

doi: 10.12029/gc20220215

李随民,李玉成,赵淑梅,张良良,王俊革,韩腾飞,孙志伟,韩玉丑,李樋. 2022. 河北邯郸洪山铜矿 Ar-Ar 和 U-Pb 年龄及其对成矿时代的限定[J]. 中国地质, 49(2):575-585.

Li Suimin, Li Yucheng, Zhao Shumei, Zhang Liangliang, Wang Junge, Han Tengfei, Sun Zhiwei, Han Yuchou, Li Tong. 2022. Ar-Ar and U-Pb ages of Hongshan copper deposit, Handan City, Hebei Province and their limitation on mineralization age[J]. Geology in China, 49(2): 575-585(in Chinese with English abstract).

## 河北邯郸洪山铜矿 Ar-Ar 和 U-Pb 年龄 及其对成矿时代的限定

李随民<sup>1</sup>, 李玉成<sup>2</sup>, 赵淑梅<sup>2</sup>, 张良良<sup>2</sup>, 王俊革<sup>2</sup>, 韩腾飞<sup>3</sup>, 孙志伟<sup>3</sup>, 韩玉丑<sup>4</sup>, 李樋<sup>1</sup>

(1. 河北地质大学, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省地矿局第一地质大队, 河北 邯郸 075000; 3. 河北省地质调查院, 河北 石家庄 050081; 4. 河北省地矿局, 河北 石家庄 050081)

**提要:**【研究目的】近年来在邯郸洪山岩体及其周边发现多处铜金矿(化)体。成矿时代确定是厘定矿床成因和分析成矿作用过程的关键。【研究方法】在详细野外地质工作的基础上,对赋矿岩石中锆石及铜矿化热液蚀变矿物黑云母分别采用了 U-Pb 和 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 阶段加热法进行了同位素测年。【研究结果】测得洪山铜矿床矿化蚀变产物黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄为 (127.62±0.5)Ma。2 件赋矿岩石锆石 U-Pb 年龄分别为 (130.45±0.94)Ma 和 (131.4±1.8)Ma。【结论】年龄测试结果显示,区内铜矿化的发生与正长斑岩侵入关系密切,属区内早白垩世酸性岩浆热液活动的产物。根据太行山南段夷平面和洪山岩体盖层厚度,推测太行山南段因地壳隆升,洪山岩体剥蚀了约 2000 m。赋存于岩体上方或顶部的铜矿体已遭受不同程度剥蚀,岩体中心区域深部找矿前景不容乐观。

**关键词:**黑云母; Ar-Ar 和 U-Pb 同位素年龄; 铜矿体; 洪山岩体; 矿产勘查工程; 邯郸; 河北省

**创新点:**将矿床形成时代与后期区域构造隆升演化相结合,分析了矿体剥蚀保留情况,认为岩体中心区域找矿前景不容乐观。

中图分类号: P597; P618.41 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)02-0575-11

### Ar-Ar and U-Pb ages of Hongshan copper deposit, Handan City, Hebei Province and their limitation on mineralization age

LI Suimin<sup>1</sup>, LI Yucheng<sup>2</sup>, ZHAO Shumei<sup>2</sup>, ZHANG Liangliang<sup>2</sup>, WANG Junge<sup>2</sup>, HAN Tengfei<sup>3</sup>,  
SUN Zhiwei<sup>3</sup>, HAN Yuchou<sup>4</sup>, LI Tong<sup>1</sup>

(1. Hebei Geo University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2. The First Geological Team of Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Handan 075003, Hebei, China; 3. Hebei Geological Survey Institute, Shijiazhuang 050081, Hebei, China; 4. Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, Hebei, China)

**Abstract:** This paper is the result of mineral exploration engineering.

**[Objective]** Some copper and gold bodies have been found around Hongshan pluton in recent years. The determination of

收稿日期: 2019-11-29; 改回日期: 2020-02-25

基金项目: 河北省国土资源厅基金项目(2012055548, 2013045650)资助。

作者简介: 李随民, 男, 1971 年生, 博士, 教授, 主要从事矿床学方面的教学和研究工作; E-mail: smli71@163.com。

metallogenic age is the key to determine the genesis of ore deposits and analyze the metallogenic process. [Methods] On the basis of detailed field geological work, the isotopic dating of zircon and copper-mineralized hydrothermal alteration mineral biotite in ore-hosting rocks were carried out by using U-Pb and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  stage heating methods, respectively. [Results] Hydrothermal biotite alteration occurred at  $(127.62\pm 0.5)\text{Ma}$ , the U-Pb ages of the zircons from ore-bearing rock are  $(130.45\pm 0.94)\text{Ma}$  and  $(131.4\pm 1.8)\text{Ma}$ , respectively. [Conclusions] The results of age test show that copper mineralization is closely related to the acidic hydrothermal activity after the emplacement of fine-grained syenite porphyry. According to the planation surface of the southern Taihang mountain and the thickness of the cover layer of the rock mass, it is speculated that the Hongshan pluton has been denuded about 2000 meters due to crustal uplift, prospecting potential of the copper deposit is not promising.

**Key words:** biotite; Ar-Ar and U-Pb isotope age; copper deposit; Hongshan pluton; mineral exploration engineering; Handan; Hebei Province

**Highlights:** Combining the deposit formation age with the later regional tectonic uplift evolution, analyze the denudation and retention of the ore body, conclude the prospecting prospect is not optimistic in the central area of rock mass.

**About the first author:** LI Suimin, male, born in 1971, professor, mainly engaged in the study of geochemistry of deposits; E-mail: sml71@163.com.

**Fund support:** Supported by the Deputy of Land and Resources of Hebei Province Fund projects (No.2012055548, No.2013045650).

## 1 引言

邯郸—邢台地区是中国主要的接触交代型铁矿富集区,近年来在邯郸永年县洪山岩体及其周边发现了多处铜金矿(化)点。金矿化主要赋存于洪山岩体北侧的白垩系委里组二段( $K_1^f$ )火山碎屑岩中,岩性以粗面质含角砾凝灰岩或粗面质角砾凝灰熔岩为主。铜矿化赋矿岩石类型较复杂。如分布在里三窑、洪山、洪山沟—洪山寺一带铜矿(化)点赋矿岩石为正长岩;洪山沟铜矿体规模较大,主要赋存于细粒正长斑岩中;洪山主峰东北部的铜矿化赋存于隐爆角砾岩中;火山岩中铜矿化主要分布在洪山岩体西北的委里村附近。对洪山岩体及其周边铜矿床的研究目前还比较薄弱,铜矿成因类型及成矿作用过程还存在较大争议。已有的研究多集中在洪山岩体形成时代、岩性空间分布及岩石地球化学特征等方面(周凌等,2005;权瑞等,2015,2016;李玉成等,2016;刘昕曜等,2016),未涉及矿床形成时代研究。成矿年龄的确定不仅是解决矿床成因类型、成矿作用过程的关键,也制约着铜矿成矿规律的深入认识和找矿勘查工作部署(卢仁等,2018;张国宾等,2018;周玉,2018;梁维等,2019)。本文以区内规模较大、勘查程度较高的赋存于洪山沟细粒正长斑岩中铜矿体为例,确定区内铜矿化发生时限。矿床中黑云母为钾化过程产物,且与黄铜矿在含铜石英脉样品中密切共生。因此,黑云母

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄能够代表石英脉中黄铜矿的形成时代。在此基础上将黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄与赋矿正长斑岩锆石U-Pb年龄进行对比,探讨矿化与正长斑岩成因联系,为矿床成因类型厘定和成矿作用过程分析提供依据。

## 2 岩体地质特征

洪山岩体位于邯郸市永年县城西约5 km,侵位于石炭纪—二叠纪碎屑岩地层中。岩体地表呈一不规则的椭圆状,长轴延伸方向为北西西向,长约8 km,短轴北北东向,长约6 km,出露面积约46 km<sup>2</sup>。鼓山—紫山断裂将岩体切穿,岩体向东南倾伏,断层西侧埋藏较深(图1)。

近年来岩体测试结果显示(周凌等,2005;权瑞等,2015,2016;刘昕曜等,2016;李玉成等,2016),洪山岩体碱度( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ )为8.88%~12.33%,均值为10.89%,整体上属于碱性岩体。此外,碱度从早到晚(粗面岩→黑云辉石正长岩→正长岩),分别为9.81%→10.07%→11.79%,显示出随着岩体的演化,碱度不断提高。 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 为0.86~0.96,均值为0.92。岩体属于高氧化的碱性岩石类型,这与本次在显微镜下发现岩石中多出现一定数量(4%±)的磁铁矿现象相一致,即岩石是在高氧化的环境下形成。岩体稀土元素特征表现为轻稀土富集、重稀土亏损的右倾斜和无明显Eu异常特征,幔源岩浆特征明显。微量元素表现为富集Rb、Sr等大离子亲石

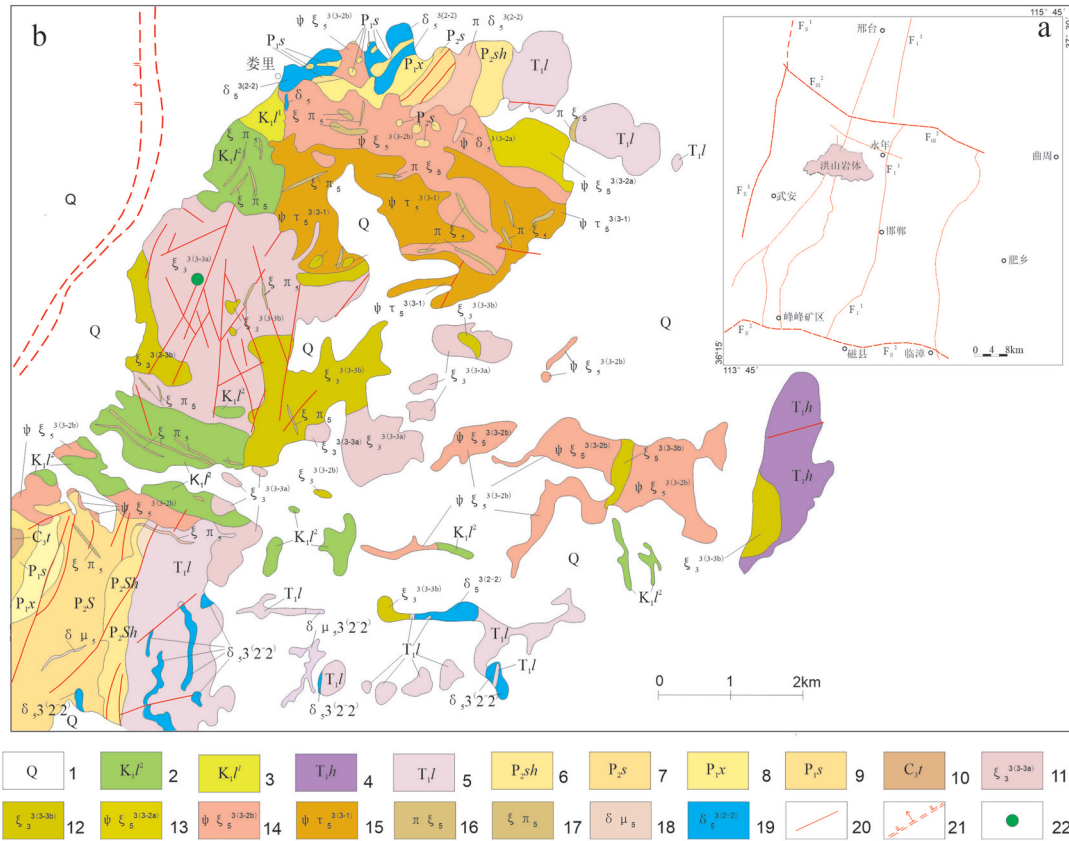


图1 邯郸洪山岩体(a)及铜矿化地质简图(b)

1—第四系;2—白垩系娄里组二段;3—白垩系娄里组一段;4—三叠系和尚沟组;5—三叠系刘家沟组;6—二叠系石千峰组;7—二叠系上石盒子组;8—二叠系下石盒子组;9—二叠系山西组;10—石炭系太原组;11—第三期次正长岩;12—第三期次巨斑状正长岩;13—第二期次细粒黑云辉石正长岩;14—第二期次粗粒黑云辉石正长岩;15—第一期次黑云辉石粗面斑岩;16—斑状正长岩;17—正长斑岩;18—闪长玢岩;19—第二次闪长岩;20—断层;21—推测正断层;22—铜矿床

Fig.1 Geological map of Hongshan pluton (a) and copper mineralization in Handan city, Hebei Province (b)

1—Quaternary; 2—Second member of Louli Formation; 3—First member of Louli Formation; 4—Triassic Heshangou formation; 5—Triassic Liujiagou formation; 6—Permian shiqianfeng formation; 7—Permian Shangshihezi formation; 8—Permian Xiashihezi formation; 9—Permian shanxi formation; 10—Carboniferous taiyuan formation; 11—The third syenite; 12—The third giant porphyry syenite; 13—The Second fine grained biotite Pyroxenite syenite; 14— The Second coarse grained biotite Pyroxenite syenite; 15— The first biotite Pyroxenite trachyte porphyry; 16— Porphyry syenite; 17— Ortho porphyry; 18—Diorite porphyrite; 19— Second diorite; 20—Fault; 21— Presumed normal fault; 22—Copper deposit

元素(LILEs), 亏损Nb、Ta等高场强元素(HFSEs)。

不同学者对组成洪山岩体的多种岩石类型进行锆石U-Pb测年结果显示(Chen et al., 2004; 周凌等, 2005; 权瑞等, 2015, 2016; 刘昕曜等, 2016), 洪山岩体形成于127~132.8 Ma, 属早白垩世。研究显示组成洪山岩体的不同岩石类型为岩浆连续演化产物。根据洪山岩体中岩石类型和岩相特征, 可将洪山岩体划分为3次岩浆活动过程。第一次为火山喷发活动, 形成一套粗面质火山岩系。该期形成时间最早, 大致在132 Ma左右。第二次岩浆侵入, 主要形成辉石(角闪)正长岩系列, 为一颜色相对较深的碱性系列; 第三次为颜色相对较浅的钙碱性系

列岩石大规模侵入, 形成以浅色正长岩为主的洪山岩体的主体。第二、第三次岩浆活动大致时间范围在132~127 Ma(李玉成等, 2016)。

洪山岩体可分为喷出相-超浅成侵入相、侵入相两种岩相。其中:

(1) 喷出相-超浅成侵入相: 岩性主要为凝灰岩-粗面岩组合。主要分布在岩体的南北两侧边部, 呈近东西向带状分布。岩石类型主要为凝灰岩(图2a)、粗安玢岩、粗面岩、黑云辉石粗面岩和辉石粗面岩等中性及中偏碱性岩浆岩组成。该套岩系为早期火山活动产物。

(2) 侵入相: 主要由颜色较深的霓辉正长岩和

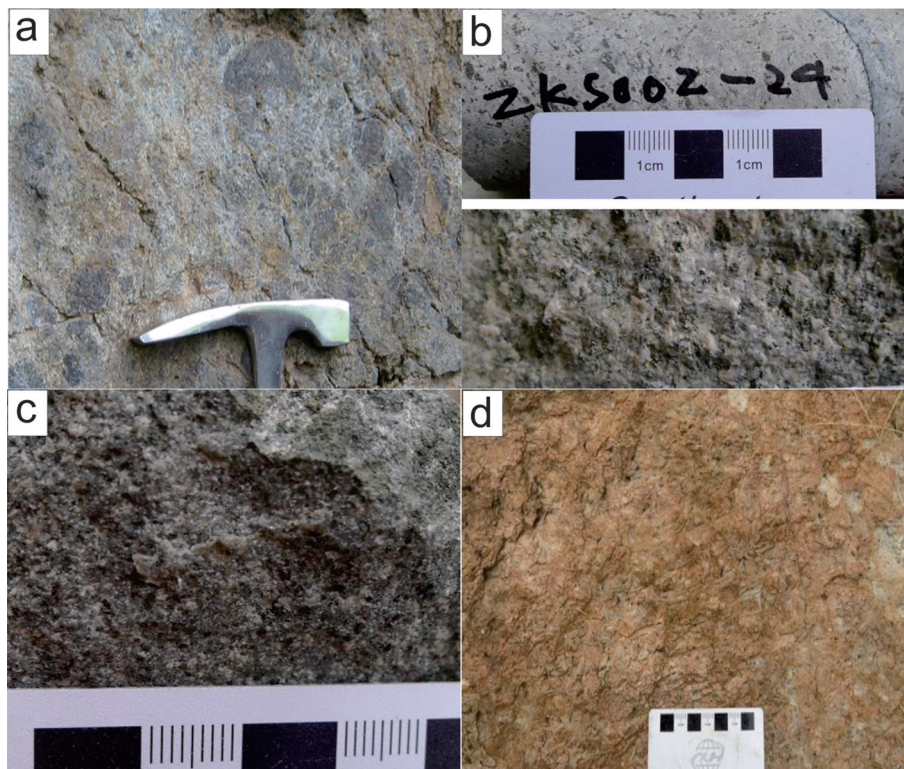


图2 洪山岩体典型岩石照片

a—火山凝灰岩;b—含霓辉石正长岩;c—黑云辉石正长岩;d—石英正长岩

Fig.2 Typical rock photos of Hongshan pluton

a—Volcanic tuff; b—Aegirine pyroxenite syenite; c—Biotite Pyroxenite syenite; d—Quartz syenite

颜色较浅的正长岩组成(图2b、c、d)。

目前已在洪山岩体北侧火山凝灰岩及凝灰熔岩中发现4条含金矿化蚀变带,共圈出12个金矿体(李随民等,2016;李紫焯等,2017)。在洪山岩体内部发现铜矿(化)体多处,除赋存于细粒正长斑岩中的铜矿化可形成工业矿体外,其余岩石类型中发现的铜矿化均不能圈出工业矿体。本次即以赋存于正长斑岩中的铜矿体为研究对象进行地质特征描述,并对铜矿化钾硅酸盐蚀变产物黑云母进行Ar—Ar法年龄测试。

### 3 矿床地质特征

洪山岩体中心区域的矿化细粒正长斑岩呈近东西向,地表宽70 m,长轴200余米,短轴宽近180 m。目前已在斑岩体中初步圈出4个矿体(图3),单工程揭露矿体最大厚度7.22 m,工程控制最大长度约40 m。矿体长度未完全控制。矿体总体产状 $340^{\circ}\angle 70^{\circ}$ ,铜品位为0.2%~0.53%,单样铜品位最高1.82%。岩体约80%含矿,矿化呈浸染状和细脉状

两种方式出现。在岩体顶部,以含硫化物石英细脉为主(图4a),次为浸染状或团块状(图4b)。细脉宽一般在0.2~1 cm,比较稀疏,每米范围内一般2~3条,矿化不均匀。团块状铜矿化出现在两组裂隙的交叉处。

矿石矿物主要以黄铜矿、黄铁矿为主,含少量磁铁矿、斑铜矿、方铅矿(图4c、d),局部可见极少量闪锌矿;脉石矿物主要是石英、钾长石、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石等(图4e、f)。其中,黄铜矿为矿石中主要含铜矿物,呈细脉状分布在石英细脉状或呈浸染状分布在蚀变岩石中,与黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿和方铅矿等共生(图4c、d)。矿石构造以浸染状和细脉状为主(图4a、b),矿石结构以充填交代结构和反应边结构为主。矿化岩石可见不同程度的绿泥石化、绢云母化、黑云母化、硅化和弱碳酸盐化等蚀变。其中,黑云母呈鳞片状或团块状星散分布,多出现在与铜矿化有关的破碎带两侧,沿角砾边缘或间隙呈细脉状或团块状密集出现(4a、b、c),向两侧渐呈星散状分布。在详细光薄片观察的基

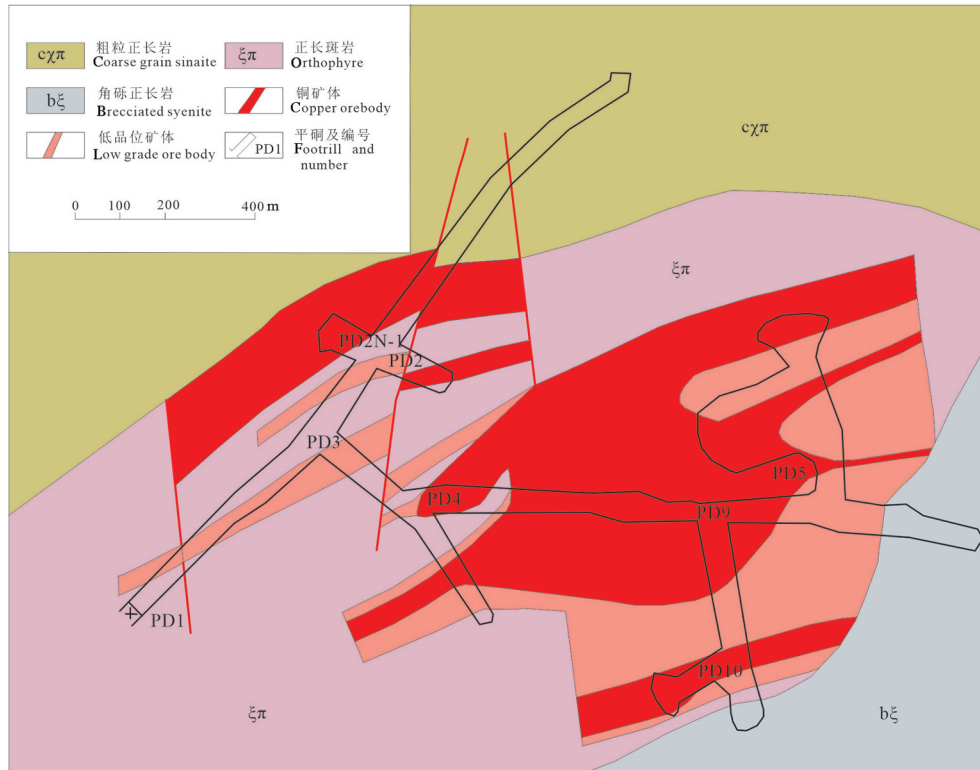


图3 洪山岩体中部正长斑岩中铜矿体地质简图  
Fig.3 Geological map of copper deposit in Hongshan pluton

基础上,选取矿化正长斑岩中黑云母作 Ar-Ar 年龄分析。黑云母与黄铜矿、黄铁矿和磁铁矿共生(图 4c),表明黑云母为成矿早期钾硅化及磁铁矿化阶段形成的。因此,黑云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年龄能够代表黄铜矿的形成时代。

## 4 样品采集与分析

### 4.1 样品采集与测试

本次样品采集于洪山岩体中部区域的洪山寺北部采矿老硐中。采集的含铜矿正长斑岩,灰白色,斑状结构,块状构造,斑晶含量 20% 左右,以正长石为主,粒径在 0.5 ~ 1.2 mm,多呈自形一半自形板状,少量斑晶为斜长石、石英。基质为微-细粒结构,主要由正长石、斜长石及石英组成。在详细光薄片观察的基础上,选取含铜正长斑岩样品中黑云母作 Ar-Ar 年龄分析。样品挑选工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验测试中心完成。黑云母 Ar-Ar 同位素测年采用连续激光阶段升温 Ar-Ar 法,样品测试工作在核工业北京地质研究院分析测试研究中心实验室完成。将选纯的黑云母清洗后封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能

科学研究院的“游泳池堆”中进行。使用 H8 孔道,其中子流密度约为  $6.0 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。照射总时间为 3223 min,积分中子通量为  $1.16 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,同期接受中子照射的还有用作监控样的标准样:ZHB-25 黑云母中国标准样,其标准年龄为 132.7 Ma,  $\omega(\text{K})$  为 7.6%。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析是在 Argus VI-MC 型质谱仪上进行的。详细实验流程见陈文等(2006)、Qiu et al.(2010)和 Yun et al.(2010)。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年结果计算和投点采用 ArArCALC Version 2.40 软件,得到坪年龄、等时线年龄、反等时线年龄等相关年龄信息(Koppers, 2002; 张凡等, 2009)。

### 4.2 黑云母 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 定年结果

洪山铜矿床黑云母  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  阶段升温测年数据见表 1,相应的坪年龄(图 5)及等时线、反等时线年龄见图 6。

黑云母低温释放阶段 650 ~ 850°C 视年龄变化较大,变化范围为  $(119.3 \pm 9.7) \text{ Ma} \sim (133.8 \pm 1.1) \text{ Ma}$ ,最初 5 个加热阶段的表面年龄较坪年龄存在一定误差,这 5 个阶段释  $^{39}\text{Ar}$  的释放量仅占总释放量的

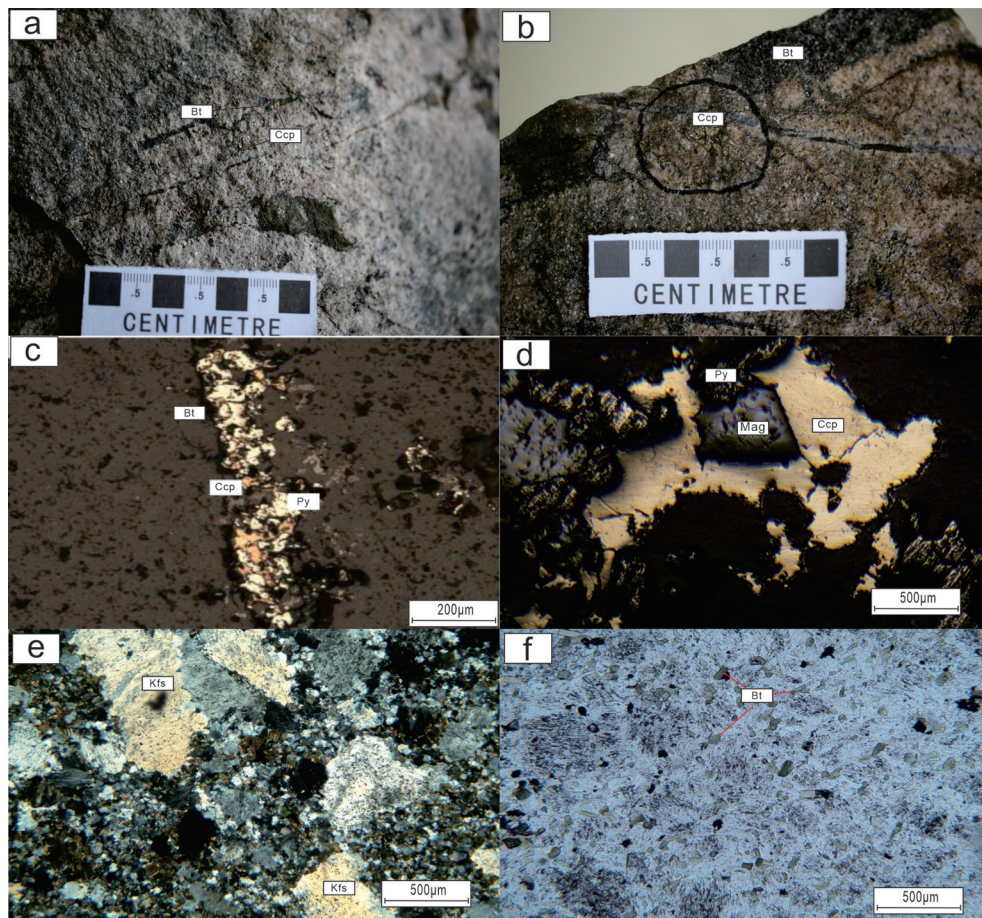


图4 洪山岩体中铜矿床主要矿石类型及组构特征

a—含铜石英细脉状矿石;b—黄铜矿在矿石中呈团块状;c—石英—黄铜矿—黄铁矿呈脉状分布(脉旁为黑云母绿泥石化),d—黄铜矿与磁铁矿、黄铁矿共生;e—岩石中钾长石呈斑晶出现;f—岩石基质中黑云母;Py—黄铁矿;Ccp—黄铜矿;Mag—磁铁矿;Kfs—钾长石;Bt—黑云母

Fig.4 The main ore types and fabric characteristics of copper deposits in Hongshan pluton

a—Cu-bearing quartz veined; b—Chalcopyrite show crumby structure; c—Quartz—Chalcopyrite—pyrite are distributed in veins(Biotite chlorite alteration next to the vein); d—Chalcopyrite is associated with magnetite and pyrite; e—Potassium feldspar appears as porphyry; f—biotite in rock matrix; Py—Pyrite; Ccp—Chalcopyrite; Mag—Magnetite; Kfs—K-feldspar; Bt—biotite

6.72%,可能是黑云母晶格缺陷、少量大气氩吸附在矿物晶体表面或黑云母边部少量氩的丢失造成的(邱华宁等,1997;唐菊兴等,2009)。在900~1250℃范围内,8个连续加热阶段产生的表面年龄在误差范围内完全一致,所释放的 $^{39}\text{Ar}$ 占总释放量的93.28%。利用8个连续加热阶段产生的数据,采用加权平均计算其坪年龄为 $(127.62 \pm 0.5)\text{Ma}$ (MSWD=0.32),拟合的等时线年龄为 $(127.16 \pm 0.7)\text{Ma}$ (MSWD=0.24),反等时线年龄为 $(127.19 \pm 0.7)\text{Ma}$ (MSWD=0.24),在误差范围内与坪年龄完全一致,证明分析结果可靠。根据等时线和反等时线在 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 轴上的截距所计算的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值

分别为 $380.4 \pm 91.8$ 和 $375.9 \pm 88.0$ ,与尼尔值(Nier,1950) $295.5 \pm 5$ 在误差范围内一致,表明本次所测的数据可靠性较高。

## 5 讨论

### 5.1 成矿时代及其与正长斑岩关系

含钾矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄代表的是矿物冷却年龄,黑云母中Ar同位素体系的封闭温度为300~350℃,也就是说黑云母Ar同位素记录的是岩体冷却到它的氩封闭温度(300~350℃)以下后距离现在的时间(Mcdougall et al.,1988;李志昌等,2004)。目前认为与中酸性浅成岩体侵位有关的斑岩矿床的形成

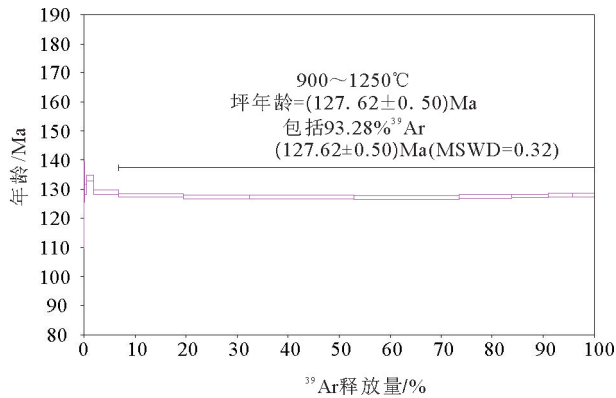


图5 洪山铜矿床黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄图  
Fig.5 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age spectrum of biotite from the Hongshan Copper deposit

经历了从高温到低温的过程,蚀变的开始温度为 600~700°C,金属硫化物大多数形成于 350~250°C,并一直延续到低温阶段(翟裕生等,2011)。河北省

地矿局第一地质大队(2014)在本次采样位置老硐中采集了5件含矿石英脉样品,141个包裹体测温结果显示,包裹体均一温度变化范围较宽,从 80~380°C,绝大多数集中在 220~320°C,与黑云母中氩同位素的封闭温度接近,也与硫化物形成温度接近。因此,本文所测的黑云母坪年龄(127.62±0.5)Ma 不仅可解释为黑云母的结晶年龄,也可代表矿床中硫化物的形成年龄,即赋存于洪山岩体细粒正长斑岩中铜矿化形成于(127.62±0.5)Ma。

大量研究表明,斑岩型矿床含矿斑岩体通常具有多期次侵位特点,不仅成矿前、成矿期、成矿后的侵位相空间共存,而且常与最晚期隐爆角砾岩筒相伴发育(侯增谦,2004)。斑岩铜矿床成岩成矿系统时间跨度约 1 Ma (Cathles et al.,1997;梁华英等,2008,2009;杜保峰等,2010;Zhou et al.,2013,2014;Li et al.,2014;邹银桥等,2015)。权瑞等(2016)等在

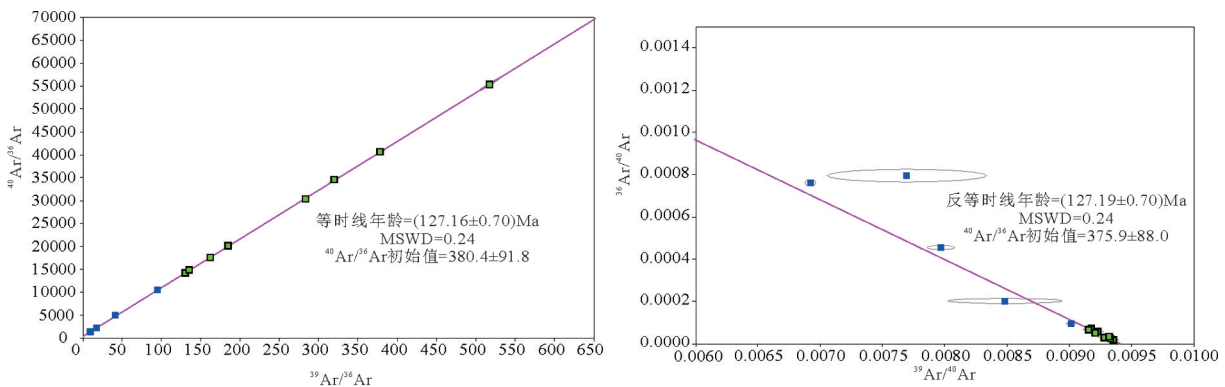


图6 洪山铜矿床黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 等时线和反等时线年龄图  
Fig.6 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isochron and inverse isochron of biotite from the Hongshan Copper deposit

表1 洪山沟铜矿床黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素分析结果

Table 1 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar stepwise heating data of biotite in Hongshan copper deposit

温阶/°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>40</sup> Ar*/%	F( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar)	<sup>39</sup> Ar/(10 <sup>-14</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar/%	Age/Ma	±1σ/Ma
650	129.7789	0.1035	1.2460	76.52	99.41	0.01	0.07	119.3	9.7
700	117.7329	0.0241	1.0045	94.02	110.78	0.01	0.11	132.4	6.9
750	125.4510	0.0570	0.2492	86.58	108.64	0.04	0.37	130.0	1.8
800	144.4292	0.1099	0.0799	77.53	111.98	0.13	1.34	133.8	1.1
850	110.9094	0.0105	0.0212	97.20	107.80	0.48	4.84	129.0	0.6
900	107.7479	0.0031	0.0091	99.14	106.82	1.26	12.79	127.9	0.6
950	106.9044	0.0019	0.0097	99.46	106.33	1.27	12.90	127.3	0.6
1000	107.1587	0.0026	0.0103	99.27	106.38	2.02	20.54	127.3	0.6
1050	107.2655	0.0035	0.0133	99.03	106.22	2.02	20.50	127.2	0.6
1100	108.3389	0.0062	0.0174	98.31	106.51	1.02	10.36	127.5	0.6
1150	108.9649	0.0077	0.0216	97.92	106.70	0.71	7.22	127.7	0.6
1200	109.1806	0.0074	0.0332	98.00	107.00	0.47	4.76	128.1	0.6
1250	108.6005	0.0054	0.0363	98.53	107.01	0.41	4.21	128.1	0.6

注:辐照参数J=0.0006812;黑云母样品重量9.6 mg。

表2 太行山南段构造隆升高度及时间示意图

Table 2 Schematic table of tectonic uplift height and time in the southern section of Taihang Mountains

地质时代 地层单位及其代号			同位素 年龄/Ma	夷平面及分布高度/m	隆升幅度/m	备注	
代(界)	纪(系)	世(统)					
新 生 代	第四纪 (Q)	全新世 (Q4/Qh)	0.0117	1.64Ma 唐县期(分布高度300~800m)	隆升100m	文中夷平面解体数据源于马寅生等, 2007; 龚明权, 2010; 张蒙等, 2014.	
		更新世 (Q1Q2Q3/Qp)	2.58				
	新近纪 (N)	上新世 (N2)	5.3	太行期(分布高度1100~1600m)	夷平面解体 隆升300~1300m		
		中新世 (N1)	23.03				
	古近纪 (E)	渐新世 (E3)	33.9	41~48Ma	夷平面解体 隆升287~787m		
		始新世 (E2)	56				
		古新世 (E1)	66				
	中生代	白垩纪 (K)	晚白垩世 (K2)	100.5	109~117Ma 127~132Ma		铜矿化作用发生 正长斑岩侵位
			早白垩世 (K1)	145			

本次采样位置老硐中采集了2件含矿正长斑岩,对锆石采用LA-ICP-MS进行了U-Pb年龄测试,结果分别为(130.45±0.94)Ma和(131.4±1.8)Ma。黑云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar坪年龄(127.62±0.5)Ma与2件正长斑岩形成年龄时差在1~3Ma,显示洪山沟铜矿床钾硅酸盐化(黑云母化)时间与正长斑岩侵位时间相近或略晚于正长斑岩的侵位。锆石U-Pb与黑云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄差可能是两种矿物封闭温度不同所

致。锆石U-Pb体系是目前已知矿物同位素体系中封闭温度最高的,锆石中铅的封闭温度高达900℃(Lee et al.,1997; Cherniak et al.,2000; 吴元保等, 2004)。黑云母中氩封闭温度是岩体冷却到300~350℃,测试年龄时差可能分别代表了岩体从开始侵位到缓慢冷却的一个过程。表明铜矿化作用发生在酸性岩体侵位之后,洪山沟铜矿化的发生应与正长斑岩侵位后的岩浆热液活动有关。



## 5.2 剥蚀程度分析

以往的矿床学研究更多地集中于矿床是如何形成的这一过程,而对矿床形成后变化改造重视不足(翟裕生等,1997,2011)。王建平等(2008)通过分析认为,影响矿床变化与保存的众多因素中,区域隆升与剥蚀是最为关键的因素之一。矿床形成后,如遭受后期构造抬升、剥蚀等,发育于酸性岩体顶部或上部的矿床遭受破坏而不利保存。洪山沟铜矿床的形成与正长斑岩侵位关系密切,在早白垩世铜矿体形成后,区域隆升与剥蚀程度将成为控制洪山岩体中铜矿床变化与保存的关键因素。

自早白垩世以来,太行山南段构造运动以断裂的断陷、隆升为主要特征,形成了北台期、太行期和唐县期三个夷平面(表2),每个夷平面代表了一段相对构造稳定,以外动力作用为主的侵蚀夷平时期。三个夷平面之间则为构造活动强烈、地壳快速隆升,造成夷平面解体的阶段。根据夷平面的分布高度和形成时代,可估算出受构造运动控制的夷平面解体、地壳隆升的幅度(马寅生等,2007;龚明权,2010;张蒙等,2014)。

从表2可以看出,洪山沟铜矿体形成后约80 Ma期间,地壳相对稳定,形成北台期夷平面。始新世初期41~48 Ma至末期33.9 Ma,地壳快速隆升,北台期夷平面解体,隆升最大幅度近800 m。渐新世33.9~23.03 Ma时期,太行山南段地壳相对稳定,形成了太行期夷平面。中新世—上新世23.03~2.58 Ma时期,太行山南段地壳再次快速隆升,导致太行期夷平面解体,地壳隆升最大幅度达1300 m。进入第四纪以来,太行山南段隆升幅度总计在100 m左右。以上分析表明,太行山南段地壳快速上升、隆升时期主要为始新世初期至上新世末期。该时期南太行山最大隆升幅度达2000 m。

此外,根据研究区1:5万区域地质调查资料,区内侵入岩体的盖层主要为二叠系和三叠系中下统。其中二叠系厚度约900 m,三叠系中下统厚度在870~1000 m。二叠系—三叠系主要分布在洪山岩体四周(图1b),说明上述地层在洪山岩体及紧邻区域已遭受剥蚀,岩体裸露地表。据岩体上覆地层厚度推测,剥蚀深度在2000 m左右,与夷平面法估算的地壳隆升幅度一致。

与酸性岩体有关的斑岩型矿床或高温热液脉状

矿床主要赋存于岩体顶部或上部。如斑岩矿床形成深度一般较浅,多在1~3 km(Cooke et al.,2004)。由于研究区地壳隆升,与洪山岩体关系密切的铜矿床已遭受不同程度的风化剥蚀,尤其是岩体中部区域剥蚀程度较强,深部找矿前景不容乐观。

## 6 结论

(1)含铜正长斑岩中黑云母坪年龄为(127.62±0.5)Ma,与反等时线年龄(127.19±0.7)Ma具有很高的一致性,反映铜矿化形成于(127.62±0.5)Ma。矿区2件含矿正长斑岩锆石U-Pb年龄分别为(130.45±0.94)Ma和(131.4±1.8)Ma,表明洪山沟铜矿化的发生与正长斑岩的侵位有关,成矿作用受控于岩浆侵位后热液活动。

(2)自早白垩世洪山岩体形成以来,根据夷平面、岩体盖层厚度分析推测,太行山南段因地壳抬升,隆升了近2000 m。赋存于岩体上方或顶部的铜矿体已遭受不同程度剥蚀,岩体中部区域深部找矿前景不容乐观。

## References

- Cathles L M, Erendi A H J, Barrie T. 1997. How long can a hydrothermal system be sustained by a single intrusive event? [J] *Economic Geology*, 92(7/8):766-771
- Chen B, Jahn B M, Arakawa Y. 2004. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive complexes from the southern Taihang Orogen, North China Craton: Elemental and Sr-Nd-Pb isotopic constraints [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 148: 459-501.
- Chen Wen, Zhang Yan, Zhang Yueqiao, Jin Guishan, Wang Qingli. 2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau—evidence from Ar-Ar thermochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867-872(in Chinese with English abstract).
- Cherniak D J, Watson E B. 2000. Pb diffusion in zircon[J]. *Chemical Geology*, 172: 5-24.
- Cooke D R, Wilson A J, Davies A G S. 2004. Characteristics and genesis of porphyry copper-gold deposits[J]. *University of Tasmania, Centre for Ore Deposit Research Special Publication*, 5: 17-34.
- Du Baofeng, Wei Junhao, Wang Qi, Li Yangjun, Liu Guochun, Yu Haitao, Liu Yongli. 2010. Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism and mineralization of molybdenum deposits in East China[J]. *Mineral Deposits*, 29(6): 935-955(in Chinese with English abstract).
- Gong Mingquan. 2010. Uplifting Process of Southern Taihang Mountain in Cenozoic[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Science(in Chinese with English abstract).

- Koppers A A P. 2002. ArArCALC— software for  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age calculations[J]. *Computers & Geosciences*, 28(5): 605–619.
- Hou Zengqian. 2004. Porphyry Cu– Mo– Au deposits: Some new Insights and advances[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1):131–1449 (in Chinese with English abstract).
- Lee J, Williams I, Ellis D. 1997. Pb, U and Th diffusion in nature zircon[J]. *Nature*, 390(13): 159–162.
- Li Ziye, Xing Huan, Li Suimin, Li Yucheng. 2017. Fluid inclusions test of Louli gold deposit and their geological significance[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 32(2): 205–213(in Chinese with English abstract).
- Li Z Z, Qin K Z, nLi G M, Ishihara S, Jin L Y, Song G X, Meng Z J. 2014. Formation of the giant Chalukou porphyry Mo deposit in northern Great Xing’ an Range, NE China: Partial melting of the juvenile lower crust in intra– plate extensional environment[J]. *Lithos*, 202–203: 138–156.
- Li Suimin, Li Yucheng, Han Yuchou, Kong Linhai, Zhao Shumei, Wang Jingtao, Wang Junge. 2016. The characteristics of vertical primary halo zoning in the Louli gold deposit, Handan City, Hebei Province[J]. *Geology in China*, 43(5): 1637–1644(in Chinese with English abstract).
- Liang Huaying, Mo Jihai, Sun Weidong, Yu Hengxiang, Zhang Yuquan, Allen C M. 2008. Study on the duration of the ore– forming system of the Yulong giant porphyry copper deposit in eastern Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(10): 2352–2358 (in Chinese with English abstract)
- Liang Huaying, Mo Jihai, Sun Weidong, Zhang Yuquan, Zeng Ti, Hu Guangqian, Allen C M. 2009. Study on geochemical composition and isotope ages of the Malasongduo porphyry associated with Cu– Mo mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (2):385–392 (in Chinese with English abstract).
- Liang Wei, Zheng Yuanchuan. 2019. Hydrothermal sericite Ar– Ar dating of Jisong Pb– Zn deposit, Southern Tibet[J]. *Geology in China*, 46(1): 126–139(in Chinese with English abstract).
- Liu Xinyao, Dong Guochen, Li Yucheng, Quan Rui. 2016. Geochemistry and LA– ICP– MS zircon U– Pb dating for trachyte porphyry of Hongshan intrusion in the southern Taihang Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 35(1): 43– 54 (in Chinese with English abstract).
- Ling L L, Zeng Q D, Liu J M, Friis H, Zhang Z, Duan X X. 2013. Geochronology of the Xingshan molybdenum deposit, Jilin Province, NE China, and its Hf isotope significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 75: 58–70.
- Lu Ren, Liang Tao. 2018. Zircon U– Pb dating and geochemical features of Hangou granitic body in Xiaoshan Mountain, western Henan Province, and its geologic implications[J]. *Geology in China*, 45(1): 95–109(in Chinese with English abstract).
- Ma Yinsheng, Zhao Xun, Zhao Xitao, Wu Zhonghai, Gao Linzhi, Zhang Yueqiao, Zhao Ting, Wu Zhenghan, Yang Shouzheng. 2007. The Cenozoic rifting and uplifting process on the southern margin of Taihangshan Uplift[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(3):219–233 (in Chinese with English abstract).
- McDougall I, Harrison T. 1988. *Geochronology and Therochronology by  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  Method*[J]. London, New York: Oxford University Press.
- Nier A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon, and potassium[J]. *Phys. Rev.*, 77: 789–793
- Quan Rui, Dong Guochen, Li Yucheng, Liu Xinyao, Yang Yang, Ren Long. 2015. Zircon U– Pb Ages, Geochemistry Characteristics and Hf Isotopic Compositions of the Hongshan Volcanic Rocks from Southern Taihang Mountains[J]. *Geoscience*, 29(6): 1284–1295 (in Chinese with English abstract).
- Quan Rui, Dong Guochen, Miao Guang, Li Yucheng, Liu Xinyao, Yang Yang, Ren Long. 2016. Zircon U– Pb Ages, Hf Isotopic Compositions and Geochemistry Characteristics of the Hongshan Ore– bearing syenite porphyries from Southern Taihang Mountains[J]. *Geological Review*, 62(4): 1064–1080 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N, Wijbrans J R, Brouwer F M, Yun J B, Zhao L H, Xu Y G. 2010. Amphibolite facies retrograde metamorphism of the Zhujiachong eclogite, SE Dabieshan:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age constraints from argon extraction using UV– laser microprobe, in vacuo crushing and stepwise heating[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 28(5): 477–487
- Tang Juxing, Zhang Li, Huang Yong, Wang Chenghui, Li Zhejun, Deng Qi, Lang Xinghai, Wang You. 2009.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotope ages of main geological bodies in Xiongcu copper– golddeposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 28 (6): 759–769(in Chinese with English abstract).
- Wang Jianping, Zhai Yusheng, Liu Jiajun, Liu Zhenjiang, Liu Jun. 2008. A New Approach to Post– ore Change and Preservation of Ore Deposits: Fission Track Analysis[J]. *Advances in Earth Science*, 23(4): 422–427(in Chinese with English abstract).
- Yun J B, Shi H S, Zhu J Z, Zhao L H, Qiu H N. 2010. Dating petroleum emplacement by illite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser stepwise heating[J]. *AAPG Bulletin*, 94(6):759–771
- Zhai Yusheng. 1997. Study of changes and preservation of mineral deposits after their formation[C]//*Geoscience Research*, 29/30: 268–273(in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng, Wang Jianping. 2011. A historical View of mineral deposit research[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(5): 603– 611(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fan, Qiu Huaning, He Huaiyu, Yang Liekun, Su Fei, Wang Ying, Wu Li. 2009. Brief introduction to ArArCALC– Soft for data reduction in  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology[J]. *Geochimica*, 38(1): 53–56 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guobin, Han Chao, Yang Yanchen, Liang Bing, Wei Yanlan, Han Shijiong. 2018. Zircon U– Pb age, geochemistry and genesis of acid intrusive rocks in the Yuejinshan Skarn type copper– gold deposit, Wandashan block [J]. *Geology in China*, 45(5): 977–991(in Chinese with English abstract).

- Zhang Meng, Li Xiaopeng. 2014. Discussion on the main uplift period of the Southern segment of taihang mountains[J]. Territory & Natural Resources Study, 4: 55-57(in Chinese with English abstract).
- Zhou L L, Zeng Q D, Liu J M, Friis H, Zhang Z L, Duan X X, Lan T G. 2014. Geochronology of magmatism and mineralization of the Daheishan giant porphyry molybdenum deposit, Jilin Province, Northeast China: Constraints on ore genesis and implications for geodynamic setting[J]. International Geology Review, 56 (8): 929-953.
- Zhou Yu, Gong Daxing, Zhou Xiong, Zhou Jiayun, Yue Xiangyuan. 2018. Petrogeochemistry and zircon geochronology of the Wolonggang granite porphyry in the western segment of the East Kunlun: Implications for tectonic setting of the Hoh Xil-Songpan-Ganzi Block and regional antimony mineralization timing[J]. Geological Bulletin of China, 37(10): 1853-1865(in Chinese with English abstract).
- Zou Yinqiao, Huang Wenting, Liang Huaying, Wu Jing, Lin Shuping, Wang Xiuzhang. 2015. Identification of porphyry genetically associated with mineralization and its zircon U-Pb and biotite Ar-Ar age of the Xiongcuo Cu-Au deposit, southern Gangdese, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(7): 2053-2062(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈文,张彦,张岳桥,金贵善,王清利. 2006. 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, 22(4): 867-872
- 杜保峰,魏俊浩,王启,李艳军,刘国春,于海涛,刘永利. 2010. 中国东部钼矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论[J]. 矿床地质, 29(6): 935-955.
- 龚明权. 2010. 新生代太行山南段隆升过程研究[D]. 北京:中国地质科学院.
- 河北地质局第一区调大队三分队. 1984. 册井沙河、武安、永年县等幅区域地质调查报告[R].
- 侯增谦. 2004. 斑岩 Cu-Mo-Au 矿床:新认识与新进展[J]. 地学前缘, 11(1): 131-144.
- 李玉成,贾立芹,赵书梅,王俊革,张良良. 2016. 太行山南段洪山火山机构岩相学特征[J]. 现代矿业, 565(5): 142-145.
- 李志昌,路远发,黄圭成. 2004. 放射性同位素地质学方法与进展[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 梁华英,莫济海,孙卫东,喻亨祥,张玉泉, Allen C M. 2008. 藏东玉龙超大型斑岩铜矿床成岩成矿系统时间跨度分析[J]. 岩石学报, 24(10): 2352-2358.
- 梁华英,莫济海,孙卫东,张玉泉,曾提,胡光黔, Allen C M. 2009. 玉龙铜矿带马拉松多斑岩体岩石学及成岩成矿系统年代学分析[J]. 岩石学报, 25(2): 385-392.
- 梁维,郑远川. 2019. 藏南吉松铅锌矿成矿时代的厘定:热液绢云母 Ar-Ar 年龄[J]. 中国地质, 46(1): 126-139.
- 李随民,李玉成,韩玉丑,孔令海,赵淑梅,王京涛,王俊革. 2016. 邯郸娄里金矿床原生晕垂向分带特征研究[J]. 中国地质, 43(5): 1637-1644.
- 李紫烨,邢欢,李随民,李玉成. 2017. 娄里金矿床包裹体测试及地质意义[J]. 地质找矿论丛, 32(2): 205-213.
- 刘昕曜,董国臣,李玉成,权瑞. 2016. 太行山南段洪山岩体中粗面斑岩地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 地质通报, 35(1): 43-54.
- 卢仁,梁涛. 2018. 豫西崤山韩沟岩体锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 45(1): 95-109.
- 马寅生,赵逊,赵希涛,吴中海,高林志,张岳桥,赵汀,吴珍汉,扬守政. 2007. 太行山南缘新生代的隆升与断陷过程[J]. 地球学报, 28(3): 219-233.
- 邱华宁,彭良. 1997.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  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, 54-65.
- 权瑞,董国臣,李玉成,刘昕曜,杨洋,任龙. 2015. 太行山南段洪山火山岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及 Hf 同位素组成[J]. 现代地质, 29(6): 1284-1295.
- 权瑞,董国臣,缪广,李玉成,刘昕曜,杨洋,任龙. 2016. 太行山南段洪山矿化正长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及地球化学特征[J]. 地质论评, 62(4): 1064-1080.
- 唐菊兴,张丽,黄勇,王成辉,李志军,邓起,郎兴海,王友. 2009. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.
- 王建平,翟裕生,刘家军,柳振江,刘俊. 2008. 矿床变化与保存研究的裂变径迹新途径[J]. 地球科学进展, 23(4): 422-427.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 张凡,邱华宁,贺怀宇,杨列坤,苏菲,王英,吴林. 2009.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学数据处理软件 ArArCALC 简介[J]. 地球化学, 38(1): 53-56.
- 张国宾,韩超,杨言辰,梁冰,韦延兰,韩世炯. 2018. 完达山地块跃进山砂卡岩型铜金矿区酸性侵入岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 45(5): 977-991.
- 张蒙,李鹏霄. 2014. 太行山南段主要隆升时期探讨[J]. 国土与自然资源研究, 4: 55-57.
- 翟裕生. 1997. 论矿床形成后的改变与保存[C]//地学研究, 29-30号. 北京:地质出版社, 268-273.
- 翟裕生,王建平. 2011. 矿床学研究的历史观[J]. 地质学报, 85(5): 603-611.
- 翟裕生,姚书振,蔡克勤. 2011. 主编 矿床学[M]. 北京:地质出版社.
- 周凌,陈斌. 2005. 南太行洪山正长岩体的成因和意义: 锆石 SHRIMP 年代学、化学成分和 Sr-Nd 同位素特征[J]. 自然科学进展, 15(11): 1357-1365.
- 周玉,龚大兴,周雄,周家云,岳相元. 2018. 东昆仑西段卧龙岗花岗岩斑岩岩石地球化学特征和锆石 U-Pb 年龄——对可可西里—松潘—甘孜地块构造环境及区域成矿时代的限定[J]. 地质通报, 37(10): 1853-1865.
- 邹银桥,黄文婷,梁华英,伍静,林书平,王秀璋. 2015. 西藏冈底斯南缘雄村铜金矿床成矿斑岩厘定及其锆石 U-Pb 和黑云母 Ar-Ar 年龄分析[J]. 岩石学报, 31(7): 2053-2062.