

# 内蒙古额尔古纳虎拉林金矿床钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄及其意义\*

王科强<sup>1,2</sup>, 黄辉<sup>1,2</sup>, 王治华<sup>2</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 宋贵斌<sup>3</sup>, 刘忠田<sup>3</sup>

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000;

3 中国人民武装警察部队黄金第三支队, 黑龙江 哈尔滨 150049)

**摘要** 虎拉林中型岩金矿床是首次在额尔古纳成矿带北段发现的爆破角砾岩型金矿床。通过对其矿石中钾长石进行 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 阶段升温法年龄测定, 得出其坪年龄为(136.34±0.36) Ma, 等时线年龄为(138.77±1.54) Ma, 成矿时代确定为晚侏罗-早白垩世, 即燕山中晚期。通过对矿床的形成与区域构造演化历史及构造-岩浆活动的关系分析研究, 认为额尔古纳成矿带北段金矿床的形成与蒙古-鄂霍茨克中生代构造-岩浆演化有关。

**关键词** 地质学; 钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄; 虎拉林金矿床; 内蒙古

成矿地质年代学工作是当今矿床学研究的前沿课题。准确的成矿年代测定是矿床研究和对比的基础。裴荣富(1994)曾指出, 成矿年代学是认识金属成矿省演化的计时钟。科学地划分成矿时代, 研究成矿时代与区域乃至全球地质构造演化之间的关系, 对于认识矿床成因、矿床时空分布规律及预测寻找同类型矿床有着重要意义。在近十年的金矿研究中, 金矿成矿年代学成为研究热点, 国内外矿床学家几乎把当今所有测年法皆引入了金矿定年工作(李俊健, 1997)。如蚀变矿物及石英的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 法和K-Ar法, 石英流体包裹体的Rb-Sr等时线法, 白钨矿的Sm-Nd等时线法和矿物-全岩Sm-Nd等时线法及单颗粒水热锆石、金红石、榍石、磷灰石的U-Pb法等。

与金矿化相关的蚀变矿物的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 计时法是近30年发展起来的传统K-Ar计时法的一个分支, 是很重要的确定成矿时代的方法之一, 也是近几年国内外确定金矿床成矿时代的主要方法, 其根据矿物共生关系, 通过对黑云母、钾长石、绢云母、白云母、石英及角闪石等单矿物样品做 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 阶段加热分析确定金矿的成矿时代(Groff et al., 1997; 李厚民等, 2003; 彭建堂等, 2003; 陈文等, 2002; 庞奖励等, 1997)。利用 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 法确定金矿的成矿时代具有以下优点(陈岳龙等, 2005; 谢桂清等, 2001;): ①它测定的对象广泛且用量较少, 只需对一个样品进行定年, 易于采集和分选样品; ②氩是气体, 易于消除次生包裹体的干扰; ③采用阶段真空提取分析技术, 只需一个样品即可获得年龄谱和等时线年龄; ④应用阶段加热技术得到样品的年龄图谱, 往往反映样品所经历的受热历史, 并且根据等时线获得的初始值可判断样品中是否含有过剩氩。

## 1 矿床地质概要

虎拉林中型金矿床位于内蒙古额尔古纳市恩和哈达镇毛河上游, 上黑龙江盆地西部。大地构造位置处于华北板块和西伯利亚板块之间, 属西伯利亚板块东南大陆边缘、额尔古纳非火山型被动陆缘(额尔古纳

\*本文得到国土资源大调查项目《内蒙古额尔古纳成矿带北段以金为主的资源综合调查评价》(项目编号: 20011020001)的资助  
第一作者简介 王科强, 男, 1967年生, 高级工程师, 在读博士, 金矿床地质、成矿区划、勘查地球化学与矿产经济。

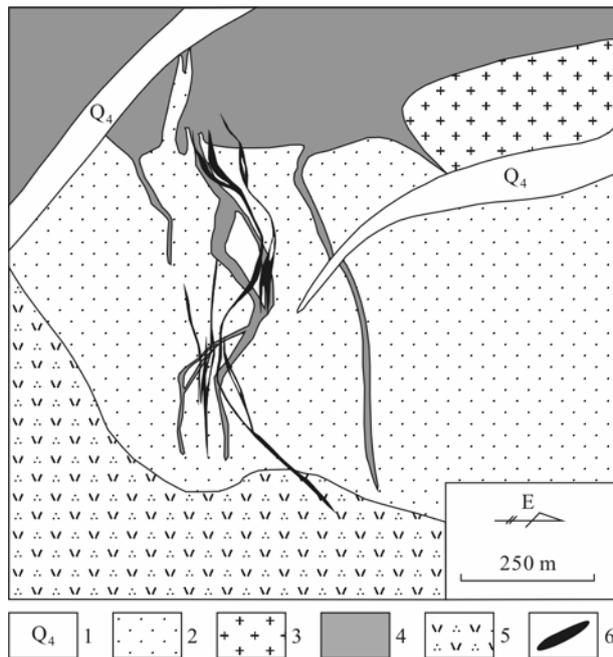


图1 虎拉林金矿区地质略图

1—第四系；2—中侏罗统绣峰组（J<sub>2x</sub>）含砾粗砂岩、凝灰质砂岩、蚀变含岩屑长石石英砂岩等；3—燕山期花岗岩株（ $\gamma_5^2$ ）；4—燕山期花岗岩（ $\gamma\pi_5^2$ ）；5—燕山期石英岩（ $\lambda\pi_5^2$ ）；6—金矿体

处硅化强烈,有时呈渐变过渡。沿 NE 向控矿构造发育一系列爆破角砾岩筒（带），金矿（化）体主要产于爆破角砾岩筒（带）中。

目前矿区内共圈出 6 条矿（化）体，1、2 号矿体为主矿体，走向近南北。矿体明显受爆破角砾岩筒控制，矿体与围岩无明显界线，呈渐变关系，需按分析结果圈定矿体。

矿石类型以角砾岩型为主。其以角砾状构造和细脉穿插为特点，胶结物以火山玻璃、长英质及粉屑为主，此外，还有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物作为胶结物。角砾的粒度和含量随深度的增加有变小（少）的趋势。

矿石结构主要为自形-半自形结构、他形结构、包含结构、交代结构等。矿石主要构造为浸染状、角砾状、脉状、团块状、网脉状构造等。

矿石中金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等，脉石矿物主要有石英、长石、方解石、绢云母、绿泥石及粘土矿物等。

矿床围岩蚀变以低温热液蚀变为主，主要蚀变有硅化、钾化、黄铁矿化、黄铜矿化、褐铁矿化、粘土矿化、绿帘石化、绢云母化等。其中浅部以硅化为主，深部以钾化为主，绢云母化-碳酸盐化随深度的增加而趋于变强。

表 1 虎拉林矿区硫同位素组成

样号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
Ehb-28	黄铁矿	-0.2
Ehb-36	黄铁矿	0.0
Ehb-55	黄铁矿	+0.6
Ehb-61	全岩	+0.8

中国地质科学院矿床所实验室测定，2002。

增生造山带）中的狭长状中蒙古-额尔古纳微板块。北以蒙古-鄂霍次克缝合带与斯塔诺夫带相接（西伯利亚南缘地体群），东南以得尔布干断裂与兴安地体相邻。

矿区范围内出露的地层主要为中侏罗统绣峰组，岩性为一套陆源碎屑岩—含砾粗砂岩、凝灰质砂岩、中粒砂岩、含岩屑长石石英砂岩（图 1）。

构造位于区域性乌玛-金沟 NE 向深大断裂西北侧，由浅成侵入体引起的毛河环状构造外环上。控矿断裂为 SN 向张性构造带，走向一般  $340\sim 15^\circ$ ，倾角  $50\sim 70^\circ$ 。NE 向压扭性断裂构造为成矿后断裂，走向  $30\sim 50^\circ$ ，倾角较缓，倾向 NW，对矿体错动不大。

岩浆岩为燕山期花岗斑岩、石英斑岩、闪长玢岩和爆破角砾岩。花岗斑岩、石英斑岩以岩株或岩枝状穿插于中侏罗统绣峰组中，花岗斑岩以长石、石英为斑晶，硅化强烈地段几乎见不到长石斑晶的存在，石英斑岩中石英斑晶呈他形，熔蚀强烈，颗粒大小不一，两类斑岩在空间上与矿化体紧密相伴，斑岩与砂岩接触

矿区黄铁矿、全岩样品的硫同位素组成如表 1。由表 1 知，虎拉林金矿区  $\delta^{34}\text{S}$  变化范围窄，离散性小，所测样品  $\delta^{34}\text{S}$  值变动范围为  $-0.2\text{‰}\sim +0.8\text{‰}$ ，具有深源岩浆硫特征。

稀土元素配分模式曲线（图 2）表明，虎拉林金矿区矿化砂岩、矿化花岗斑岩、矿化角砾岩具有相似的变化形式，均为左高右低，重稀土元素含量相对减

少的右倾形式, 矿化砂岩具铀亏损, 矿化花岗斑岩则与其相反, 矿化角砾岩铀亏损不明显, 属于同一源区岩浆的产物。

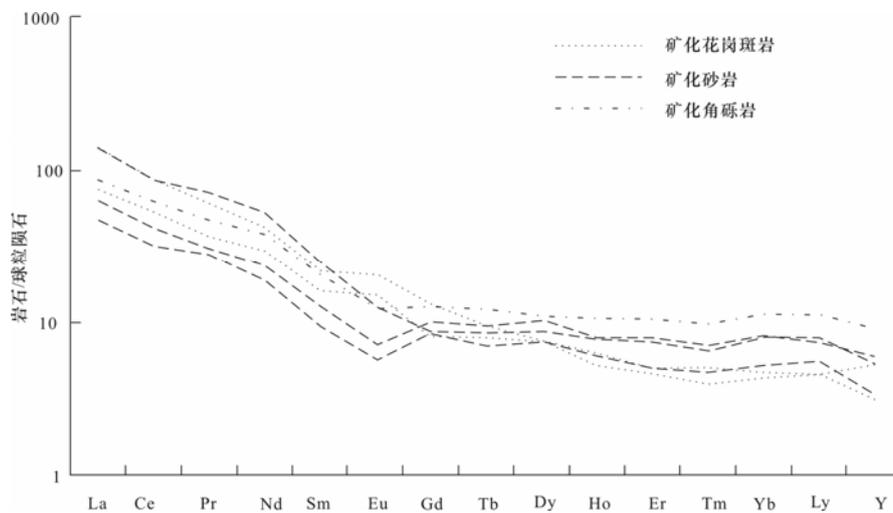


图 2 虎拉林矿区稀土配分图

关于虎拉林金矿的成因, 张勇等 (2003) 认为其与爆破角砾岩有密切成因联系, 为爆破角砾岩型金矿床。丁清峰等 (2006) 认为虎拉林金矿的控矿构造主要为角砾岩筒构造, 成矿作用经历了早期与黑云母闪长玢岩有关的似斑岩型热液成矿期和晚期与晚阶段流体水压破裂作用有关的高硫化型浅成低温热液成矿期两期的热液金矿成矿作用, 分别形成虎拉林矿区角砾岩筒内浸染状矿化和脉状矿化。

## 2 样品制备及测试结果

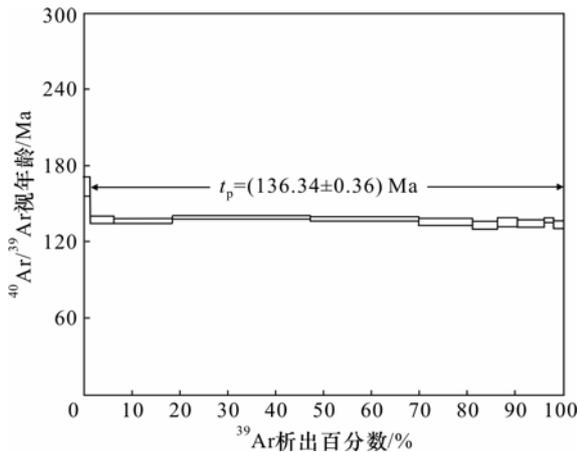
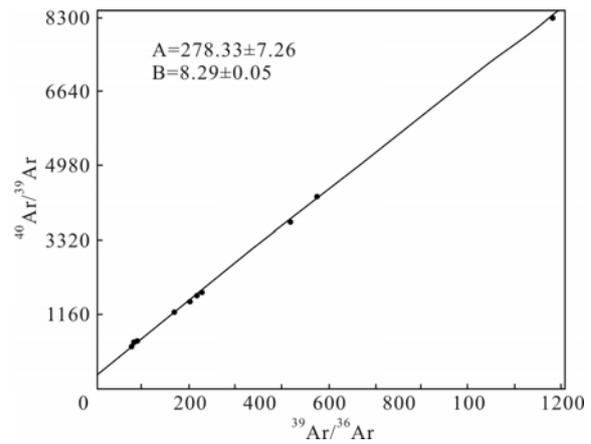
本次  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄测试样品采自 CM7601 坑道内。样品编号 Ehb-36, 岩性为蚀变石英二长斑岩, 致密块状, 其中黄铁矿呈浸染状分布, 另穿插有石英细脉。

钾长石单矿物挑选由廊坊区域地质调查研究所单矿物分离室完成, 纯度大于 99%。测试工作由中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 法定年实验室采用  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  阶段升温法完成, 加热阶段 11 个。测试结果见表 2、图 3、图 4。

表 2 虎拉林金矿床 Ehb-36 钾长石快中子活化法  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  地质年龄数据表

$\theta/^\circ\text{C}$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}_m$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}_m$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}_m$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$t_a/\text{Ma}$	$^{39}\text{Ar}_{\text{累计}}/\%$
400	31.34160	0.07290	0.05770	9.79880	$162.90 \pm 7.40$	1.62
500	11.67850	0.01180	0.00230	8.19610	$137.20 \pm 2.50$	6.27
600	9.88600	0.00590	0.00660	8.13230	$136.20 \pm 2.00$	18.56
700	8.9180	0.00210	0.00630	8.29100	$138.80 \pm 1.40$	47.33
800	8.51610	0.00100	0.00470	8.20760	$137.40 \pm 1.60$	69.90
900	8.77240	0.00240	0.00880	8.06320	$135.10 \pm 2.40$	81.10
1000	9.19060	0.00440	0.02610	7.88920	$132.30 \pm 2.90$	86.44
1100	9.51000	0.00500	0.05000	8.04070	$134.70 \pm 3.50$	90.53
1200	9.37010	0.00460	0.02330	8.00340	$134.10 \pm 2.50$	96.22
1300	11.41840	0.01110	0.03080	8.14830	$136.50 \pm 1.90$	98.12
1400	11.75540	0.01290	0.03510	7.94780	$133.20 \pm 2.70$	100.00

测试单位: 中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 法定年实验室; 测试人: 张彦、张思红等。

图3 虎拉林金矿床Ehb-36 钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 坪年龄图4 虎拉林金矿床Ehb-36 钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄

从分析结果看,虎拉林金矿床经历的热事件单一,Ehb-36 样品钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图上 11 个加热阶段(400~1400℃)中的 10 个视年龄接近,构成了一个年龄坪,对应的 $^{39}\text{Ar}$ 析出量为 98.38%,坪年龄为(136.34±0.36) Ma。由这 10 个数据构成的等时线年龄为(138.77±1.54) Ma (MSWD=0.4655,  $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的初始值为 278.33±7.26),坪年龄与等时线年龄数据接近,表明数据可靠且有地质意义,代表了钾长石的形成年龄。低温阶段(400℃)视年龄较大,为(162.90±7.40) Ma,可能受流体包裹体中过剩氩的影响,无地质意义。

考虑到虎拉林金矿床的成因与爆破角砾岩关系密切,成矿作用与石英二长斑岩有关,系紧随其后形成,据此确定钾长石坪年龄(136.34±0.36) Ma 为虎拉林金矿床的成矿时代,即燕山中晚期。

### 3 讨论与结论

金矿成矿年代的精确厘定是一项极其复杂的工作。在年代学研究工作中,除实验数据精确无误外,极为重要的是建立在翔实的室内、外研究工作基础上,必须确定矿床(区)内标志性地质体与成矿的先后关系,在选择测年样品时必须进行岩石学、矿物学等基础性地质研究,选择合适的测年方法确定标志性地质体成岩年代与矿床成矿年代,使标志性地质体成岩年代与矿床成矿年代互为限定(魏俊浩等,2003)。尤其对中国金矿床多期叠加成矿的精确年代演化信息,最佳选择是使用多种地质测年方法,以确定成矿演化过程中每一主要地质事件的时代,并同矿床的稳定同位素和流体资料相结合(陆松年等,1999)。

额尔古纳成矿带北段位于上黑龙江盆地西部,展布于中、俄边界地区,为中、俄、蒙边境成矿密集区的一部分,20 世纪 90 年代以来,在该成矿带相继发现了砂宝斯大型金矿床、虎拉林中型金矿床,老沟、砂宝斯林场、八里河、三十二站小型金矿床,奇乾十一站、五道沟、富克山、鲜花山、马扎尔河、下龙沟岩金矿(化)点等。

对于额尔古纳成矿带金成矿作用与背景,长久以来一直认为其处于环太平洋成矿域西带的外带,是中国东部中生代大规模成矿作用的一部分,金矿床的形成与滨太平洋大陆边缘活动有关(徐文喜等,2006)。太平洋板块俯冲导致陆壳和岩石圈堆叠、走滑、增厚,在白垩纪中晚期发生岩石圈巨大减薄作用,岩石圈根部拆沉,软流圈局部上涌引起地壳区域减压增温,导致岩石圈不同层次的熔融并产生大规模流体,发育了大量岩浆-流体系统,构造岩浆活化强烈,形成广泛分布的浅成、超浅成小侵入体和中基性-中酸性火山岩,进而导致金矿床的形成。最近由中俄蒙哈韩五国多位地质专家共同编制的《1:250 万亚洲中部及邻区地质图》可以看出大兴安岭中生代北东东向火山岩带与蒙古晚中生带火山岩带相连接,是蒙古-鄂霍茨克中

生代构造-岩浆-成矿带的组成部分, 它叠加在古亚洲构造-岩浆-成矿带之上, 属于蒙古-鄂霍茨克构造-岩浆带的组成部分, 不属于太平洋板块的范畴<sup>①</sup>。

额尔古纳地块西部沿蒙古-鄂霍茨克缝合带两侧分布有一系列的超大-大型金及有色金属矿床。其中俄罗斯境内的东后贝加尔金铜铀钼成矿带形成于晚三叠世-早侏罗世蒙古-鄂霍茨克陆-陆碰撞造山环境, 受造山过程中形成的阿金斯科耶-斯科沃罗丁诺超壳断裂带控制<sup>1</sup>, 典型金矿床有达拉松、巴列依等。

虎拉林岩金矿床的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄为  $(136.34 \pm 0.36)$  Ma, 与邻区有代表性的大型、超大型有色、贵金属矿床在成矿时间上 (主要集中于 150~120 Ma) 上具有一致性 (表 3), 在空间展布上具有统一性。确定额尔古纳成矿带北段岩金矿床成矿时代为晚侏罗世-早白垩世, 即燕山中晚期, 与蒙古-鄂霍茨克中生代构造-岩浆演化相一致。

表 3 邻区重要有色、贵金属矿床的成矿年龄 (据涂光炽, 2000)

矿床	成矿年龄
达拉松 Au 矿床 (俄)	145 Ma, 黄铁绢英岩 K-Ar 年龄, 与成矿关系密切的斜长花岗斑岩 K-Ar 年龄 $(151 \pm 1.3)$ Ma (Юргенсонидр, 1995; Зоринаидр, 1996)
巴列依 Au(Ag)矿床 (俄)	114~120 Ma, 冰长石 K-Ar 年龄 (Юргенсонидр, 1995)
诺依昂-塔洛格 Pb-Zn 矿床 (俄)	$(132 \pm 5)$ Ma, 黄铁细晶岩化 K-Ar 年龄 (Тарабаркоидр, 1996)
日列津 Cu-Mo 矿床 (俄)	145~150 Ma, 花岗斑岩岩株 Rb-Sr 等时线年龄 (Сотников, 1995)
甲乌拉 Pb-Zn(Ag) 矿床 (中国)	139.2 Ma 石英二长斑岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄 (秦克章等, 1995)
额仁陶勒盖 Ag 矿床 (中国)	120 Ma 流纹斑岩 Rb-Sr 等时线年龄 (付金德, 1996)
乌奴格吐山 Cu-Mo 矿床 (中国)	142 Ma 二长斑岩 Rb-Sr 等时线年龄 (秦克章等, 1995)

额尔古纳地块有裂解-闭合的完整过程, 裂解开始于晚元古代, 至三叠纪闭合, 其间广泛的岩浆活动在裂解带发育。晚三叠世-早侏罗世受西伯利亚板块的俯冲、推挤作用, 发生碰撞造山, 代表北亚克拉通与额尔古纳地块及中朝克拉通的碰撞。在额尔古纳地块北段, 岩浆活动开始沿大兴安岭主脊断裂北侧 NE 向乌玛-毛河-金沟林场一线的拼接带两侧上侵, 将其焊接为一个整体, 虎拉林金矿床刚好位于该拼接带上。燕山早期侵入体在额尔古纳隆起区主要呈岩基分布, 岩性以黑云母二长花岗岩为主, 对金成矿作用意义不大。中侏罗世开始 NE 向深大断裂复活, 至晚侏罗-早白垩世, 区域 NE 向深大断裂发生左旋扭动, 同时伴有 NW 向张性断裂, 两者复合交汇部位形成的高渗透地段成为沟通岩浆和热液上升的通道, 控制了区内火山喷发和同源岩浆侵位。侵入体多呈岩株、岩筒、岩枝、岩脉状, 岩性以偏碱性的中酸性和酸性火山-次火山岩-侵入岩为主, 如花岗闪长岩、闪长玢岩、花岗斑岩等。该时期的火山-岩浆活动形成的热液携带深部金成矿物质运移, 同时在大气降水参与下, 萃取有利地层中的部分金源, 在有利构造部位沉淀、富集成矿。即区内金矿床成矿作用与晚侏罗世-早白垩世构造-浆活动关系密切。此外, 扬子板块与华北板块之间的碰撞造山过程的挤压伸展转变期的减压增温体制可能引发区内成矿作用、岩浆作用和流体作用 (陈衍景, 2002)。

总之, 额尔古纳成矿带北段作为中国大兴安岭中生代火山-岩浆岩带的一部分以及中俄蒙边境多种大型及超大型成矿密集区的一部分, 在地质历史演化进程中, 其沉积建造、岩性组合、构造特征、火山-岩浆活动、成矿作用、地球动力学演化等方面与蒙古-鄂霍茨克中生代构造-岩浆演化相一致, 具有相似性或相同性。成矿作用以金为主, 金矿成矿条件有利, 成矿远景良好, 找矿潜力巨大。今后在该地区的找矿工作应注意加强与区内及相邻地区已知矿床的对比研究, 用以指导找矿实践。

① 中俄蒙哈韩五国编图取得一系列重要成果: 大兴安岭火山岩带不属于太平洋板块. 地质勘查导报, 2007 年 3 月 17 日. 第三版.

## 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.
- 陈衍景. 2002. 中国区域成矿研究的若干问题及其与陆陆碰撞的关系[J]. 地学前缘, 9(4): 319.
- 陈岳龙, 杨忠芳, 赵志丹. 2005. 同位素地质年代学与地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 384-386.
- 丁清峰, 孙丰月, 梁海军. 2006. 内蒙古虎拉林金矿床地质特征及成因探讨[J]. 黄金, 27(10): 6-12.
- 李厚民, 毛景文, 沈远超, 刘铁兵, 张连昌. 2003. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的Ar-Ar年龄及其意义[J]. 矿床地质, 22(1): 72-77.
- 李俊健. 1997. 初论中国金矿床的成矿时代[J]. 前寒武纪研究进展, 20(1): 17-24.
- 陆松年, 李怀坤, 李惠民. 1999. 成矿地质事件的同位素年代学研究[J]. 地学前缘, 6(2): 335-341.
- 庞奖励, 裘榆卓. 1997. 二道沟矿床绢云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿物学报, 17(4): 442-447.
- 裴荣富, 吴良士. 1994. 金属成矿省演化与成矿[J]. 地学前缘, 1(3-4): 95-99.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲. 2003. 湘西沃溪Au-Sb-W矿床中白钨矿Sm-Nd和石英Ar-Ar定年[J]. 科学通报, 48(18): 1976-1981.
- 涂光炽. 2000. 中国超大型矿床(I) [M]. 北京: 科学出版社. 273-291.
- 魏俊浩, 刘丛强, 李志德, 赵永鑫. 2003. 论金矿成矿年代的确定—以丹东地区成岩成矿Rb-Sr、U-Pb同位素年代为例[J]. 地质学报, 77(1): 113-119.
- 谢桂青, 胡瑞忠. 2001. 金矿床测年方法的某些进展[J]. 地质地球化学, 29(1): 57-62.
- 徐文喜, 王建发, 张德会. 2006. 黑龙江燕山期金矿床地质特征及成矿规律[A]. 见: 陈毓川, 毛景文, 薛春纪, 主编. 矿床学研究面向国家重大需求新机遇与新挑战—第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 56-58.
- 张勇, 刘荫椿, 王科强, 王治华, 刘桂阁. 2003. 内蒙古虎拉林爆破角砾岩型金矿床特征[J]. 黄金地质, 9(4): 3-18.
- Groff J A, Heizler M T, McIntosh W C and Norman D I. 1997.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  dating and mineral paragenesis for Carlin-type gold deposit along the Getchell trend, Nevada: Evidence for Cretaceous and tertiary gold mineralization[J]. Econ. Geol., 92: 601-622.

<http://www.kcdz.ac.cn/>