

文章编号 10258-7106 (2006) 01-0089-06

甘肃北山红尖兵山钨矿床的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学研究*

江思宏, 聂凤军

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 10037)

摘 要 文章对红尖兵山钨矿云英岩中的白云母进行了 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学研究, 获得的坪年龄为 $(216.6 \pm 1.6) \text{ Ma}$ (2σ), 等时线年龄为 $(215.2 \pm 2.8) \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 0.47$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 333 ± 47 。等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致, 可认为该结果近似代表了黑钨矿的形成时代, 即红尖兵山的黑钨矿形成于印支期。

关键词 地球化学; 白云母; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄; 印支期; 红尖兵山; 甘肃北山

中图分类号: P618.67; P597+.3

文献标识码: A

^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan Mountain, Gansu Province, China

JIANG SiHong and NIE FengJun

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in the western part of Hongshishan-Heiyingshan terrane within Kazakhstan plate, the Hongjianbingshan deposit is one of the most important tungsten deposits in northwest China. Tungsten mineralization occurs mainly within Early Carboniferous rhyolite tuff and rhyodacite of Baishan Formation as topaz-quartz veins, and partly in monzogranite stocks as massive greisen blocks and stratoid layers. In order to obtain the ore-forming age, the authors measured the muscovite separated from the greisen in the Hongjianbingshan tungsten deposit by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating method, and the results yield a ^{40}Ar - ^{39}Ar plateau age of $(216.6 \pm 1.6) \text{ Ma}$, an isochron age of $(215.2 \pm 2.8) \text{ Ma}$ with MSWD being 0.47, and an initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ value of 333 ± 47 . As muscovite in greisen and that in wolframite were formed almost simultaneously, the ^{40}Ar - ^{39}Ar dating result of the muscovite can represent the precipitation age of the wolframite or the ore-forming age of the Hongjianbingshan tungsten deposit. It is shown that the ore-forming process of the Hongjianbingshan tungsten deposit was controlled by Indosinian magmatism. The authors believe that the dating data are of great significance in the study of the regional geological evolution, the investigation of the metallogeny of the metallic deposits and the exploration of the concealed tungsten deposits in the Beishan Mountain, Gansu Province.

Key words: geochemistry, muscovite, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age, Indosinian, Hongjianbingshan, Beishan Mountain, Gansu

本文得到国家自然科学基金项目(编号 40073015)、国家地质调查项目(编号 200310200001-01)和科技攻关项目(2001BA609A-03)的联合资助

第一作者简介 江思宏, 男, 1968 年生, 副研究员, 从事贵重和有色金属矿床地球化学研究。E-mail: jiangsihong1@163.com

收稿日期 2005-05-17; 改回日期 2005-08-12。

红尖兵山钨矿床是位于甘肃省和新疆维吾尔自治区交界处靠近甘肃省一侧的一处中型钨矿床。在大地构造位置上,该矿床处于哈萨克斯坦板块北缘红石山-黑鹰山地体西段南侧。矿体主要赋存在石炭系流纹质凝灰岩、流纹英安岩和二长花岗岩中。聂凤军等(2004a)曾对该矿床的地质特征进行了详细描述,并根据 Sm-Nd 同位素特征对成矿物质来源进行了探讨。由于缺少精确的定年,上述文章根据一些区域上的证据,认为该矿床为海西中期构造-岩浆活动的产物。由于该矿区的 8 件黑钨矿样品的数据投绘在 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 对 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图上,获得了一个同位素等时线年龄,为 $(1\,336 \pm 14)\text{Ma}$,其 MSWD 值为 8.2(聂凤军等,2004a),因此,该矿床到底形成

于海西期还是新元古代,一直存在疑问。为此,笔者挑选了与成矿关系密切的云英岩中的白云母进行高精度的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年,获得的坪年龄为 $(216.6 \pm 1.6)\text{Ma}$,说明该区的黑钨矿形成于印支期,这一认识对深入了解该区的区域地质演化历史和总结金属矿床成矿规律具有重要的意义。

1 地质概况

红尖兵山钨矿床位于哈萨克斯坦板块北部红石山-黑鹰山地体的西段南侧(甘肃省地质矿产局,1989;刘雪亚等,1995;聂凤军等,2002)(图 1)。区内出露的地层主要有第四系和石炭系下统白山组流

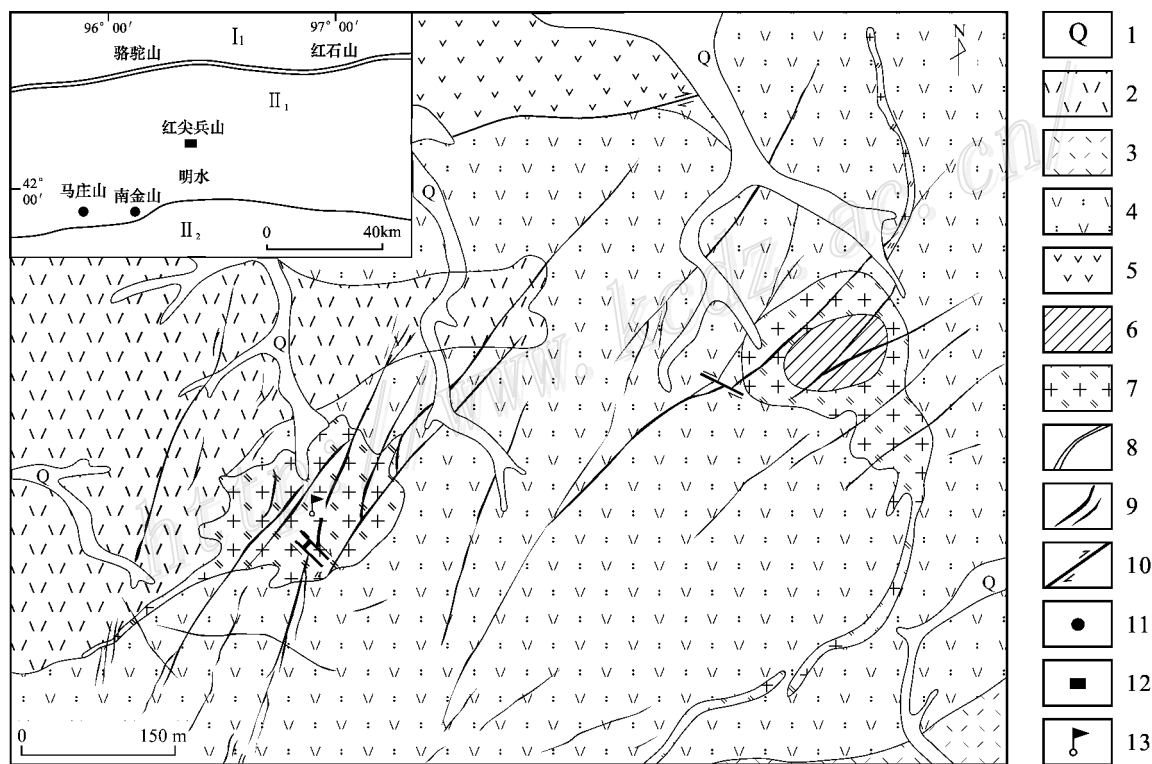


图 1 甘肃北山红尖兵山钨矿床地质简图(据聂凤军等,2004a 改编)

1—第四系冲洪积物 2—流纹英安岩 3—流纹岩 4—流纹质凝灰岩 5—安山岩 6—云英岩 7—二长花岗岩 8—古板块碰撞对接带 9—含钨黄玉-石英脉 10—断层 11—金矿床 12—钨矿床 13—采样位置。I₁—西伯利亚板块雀儿山地体;II₁—哈萨克斯坦板块红石山-黑鹰山地体;II₂—哈萨克斯坦板块公婆泉-月牙山地体

Fig. 1 Simplified geological map of Hongjianbingshan tungsten deposit, Beishan Mountain, Gansu Province (modified from Nie et al., 2004a)

1—Quaternary sediments; 2—Carboniferous rhyodacite; 3—Rhyolite; 4—Rhyolite tuff; 5—Andesite; 6—Greisen; 7—Monzogranite; 8—Collision zone between Siberia and Kazakhstan plates; 9—Tungsten-bearing topaz-quartz vein; 10—Fault; 11—Gold deposit; 12—Tungsten deposit; 13—Sampling site. I₁—Queershan terrane in Siberia plate; II₁—Hongshishan-Heiyingshan terrane in Kazakhstan-Beishan plate; II₂—Gongpoquan-Yueyashan terrane in Kazakhstan-Beishan plate

纹质凝灰岩、流纹岩、流纹英安岩和安山岩。钨矿体主要见于白山组流纹质凝灰岩和流纹英安岩中。

在矿区范围内,侵入岩主要为二长花岗岩株和长英质岩脉,前者可直接构成矿体的容矿围岩。矿区内北东向和北西向断层发育,含钨黄玉-石英脉多沿北东向断裂破碎带分布,从而构成一系列北东向产出的钨矿体。北西向断层为高角度逆冲走滑断层,属成矿期后构造,对矿体有一定的破坏作用。

迄今为止,在红尖兵山钨矿化区 0.84 km^2 范围内,先后发现和圈定了含钨黄玉-石英脉和云英岩化条带173条,其中,规模较大且具工业意义的脉体或条带有15条。钨矿化大多在二长花岗岩株的内部或沿其与围岩的外接触带产出(图1),整个钨矿化带呈近东西向展布,长 1140 m ,宽 $600\sim 800\text{ m}$,垂向延深为 $650\sim 700\text{ m}$ 。考虑到大多数含钨黄玉-石英脉环绕2个二长花岗岩株分布,因此,整个钨矿化带大体可划分为东和西2个矿脉群。东、西矿脉群中稀疏而又近于平行的含钨黄玉-石英脉(或条带)在平面上构成一不规则面状矿化带,而在横剖面上则形成一相对倾斜的扇形矿化带(徐玉麟,1983)。单个脉体的长度为 $120\sim 420\text{ m}$,平均为 219 m ,宽度为 $0.19\sim 1.32\text{ m}$,平均为 0.79 m ,倾斜延伸 $800\sim 1200\text{ m}$ 。从地表向深部,含钨细脉和线脉可逐渐过渡为含钨大脉和云英岩条带,同时,含矿脉体的宽度和含脉率也随之降低。

依据矿物组合和结构构造,可将该矿床的钨矿石划分为2种类型,即黄玉-石英脉型和云英岩型。前者的主要金属矿物有黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、白钨矿、黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿,脉石矿物有石英、黄玉、日光榴石、钾长石、钠长石、铁锂云母、白云母、绢云母、萤石和方解石。与其相比,后者的金属矿物组合较为简单,主要为黑钨矿和黄铜矿,脉石矿物组合与前者基本相同。

该矿床容矿围岩为石炭纪白山组流纹质凝灰岩、流纹英安岩和二长花岗岩(前人认为是海西期^①,现在看来,可能为印支期侵入产物,详见下文讨论),围岩蚀变主要有云英岩化、硅化、钠长石化和绢云母化,次为钾长石化、绿帘石化、高岭石化、次闪石化、角岩化和夕卡岩化,其中钠长石化和云英岩化与钨矿化具密切成因联系。

2 样品及测试方法

如前所述,矿区内的黑钨矿化与云英岩化关系十分密切。云英岩主要由石英、白云母、(铁)锂云母和少量黄玉等矿物组成,中粗粒斑状结构,云母等一般呈较大的片状产出,带状或块状构造。云英岩化通常沿含钨黄玉-石英脉两侧呈线状对称产出,由矿脉向外,云英岩化逐渐变弱,矿物粒度也逐渐变细;在局部地方的岩体顶部,云英岩化呈面状产出。总的来说,早期的高温热液沿构造(裂隙)运移,并在其两侧产生高温蚀变,稍晚,沿这些裂隙沉淀形成了含钨的黄玉-石英脉(徐玉麟,1983),因此,云英岩化与黑钨矿的形成时间比较接近,选择云英岩中的白云母作为测年对象用以近似获得黑钨矿的成矿年龄是比较合适的。而且,由于区内云英岩化十分强烈,致使不少白云母呈直径 5 cm 左右的巨片状产出,因此,也易于单矿物的挑选与提纯。本文用于 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代测量的样品采自矿区西部一黑钨矿大脉旁,具体采样位置见图1。在手标本中和镜下,均未见该样品中的白云母有明显的后期蚀变现象,因此,适宜用于 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代测定。

首先将纯的白云母(纯度大于99%)用超声波清洗。超声波清洗过程中,要注意清洗液的选择和严格控制时间。一般先用经过2次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗3次,每次 3 min 。在此过程中,矿物表面和解理缝内在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除。然后,在丙酮中清洗2次,每次 3 min 。在此过程中,矿物表面吸附的油污等有机物质被清除。

清洗后的样品被封进石英瓶内,送核反应堆接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究院的“游泳池堆”中进行的。使用H8孔道,其中子流密度约为 $6.0\times 10^{12}\text{ n cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 3064 min ,积分中子通量为 $1.10\times 10^{18}\text{ n cm}^{-2}$ 。同时接受中子照射的还有用作监控样的标准样:ZBH-25黑云母国内标样,其标准年龄为 132.7 Ma ,K含量为7.6%。

使用电子轰击炉对样品进行阶段升温加热,每一个阶段加热 30 min ,净化 30 min 。质谱分析在

① 地质部甘肃省地质局第二区域地质测量队,1969. 中华人民共和国区域地质测量报告—明水幅(1:20万)(地质部分)。(内部资料)。

MM-1200B 质谱计上进行,每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平: $m/e = 40、39、37、36$ 时,分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}$ 、 $4 \times 10^{-16} \text{ mol}$ 、 $8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。通过分析经照射的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得中子照射过程中所产生的干扰同位素的校正系数,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正, ^{40}K 衰变常数 $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 坪年龄误差以 2σ 给出。用 ISOPLOT 程序计算正、反等时线。详细实验流程请见陈文等(2002)和 Chen 等(2002)有关文献。

3 测试结果

对采自红尖兵山钨矿床云英岩中的白云母样品进行了 11 个阶段的加热分析,加热温度区间为 $600 \sim 1240^\circ\text{C}$ (表 1),所获数据构成一条未受明显热事件扰动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱线(图 2a)。尽管受核反冲和测量误差的影响,在年龄谱线左侧始点处出现了 4 个较低的视年龄值,即 $(76 \pm 10) \text{ Ma}$ 、 $(150.9 \pm 4.2) \text{ Ma}$ 、 $(205.7 \pm 4.9) \text{ Ma}$ 和 $(209.8 \pm 2.2) \text{ Ma}$ (图 2a),但其所占的比例很小,谱线的其余部分(89.6%的 ^{39}Ar (积累))非常平坦,有效谱年龄为 $(216.6 \pm 1.6) \text{ Ma}$ (2σ) (图 2a)。根据参与积分年龄的 7 个点经计

表 1 红尖兵山钨矿云英岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温加热分析数据
Table 1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating analytical data of muscovite separated from greisen in Hongjianbingshan tungsten deposit

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14} \text{ mol}$	^{39}Ar 积累/%	t/Ma
600	51.5331	0.1603	1.1756	0.1435	4.2358	3.56	0.08	76 ± 10
700	28.7378	0.0684	0.2509	0.0414	8.5484	16.43	0.45	150.9 ± 4.2
800	14.8435	0.0101	0.0508	0.0176	11.8599	92.18	2.52	205.7 ± 4.9
900	12.8818	0.0026	0.0226	0.0147	12.1089	352.35	10.43	209.8 ± 2.2
950	12.7736	0.0009	0.0081	0.0133	12.5078	838.44	29.27	216.3 ± 2.2
990	12.7987	0.0009	0.0086	0.0133	12.5367	773.33	46.64	216.8 ± 2.2
1030	13.8238	0.0041	0.0034	0.0263	12.6031	582.68	59.73	217.8 ± 2.1
1080	12.7808	0.0006	0.0089	0.0134	12.5895	565.52	72.43	217.6 ± 2.1
1130	12.8026	0.0008	0.0079	0.0184	12.5511	522.54	84.17	217.0 ± 2.1
1180	12.6794	0.0009	0.0261	0.0137	12.4153	625.20	98.22	214.8 ± 2.0
1240	13.3283	0.0030	0.3654	0.0192	12.4751	79.42	100.00	215.8 ± 2.3

注:表中下标 m 者代表样品中测定的同位素比值,样重 41.59 mg, $J = 0.010184$, $^{40}\text{Ar}^*$ 代表放射性成因 ^{40}Ar , 年龄误差为 2σ 。测试仪器:MM-1200B 质谱计;测试单位:中国地质科学院地质研究所开放研究实验室。

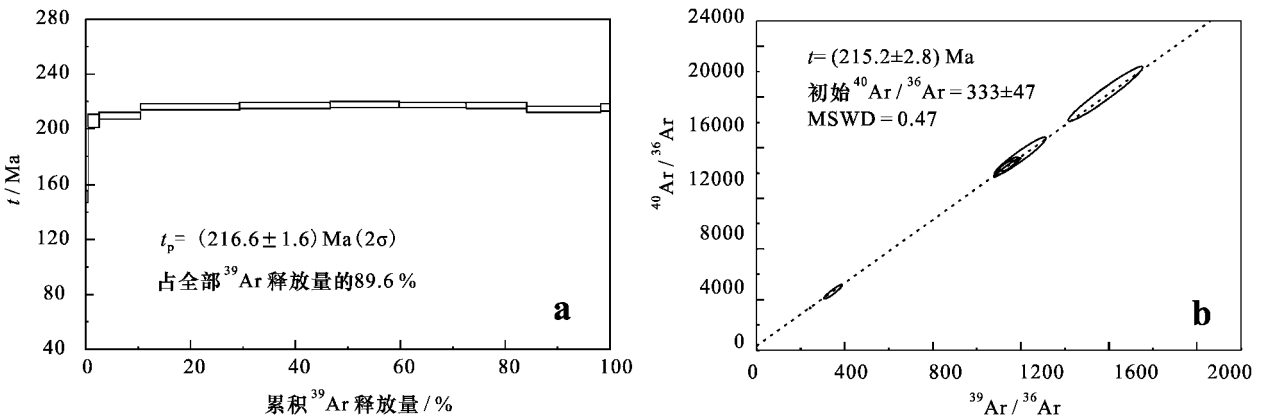


图 2 红尖兵山钨矿云英岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄谱图(a)与 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线图(b)
Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating age spectra (a) and $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ versus $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ isochron (b) of muscovite separated from greisen in Hongjianbingshan tungsten deposit

算所获等时线年龄为 $(215.2 \pm 2.8) \text{ Ma}$ (图 2b), $\text{MSWD}=0.47$, 反映出数据分布较为均匀。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 333 ± 47 , 在误差范围内接近于尼尔值 (295.5) , 表明样品中不存在过剩 Ar 。等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致, 说明该白云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定结果是可信的, 并且具有地质意义, 基本上能代表钨矿脉的形成年龄。

4 讨论与结论

由于云英岩中的白云母与黑钨矿的形成时间比较接近, 因此, 白云母的测年结果可以用来近似代表黑钨矿的形成年龄。根据上述白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果[坪年龄为 $(216.6 \pm 1.6) \text{ Ma}$], 可以推断红尖兵山钨矿床形成于印支期, 而不是早先认为的海西期(聂凤军等, 2004a), 更不是新元古代。笔者先前曾报道过, 在红尖兵山矿区南侧约 20 km 处的明水地区所发现的印支期二长花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(218.4 \pm 0.5) \text{ Ma}$ (江思宏等, 2003), 本次白云母测年结果与其几近一致, 再次证明该区不仅存在印支期的花岗岩类岩浆活动, 而且还有成矿作用发生。由于钨矿的形成与二长花岗岩具有密切的成因联系(聂凤军等, 2004a), 因此, 该成矿年龄也近似代表了该矿区内二长花岗岩的侵位年龄, 即二长花岗岩也是印支期岩浆活动的产物。将红尖兵山矿区二长花岗岩的化学分析结果(聂凤军等, 2004a)与明水地区的印支期二长花岗岩(聂凤军等, 2002)进行对比, 发现这 2 个地区的二长花岗岩的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 和 K_2O 含量非常接近, 表明其原岩成分非常近似, 很可能是同一期构造岩浆活动的产物。

根据本文获得的成矿年龄 216 Ma, 利用已有的 Sm-Nd 同位素分析结果(聂凤军等, 2004a), 重新计算了黑钨矿的 ϵ_{Nd} 值, 为 $-14.1 \sim +7.56$, 反映了成矿物质的多来源特征。多数样品的 ϵ_{Nd} 值小于 0, 这可能反映出成矿物质主要来自于古老地壳, 但少量幔源物质对成矿也具有一定的贡献。虽然在矿区内未见前寒武纪地层的露头, 但据推测该区存在前寒武纪基底。在区域上, 前寒武纪地层从新疆的卡瓦布拉克向东经过明水, 一直延伸到交叉沟地区(胡震琴等, 1986; 聂凤军等, 2004b)。至于幔源物质, 则可能与该区产有大面积的以具正 ϵ_{Nd} 值为特征的花岗岩有关。洪大卫等(2000)认为, 这些花岗岩浆的形成与以幔源物质为主的年轻洋壳的部分熔融作用

有关。聂凤军等(2004a, 2004b)认为, 大量亏损地幔源洋壳与少许陆壳物质发生部分熔融, 形成含矿熔浆, 并沿特定构造部位上侵定位, 进而形成二长花岗岩株, 通过结晶分异作用, 含矿熔浆在上侵定位过程中可产生大量含钨热液流体, 进而形成这种具正 ϵ_{Nd} 值的钨矿石。尽管钨主要来自于大陆壳, 但受其形成环境的控制, 由于北山地区地处中亚造山带的中东部, 以产有正 ϵ_{Nd} 值的花岗岩为特征(洪大卫等, 2000), 因此, 与花岗岩有关的矿产在形成过程中也就有可能带有所在地区的花岗岩的一些特征, 即部分钨矿石具正 ϵ_{Nd} 值, 因为这些花岗岩可能也提供了一部分成矿物质。具正 ϵ_{Nd} 值的样品均为云英岩型矿石, 而具负 ϵ_{Nd} 值的样品均为黄玉-石英脉型矿石, 表明这 2 类黑钨矿的成矿物质来源不同, 前一类矿石的成矿物质可能更多的来自部分熔融的洋壳, 而后一类矿石的成矿物质则主要来自古老地壳。

北山地区近年来的金矿床成矿年代学研究表明, 南金山金矿床的成矿时代为 $(242.8 \pm 0.8) \text{ Ma}$ ($^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法, 坪年龄)(江思宏等, 2005), 金窝子和拾金坡金矿床的成矿时代分别为 228 Ma 和 230 Ma (流体包裹体 Rb-Sr 等时线)(陈富文等, 1999)及 227 Ma 和 238 Ma (U-Pb 法)(周济元等, 2000), 均属印支期构造-岩浆活动的产物。本文的研究结果也再次表明, 印支期的构造-岩浆活动不仅对整个北山地区金矿床的形成产生过重要影响, 而且, 对钨矿床的形成也具有重要的控制作用。因此, 查清印支期构造-岩浆活动与钨矿形成之间的内在关系, 对深入认识该区钨矿床的成矿作用过程和指导区域找矿评价具有重要的理论和实际意义。

需要指出的是, 由于红尖兵山矿区内未见多期岩浆活动的证据, 加上用于测年的白云母样品较新鲜, 未见明显的蚀变现象, 而且, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年的谱线较为平坦, 后期的热扰动现象不明显, 因而, 由该矿区 8 件黑钨矿样品所获得的 Sm-Nd 等时线年龄 $(1336 \pm 14) \text{ Ma}$ (MSWD 值为 8.2)(聂凤军等, 2004a), 可能为一条假等时线, 其主要原因是, 矿床的赋矿围岩为石炭系白山组地层, 其最老年龄不超过 360 Ma, 因此, 可认为该年龄值不具有明确的地质意义。尽管从理论上来说, Sm-Nd 年龄由于其封闭温度高而比 Ar-Ar 法年龄更为可信, 但是, 所有年龄的解释最终还是需要与实际地质情况结合起来, 否则, 拟合的等时线年龄再好, 也将毫无地质意义。

致谢 野外工作得到了中信投资总公司南金山金矿和甘肃省肃北县马宗山镇人民政府等单位的大力协助。 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄样品的测试工作由中国地质科学院地质研究所开放研究实验室的陈文研究员、张燕女士、刘新宇女士和张思红女士完成。在此表示衷心感谢。

References

- Chen F W, Li H Q, Cai H and Liu Q. 1999. The origin of the Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang: Evidence from isotope geochronology [J]. *Geol. Rev.*, 45(3): 247~254 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Chen W, Zhang Y, Ji Q, Wang S H and Zhang J X. 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain [J]. *Science in China (Series B)*, 45(Supp.): 20~27.
- Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Gansu Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~692 (in Chinese).
- Hong D W, Wang S G, Xie X L and Zhang J S. 2000. Genesis of positive $\epsilon\text{Nd}(t)$ granitoids in the Da Hinggan Mts.-Mongolia orogenic belt and growth continental crust [J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 441~456 (in Chinese with English abstract).
- Hu A Q, Zhang Z G, Liu J Y, Peng J H, Zhang J B, Zhao D J, Yang S Z and Zhou W. 1986. U-Pb age and evolution of Precambrian metamorphic rocks of middle Tianshan uplift zone, eastern Tianshan, China [J]. *Geochimica*, (1): 23~35 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Nie F J, Chen W, Liu Y, Bai D M, Liu X Y and Zhang S H. 2003. The determination of the emplacement age of granite in Mingshui, Beishan area, and its implication [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(2): 107~111 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Nie F J and Chen W S. 2006. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology and fluid inclusion features of the Nanjinshan gold deposit, Gansu, China [J]. *Geol. Rev.*, 52 (in press) (in Chinese with English abstract).
- Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of orogenic belts in Beishan Mts., western China and their evolution [J]. *Dixueyanjiu*, 28: 37~48 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Bai D M, Wang X L, Su X X, Li J C, Liu Y and Zhao X M. 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), northwest China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~408 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Hu P and Zhang Y. 2004a. Geological features and ore-forming material sources of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan mountain, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 23(1): 11~19 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Liu Y and Zhang Y. 2004b. Sm-Nd isotope study on metamorphosed volcano-sedimentary rocks of the Jiaochagou metamorphic complex, Beishan Mt., Inner Mongolia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 807~812 (in Chinese with English abstract).
- Xu Y L. 1983. A preliminary studies on geological features and metallogeny of a tungsten deposit in Gansu Beishan [J]. *Gansu Geol.*, (1): 79~104 (in Chinese).
- Zhou J Y, Cui B F, Xiao H L and Chen S Z. 2000. The rift evolution and Au ore-forming regular in east part of Beishan, Gansu and Xinjiang [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 21(1): 7~17 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈富文, 李华芹, 蔡红, 刘群. 1999. 新疆东部金窝子金矿成因讨论—同位素年代学证据 [J]. *地质论评*, 45(3): 247~253.
- 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.
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 1~692.
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 张季生. 2000. 兴蒙造山带正 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长 [J]. *地学前缘*, 7(2): 441~456.
- 胡霭琴, 章振根, 刘菊英, 彭建华, 张积斌, 赵殿甲, 杨升祖, 周位. 1986. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化——据 U-Pb 年代学研究 [J]. *地球化学*, (1): 23~35.
- 江思宏, 聂凤军, 陈文, 刘妍, 白大明, 刘新宇, 张思红. 2003. 北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 22(2): 107~111.
- 江思宏, 聂凤军, 陈伟十. 2006. 甘肃南金山金矿床的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学及其流体包裹体特征 [J]. *地质论评*, 52 (待刊).
- 刘雪亚, 王荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化 [J]. *地学研究*, 第 28 号: 37~48.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 王新亮, 苏新旭, 李景春, 刘妍, 赵省民. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向 [M]. 北京: 地质出版社. 1~408.
- 聂凤军, 江思宏, 胡朋, 张义. 2004a. 甘肃北山红尖兵山钨矿床地质特征及成矿物质来源 [J]. *矿床地质*, 23(1): 11~19.
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 张义. 2004b. 内蒙古北山交叉沟地区变质火山岩钨-钼同位素研究 [J]. *地质学报*, 78(6): 807~812.
- 徐玉麟. 1983. 甘肃北山某黑钨矿床地质特征及成矿规律的初步认识 [J]. *甘肃地质*, 1: 79~101.
- 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 陈世忠. 2000. 甘新北山东段裂谷演化及金矿成矿规律 [J]. *火山地质与矿产*, 21(1): 7~17.