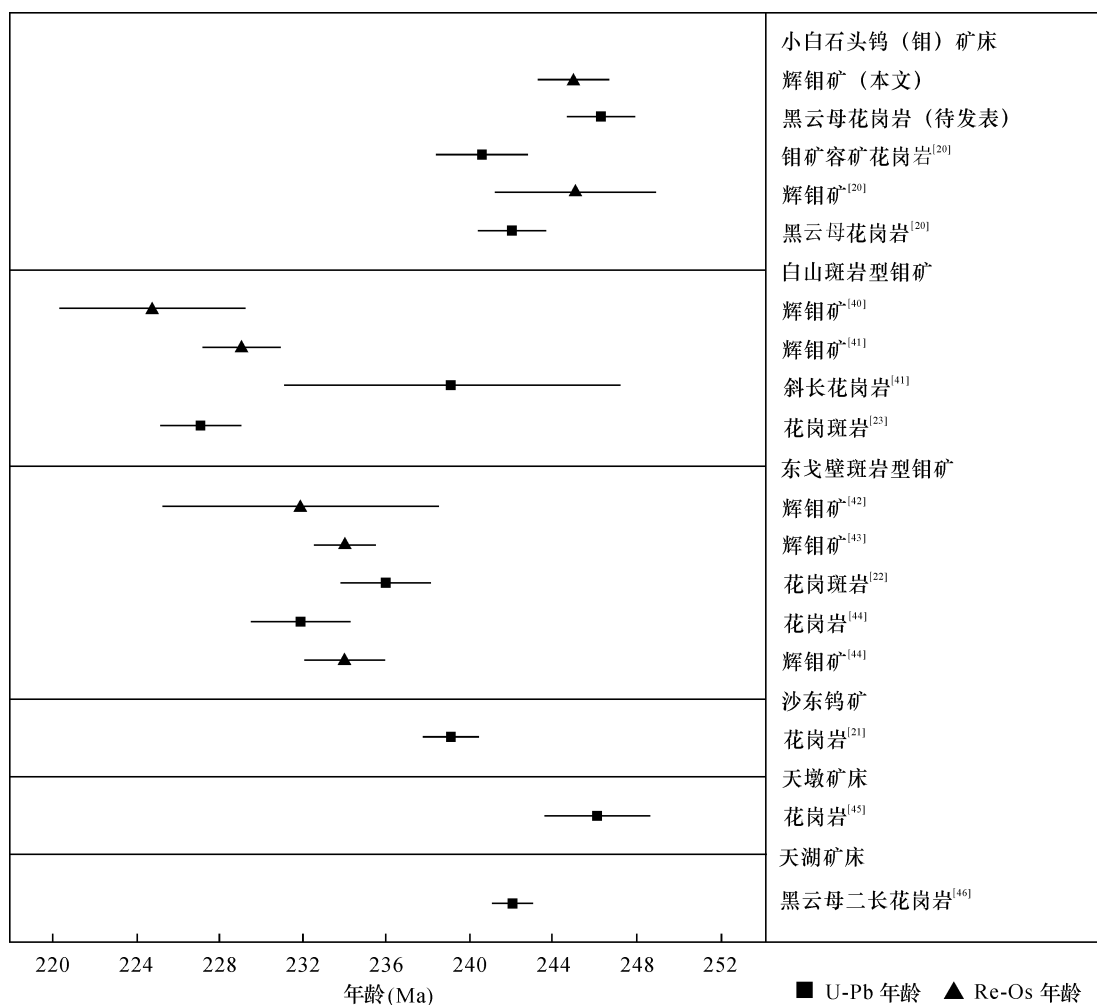


图4 东天山三叠纪主要矿床年代学数据

Fig.4 Summary of geochronology for the Triassic major deposits in East Tianshan

致谢: 感谢新疆维吾尔自治区矿产实验研究所杨俊杰实验员在野外工作中提供了巨大帮助;感谢评审专家提出了宝贵的修改意见。

5 参考文献

[1] 杨富全,秦纪华,刘锋,等. 新疆准噶尔北缘玉勒肯哈腊苏铜(钼)矿区韧性剪切变形时代——来自白云母和黑云母 Ar - Ar 年龄的约束[J]. 大地构造与成矿学,2013,37(1):1-10.
Yang F Q, Qin J H, Liu F, et al. Ar-Ar dating of the ductile shear zones in the Yulekenhalasu Cu-(Mo) ore deposit [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(1): 1-10.

[2] Yang F Q, Liu F, Li Q, et al. *In situ* LA-MC-ICP-MS U-Pb geochronology of igneous rocks in the Ashele Basin, Altay orogenic belt, Northwest China: Constraints on the timing of polymetallic copper mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79: 477-496.

[3] 朱乔乔,谢桂青,蒋宗胜,等. 湖北金山店大型矽卡岩

型铁矿热液榴石特征和原位微区 LA - ICP - MS U - Pb 定年[J]. 岩石学报, 2014, 30(5): 1322-1338.
Zhu Q Q, Xie G Q, Jiang Z S, et al. Characteristics and *in situ* U-Pb dating of hydrothermal titanite by LA-ICP-MS of the Jingshandian iron skarn deposit, Hubei Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(5): 1322-1338.

[4] 洪为,张作衡,李华芹,等. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床成矿时代——来自石榴石 Sm - Nd 等时线年龄的信息[J]. 矿床地质, 2012, 31(5): 1067-1074.
Hong W, Zhang Z H, Li H Q, et al. Metallogenic epoch of Chaganuoer iron deposit in Western Tianshan Mountains, Xinjiang: Information from garnet Sm-Nd isochron age [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(5): 1067-1074.

[5] Liu L J, Zhou T F, Zhang D Y, et al. S isotopic geochemistry, zircon and cassiterite U-Pb geochronology of the Haobugao Sn polymetallic deposit, Southern Great

- Xing'an Range, NE China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 93: 168 - 180.
- [6] Zhou Q F, Qin K Z, Tang D M, et al. LA-ICP-MS U-Pb zircon, columbite-tantalite and ^{40}Ar - ^{39}Ar muscovite age constraints for the rare-element pegmatite dykes in the Altai orogenic belt, NW China [J]. *Geological Magazine*, 2018, 155(3): 707 - 728.
- [7] 曹汇, 丛源, 李广旭, 等. 石榴石 Lu-Hf、原位独居石 U-Pb 定年对多期变形的时代制约——以北祁连托勒牧场为例 [J]. *岩石学报*, 2015, 31(12): 3755 - 3768.
Cao H, Cong Y, Li G X, et al. Constrain multistage deformation using garnet Lu-Hf and monazite U-Pb dating: A case study of Tuolemuchang, North Qilian [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(12): 3755 - 3768.
- [8] 江思宏, 聂凤军, 赵省民. 铼-钨同位素体系介绍及其在矿床学研究中的应用 [J]. *内蒙古地质*, 2000(2): 47 - 52.
Jiang S H, Nie F J, Zhao X M. An introduction to Re-Os isotopic system and its application to ore study [J]. *Geology of Inner Mongolia*, 2000(2): 47 - 52.
- [9] Selby D, Creaser R A. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68: 3897 - 3908.
- [10] Pan X F, Hou Z Q, Li Y, et al. Dating the giant Zhuxi W-Cu deposit (Taqian-Fuchun Ore Belt) in South China using molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar system [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 86: 719 - 733.
- [11] Han C M, Xiao W J, Su B X, et al. Geology, Re-Os and U-Pb geochronology and sulfur isotope of the Donggebi porphyry Mo deposit, Xinjiang, NW China, Central Asian Orogenic Belt [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.05.001>.
- [12] Guo W, Zeng Q, Zhang B, et al. Genesis of the Jurassic Dongfengbeishan porphyry Mo deposit in Eastern Yanbian, NE China inferred from molybdenite Re-Os and zircon U-Pb ages, and whole-rock elemental and zircon Hf isotopic compositions [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.12.035>.
- [13] 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题 [J]. *岩石学报*, 2009, 25(11): 2695 - 2726.
Chen Y J, Zhai M G, Jiang S Y. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(11): 2695 - 2726.
- [14] 肖文交, 舒良树, 高俊, 等. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用 [J]. *新疆地质*, 2008, 26(1): 4 - 8.
Xiao W J, Shu L S, Gao J, et al. Continental dynamics of the Central Asian orogenic belt and its metallogeny [J]. *Xinjiang Geology*, 2008, 26(1): 4 - 8.
- [15] Chen Y J, Pirajno F, Wu G, et al. Epithermal deposits in North Xinjiang, NW China [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2012, 101(4): 889 - 917.
- [16] Xiao W J, Windley B F, Allen M B, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage [J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1316 - 1341.
- [17] 秦克章, 丁奎首, 许英霞, 等. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究 [J]. *矿床地质*, 2007, 26(1): 1 - 14.
Qin K Z, Ding K S, Xu Y X, et al. Ore potential of protoliths and modes of Co-Ni occurrence in Tulargen and Baishiquan Cu-Ni-Co deposits, East Tianshan, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(1): 1 - 14.
- [18] Gao J F, Zhou M F, Qi L, et al. Chalcophile elemental compositions and origin of the Tuwu porphyry Cu deposit, NW China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 66: 403 - 421.
- [19] Shen P, Pan H D, Dong L H. Yandong porphyry Cu deposit, Xinjiang, China—Geology, geochemistry and SIMS U-Pb zircon geochronology of host porphyries and associated alteration and mineralization [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 80: 197 - 217.
- [20] Deng X H, Chen Y J, Santosh M, et al. U-Pb zircon, Re-Os molybdenite geochronology and Rb-Sr geochemistry from the Xiaobaishitou W(-Mo) deposit: Implications for Triassic tectonic setting in Eastern Tianshan, NW China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 80: 332 - 351.
- [21] Chen C, Lü X B, Wu C M, et al. Origin and geodynamic implications of concealed granite in Shadong Tungsten deposit, Xinjiang, China: Zircon U-Pb chronology, geochemistry, and Sr-Nd-Hf isotope constraint [J]. *Journal of Earth Science*, 2018, 29: 114 - 129.
- [22] Wu Y S, Zhou K F, Li N, et al. Zircon U-Pb dating and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes of the ore-associated porphyry at the giant Donggebi Mo deposit, Eastern Tianshan, NW China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 81: 794 - 807.
- [23] Wang Y H, Xu C J, Liu J J, et al. Geological, geochronological, geochemical, and Sr-Nd-O-Hf isotopic constraints on origins of intrusions associated with the Baishan porphyry Mo deposit in Eastern Tianshan, NW China [J]. *Mineralium Deposita*, 2016, 51: 953 - 969.

- [24] 陈岳龙,王中刚.新疆东天山花岗岩类的地球化学特征[J].地球化学,1993(3):288-302.
Chen Y L, Wang Z G. Geochemical characteristics of East Tianshan granitoid rocks, Xinjiang, China [J]. Geochimica, 1993(3):288-302.
- [25] 李华芹,陈富文.中国新疆区域成矿作用年代学[M].北京,地质出版社,2004:156-158.
Li H Q, Chen F W. Isotopic Geochronology of Regional Mineralization in Xinjiang, NW China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:156-158.
- [26] 李鹏,吕新彪,陈超,等.新疆东天山小白石头黑云母花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J].地质与勘探,2011,47(4):543-554.
Li P, Lü X B, Chen C, et al. Geochronology and geochemical characteristics of the biotite-granite in the Xiaobaishitou tungsten deposit, East Tianshan Mountains of Xinjiang and their geological implications [J]. Geology and Exploration, 2011, 47(4):543-554.
- [27] Qin K Z, Su B X, Sakyi P A, et al. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu bearing mafic-ultramafic intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): Constraints on a ca. 280Ma mantle plume [J]. American Journal of Science, 2011, 311(3):237-260.
- [28] Wang Z H, Shu S, Li J, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constrains from the ophiolites [J]. Tectonics, 2003, 22(2):1024.
- [29] 王京彬,王玉往,何志军.东天山大地构造演化的成矿示踪[J].中国地质,2006,33(3):461-469.
Wang J B, Wang Y W, He Z J. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China [J]. Geology in China, 2006, 33(3):461-469.
- [30] Tang D M, Qin K Z, Sun H, et al. The role of crustal contamination in the formation of Ni-Cu sulfide deposits in Eastern Tianshan, Xinjiang, Northwest China: Evidence from trace element geochemistry, Re-Os, Sr-Nd, zircon Hf-O, and sulfur isotopes [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49:145-160.
- [31] 李晶,孙亚莉,何克,等.辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法的改进与应用[J].岩石学报,2010,26(2):642-648.
Li J, Sun Y L, He K, et al. The improve molybdenite Re-Os dating method and its application [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(2):642-648.
- [32] 杜安道,屈文俊,李超,等.铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展[J].岩矿测试,2009,28(3):288-304.
Du A D, Qu W J, Li C, et al. A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(3):288-304.
- [33] 黄小文,漆亮,高剑峰,等.关于硫化物 Re-Os 同位素定年的一些思考[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(3):432-440.
Huang X W, Qi L, Gao J F, et al. Some thoughts on sulfide Re-Os isotope dating [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016, 35(3):432-440.
- [34] 李杰,张晶,尹露.地质样品的 Re-Os 同位素分析及存在的问题[J].矿物岩石地球化学通报,2018,37(2):242-249.
Li J, Zhang J, Yin L. Advances and problems of Re-Os isotope analysis of geological samples [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2018, 37(2):242-249.
- [35] Ludwig K R. Squid 1.02: A User's Manual [M]. Berkeley Geochronology Centre, 2001:1-219.
- [36] Dong Y P, Zhang G W, Neubauer F, et al. Syn- and post-collisional granitoids in the Central Tianshan orogen: Geochemistry, geochronology and implications for tectonic evolution [J]. Gondwana Research, 2011, 20:568-581.
- [37] Zhang L C, Qin K Z, Xiao W J, et al. Multiple mineralization events in the Eastern Tianshan district, NW China: Isotopic geochronology and geological significance [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(2-4):236-246.
- [38] 李建忠,吴晓智,齐雪峰,等.新疆北部地区上古生界火山岩分布及其构造环境[J].岩石学报,2010,26(1):195-206.
Li J Z, Wu X Z, Qi X F, et al. Distribution and tectonic setting of Upper Paleozoic volcanic rock in the North Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1):195-206.
- [39] 朱江,吕新彪,陈超,等.东天山东段—北山地区三叠纪钼矿床地质特征、时空分布及含矿花岗岩成岩—成矿构造背景[J].新疆地质,2013(1):21-28.
Zhu J, Lü X B, Chen C, et al. Geological characteristics, spatial and temporal distribution of the Triassic molybdenum deposit in the Eastern Tianshan—Beishan area and the diagenetic-metallogenic tectonic setting of the ore-bearing granite [J]. Xinjiang Geology, 2013(1):21-28.
- [40] Zhang Z Z, Gu L X, Wu C Z, et al. Zircon SHRIMP

- dating for the Weiya pluton, Eastern Tianshan: Its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 79: 481-490.
- [41] Li H Q, Chen F W, Lu Y F, et al. New chronological evidence for Indosinian diagenetic mineralization in Eastern Xinjiang, NW China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2005, 79(2): 264-275.
- [42] 吴艳爽, 项楠, 汤好书, 等. 东天山东戈壁钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及印支期成矿事件 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(1): 121-130.
- Wu Y S, Xiang N, Tang H S, et al. Molybdenite Re-Os isotope age of the Donggebi Mo deposit and the Indosinian metallogenic event in Eastern Tianshan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(1): 121-130.
- [43] Han C M, Xiao W J, Zhao G C, et al. Re-Os Geochronology on molybdenites from the Donggebi Mo deposit in the Eastern Tianshan of the Central Asia orogenic belt and its geological significance [J]. *Resource Geology*, 2014, 64(2): 136-148.
- [44] Sun H S, Li H, Danišik M, et al. U-Pb and Re-Os geochronology and geochemistry of the Donggebi Mo deposit, Eastern Tianshan, NW China: Insights into mineralization and tectonic setting [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 86: 584-599.
- [45] 周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及其成矿作用研究 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 478-502.
- Zhou T F, Yuan F, Zhang D Y, et al. Geochronology, tectonic setting and mineralization of granitoids in Jueluotage area, Eastern Tianshan, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(2): 478-502.
- [46] 赵宏刚, 苏锐, 梁积伟, 等. 中天山东段天湖花岗岩岩石学、地球化学及其成因 [J]. *地质学报*, 2017, 91(6): 1208-1226.
- Zhao H G, Su R, Liang J W, et al. Petrology, geochemical characteristics and genesis of the Tianhu pluton in the east section of the Middle Tianshan mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(6): 1208-1226.
- [47] 江思宏, 聂凤军. 甘肃北山红尖兵山钨矿床的⁴⁰Ar-³⁹Ar同位素年代学研究 [J]. *矿床地质*, 2006, 25(1): 89-94.
- Jiang S H, Nie F J. ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan Mountain, Gansu Province, China [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(1): 89-94.
- [48] 张新虎, 苏犁, 崔学军, 等. 甘肃北山造山带玉山钨矿成岩成矿时代及成矿机制 [J]. *科学通报*, 2008, 53(9): 1077-1084.
- Zhang X H, Su L, Cui X J, et al. Mineralization time and metallogenic mechanism of the Yushan tungsten deposit of the Beishan orogenic belt, Gansu Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(9): 1077-1084.
- [49] 张雨莲, 许荣科, 陕亮, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *地质通报*, 2012, 31(2-3): 469-475.
- Zhang Y L, Xu R K, Shan L, et al. Rock-forming and ore-forming ages of the Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2-3): 469-475.
- [50] Zhu J, Lü X B, Chen C, et al. U-Pb and Re-Os ages of the Huaheitan Mo deposit in Northwest China [J]. *Resource Geology*, 2013, 63(3): 330-336.

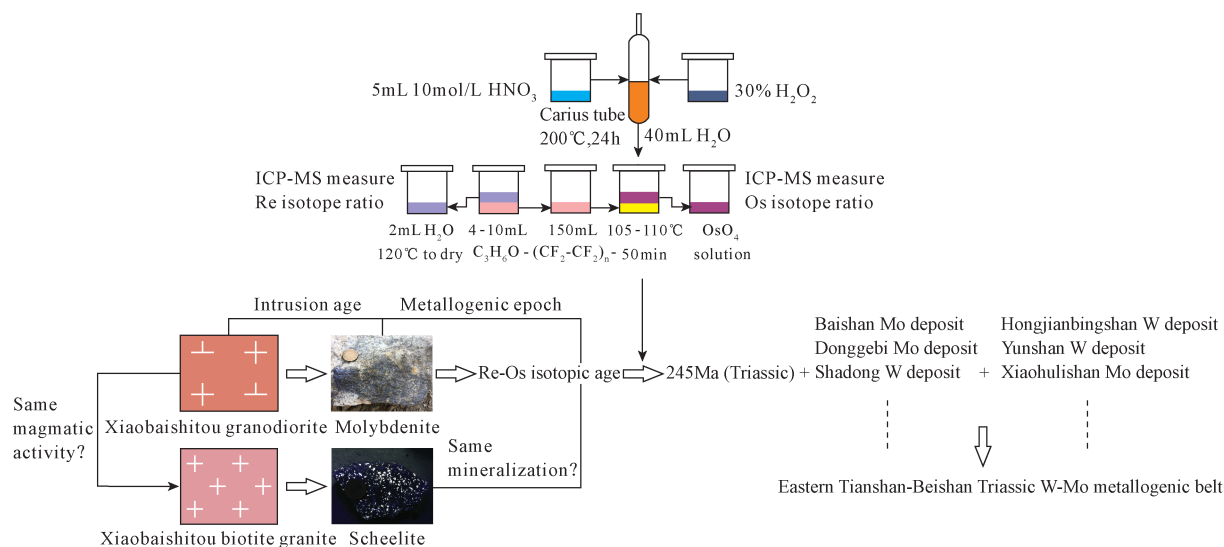
Re-Os Isotopic Age of Molybdenite from the Xiaobaishi W-(Mo) Deposit, Eastern Tianshan, Xinjiang and Its Geological Implication

LI Ning¹, YANG Fu-quan^{1*}, LI Chao², ZHANG Zhi-xin³, YANG Cheng-dong¹

1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences; Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of National Resources, Beijing 100037, China;
2. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China;
3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences; Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Urumqi 830011, China)

HIGHLIGHTS

- (1) Accurate molybdenite Re-Os isotope age revealed that the mineralization time of the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit is about 245Ma.
- (2) It was determined that the biotite granite and granodiorite of the Xiaobaishitou deposit were derived from the same magmatic activity, and their mineralization was formed at the same time.
- (3) Indications are that there is a Triassic tungsten-molybdenum metallogenic belt in the Eastern Tianshan and Beishan area.



ABSTRACT

BACKGROUND: The Xiaobaishitou W-(Mo) deposit is located in the Central Tianshan Massif of the Eastern Tianshan, Northwestern China. The deposit is a skarn-type tungsten-molybdenum deposit formed by biotite granite and granodiorite intruding into the Mesoproterozoic Kawabulag Group. As one of the most important ore minerals, molybdenite is distributed in granodiorite, biotite granite, skarn and quartz veins.

OBJECTIVES: To use molybdenite in order to constrain the mineralization age of the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit by Re-Os dating.

METHODS: Different molybdenite grains associated with the granodiorite from the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit were selected for Re-Os isotopic dating. The results were compared with the Xiaobaishitou biotite granite age and the chronological data of other Triassic tungsten-molybdenum deposits in the Eastern Tianshan.

RESULTS: The molybdenite Re-Os weighted average model age and Re-Os isochron age are 245.0 ± 1.7 Ma and 245.5 ± 4.3 Ma, respectively.

CONCLUSIONS: The dating results indicate that the molybdenite age for mineralization and the emplacement age of the granodiorite are around 245Ma, which is similar to the age of the Xiaobaishitou biotite granite. It provides a key basis for the establishment of an ore deposit model and the determination of the direction for ore prospecting. It also provides important chronological evidence for the ore-forming laws in the eastern Tianshan, and points out that there is a great prospecting potential for a Triassic tungsten and molybdenum metallogenic belt in the eastern Tianshan-Beishan of Gansu.

KEY WORDS: East Tianshan; Xiaobaishitou W-(Mo) deposit; molybdenite; Re-Os isotopic age; granodiorite; Triassic