



豫西熊耳山矿集区栾灵金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义*

抄尉尉¹, 叶会寿^{2**}, 田野³, 刘彦伟³, 路东宇¹, 王鹏¹, 简伟², 张兴康¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3 栾川县栾灵金矿有限公司, 河南 栾川 471500)

摘 要 豫西栾灵金矿床地处熊耳山金多金属矿集区南部马超营断裂带北侧, 金矿体产于构造破碎带中, 呈钾长石英脉体和蚀变岩产出, 为本区一种新的金矿化类型。文章为厘定栾灵金矿床的成矿时代, 采用辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法, 测得栾灵金矿 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄为 $(161 \pm 3) \text{ Ma}$ ~ $(164 \pm 2) \text{ Ma}$, 加权平均年龄 $(163 \pm 1) \text{ Ma}$ (MSWD=0.68), 等时线年龄 $(163 \pm 2) \text{ Ma}$ (MSWD=1.5), 表明栾灵金矿床形成于晚侏罗世早期。与祁雨沟、前河金矿等早白垩世 (125 Ma) 金矿相比, 栾灵金矿的成矿作用早约 38 Ma。这些年龄数据表明, 该矿床在区域上可能与南泥湖-三道庄、上房沟钼矿等形成于同一成矿系统, 它的发现为在熊耳山地区寻找相似成矿地质条件的金、钼矿床提供了依据。

关键词 地球化学, 矿床特征, 辉钼矿, Re-Os 同位素年龄, 栾灵金矿床, 豫西

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Re-Os isotopic dating of molybdenite from Luanling gold deposit in Xiong'er Mountain ore concentration area of western Henan Province and its geological significance

CHAO WeiWei¹, YE HuiShou², TIAN Ye³, LIU YanMing³, LU DongYu¹, WANG Peng¹,
JIAN Wei² and ZHANG XingKang¹

(1 School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 Luanling Gold Deposit Corporation of Luanchuan County, Luanchuan 471500, Henan, China)

Abstract

The Luanling gold deposit is located on the northern side of Machaoying fault zone in the southern part of the Xiong'er Mountain gold polymetallic ore district, Henan Province. The gold orebodies mainly occur as the K-feldspar-quartz vein or altered rock in the structural fracture zone. For the purpose of studying the chronology of the gold mineralization in the Luanling gold deposit, the authors purified molybdenite from the gold-bearing feldspar quartz veins in the Luanling gold deposit. Re-Os dating of these minerals yielded modal ages from $(161 \pm 3) \text{ Ma}$ to $(164 \pm 2) \text{ Ma}$, a weighted average age of $(163 \pm 1) \text{ Ma}$ (MSWD=0.68), and an isochron age of $(163 \pm 2) \text{ Ma}$ (MSWD=1.5), implying that the Luanling gold deposit formed in the Late-Jurassic. Compared

* 本文得到国家自然科学基金项目(编号: 41272104、41573036)和地质调查项目(编号: 12120114035401、1212011220869)联合资助

第一作者简介 抄尉尉, 男, 1991年生, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: weiweiChao@cugb.edu.cn

** 通讯作者 叶会寿, 男, 1964年生, 研究员, 长期从事矿床研究和资源勘查评价工作。Email: yehuishou@163.com

收稿日期 2015-06-14; 改回日期 2015-11-26。苏杭编辑。

with the Cretaceous(125 Ma) Qiyugou gold deposit and Qianhe gold deposit, the Luanling gold deposit formed about 38 Ma earlier, indicating a new late Jurassic mineralization period in the Xiong'er ore concentration area. The Luanling gold deposit and Nannihu-Sandaozhuang as well as Shangfanggou Mo deposits were produced by the same mineralization system. The discovery of the Luanling Au deposit provides the basis for the study of Au-Mo deposits of the similar ore-forming conditions in the Xiong'er Mountain region.

Key words: geochemistry, deposit characteristics, molybdenite, Re-Os isotopic age, Luanling gold deposit, western Henan

豫西地区为中国仅次于胶东地区的第二大金矿基地,而熊耳山矿集区以其独特的成矿地质背景和丰富的金属矿产资源在其中占据了重要位置(王卫星等,2010)。熊耳山地区主要的金矿床类型有构造蚀变岩型金矿床(上宫、公峪、潭头、庙岭、萑香洼、前河等)、石英脉型金矿床(康山金矿、公峪)和隐爆角砾岩型金矿床(祁雨沟、店房等)。前人对本区的金矿床进行的大量成矿年代学研究表明,除了上宫金矿形成于三叠纪外(黎世美等,1993;任富根等,2001;任志媛等,2010),其余金矿均形成于白垩纪早期(王义天等,2001;韩以贵等,2007;翟雷等,2011;唐克非等,2009;唐克非,2014)。

栾灵金矿床位于河南省栾川县潭头镇,大地构造属于熊耳山金多金属矿集区南部,东西向马超营断裂带北侧,属于小型金矿床。栾灵金矿床与本区其他金矿床相比,具有独特的矿化特征,金矿化发育于构造破碎带中钾长石石英脉体和两侧的构造蚀变岩中。钾长石石英脉型金矿石矿物组合为自然金、碲铅矿、碲银矿、碲银金矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、钾长石、石英、重晶石等,与熊耳山地区常见的构造蚀变岩型金矿床和石英脉型金矿床相比,其矿石主要产出于钾长石石英脉中。这种类型的矿石与熊耳山矿集区蚀变岩型金矿床区别显著。由于目前对栾灵金矿床的研究基本还未展开,本文采集了6件钾长石石英脉型金矿石中的辉钼矿样品进行Re-Os同位素测年,以期限定钾长石石英脉型金矿形成的时代,为该矿床成因模型的建立和区域成矿规律的对比研究提供依据。

1 成矿地质背景

熊耳山多金属矿集区位于华北陆块南缘,南以马超营断裂为界,北以洛宁断裂为界。区内出露新太古界太华群中深变质岩系(绿岩建造)及片麻状花岗岩(TTG岩系)结晶基底,中元古界熊耳群浅变质

火山岩和官道口群滨-浅海相含硅质碳酸盐岩盖层以及中生代伸展断陷盆地内的陆相红色碎屑沉积岩(郭保健等,2005)。

本区发育变质核杂岩构造(图1)。变质核杂岩由新太古界太华群中深变质岩和燕山期花岗岩组成,拆离断层沿新太古界太华群与中元古界熊耳群火山岩的不整合面展布,上盘(拆离盘)为中元古界熊耳群火山岩和官道口群碳酸盐岩(王志光等,1997;郭保健等,1997)。本区的区域性断裂主要有洛宁山前断裂带和马超营断裂带。控矿断裂主要为4组,分别沿NE向、NNE向、NNW向和EW向延伸,发育于洛宁山前断裂和马超营断裂之间,构成本区基本的构造格架,其中NE向断裂最为发育,其次为NW向、SN向断裂带,带内最重要的构造蚀变岩型矿床都产出于这些断裂带中,成群成带平行产出;斑岩型、隐爆角砾岩型矿床则受断裂交汇部位控制,其中斑岩型矿床主要产于酸性岩株的内接触带,而隐爆角砾岩型矿床则产于酸性岩株的上覆围岩中(郭保健等,2005)。

区内岩浆活动主要有4期。第1期为晚太古代火山活动,形成的中基性火山岩,经区域变质已变成太华群各类片麻岩和角闪岩;第2期为中元古代(1800~1650 Ma)火山活动,形成熊耳群裂谷型中基-中酸性火山岩;第3期为中生代印支期岩浆侵入活动,已发现的有寨凹地区的正长花岗岩,SHRIMP锆石U-Pb年龄为 (218 ± 4) Ma(李厚民等,2012);磨沟正长岩岩体,LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 (246 ± 8) Ma(卢仁等,2013);乌桑沟霓辉正长岩,SHRIMP锆石U-Pb年龄为 (245 ± 4) Ma(刘楚雄等,2010);第4期为中生代燕山期岩浆侵入活动,形成广泛分布的燕山期花岗岩,包括大岩基和小斑岩体,大型花岗岩基有五丈山岩体,SHRIMP锆石U-Pb年龄为 (157 ± 1) Ma;花山岩体,SHRIMP锆石U-Pb年龄为 (131 ± 1) Ma和 (132 ± 2) Ma,合峪岩体中巨斑状黑云二长花岗岩,SHRIMP锆石U-Pb

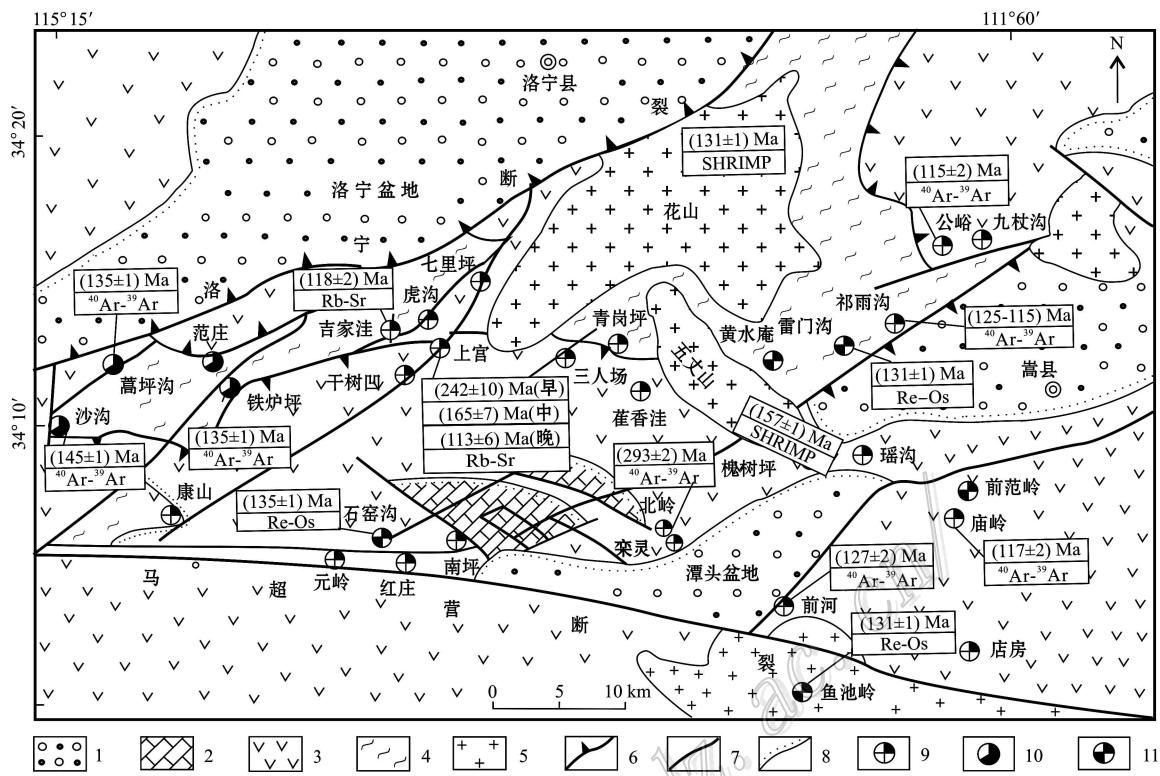


图 1 熊耳山金多金属矿集区地质简图及主要金属矿床分布(据张兴康等, 2014 修改)

1—第四纪沉积物; 2—中元古界官道口群石英砂岩、石英岩、白云质大理岩; 3—中元古界熊耳群火山岩; 4—新太古界太华群片麻岩;
5—中生代花岗岩类; 6—拆离断层; 7—断层; 8—不整合界限; 9—金矿床; 10—银铅锌矿床; 11—钼矿床

Fig. 1 Geological sketch map and distribution of ore deposits in the Xiong'er Mountain gold polymetallic ore district
(modified after Zhang et al., 2014)

1—Quaternary sediments; 2—Middle Proterozoic Guandaokou Group quartz sandstone, quartzite, dolomitic marble; 3—Middle Proterozoic Xiong'er Group volcanic rock; 4—Neo-Archaeon Taihua Group gneiss; 5—Mesozoic granite; 6—Detachment fault; 7—Fault; 8—Unconformity; 9—Gold deposit; 10—Ag-Pb-Zn deposit; 11—Molybdenum deposit

年龄为(127±1) Ma(毛景文等, 2005); 两个样品的黑云母 Ar-Ar 坪年龄为(132±1) Ma 和(133±1) Ma (Han et al., 2007); LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(135±2)Ma(郭波等, 2009)。小斑岩体包括雷门沟花岗斑岩, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(136±2)Ma (毛景文等, 2005); 斑竹寺花岗斑岩, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(129±1)Ma(梁涛等, 2014)。花岗岩体成岩年龄在燕山期重要集中在燕山早期(140~195 Ma)和燕山中期(100~140 Ma)两个阶段, 五丈山岩体是燕山早期岩浆活动形成的花岗岩侵入体; 花山、合峪岩体本身就是复式岩体, 多期侵入, 与其他小斑岩体一起是燕山中期花岗岩侵入体(王卫星等, 2010)。

2 矿床地质特征

2.1 矿区岩石

矿区出露的地层主要为中元古界长城系熊耳群火山岩, 岩系组合为中(基)性-中酸性(酸偏碱), 岩石结构以玻璃质、隐晶质为主, 岩性主要为辉绿-墨绿色、灰紫-紫红色安山岩、玄武安山岩, 少量粗面岩夹粉砂质泥岩或泥质粉砂岩。古近系出露于矿区东南部, 主要为灰岩、泥灰岩、水云母黏土岩夹钙质砂岩、煤线、油页岩、底部为含砾砂岩。

2.2 矿区构造

矿区主要发育F971、F972、F976含矿断裂带和

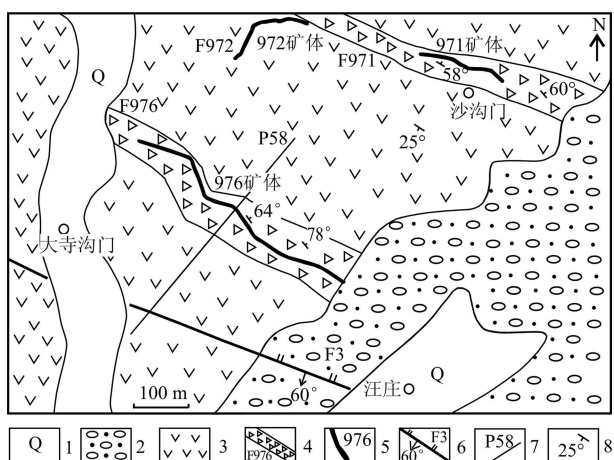


图2 栾灵金矿区地质图

1—第四系沉积物；2—古近系砂砾岩、砂质泥岩；3—中元古界熊耳群火山岩；4—矿化蚀变带及其编号；5—矿体及其编号；6—断层及编号；7—勘探线位置及编号

Fig. 2 Geological sketch map of the Luanling gold deposit

1—Quaternary sediments; 2—Palaeogene glutenite, sandy mudstone;
3—Proterozoic Xiong'er Group volcanic rock; 4—Mineralized alteration zone; 5—Orebody and its serial number; 6—Fault and its serial number; 7—Exploration line and its serial number

F3 断裂带(图2)。

F971 含矿断裂带：长度约 280 m，宽 0.5~2.0 m，断裂带走向 NW，倾向 NE，倾角 50~71°。构造带发育碎裂岩、含金钾长石石英脉及蚀变岩等。主要蚀变类型有：钾长石化、绢云母化、硅化、黄铁矿化，这些蚀变与金矿化关系密切；此外，还有绿泥石化、高岭土化等。蚀变带宽 0.1~1.5 m。该断裂带地表金矿化弱，大部分地段金品位均低于 1.00×10^{-6} ，但在中深部金矿化较强。

F972 含矿断裂带：长度大于 200 m，宽 0.5~1.8 m，断裂带走向近 NWW，倾向 NNE，倾角 30~85°。带内由角砾岩、碎裂岩和石英脉组成，蚀变和矿化较为普遍，主要蚀变有硅化、钾长石化、黄铁矿化、方铅矿化、绢云母化等。

F976 含矿断裂带：长度大于 1000 m，宽 20~100 m，断裂带走向 NW，倾向 NE，倾角 70~83°。带内主要由角砾岩、碎裂岩、蚀变安山岩、蚀变粗安岩以及含金钾长石石英脉组成。

F3 断层：位于矿区南部，属于区域上核桃园沟-杨坠沟断层组成部分，全长 18 km。矿区出露长度 1100 m，断层走向 NW，倾向 SW，倾角 60°，为一高角度逆断层，破碎带宽数米至数十米，断面上发育擦

痕，破碎带内岩石变形强烈，构造岩发育，具多期活动的特征。带内主要由构造碎裂岩组成，无矿化。

2.3 矿体特征

矿区主要划分为 3 个矿体(图2)，编号为 971、972、976，每个矿体由若干次级矿脉组成，各矿脉厚度变化较大，一般为 0.1~10 m，具膨大收缩、复合分枝及尖灭再现的特点。部分矿体储量未完全探明。

971 矿体：赋存于 F971 号断裂带中，出露于张凹沟沟脑-沙沟门一带。金钼矿体走向 185~310°，倾向 NE，倾角 58~62°，局部倾角可达 73°。矿体地表出露长度 280 m，厚 0.3~5 m，平均厚 1.26 m。

972 矿体：赋存于 F972 含矿构造带中，出露于高涯沟一带，金钼矿体走向 90~120°，倾向 NNE，倾角 36~84°，出露长度 200 m，厚度一般为 0.3~0.8 m，最厚达 1.8 m。

976 矿体(图3)：赋存于 F976 断裂带中，出露于猪头坡-镰把沟-踏桥沟口一带。金钼矿体走向 280~310°，倾向 NE，倾角 64~82°，平均 80°；矿体地表出露长度 840 m，出露标高 760~680 m。矿体一般厚 1.81~15.41 m，平均厚 2.51 m。

2.4 矿石特征

原生矿石按矿物共生组合、结构、构造特点可分为 2 种类型：钾长石石英脉型金钼矿石和构造蚀变岩型金矿石。

钾长石石英脉型金钼矿石：主要产于 971、972、976 号矿脉中，钾长石石英脉宽窄不一，从 2~50 cm(图4a)，呈肉红色或浅肉红色，中细粒他形-半自形粒状结晶结构，稀疏浸染状、星点状、条带状构造。金属矿物主要为黄铁矿、闪锌矿、辉钼矿、方铅矿、黄铜矿、自然金、碲银矿、碲银金矿、碲铅矿等；脉石矿物主要为石英、钾长石、重晶石等(图4b)。他形-半自形中细粒粒状黄铁矿在钾长石石英脉中呈星点状或稀疏浸染状分布；他形中细粒粒状闪锌矿在钾长石石英脉中呈星点状分布，并被方铅矿、碲银矿、碲银金矿、黄铜矿等交代呈港湾状或残留岛屿状(图4c、d)；微细粒他形辉钼矿呈灰色细脉、薄膜、条带沿钾长石石英脉两壁分布(图4e)；他形自然金在钾长石石英脉中主要呈不规则粒状包裹于碲银矿中，少量呈细脉状裂隙金赋存于闪锌矿微裂隙中，或呈他形粒状赋存于碲银金矿与闪锌矿粒间(图4c)。

构造蚀变岩型金矿石：主要产于含金钼钾长石石英脉两侧构造岩中(图4f)，离脉体越近蚀变越强，蚀变宽度不一，主要呈黄白色、青灰色或者灰黑色，

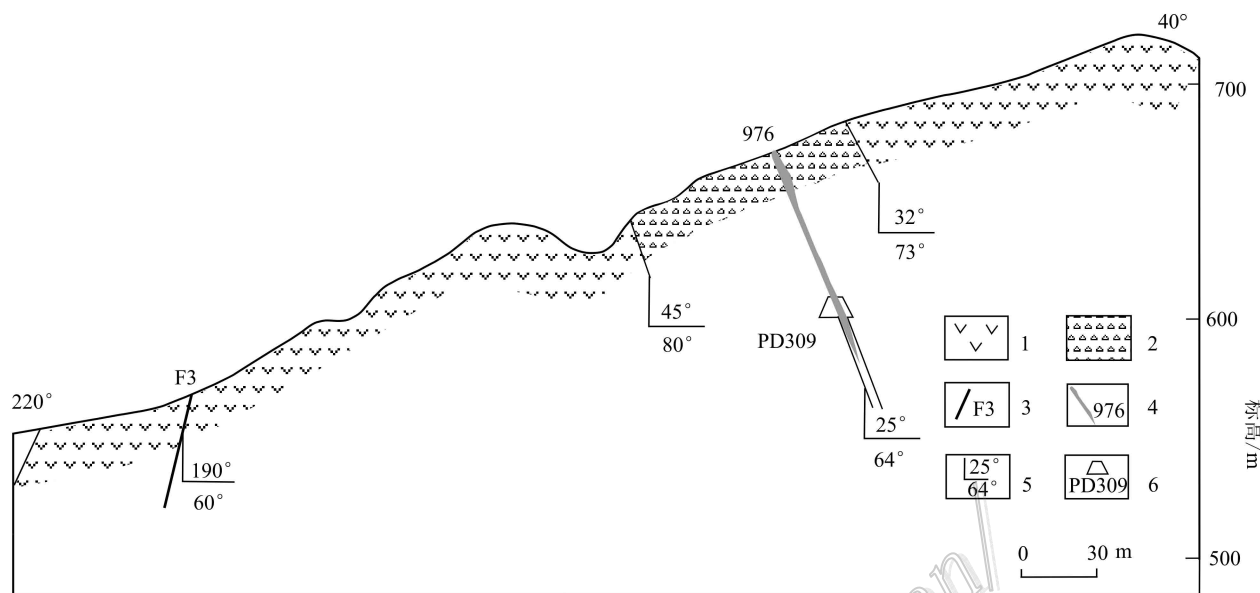


图3 栾灵金矿第58勘探线剖面图

1—熊耳群火山岩; 2—构造破碎带; 3—断层及编号; 4—矿体及编号; 5—产状(倾向/倾角); 6—坑道位置及编号

Fig. 3 Cross-section along No. 58 exploration line of the Luanling Au deposit

1—Xiong'er Group volcanic rock; 2—Structural fracture belt; 3—Fault and its serial number; 4—Orebody of feldspar-quartz veins and beresitization with its serial number; 5—Attitude(dip direction/dip angle); 6—Adit and its serial number

具他形-半自形粒状结构、包含结构、交代结构、压碎结构,脉状、网脉状、细粒浸染状构造。金属矿物主要为黄铁矿,有时含少量的辉钼矿、闪锌矿、黄铜矿,脉石矿物主要有钾长石、石英、绢云母、方解石、铁白云石、高岭土等。黄铁矿呈细粒他形粒状结构,浸染状分布于蚀变岩中。辉钼矿、方铅矿、黄铜矿以他形粒状、星点状、稀疏浸染状和团块状分布。

2.5 围岩蚀变

围岩蚀变主要有钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、青磐岩化、碳酸盐化等。其中,钾长石化、硅化、黄铁矿化和黄铁绢英岩化与金矿化密切。蚀变具有的分带现象,由内到外依次为:

钾长石化:呈肉红色至鲜红色,在石英脉中与石英共生,或者在围岩中呈面状产出,宽数毫米至数厘米,蚀变矿物主要为钾长石(图5a)。

黄铁绢英岩化:呈灰白色,浅黄色(图5b),黄铁矿呈微细粒稀疏浸染状分布于绢英岩中(图5c),与成矿关系密切,蚀变范围较广,宽约0.3~1.5 m。

硅化:与成矿关系最为密切,早期多以团块状分布(图5d),晚期表现为灰白色-烟灰色的石英细脉呈脉状、网脉状分布于蚀变围岩中,蚀变带宽约0.1~0.5 m(图5e)。

青磐岩化:主要发育在与钾长石石英脉体接触的外围围岩中,宽度不等,程度不一,多沿裂隙分布,与成矿关系不密切(图5f)。

2.6 成矿期次与成矿阶段

根据矿脉的穿插关系、矿物共生组合和矿石结构构造,将成矿作用过程划分为热液成矿期和表生成矿期,各阶段矿物生成顺序见(表1)。

热液成矿期可划分为4个成矿阶段:第Ⅰ阶段为钾长石-石英阶段(图4a、b),主要形成钾长石石英脉,矿物组合主要为钾长石、石英、重晶石。这一阶段从早到晚,钾长石数量有所增加。重晶石多以板条状或他形粒状分布,钾长石多以板柱状分布,石英颗粒较大,部分遭受后期构造应力作用导致内部形成大量微裂隙。钾长石石英脉两侧围岩蚀变为钾长石化。第Ⅱ阶段为石英-辉钼矿阶段(图4e、g、h),矿物组合为辉钼矿、石英、黄铁矿。辉钼矿一般呈薄膜状或浸染状沿钾长石石英脉两壁充填,或呈脉状切穿钾长石石英脉,还有少量呈细脉状分布在构造蚀变岩中。第Ⅲ阶段为金-碲-硫化物阶段(图4c、d、i),该阶段脉体常常穿切交代前两阶段,以发育多金属硫化物和碲化物为特征,闪锌矿被方铅矿、碲银金矿、碲银矿、碲铅矿、自然金等交代。自然金多数呈

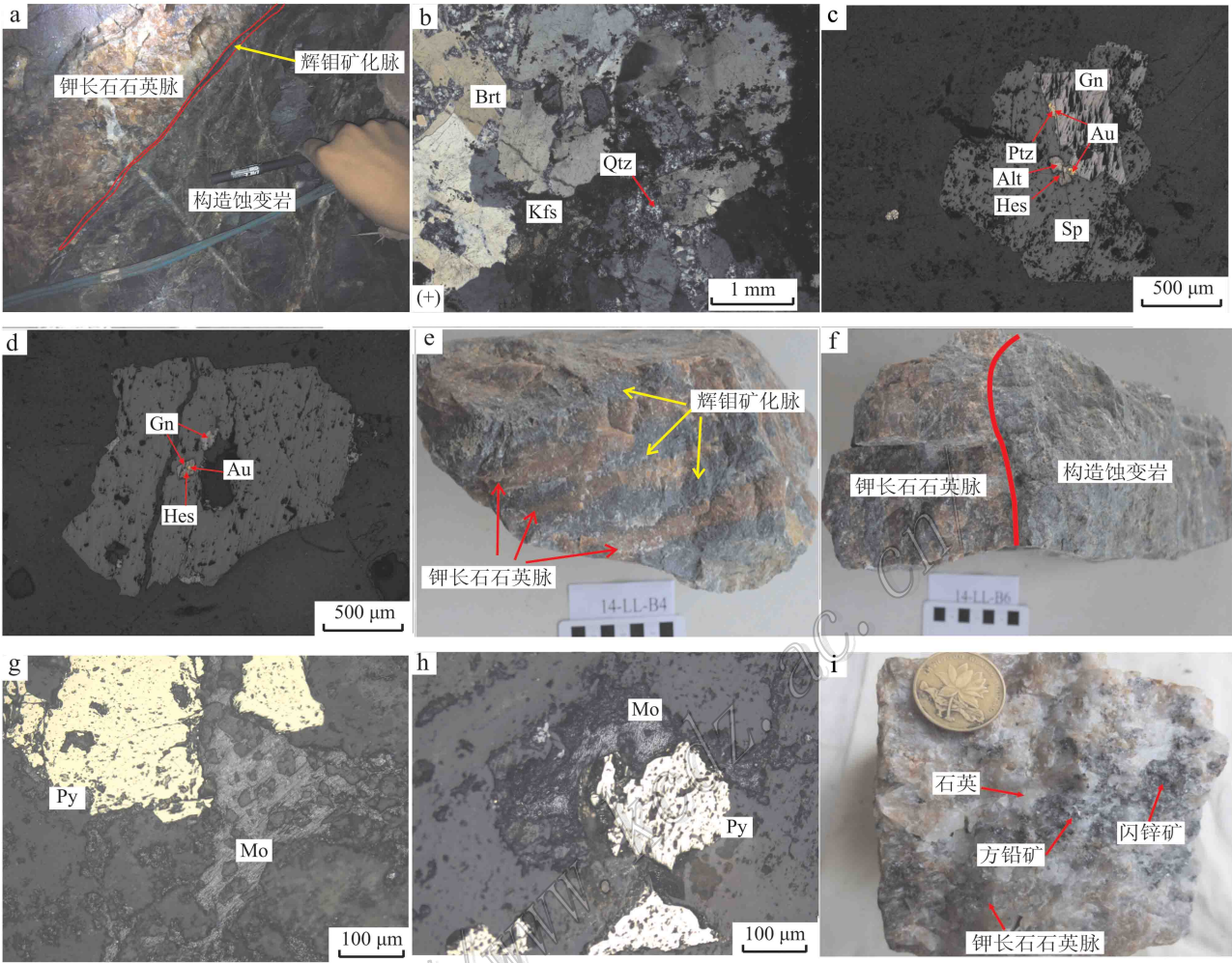


图 4 栾灵金矿床野外及镜下照片

a. 含金钼钾长石石英脉; b. 钾长石石英脉中的钾长石、石英、重晶石; c. 自然金呈粒间金和包裹金分布于碲银矿、闪锌矿中(反射光); d. 自然金呈粒间金分布于碲银矿与方铅矿中(反射光); e. 条带状辉钼矿化钾长石石英脉; f. 钾长石石英脉型矿石及其旁边的构造蚀变岩型矿石; g. 辉钼矿呈薄膜状分布(反射光); h. 辉钼矿呈浸染状分布(反射光); i. 含硫化物长英质型金矿石
Au—自然金; Mo—辉钼矿; Ptz—碲银矿; Hes—碲银矿; Alt—碲铅矿; Sp—闪锌矿; Gn—方铅矿; Ccp—黄铜矿; Py—黄铁矿; Brt—重晶石; Kfs—钾长石; Qtz—石英

Fig. 4 Field and microscopic photos of the Luanling gold deposit
a. Gold-bearing feldspar-quartz vein; b. Potassium feldspar, quartz, barite in feldspar-quartz veins; c. Native gold occurring as intergranular gold and inclusive gold in sphalerite, hessite and petzite(reflected light); d. Native gold occurring as intergranular gold between galena and hessite (reflected light); e. Striped molybdenite feldspar-quartz vein; f. Feldspar-quartz vein with gold mineralization wall rock; Au-Native gold; g. Molybdenite occurring as dissemination(reflected light); h. Molybdenite occurring as nodule (reflected light); i. Sulfide feldspar-quartz veins type gold ore
Mo—Molybdenite; Ptz—Petzite; Hes—Hessite; Alt—Altaite; Sp—Sphalerite; Gn—Galena; Ccp—Chalcopyrite; Py—Pyrite; Brt—Barite; Kfs—K-feldspar; Qtz—Quartz

包裹金分布在碲银矿中,少量呈裂隙金赋存于闪锌矿微裂隙中,或呈他形粒状赋存于碲银金矿与闪锌矿粒间。第Ⅳ阶段为石英-碳酸盐阶段,石英-方解石脉沿着裂隙穿插于岩石及矿石中,或沿早阶段脉体

中间裂隙贯入,有极少量绢云母出现,为成矿晚期阶段,基本不含金属矿物。
表生成矿期矿物主要生成在地表附近,由风化产物高岭土、钼华、白铅矿、赤铁矿、褐铁矿等组成。

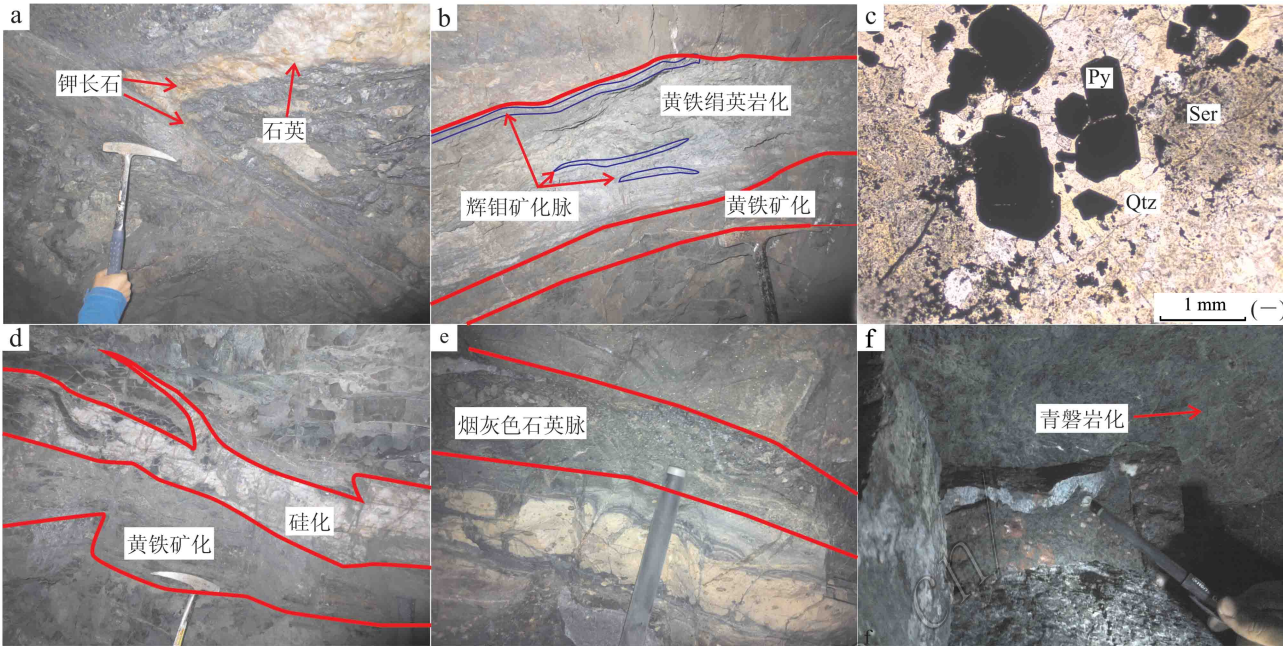


图 5 围岩蚀变类型
a. 条带状钾长石化；b. 黄铁绢英岩化；c. 黄铁矿呈浸染状分布于绢英岩中；d. 乳白色硅化脉；e. 烟灰色硅化脉；f. 青磐岩化
Py—黄铁矿；Ser—绢云母；Qtz—石英
Fig. 5 Wall rock alteration
a. Striped potassic feldspathization; b. Beresitization; c. Pyrite occurring as dissemination in sericite quartz rock; d. Milk silication vein; e. Smoky-gray silication vein; f. Propylitization
Py—Pyrite; Ser—Sericite; Qtz—Quartz

表 1 栾灵金矿床矿物共生组合和生成顺序
Table 1 Paragenetic sequence of hydrothermal minerals of the Luanling Gold deposit

矿物名称	热液成矿期				表生成矿期
	钾长石-石英阶段	石英-辉钼矿阶段	金-碲-硫化物阶段	石英-碳酸盐阶段	
钾长石	■■■■■				
重晶石	■■■■■				
石英	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	
绢云母		■■■■■	■■■■■		
绿泥石	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	
方解石				■■■■■	
高岭土		■■■■■			■■■■■
辉钼矿		■■■■■			
黄铁矿		■■■■■	■■■■■		
闪锌矿			■■■■■		
方铅矿			■■■■■		
黄铜矿			■■■■■		
碲铅矿			■■■■■		
碲银矿			■■■■■		
碲银金矿			■■■■■		
自然金			■■■■■		
钼华					■■■■■
白铅矿					■■■■■
赤铁矿					■■■■■
褐铁矿					■■■■■

3 辉钼矿样品采集及测试方法

为了限定栾灵金矿床的成矿时代,本次采集了 6 件含金辉钼矿化钾长石石英脉中的辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素年龄测定。

辉钼矿单矿物样品分离是在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司完成。矿石样品经粉碎、分离、粗选和精选,获得了纯度>98%的辉钼矿单矿物。单矿物晶体新鲜、无氧化、无污染,符合测试要求。

辉钼矿样品分解,Re-Os 纯化分离在国家地质实验测试中心完成。分离流程和质谱测定参照有关文献(杜安道等,1994; 2009; 2012; 屈文俊等,2003; 2008; 2009; 李超等,2009a; 2009b; 2010)。铼、钨化学分离步骤包括分解样品、蒸馏分离 Os、萃取分离 Re。质谱测定数据是在国家地质实验测试中心电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 或 Thermo Fisher Scientific 高分辨电感耦合等离子体质谱仪 HR-ICP-MS Element 上进行测量而得到的。需要说明的是:①普 Os 是根据原子量表(Wieser, 2006)和同位素丰度表(Bohlkea et al., 2005),通过测量¹⁹²Os/¹⁹⁰Os 比值计算得出;②Re-Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信度 95%。模式年龄的不确定度包括衰变常数的不确定度(1.02%)。置信水平 95%。本次实验中 Re、Os 和¹⁸⁷Os 空白水平分别为 0.0024 ng(不确定度 0.0003)、0.000 36 ng(不确定度 0.000 05)和 0.000 02 ng(不确定度 0.000 02),远小于样品含量,故不会影响试验中铼、钨含量的测定。

4 测试结果

栾灵金矿床辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试结果见表 2。模式年龄计算所用公式为: $t = 1/\lambda [\ln(1 + {}^{187}\text{Os}/{}^{187}\text{Re})]$, 其中衰变常数 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

6 件样品的模式年龄介于(162±3) Ma~(164±2) Ma; 加权平均年龄(163±1) Ma (MSWD=0.68) (图 6a)。利用 Isoplot 软件(Ludwig, 2009)对 6 组数据进行¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 等时线拟合,线性关系很好,获得等时线年龄为(163±2) Ma (MSWD=1.5)(图 6b)。

5 讨论

5.1 成矿时代

本次工作测得栾灵金钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素加权平均年龄为(163±1) Ma,属于晚侏罗世早期,代表了栾灵金钼矿床成矿年龄。辉钼矿呈微细浸染状分布于钾长石石英脉中。

在熊耳山金矿集区已发表一些测年数据。上宫金矿床蚀变绢云母中的流体包裹体 Rb-Sr 年龄为(242±11) Ma(黎世美等,1993),石英包裹体的⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为(246±3) Ma(任富根等,2001),黄铁绢英岩化石英脉中绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(236±3) Ma(任志媛等,2010)。由于主成矿阶段的蚀变绢云母与金矿化密切,且三组数据比较接近,故能代表上宫金矿床的成矿年龄。张振海等(1994)通过对绢英岩和黄铁矿化石英脉以及蚀变晚期的绢云母、石英、方解石等进行 Rb-Sr 法定年,分别得到等时线年龄(165±7) Ma 和(112±7) Ma,这两组年龄是代表上

表 2 栾灵金矿辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os isotope data for molybdenite from the Luanling gold deposit

样品号	样重/g	$w(\text{Re})/10^{-6}$		$w({}^{187}\text{Re})/10^{-6}$		$w({}^{187}\text{Os})/10^{-9}$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
14-T-1/B9	0.00255	48.20	0.32	30.29	0.20	82.02	0.58	162.3	2.2
14-T-1/B1	0.03003	36.32	0.31	22.83	0.20	61.99	0.32	162.8	1.6
14-T-1/B2	0.03034	45.41	0.38	28.54	0.24	78.26	0.50	164.4	2.4
14-T-1/B4	0.03165	59.16	0.51	37.18	0.32	101.50	0.60	163.6	2.4
14-T-1/B7	0.03071	81.95	0.82	51.51	0.51	138.90	0.80	161.7	2.5
LL-29	0.00554	220.00	2.50	138.30	1.60	377.40	2.30	163.6	2.6

注: 模式年龄 t 按公式 $t = 1/\lambda [\ln(1 + {}^{187}\text{Os}/{}^{187}\text{Re})]$ 计算, 其中 $\lambda({}^{187}\text{Re}$ 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。分析者: 李超, 周利敏。

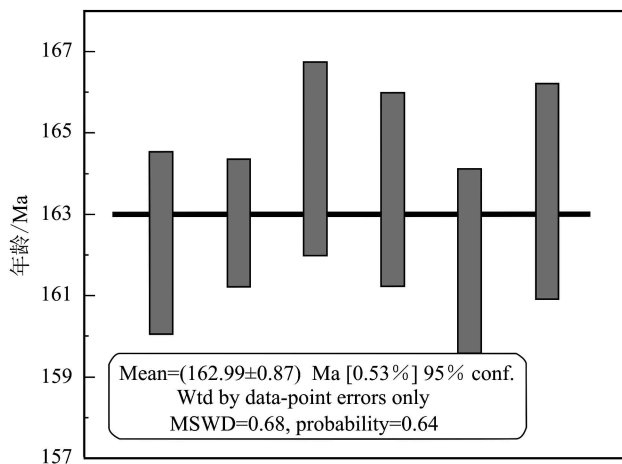
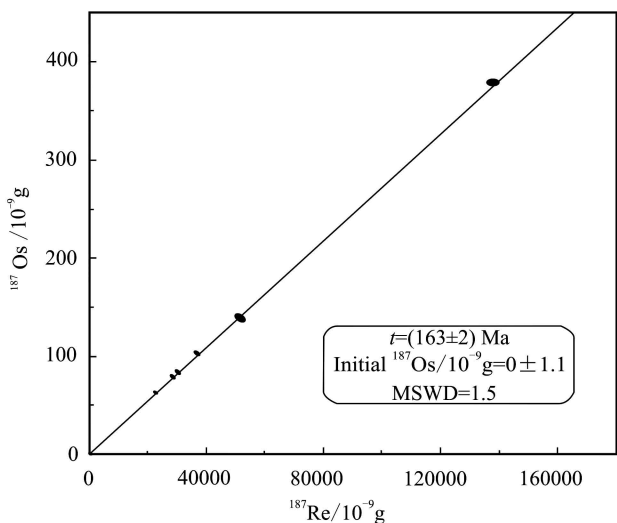


图 6 栾灵金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄(a)和加权平均年龄(b)

Fig. 6 Re-Os isochron ages (a) and mean ages (b) for Molybdenite from the Luanling gold deposit

宫金矿床同时发生了印支期和燕山期成矿还是成矿受到后期热事件的扰动还需要进一步研究。祁雨沟金矿床钾长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为(115~125) Ma(王义天等, 2001), 单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄为(126 ± 11) Ma(韩以贵等, 2007)。庙岭金矿床钾长石 ^{39}Ar - ^{39}Ar 年龄为(122 ± 1) Ma(翟雷等, 2011)。前河金矿床蚀变绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为(127 ± 2) Ma(Tang et al., 2013)。公峪金矿床含矿石英脉 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为(123 ± 1) Ma, 形成于晚中生代早白垩世。以上年龄数据表明熊耳山矿集区有三叠纪成矿、早白垩世大规模金矿成矿。栾灵金钼矿床成矿时代为晚侏罗世早期, 比该地区早白垩世(125 Ma 左右)大规模金矿化要早约 38 Ma, 是一个新的成矿时代。这个发现扩大了熊耳山矿集区乃至华北地块南缘的找矿时间域, 为寻找相同类型的矿床提供了依据。

5.2 Re 含量与成矿物质来源示踪

辉钼矿中 Re 含量可以作为指示成矿物质来源的示踪剂(Stein et al., 1997; Mao et al., 1999), Mao 等(1999)对比了中国各类钼矿床中辉钼矿的 Re 含量, 发现从地幔来源到壳幔混合来源再到地壳来源, 矿石中辉钼矿的 Re 含量呈 10 倍级下降, 与幔源、I 型花岗岩、S 型花岗岩有关的钼矿床, Re 含量呈现 $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$ 变化。金堆城、南泥湖-三道庄、上房沟及雷门沟等钼矿床的 Re 含量为 $12.9 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$, 与源于下地壳的斑岩体

有关(卢欣祥, 2002; 李永峰等, 2003; Li et al., 2004)栾灵金钼矿床中 6 件辉钼矿样品 $w(\text{Re})$ 除了 1 件样品含量较高, 达到 220×10^{-6} 外, 其余 5 件样品 $w(\text{Re})$ 变化在 $36.32 \times 10^{-6} \sim 81.95 \times 10^{-6}$, 暗示成矿物质主要来自于壳幔混合。

5.3 成矿构造背景探讨

华北板块与扬子板块于 238~218 Ma 之间(李曙光等, 1989; 李曙光, 1992; Chen et al., 1995; 张国伟等, 2001)实现完全对接, 其后转入陆内造山阶段(张国伟等, 2001; 王义天等, 2002), 并于 163~136 Ma 期间发生南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折(Zhang et al., 1996; 任纪舜等, 1998; 牛宝贵等, 2003; 李忠等, 2003; 毛景文等, 2005)。区域上, 在华北陆块南缘及邻区形成了晚侏罗世钼金矿床和含矿的花岗岩体, 如八里坡花岗斑岩(锆石 U-Pb 年龄(155 ± 1) Ma)(李洪英等, 2011)和钼矿床((156 ± 2) Ma)(焦健刚等, 2009)、南台花岗斑岩(锆石 U-Pb 年龄(151 ± 1) Ma)和钼矿床((149 ± 2) Ma)(柯昌辉等, 2012); 南泥湖斑岩体(SHRIMP 锆石年龄为(157 ± 3) Ma)、上房沟斑岩体(SHRIMP 锆石年龄(158 ± 3) Ma)、五丈山岩体(SHRIMP 锆石年龄(157 ± 1) Ma)(毛景文等, 2005)、石宝沟花岗岩(LA-ICP-MS 年龄为 157 Ma)(杨阳等, 2012)、庙岭白家凹花岗斑岩(LA-ICP-MS 年龄(157 ± 1) Ma)(李正远等, 2014)、栾灵金矿床(163 Ma)。根据前人对这些花岗岩的研究, 其物质来源主要为壳幔混源

且具有富碱(尤其是富钾)的特点。据此推测,栾灵金矿床的钾长石石英脉体可能与这些花岗岩形成于同一构造环境中。根据向君峰等(2012)的研究成果,南泥湖-三道庄矿区存在 2.2 Ga、175 Ma、158 Ma、145 Ma 四期岩浆-热事件,因此栾灵金矿床的形成可能与 158Ma 这期岩浆-热事件有关,跟南泥湖-三道庄、上房等钼矿属于同一成矿系统。

5.4 找矿启示意义

矿床和矿集区是特定地质过程中物质循环和元素富集的结果,特定的构造背景有利于形成特定类型的矿床(Robert et al., 2000)。栾灵金矿区发现的钾长石石英脉型金钼矿床,在熊耳山地区尚属首次发现。国内的此类金矿床有华北地台北缘的哈达门沟金矿床等(牛树银等, 2015; 侯万荣等, 2014)。从区域上看, 2005 年来在豫西外方山西部的中元古界火山岩中发现了一系列钾长石石英脉型钼矿,包括凡台沟钼矿、纸房钼矿、土岭村钼矿和大西沟钼矿等,被认为属于火山期后中高温热液矿床,矿区南部的马超营断裂属于控制火山机构的同生深源断裂带(白凤军等, 2010)。因此栾灵钾长石石英脉型金钼矿床的发现为在熊耳山地区寻找相似成矿地质条件的金矿床、钼矿床提供了依据,具有很好的找矿启示意义。

6 结 论

(1) 栾灵金矿 6 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素加权平均年龄为 $(163 \pm 1) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.68$),等时线年龄为 $(163 \pm 2) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.5$)。栾灵金矿形成于晚侏罗世,比熊耳山地区早白垩世大规模金矿床成矿作用早约 38 Ma,代表了一个新的成矿时代。

(2) 栾灵金矿床辉钼矿中 Re 含量特征表明,成矿物质主要来自壳幔混源。

(3) 栾灵金矿床区域上可能与华北陆块南缘及其邻区形成的晚侏罗世钼金矿床及含矿花岗岩体,尤其是南泥湖-三道庄、上房沟钼矿形成于同一成矿系统。

(4) 栾灵金矿床以发育独特的钾长石石英脉型金矿石,与熊耳山矿集区蚀变岩型金矿床显著区别,具有重要的找矿意义。

志 谢 野外工作得到中国地质大学(北京)曹晶、李正远等,栾灵金矿的支持和帮助,室内工作得

到国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室李超副研究员的指导,在此一并致以诚挚的感谢。

References

- Bai F J, Zhao T P, Xiao R G and Liu G Y. 2010. Ore-forming fluid geochemistry of the k-feldspar quartz-vein-typed molybdenum deposit in Songxian County, Henan Province[J]. *Geoscience*, 24(1):26-33(in Chinese with English abstract).
- Bohlkea J K, De Laeter J R, De Bievre P, Peiser H S, Rosman K J R and Taylor P D P. 2005. Isotopic compositions of the element[J]. *Journal of Physical Chemical Reference Data*, 34(1):57-67.
- Chen J F, Xie Z L, Liu S S, Li X M and Foland K A. 1995. Cooling age of dabié orogen, China: Determined by ^{40}Ar - ^{39}Ar and fission track techniques[J]. *Science in China (Series B)*, 38(6):749-757.
- Du A D, He H L, Yin N Y, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4):339-347(in Chinese with English abstract).
- Du A D, Qu W J, Li C and Yang G. 2009. A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3):288-304(in Chinese with English abstract).
- Du A D, Qu W J, Wang D H and Li C. 2012. Re-Os and its application in economic geology[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-182(in Chinese).
- Guo B, Zhu L M, Li B, Gong H J and Wang J Q. 2009. Zircon U-Pb and Hf isotope composition of the Huashan and Heyyu granite plutons at the southern margin of North China Craton: Implication for geodynamic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2):265-281(in Chinese with English abstract).
- Guo B J, Xu M L, Wang Z G and Dai T G. 1997. Geochemical features along detachment fault zone and its relationship with Au-Ag mineralization in north Hillside of the Xionger mountain[J]. *Mineral Resources and Geology*, 11(57):21-26(in Chinese with English abstract).
- Guo B J, Li Y F, Wang Z G and Ye H S. 2005. Type, metallogenetic regularities, mineralization model and prospecting proposal in the Xiong 'ershan district[J]. *Geology and Prospecting*, 41(05):43-47(in Chinese with English abstract).
- Han Y G, Li X H, Zhang S H, Zhang Y H and Chen F K. 2007. Single grain and crumble Rb-Sr dating of pyrite from Qiyugou gold deposit in western Henan Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(11):

- 1307-1311(in Chinese).
- Han Y G ,Zhang S H ,Franco P and Zhang Y H. 2007. Evolution of the mesozoic granite in the Xiong 'ershan-Waifangshan region ,western Henan Province ,China ,and its tectonic implicatio[n] [J]. *Acta Geologica Sinica* ,81(2) :253-265.
- Hou W R ,Nie F J ,Zhang C G ,Xu B ,Li W ,Zhao G M and Meng J J . 2014. Study on geological characteristics and metallogenesis of the Hadamengou gold deposit in Inner Mongolia[J] . *Acta Geologica Sinica* ,88(8) :1549-1560(in Chinese with English abstract).
- Jiao J G ,Yuan H C ,He K ,Sun T ,Xu G and Liu R P. 2009. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the baiipo porphyry Mo deposit in east Qinling ,China ,and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica* ,83(8) :1160-1166(in Chinese with English abstract).
- Ke C H ,Wang X X ,Yang Y ,Qi Q j ,Fan Z P ,Gao F and Wang X Y. 2012. Rock-forming and ore-forming ages of the Nantai Mo polymetallic deposit in north Qingling mountains and its zircon Hf isotope composition[J]. *Geology in China* ,39(6) :1562-1576.
- Li C ,Qu W J and Du A D. 2009a. Comprehensive study on extraction of rhenium with acetone in Re-Os isotopic dating[J]. *Rock and Mineral Analysis* ,28(3) :233-238(in Chinese with English abstract).
- Li C ,Qu W J and Du A D. 2009b. Decoupling of Re and Os and migration model of in coarse-grained molybdenite[J]. *Mineral Deposits* ,28(5) :707-712(in Chinese with English abstract).
- Li C ,Qu W J ,Zhou L M and Du A D. 2010. Rapid separation of osmium by direct distillation with carius tube[J]. *Rock and Mineral Analysis* ,29(1) :14-18(in Chinese with English abstract).
- Li H M ,Wang D H ,Wang X X ,Zhang C Q and Li L X. 2012. The Early Mesozoic syenogranite in Xiong 'er mountain area ,southern margin of North China Craton : SHRIMP zircon U-Pb dating ,geochemistry and its significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* ,31(6) :771-782(in Chinese with English abstract).
- Li H Y ,Mao J W ,Wang X X ,Ye H S and Yang L. 2011. Sr ,Nd ,Pb isotopic characteristics of granite in Jinduicheng area and their geological significance[J]. *Geology in China* ,38(6) :1536-1550(in Chinese with English abstract).
- Li S G ,Hart S R ,Zheng S G ,Guo A N ,Liu D L and Zhang G W. 1989. Sm-Nd isotopic age evidence of the collision epoch between North China Block and South China Block[J]. *Science in China(B series)* ,19(3) :312-319(in Chinese).
- Li S G. 1992. On the time of collision between the North China and Yangtze continental segments-the principle and application of isotope chronology[J]. *Geology of Anhui* ,24(4) :13-23(in Chinese with English abstract).
- Li S M ,Zhai L Q ,Li X M ,Li D T and Xu Z X. 1993. Metallogenetic geological conditions ,enrichment regularities ,metallogenetic model and prospective prognosis of the alteration-tectonite type gold deposits in the Xiong 'er mountain area[A]. In : Wang W X ,ed. *Contributions to gold deposits of the Qinling and Daba mountains*[C]. Beijing : Geological Publishing House. 96-132(in Chinese).
- Li Y F ,Mao J W ,Bai F J ,Li J P and He Z J. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum(tungsten) ore field in the eastern Qinling and its geodynamic significance[J]. *Geological Review* ,49(6) :652-659(in Chinese with English abstract).
- Li Y F ,Mao J W ,Guo B J ,Shao Y J ,Fei H C and Hu H B. 2004. Re-Os dating of molybdenite from the Nannihu Mo(-W) ore field in the East Qinling and its geodynamic significance[J]. *Acta Geologica Sinica* ,78(2) :463-470.
- Li Z ,Liu S F ,Zhang J F and Wang Q C. 2003. Typical basin-fill sequences and basin migration in Yanshan ,North China[J]. *Science in China(Series D)* ,47(2) :181-192(in Chinese with English abstract).
- Li Z Y ,Ye H S ,Cao J ,Zhang X K and Zhai L. 2014. Zircon U-Pb age , geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope composition of the granite porphyry in the Miaoling gold deposit of Songxian County ,Henan Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* ,33(3) :424-440(in Chinese with English abstract).
- Liang T ,Bai F J ,Luo Z H ,Lu X X ,Lu R ,Xu S T and Cheng J L. 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and its geological implications of Banzhusi granitic porphyry in Xiongershan of weatern Henan Province[J]. *Northwestern Geology* ,47(2) :41-50(in Chinese with English abstract).
- Liu C X ,Yan G W and Cai J H. 2010. Alkaline intrusive rocks in Song County ,Henan Province : SHRIMP zircon U-Pb dating ,geochemistry and its tectonic significance[A]. The petrology and geodynamics seminar abstracts[C]. Beijing : The School of Earth and Space Science of Peking. 157-158(in chinese).
- Lu R ,Liang T ,Bai F J and Lu X X. LA-ICP-MS U-Pb zircon age and Hf isotope composition of Mogou syenite ,weatern Henan Province[J]. *Geological Review* ,59(2) :355-368(in Chinese with English abstract).
- Lu X X ,Yu Z P ,Feng Y L ,Wang Y T ,Ma W F and Cui H F. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in the east Qinling mountain[J]. *Mineral Deposits* ,21(2) :168-178(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K. 2009. Isoplot/Ex ,version 2. 0 :A geochronological toolkit for Microsoft Exce[CP]. Geochronology Center.

- Mao J W ,Zhang Z C ,Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* ,63(11-12):1815-1818.
- Mao J W , Xie J Q ,Zhang Z H , Li X F ,Wang Y T ,Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(1):171-190(in Chinese with English abstract).
- Niu B G ,He Z J ,Song B and Ren J S. 2003. Volcanic SHRIMP dating and its significance[J]. *Geological Bulletin of China* ,22(2):140-141 (in Chinese).
- Niu S Y ,Sun A Q ,Ma B J ,Jiang S H ,Nie F J ,Zhang J Z and Wang B D and Xia D. 2015. Tectonic evolution and metallogenic ore controlling tectonic characteristics of Hadamengou gold deposit in Inner Mongolia [J]. *Earth Science Frontiers* ,22(1) 223-237(in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. *Rock and Mineral Analysis* ,22(4) 254-262(in Chinese with English abstract).
- Qu W J ,Du A D and Ren J. 2008. Influence of H₂O₂ in the Signal Intensity of Rhenium ,Osmium and Re-Os age in the process of dissolution for pyrite[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* ,8(2):223-226(in Chinese with English abstract).
- Qu W J , Du A D and Li C. 2009. High-precise determination of Osmium isotopic ratio in the Jinchuan copper-nickel sulfide ore samples [J]. *Rock and Mineral Analysis* ,28(3):219-222(in Chinese with English abstract).
- Ren F G , Yin Y J , Li S B and Zhao J N. 2001. The coupling character between isotopic geochronology of indosinian epoch in Xiong 'er Fault Basin[J]. *Bulletin of Mineralogy ,Petrology and Geochemistry* ,20(4) 286-287(in Chinese with English abstract).
- Ren J S and Wu Z W. 1998. On-stage discussion about Yinshan-Yanshan thrust-nappe structures[J]. *Geological Review* ,44(6):595-596(in Chinese).
- Ren Z Y and Li J W. 2010. Mineralization characteristics and metallogenic epoch of Shanggong gold deposit in western Henan Province [J]. *Mineral Deposits* ,29(S) 987-988(in Chinese).
- Robert K ,Richard G ,David G and Steven G. 2000. The characteristics , origins and geodynamic settings of super-giant gold metallogenic Provinces[J]. *Science in China(Series D)* ,43(Supp.) :1-68.
- Smoliar M I , Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A , III A , and IV B iron meteorites[J]. *Science* , 271 (5252): 1109-1102.
- Stein H J ,Markey R J , Morgan J W , Du A and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt ,Shaanxi Province ,China[J]. *Econ. Geol.* ,92(7-8) 827-835.
- Tang K F and Li J W. 2009. Mineralization characteristics , metallogenic epoch and ore genesis of Qianhe gold deposit in Song county , Henan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica* , 29(S1):136-137(in Chinese).
- Tang K F ,Li J W ,Selby D ,Zhou M F ,Bi S J and Deng X D. 2013. Geology ,mineralization ,and geochronology of the Qianhe gold deposit ,Xiong 'ershan area ,southern North China Craton[J]. *Mineralium Deposita* ,48(6) :729-747.
- Tang K F. 2014. Characteristics ,genesis ,and geodynamic setting of representative gold deposits in the Xiong 'er district ,southern Margin of the North China Craton(dissertation for doctor degree [D]. Supervisor : Li J W. Beijing :China University of Geosciences. 126p(in Chinese with English abstract).
- Wang W X ,Deng J ,Gong Q J ,Han Z W ,Wu F F and Zhang G X. 2010. Relationship of Wuzhangshan ,Huashan and Heyu granite rockmass with gold mineralization ,in Xiong 'ershan area ,western Henan Province[J]. *Gold* ,31(4):12-17(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T ,Mao J W and Lu X X. 2001. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County ,Henan Province[J]. *Geological Review* ,47(5) 551-555(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T and Mao J W. 2002. Mineralization in the post-collisional orogenic extensional regime : A case study of the Xiaoqinling gold deposit clustering area[J]. *Geological Bulletin of China* , 21(8):562-567(in Chinese with English abstract).
- Wang Z G ,Cui H and Xu M L. 1997. Geological tectonic evolution and mineralization of southern margin of North China Block[M]. Beijing :Metallurgical industry Press(in Chinese).
- Wei W S ,Zhang Y H ,Qing M and Li X A. 2001. Genetic model of alkali-complex rock type gold deposit in North of China[J]. *Gold Geology* ,7(1) 55-62(in Chinese with English abstract).
- Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements 2005(iupac technical report [J]. *Pure and Applied Chemistry* ,78(11) 2051-2066.
- Xiang J F , Mao J W , Pei R F , Ye H S , Wang C Y , Tian Z H and Wang H L. 2012. New geochronological data of granites and ores from the Nannihu-Sandaozhuang Mo(W) deposit[J]. *Geology in China* ,39(2) 458-473(in Chinese with English abstract).
- Yang Y , Wang X X , Ke C H and Li J B. 2012. Zircon U-Pb age , geochemistry and Hf isotopic composition of Shibaogou granitoid pluton in

- the Nannihu ore district, western Henan Province[J]. *Geology in China*, 39(6): 1525-1542(in Chinese with English abstract).
- Zhai L, Liu Y G and Jiao Y H. 2011. Geological features and ore-forming age of Miaoling gold deposit in Henan[J]. *Jilin Geology*, 30(02): 34-40(in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C and Xiao Q H. 2001. Qingling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press. 1-80(in Chinese).
- Zhang X K, Ye H S, Li Z Y, Yan Z X, Wang X Y and Han X Z. 2014. Metallogenic process of the Jijiawa gold deposit in western Henan: Constraints from fluid inclusions[J]. *Geoscience*, 28(04): 686-700(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H, Zhang J X and Ye S Z. 1994. Isotope dating on Au deposits in east Shandong[M]. Beijing: China Seismological Press. 56p(in Chinese).
- Zhang Y, Zhang Q and Wang Y. 1996. Great jurassic thrust sheets in Beishan(north mountains) gobi areas of China and southern Mongolia[J]. *Journal of Structural Geology*, 18(9): 1111-1126.
- 附中文参考文献
- 白凤军, 赵太平, 肖荣阁, 刘国营. 2010. 河南嵩县钾长石石英脉型钼矿成矿流体地球化学[J]. *现代地质*, 24(1): 26-33.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 68(4): 339-347.
- 杜安道, 屈文俊, 李超, 杨刚. 2009. 铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. *岩矿测试*, 28(3): 288-304.
- 杜安道, 屈文俊, 王登红, 李超. 2012. 铼-钨法及其在矿床学中的应用[M]. 北京: 地质出版社. 1-182.
- 郭保健, 徐孟罗, 王志光, 戴塔根. 1997. 熊耳山北坡拆离断层带地球化学特征及其与金银矿化的关系[J]. *矿产与地质*, 11(57): 21-26.
- 郭保健, 李永峰, 王志光, 叶会寿. 2005. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. *地质与勘探*, 41(05): 43-47.
- 郭波, 朱赖民, 李, 弓虎军. 2009. 华北陆块南缘华山和合峪岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成与成岩动力学背景[J]. *岩石学报*, 25(2): 265-281.
- 韩以贵, 李向辉, 张世红, 张元厚, 陈福坤. 2007. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年[J]. *科学通报*, 52(11): 1307-1311.
- 侯万荣, 聂凤军, 张纯歌, 徐斌, 李伟, 赵广明, 孟建军. 2014. 内蒙古哈达门沟金矿床地质特征及成矿作用探讨[J]. *地质学报*, 88(8): 1549-1560.
- 焦健刚, 袁海潮, 何克, 孙涛, 徐刚, 刘瑞平. 2009. 陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 83(8): 1160-1166.
- 柯昌辉, 王晓霞, 杨阳, 齐秋菊, 樊忠平, 高非, 王修缘. 2012. 北秦岭南台钼多金属矿床成岩成矿年龄及锆石 Hf 同位素组成. *中国地质*, 39(6): 1562-1576.
- 黎世美, 瞿伦全, 李新民, 李德天, 徐泽仙. 1993. 熊耳山地区蚀变构造造型金矿成矿地质条件、富集规律、成矿模式及远景预测见[A]. 主篇: 王文孝. 秦巴金矿论文集[C]. 北京: 地质出版社. 96-132.
- 李超, 屈文俊, 杜安道. 2009a. 铼-钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究[J]. *岩矿测试*, 28(3): 233-238.
- 李超, 杜安道, 屈文俊. 2009b. 大颗粒辉钼矿 Re-Os 同位素失耦现象及¹⁸⁷Os 迁移模式研究[J]. *矿床地质*, 28(5): 707-712.
- 李超, 屈文俊, 周利敏, 杜安道. 2010. Carius 管直接蒸馏快速分离钨方法研究[J]. *岩矿测试*, 29(1): 14-16.
- 李洪英, 毛景文, 王晓霞, 叶会寿, 杨磊. 2011. 陕西金堆城钼矿区花岗岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其地质意义[J]. *中国地质*, 38(6): 1536-1550.
- 李厚民, 王登红, 王晓霞, 张长青, 李立兴. 2012. 华北地块南缘熊耳山早中生代正长花岗岩: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 31(6): 771-782.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根, 郭安林, 刘德良, 张国伟. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据[J]. *中国科学(B 辑)*, 19(3): 312-319.
- 李曙光. 1992. 论华北与扬子陆块的碰撞时代——同位素年代学方法的原理及应用[J]. *安徽地质*, 2(4): 13-23.
- 李永峰, 毛景文, 白凤军, 李俊平, 和至军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨) 矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *地质评论*, 49(6): 652-659.
- 李正远, 叶会寿, 曹晶, 张兴康, 翟雷. 2014. 河南嵩县庙岭矿区花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学和 Sr-Nd-Pb 同位素特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(3): 424-440.
- 李忠, 刘少峰, 张金芳, 王清晨. 2003. 燕山典型盆地充填序列及迁移特征: 对中生代构造转折的响应[J]. *中国科学(D 辑)*, 33(10): 931-940.
- 梁涛, 白凤军, 罗照华, 卢欣祥, 卢仁, 徐石头, 成静亮. 2014. 豫西熊耳山斑竹寺花岗岩斑岩体锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. *西北地质*, 47(2): 41-50.
- 刘楚雄, 阎国翰, 蔡剑辉. 2010. 河南嵩县碱性岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征及构造意义[A]. 2010 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集[C]. 北京: 北京大学地球与空间

- 科学院. 157-158.
- 卢仁, 梁涛, 白凤军, 卢欣祥. 2013. 豫西磨沟正长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素[J]. 地质论评, 59(2):355-368.
- 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 王义天, 马维峰, 崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质, 21(2):168-178.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 25(1):171-190.
- 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 任纪舜. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. 地质通报, 22(2):140-141.
- 牛树银, 孙爱群, 马宝军, 江思宏, 聂凤君, 张建珍, 王宝德, 夏冬. 2015. 内蒙古哈达门沟金矿构造演化及成矿控矿构造特征[J]. 地学前缘, 22(1):223-237.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿-锆地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4):254-262.
- 屈文俊, 杜安道, 任静. 2008. 过氧化氢在黄铁矿的溶解过程中对铼-钨信号强度及年龄的影响研究[J]. 分析化学, 36(2):223-226.
- 屈文俊, 杜安道, 李超. 2009. 金川铜镍硫化物样品中钨同位素比值的高精度分析[J]. 岩矿测试, 28(3):219-222.
- 任富根, 殷艳杰, 李双保, 赵家农. 2001. 熊耳裂陷印支期同位素地质年龄耦合[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4):286-287.
- 任纪舜, 吴正文. 1998. 阴山-燕山大型逆冲推覆构造现场研讨会[J]. 地质论评, 44(6):595-596.
- 任志媛, 李建威. 2010. 豫西上宫金矿床矿化特征及成矿时代[J]. 矿床地质, 29(5):987-988.
- 唐克非, 李建威. 2009. 河南嵩县前河金矿矿化特征、成矿时代与矿床成因[J]. 矿物学报, 29(1):136-137.
- 唐克非. 2014. 华北克拉通南缘熊耳山地区金矿床时空演化、矿床成因及成矿构造背景(博士论文[D]). 导师: 李建威. 北京: 中国地质大学. 126 页.
- 王卫星, 邓军, 龚庆杰, 韩志伟, 吴发富, 张改侠. 2010. 豫西熊耳山五丈山、花山、合峪花岗岩体与金成矿关系[J]. 黄金, 31(4):12-17.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据[J]. 地质论评, 47(5):551-555.
- 王义天, 毛景文. 2002. 碰撞造山作用期后伸展体制下的成矿作用——以小秦岭金矿集中区为例[J]. 地质通报, 21(8):562-567.
- 王志光, 崔毫, 徐孟罗. 1997. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1-310.
- 向君峰, 毛景文, 裴荣富, 叶会寿, 王春毅, 田志恒, 王浩琳. 2012. 南泥湖-三道庄钨(钨)矿的成岩成矿年龄新数据及其地质意义[J]. 中国地质, 39(2):458-473.
- 杨阳, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝. 2012. 豫西南泥湖矿集区宝石沟花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学及 Hf 同位素组成[J]. 中国地质, 39(6):1525-1542.
- 翟雷, 刘玉刚, 焦永会. 2011. 河南省嵩县庙岭金矿床地质特征与成矿时代[J]. 吉林地质, 30(02):34-40.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社. 1-801.
- 张兴康, 叶会寿, 李正远, 颜正信, 王小雨, 韩新志. 2014. 豫西吉家洼金矿成矿作用过程: 来自成矿流体的约束[J]. 现代地质, 28(04):686-700.
- 张振海, 张景鑫, 叶素枝. 1994. 胶东金矿同位素年龄的厘定[M]. 北京: 中国地震出版社. 56 页.