

文章编号: 0258-7106 (2002) 02-0159-09

西秦岭小沟里石英脉型金矿床 成矿地质特征及成因*

冯建忠¹ 汪东波^{1,2} 邵世才¹ 王学明¹ 林国芳³

(1 北京矿产地质研究所, 北京 100012; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3 甘肃有色地质勘查局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 本文通过石英脉 Ar-Ar 法和花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 法定年、氢氧同位素测定、微量元素测定及含矿岩石中斑点构造显微镜研究, 结合矿床地质特征和区域地质环境分析, 探讨了花岗岩与金矿床的关系以及矿床成因。含金石英脉 Ar-Ar 坪年龄为 197 Ma, 等时线年龄为 193 Ma。大山花岗岩 U-Pb 年龄为 201 Ma。石英包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 8.15‰~12.82‰, δD 为 -58‰~-77‰, 热液水来源以岩浆水为主。岩石中发育斑点构造, 斑点为黄铁矿、绿泥石、石英、黑云母等热液交代蚀变矿物。矿区内脉岩发育, 组成矿体的上下盘, 花岗岩体和脉岩含金量可达 240×10^{-9} 。大山岩体中心相含金 1.7×10^{-9} , 边缘相含金 6.3×10^{-9} , 从岩体到矿区脉岩含金量增加。研究表明, 大山花岗岩与矿床有密切的时间、空间及成因关系, 并提供了热源、水源和部分成矿物质。矿床类型为岩浆热液型。

关键词 秦岭造山带 小沟里金矿 岩浆作用 成岩成矿年代学

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

秦岭造山带是我国著名的微细浸染型(卡林型)金矿成矿带, 在该矿带发现了八卦庙、双王、二台子、金龙山、丘岭、李坝等大型金矿床以及一系列中小型金矿床(点), 其成矿地质地球化学特征在一定程度上可与美国卡林型金矿及我国滇桂黔卡林型金矿类比。但近两年在该成矿带的甘肃省西(和)成(县)地区发现了一种新的矿床类型——小沟里石英脉型金矿。该矿床位于中秦岭华力西褶皱带南亚带西段的西成铅锌矿田, 其成矿地质特征和矿床地球化学特征不同于邻区的陕西八卦庙金矿床和双王金矿床、甘肃李坝矿床, 更不同于微细浸染型(卡林型)金矿(张复新, 1998, 1997; 赵会庆, 1999; 王小春, 1998)。本文从矿床地质角度以及同位素地质学、年代学的测定结果, 论证了该矿床的成因。

1 矿区地质

秦岭造山带被商州-丹凤(商丹)和勉县-略阳(勉略)两条缝合带〔即 F_1 和 F_4 〕(图 1)划分为华北、扬子和秦岭(微)板块(张本仁等, 1994; 张国伟等,

1996)。在古生代时期, 它们分别对应于华北板块南缘活动大陆边缘、扬子板块北缘被动大陆边缘和秦岭微板块。南秦岭地区的金矿床主要分布在商丹断裂以南、勉略断裂以北的秦岭微板块内。小沟里金矿产在著名的西成铅锌矿田内, 位于甘肃省成县与西和县交界处, 大地构造位置为中秦岭华力西褶皱带南亚带西段, 北为礼县—山阳断裂带(F_2), 南为临潭-镇安断裂带(F_3)。矿区出露地层为中泥盆统西汉水组, 为一套复理石和类复理石建造的浅变质、浅海相碎屑岩系, 自下而上分为 5 个岩性段(图 1):

第一岩性段($D_2 x^1$) 生物灰岩层, 以石英绢云母千枚岩为主, 夹钙质砂岩, 厚 50~100 m。

第二岩性段($D_2 x^2$) 千枚岩层, 以钙质绢云母千枚岩为主, 夹薄层灰岩、变砂岩、钙质砂岩等, 局部见 Pb、Zn 矿化, 厚 400~450 m。

第三岩性段($D_2 x^3$) 以中薄层灰岩为主, 厚 50~90 m。

第四岩性段($D_2 x^4$) 以石英绢云母千枚岩为主夹钙质砂岩、钙质千枚岩等, 为区内主要含矿层, 厚 350~400 m。

* 本文受国家重点基础研究项目(编号: G1999043213)和国家科技攻关项目(编号: 96-914-01-04)联合资助

第一作者简介 冯建忠, 男, 1960 年生, 教授级高级工程师, 长期从事矿床地质和地球化学研究工作。e-mail: fjz@public2.east.net.cn

收稿日期 2001-07-03; 改回日期 2002-3-1。张绮玲编辑。

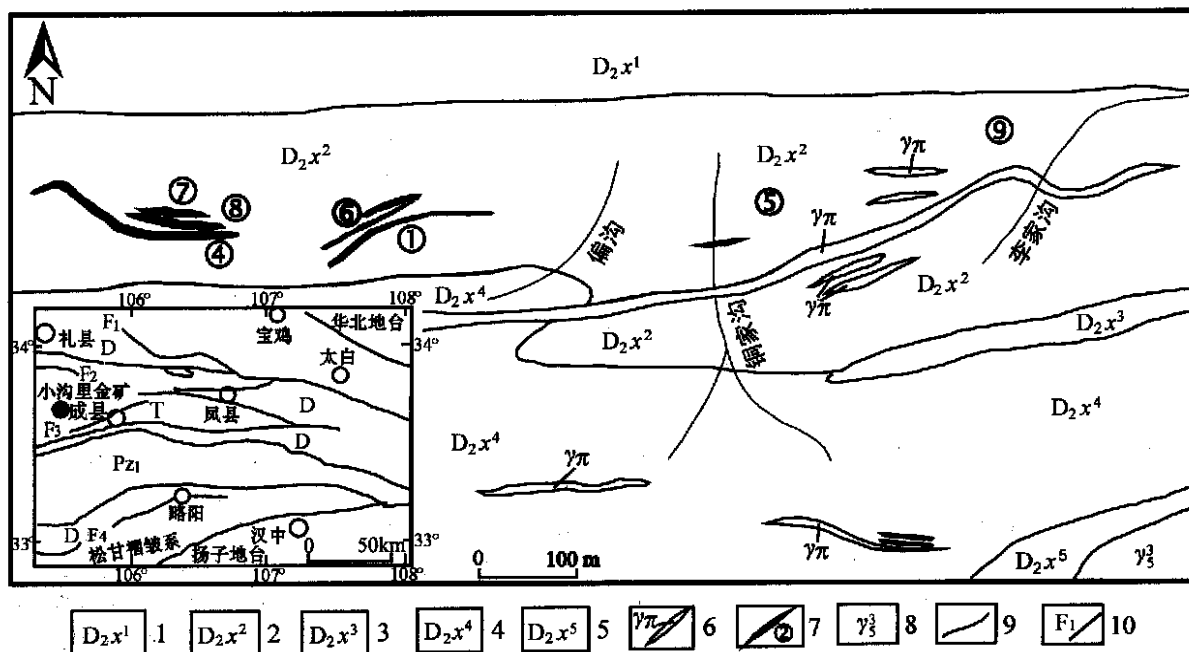


图 1 甘肃成县小沟里金矿区地质图

1—中泥盆统西汉水组石英绢云母千枚岩; 2—绢云母千枚岩夹薄层灰岩、砂岩; 3—薄层灰岩; 4—千枚岩夹钙质砂岩; 5—硅化灰岩夹大理岩; 6—花岗斑岩脉; 7—金矿体及编号; 8—大山花岗岩; 9—岩性界线; 10—断层及编号。T—三叠系; D—泥盆系; Pz₁—下古生界; F₁—商州-丹凤断裂带; F₂—礼县-山阳断裂带; F₃—临潭-镇安断裂带; F₄—略阳-玛曲断裂带

Fig. 1 Geological map of the Xiaogouli gold deposit

1—Quartz sericite phyllite; 2—Sericite phyllite intercalated with thin limestone and sandstone; 3—Thin-layer limestone; 4—Phyllite intercalated with calcareous sandstone; 5—Silicified limestone intercalated with marble; 6—Granite veins; 7—Orebody and its serial number; 8—Dashed granite; 9—Lithological boundary; 10—Faults and its serial number. T—Triassic; D—Devonian; Pz₁—Lower Paleozoic; F₁—Shangzhong-Danfeng fault; F₂—Lixian-Shanyang fault; F₃—Lintan-Zhen'an fault; F₄—Lueyang-Maqu fault

第五岩性段(D₂x⁵)以硅化灰岩为主夹大理岩,厚度大于100 m。

矿床产于吴家山背斜南翼次一级三洋坝向斜南翼,此处地层倒转,为一向南西方向倾斜的单斜层,断裂发育,主要有北西向和北东向两组。北西向为层间压扭性断裂,与岩层小角度相交。这些断裂沿走向断续出现,其间被右行斜列裂隙替代,它们控制着区内含金石英脉和花岗岩脉的分布。北东向为一组小规模压扭性断裂,对矿体起破坏作用。

矿区中酸性岩脉发育,主要岩类为花岗斑岩脉,次为闪长玢岩脉。东南800 m处有大山花岗岩体出露(图1)。

2 金矿化地质特征

2.1 矿体特征

该矿床为石英脉型,已发现大小40余条石英脉金矿体。石英脉常成群成带产出,多呈似层状、透镜

状、脉状,与围岩小角度相交。受断裂裂隙控制,矿体一般由多条含金石英脉、网脉和其间的蚀变岩组成。矿体在空间上具膨大缩小、尖灭再现、分枝复合及斜列等现象。从矿体中心向外具有从大脉型→细脉型变化的趋势。

矿体规模变化较大,长度由几十米到几百米,厚度一般0.5~3 m,最厚处可达8 m。据钻探工程揭露,金矿体延深大于200 m。品位一般偏低,多为1~3 g/t,少数可达5~7 g/t,品位在走向和倾向上的变化比较大。

2.2 矿石矿物特征

石英脉主要成分为石英,其含量70%~95%,其次是铁碳酸盐,含量5%~25%。其他矿物有黄铁矿、绢云母、高岭石、绿泥石、方铅矿、闪锌矿、银黝铜矿、毒砂、孔雀石、蓝铜矿等。矿石构造主要为浸染状、细脉浸染状、多孔状、斑点构造,其次为晶洞构造、斑杂状构造。矿石结构以粒状结构为主,次为交代结构,还有隐晶结构、碎裂结构、环边结构、梳状结

构。

金主要呈显微金—粗粒金产出。自然金主要产于钠长石石英脉中,呈裂隙金、粒间金形式产于石英粒间、石英与黄铁矿粒间、石英与铁白云石粒间。粗粒金主要产于石英细脉的边部和由细脉派生的微脉中及其交汇部位。曾在一块标本上挑出214粒明金。分离出的石英脉样重150 g,而挑出的金粒重435.17 mg。金粒为不规则粒状、树枝状、角砾状、片状。呈等轴粒状、球形、棍棒形的金粒直径均小于1 mm,而具有完整晶面的金粒直径则多在1.6~2.9 mm范围内。对石英脉的尾砂进行人工研磨时仍发现有金粒。脉旁围岩金品位也达3.8 g/t。

2.3 热液蚀变

小沟里金矿床围岩蚀变发育,主要为硅化、绢云母化、钠(更)长石化、绿泥石化、毒砂化、黄铁矿化等。成矿早期的硅化以面状(弥散状)蚀变为主,形成细粒石英,呈他形粒状沿原岩的裂隙及矿物粒间或边缘进行蚀变交代。石英晶体内部常常保留交代残余产出的碳酸盐质点或尘埃粘土质点及碳质物,有时可见到数量不等、大小不一的自型-半自型石英,其含量多数小于5%。石英有时具环带状构造。这种早期硅化也呈石英大脉产出,脉体成分单一,脉宽0.3~0.5 m不等。成矿主期的硅化主要呈网脉、细脉状产出,脉体成分以石英为主,其次为铁碳酸盐,含量可达20%~40%,钠长石10%~18%,还有一定的黄铁矿、毒砂、银黝铜矿等硫化物和绢云母、绿泥石、高岭石等。总之,主期硅化石英脉成分复杂,常常构成含黄铁矿石英脉、石英-黄铁矿脉、含铁碳酸盐钠长石石英脉、银黝铜矿石英脉、自然金石英脉等。成矿晚期硅化与碳酸盐化密切共生,形成石英-碳酸盐脉,脉内的碳酸盐含量高达40%~60%,可见到梳状构造。

2.4 矿化富集规律

金矿石主要由石英脉组成,其次才是脉旁的蚀变岩。凡是金品位高的地段均有石英脉。含金高的石英大脉旁蚀变岩内也含有大量的石英网脉。

石英脉的含金量一般高于脉旁围岩的含金量,一般石英脉的含金量0.1 g/t至十几 g/t,少数达20~30 g/t。而围岩一般只有0.005~0.8 g/t。脉旁围岩的金矿化强弱与石英脉本身金含量成正比。凡脉旁金含量大于1 g/t者,石英脉的金含量一般大于5 g/t。当石英脉金品位小于1 g/t时,脉旁围岩金含量一般小于0.3 g/t。围岩的金含量与其距石英脉

的距离成反比,因此,从近矿围岩到远矿围岩,金含量降低。

总体上,复杂网脉带(即不同产状、形态各异、粗细脉交织)→单一脉带孤脉体→透镜状脉体→似层状脉,金的含量有逐渐降低的趋势。而且从脉带中心→脉带边部→远离脉带,石英脉的含量也有降低的趋势。

石英脉的金含量与石英脉的厚度基本成反比,石英细脉带的金含量均高于石英大脉带的金含量。此外,石英脉金含量与脉内硫化物发育程度有关。金含量高的石英脉一般含硫化物较高,特别是细粒他形黄铁矿发育时,金含量较高,一般大于3 g/t。

3 样品分析及测试结果

3.1 Ar-Ar 年龄测定

西秦岭金矿床虽然在成矿地质特征和成矿作用方面有较深入的探讨,但在成矿年代研究方面资料较少,主要采用Rb-Sr法、普通铅法、K-Ar法。所测矿物和金的关系不明确,如普通铅法测定的是方铅矿,而秦岭地区的铅锌矿是在泥盆纪同生沉积形成的,多数铅锌矿与金矿无成因关系。以往用K-Ar法测定的是矿区内脉岩的年龄,而脉岩一般较成矿时间晚。小沟里金矿金赋存在石英脉中,所以本次对含矿石英脉中石英进行了Ar-Ar年龄测定。

经显微镜下薄片观察后,再破碎选样。石英样品破碎后先手选,再碎至0.2~0.3 mm,经淘洗晾干后,在双目显微镜下手工挑选,样重2 g。为了减少包体成分及过剩Ar的干扰,所选的石英样品新鲜、透明,纯度99%以上。利用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化定年法,通过核反应,把微量K的化学分析转化为 ^{39}Ar Ar静态质谱法测定(桑海清等,1994)。测试在中国科学院地质研究所 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年实验室进行。首先将样品送到反应堆进行快中子照射,照射时间为60~80 h,快中子积分通量为 $1 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2\text{s}$,然后对照射后的样品做 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段加热实验。将样品置于RGA-10气体源质谱计与析Ar仪联合系统中进行Ar的提取与纯化;最后用英国VSS公司RGA-10气体源质谱计做静态同位素分析。并注意实验流程中加长气体净化时间及低温条件下的吸附、数据处理中的扣除来校正Cl和过剩 ^{40}Ar 的干扰,取得了精确的结果。

样品采用逐级升温加热法提取Ar进行质谱分

析,在 640 ℃~1 000 ℃之间形成一稳定的马鞍型坪, Ar-Ar 坪年龄为 $(197.5 \pm 1.0) \text{ Ma}$ 。依有关数据绘成 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱等时线,等时线年龄为 $(193.2 \pm 1.0) \text{ Ma}$,相关系数为 0.99988。

3.2 U-Pb 年龄测定

为了研究金矿与花岗岩成矿时间上的关系,采集金矿外围大山花岗岩作了单颗粒锆石 U-Pb 法年龄测定。因为未见过关于小沟里金矿外围大山花岗岩同位素年龄的报道。

采集样品重 8~10 kg。经分离手工挑选出纯净

的锆石,在显微镜下观察锆石的形态特征,锆石为无色、浅黄色细长柱状自形晶。大量的薄片观察表明,锆石自形程度好,柱面完整对称,柱长宽比为 3.5:1~6:1。表明是在岩浆房中结晶的,为岩浆锆石,与高级变质岩中的锆石差别较大。

年龄测定在 VG-354 固体质谱计上进行,测定结果见表 1。小沟里金矿外围大山花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄值非常一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄差别很小,三个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 201.6 Ma、201.5 Ma 和

表 1 小沟里金矿大山花岗岩锆石 U-Pb 同位素测定结果
Table 1 U-Pb dating of single zircon from the Dashan granite

点号	锆石形态	m/ μg	$w_B/10^{-6}$		m(普通铅)/ng	同位素原子比率					表面年龄/Ma		
			U	Pb		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	无色细长柱状自形晶	25	907	27	0.002	22 676	0.053	0.0318(2)	0.2215(2)	0.0506(4)	201.6	203.2	221.3
2	浅黄色细长柱状自形晶	25	763	24	0.003	13 336	0.0731	0.0317(3)	0.2214(3)	0.0506(4)	201.5	203.1	222
3	无色中长柱状自形晶	25	1 503	45	0.004	20 427	0.0512	0.0316(3)	0.2196(3)	0.0503(5)	200.8	201.5	210.1

注: $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 已对空白($\text{Pb}=0.050 \text{ ng}$, $\text{U}=0.002 \text{ ng}$)及稀释剂作了校正。其它比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素。括号中数字为 2σ 。

200.8 Ma。年龄数据一致或很接近,表明所测样品自结晶以来,其中的母体和子体同位素处于封闭体系,保存性良好。因此,所测年龄结果是可靠的。

3.3 稳定同位素测定

硫是成矿热液中最主要的矿化剂,硫化物是矿床中的主要金属矿物。因此,硫同位素是矿床成因和成矿物理化学条件的指示剂。对小沟里金矿主矿体中的石英脉和蚀变岩黄铁矿、毒砂、闪锌矿做了硫同位素测定。将挑选好的纯净的硫化物样品与 Cu_2O 燃烧氧化,萃取 SO_2 。然后在质谱仪上测定 SO_2 的硫同位素。分析精度为 $0.041\% \sim 0.088\%$,9 件样品 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $8.3\% \sim 16.9\%$ (表 2)。

5 件氢氧同位素样品采自主矿体石英脉,测试在中国地质科学院矿产资源研究所同位素室进行。氧同位素测试采用 BrF_5 法。首先将选好的纯净的石英样品与 BrF_5 反应($2\text{BrF}_5 + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{BrF}_3 + \text{SiF}_4 + \text{O}_2 \uparrow$)萃取氧。用样 12 mg,反应需 15 h。分离出的氧气进入 CO_2 转化系统,转化温度为 700 ℃。转化 12 mg 石英样品的氧约需 12 min。最后收集 CO_2 ,在 MAT-251 EM 质谱计上进行同位素分析。质谱机测试精度为 0.02% ,5 件样品 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $17\% \sim 20.4\%$ (表 3)。采用石英-水分馏方程式 $1000\ln\alpha = 3.38 \times$

表 2 小沟里金矿硫同位素组成

Table 2 Sulfur isotope composition of the Xiaogouli gold deposit

样号	岩石	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\%$
Xg-a	蚀变岩	毒砂	9.9
Xg-4a	石英脉	黄铁矿	8.3
Xg-4b	石英脉	黄铁矿	8.8
Xg-6	石英脉	毒砂	11.3
Xg-8	石英脉	黄铁矿	9.9
Xg-10	石英脉	黄铁矿	12.6
Xg-12	铅锌矿	闪锌矿	16.9

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所

表 3 小沟里金矿石英及包裹体氢氧硅同位素组成

Table 3 Hydrogen, Oxygen and Silicon isotopes of the Xiaogouli gold deposit

样号	矿物	$\delta^{18}\text{O}_g/\%$	$\delta^{18}\text{O}_w/\%$	$\Delta D/\%$	t/℃	$\delta^{30}\text{Si}/\%$
Xg-4	石英	20.2	10.8	-77	241	-0.5
Xg-6	石英	20.4	11.8	-58	257	-0.4
Xg-18	石英	17	8.2	-74	252	-0.3
Xg-31	石英	19.7	12.8	-69	301	-0.3
Xg-39	石英	19.7	10.1	-68	236	-0.2

测试单位:地质科学院同位素研究室

$10^6 / T^2 - 3.4$ (Clayton et al., 1972), 求得成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 水值为 $8.2\text{‰} \sim 12.8\text{‰}$, 平均值为 10.7‰ 。

从石英样品中提取流体中氢及同位素测试的程序为: 加热石英包裹体样品至热爆高峰温度, 打开包裹体, 释放挥发分。提取水蒸气通过 410℃ 灼热的锌炉与锌反应。活性炭吸收反应后所产生的氢气。采集气体在质谱仪上测定 D/H 值。分析结果以样品中两种稳定同位素相对于国际标准水样 SMOW 的千分差表示: $\delta\text{D} = [(\text{D}/\text{H})_{\text{样}} / (\text{D}/\text{H})_{\text{标}}] \times 100\text{‰}$ 。

4 岩浆岩与金矿的成矿关系

4.1 岩浆岩与金矿的空间关系

小沟里金矿东南为大山花岗岩。从岩体到矿区, 脉岩发育。矿区内脉岩主要为花岗斑岩脉, 闪长玢岩脉较少。岩脉常常成群成带产出, 在厚约 2 m 的深灰色灰岩层内出现了 5 层厚度为 $3 \sim 30\text{ cm}$ 的岩脉。花岗斑岩脉带与金矿体密切伴(共)生, 脉岩常为矿体的上、下盘围岩, 部分金矿体产在岩脉带的边部甚至岩脉带中。数条金矿脉与数条脉岩相间产出, 脉岩有弱的金矿化, 花岗斑岩脉中金含量高达 0.24 g/t 。

4.2 岩体的热动力作用

岩浆活动产生的巨大热能对成矿有一定的影响。矿区内及外围泥质岩石中普遍发育斑点千枚岩、斑点板岩, 斑点状构造除了主要在泥质岩石中发育外, 亦见于其它岩石, 岩性变化及后来的矿化蚀变使斑点特征复杂多变。

斑点主要为黄铁矿、铁白云石、绿泥石、褐铁矿、石英、绢云母等组成。根据主要矿物组成将斑点划分为 5 类(表 4)。与矿化有密切关系的褪色化蚀变带包括绢云母化、硅化、绿泥石化以及叠加的黄铁矿化、毒砂化和碳酸盐化。他们在斑点中均有不同程度的表现, 形成由内向外的分带现象: 黄铁矿 + 石英

→ 绿泥石 → 黑云母。交代完全时, 黄铁矿占据整个斑点。

斑点状构造围绕岩体分布, 斑点中发育特有的热液矿物和金属硫化物及其结构, 说明了斑点不是沉积成因, 而是与岩浆热液有关, 是成矿流体在岩石中不均匀交代的结果。斑点中普遍发育热液矿物和金属矿物(图 2), 是泥质岩石热变质和热液作用形成的, 斑点板岩、斑点千枚岩含金高, 是重要的找矿标志, 对成矿有指示意义。斑点状构造是重要的找矿标志之一, 当组成斑点的矿物为黄铁矿、绿泥石、碳酸盐、绢云母时, 特别是黄铁矿含量增加时, 金含量急剧增加(图 2A)。

4.3 金矿与岩浆岩的时间关系

据邵世才(2001)研究, 小沟里金矿矿体石英脉 Ar-Ar 坪年龄为 $(197 \pm 1)\text{ Ma}$, 等时线年龄为 $(193 \pm 1)\text{ Ma}$, 其时代相当于燕山早期。

在铀-铅谐和图上三个数据点落在一条曲线上, 表明样品对铀和它的子体保持封闭, 自矿物形成后没有铅的丢失(张进红等, 2000; Gunter, 1977), 3 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄代表锆石的结晶年龄。根据这 3 个点表面年龄求得权重平均为 $(201 \pm 1)\text{ Ma}$, 代表大山岩体的成岩年龄(图 3), 与上述的含金石英脉年龄一致。

4.4 岩浆岩与金矿床的成因关系

矿床中普遍发育脉岩, 脉岩分布于矿体的上下盘, 其中有金矿化。脉岩两侧发育褪色蚀变带, 蚀变带中金含量高。本区脉岩和岩体富含 Au、Ag、As、Sb、Bi(表 5)。从岩体向矿区方向, 脉岩含金量逐渐增高, 大山岩体为 3.85×10^{-9} , 岩体外细粒花岗斑岩脉为 12×10^{-9} , 矿区外围脉岩为 $33.25 \times 10^{-9} \sim 40 \times 10^{-9}$, 矿区脉岩中高达 240×10^{-9} 。小沟里金矿脉岩和大山岩体普遍含金高(表 5), 岩体为金矿提供了部分成矿物质。从矿区中心向南到大山花岗岩岩体的一条地质剖面(延家河剖面, 图 4)图表明, 矿区

表 4 小沟里金矿含矿围岩中斑点状构造及矿物学特征

Table 4 Type and mineralogy of the spots in Au bearing strata in the Xiaogouli gold deposit

斑点类型	斑点形态	斑点大小/ mm	斑点含量/ %	矿物成分	样品数
铁白云石斑点	近圆形、菱形	0.15 ~ 2.3	5 ~ 20/(9)	铁白云石	16
绿泥石斑点	近圆形、菱形	0.3 ~ 0.9	10 ~ 15/(12)	绿泥石、铁白云石	5
黄铁矿化斑点	近圆形	0.7 ~ 1.4	3 ~ 10/(5)	黄铁矿、铁白云石、石英	3
复成分斑点	近圆形	0.4 ~ 1.6	7 ~ 12/(10)	黄铁矿、铁白云石、绿泥石、褐铁矿、铁白云石、石英	3
褐铁矿化斑点	菱形、近圆形	0.15 ~ 0.9	3 ~ 15/(8)	褐铁矿、铁白云石、石英	8

注: 括号内为平均值。

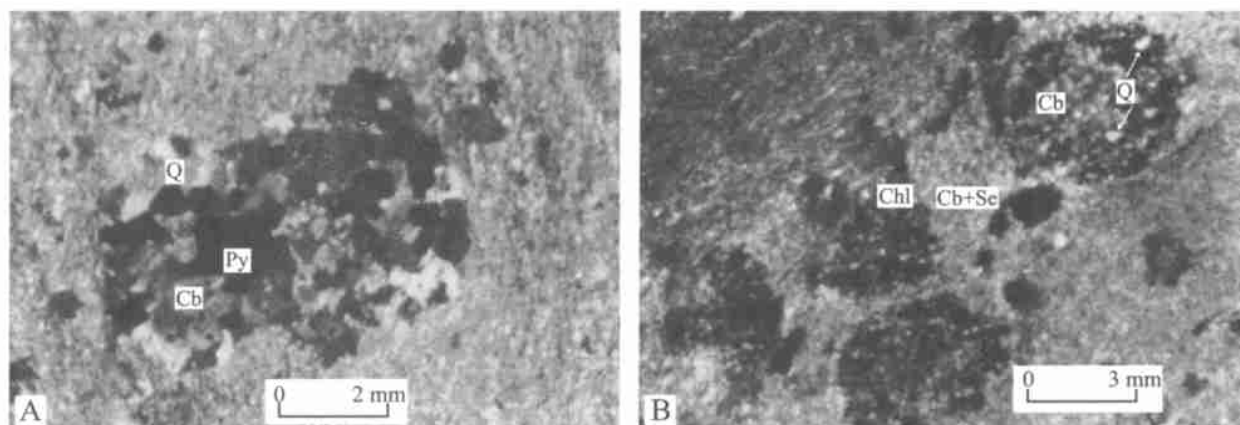


图 2 小沟里金矿含矿围岩中斑点特征

A—斑点为黄铁矿(Py)、碳酸盐(Cb)和石英(Q), w_{Au} 为 643×10^{-9} ; B—斑点为绿泥石(Chl)、碳酸盐(Cb)、石英(Q)和绢云母(Se), w_{Au} 为 24×10^{-9}

Fig. 2 Image showing mineralogical characteristics of spots in Au-bearing wallrocks

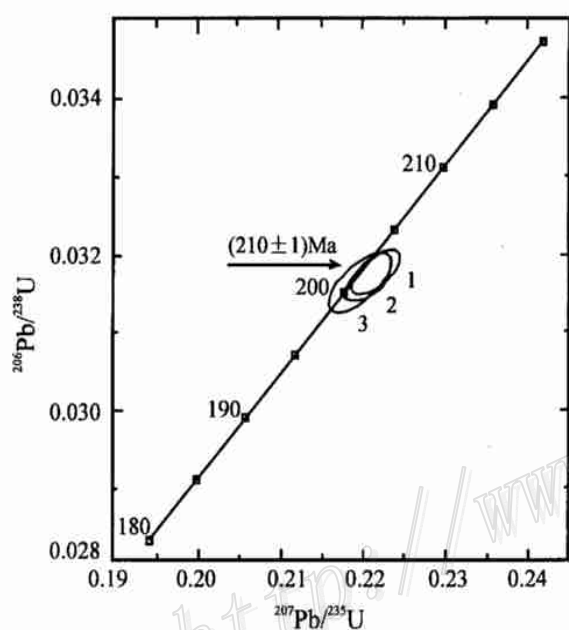


图 3 小沟里金矿外围大山花岗岩单颗粒锆石
U-Pb 年龄谱和图

Fig. 3 U-Pb concordance diagram of single zircon
from the Dashan granite

内及外围中酸性脉岩异常发育,从大山花岗岩到矿区中心,脉岩中金含量增高。

6 成因探讨与结论

与西秦岭其它已发现的矿床相比,小沟里金矿具有独特的地质特征,是该区新发现的一种新的矿

床类型。该矿床研究程度的提高和认识上的突破对于西秦岭地区找矿和研究具有新的启迪。如上所述,矿床与岩浆岩有密切的关系。该矿床与我国绿岩带中的岩浆热液矿床特征类似,在一定程度上与韧性剪切带型金矿也有类似之处。野外研究表明,矿区岩石普遍遭受了脆-韧性剪切变形,发育糜棱岩化。秦岭造山带在印支期陆-陆碰撞和陆内造山作用过程中形成一系列的推覆构造,在逆冲推覆过程中形成了一系列脆韧性剪切带(王相,1996)。小沟里金矿矿区的脆-韧性剪切变形是西秦岭造山带推覆、挤压的结果。八卦庙、马鞍桥、金龙山、李坝等金矿都具有脆-韧性剪切变形,特别是八卦庙(冯建忠,2001)和金龙山金矿、马鞍桥金矿的脆-韧性剪切带对金矿有明显的控矿现象。在甘肃康县新发现的尚家沟金矿也产在剪切带中。小沟里金矿目前研究程度还很低,但已发现了一系列脆-韧剪切的证据,如构造透镜体、石香肠、雁列脉、膝折脉、无根褶皱、不对称碎斑、S-C组构、糜棱构造、核幔结构、石英细粒化、石英变形纹、变形条带、石英的拉长定向构造、旋转碎斑等。脆韧性变形强烈的岩石普遍含金(w_{Au} 为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$)。

小沟里金矿与秦岭地区其它微细浸染型(卡林型)金矿不同,为石英脉型金矿,金粒度粗。矿区内脉岩发育,空间上与大山花岗岩岩体关系密切。含矿石英脉稍晚于大山花岗岩。含矿岩石中发育斑点构造,斑点由黄铁矿、绿泥石、石英、黑云母、碳酸盐等热液矿物组成,为热液交代蚀变的产物,表明大山

表 5 大山花岗岩及脉岩微量元素含量表

Table 5 Minor element contents of Dashan granite and veins in the Xiaogouli gold deposit

岩性	样品数	$w_B/10^{-6}$								资料来源
		Au*	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	
黑云母花岗岩脉(外围)	1	40	0.21	30	3.7	1.2	26.9	49	58.9	甘肃有色地勘局,1999
细粒花岗岩脉(大山岩体)	1	12	0.37	29	57	1.0	21.9	85	83.9	
花岗斑岩脉(矿区)	1	240	1	57	17.7	0.8	36.3	63	382.7	
斜长斑岩脉	1	28	3.11	30	30.1	0.5	36.9	132	103	
大山花岗岩	3	3.85	0.07	1.7	1.07	0.5	24.00	36.5	80.50	本文
脉岩(外围)	8	33.25	0.24	60.1	10.36	0.8	30.25	49.1	194.1	

* w_{Au} 单位为 10^{-9} 。分析单位：西安有色地质研究所。分析方法：Cu、Pb、Zn 为等离子光谱；As、Sb、Bi 为原子荧光光谱；Au 为石墨炉原子吸收光谱；Ag 为火焰原子吸收光谱。

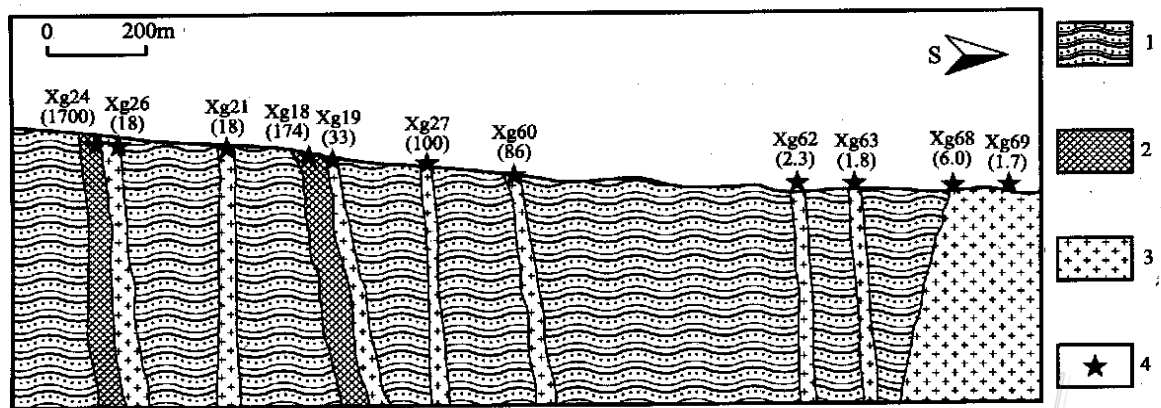


图 4 小沟里金矿区-延家河剖面地质图

1—板岩、砂岩；2—含矿石英脉；3—花岗斑岩脉；4—采样点：Xg60(86)表示样号及金含量 ($w_{Au}/10^{-9}$)

Fig. 4 Geological section of the Xiaogouli gold deposit, showing the increasing Au content of granitic veins from Dashan intrusive to the mine

1—Slate, sandstone; 2—Au-bearing quartz veins; 3—Granite porphyry veins; 4—Sampling location, Xg60(86): number of samples and gold content ($w_{Au}/10^{-9}$)

花岗岩为成矿提供了热动力条件。花岗岩金含量高,为成矿提供了部分成矿物质。据硫同位素分析(表 2), $\delta^{34}S$ 平均值为 9 ‰,标准差 2.93。与秦岭造山带改造型铅锌矿硫同位素有相似之处,兼有陨硫硫的特点,是深源岩浆硫和壳源硫的混合硫。小沟里金矿石英 $\delta^{30}Si$ 为 $-0.2\text{‰} \sim -0.5\text{‰}$,平均为 -0.29‰ ,兼有硅质岩和花岗岩硅同位素特点(王相等,1996)。石英脉硅同位素类似于花岗岩, δD 为 $-58\text{‰} \sim -77\text{‰}$,平均 -69.2‰ 。在 $\delta^{18}O_{H_2O}-\delta D$ 图(图 5)上,石英包裹体流体氢、氧同位素分布于岩浆水区附近,该矿区的氢氧同位素组成与邓家山铅锌矿床矿物包裹体的氢氧同位素组成区别较大,热液水来源以岩浆水为主。研究表明,小沟里金矿与我国前寒武纪绿岩带中的岩浆热液型金矿类似(李兆

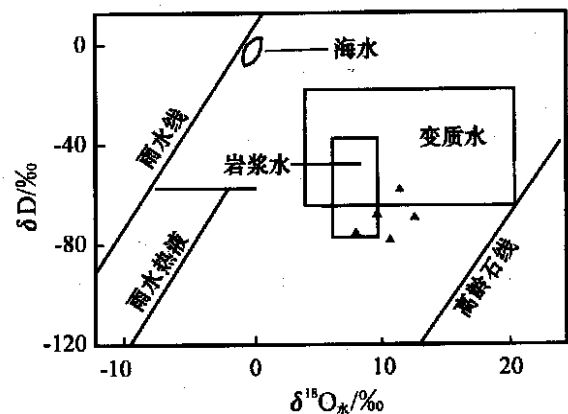


图 5 小沟里金矿床石英氢氧同位素图
(底图据杨敏之等,1996)

Fig. 5 $\delta^{18}O_{H_2O}-\delta D$ diagram of the Xiaogouli gold deposit

龙,1993;胡受奚,1997),矿区内岩石受到了明显的脆韧性剪切变形,是迄今为止在秦岭造山带泥盆系中发现的唯一的岩浆热液型金矿。

致 谢 本文是第一作者的博士论文的部分内容,编写过程中得到北京大学地质学系曾贻善老师的精心指导,花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄测试得到曾贻善老师的资助,在此表示衷心的感谢。野外样品采集过程中得到了林国芳、王祥文、张选固高级工程师的密切配合和支持,在此表示感谢。

References

- Feng J Z. 2001. Geology and geochemistry of gold deposits in Fengxian-Lixian area, Qinling [D]. Ph. D. dissertation. Supervisor: Zeng Y S. Beijing: Department of Geology, Peking University. 1 ~ 70 (in Chinese with English summary).
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. J. Geoph. Geol., 74: 1435 ~ 1444.
- Gunter F. 1977. Principle of isotope geology [M]. Beijing: Science Press. 165 ~ 177.
- Hu S X. 1997. Geology of Gold deposits in North China Platform [M]. Beijing: Science Press (in Chinese with English summary).
- Li Z L and Yang M Z. 1993. The geology-geochemistry of gold deposit in Jiaodong Region [M]. Tianjing: Tianjing Science and Technology Press. 80 ~ 150 (in Chinese with English summary).
- Sang H Q, Wang S S and Hu S L. 1994. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating method and Ar isotopic mass spectrometry analysis of quartz [J]. Journal of Chinese mass spectrometry society, 15(2): 17 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Shao S C and Wang D P. 2001. ^{39}Ar - ^{40}Ar dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the southern Qinling region [J]. Acta Geologica Sinica, 75(1): 106 ~ 110 (in Chinese with English abstract).
- Wang X, et al. 1996. Qinling orogeny and metallogenesis [M]. Beijing: Metallurgical industry press. 187 ~ 229 (in Chinese with English summary).
- Wang X C. 1998. Mechanism for the migration and deposition of ore-forming materials in the micro-disseminated type gold deposits in China [J]. Contributions to Geology And Mineral Resources Research, 13(2): 47 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Yang M Z and Lu G X. 1996. The geology-geochemistry of gold deposits of the greenstone belt in Jiaodong District, China. [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 104 ~ 106 (in Chinese with English summary).
- Zhang B R, Gao S, Luo T C, et al. 1994. Lithosphere structure of Qinling area and geochemistry for metallogenetic regulations [M]. Wuhan: China University of Geoscience. 1 ~ 446 (in Chinese with English summary).
- Zhang F X. 1998. A tentative discussion on the Carlin-type gold deposits in Qinling and related problems [J]. Mineral Deposits, 17(2): 172 ~ 184 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F X. 1997. Mineralization conditions and ore prospecting potential of micro-disseminated Sb-Au deposits in Zhenan-Xunyang area, Qinling [J]. Mineral Resources and Geology, 11(6): 388 ~ 396 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R and Yu Z P. 1996. Orogenic process and dynamic characteristics of Qinling orogene [J]. Science in China (D), 26(3): 193 ~ 200 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J H, Wang J B and Ding R F. Characteristics and U-Pb ages of zircon in metavolcanics from the Kangbutiebao formation in the Altay orogene, Xinjiang [J]. Regional Geology of China, 19(3): 281 ~ 287 (in Chinese with English abstract).
- Zhao H Q. 1999. The structural background and characteristics of ore-forming fluid of Carlin type gold deposits in China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 14(3): 34 ~ 41 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 冯建忠. 2001. 秦岭凤太-礼岷地区金矿床成矿地质地球化学研究 [D]. 博士论文. 导师: 曾贻善. 北京: 北京大学. 71 页.
- 胡受奚. 1997. 华北地台金矿地质 [M]. 北京: 科学出版社.
- 李兆龙, 杨敏之. 1993. 胶东金矿地质地球化学 [M]. 天津: 天津科学技术出版社.
- 桑海清, 王松山, 胡世玲, 等. 1994. 石英的 ^{40}Ar / ^{39}Ar 定年方法及 Ar 同位素质谱分析 [J]. 质谱学报, 15(2): 17 ~ 27.
- 邵世才. 2001. 南秦岭三个金矿床的 Ar-Ar 年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 75(1): 106 ~ 110.
- 王小春. 1998. 中国微细浸染型金矿矿质迁移沉淀机制 [J]. 地质找矿论丛, 13(2): 47 ~ 55.
- 王相, 等. 1996. 秦岭造山与金属成矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社. 187 ~ 229.
- 杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学 [M]. 北京: 地质出版社. 104 ~ 106.
- 张复新. 1998. 秦岭卡林型金矿床及相关问题探讨 [J]. 矿床地质, 17(2): 172 ~ 184.
- 张复新. 1997. 秦岭镇旬地区微细浸染型金矿床成矿条件及其找矿前景分析 [J]. 矿产与地质, 11(6): 388 ~ 396.
- 赵会庆. 1999. 中国卡林型金矿成矿构造环境及热液特征 [J]. 地质找矿论丛, 14(3): 34 ~ 41.
- 张进红, 王京彬, 丁汝福. 2000. 阿尔泰造山带康布铁堡组变质火山岩锆石特征和铀-铅年龄 [J]. 中国区域地质, 19(3): 281 ~ 287.
- 张本仁, 高山, 骆庭川, 等. 1994. 秦巴岩石圈构造与成矿规律地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1 ~ 446.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 26(3): 193 ~ 200.

Geology and Genesis of Xigouli Quartz Vein Type Gold Deposit , West Qinling Mountain

Feng Jianzhong¹ , Wang Dongbo^{1,2} , Shao Shicai¹ , Wang Xue ming¹ and Lin Guofang³

(1 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources , Beijing 100012 , China ; 2 Institute of Geology , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037 , China ; 3 Gansu Bureau of Geological Exploration for Mineral Resources , Lanzhou 730000 , Gansu , China)

Abstract

Qinling is one of the most famous orogenic belts in the world , where a series of Carlin-type gold deposits have been discovered . Nevertheless , the Xiaogouli gold deposit discovered in Gansu Province in recent years is different from Carlin-type in many aspects . It is characterized by Au-bearing quartz lodes with the presence of visible and coarse-grained gold . Au-bearing quartz veins extend steadily in siltstone , phyllite , and silicalite of Mid-Devonian Xihanshui Formation . Ores are composed of pyrite , pyrrhotite , arsenopyrite , sphalerite , and galena . Unlike things with Carlin type , visible or coarse gold is commonly present , up to 3 mm in diameter at most . This paper deals with Ar-Ar dating of Au-bearing quartz , U-Pb dating of zircon from granite , stable isotope analysis , trace element analysis , and mineralogy and texture of spots developed in the Au-bearing rocks , aiming at clarifying relations between granite and Au mineralization as well as metallogenesis based on geology of the deposit and regional geological environment . Studies show that dykes are well developed and commonly constitute the footwall and hang wall of orebodies . Spots developed well in the Au-bearing rocks are composed of pyrite , pyrrhotite , arsenopyrite , chlorite , quartz , sericite , biotite , cordierite , andalusite , tourmaline and carbonates , which suggests that they resulted from thermal alteration and hydrothermal fluid metasomatism . A geological section from Dashan granitic intrusive to the mine indicates that Au content of granitic veins intends to increase from 6.3×10^{-9} to 240×10^{-9} . The Ar-Ar dating of Au-bearing quartz veins yields (197 ± 1) Ma of Ar-Ar plateau age and (193 ± 1) Ma of Ar-Ar isochron age . The single zircon of granite is dated by U-Pb method at (201 ± 1) Ma . Accordingly , it is considered that metallization is temporally consistent with or slightly later than intrusion of granite . Stable isotope analyses show that sulfur is a mixed sulfur of sulfate and sulfur from deep magma . Si isotope of quartz is similar to that of granite . Dashan intrusive and granitic veins have higher Au content . δD values range from -58 ‰ to -77 ‰ and $\delta^{18}O_{\text{water}}$ from 8.2 ‰ to 12.8 ‰ . On the δD - $\delta^{18}O_{\text{water}}$ diagram these data are plotted near the field of magmatic water , which implies that fluids were derived from magmatism . It is thought that Dashan granite has close temporal , spatial and genetic relationship with the Xiaogouli gold deposit and provides heat source , water source and partial ore-forming material for the formation of the deposit . The Xiaogouli gold deposit is genetically of magmatic hydrothermal type .

Key words : Qinling orogen , Xiaogouli gold deposit , magmatism , diagenetic and metallogenic geochronology