

高允, 孙艳, 赵芝, 等. 内蒙古武川县赵井沟铌钽多金属矿床白云母<sup>40</sup>Ar - <sup>39</sup>Ar 同位素年龄及地质意义[J]. 岩矿测试, 2017, 36(5): 551 - 558.

GAO Yun, SUN Yan, ZHAO Zhi, et al. <sup>40</sup>Ar - <sup>39</sup>Ar Dating of Muscovite from the Zhaojinggou Nb-Ta Polymetallic Deposit in Wuchuan County of Inner Mongolia and Its Geological Implications[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(5): 551 - 558.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201612290190】

# 内蒙古武川县赵井沟铌钽多金属矿床白云母<sup>40</sup>Ar - <sup>39</sup>Ar 同位素年龄及地质意义

高允<sup>1,2</sup>, 孙艳<sup>1\*</sup>, 赵芝<sup>1</sup>, 李建康<sup>1</sup>, 何晗晗<sup>1</sup>, 杨岳清<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 内蒙古赵井沟铌钽多金属矿是近年来取得较大找矿进展的大型稀有金属矿床, 初步探明铌钽氧化物储量超过 8200 吨, 前人对其矿床地质特征已有初步研究, 但其成矿时代尚未精确厘定。本文以赵井沟铌钽多金属矿区内天河石花岗伟晶岩脉中的白云母为研究对象, 利用<sup>40</sup>Ar - <sup>39</sup>Ar 同位素年代学方法, 以确定其成矿时代。研究发现区内铌钽矿化主要赋存在碱长花岗岩、碱长花岗细晶岩、云英岩和天河石花岗伟晶岩中, 且铌钽矿物与白云母同时形成, 有重要的共生关系, 故本次研究获得的白云母坪年龄  $123.57 \pm 0.66$  Ma 和等时线年龄  $124.0 \pm 2.0$  Ma 具有地质意义, 可代表成矿年龄。这一成果表明赵井沟铌钽多金属矿床形成于燕山晚期(至少延续至早白垩世), 与前人获得的锆石年龄有较大差异, 这对分析其矿床成因有重要意义。同时, 结合区域地质资料, 本文认为华北地台北缘内蒙古地轴中部在燕山运动的晚期存在一次重要的稀有金属成矿事件。

**关键词:** 铌钽多金属矿床; 天河石花岗伟晶岩; 白云母; <sup>40</sup>Ar - <sup>39</sup>Ar 同位素年龄; 赵井沟

**中图分类号:** P618.79; P618.86; P619.273

**文献标识码:** A

铌和钽是两种重要的稀有金属元素, 由于具有独特的物理性质而成为机械、电子、原子能等领域不可或缺的重要金属原料。世界上 75% 以上的钽矿分布在澳大利亚, 绝大部分的铌矿产出于巴西和加拿大<sup>[1-2]</sup>, 我国铌钽储量较小, 主要分布在华南地区, 新疆和内蒙古也有零星分布。赵井沟铌钽多金属矿位于内蒙古呼和浩特市武川县东北约 35 公里处, 该矿床由内蒙古局属区测队发现于 20 世纪 70 年代, 并进行了普查工作, 2010 年赵井沟铌钽多金属矿床转入详查, 并取得重大进展, 据内蒙古第一地质勘查院报告, 矿床新增铌(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和钽(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)资

源量约 8000 吨。前人已对赵井沟矿区开展了系统的构造、岩浆岩、岩矿及同位素年代学研究, 对矿床产出的地质背景、矿床特征及成矿时代进行了探讨<sup>[3-6]</sup>, 聂凤军等(2013)<sup>[3]</sup>进行了成矿岩体年代学研究, 测得碱长花岗岩、碱长花岗细晶岩和碱长花岗伟晶岩中锆石的 U - Pb 同位素年龄值分别为  $277.14 \pm 0.82$  Ma、 $277.0 \pm 2.1$  Ma 和  $276.6 \pm 2.1$  Ma, 推测矿床为海西期产物; 柴华等<sup>[4]</sup>、黄从俊等<sup>[5]</sup>通过野外勘探, 将成矿时代定为燕山期。然而成岩时代并不能代表成矿时代, 通过野外勘探讨论成矿时代更是证据不足, 其成矿时代仍缺乏准确的年龄

收稿日期: 2016 - 12 - 29; 修回日期: 2017 - 01 - 23; 接受日期: 2017 - 03 - 20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“柴达木盆地大风山特大型天青石矿床的富集成矿机制研究”(41402084); 中国地质调查局地质调查项目“我国三稀金属资源战略调查”(1212011220803), 我国稀有、稀散资源战略调查及研究(1212011220805), 中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务(矿产地质志)(DD20160346)

作者简介: 高允, 硕士研究生, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学方面的研究。E-mail: gaoyun\_10@163.com。

通讯作者: 孙艳, 高级工程师, 主要从事三稀金属资源战略调查研究工作。E-mail: sunyan517@vip.163.com。

数据。

本文在野外考察的基础上,发现该矿床浅部存在大量天河石花岗伟晶岩,其中的白云母与铌钽矿物有着重要的共生关系,是厘定成矿时代的理想对象,通过白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素定年工作,进行了成岩成矿年龄对比,同时针对区域上稀有金属矿床和基础地质资料,讨论了该区的成矿潜力和找矿前景。

### 1 区域地质背景

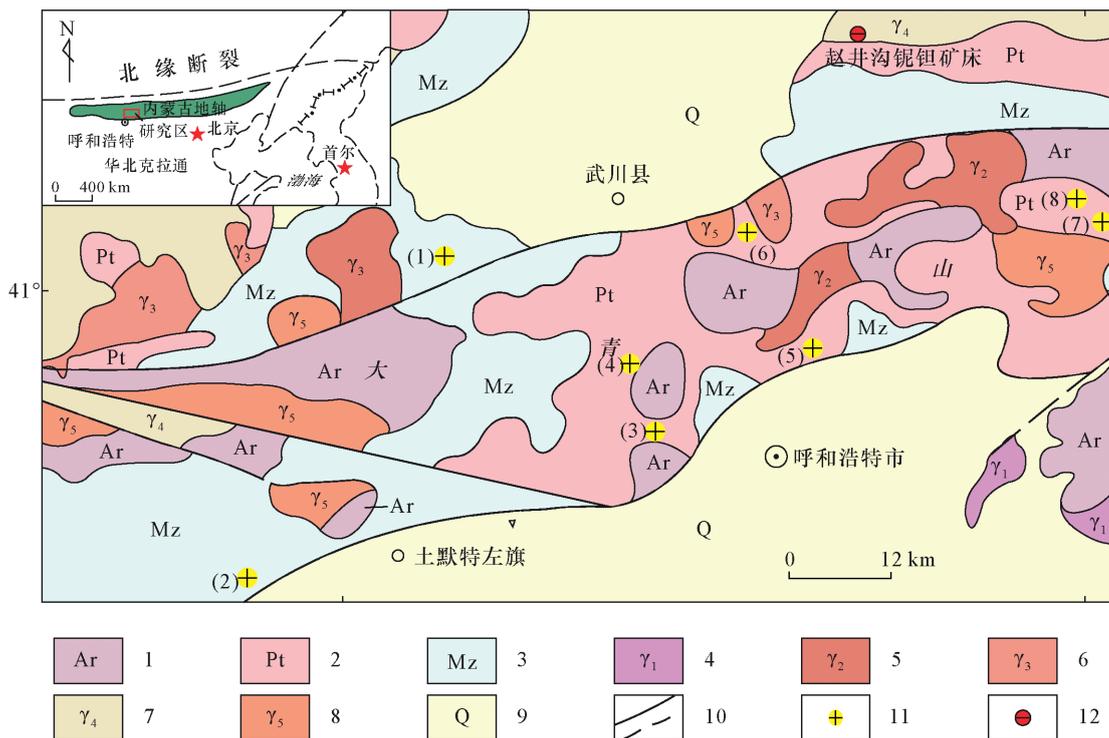
地理位置上,赵井沟铌钽多金属矿床位于内蒙古武川县东北部(图1),成矿区带属于滨太平洋成矿域—华北板块—华北陆块北缘东段成矿带—内蒙隆起东段成矿亚带。大地构造位置属华北古板块的华北陆块北缘内蒙古地轴中部,位于山前(乌拉特前旗—呼和浩特)、山后(固阳—察右中旗)和固阳—土默特左旗三条深大断裂构成的菱形格架中<sup>[3]</sup>。区内分布的地层主要为中元古界渣尔泰群黑云母千枚岩、砂质千枚岩;中石炭统栓马桩组(C<sub>2</sub>s)变质砾岩、变质长石砂岩;第四系全新统松散沉积物。区内总的构造线方向为北东—南西向,侏罗系地层呈单

斜,仅局部有小褶皱及断层。地层中解理、裂隙发育,可分为北东、近东西及北北东向三组,其中前两组最为发育,延伸较远,倾角一般较陡,后期脉岩多沿次两组裂隙贯入,形成良好成矿条件。受构造运动的影响,研究区内岩浆活动比较频繁,不同规模、形态的侵入岩分布广泛,主要有太古代黑云母花岗岩(Ar<sub>1</sub>γβ)、早元古代片麻状闪长岩(Pt<sub>1</sub>δ)和石英闪长岩(Pt<sub>1</sub>δ)、中元古代黑云母花岗岩(Pt<sub>2</sub>γβ)和二长花岗岩(Pt<sub>2</sub>ηγ)、早古生代石英闪长岩和二长花岗岩、晚古生代中粗粒花岗岩和侏罗纪细粒钾长花岗岩<sup>[4]</sup>。其中中生代的碱长花岗岩与铌钽矿体具有密切的分布关系。

区域内除赵井沟铌钽多金属矿床外,还有潘家沟和虎头山铌钽矿点,同时还有很多金矿床、矿化点,很多学者已对该区域的金矿成矿条件和成矿时代进行了论述,其中构造蚀变岩型和岩浆蚀变岩型金矿与燕山活动关系密切<sup>[8-10]</sup>。

### 2 矿床地质特征

区内出露的地层主要有中元古界渣尔泰群



1—太古代变质岩;2—元古代变质火山—沉积岩;3—中生代地层;4—太古代岩浆岩;5—元古代岩浆岩;6—早古生代岩浆岩;7—晚古生代变质岩;8—中生代岩浆岩;9—第四系;10—断裂;11—金矿床(点);12—赵井沟铌钽矿。(1)—东伙房金矿床;(2)—牌楼金矿点;(3)—鹿场金矿床;(4)—摩天岭金矿床;(5)—哈拉沁金矿点;(6)—卯独庆金矿床;(7)—新地沟金矿床;(8)—大汗青金矿点。

图1 内蒙古呼和浩特武川区域地质简图(据文献[3,7]改编)

Fig.1 Simplified regional geological map of Hohhot—Wuchuan area, central Inner Mongolia (Modified from Reference [3,7])

(Pt<sub>2</sub>zh)黑云母千枚岩、砂质千枚岩;中石炭统拴马桩组(C<sub>2</sub>s)变质砾岩、变质长石砂岩;第四系全新统(Qh)松散沉积物。其中中元古界渣尔泰群(Pt<sub>2</sub>zh)呈东西向出露于矿区南部,中石炭统拴马桩组(C<sub>2</sub>s)分布于矿区北部(图2)。矿区构造以断裂为主,主要为早期的北西向断裂和晚期的北东向断裂两组,矿体主要沿北东向断裂分布。中石炭统拴马桩组(C<sub>2</sub>s)地层呈单斜,局部有小褶皱和断层。矿区内发育多期岩浆侵入活动,侵入体主要为中元古代闪长岩、二叠纪碱长花岗岩和侏罗纪钾长花岗岩,其中侏罗纪钾长花岗岩分布于矿区南部,分布面积最大。

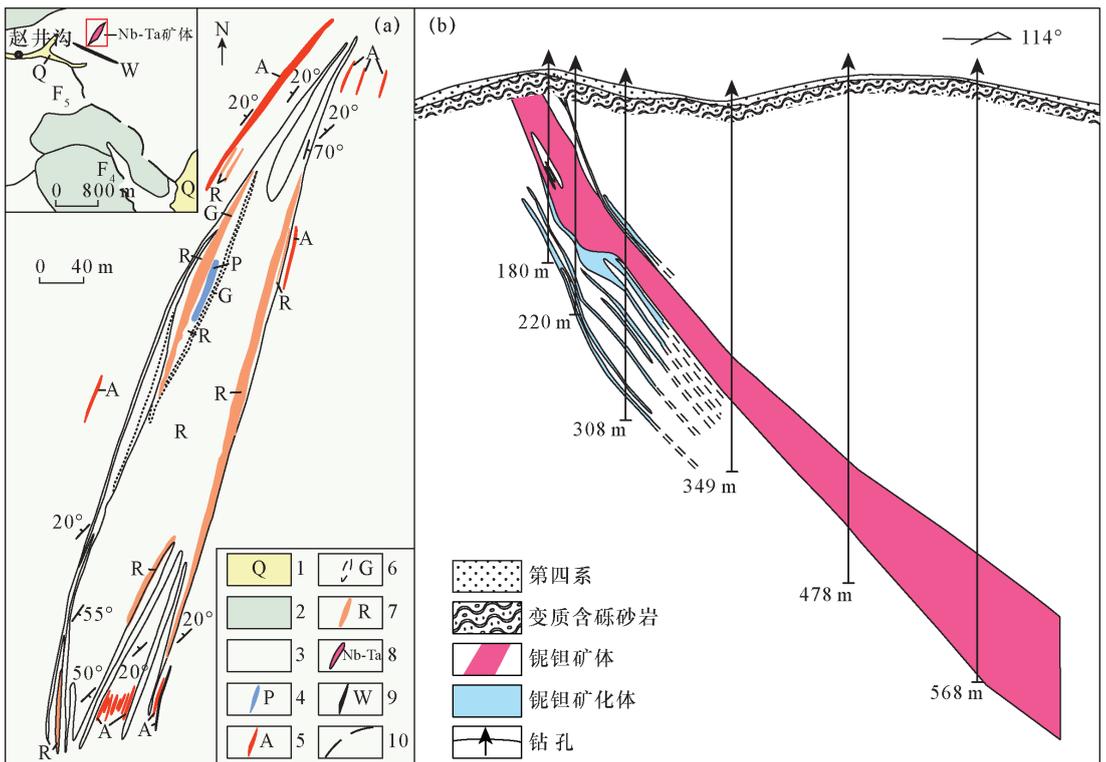
赵井沟主矿岩体呈北东向侵入于地层的构造裂隙中,为一比较规则的脉状体,中部稳定,两端作收缩的扇羽形分叉尖灭。岩体倾角50°~70°,上部较陡,深部及东部较缓,地表矿化岩体总长约450 m,出露宽20~44 m,矿化以含天河石的钠长石化花岗岩、含天河石细晶质钠长岩为特征,其次为含钨石英脉。岩体岩性主要为含天河石钠长石化碱长花岗岩、碱长花岗细晶岩、云英岩和天河石花岗伟晶岩,全区共有40多条规模不等的矿化岩脉和数十条规

模不等的含钨石英脉,呈北东向、北北东向贯穿于石炭系拴马桩组(C<sub>2</sub>s)轻变质砂岩、含砾变质砂岩、轻变质砾岩北东向构造裂隙中<sup>[11]</sup>。下部矿体产状有较大变化,矿体向东南延伸,至400 m左右处明显变厚,且品位明显变富。钻孔资料显示标高1590 m以下,钠长花岗岩由脉状渐变为岩株状,倾角变缓,长度、厚度加大,铌钽矿物平均品位变高。矿体呈浸染状和条带状,并构成脉状、似层状、囊状和透镜状矿体,与岩体没有明显界限<sup>[3]</sup>。较多矿化脉群分布于矿化岩体两侧,其岩性多为细晶质钠长岩、钠长细晶岩及细晶岩。矿化情况因岩脉的蚀变程度不同而不同,其中天河石化、钠长石化对含矿起着决定性作用,强则高,反之则低。

### 3 样品制备及测试

#### 3.1 样品制备

本次用于测年的样品(图3)采自赵井沟矿区的天河石伟晶岩脉,样品为蓝绿色,粗粒不等粒结构,脉状构造,主要矿物为石英、天河石、斜长石和白云母,其中天河石含量约20%,自形程度较好为板状,



1—第四系;2—中石炭统拴马桩组变质长石砂岩;3—中石炭统中石炭统拴马桩组变质砾岩;4—碱长花岗伟晶岩;5—碱长花岗细晶岩;6—云英岩;7—碱长花岗岩(含天河石);8—铌钽矿体;9—含钨石英脉;10—实测和推测断层。

图2 内蒙古武川县赵井沟铌钽矿床(a)地质略图及(b)第Ⅲ号地质勘探线剖面简图(据文献[3]改编)

Fig.2 (a) Simplified geological map of the Zhaojinggou Nb-Ta deposit and (b) Section diagram of No. III exploration line, Wuchuan County, Inner Mongolia (Modified from Reference [3])

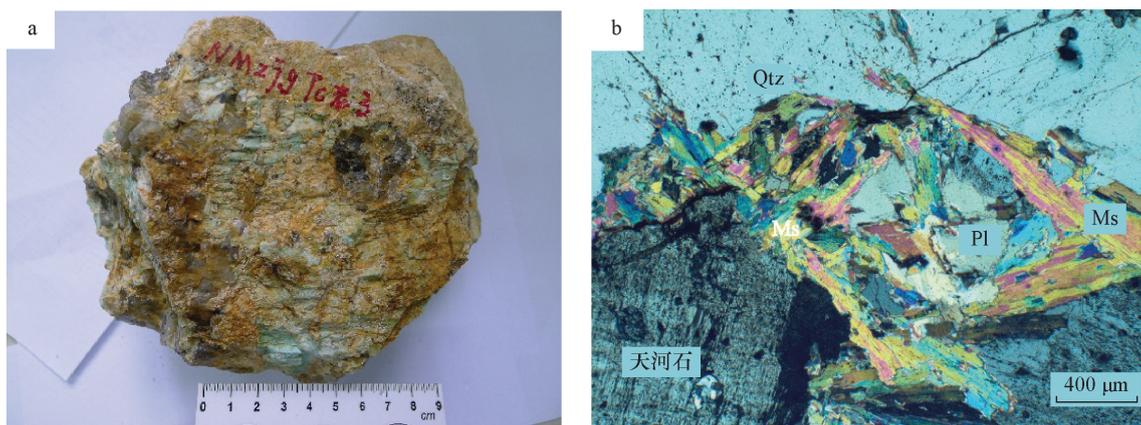


图3 赵井沟铌钽多金属矿床<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 样品照片:(a)矿石照片;(b)显微照片(正交偏光)

Fig. 3 The images of the samples for <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating from the Zhaojinggou Nb-Ta deposit: (a) Ore photo; (b) Microscopic photo

云母含量约3%,石英含量约为35%,为他形粒状。

首先将岩石样品粉碎,挑选其中的云母并且纯度达到99%以上,然后根据陈文等<sup>[11-12]</sup>总结的清洗方法用超声波清洗,除去污垢后将样品封进石英瓶中,在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中接受中子照射。照射适用H4孔道,中子流密度约为 $2.60 \times 10^{13} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。照射总时间为1444 min,积分中子通量为 $2.25 \times 10^{18} \text{ n}/\text{cm}^2$ 。

### 3.2 实验分析

样品测试在中国地质科学院地质研究所同位素热年代学实验室完成,样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热30 min,纯化30 min,质谱分析所用仪器是型号为HelixMC的多接收稀有气体质谱仪,每个峰值均采集20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。中子照射过程中产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的硫酸钾和氟化钙来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$ , $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ , $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。<sup>37</sup>Ar经过放射性衰变校正;<sup>40</sup>K衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ <sup>[13]</sup>;利用Isoplot程序计算坪年龄及正、反等时线。坪年龄误差以2σ给出。详细的测试流程参见文献<sup>[13-14]</sup>。

## 4 结果与讨论

### 4.1 Ar-Ar 定年分析结果

对天河石花岗伟晶岩(样品编号:NMZJG3)中的白云母共进行了16个阶段的加热分析,温度变化范围为700~1430℃,各阶段同位素比值等详细数据见表1,相应的年龄谱图和等时线图如图4a、b所

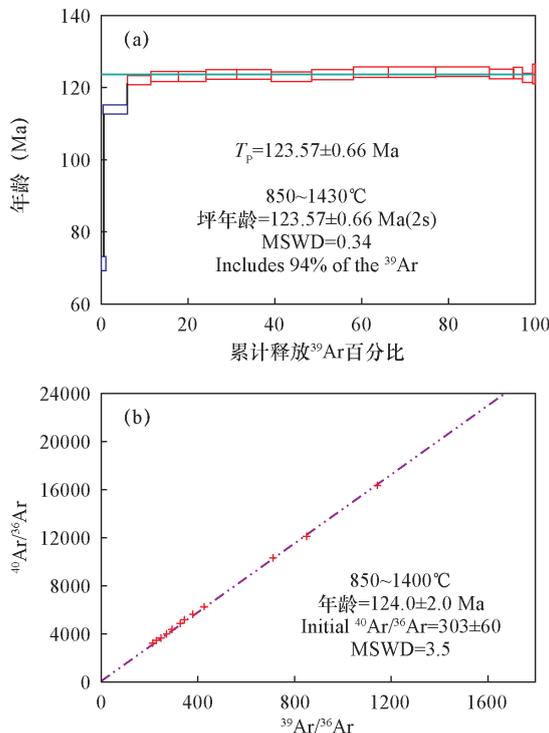


图4 内蒙古赵井沟铌钽多金属矿床白云母(a)<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄和(b)等时线年龄图

Fig. 4 (a) <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar spectrum and (b) isochronal age diagram of muscovite in the Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit, Inner Mongolia

示。由表1可以看出,云母在800℃以下视年龄较小,这可能是由于矿物低温晶格缺陷或矿物边缘少量Ar丢失所致<sup>[15-16]</sup>,低温阶段析出的<sup>39</sup>Ar不足总量的6%,超过94%的<sup>39</sup>Ar是在高温阶段析出的,且构成了很好的年龄坪,坪年龄为 $123.57 \pm 0.66 \text{ Ma}$ ,相应的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar图解(图4b)为一条很

表1 内蒙古赵井沟矿区白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素测年结果Table 1 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isotopic dating results of the muscovite of the Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit, Inner Mongolia

T(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>38</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	<sup>40</sup> Ar(%)	<sup>39</sup> Ar(10 <sup>-14</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar积累(%)	年龄(Ma)	±1σ(Ma)
700	30.0152	0.0743	0.0000	0.0292	26.81	0.29	0.68	71.2	1.8
800	14.6119	0.0053	0.0000	0.0134	89.25	2.25	5.96	114.0	1.1
850	14.3507	0.0012	0.0000	0.0127	97.54	2.32	11.41	122.1	1.2
900	14.3671	0.0009	0.0000	0.0125	98.17	2.69	17.75	123.0	1.2
950	14.5290	0.0014	0.0000	0.0128	97.11	2.75	24.21	123.0	1.2
1000	14.8828	0.0023	0.0000	0.0128	95.30	2.94	31.11	123.6	1.2
1040	15.1928	0.0034	0.0000	0.0131	93.38	3.37	39.02	123.7	1.2
1080	15.3639	0.0042	0.0042	0.0134	91.97	3.96	48.32	123.2	1.2
1120	15.2963	0.0037	0.0000	0.0132	92.78	4.13	58.03	123.7	1.2
1160	15.1614	0.0030	0.0000	0.0130	94.04	3.47	66.18	124.3	1.2
1200	15.0755	0.0027	0.0000	0.0129	94.77	4.58	76.95	124.5	1.2
1240	15.1783	0.0030	0.0000	0.0130	94.21	5.31	89.43	124.6	1.2
1280	15.5225	0.0044	0.0170	0.0133	91.56	2.31	94.86	123.9	1.2
1340	15.6267	0.0047	0.0000	0.0131	91.10	0.87	96.91	124.1	1.4
1400	15.4725	0.0047	0.0000	0.0137	91.02	1.10	99.50	122.8	1.2
1430	18.1905	0.0135	0.0000	0.0157	78.09	0.21	100.00	123.8	2.5

注:表中m代表样品中测定的同位素比值总年龄=122.8 Ma。

好的等时线,计算的等时线年龄为 $124.0 \pm 2.0$  Ma,加权平均方差为3.5。样品初始的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar值为303,在误差范围内与尼尔值( $295.5 \pm 5$  Ma)一致,表明本文所测数据可靠度较高。

样品的总年龄、坪年龄和等时间线年龄在误差范围内一致,因此NMZJG3白云母坪年龄 $123.57 \pm 0.66$  Ma,具有地质意义,可以代表其形成的年龄。

#### 4.2 赵井沟铌钽多金属矿成矿时代的限定

厘定矿床的成矿时代对找矿具有重要意义。赵井沟铌钽多金属矿是近年来新发现的稀有金属矿床,研究程度较低,尤其是其成矿时代的研究。柴华等<sup>[4]</sup>、黄从俊等<sup>[5]</sup>通过野外勘探,将成矿时代定为燕山期,聂凤军等<sup>[3]</sup>通过岩体锆石测年推断矿体是海西期构造-岩浆活动的产物,而具体的成矿时代缺乏精确的年龄证据。该矿床成矿作用与蚀变矿化有重要关系,矿区内碱长花岗岩岩体经后期各种蚀变作用后,使钽、铌及其他稀有金属富集成矿,且钠长石化与天河石化与成矿关系最为密切<sup>[4]</sup>。单矿物<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄指被测定矿物的形成年龄,近年来矿石中脉石矿物云母的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄已被广泛用于指示成矿年龄<sup>[17-19]</sup>。白云母是研究区内重要的脉石矿物,含量占脉石矿物的2%~3%,与铌钽矿物有重要的共生关系<sup>[4]</sup>,是厘定成矿时代的理想对象。

本次研究测得赵井沟铌钽多金属矿中白云母的坪年龄为 $123.57 \pm 0.66$  Ma,等时线年龄为 $124.0 \pm 2.0$  Ma,测试样品中白云母的坪年龄和等时线年龄在误差范围内一致,可以代表其形成年龄,表明赵井沟

铌钽多金属矿床的形成于早白垩世,成矿时代属于燕山晚期,推测该铌钽多金属矿床是燕山运动的产物。

#### 4.3 成矿时代具有的地质意义

赵井沟矿区内高背景值铌钽成矿元素的高钾钙碱性花岗岩岩浆是本矿床成矿的主要物质基础,碱长花岗岩是铌钽多金属矿的主要载矿岩体<sup>[5]</sup>,铌钽矿化与钠长石化、白云母化等蚀变有重要的空间重合关系。聂凤军等<sup>[3]</sup>获得的载矿岩体中锆石U-Pb同位素年代学数据仅能说明其成岩时代为海西期,该期有无矿化现象需进一步的研究。本次研究选取与铌钽矿物有共生关系的白云母为研究对象,获得的年龄数据可以证明矿区内在燕山晚期存在一次重要的稀有金属成矿作用,这对研究其矿床成因具有重要意义。

赵井沟铌钽多金属矿床位于华北地台北缘内蒙古地台中段大青山成矿带,是重要的热液型成矿带。研究区自太古代以来经历了多次构造活动,且伴随许多矿床的形成<sup>[20-22]</sup>。其中燕山晚期该区发生了强烈的构造岩浆活动<sup>[23-27]</sup>。区域上石灰窑稀有金属矿床形成于燕山晚期<sup>[18]</sup>,其成矿时代与赵井沟铌钽多金属矿床相同。据此,本项目组认为内蒙古地台中部在燕山晚期存在一次重要的稀有金属成矿作用。

受构造运动影响,区域上形成了近东西向的主断裂和北东、北西向的次级断裂,岩浆活动频繁且分布广泛。燕山运动既可以产生构造裂隙使岩浆侵入形成新的岩体,又可以提供热能使原有的成矿物质

富集成矿。研究区稀有金属矿床与碱性花岗岩和碱长花岗岩有密切关系,且岩体的蚀变作用如钠长石化、天河石化与铌钽等稀有金属矿化有着密切的共生关系,是成矿的决定性因素。因此区域上碱性花岗岩和碱长花岗岩的分布可以作为寻找稀有金属的重要靶区,钠长石化、天河石化可以作为稀有金属矿床的重要找矿标志。

前人获得的同位素年龄与本次获得的年龄看似矛盾,其实可能意味着岩体本身也是“围岩”,即燕山晚期的成矿流体对海西期、印支期的岩体进行了热液交代,形成了稀有金属矿化及相伴的钠长石化、白云母化等蚀变。这种情况在很多稀有金属矿区都可见。

## 5 结论

赵井沟铌钽多金属矿体受碱长花岗岩体控制,矿化与矿区内广泛发育的钠长石化、天河石化等蚀变关系密切。前人已根据野外地质现象和成矿岩体年龄对矿床成矿时代进行了讨论,但结论不一,且缺乏准确的成矿年龄数据。本次研究利用 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 阶段加热同位素定年方法,测得赵井沟钠长石化花岗岩中白云母的坪年龄为 $123.57 \pm 0.66 \text{ Ma}$ ,等时线年龄为 $124.0 \pm 2.0 \text{ Ma}$ ,样品总年龄、坪年龄和等时线年龄在误差范围内一致,具有地质意义,厘定了赵井沟铌钽多金属矿床的成矿时代为燕山晚期,为燕山运动的产物。

已有的资料显示,区域上已发现的稀有金属矿床的成矿时代同属于燕山晚期,显示华北地台北缘大青山成矿带在燕山运动的晚期存在一次重要稀有金属成矿作用。同时,研究区及相邻区域经历了强烈的构造运动,岩浆活动频繁,含钠长石化细晶花岗岩广泛分布,局部有天河石钠长伟晶岩,钠长石化、天河石化强烈且分布广泛,利于铌、钽、铷、锂等稀有金属发生沉淀和聚集,指示研究区内具有较大的成矿潜力。

## 6 参考文献

- [1] Partington G A, Mcnaughton N J, Williams I S. A review of the geology, mineralization and geochronology of the Greenbushes pegmatite, Western Australia[J]. *Economic Geology*, 1995, 90: 616 - 635.
- [2] Fetherston J M. Tantalum in Western Australia[M]. *Western Australia Geological Survey*, 2004: 162.
- [3] 聂凤军, 王丰翔, 赵宇安, 等. 内蒙古赵井沟大型铌钽

- 矿床地质特征及成因[J]. *矿床地质*, 2013, 32(4): 730 - 743.
- Nie F J, Wang F X, Zhao Y A, et al. Geological features and origin of Zhaojinggou Nb-Ta deposit in Wuchuan county, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(4): 730 - 743.
- [4] 柴华, 武景龙. 内蒙古武川县赵井沟铌钽矿区钠长花岗岩及其成矿作用[J]. *内蒙古科技与经济*, 2013, 289(15): 69 - 71.
- Chai H, Wu J L. Mineralization of albite granites in Zhaojinggou Nb-Ta deposit in Wuchuan county, Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2013, 289(15): 69 - 71.
- [5] 黄从俊, 王道永, 李泽琴, 等. 赵井沟铌钽多金属矿床特征及控矿因素分析[J]. *金属矿山*, 2013(8): 77 - 79.
- Huang C J, Wang D Y, Li Z Q, et al. Analysis of ore-controlling factors and features of Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit[J]. *Metal Mine*, 2013(8): 77 - 79.
- [6] Mi W T, Chai H, Wu J L, et al. Analysis on the metallogenic conditions and perspective of Nb-Ta mineral in Zhaojinggou, Inner Mongolia[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 962: 247 - 250.
- [7] 郑翻身, 徐国权, 冯贞, 等. 内蒙古中部地区绿岩型金矿地质特征及成矿远景预测[J]. *地质学报*, 2005, 79(2): 232 - 248.
- Zheng F S, Xu G Q, Feng Z, et al. Geological characteristics and prospective value of greenstone type gold deposits of central part of Inner Mongolia autonomous area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(2): 232 - 248.
- [8] 赵存祥. 东伙房金矿床成矿构造条件及成矿时代讨论[J]. *内蒙古地质*, 1994(增刊): 16 - 23.
- Zhao C X. Ore-formation structure condition and time of Dong Huofang gold deposit[J]. *Inner Mongolia Geology*, 1994(Supplement): 16 - 23.
- [9] 刘志刚. 内蒙古乌拉山一大青山地区金矿成矿地质条件及成矿规律[J]. *矿产与地质*, 2000, 14(4): 230 - 233.
- Liu Z G. Ore-forming conditions and metallogeny of the gold deposits in Wulashan—Daqingshan region, Inner Mongolia[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2000, 14(4): 230 - 233.
- [10] 钟长汀, 席忠, 赵维宽, 等. 内蒙古大青山地区金矿床类型、控矿规律及找矿方向[J]. *地质调查与研究*, 2005, 28(4): 240 - 249.
- Zhong C T, Xi Z, Zhao W K, et al. Types metalotects and exploration direction of the gold deposit in Daqingshan

- Mountain, Inner Mongolia [J]. Geological Survey and Research, 2005, 28(4): 240-249.
- [11] 陈文, 郭彦如, 崔彬, 等. 东昆仑西大滩岩系变质和变形事件的同位素年代学研究[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 103-109.  
Chen W, Guo Y R, Cui B, et al. Research on the isotopic ages of the deformations and metamorphisms of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountains [J]. Geological Review, 2002, 48(Supplement): 103-109.
- [12] 陈文, 孙枢, 张彦, 等. 新疆东天山秋格明塔什—黄山韧性剪切带<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年代学研究[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 790-804.  
Chen W, Sun S, Zhang Y, et al. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of the Qiugemingtashi—Huangshan ductile shear zone in East Tianshan, Xinjiang, NW China [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 790-804.
- [13] 陈文, 张彦, 金贵善, 等. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 867-872.  
Chen W, Zhang Y, Jin G S, et al. Late cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau—Evidence from Ar-Ar thermochronology [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 22(4): 867-872.
- [14] 张彦, 陈文, 陈克龙, 等. 成岩混层(I/S) Ar-Ar 年龄谱型及<sup>39</sup>Ar核反冲丢失机理研究——以浙江长兴地区P-T界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 2006, 52(4): 556-561.  
Zhang Y, Chen W, Chen K L, et al. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of <sup>39</sup>Ar recoil loss—examples from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province [J]. Geological Review, 2006, 52(4): 556-561.
- [15] 邱华宁, 彭良. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代学与流体包裹体定年[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997: 54-65.  
Qiu H N, Peng L. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Geochronology and Fluid Inclusion Dating [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 1997: 54-65.
- [16] 袁顺达, 侯可军, 刘敏. 安徽宁芜地区铁氧化物-磷灰石矿床中金云母 Ar-Ar 定年及其地球动力学意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 797-808.  
Yuan S D, Hou K J, Liu M. Timing of mineralization and geodynamic framework of iron-oxide-apatite deposits in Ningwu cretaceous basin in the middle-lower reaches of the Yangtze River China: Constraints from Ar-Ar dating on phlogopites [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 797-808.
- [17] 向安平, 余安全, 陈毓川, 等. 内蒙古红花尔基钨钼矿云英岩化白云母 Ar-Ar 定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2016, 35(1): 108-116.  
Xiang A P, She H Q, Chen Y C, et al. Ar-Ar age of muscovite from the greisenization alteration zones of the Honghuaerji tungsten polymetallic deposit, Inner Mongolia, and its geological significance [J]. Rock and Mineral Analysis, 2016, 35(1): 108-116.
- [18] 李建康, 王登红, 付小方. 川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年代学及构造意义[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 843-848.  
Li J K, Wang D H, Fu X F. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of the Keeryin pegmatite type rare metal deposit, Western Sichuan, and its tectonic significances [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(6): 843-848.
- [19] 孙艳, 王瑞江, 李建康, 等. 锡林浩特石灰窑钼多金属矿床白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代及找矿前景分析[J]. 地质论评, 2015, 61(2): 463-468.  
Sun Y, Wang R J, Li J K, et al. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating of the muscovite and regional exploration prospect of Shihuiyao rubidium-multi-metal deposit, Selenhot, Inner Mongolia [J]. Geological Review, 2015, 61(2): 463-468.
- [20] 陈纪明, 刘纲. 内蒙古乌拉山—大青山绿岩型金矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996.  
Chen J M, Liu G. Geological Characteristics of Wulashan—Daqingshan Greenstone Type Gold Deposits, Inner Mongolia [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [21] 肖荣阁, 彭润民, 王美娟, 等. 华北地台北缘西段主要成矿系统分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 362-368.  
Xiao R G, Peng R M, Wang M J, et al. Analysis of major metallogenic systems in western section, northern margin of North China Platform [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(4): 362-368.
- [22] 李洪喜, 杜松金, 张庆龙, 等. 内蒙古大青山地区构造特征与成矿关系[J]. 地质与勘探, 2004, 40(2): 46-50.  
Li H X, Du S J, Zhang Q L, et al. Tectonic features and relations to ore deposits in the Daqingshan region, Inner Mongolia [J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(2): 46-50.
- [23] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(4): 289-295.  
Zheng Y D, Davis G A, Wang Z, et al. Large thrust-fault of Daqingshan, Inner Mongolia [J]. China Science (D Series), 1998, 28(4): 289-295.
- [24] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 大青山逆冲推覆构造形成时代的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(20): 2193-2197.

- Liu Z H, Xu Z Y, Yang Z S. Evidence of  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages for the formation time of the Daqingshan thrust-fault, Inner Mongolia [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48 (20): 2193 – 2197.
- [25] 张进江, 戚国伟, 郭磊, 等. 内蒙古大青山逆冲推覆体系中中生代逆冲构造活动的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 定年[J]. 岩石学报, 2009, 25(3): 609 – 620.
- Zhang J J, Qi G W, Guo L, et al.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of the Mesozoic thrusting in Daqingshan thrust-nappe system, Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(3): 609 – 620.
- [26] Davis G A, Darby B J. Early cretaceous overprinting of the mesozoic Daqing Shan fold-and-thrust belt by the Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia, China [J]. Geoscience Frontiers, 2010, 1: 1 – 20.
- [27] 刘江, 张进江, 郭磊, 等. 内蒙古呼和浩特变质核杂岩韧性拆离带 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 定年及其构造含义[J]. 岩石学报, 2014, 30(7): 1899 – 1908.
- Liu J, Zhang J J, Guo L, et al.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of the detachment fault of the Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(7): 1899 – 1908.

## $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ Dating of Muscovite from the Zhaojinggou Nb-Ta Polymetallic Deposit in Wuchuan County of Inner Mongolia and Its Geological Implications

GAO Yun<sup>1,2</sup>, SUN Yan<sup>1\*</sup>, ZHAO Zhi<sup>1</sup>, LI Jian-kang<sup>1</sup>, HE Han-han<sup>1</sup>, YANG Yue-qing<sup>1</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

### Highlights

- The isotopes dating of  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  of the muscovite represent the metallogenic age.
- Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit was formed at late Yanshanian.
- Rare-metal mineralization happened in the rejoin in late Yanshan Movement.

**Abstract:** The Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit in Inner Mongolia is a newly discovered large rare metal ore deposit. The reserve of Nb-Ta oxides is more than 8200 tons. Previous study focus on geological features of this deposit, but they the precise mineralization age remains unknown. In this paper, muscovite in amazonite granite pegmatite was used to constrain the timing of mineralization using  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotope method. Results show that Nb-Ta mineralization is mainly hosted in alkali-feldspar granite, alkali-feldspar aplite, greisen, and amazonite granite pegmatite. According to the geological relationship between Nb-Ta minerals and muscovite, we can infer that Nb-Ta minerals and muscovite are formed at the same time. Thus, the muscovite plateau ages of  $123.57 \pm 0.66$  Ma and  $124.0 \pm 2.0$  Ma can represent the mineralization age. Results show that the Zhaojinggou Nb-Ta polymetallic deposit was formed at late Yanshanian (or at least Early Cretaceous), the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age have bigger difference with the zircon age, which is of great importance for ore genesis. Combining with regional geology, the author thinks that an essential rare-metal mineralization happened in the middle part of inner Mongolian axis on the north margin of north china platform during the late Yanshan movement.

**Key words:** Nb-Ta polymetallic deposit; amazonite granite pegmatite; muscovite;  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotope age; Zhaojinggou