

文章编号: 0258-7106 (2006) 04-0470-07

新疆哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地质意义*

陈郑辉¹, 王登红¹, 龚羽飞², 陈毓川³, 陈世平³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国矿业联合会, 北京 100044;

3 中国地质科学院, 北京 100037;)

摘要 文章通过对哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素定年研究, 测得该矿床的同位素年龄数据, 其坪年龄为(243±2) Ma。这一结果显示, 镜儿泉的含稀有金属伟晶岩脉是在印支期形成的, 并且在形成之后没有再受到后期地质事件的影响。与阿尔泰成矿省相似, 东天山在印支期也发生了伟晶岩型稀有金属的成矿作用。这表明, 东天山地区的成矿演化与阿尔泰地区具有可比性, 从而为2个地区的地质找矿指出了新的方向。

关键词 地球化学; 印支期; 伟晶岩型稀有金属矿床; 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar法测年; 镜儿泉; 新疆

中图分类号: P597+.1

文献标识码: A

⁴⁰Ar-³⁹Ar isotope dating of muscovite from Jingerquan pegmatite rare metal deposit in Hami, Xinjiang, and its geological significance

CHEN Zheng Hui¹, WANG Deng Hong¹, Gong Yu Fei², CHEN Yu Chuan³ and Chen Shi Ping³

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 China Mining Association, Beijing 100044, China;

3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

⁴⁰Ar-³⁹Ar method was used to date muscovite from the Jingerquan pegmatite rare metal deposit in Hami, Xinjiang and, as a result, some new isotopic geochronological data were obtained. It is shown that this deposit was formed at (243±2) Ma of Indosinian period and since then it has maintained a solid and closed isotopic system. Similar to things of the Altay metallogenic province, mineralization of pegmatite rare metal deposits also occurred in East Tianshan Mountains during the Indosinian period. The results suggest that the mineralization regularity in the Altay region can be applied to East Tianshan region, and that geologists from Altay and from East Tianshan can learn from each other for further exploration.

Key words: geochemistry, Indosinian, pegmatite rare metal deposit, ⁴⁰Ar-³⁹Ar age of muscovite, Jingerquan, Xinjiang

伟晶岩是稀有金属之家, 宝石之库, 长久以来成为矿床学、地球化学学家的研究对象, 亦是探索新成矿理论的重要窗口。伟晶岩型矿床一般以以下稀有元素矿床为主, 如锂、铍、铌、钽、铷、锡、钨、钍等

* 本文得到中国地质调查局大调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价”(K1.4-3-4)、国土资源百人计划项目、科技攻关项目(2003BA612A-01)的联合资助

第一作者简介 陈郑辉, 男, 1973年生, 在读博士, 岩石、矿物、矿床学专业, 主要从事矿产资源评价以及基于GIS的矿产资源评价软件开发研究。Email: chenzhenghui@sina.com

收稿日期 2006-04-13; 改回日期 2006-07-09。李岩编辑。

稀有金属和放射性元素矿产等,同时也是目前世界各国已发现的天然宝石中,产出种类最多、质量较好的矿床。

哈密镜儿泉地区广泛分布着花岗伟晶岩,大地构造位置属于觉罗塔格构造带,其位于东天山构造带的北东侧,康古尔塔格—黄山断裂碰撞带的东侧,该带的北侧为泥盆系的大南湖—头苏泉火山弧和石炭系的哈尔里克火山弧,以康古尔断裂为界,南侧是石炭系的阿齐山—雅满苏火山弧,以雅满苏断裂为界。在杂岩带近东西向延伸数百公里,宽数十公里的范围内,东西向断裂最为发育。杂岩带内侵入岩广泛发育,沿康古尔断裂带线性分布的镁铁-超镁铁杂岩由十数个小岩体组成,从黄山断续向东延伸至镜儿泉,镁铁-超镁铁岩侵入体大致形成于早石炭世(王润民等,1987)。各种类型的花岗岩侵入体亦大量产出,其形成时代大致在晚石炭世—早二叠世,代表晚古生代的碰撞岩浆活动(Colmen,1989),在这个带上分布着众多的铜镍硫化物矿床,同时该地区还

产出一系列的金矿床(点)。镜儿泉伟晶岩稀有金属矿床不仅产出锂、铍等稀有金属(图 1),同时也是哈密市目前发现的唯一花岗伟晶岩型宝石矿床(马兰英,2000),在该矿床中产出的可作宝石的矿物主要是石榴石、锂辉石、天河石、水晶和含锂白云母(丁香紫)以及质量较好的海蓝宝石。本次工作通过该矿床中的白云母测试⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄来确定矿床的形成年龄,获得了精确而可靠的年龄值。这个年龄数据的获得为进行东天山和阿尔泰的成矿对比起到重要的作用,即说明阿尔泰已知的伟晶岩型稀有金属成矿作用在天山地区也可能同样发生。

1 矿区地质特征简介

镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床位于新疆哈密镜儿泉西北 6 km 处。矿区内分布有海西中期闪长岩、黑云母花岗岩和白云母花岗岩。闪长岩和黑云母花岗岩呈白云母花岗岩的捕虏体产出。白云母花岗岩

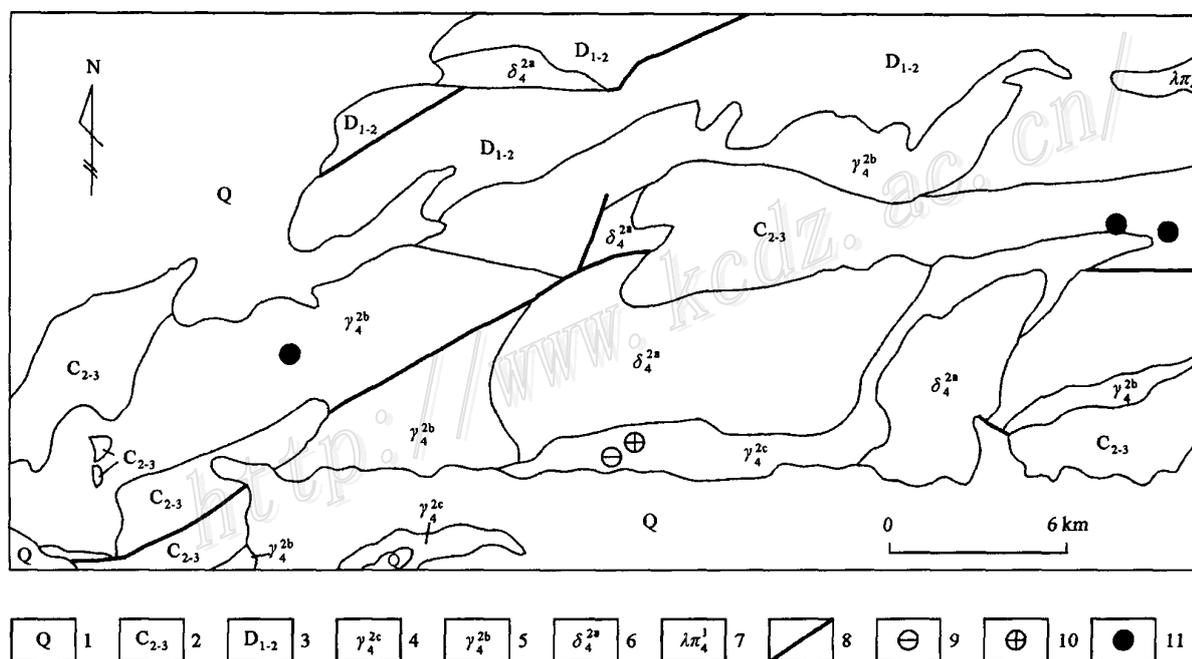


图 1 镜儿泉矿区区域地质简图(据新疆地质矿产局区域地质调查大队,1965)

1—第四系;2—中-上石炭统;3—中下泥盆统;4—海西中期白云母花岗岩;5—海西中期黑云母花岗岩;6—海西中期闪长岩、石英闪长岩;7—海西早期钠长斑岩;8—断层;9—锂矿点;10—铍矿点;11—铜矿点

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Jingerquan pegmatite type deposit (after Regional Geological Survey Party of Xinjiang, 1965)

1—Quaternary; 2—Middle-Upper Carboniferous; 3—Middle-Lower Devonian; 4—Middle Hercynian muscovite granite; 5—Middle Hercynian biotite granite; 6—Middle Hercynian diorite, quartz diorite; 7—Early Hercynian albitophyre; 8—Fault;

9—Li ore spot; 10—Be ore spot; 11—Cu ore spot

局部地段有二云母花岗岩的分异相,含矿伟晶岩与它密切相关(图2)。初步统计区内含矿伟晶岩脉达160余条。铍、锂主要赋存于绿柱石和锂辉石中。其中的3号和4号伟晶岩脉为主要矿脉,分布在破碎带上。该破碎带地表可见到宽数十米到百余米的片麻岩化带或糜棱岩化带。该破碎带形成于岩脉侵入之前,以后仍有活动,使岩脉受到新的破坏。矿区内节理发育,有NW向或近EW向、NE向和近NS向等3组。其中NW向或近EW向的一组较发育,多数小伟晶岩脉和石英脉就沿着这组节理分布。含绿柱石和锂辉石的伟晶岩脉共有3处,其中以3号和4号脉为主,5号脉中只含极少的绿柱石。与宝石有关的矿脉较多,与海蓝宝石有关的主要是1号矿脉。

镜儿泉3号含绿柱石伟晶岩脉 西段延伸方向 215° ,东段 60° 。倾向北,倾角 60° 以上。脉的总长约210 m,东段最大膨胀处长74 m,宽23 m,向深部逐渐尖灭(图2)。岩脉最大膨胀处分带明显。中间为石英核心带,核心东段有绿云母交代现象。绿柱石主要含在石英核心带南侧钠长石化发育的地段,尤其是该带靠地表绿柱石特别集中(呈巢状,最宽约1.5 m,长10余米),向下减少。绿柱石多为浅绿色,部分为黄绿色,最大晶体直径可达40 cm,一般数十

厘米。该脉已采尽,获矿石百余吨。

镜儿泉4号含锂辉石伟晶岩脉 全长280 m,中间膨胀部分长约100 m,宽约35 m。倾向 340° ,倾角约 70° 。除中间膨胀外,两头仍有小膨胀体,最宽达15 m。矿脉向下变窄,至20 m深处,最宽尚不及15 m,向下有继续收缩之势,岩脉分带明显(图3)。中间为石英核心带,向外为锂辉石、微斜长石、石英块体带。上述两带之间局部地段有绿云母大块体。最外部南侧为花岗伟晶岩带,北侧为文象带。锂辉石、微斜长石、石英块体带,靠近地表含锂辉石较富,向下部变贫。锂辉石呈浅粉红色长板状晶体,与微斜长石、石英镶嵌产出,晶体长达0.5~2 m以上,宽达几十厘米。岩脉东西两头小膨胀体中也有少许的锂辉石晶体和紫色含钾长石的锂云母。该矿脉现已获矿石4 000余吨。

与宝石有关的矿脉 区内广泛分布的花岗伟晶岩盛产多种色彩的宝石矿物。如区内1号矿脉,其赋存的矿床长10.3 km,宽3.5 km,脉体出露地表长约500 m,宽1~6 m,矿体上下盘均为片麻状黑云母花岗岩。花岗伟晶岩内部结构自外向内为:①石英-白云母结构带,该带个别处含小晶体绿柱石;②钾微斜长石带,主要矿物为钾微斜长石以及少量石

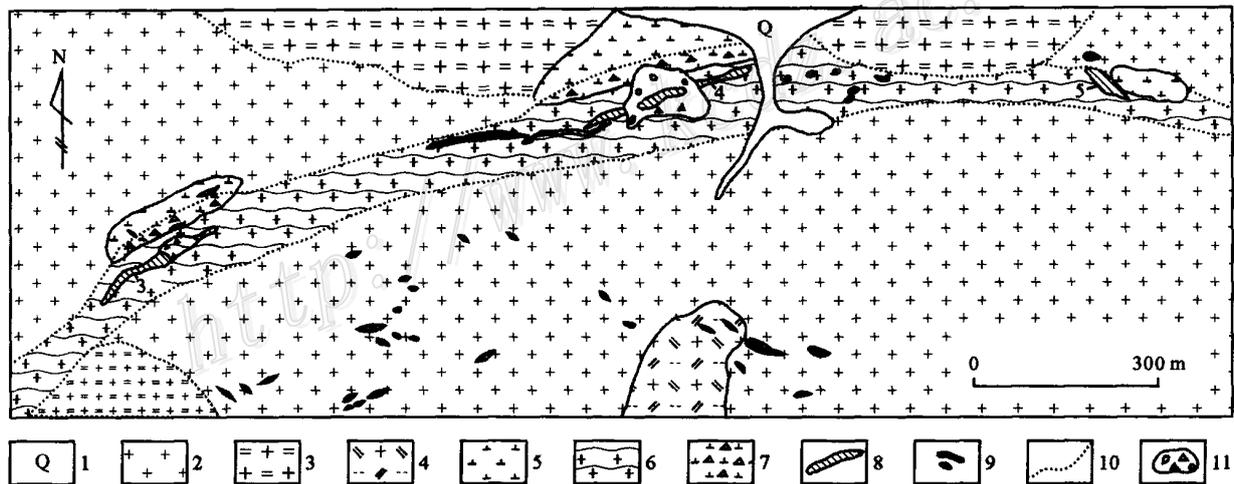


图2 镜儿泉伟晶岩矿平面地质草图(据新疆地质矿产局区域地质调查大队,1965)

1—洪积砂砾石;2—海西中期白云母花岗岩;3—海西中期二云母花岗岩;4—海西中期黑云母花岗岩;5—海西中期闪长岩;6—海西中期片麻状花岗岩;7—糜棱岩化闪长岩;8—含矿伟晶岩脉及编号;9—不含矿伟晶岩脉(宽度略有扩大);10—断层;11—岩相界线;12—采矿碎石堆

Fig. 2 Geological plan of the Jingerquan pegmatite deposit (after Regional Geological Survey Party of Xinjiang, 1965)

1—Diluvial sandy gravel; 2—Middle Hercynian muscovite granite; 3—Middle Hercynian muscovite-biotite granite; 4—Middle Hercynian biotite granite; 5—Middle Hercynian diorite; 6—Middle Hercynian gneissic granite; 7—Mylonitized diorite; 8—Ore-bearing pegmatite dike and its serial number; 9—Barren pegmatite dike (width enlarged slightly); 10—Fault; 11—Lithofacies boundary; 12—Quarry broken material

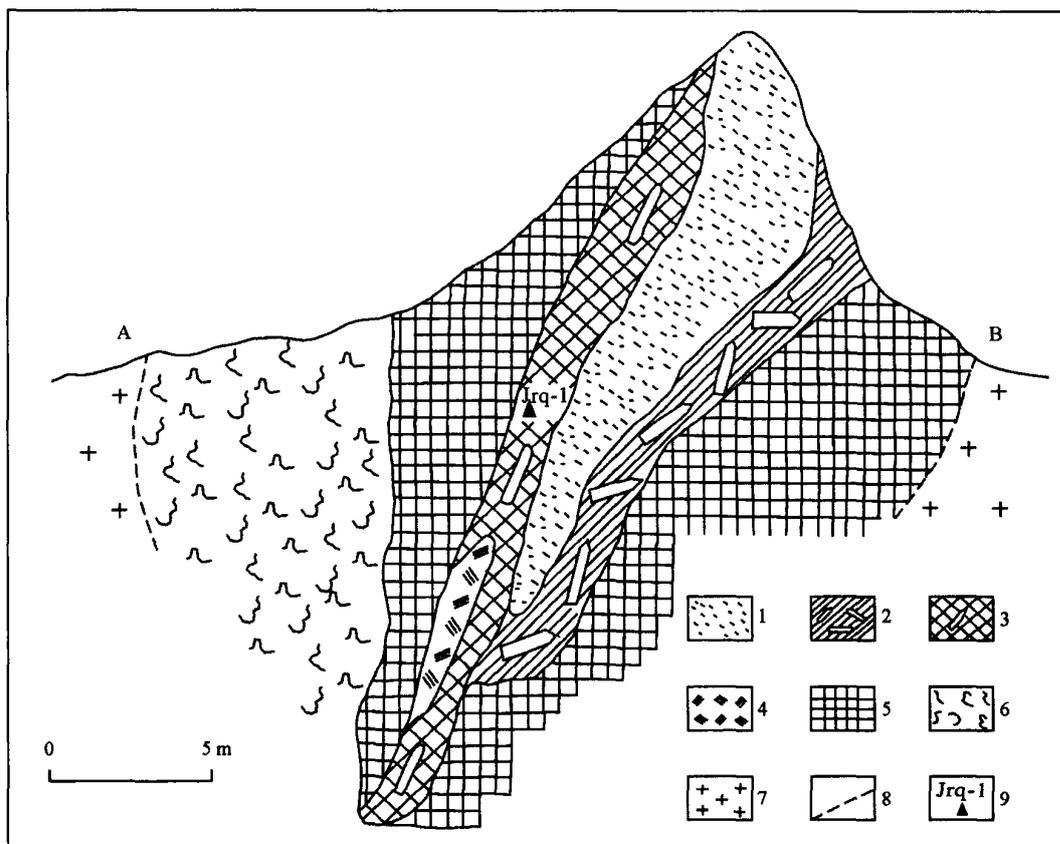


图 3 镜儿泉伟晶岩脉示意剖面图(据新疆地质矿产局地质调查大队,1965)

1—石英核心带;2—绿柱石、钠长石化微斜长石石英带;3—含绿柱石的钠长石化微斜长石石英带;4—绿云母;5—长石、石英伟晶岩;
6—文象带;7—白云母花岗岩;8—推测地质界线;9—采样位置及编号

Fig. 3 Geological section showing pegmatite veins in the Jingerquan pegmatite deposit

1—Quartz core belt; 2—Beryl and albite-bearing microcline-quartz belt; 3—Beryl-bearing albitized microcline and quartz belt; 4—Green mica;
5—Feldspar-quartz pegmatite belt; 6—Graphic belt; 7—Muscovite granite; 8—Inferred geological boundary; 9—Sampling site and its serial number

英-白云母集合体;③石英核,海蓝宝石产于钾微斜长石带与石英核接触部位。该区的海蓝宝石主要产在花岗伟晶岩体膨大部位石英核的晶洞内,共生矿物为水晶。主要成分为 Al_2O_3 、 SiO_2 、 BeO ,三者总量在 95%左右,其他微量元素的总和一般小于 2%,主要微量元素有 Fe、Ti、Li、K、Na 等。

2 样品制备及测试

本次工作对镜儿泉稀有金属矿区的片状白云母(样号 Jrq-1)进行了⁴⁰Ar/³⁹Ar 快中子活化法分析。测试工作在中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 法定年实验室完成。白云母样品的质量为 50.80 mg,照射参数 J 为 0.011565,加热阶段 13 个。

选取纯白云母(纯度 > 99%)用超声波清洗。清

洗后的样品被封进石英瓶内置于核反应堆中接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池核”中进行的。使用 H8 孔道,其中子流密度为 $6 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 3 094 min,积分中子通量为 $1.2 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ 。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析在 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。中子照射过程所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{Ca} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_K = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{Ca} = 0.000806$ 。³⁷Ar 经过放射性衰变校正;⁴⁰K 衰变常数 $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;年龄误差以 1σ 给出。详细实验

流程见陈文等(2002)的文章。测得的氩同位素组成见表1。所获得的坪年龄和反等时线及等时线年龄分别见图4、5、6。

3 讨论与结论

3.1 成矿时代

测试结果表明,镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的坪年龄为 (243 ± 2) Ma,这一年龄代表了测试过程中 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上几乎全部的 ^{39}Ar 释出量(占总量的99.44%),也就是说低温阶段没有再给出有意义的坪年龄。可见,243 Ma的数据不但是可靠的,而且是唯一的。这一结果与其等时线年龄 $[(242.9 \pm 4.8)$ Ma, MSWD=0.15]和反等时线年龄 $[(243 \pm 3)$ Ma, MSWD=2.0]是非常一致的。因此,笔者认为,所测定的白云母是在243 Ma左右形成的,也就是说镜儿泉的含稀有金属伟晶岩脉是在印支期的早三叠世形成的,并且在形成之后没有再受到后期地质事件的影响而破坏其同位素系统的封闭性。

这一结果也说明,与阿尔泰成矿省一样(王登红等,2002),东天山也存在印支期的伟晶岩型稀有金属成矿作用。阿尔泰地区的小喀拉苏(白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法坪年龄为233.8 Ma)和大喀拉苏(白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法坪年龄为248.4 Ma。王登红等,2003)等大型伟晶岩型稀有金属矿床就形成于印支期。

3.2 成矿构造环境

近年来,造山带金属成矿作用的研究得到了深入和加强(毛景文等,2002),但是,并非所有的金属

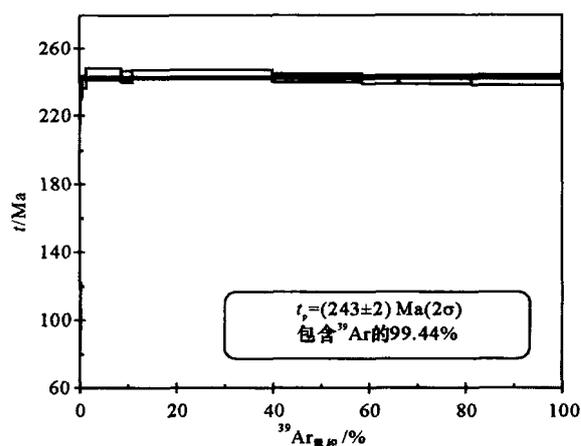


图4 镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法年龄谱

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ spectrum age of muscovite from the Jingerquan deposit

矿床都形成于造山过程中,而且造山过程的不同阶段所形成的矿床在矿种、类型、规模、组合等方面都是有所区别的,由此而提出了“成矿谱系”、“成矿系列组”等新概念。与阿尔泰类似,东天山地区也处于典型的海西造山带,在海西造山过程中形成了小热泉子、土屋、黄山东、康古尔塔格等不同类型的金属矿床。那么,海西造山作用结束于何时?结束之后又会形成什么矿床呢?本文对哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床成矿时代的精确测定,表明海西造山运动在243 Ma之前就已基本结束,印支初期进入了新的以陆内成矿作用为主的阶段,构造上相对稳定,满足了伟晶岩型矿床形成所需要的相对稳定、封闭

表1 镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法分析结果

Table 1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating results of muscovite from the Jingerquan deposit

$\theta/ (^{\circ}\text{C})$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}^*$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{ mol}$	^{39}Ar 累积/%	$t_a \pm 1\sigma/\text{Ma}$
400	20.5720	0.0354	0.2139	0.0198	10.1132	11.86	0.06	200 ± 12
500	24.3174	0.0654	1.2004	0.0496	5.0638	3.03	0.08	103 ± 20
600	15.6880	0.0146	0.1695	0.0439	11.3871	13.21	0.15	223.2 ± 9.9
700	15.5016	0.0119	0.2611	0.0424	11.9951	21.36	0.26	234.4 ± 5.1
800	14.3234	0.0080	0.0739	0.0189	11.9607	55.73	0.56	233.7 ± 3.7
900	14.5323	0.0075	0.0169	0.0143	12.3055	143.66	1.32	240 ± 3.5
1000	13.4811	0.0031	0.0038	0.0136	12.5722	1393.61	8.69	244.9 ± 3.6
1050	12.8042	0.0011	0.0059	0.0132	12.4889	437.74	11.01	243.4 ± 3.4
1100	12.7269	0.0005	0.0005	0.0131	12.5833	5474.19	39.99	245.1 ± 2.4
1150	12.5640	0.0004	0.0008	0.0128	12.4359	3512.36	58.58	242.4 ± 2.5
1200	12.6041	0.0008	0.0011	0.0131	12.3747	1442.66	66.22	241.3 ± 2.5
1300	12.5184	0.0005	0.0010	0.0130	12.3795	2843.47	81.27	241.4 ± 2.7
1400	12.4912	0.0004	0.0005	0.0129	12.3712	3538.07	100.00	241.2 ± 3.1

注:表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值。样重 50.80 mg, J=0.011565。* 为放射成因 ^{40}Ar 与 ^{39}Ar 之比。

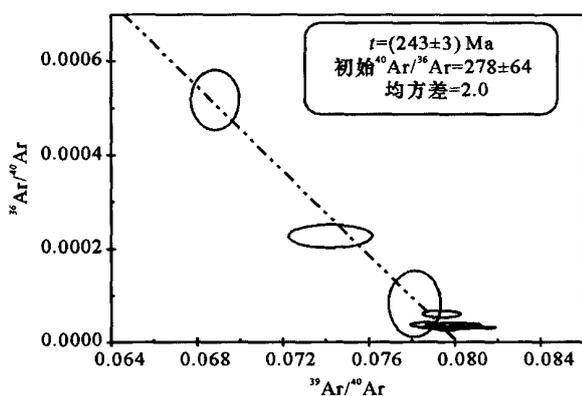


图 5 镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 反等时线

Fig. 5 Inverse ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron age of muscovite from the Jingerquan deposit

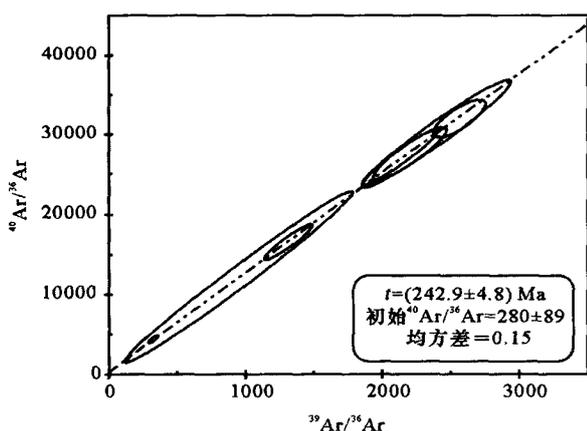


图 6 镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床中白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 等时线

Fig. 6 ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron age of muscovite from the Jingerquan deposit

的构造条件^①。与镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床相邻的小白石头泉钨矿(244 Ma)、金窝子金矿(230 ~ 228 Ma)、南金山金矿(250.6 ~ 232.7 Ma)等也都形成于印支期,康古尔塔格金矿和石英滩金矿也都有印支期成矿或改造的记录(李华芹等,2004),且更晚于镜儿泉,意味着镜儿泉伟晶岩型矿床可以作为海西造山运动结束之后、印支期成矿作用开始的一个标志。

3.3 找矿方向

从构造演化的角度来理解,天山地区在经历了海西期强烈的褶皱造山运动之后,到印支期逐渐进入稳定的演化阶段,但此时的岩浆侵入活动仍然有延续并且形成了伟晶岩型的稀有金属矿床。这初步证实了笔者从阿尔泰与天山对比研究中得出的认识,即天山的构造、成矿历史与阿尔泰可以对比,阿尔泰已知的成矿作用在天山地区也可能同样发生。那么,天山地区是否会出现印支期之前(如海西期、加里东期甚至更早)或之后(如燕山期)的稀有金属矿床,并且呈现出越晚成矿规模越大的演化趋势呢?目前还不能下结论。但考虑到以往寻找伟晶岩型稀有金属矿床的工作主要集中在阿尔泰地区,在天山地区开展得比较少,仅仅从镜儿泉矿区来看,3号矿脉和4号矿脉在地表已采空或近于采空,但矿区外围伟晶岩脉甚为广泛,尚有新矿脉发现之可能,今后应当考虑作进一步的普查。推而广之,整个天山地区应该重视从成矿谱系的角度,借鉴阿尔泰地区的成矿规律来指导地质找矿。王登红等(2001;2002)曾经通过对阿尔泰地区稀有金属矿床成矿时代的系统研究,证实了阿尔泰地区存在多期次的伟晶岩型矿床,并具有越到后期矿床规模越大、伟晶岩脉分带性越好、矿物组合越复杂、矿物晶体越大、元素组合越来越多样化的特点,并通过与天山成矿省的对比,提出天山地区也可能出现类似的成矿规律。本次对哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床成矿时代的研究,为东天山地区成矿规律的研究提供了新的认识,即在东天山地区进行地质找矿时,不妨参考阿尔泰的成矿规律,而阿尔泰地区也不妨参考东天山地区的成矿规律,这样有助于开拓找矿思路。

References

- Chen W, Liu X Y and Zhang S H. 2002. Continuous laser stage raising temperature ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronological dating research[J]. *Geol. Rev.*, 48(Supp.): 127 ~ 134 (in Chinese with English abstract).
- Colmen R G. 1989. Continental growth of Northwest China[J]. *Tectonics*, (3): 621 ~ 635.
- Li H Q and Chen F W. 2004. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 391 p (in Chinese).

① 陈毓川,王登红,等. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京:地质出版社. 出版中.

- Ma L Y and Chen J H. 2000. Aquamarine discovery in Jing'erquan mining district of Hami in Xinjiang[J]. *J. Gems & Gemmology*, 2(3) : 61 ~ 62(in Chinese with English abstract). Mao J W, Yang J M, Han C M and Wang Z L. 2002. Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in eastern Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Earth Science*, 27(4) : 413 ~ 424 (in Chinese with English abstract).
- Regional Geological Surveying Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang. 1965. Map of mineral deposits at 1 : 200 000 — Wutong Woziqian[M]. 15 ~ 20 (in Chinese).
- Wang D H, Li H Y and Zou T R. 1998. Types and orogenic process of the rare metal deposits in Altay[J]. *Mineral Deposits*, 17(Supp.) : 25 ~ 28 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C and Xu Z G. 2001. Chronological study of Caledonian metamorphic pegmatite muscovite deposits in the Altay Mountains, Northwestern China, and its significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(3) : 419 ~ 425 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Li T D and Fu X J. 2002. Metallogenic series and metallogenic rule in Altay metallogenic province[M]. Beijing : Atomic Press. 493p.
- Wang D H, Chen Y C and Xu Z G. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating on muscovites from Indosinian rare metal deposits in Central Altay, Northwestern China[J]. *Bull. Mineral. Petrol. & Geochem.*, 22(1) : 14 ~ 17 (in Chinese with English abstract).
- Wang R M, Liu D Q and Yin D T. 1981. Ore-forming control conditions for Cu-Ni sulfide deposits and the research on the prospecting in Tudun-Huangshan area of Hami in Xinjiang[J]. *J. Mineral. Petrol.*, (1) : 1 ~ 159 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 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.
- 李华芹, 陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京 : 地质出版社. 391 页.
- 马兰英, 陈建华. 2000. 新疆哈密镜儿泉矿区发现海蓝宝石[J]. *宝石和宝石学杂志*, 2(3) : 61 ~ 62.
- 毛景文, 杨建民, 韩春明, 王志良. 2002. 东天山铜多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型[J]. *地球科学*, 27(4) : 413 ~ 424.
- 王登红, 李红阳, 邹天人. 1998. 阿尔泰稀有金属矿床的类型与造山过程[J]. *矿床地质*, 17(增刊) : 25 ~ 28.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2001. 阿尔泰加里东期变质成因伟晶岩型白云母矿床的年代学研究及其意义[J]. *地质学报*, 75(3) : 419 ~ 425.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京 : 原子能出版社. 493 页.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2003. 新疆阿尔泰印支期伟晶岩的成矿年代学研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 22(1) : 14 ~ 17.
- 王润民, 刘德权, 殷定泰. 1987. 新疆哈密土墩-黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究[J]. *矿物岩石*, (1) : 1 ~ 159.
- 新疆地质矿产局区域地质调查大队. 1965. 1 : 20 万矿产图—梧桐窝子泉幅[M]. 15 ~ 20.