

文章编号:0258-7106(2004)01-0011-09

甘肃北山红尖兵山钨矿床地质特征及成矿物质来源^{*}

聂凤军 江思宏 胡 朋 张 义

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 对甘肃北山红尖兵山钨矿床地质特征进行了总结,同时,对代表性钨矿石样品中的黑钨矿进行了 Sm-Nd 同位素测定。研究表明,红尖兵山钨矿床的矿化类型大体可划分为云英岩型和黄玉-石英脉型。钨矿化的发生时间为海西期(322~260 Ma),其中云英岩型钨矿石的形成时代略早于黄玉-石英脉型矿石。云英岩型钨矿石中 2 件黑钨矿样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值分别为 5.93 和 4.24,与同时期亏损地幔钨同位素演化线值接近。相比之下,黄玉-石英脉型钨矿石中 5 件黑钨矿样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值变化范围为 -4.16~-8.05,与同时期古大陆壳钨同位素演化线值相似。云英岩型钨矿石的形成作用与亏损地幔源岩浆活动有关,而黄玉-石英脉型钨矿石则很可能是壳源岩浆活动的产物。这一推论对于揭示本区钨矿床成矿作用本质和指导隐伏矿床找矿工作具有重要意义。

关键词 地球化学 黑钨矿 钨同位素组成 成矿物质来源 红尖兵山 甘肃北山

中图分类号: P618.67

文献标识码: A

红尖兵山钨矿床位于甘肃省酒泉市西北方向 330 km 处,由甘肃省的肃北县管辖。该矿床是由原甘肃地质局区测二队于 20 世纪 60 年代中期在进行 1:20 万区域地质调查时,发现重砂异常,后经钻探和坑探查明的一处中型钨矿床(中国矿床发现史甘肃卷编委会,1996)。徐玉麟(1983)曾对该矿床的宏观地质特征进行过系统总结,并且认为该矿床属于岩浆热液矿床。笔者(聂凤军等,2002)在执行国家地质调查项目期间,对红尖兵山钨矿床开展了较系统的地质、地球化学和岩(矿)相学研究,并且对其成矿物质来源和形成机理进行了深入的探讨。进而确定了该矿床的成矿物质来源,并且建立了综合性成矿模式,该项研究工作对于丰富北山造山带金属矿床研究内容和指导隐伏钨矿床的找矿勘查具有重要的理论和实际意义。

1 矿区地质概况

红尖兵山钨矿床在大地构造位置上处于哈萨克斯坦-北山板块北带优地斜带红石山-黑鹰山地体与公婆泉-月牙山地体的汇聚处(甘肃地质矿产局,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沉积物和石炭系下统白山组火山岩,前者为风成沙和残坡积物,后者为流纹质凝灰岩、流纹岩、流纹英安岩和安山岩。白山组中酸性火山岩地层总体走向为 60°~80°,倾向为南东或正南,倾角 60°~80°。其中的流纹质凝灰岩、流纹英安岩和流纹岩之间无明显界线,均为渐变过渡关系,前两者主要分布在矿区中部,构成钨矿体的容矿围岩,后者则出露于矿区南部。安山岩呈不规则团块状分布在矿区北部。矿区内侵入岩主要为海西期二长花岗岩岩株和长英质岩脉,二长花岗岩岩株可直接构成矿体的容矿围岩。就控矿构造来讲,区内分布有一个向东南方向倾斜的单斜褶皱,各类断裂破碎带分布广泛,其中以北东向和北西向断层最为发育,含钨黄玉-石英脉多沿北东向断裂破碎带分布,进而构成一系列北东向产出的钨矿体。成矿期后构造主要为一些北西向高角度逆冲走滑断层,对矿体具有一定的破坏作用。

2 含钨侵入岩体

红尖兵山含钨侵入岩出露于矿区中部地段,呈两个不规则状岩株侵位于下石炭统白山组中酸性火

^{*} 本研究得到国家自然科学基金项目(编号:40073015)和国家地质调查项目(编号:K1.3.32)共同资助

第一作者简介 聂凤军,男,1956 年生,研究员,博士生导师,从事金属矿床地球化学研究。e-mail: nfj@mx.cci.gov.cn。

收稿日期 2003-05-12;改回日期 2003-11-25。张绮玲编辑。

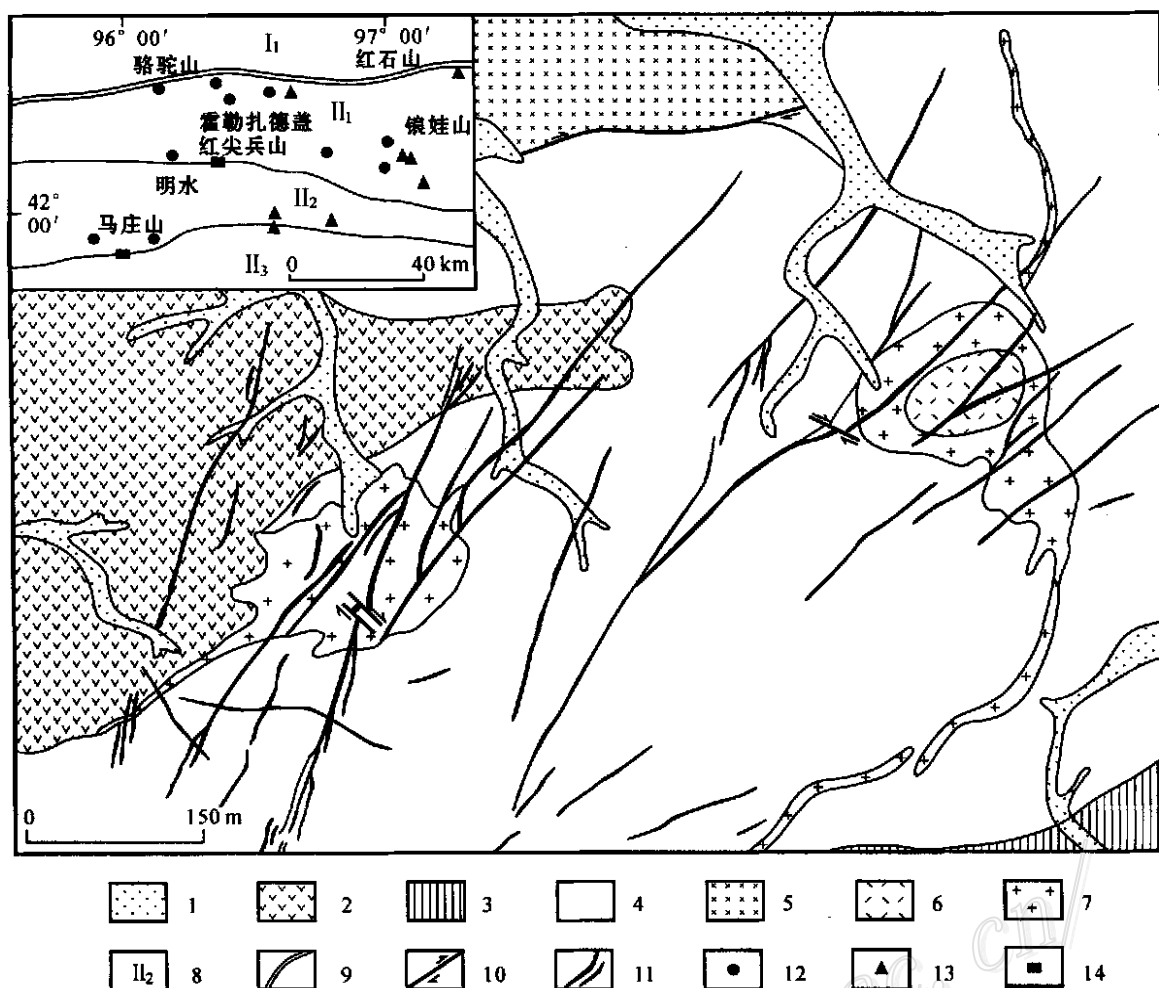


图1 甘肃北山红尖兵山钨矿床地质简图

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—地体编号;9—古板块碰撞对接带;10—断层;11—含钨黄玉-石英脉;12—金矿床(点);13—铁矿床(点);14—钨矿床(点)

Fig.1 Simplified geological map of the Hongjianbingshan tungsten deposit, Beishan Mountain, Gansu Province

1—Quaternary sediments; 2—Carboniferous rhyodacite; 3—Rhyolite; 4—Rhyolite tuff; 5—Andesite; 6—Greisen; 7—Monzogranite; 8—Serial number of terrane; 9—Collision zone of Siberian and Kazakhstan-Beishan plate; 10—Fault; 11—Tungsten-bearing topaz-quartz vein; 12—Gold deposit (ore spot); 13—Iron deposit (ore spot); 14—Tungsten deposit (ore spot)

山岩地层。地表上相对孤立的两个岩株东西相距340 m,其直径分别为120 m和150 m,均向外倾斜,倾角为45~80°。在地下250~350 m处,两岩株连接为一整体,构成规模更大的岩体(图1)。含钨侵入岩体岩石类型相对简单,岩性也比较均一,主要岩石类型有二长花岗岩和云英岩。二长花岗岩为浅黄-浅肉红色,细粒花岗嵌晶结构,块状构造。主要矿物有钾长石(35%)、更长石(25%~35%)、石英(25%~30%)和白云母(3%),副矿物为黄铁矿、辉钼矿、辉钨矿、锆石、萤石、黑钨矿和黄玉。与二长花岗岩相比,云英岩大多产在二长花岗岩岩株的核心部位,

岩石为灰白-浅黄色、中细粒结构、块状或条带状构造,主要矿物有石英(55%~65%)、云母(25%~35%)和黄玉(2%~8%),其他矿物有钾长石、钠长石、黑钨矿、辉钼矿、黄铁矿、辉钨矿和萤石。需要提及的是,二长花岗岩常常构成含钨石英大脉、细脉和线脉的容矿围岩,而云英岩中既有浸染状,也有脉状钨矿化产出。

区域性花岗岩类侵入岩及相关钨、钼和金矿床的对比研究结果表明,红尖兵山地区的二长花岗岩岩株在成岩环境、地质特征及形成时代上完全可以与东部黑鹰山钼-金-铁矿田内的火成岩相对比,它们

均是海西早期构造-岩浆活动的产物,其形成时代的下限值为 (322 ± 3.9) Ma(磷灰石 Sm-Nd 等时线法,聂凤军等,2002;聂凤军等^①)。

红尖兵山地区4件二长花岗岩和2件云英岩样品主元素分析结果列于表1。由表1可见,尽管2个二长花岗岩岩株在空间上相距340 m,但是它们在主元素含量方面并不存在明显差别。二长花岗岩元素地球化学特征可概述如下:①全岩样品 SiO_2 含量变化范围为73.43%~74.75%,平均值为74.06%,略高于标准花岗岩值;② $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 、 MgO 和 CaO 的含量分别为1.32%~3.12%,平均值为2.18%; $0.18\% \sim 0.28\%$,平均值0.23%和 $0.60\% \sim 0.95\%$,平均值0.79%。这些数值均低于标准花岗岩值;③二长花岗岩与标准花岗岩的碱质总量大体相近, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值略低,属正常钙-碱性花岗岩类。上述元素地球化学特征表明,在二长花岗岩上侵、定位过程中可能发生过一定程度的结晶分异作用。与二长花岗岩样品相比,2件云英岩样品均以富硅、钾和挥发性组分为特点,其中 SiO_2 、 K_2O 和 (H_2O)

+ CO_2) 含量变化范围分别为76.35%~76.59%、 $10.10\% \sim 11.0\%$ 和 $1.10\% \sim 1.17\%$ 。岩相学和元素地球化学特征表明,云英岩是含矿热液流体与二长花岗岩相互作用的产物。

3 钨矿化特征

3.1 矿体产状

迄今为止,在红尖兵山钨矿化区 0.84 km^2 的范围内先后发现和圈定含钨黄玉-石英脉和云英岩化条带173条,其中规模较大,并且具有工业意义的脉体或条带有15条。钨矿化大多在二长花岗岩岩株内部产出或沿其与围岩的外接触带分布(图1),整个钨矿化带呈近东西向,长1140 m,宽600~800 m,垂向延深为650~700 m。考虑到大多数含钨黄玉-石英脉环绕2个二长花岗岩岩株分布,因此,整个钨矿化带大体可划分为东、西2个脉群。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)在平面上构成一条不规则的面状矿化带,而在横剖面上则形成相对倾斜的扇形矿化带(徐玉麟,1983)。一般来讲,单个含钨黄玉-石英脉和云英岩条带空间分布特征可概述为:①脉体长度为120~420 m,平均219 m,宽度为0.19~1.32 m,平均为0.79 m,倾斜延深800~1200 m;②含钨脉体长度与厚度呈正相关关系,脉长大于300 m者,其宽度多在0.8 m以上,脉长大于200 m者,脉宽0.5~0.8 m,脉长大于100 m者,其宽度为0.1~0.5 m;③大多数单个含钨脉体呈现出中间部位膨大增厚,两端收缩变薄的变化特点,并且在各脉体由窄变宽处形成高品位矿段(图2);④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。

3.2 矿石类型和矿物成分

依据矿物组分和结构构造差异,可将红尖兵山钨矿床钨矿石划分为2种类型,即黄玉-石英脉型和云英岩型,前者主要由含钨黄玉-石英大脉(脉宽>10 cm)、细脉(宽1~10 cm)和线脉(宽<1 cm)组成,后者主要为含钨云英岩团块或条带。黄玉-石英脉型钨矿石中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

表1 红尖兵山钨矿床二长花岗岩和云英岩化学分析结果
Table 1 Major element analyses of monzogranite and greisen from the Hongjianbingshan tungsten deposit, Beishan Mountain, Gansu Province

成分	w(B) / %						
	HJB-1	HJB-2	HJB-3	HJB-4	HJB-7	HJB-8	BZ-1 ^①
SiO_2	74.75	73.43	74.54	73.53	76.59	76.35	71.27
TiO_2	0.15	0.20	0.21	0.19	0.11	0.12	0.25
Al_2O_3	12.19	14.18	13.65	14.34	9.08	8.44	14.25
Fe_2O_3	0.48	0.93	0.59	0.87	0.74	0.96	1.24
FeO	0.84	2.19	1.37	1.43	0.63	0.62	1.62
MnO	0.08	0.24	0.16	0.32	0.03	0.04	0.08
MgO	0.28	0.26	0.18	0.21	0.49	0.50	0.80
CaO	0.95	0.77	0.60	0.83	0.45	0.46	1.62
Na_2O	3.65	3.28	3.68	3.62	0.69	0.87	3.79
K_2O	4.23	2.98	3.44	2.65	10.10	11.00	4.03
P_2O_5	3.73	0.76	0.56	0.76	0.13	0.12	0.16
H_2O^+	0.85	0.46	0.74	0.68	0.82	0.87	0.56
CO_2	0.86	0.47	0.50	0.43	0.28	0.30	0.33
S	0.23	0.18	0.17	0.14	0.20	0.24	-
总量	99.91	100.33	100.39	100.00	99.89	100.89	100.00
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}^*$	1.02	0.90	0.93	0.73	14.64	12.64	1.06

HJB1、HJB2—东部二长花岗岩株;HJB3、HJB4—西部二长花岗岩株;HJB7、HJB8—云英岩;BZ-1—标准花岗岩。分析者:内蒙古地质矿产开发局岩矿研究所。①引自黎彤等,1963。* 单位为1。

① 聂凤军,江思宏,刘妍,等. 2004. 内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石钨同位素研究. 地质科学(待刊).

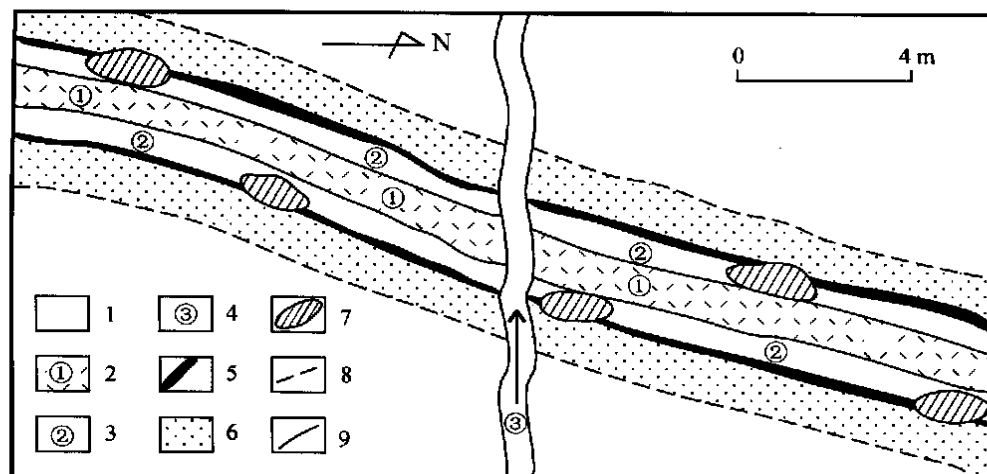


图 2 红尖兵山钨矿床代表性含钨黄玉-石英脉相互穿插关系

1—流纹质凝灰岩;2—早期含钨石英脉;3—中期含钨黄玉-石英脉;4—晚期含钨石英脉;5—脉侧锂云母-石英蚀变带;
6—脉侧硅化或钠长石化蚀变带;7—高品位矿段;8—地质界线;9—蚀变带界线

Fig.2 Sketch geological map showing spatial relations of various tungsten-bearing topaz-quartz veins in the Hongjianbingshan tungsten deposit

1—Rhyolite tuff; 2—Early tungsten-bearing quartz vein; 3—Medium tungsten-bearing topaz-quartz vein; 4—Late tungsten-bearing quartz vein; 5—Muscovite-quartz alteration along the contact between the vein and its wall rock; 6—Silicification and albitization along the contact between the vein and its wall rock; 7—High grade ore block; 8—Geological boundary; 9—Alteration boundary

石、钠长石、铁锂云母、白云母、绢云母、萤石和方解石。与黄玉-石英脉型钨矿石相比,云英岩型钨矿石中金属矿物组合相对比较简单,主要为黑钨矿和黄铜矿,脉石矿物组合基本与前述黄玉-石英脉型钨矿石相似。本次分析了黄玉-石英脉型钨矿石中的黑钨矿,其 SiO_2 、 WO_3 、 MnO 和 Nb_2O_5 含量平均值分别为 0.89%、72.46%、13.74% 和 1.67%。相比之下,云英岩型矿石中黑钨矿样品的 SiO_2 、 WO_3 、 MnO 和 Nb_2O_5 含量平均值分别为 0.61%、77.13%、10.89% 和 0.66%。后者比前者相对富含 WO_3 ,略贫 MnO 、 Nb_2O_5 和 SiO_2 ,反映了两者在物质来源和形成机理方面的差异。

3.3 矿石化学成分

化学分析结果表明,2件黄玉-石英脉型的 $w(\text{SiO}_2)$ 分别为 79.76% 和 85.31%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 分别为 0.28% 和 0.42%, $w(\text{WO}_3)$ 分别为 1.23% 和 1.86%;2件云英岩型钨矿石样品的 $w(\text{SiO}_2)$ 分别为 76.47% 和 80.24%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 分别为 2.54% 和 2.87%, $w(\text{WO}_3)$ 分别为 0.26% 和 0.54%。从上述两类钨矿石的化学分析数据看,黄玉-石英脉型的 SiO_2 和 WO_3 含量明显高于云英岩型矿石,同样反映了两者在形成机理方面的不同。需要提及的是,在

采集到的所有钨矿石样品中,除 WO_3 含量已达到或超过工业开采标准外,其他有用组分还包括 Li 、 Nb 和 Be 。 $w(\text{Li}_2\text{O})$ 变化范围为 0.3%~0.7%,最高可达 2.43%; $w(\text{Nb}_2\text{O}_5)$ 为 0.1%~1%,最高可达 2.43%; $w(\text{BeO})$ 为 0.05%~0.1%,最高值为 0.5%。

3.4 围岩蚀变

红尖兵山钨矿床容矿围岩为流纹质凝灰岩和二长花岗岩,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。尽管红尖兵山钨矿床热液蚀变类型众多,但是它们多沿含钨黄玉-石英脉体两侧脉壁断续分布,很难构成具有一定规模的面型或线型蚀变带。相比之下,云英岩化主要呈不规则状条带或团块在二长花岗岩岩株的核部产出,其代表性蚀变矿物组合分别为铁锂云母-黄玉-石英和黄玉-白云母-石英。大多数云英岩样品的 WO_3 含量变化范围为 0.34%~0.54%,个别样品可达 0.86%。从岩株中心向外(或向深部),云英岩化逐渐过渡为硅化、钠长石化和绢云母化,同时, WO_3 含量也随之明显降低。另外,云英岩化带的外围常常分布有钠长石化条带,其蚀变矿物组合分别为钾长

石-钠长石-石英和黄玉-钠长石-石英, 钠长石化蚀变岩的 $w(\text{WO}_3)$ 变化范围为 0.04% ~ 0.12%, 明显低于云英岩。

4 黑钨矿钐-钕同位素特征

本次研究过程中, 对红尖兵山矿床中黑钨矿进行了钐-钕同位素分析, 7 件黑钨矿样品钐-钕同位素分析结果及特征比值列于表 2。为了便于与区域岩层(体)进行对比, 表 2 同时给出了研究区及外围前寒武系变质岩和海西期火成岩的钐-钕同位素分析数据。红尖兵山钨矿床云英岩型矿石 2 件黑钨矿样品的 (W01-5 和 W01-6) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值分别为 0.513078 和 0.513196。如若将 322 Ma 看作是钨成矿作用的下限年龄值, 那么计算所获得的 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值分别为 4.24 和 5.93, 这两个比值略低于同时

期亏损地幔 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值, 明显高于同时期古大陆壳 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(DePaolo, 1988), 而与石炭系下统白山组酸性火山岩和海西期花岗岩类侵入岩相似(表 2, 图 3), 暗示了它们在成岩(矿)物质来源方面的相似性。

与云英岩型矿石黑钨矿样品相比, 黄玉-石英脉型钨矿石中的 5 件黑钨矿样品, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值变化范围为 0.512252 ~ 0.512516, 比照 322 Ma 计算所获得的 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值为 -8.05 ~ -4.16, 明显低于前述云英岩型矿石中的黑钨矿。在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 对时间的图中(图 3), 所有 5 件黑钨矿样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值明显低于同时期亏损地幔 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值, 而与同时期古大陆壳 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值接近。另外, 除 1 件黑钨矿样品外, 其余 4 件样品 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值完全落在前寒武系变质岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值变化范围内。从上述简要讨论中不难看到, 云英岩型矿石黑钨矿钐同位素特征

表 2 红尖兵山钨矿床黑钨矿及邻区前寒武纪变质岩和海西期花岗岩类侵入岩钐-钕同位素分析数据及特征比值
Table 2 Sm-Nd isotopic analyses and characteristic ratios of wolframite, Precambrian metamorphic rocks and Hercynian granitoid intrusions from the Hongjianbingshan tungsten deposit and its surrounding areas, Beishan, Gansu

序号	样品编号及产状	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2 σ	$\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0 \text{ Ma})$
红尖兵山钨矿床中的黑钨矿									
1	W01-1 黄玉-石英脉型矿石黑钨矿	1.029	2.972	0.346	0.2094	0.512252	6	-8.05	-7.53
2	W01-3 黄玉-石英脉型矿石黑钨矿	1.187	3.406	0.348	0.2107	0.512265	6	-7.85	-7.28
3	W01-4 黄玉-石英脉型矿石黑钨矿	1.203	3.033	0.397	0.2399	0.512516	4	-4.16	-2.38
4	W01-7 黄玉-石英脉型矿石黑钨矿	2.017	5.803	0.348	0.2101	0.512262	6	-7.89	-7.33
5	W01-8 黄玉-石英脉型矿石黑钨矿	1.271	3.460	0.367	0.2220	0.512361	7	-6.45	-5.40
6	W01-5 云英岩型矿石黑钨矿	0.774	1.474	0.525	0.3174	0.513196	7	5.93	10.88
7	W01-6 云英岩型矿石黑钨矿	0.767	1.535	0.500	0.3023	0.513078	8	4.24	8.58
石炭系下统白山组酸性火山岩									
8	B3 英安岩	3.117	17.939	0.17	0.1051	0.512740	5	5.76	1.99
9	B4 英安流纹岩	3.594	19.471	0.18	0.1116	0.512708	5	4.87	1.36
海西期花岗岩类侵入岩									
10	LSS8-3 花岗闪长岩	3.549	15.250	0.23	0.1407	0.512813	3	5.72	3.41
11	B5 二长花岗岩	3.474	15.241	0.23	0.1378	0.512940	4	8.32	5.89
12	LSS8-2 花岗闪长斑岩	3.724	19.801	0.19	0.1137	0.512987	3	10.23	6.81
13	LSSP1-B1 斜长花岗岩	3.337	15.978	0.21	0.1262	0.513076	5	11.45	8.54
海西期侵入岩脉									
14	TW1 钾长石脉	4.753	13.056	0.36	0.2201	0.512852	3	3.21	4.18
15	B1 闪长岩脉	4.418	21.731	0.20	0.1299	0.512653	4	3.33	0.29
16	LSSP6-2B 闪长玢岩脉	4.187	15.821	0.26	0.1600	0.512650	4	1.74	0.23
17	TW8 细晶岩脉	2.709	7.466	0.36	0.2193	0.512703	4	0.34	1.27
前寒武系变质岩									
18	JCG-B5 角闪斜长片麻岩	3.871	13.577	0.29	0.1724	0.512172	3	-8.09	-9.09
19	JCG2-5 黑云斜长片麻岩	1.829	7.436	0.25	0.1487	0.512163	5	-7.29	-9.27
20	JCG-B6 黑云斜长片麻岩	5.369	25.685	0.21	0.1264	0.512031	3	-8.95	-11.84
21	JCG2-6 二长片麻岩	3.855	19.581	0.20	0.1190	0.512043	4	-8.41	-11.61
22	JCG-B4 黑云斜长片麻岩	5.948	33.703	0.17	0.1067	0.511951	3	-9.71	-13.40

资料来源: 1 ~ 7 一本文测试结果, 测试单位: 天津地质矿产研究所同位素年代学实验室; 8 ~ 22 一引自聂凤军等, 2002。

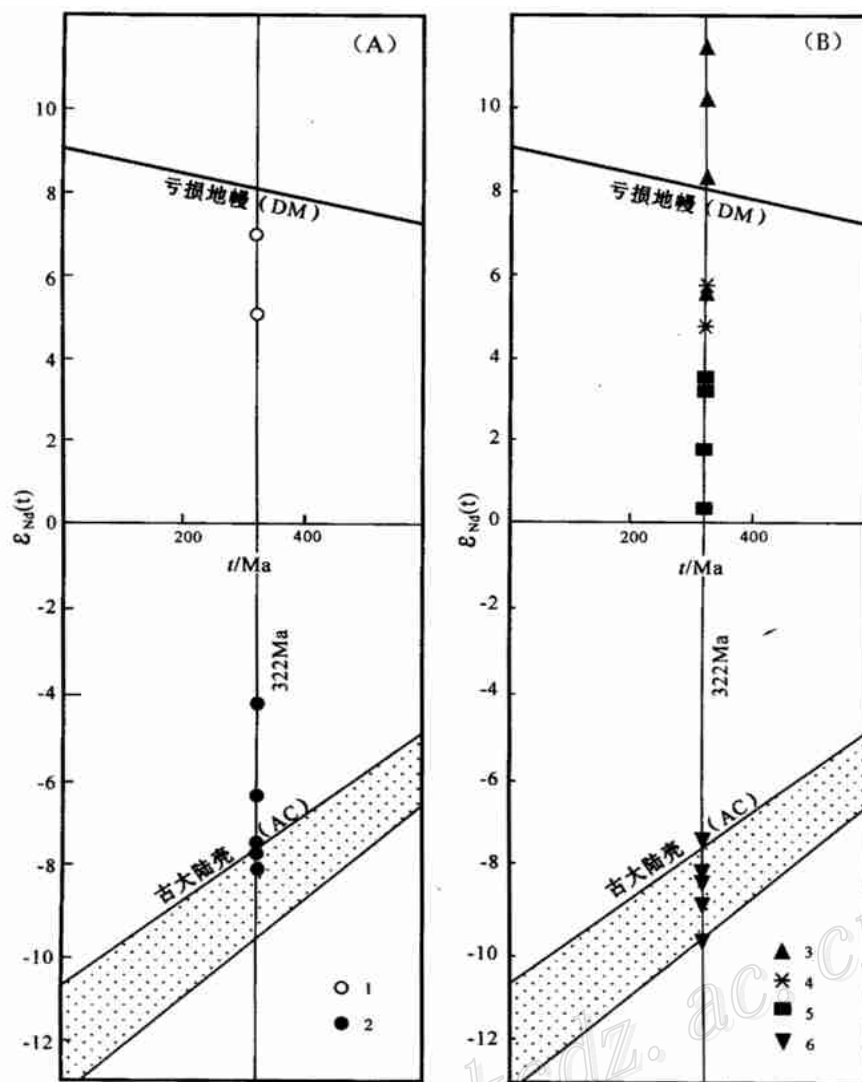


图 3 红尖兵山钨矿床黑钨矿 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值随时间演化图

亏损地幔 (DM) 和古大陆壳 (AC) $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 演化线引自 Depaolo, 1988。钨矿石中黑钨矿 (A): 1—云英岩型钨矿石黑钨矿; 2—黄玉-石英脉型钨矿石黑钨矿; 区域性变质岩和火成岩 (B): 3—海西期花岗岩类侵入岩; 4—石炭系下统白山组中酸性火山岩; 5—海西期各类侵入岩脉; 6—前寒武纪变质岩

Fig. 3 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ versus time (Ma) plot for wolframite separates from the Hongjianbingshan tungsten deposit, Beishan Mountain, Gansu Province

$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ evolution curves of the depleted mantle and ancient continent from Depaolo, 1988. 1—Wolframite separates from greisen type tungsten ore; 2—Wolframite separates from topaz-quartz vein type tungsten ore; 3—Hercynian granitoid intrusion; 4—Carboniferous intermediate-acid volcanic rocks of Baishan Formation; 5—Hercynian intrusive dykes; 6—Precambrian metamorphic rocks

明显不同于黄玉-石英脉型钨矿石黑钨矿, 反映了两者在物质来源和形成机制方面存在明显的差别。

如果不考虑所分析黑钨矿样品的产状, 可将 7 件黑钨矿样品数据投绘在 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 对 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图上, 它们全部落在同一条直线上, 其所对应的同位素等时线年龄为 $(1336 \pm 14) \text{ Ma}$, MS WD 值

为 8.2 (Ludwig, 1992), 这也许是迄今为止在本区所获得的最老同位素年龄值。鉴于红尖兵山钨矿区范围内出露的地层和侵入岩体分别为石炭系白山组火山-沉积岩和海西期二长花岗岩, 因此, 根据目前区域地质资料、数据, 笔者尚不能对这组黑钨矿样品的同位素等时线年龄值做出合乎情理的地质解释。

5 讨论与结论

5.1 矿床成因讨论

哈萨克斯坦-北山板块(以下简称哈-北板块)北部边缘经历过前寒武纪、加里东期和海西期构造旋回,与之相对应的是西伯利亚板块与哈-北板块间长期和多阶段的俯冲和碰撞,进而形成广泛分布的中酸性火成岩及极为复杂的构造形迹(聂凤军等,2003)。海西早期造山运动致使本区遭受到东西向挤压和南北向拉张构造作用的影响,从而在古大陆边缘形成红石山-黑鹰山地体,并且在其内部产生一系列规模不等的裂陷盆地和隆起带(周济元等,1996;聂凤军等,2002)。在红尖兵山-狼娃山一带的裂陷槽内,强烈的中酸性岩浆喷溢和上侵定位不仅形成石炭系下统白山组火山岩地层,同时也产生一系列花岗岩基、岩株和岩枝及其有关的钨、钼和金矿床(点)。研究结果表明,钨、钼和金的成矿作用是整个海西期岩浆活动的继续和发展(崔惠文等,1996;聂凤军等,2002)。随着中酸性岩浆上侵定位和喷溢活动的进行,一方面,部分钨、钼、铍、铌、硫和碳可随岩浆热液流体直接沉淀下来,形成浸染状钨矿化;另一方面,中酸性岩浆活动亦可造成区域地热梯度不断增高,进而构成热液流体与容矿围岩的对流循环。热液流体可通过上述循环体系不断从围岩中萃取钨、钼、铍、铌和挥发性组分,形成含矿热液流体。需要指出的是,由于受上覆围岩承压作用的影响,含矿热液流体可沿着构造的有利部位(如断层和破碎带)形成含钨黄玉-石英脉。

关于红尖兵山钨矿床成矿物质来源,笔者做如下简要讨论。如前所述,云英岩型钨矿石黑钨矿的 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值均为正值,并且与同成矿带范围内中酸性火山岩和花岗岩类侵入岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值相似,钨同位素组成的这种特点至少反映了以下 3 个方面的问题,即 ①黑钨矿、英安流纹岩、流纹岩和花岗岩类岩石的源岩钨同位素组成比较均一;②古陆壳物质对含矿热液流体没有产生明显的混染作用;③幔源组分在成岩(矿)物质来源中占有优势比例。洪大卫等(2000)曾注意到兴蒙造山带(含红尖兵山地区,笔者注)古生代和中生代花岗岩以具正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为特征,并且认为花岗岩浆的形成与幔源物质为主的年轻洋壳的部分熔融作用有关。尽管黑钨矿与花岗岩在产出环境和形成机理上并不一样,但是在钨同

位素演化过程中存在许多可对比之处,特别是导致 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值高低的影响因素。根据 2 件黑钨矿样品钨同位素特征,可以推测云英岩型钨矿石的形成过程大体如下:①大量亏损地幔源洋壳与少许陆壳物质在 322 Ma 前发生物理或化学混合作用;②受海西早期(322 Ma)强烈构造活动影响,混合物质发生部分熔融,并且形成含矿熔浆;③含矿熔浆沿特定构造部位上侵定位,进而形成二长花岗岩岩株;④通过结晶分异作用、含矿熔浆在上侵定位过程中产生大量含钨热液流体,并且形成云英岩型钨矿石。

从表 2 和图 4 可以看出,黄玉-石英脉型和云英岩钨矿石中的黑钨矿在钨同位素组成上存在较明显差别,前者 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值均为较小的负值,明显低于后者,而与古大陆壳和前寒武系变质岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ 值相近。根据黄玉-石英脉型矿石黑钨矿钨同位素组成特点,结合其形成时代明显晚于云英岩型钨矿石的地质事实,推测黄玉-石英脉型和云英岩型钨矿石是不同来源和不同期次含矿热液活动的产物,脉状矿石中古大陆壳物质组分要远远高于云英岩型矿石。黄玉-石英脉型矿石的黑钨矿钨同位素组成很可能与下述两方面影响因素有关,其一,成矿物质起源于壳源岩浆热液流体;其二,含矿岩浆或热液流体在上侵定位过程中遭受到地壳物质的强烈混染。从宏观地质特征上看,红尖兵山钨矿区及外围海西期花岗岩类侵入岩分布广泛,各类断裂构造十分发育,钨、钼、金矿床(点)星罗棋布,含矿热液活动具有多来源、多期次和多成因的特点,因此,黄玉-石英脉型钨矿石形成作用很可能与壳源岩浆活动有关。另外,含矿流体在上侵过程中亦有可能受到古大陆壳物质的混染。

5.2 结论

(1) 根据容矿围岩特征、矿物组合和矿石结构构造关系,本文将红尖兵山钨矿床矿石划分为黄玉-石英脉型和云英岩型,前者主要由含钨黄玉-石英大脉、细脉和线脉构成,而后者为含浸染状黑钨矿云英岩条带或团块。一般来讲,云英岩型钨矿体常为含钨黄玉-石英脉所切割,前者的形成时代明显早于后者;

(2) 黄玉-石英脉型的 SiO_2 和 WO_3 含量明显高于云英岩型钨矿石。另外,与云英岩型钨矿石黑钨矿相比,黄玉-石英脉型矿石黑钨矿以明显富 WO_3 、 MnO 和 Nb_2O_5 为特征,反映了它们在形成机理上的差异;

(3) 黄玉-石英脉型钨矿石 5 件黑钨矿样品 ε_{Nd} (322 Ma) 值明显低于同期亏损地幔 (DM) 和容矿火成岩的 ε_{Nd} (322 Ma) 值, 而与同时期古大陆壳和区域范围内前寒武纪变质岩相似。黑钨矿的这种钨同位素特征表明, 黄玉-石英脉型钨矿石的形成作用与壳源岩浆热液活动有关;

(4) 云英岩型钨矿石 2 件黑钨矿样品的 ε_{Nd} (322 Ma) 略低于同时期亏损地幔 (DM) ε_{Nd} (322 Ma), 明显高于同时期古大陆壳 ε_{Nd} (322 Ma) 值, 而与容矿火成岩 ε_{Nd} (322 Ma) 值相近, 这种钨同位素特征表明, 云英岩型钨矿石的形成作用与幔源岩浆热液活动有关;

(5) 红尖兵山钨矿床及外围地区的海西期花岗岩类分布广泛, 各类断裂构造十分发育, 钨、钼、金矿床 (点) 星罗棋布, 含矿岩浆热液活动具有多来源、多期次和多成因特点。因此, 同一钨矿区范围内产出有两种成因黑钨矿也是预料之中的事情。

致 谢 野外地质调查与采样工作得到了原内蒙古地质矿产局 108 地质队杨崇文高级工程师、内蒙古地质调查院王新亮和苏新旭高级工程师的帮助, 室内研究得到中国地质科学院矿产资源研究所白大明和赵省民研究员的支持。文字录入和图件清绘由张冰和吴燕玲女士完成, 笔者谨表衷心感谢。

References

- Cui H W and Chen Z Y. 1996. Geology of gold deposits in Beishan region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 104 (in Chinese with English abstract).
- Depaolo D J. 1988. Neodymium isotope geochemistry: An introduction [M]. Minerals and rocks. Berlin/ Heidelberg/ New York: Springer, 20. 1 ~ 187.
- Editorial Commission on Gansu Volume of Discovery History of Chinese Mineral Deposits. 1996. The discovery history of Chinese mineral deposits- Gansu volume [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 55 ~ 56 (in Chinese).
- Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Gansu Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 692 (in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2000. Genesis of positive ε_{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).
- Li T and Rao J L. 1963. The average chemical composition of igneous rocks in China [J]. Acta Geologica Sinica, 43(3): 271 ~ 280 (in Chinese with English abstract).
- Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mt. Western China and their evolution [J]. Geological Research, 28: 37 ~ 48 (in Chinese).
- Ludwig K R. 1992. Isoplot V.2.57: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data [M]. U. S. Geological Survey Open-File Report 91 ~ 445, rev. March 1992. 40p.
- Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. 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, Bai D M, et al. 2003. Temporal-spatial distribution and metallogenic processes of gold and copper deposits in Inner Mongolia- Gansu- Xinjiang border (Beishan) region [J]. Mineral Deposits, 22(3): 234 ~ 245 (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 Geology, 1: 79 ~ 104 (in Chinese).
- Zhou J Y, Zhang B, Zhang C W, et al. 1996. Geology of silver, rhenium- molybdenum, gold and copper deposits occurring within the eastern Tianshan ancient continent and along its margin [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 191 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 崔惠文, 陈祖伊. 1996. 甘肃北山地区金矿地质 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 104.
- 甘肃地质矿产局. 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, 等. 2002. 兴蒙造山带正 ε_{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.
- 黎 彤, 饶纪龙. 1963. 中国岩浆岩的平均化学成分 [J]. 地质学报, 43(3): 271 ~ 280.
- 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, 28: 37 ~ 48.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 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, 白大明, 等. 2003. 蒙甘新相邻 (北山) 地区金铜矿床时空分布特征及成矿作用 [J]. 矿床地质, 22(3): 234 ~ 245.
- 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, 张 斌, 张朝文, 等. 1996. 东天山古大陆及其边缘银、铍、钨、金和铜矿地质 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 191.
- 中国矿床发现史甘肃卷编委会. 1996. 中国矿床发现史 - 甘肃卷 [M]. 北京: 地质出版社. 55 ~ 56.

Geological Features and Ore-forming Material Sources of Hongjianbingshan Tungsten Deposit in Beishan Mountain, Gansu Province

Nie Fengjun, Jiang Sihong, Hu Peng and Zhang Yi

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in the western part of the Hongshishan-Heiyingshan terrane within the Kazakhstan-Beishan plate, the Hongjianbingshan deposit is one of the most important tungsten deposits in northwest China. Tungsten mineralization occurs mainly as topaz-quartz veins within rhyolite tuff and rhyodacite of Early Carboniferous Baishan Formation, and partly as massive and layered greisens in Hercynian monzogranite stocks, controlled by a number of NE-trending fracture or fault zones. Individual tungsten bodies can be traced along strike for 120 to 420 m, and downdip for 800 to 1200 m, with thicknesses ranging from 0.19 to 1.32 m. Alterations related to tungsten mineralization consist mainly of greisenization, silicification, albitization, sericitization, K-feldspathization, epidotization and skarnization, with greisenization and albitization being most important. Ore minerals are relatively simple, and mainly include wolframite, cassiterite, molybdenite, bismuthinite, galena, sphalerite, scheelite, chalcopyrite, pyrite and magnetite. Gangue minerals consist of quartz, topaz, helvite, K-feldspar, albite, muscovite, sericite, fluorite and calcite. The WO_3 content of the W-bearing topaz-quartz veins and that of greisen blocks range from 1.23% to 1.86% (1.55% on average) and 0.26% to 0.54% (0.40% on average) respectively. Researches on regional ore-forming process show that the major tungsten ore-forming event of the deposit occurred during the early Hercynian orogeny (322 Ma). Seven wolframite separates from both topaz-quartz vein type and greisen block type tungsten ores were selected for Sm-Nd analysis. The $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ values of two wolframite separates from the greisen massive ore range from 4.24 to 5.93, much higher than values of the ancient continental crust and Precambrian metamorphic rocks. In contrast, the $\epsilon_{\text{Nd}}(322 \text{ Ma})$ values of five wolframite separates from the topaz-quartz vein ores range from -4.16 to -8.05, much lower than values of the greisen massive ore. Geochemical data, isotopic data and petrological observations all indicate that the greisen ores might have been formed by the mantle-related ore fluids, while the topaz-quartz vein ores were probably derived from crustal-derived magma fluids. The Hongjianbingshan tungsten deposit is believed to be a product of early Hercynian igneous process along the northern margin of the Kazakhstan-Beishan plate. Meanwhile, the genetic model and mineral exploration criteria of the Hongjianbingshan deposit can also be used as useful tools for comprehensive evaluation of concealed tungsten deposits in the Beishan Mountain, Gansu Province.

Key words: geochemistry, wolframite, Nd isotopic data, source of ore-forming materials, Hongjianbingshan, Beishan, Gansu