

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2024.04.003

南秦岭龙头沟金矿床石英 Rb-Sr 同位素测年及其地质意义

刘新伟^{1,2,3}, 薛玉山^{1,2,3}, 寸小妮^{1,2,3}

(1. 西安西北有色地质研究院有限公司, 西安 710054;

2. 中国地质学会新能源矿产勘查与综合利用创新基地, 西安 710054;

3. 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 西安 710054)

摘要: 龙头沟金矿位于柞(水)-山(阳)矿集区中部, 矿床受构造控制, 赋矿地质体主要为重晶石黄铁矿化石英脉, 近年来相继在其外围发现五条沟、宽坪沟等金矿床, 形成了一条重要的金矿带, 成矿时代不清始终制约着对该矿床的进一步工作。为此, 本文以主成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素测年为主要手段, 开展成矿年代学研究。研究表明, 该矿床是印支晚期构造热液活动的结果, 其成矿作用可能开始于~266 Ma, 以五条沟矿段 249 Ma±42 Ma 为代达到高峰。南秦岭山风断裂沿线, 自海西期以来, 构造-岩浆-热液活动呈现出三期活动显著特点, 成岩成矿高峰期为 280 Ma—300 Ma、200 Ma—220 Ma 和 140 Ma—160 Ma, 丰富的岩浆热液活动不但给成矿作用带来大量的深部成矿物质, 还直接控制着矿化强度、期次以及叠加成矿作用, 龙头沟金矿与其他较大规模金矿一样, 都是印支-燕山早期构造活动的结果, 是南秦岭印支期金成矿作用的体现。

关键词: 龙头沟金矿床; 石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素; 印支期; 南秦岭成矿时代

中图分类号: P597; P618.51 **文献标识码:** A

0 引言

龙头沟金矿位于陕西省山阳县东部, 大地构造位置为南秦岭造山带北部, 是柞(水)-山(阳)矿集区的重要组成部分。自 2000 年初发现以来, 已逐步勘查形成了龙头沟金矿带, 主要由龙头沟金矿段、五条沟金矿段和宽坪沟金矿段等组成, 矿化蚀变带东西长约 7.5 km, 金矿体断续产出, 估算黄金资源潜力在 20 t 以上, 是陕西商洛地区重要的黄金资源基地。众多学者对龙头沟金矿从成矿地质特征^[1-3]、矿床地球化学特征^[4-6]、成矿流体及成矿条件^[7]、找矿潜力^[8-10]等方面进行了深入研究, 但该矿床成矿时代不清, 始终困扰着区内及邻区的勘查工作突破。本次工作利用主成矿阶段的石英矿物进行了 Rb-Sr

等时线年龄测定, 获得了主成矿阶段年龄数据, 为进一步研究龙头沟金矿床成矿时代和矿床成因提供了证据。

1 区域地质背景

矿床地处秦岭造山带南秦岭成矿带东段, 位于柞(水)-山(阳)矿集区中部, 属于南秦岭 Au-Pb-Zn-Fe-Hg-Sb-RM-REE-V-蓝石棉-重晶石成矿亚带^[11], 该区域经历了新元古代、古生代和中生代构造-岩浆热事件和造山作用^[12-13], 形成了多期构造变形、强烈而广泛的岩浆活动, 以及丰富的金属矿产资源。

区域地层属迭部-旬阳地层分区天竺山地层小区, 出露地层主要为泥盆系、石炭系碎屑岩、碳酸盐

收稿日期: 2024-07-01; 责任编辑: 沈名星

基金项目: 西安西北有色地质研究院有限公司科研项目(编号:2021J02;2023J02)资助。

作者简介: 刘新伟(1983—), 男, 高级工程师, 长期从事矿产勘查与评价工作。E-mail: 418780973@qq.com

岩建造(图1),其中泥盆系地层分布广泛,泥盆系地层可能是秦岭造山带前陆盆地环境下的沉积岩相组合^[14]。区域构造带主要呈近EW向带状展布,主要有山阳—凤镇大断裂(简称山凤断裂)和镇安—板岩镇断裂(简称镇板断裂)区域性断裂。区域岩浆活动主要有3期,新元古代岩浆活动主要形成了山凤断裂南侧的板板山岩体、冷水沟岩体等岩体;三叠世时期华北和扬子板块碰撞诱发强烈的构造岩浆作用;晚侏罗世—早白垩世时期主要在山凤断裂两侧形成了南北2个岩浆岩带,南部为冷水沟—双元沟—池沟中酸性侵入岩带,北部为袁家沟—小河口—元子街—下官坊中酸性侵入岩带。

2 矿床地质特征

研究区出露中泥盆系地层,主要有石家沟组(D_{2s})白云质砂岩、砂质白云岩,大枫沟组(D_{2d})杂砾岩、长石石英砂岩、绢云粉砂质板岩,以及古道岭组(D_{2g})泥砂质灰岩、微晶生物灰岩、白云质灰岩,龙头沟金矿床主要赋存于大枫沟组中。纸房沟—瓦房店—中村背斜为复式背斜,轴向近EW向(图2),龙头沟金矿床主要赋存于该背斜北翼。上岔口—土地岭—东龙头沟脑断裂切割纸房沟—土地岭背斜轴,总体倾向北,在其北侧发育着一系列的近EW向S倾的剪切断层,是矿区最重要的容矿构造。

龙头沟金矿分布于宽坪沟—龙头沟—老沟—五

条沟一带,矿带东西长约7500m,主要由龙头沟矿段、五条沟矿段和宽坪沟矿段组成。已圈定矿体9条,单矿体长度400~1350m,矿体走向40°~120°,矿体厚0.21~3.59m,矿体金品位 $3 \times 10^{-6} \sim 5.50 \times 10^{-6}$ ^①。从龙头沟矿段至五条沟矿段,矿体走向由近EW向转变为NE向,矿体受构造控制明显,为同一成矿构造下的矿体断续产出;矿体呈脉状产出,与地层倾向相反是其主要特征之一(图3)。

通过大量槽探、坑探、钻探以及手标本、镜下观察,龙头沟金矿带的主要矿化蚀变类型有硅化、黄铁矿化、重晶石化、黄铜矿化、锑黝铜矿化、镜铁矿化、碳酸盐化、辰砂化、绢云母化、钾长石化。成矿阶段分为硅化—少硫化物阶段、硅化(重晶石)—多硫化物阶段和碳酸盐化阶段等3个阶段,其中硅化(重晶石)—多硫化物阶段为主成矿阶段。成矿早期阶段发育硅化、镜铁矿化,重晶石化主要分布在成矿中早期,在主成矿阶段龙头沟矿段发育黄铜矿化、锑黝铜矿化、黄铁矿化等,在五条沟矿段硫化物出现辰砂化蚀变;成矿晚期以碳酸盐网脉发育为特征,局部可见碳酸盐胶结早期脉体碎块(图4f)。

3 样品及测试方法

3.1 样品采集

本次研究分别在龙头沟金矿段和五条沟金矿段进行了石英 Rb-Sr 同位素测年。采集8件金矿石样



图1 区域地质构造简图

Fig. 1 Regional geological sketch of the deposit

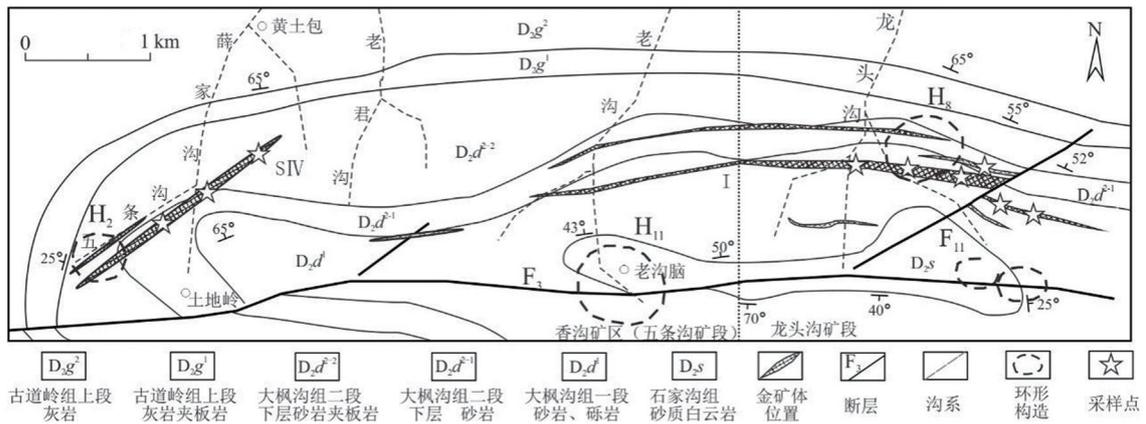


图 2 龙头沟金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Longtougou Au deposit

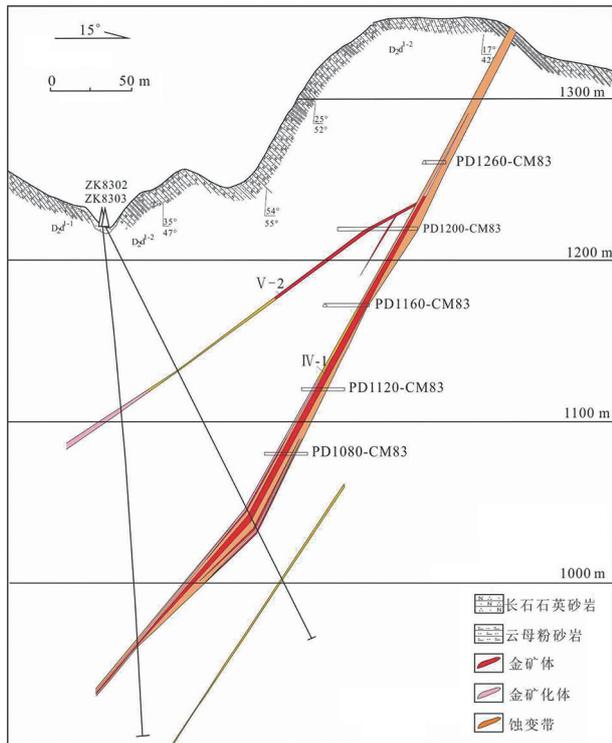


图 3 龙头沟金矿典型剖面图

Fig. 3 Typical section of the deposit

品用于测试分析,3 件样品来自龙头沟矿段,5 件样品来自五条沟矿段。金矿石由黄铁矿化硅化蚀变岩、黄铁矿化石英脉组成,均为主成矿阶段产物,金矿石中石英颜色呈烟灰色,强油脂光泽,自形程度较差,见表 1。

3.2 测试方法

石英 Rb-Sr 同位素样品的测试在中国地质调查局武汉地质调查中心完成,具体分析流程见参考文献[15],同位素分析样品制备的全过程均在超净化

实验室内完成,全流程 Rb、Sr 空白分别为 3×10^{-10} 和 4×10^{-10} 。等时线年龄计算采用 Ludwig 编写的 ISOPLOT 软件。等时线回归计算时 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值输入 2% 误差, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值输入 0.02% 误差。

4 测试结果

龙头沟金矿带石英的 Rb-Sr 同位素测试结果见表 2,检测结果显示,龙头沟金矿中石英的 $w(\text{Rb}) = 0.1542 \times 10^{-6} \sim 0.6133 \times 10^{-6}$, $w(\text{Sr}) = 3.359 \times 10^{-6} \sim 9.283 \times 10^{-6}$,数值相对较集中;测定 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.01256 \sim 0.4452$,平均值为 0.1461; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.71111 \sim 0.71302$,平均值为 0.71175。

由于龙头沟矿段数据较少未拟合成线。五条沟矿段 4 件(17-XG-20 样品数据偏差较大,计算未采用)获得等时线年龄 $249 \text{ Ma} \pm 42 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 0.85$ (图 5)。

5 讨论

5.1 矿床成矿时代

胡西顺等[8]对区域上金矿研究认为本区金矿成矿与印支期岩浆活动关系十分密切,金矿化事件成矿时代多集中在 170 Ma—240 Ma。陈雷[16]用龙头沟矿段金矿石样品中的绢云母进行 Ar-Ar 测年,得到龙头沟金矿成矿期年龄为 $254.9 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$ 。本次测定的龙头沟金矿带五条沟矿段形成时代为 $249 \text{ Ma} \pm 42 \text{ Ma}$,与前人研究的成矿年龄基本一致。

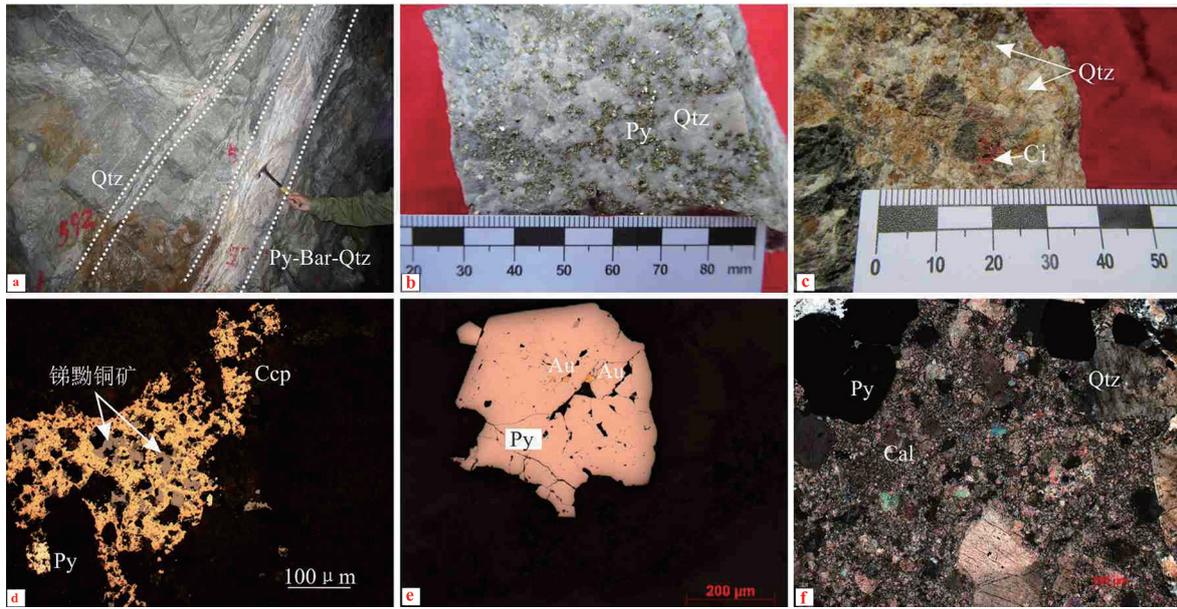


图4 典型岩矿石照片

Fig. 4 Photos of typical ore

a. 龙头沟矿段金矿体, 黄铁矿重晶石石英脉, 产状与地层斜交; b. 黄铁矿化石英脉, 黄铁矿呈浸染状;
c. 碎裂辰砂化铁白云石石英脉, 辰砂呈斑点状; d. 黄铜矿、锑黝铜矿与黄铁矿共生; e. 载金黄铁矿; f. 碳酸盐化黄铁矿石英脉;
Qtz. 石英; Py. 黄铁矿; Bar. 重晶石; Ci. 辰砂; Ccp. 黄铜矿; Au. 自然金; Cal. 方解石

表1 测试样品特征

Table 1 Schedule of samples tested

序号	样号	工程位置	样品描述	测年矿物	矿段
1	17-XG-28	PD1200W	黄铁矿化石英方解石脉	石英	龙头沟
2	17-XG-32	PD1080	黄铁矿化石英脉	石英	龙头沟
3	17-XG-14	PD1120	黄铁矿化石英脉	石英	龙头沟
4	17-XG-20	TCX74-1	黄铁矿化石英脉	石英	五条沟
5	17-XG-21	TCX110-2	黄铁矿化铁白云石石英脉	石英	五条沟
6	17-XG-22	TCX104-1	黄铁矿化石英脉	石英	五条沟
7	17-XG-29	ZKX12001	铁白云石石英脉	石英	五条沟
8	17-XG-30	ZKX11001	黄铁矿化石英脉	石英	五条沟

表2 石英 Rb-Sr 同位素测试结果

Table 2 Schedule of Rb-Sr isotopic analysis

序号	样号	工程位置	$w(\text{Rb})/10^{-6}$	$w(\text{Sr})/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	矿段
1	17-XG-28	PD1200W	0.1542	22.27	0.01996	0.71144	0.00002	龙头沟
2	17-XG-32	PD1080	0.2387	19.61	0.0351	0.71129	0.00001	龙头沟
3	17-XG-14	PD1120	0.4441	13.29	0.09641	0.71183	0.00005	龙头沟
4	17-XG-20	TCX74-1	0.5185	3.359	0.4452	0.71302	0.00008	五条沟
5	17-XG-21	TCX110-2	0.4428	10.39	0.1230	0.71148	0.00002	五条沟
6	17-XG-22	TCX104-1	0.3289	9.250	0.1025	0.71153	0.00002	五条沟
7	17-XG-29	ZKX12001	0.6133	5.139	0.3342	0.71227	0.00004	五条沟
8	17-XG-30	ZKX11001	0.5433	124.8	0.01256	0.71111	0.00001	五条沟

此外,本次工作还利用全部测试数据,通过等时线拟合计算,初步获得 $266 \text{ Ma} \pm 77 \text{ Ma}$ (MSWD 为 6.9) 的成矿数据,这与区域主要深大断裂—山凤断裂形成时代 ($287.8 \text{ Ma} \pm 2.6 \text{ Ma}^{[17]}$) 以及山凤断裂

北侧的桐木沟锌矿床形成时代 ($292.9 \text{ Ma} \pm 8.4 \text{ Ma}^{[18]}$) 基本一致,因此,本文认为区域成矿时代可能开始于 $\sim 266 \text{ Ma}$,即印支期早期,而 249 Ma 左右到达成矿高峰,形成了龙头沟金矿带。

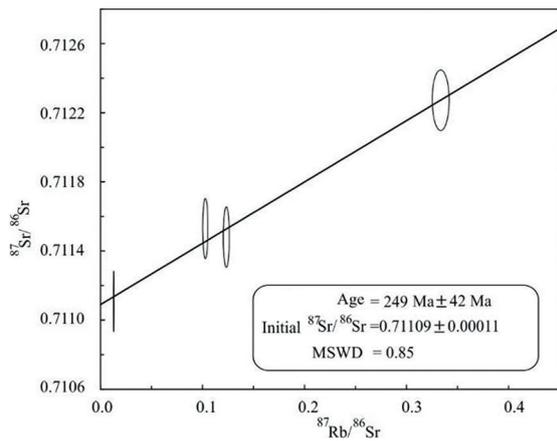


图 5 五条沟矿段石英 Rb-Sr 测年等时线图

Fig. 5 Isochronous graph of Rb-Sr dating of quartz of Wutiaogou Au deposit

5.2 区域成矿时代规律

秦岭地区的碰撞造山作用主要发生于印支期,而后转入陆内构造演化阶段^[13],由 SN 向强烈的构造挤压到 EW 向的剪切运动,同时伴有碰撞花岗岩活动,花岗质岩浆沿断裂的深部活动为金矿化提供了充足的成矿热液和活化动力^[19]。山凤断裂是南秦岭地区 1 条重要的深大断裂,控制区域 EW 向为主的构造格局,在印支期—燕山期多次活化运动,为区域热液活动提供了重要的通道,断裂两侧分布着众多金多金属矿床,两者在成因与时空联系上密不可分(图 1)。

本区主要的成岩成矿研究结果见表 3。统计可见,南秦岭柞水—山阳矿集区印支期以来总体呈现 3 期构造-热液活动事件(图 6)。

表 3 南秦岭地区主要矿床、岩体形成时代统计

Table 3 Statistics of formation time of major Au deposits and intrusive bodies

序号	矿床/岩体名称	测试方法	形成年龄/Ma	文献
1	二台子金矿	黑云母 K-Ar	210.8	[20]
2	金龙山金矿	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 激光探针	232.7±6.9	[21]
3	金龙山金矿	绢云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法	296±13.1	[22]
4	山阳香沟钨矿	方解石+白钨矿 Sm-Nd	141~142	[23]
5	山凤断裂	绢云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法	195±65	[23]
6	东阳钨矿	辉钼矿 Re-Os	200.9±1.9	[17]
7	庙梁金矿	锆石 U-Pb(近矿围岩)	287.8±2.6	[24]
8	桐木沟锌矿	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法	198±2.7	[24]
9	穆家庄铜矿	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法	284±33	[25]
10	小河口铜矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	148.9~172.3	[25]
11	下官坊铜矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	292.9±8.4	[18]
12	元子街铜矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	323.68±3.77	[18]
13	冷水沟铜矿	辉钼矿 Re-Os 等时线	141.3±1.3	[26]
14	夏家店金矿	萤石方解石 Sm-Nd 同位素	138.1±2.0	[27]
15	龙头沟金矿	方解石等 Sm-Nd 同位素	139.1±2.7	[27]
16	下官坊-石英闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	141.7±1.7	[28]
17	下官坊-花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	147.4±8.4	[29]
18	元子街-花岗闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.8±0.5	[23]
19	元子街-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.5±1.0	[24]
20	小河口-闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.3±0.4	[25]
21	小河口-闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	143.3±0.4	[26]
22	瓦沟-石英闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	141.5±0.4	[27]
23	袁家沟-二长花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.3±0.5	[28]
24	白沙沟-石英闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.8±0.5	[29]
25	池沟-IV号闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.5±1.0	[30]
26	池沟-V号花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.3±0.4	[31]
27	池沟-石英闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	146±1	[33]
28	双元沟-石英闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	140.4±1.1	[27]
29	土地沟-闪长玢岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	141.8±1.4	[32]
30	土地沟-花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	141.2±1.0	[32]
31	土地沟-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.6±0.4	[17]
32	冷水沟-北部花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	142.2±0.5	[32]
33	冷水沟-冷水沟花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	143.9±0.7	[32]

续表 3

序号	矿床/岩体名称	测试方法	形成年龄/Ma	文献
34	冷水沟-正长闪长斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	141.7±1.4	[34]
35	鸡冠河-闪长玢岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.3±0.5	[17]
36	庙梁-闪长玢岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144.3±0.7	[17]
37	沙河湾岩体	锆石 U-Pb	212.1±1.8	[35]
38	沙河湾岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	212±0.93	[36]
39	沙河湾岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	209—205	[37]
40	沙河湾岩体-暗色包体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	200—199	[37]
41	曹坪岩体-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	224.1±1.1	[36]
42	曹坪岩体-二长花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	220.0±2.0	[38]
43	柞水岩体-黑云二长花岗岩	锆石 U-Pb	213.6±1.8	[39]
44	柞水岩体-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	224.8±1.1	[36]
45	柞水岩体-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	213±2	[40]
46	柞水岩体-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	209±2199±2	[41]
48	东江口岩体-二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	212±0.93	[42]
49	东江口岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	218.7±2.4	[38]
50	东江口岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	218±3	[40]
51	东江口岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	219±2	[41]

晚古生代,南秦岭地区深大断裂活动、深部岩浆活动强烈,山阳—凤镇断裂二叠世早期(287.8 Ma±2.6 Ma)发生逆冲作用,而二叠世晚期主要为EW向剪切作用^[17];在山阳—凤镇断裂北侧穆家庄铜矿,获得与黄铜矿共生的黑云母 Ar-Ar 坪年龄为 323.68 Ma^[18],在山阳—凤镇断裂北侧桐木沟矿中获得透闪石 K-Ar 年龄 293 Ma^[18];南秦岭金龙山金矿赋矿围岩南羊山组发生热液蚀变,激光显微探针⁴⁰Ar/³⁹Ar 获得年龄 296.7±13.1 Ma^[21]。综上,该时期(320 Ma—280 Ma)是南秦岭深部岩浆活动和地热活动与后生流程交代成矿重要时期,可能是印支期—燕山期大规模成岩成矿作用的前序,庙梁金矿在山阳—凤镇断裂二叠世早期逆冲作用时期发生热液成矿活动,而龙头沟金矿的成矿与山阳—凤镇断裂二叠世晚期的剪切作用活动有关。

晚三叠世—早侏罗世之间,南秦岭柞水—山阳地区构造岩浆活动强烈,形成了区域内大型花岗质岩基,如沙河湾岩体、曹坪岩体、东江口岩体等,成岩时代 199 Ma~224.8 Ma。研究区内的成矿作用与岩浆活动时代接近或稍晚,成矿高峰期为 200 Ma—220 Ma;研究区内山阳—凤镇断裂发生了一期明显的逆冲断层的活动,同位素测年 200.9 Ma±1.9 Ma^[17]。薛玉山等^[23]在王家坪—龙头沟地区白钨矿获得成矿年龄为 195 Ma±65 Ma,与镇安西部钨矿集区东阳钨矿成矿年龄(198 Ma±2.7 Ma)基本一致^[24]。南秦岭二台子金矿区与成矿关系密切的煌斑岩脉中黑云母的 K-Ar 法年龄为 210.8 Ma,认为二台子金矿的成矿年龄在晚三叠世^[20]。因此,在

印支—燕山期华北和扬子板大块陆碰撞时期,发生强烈的构造—岩浆活动,同时伴随有强烈的热液成矿作用发生。

晚侏罗世—早白垩世,南秦岭地区进入燕山期,区内构造动力体制从印支期以近 EW 向为主进入以近 NE 向构造为主的转换期^[13,43],发生走滑剪切运动,构造热液活动叠加改造早期地质体;在山凤断裂两侧的袁家沟、双元沟、池沟、小河口、元子街、池沟、土地沟、下官坊等中酸性小斑岩体群(150 Ma—140 Ma)集中侵位^[44-47],具有“东西成带、南北成群”的特征,在这些小岩体外接触带发育有矽卡岩化和角闪岩化,其中常有金、铜(钼)矿化。印支—燕山期岩浆活动与区内金、铜(钼)成矿作用关系密切。通过测定夏家店金矿床萤石、方解石获得 Sm-Nd 年龄为 139.64 Ma±0.98 Ma^[30],龙头沟金矿床的方解石存在 Sm-Nd 年龄为 141.70 Ma±0.92 Ma^[31]的现象,与区内含金构造带在活动矿体破碎特征一致。项目组以往研究成果^[7,48]显示,王家坪金矿、龙头沟金矿成矿期后构造叠加作用强烈,上述龙头沟金矿年龄可能存在晚期成矿热液叠加作用;任涛等^[49]认为夏家店金矿床是印支期挤压推覆、燕山期剪切平移断裂构造改造叠加的结果。同时,南秦岭金龙山大型金矿最新研究表明成矿作用在 141 Ma~142 Ma^[22],在燕山期也发生了叠加成矿。

综上所述,凤镇—山阳断裂在早印支—燕山期主要有三期构造—岩浆活动,其成岩成矿高峰期为 280 Ma—300 Ma,200 Ma—220 Ma,140 Ma—160 Ma,丰富的岩浆热液活动不但给成矿作用带来大量的深

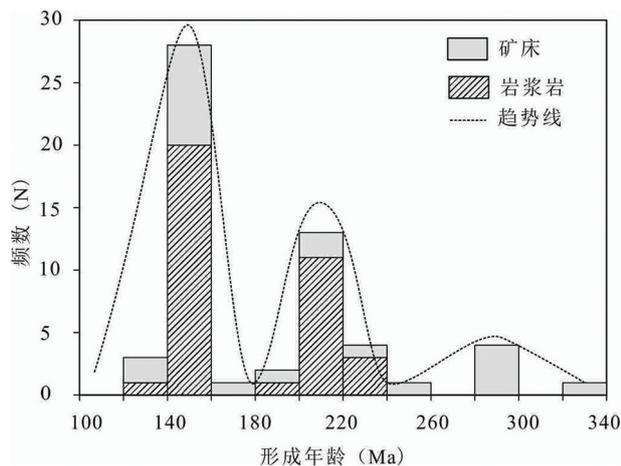


图6 南秦岭柞水-山阳矿集区成岩成矿时代统计直方图

Fig. 6 Histogram of statistics of rock-forming and ore-forming times of Zhashui-Shanyang Au ore deposit-clustered area in the South Qinling

部成矿物质,还直接控制着矿化强度、期次和叠加成矿作用,本地区金多金属矿床(点)正是该构造-岩浆-热液活动的产物。

6 结语

(1)龙头沟金矿床五条沟矿段主成矿期石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 249 Ma ± 42 Ma, MSWD=0.85, 可代表主成矿阶段时代。

(2)龙头沟金矿床成矿作用具有三阶段成矿特点,成矿作用可能始于~266 Ma,主成矿期在 255 Ma—249 Ma,为印支早期;在燕山期(140 Ma)有一次明显的成矿热液叠加作用。

(3)凤镇-山阳断裂在早印支-燕山期主要有 3 期构造-岩浆活动(280 Ma—300 Ma, 200 Ma—220 Ma, 140 Ma—160 Ma),同时伴随有强烈的热液成矿作用,在断裂两侧形成多次叠加的金多金属矿床。

致谢:本文为西安西北有色地质研究院有限公司科研项目(2017J02)部分研究成果,项目在实施过程中受到张云峰总经理、胡西顺总工程师等大力支持,山阳纵横矿业公司雷永康总经理、权斌副总经理等在样品采集过程中提供了帮助,在此一并表示感谢。

注释:

① 胡西顺,朱红周,原莲肖,等.陕西省山阳县龙头沟金矿区详查地

质报告[R].西安:西北有色地质研究院,2008.

参考文献:

- [1] 刘新伟,薛杉,汪超,等.陕西省山阳县龙头沟金矿地质特征及控矿因素[J].云南冶金,2011,40(S2):97-101.
- [2] 宁磊.陕西山阳-柞水矿集区龙头沟金矿床成因及地球动力学背景研究[D].北京:中国地质大学(北京),2015.
- [3] 赵超.陕西山阳龙头沟金矿金属矿物特征及成矿作用研究[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
- [4] Li B, Zhu L, Xiong X, *et al.* Genesis of the Longtougou gold deposit, South Qinling Orogen, China: Constraints from ore geology, trace element, and S-Pb-H-O isotopes [J]. *Ore Geology Reviews*, 2022, 149: 105104.
- [5] 丁坤,王瑞廷,刘凯,等.南秦岭柞水-山阳矿集区龙头沟金矿床硫化物微量元素和硫同位素地球化学特征[J].地质与勘探,2021,57(5):969-980.
- [6] 胡西顺,朱红周,孟广路,等.陕西山阳龙头沟金矿的发现——化探异常评价实例[J].矿产与地质,2005,19(6):674-678.
- [7] 薛玉山,寸小妮,刘新伟,等.南秦岭龙头沟金成矿带成矿物质来源:元素及硫同位素证据[J].现代地质,2020,34(5):1077-1091.
- [8] 胡西顺,李建斌,刘新伟,等.山阳中村-商南湘河一带金矿成矿地质背景、矿床类型与找矿方向[J].陕西地质,2015,33(2):70-77.
- [9] 王瑞廷,刘凯,冀月飞,等.陕西柞水-山阳金铜银多金属矿集区典型矿床模型和找矿预测[J].地质通报,2023,42(6):895-908.
- [10] 王淑利,刘新伟,汪超,等.陕西龙头沟金矿地质特征及找矿方向[J].黄金科学技术,2014,22(4):50-54.
- [11] 徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008.
- [12] 王晓霞,王涛,齐秋菊,等.秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演变及构造意义[J].岩石学报,2011,27(6):1573-1593.
- [13] 张国伟,张本仁,袁学诚.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001:1-855.
- [14] Shi G, Wang H, Huang C, *et al.* Provenance and tectonic setting of middle-upper Devonian sandstones in the Qinling Orogen (Shanyang area): New insights from geochemistry, heavy minerals and tourmaline chemistry [J]. *Tectonophysics*, 2016, 688: 11-25.
- [15] 彭三国,胡俊良,刘劲松,等.湖北随州黑龙潭金矿石英 Rb-Sr 同位素年龄及其地质意义[J].地质通报,2017,36(5):867-874.
- [16] 陈雷.陕西山阳-柞水矿集区斑岩铜钼金矿岩浆热液成矿系统、典型矿床成矿模型及区域成矿分析[R].北京:中国地质科学院,2015.
- [17] 吴发富.中秦岭山阳-柞水地区岩浆岩及其成矿构造环境研究[D].北京:中国地质科学院,2013.
- [18] 朱华平.柞山地区铜锌多金属矿床地质-地球化学-后生成矿作用的重要性[D].北京:中国地质科学院,2004.
- [19] 陈衍景.秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J].中国地质,2010,37(4):854-865.

- [20] 范春花,龙灵利,季军良,等.秦岭二台子金矿床地质地球化学再研究[J].西北大学学报(自然科学版),2002,32(1):69-73.
- [21] 赵利青,陈祥,周红,等.南秦岭金龙山微细浸染型金矿成矿时代[J].地质科学,2001,36(4):489.
- [22] 刘云华,李真,周肃,等.南秦岭东沟一金龙山金矿地质特征、成矿时代及其地质意义[J].地学前缘,2016,23(4):81-93.
- [23] 薛玉山,刘新伟,胡西顺,等.南秦岭香沟金钨矿白钨矿原位微区分析及方解石 Sm-Nd 同位素定年:对钨成矿过程的限定[J].中国地质,2021,48(6):1818-1837.
- [24] 刘茜.陕西镇安钨矿床特征及成因研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
- [25] 焦世豪.陕西山阳一柞水地区庙梁隐爆角砾岩及其与金成矿关系研究[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
- [26] 熊潇.秦岭造山带典型矿床地质—地球化学及其对关键造山事件的指示[D].西安:西北大学,2017.
- [27] 郑俊.南秦岭柞水—山阳矿集区燕山期花岗质岩浆作用与成矿潜力评价[D].西安:西北大学,2016.
- [28] 朱赖民,郑俊,熊潇,等.南秦岭柞水—山阳矿集区园子街岩体岩石地球化学与成矿潜力探讨[J].地学前缘,2019,26(5):189-205.
- [29] 陈雷,闫臻,刘凯,等.南秦岭冷水沟铜钨金矿床年代学及其地质意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):713-727.
- [30] 刘凯,王瑞廷,樊忠平,等.秦岭造山带柞水—山阳矿集区夏家店金矿床成矿时代及其地质意义[J].矿床地质,2019,38(6):1278-1296.
- [31] 樊忠平,张望,王卫.陕西省山阳—商南金矿成矿规律及找矿预测研究[J].黄金科学技术,2023,31(4):560-579.
- [32] 郑俊,朱赖民,姜航,等.南秦岭柞水—山阳矿集区印支期和燕山期花岗岩对比研究[J].矿物岩石地球化学通报,2015,34(6):1155-1172.
- [33] 谢桂青,任涛,李剑斌,等.陕西柞水盆地池沟铜钨矿区含矿岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因[J].岩石学报,2012,28(1):15-26.
- [34] 牛宝贵,和政军,任纪舜,等.秦岭地区陡岭—小茅岭隆起带西段几个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].地质论评,2006,52(6):826-835.
- [35] 卢欣祥,尉向东,肖庆辉,等.秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义[J].高校地质学报,1999,5(4):372-377.
- [36] 弓虎军,朱赖民,孙博亚,等.南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(2):248-264.
- [37] 张成立,王晓霞,王涛,等.东秦岭沙河湾岩体成因——来自锆石 U-Pb 定年及其 Hf 同位素的证据[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(3):453-465.
- [38] Qin J,Lai S C,Graves R,et al. Origin of Late Triassic high-Mg adakitic granitoid rocks from the Dongjiangkou area, Qinling orogen, central China: Implications for subduction of continental crust [J]. Lithos, 2010, 120(3): 347-367.
- [39] 胡健民,崔建堂,孟庆任,等.秦岭柞水岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质论评,2004,50(3):323-329.
- [40] Ping X,Zheng J,Zhao J,et al. Heterogeneous sources of the Triassic granitoid plutons in the southern Qinling orogen: An E-W tectonic division in central China [J]. Tectonics, 2013, 32(3): 396-416.
- [41] 杨恺,刘树文,李秋根,等.秦岭柞水岩体和东江口岩体的锆石 U-Pb 年代学及其意义[J].北京大学学报(自然科学版),2009,45(5):841-847.
- [42] 秦江锋.秦岭造山带晚三叠世花岗岩类成因机制及深部动力学背景[D].西安:西北大学,2010.
- [43] 朱赖民,郑俊,姜航,等.秦岭造山带燕山期构造岩浆事件与成岩成矿动力学背景[J].矿物学报,2015,35(S1):107.
- [44] 陈龙龙,唐利,沈彦谋,等.秦岭造山带栾川 Mo-W 矿集区和柞水—山阳 Cu-Mo 矿集区斑岩型矿床成矿差异性对比[J].西北地质,2024,57(2):67-89.
- [45] 李平,陈隽璐,张越,等.商丹俯冲增生带南缘土地沟—池沟地区侵入岩形成时代及地质意义[J].西北地质,2023,56(2):10-27.
- [46] 孟德明,王瑞廷,刘凯,等.陕西山阳县池沟地区地质特征与构造-岩浆-成矿作用分析[J].西北地质,2014,47(1):116-126.
- [47] 王瑞廷,任涛,孟德明,等.柞—山矿集区侵入岩与成矿[J].西北地质,2012,45(S1):29-33.
- [48] 薛玉山,王瑞廷,汪超,等.陕西省山阳县王家坪金矿断裂构造控矿规律[J].地质力学学报,2020,26(3):391-404.
- [49] 任涛,樊忠平,原莲肖,等.南秦岭东段早寒武世黑色岩系金钨成矿特征与找矿方向——以夏家店矿床为例[J].西北地质,2007,40(2):85-94.

Rb-Sr age dating of quartz from Longtougou Au deposit in South Qinling area and the geological significance

LIU Xinwei^{1,2,3}, XUE Yushan^{1,2,3}, CUN Xiaoni^{1,2,3}

(1. Xi'an Northwest Institute of Nonferrous Metals Co. Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi provinc, China;

2. New Energy Mineral Exploration and Comprehensive Utilization Innovation

Base of the Geological Society of China, Xi'an 710054, Shaanxi Provinc, China;

3. Shaanxi Engineering Technology Research Center of Comprehensive Utilization of Mineral Resources,
Xi'an 710054, Shaanxi Provinc, China)

Abstract: Longtougou Au deposit is located in the central Zhashui-Shanyang Au deposit-clustered area. It is tectonically controlled and hosted by barite-quartz vein and forms a major Au ore belt together with Wutiaogou and Kuanpinggou Au deposits discovered in the surrounding in resent years. Making clear of ore-forming ages will expand exploration targets. Rb-Sr age dating is conducted on fluid inclusion of quartz. The result shows that the Au deposit are resulted from late Indo-China hydrothermal activity. The ore-forming process started from about 266 Ma. The age dating of Wutiaogou Au deposit is 249 Ma \pm 42 Ma. Along Shanfeng fault took place three major tectonic-magnetic hydrothermal activities since Hercynian epoch with rock-forming and ore-forming stages of 280 Ma-300 Ma, 200 Ma-220 Ma and 140 Ma-160 Ma. The abundant hydrothermal fluid and intense hydrothermal activity provided not only huge volume of ore materials from depth but also controlled directly epoches and intensity and over printing of mineralization. Similar to other large Au deposits Longtougou Au deposit is the result of tectonic movement from Indo-China to early Yanshanian period representing Au ore-forming process in Indo-China period.

Key Words: Longtougou Au deposit; Rb-Sr isotopes of quartz fluid inclusion; Indo-China epoch; ore-forming periods in South Qinling area