

小秦岭金矿主要控矿因素及成矿模式

栾世伟 陈尚迪^①

(成都地质学院)

提 要 论文由小秦岭金矿成因简述、主要控矿因素及成矿模式等三部分内容组成。本文从回顾各成因观点主要依据入手,提出问题,并系统论述小秦岭金矿主要控矿因素。试图通过研究区域地层、构造和晚燕山期岩浆活动对金矿化形成的控制作用,讨论矿质的来源、运移方向、滞留、沉出的空间与方式等成因问题。在此基础上用文字表述和图示的方式概括了小秦岭金矿的成矿模式。

关键词 成因问题 控矿因素 成矿模式 小秦岭金矿

小秦岭金矿已发展成为我国中原腹地重要的黄金产地,其采金历史虽起源于1450年(据矿区东蹄子沟陡壁上碑文记载),但系统的金矿勘查与研究工作开始于本世纪六十年代。现已探明大、中型金矿多处,乡镇采金场几乎遍及全区。在区内曾进行过研究工作的单位有沈阳地质矿产所、成都地质学院、西安地质学院、南京大学等。对小秦岭金矿产出地质特征、矿化类型、赋矿规律、矿物成分、矿石组构、矿床成因等方面的研究成果,均有不同深度的报导。在矿床成因和控矿因素的研究中,尚有较大的意见分歧。笔者及教研室的同事们经多年研究,在讨论小秦岭金矿主要控矿因素及成矿模式基础上,进一步认识小秦岭金矿的成因问题。

一、矿床成因问题简述

六十年代河南豫零一地质队在小秦岭地区金矿普查报告中,根据含金石英脉产出的后生地质特点,将其成因归为岩浆热液型金矿床。七十年代沈阳地矿所在研究小秦岭地区文峪金矿时,主要依据含金石英脉产于太华群变质岩地层的特点,认为其形成与变质作用有关,属变质热液型矿床。西安地质学院在研究潼关金矿中也持有类似观点。

成都地质学院与河南第一地质调查队、陕西第六地质队协作,从七十年代末到八十年代,对小秦岭金矿成矿地质条件、富集规律^②,以及深部金矿化评价准则^③等进行了系统研究。有关金矿床成因问题,根据含金石英脉产出的时空特征,矿床同位素组成变化,稀土元素特征值类比,微量元素地球化学,以及区域热事件活动等诸多方面的事实为依据,认为小秦岭金矿的

^① 本院参加研究工作的还有曹殿春、方耀奎、赵宝金、李泽琴、王奖臻、陈梅等

^② 王亭治、栾世伟等,小秦岭金矿地质条件与富集规律研究,科研报告,1984

^③ 栾世伟、陈尚迪等,小秦岭金矿深部金矿化特征及评价准则研究,科研报告,1988

形成是多种地质作用的结果,受多种因素控制。但晚燕山期的区域岩浆活动,为金矿的最后聚集成矿起了促成作用,在成因类型上应属于以岩浆热液为主的混合热液型金矿床。

二、小秦岭金矿主要控矿因素

大型或特大型矿床的形成是多种地质作用的结果,受多种因素控制。而小秦岭金矿的形成,主要受以下三方面的因素控制。

1、地层对金矿化的控制作用

小秦岭地区广泛出露的太古界太华群地层,为金矿的形成提供了主要矿质,成为区域金矿形成的矿源条件。

太华群按其成岩旋回可分为下太华亚群和上太华亚群。前者由闾家峪组(ArL)组成;后者自下而上分为观音堂组(Arg)、洞沟组(Ard)和扼马峪组(Arq)。其中扼马峪组在陕西地区广泛分布,上段相当于桃峪组,下段相当于三关庙组。

下太华亚群闾家峪组,除角砾状、眼球状、条带状混合岩外,主要岩石类型为斜长角闪岩。闾家峪组中的斜长角闪岩,呈厚层或巨厚层状产出,且延伸稳定,局部地区见有残存的杏仁状结构。杏仁呈眼球状,一般大小为 3×4 毫米。镜下可见杏仁体中的矿物粒度明显小于其周围变质岩矿物粒度。岩石化学成分具明显基性火山岩性质。在都城秋穗的 $Si(\%) - FeO/MgO$ 直角坐标图上,主要样品都落入深海拉班玄武岩区内。由此可以认为,小秦岭地区下太华亚群闾家峪组斜长角闪岩的原岩为深海拉班玄武岩类的基性火山熔岩。

上太华亚群的观音堂组、洞沟组及扼马峪组中的斜长角闪岩,多呈薄层状、透镜状夹于斜长片麻岩或黑云变粒岩中。有时也呈互层状产出,具一定沉积韵律。在上太华亚群的地层中还广泛发育有石英岩,大理岩和砂线正长片麻岩等原岩为沉积岩的夹层。因此上太华亚群的原岩主要为一套沉积岩建造。

表1 小秦岭太华群地层各组含金石英脉统计表*

Table 1 Statistics of Au-bearing quartz veins in different formation of Taihua group

地层组名	石英脉数	占总脉数的 百分数(%)	其中>1000米的含金石英脉数		备 注
			条数	所占百分比(%)	
扼马峪组	97	11.8	3	7.0	据1983年以前豫、陕两省地质队不完全资料、不完全统计
洞沟组	67	8.2	2	4.7	
观音堂组	151	18.4	1	2.3	
闾家峪组	506	61.6	37	86.0	
太华群	821	100.0	43	100.0	

* 引自王亨治、栾世伟《小秦岭金矿成矿地质条件与富集规律研究》报告,1984

小秦岭地区太华群地层的形成,经历了多期次的变质变形作用:第一期高角闪岩相的区域变质作用,第二期绿片岩相退化区域变质作用、区域混合岩化作用和多期次的动力变质作用。

小秦岭地区近千条含金石英脉,大多分布于太古界太华群地层中(表1)。但是在上、下太华亚群各组地层中,含金石英脉的分布远不是均匀的,其中61.6%的含金石英脉和86.0%长度大于1000米的含金石英脉都集中于闾家峪组地层中。这些不完全的统计数据,已可明显地发现,小秦岭地区含金石英脉的分布受一定地层层位的控制。

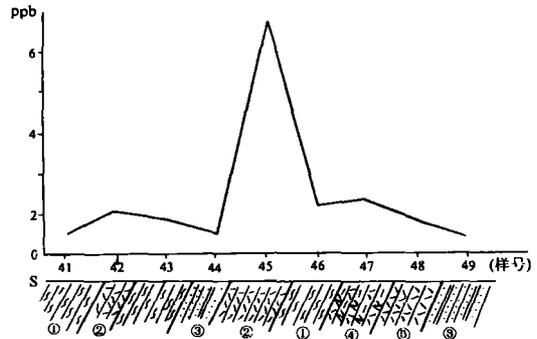
容矿地层对金矿脉分布的控制作用,在小秦岭地区主要有以下两方面:其一,太华群地层多期次的变质作用,使原来含于硅酸盐矿物中的金,从不易释放状态变为易释放状态。在所述各类变质作用中,区域性的退化变质作用和区域性的混合岩化作用,对变质岩中金赋存状态的变化有重要影响。各类斜长角闪岩经不同程度的混合岩化后,金的含量可从0.94~1.63ppb减少为0.59~0.69ppb(据77个样品的分析统计)。此外,金在黑云母化的地段相对集中,如斜长角闪片麻岩中含金平均达0.59ppb(27个样统计),而黑云斜长角闪片麻岩含金可达2.70ppb(3个样统计)。

七树坪附近观音堂组地层中,金在不同岩石类型中的含量变化(图1),同样可说明退化变质作用对金活化迁移的影响。区域混合岩化可释放出金,而区域退化变质作用又可储存金。小秦岭地区广泛发育的这两次区域性变质作用,使金从不易释放状态变为易释放状态。这种易释放状态的金,一部分呈自然金包体的形式,赋存于层状硅酸盐矿物的晶隙、晶面间;另一部分可呈金络合物形式,存在于黑云母、绿泥石、绿帘石、滑石等矿物的间隙溶液中。变质岩金赋存状态的上述变化,是金的进一步活化、迁移、富集成矿必不可少的条件。其二,从成矿(晚燕山期)前后太华群地层中金丰度值对比,也可说明小秦岭金矿形成的矿质主要来自太华群地层。早在1984年已确证太华群地层金丰度值(或矿后)为0.71ppb。这一数据是化学光谱法对138个样品分析计算的结果。成矿前太华群地层中金丰度的计算考虑了以下三个方面的因素:一是分散于区内各类岩石中金的平均值;二是本地区金矿资源量中的金;三是引起近矿围岩金异常所需的金。通过上述计算获得太华群成矿前金丰度为2.02ppb。说明太华群地层中约有三分之二的金被析出参与了成矿作用。

2、岩浆活动对本区金矿化的控制作用

晚燕山期岩浆活动对小秦岭地区金矿化起了促成与矿质的补充作用。

小秦岭地区自太古代以来,发生有多期次岩浆活动,形成不同类型的岩浆岩。岩浆活动是区域地质演化历史中热事件的集中表现,而热事件又是金从稳定态转变为活动态的重要条件。中生代以来由于太平洋板块不断向欧亚板块俯冲,使华北板块的南、北缘被活化,地幔隆起,热



图例说明:1、条痕状混合岩;2、黑云斜长角闪片麻岩
;3、石英岩;4、砂线黑云斜长片麻岩
;5、斜长角闪岩

图1 七树坪观音堂组主要岩石含金变化图

Fig. 1 Variation of Au content in the main types of rocks in Guangyintang formation at Qishuping

柱上升,硅铝壳发生局部熔融,形成岩浆。从燕山运动的早期到晚期,不断有岩浆侵入活动发生。早期有辉绿辉长岩墙的形成;晚期大面积花岗岩浆的侵入,自西而东有华山、文峪和娘娘山三个大的花岗岩基上侵;最后见有少量煌斑岩脉产出。说明当时区域热事件曾强烈活动,为区域金矿化提供了良好的热动力条件。

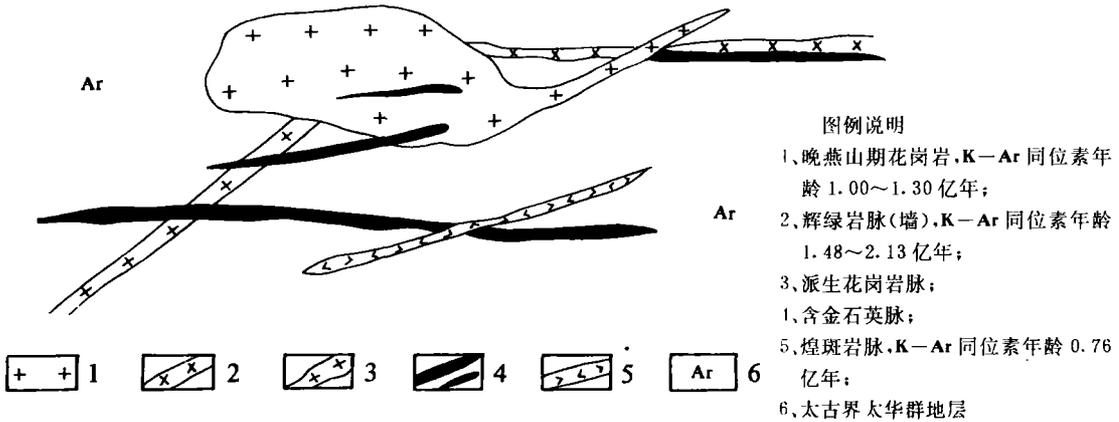


图 2 矿脉、岩脉与岩体相互穿插关系示意图

Fig. 2 Sketch map showing the intercrossing relations of ore veins rock dykes and late-Yanshanian granitic rocks

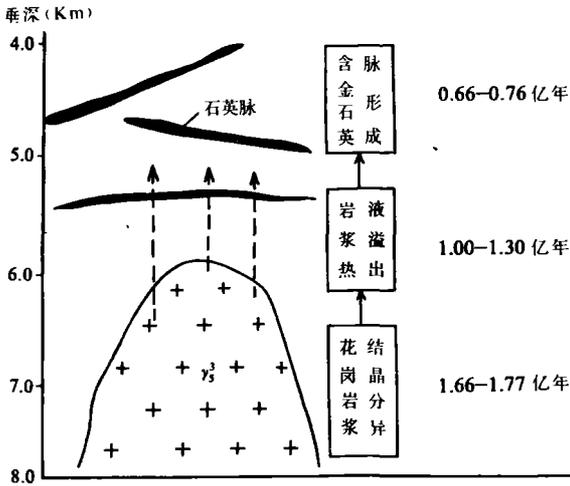


图 3 花岗岩与含金石英脉形成时间的对应关系示意图

Fig. 3 Sketch map showing the chronological correspondence relationship between the formation of late-Yanshanian granite and Au-bearing quartz veins

小秦岭含金石英脉形成的时空特征与晚燕山期花岗岩的侵入,表现出明显的对应关系。在空间分布上以晚燕山期花岗岩基为中心,含金石英脉多产于距花岗岩 2~7 公里的范围内。用热力学方法计算的金矿化深度(3.8~5.9 公里)^①与花岗岩侵位深度(6~8 公里)^①也基本一致,表现出它们在垂向上的对应关系。晚燕山期花岗岩与金矿化在时间上也有很好的对应性。小秦岭地区常可见形成较晚的煌斑岩脉穿切含金石英脉(Q₁₂脉的 YD₃₅沿脉中 CD₂₇穿脉顶板可见)(图 2)。前者 K-Ar 年龄为 0.76 亿年,后者形成的年龄大于 0.76 亿年。区内文峪与华山花岗岩体的 Rb-Sr 全岩年龄分别为 1.72~1.77、1.66

亿年,黑云母的 K-Ar 年龄为 1.00~1.30 亿年、1.00~1.24 亿年。近年来的研究表明,花岗岩体的 Rb-Sr 年龄为花岗岩浆结晶分异的年龄,而黑云母的 K-Ar 年龄常可代表岩浆热液脱

① 郭立平计算,1989

离岩浆的年龄。由此即可理出从花岗岩浆的结晶分异、岩浆热液的溢出到含金石英脉形成的时间序列(图3)。其演化的时间序列,说明了它们之间在形成时间上的对应关系。

小秦岭地区晚燕山期花岗岩与金矿化之间在时空上的对应关系,实际上也有其内在的联系。对金矿床矿物包体成分的研究表明,成矿溶液的溶剂基本上由水组成。而华山、文峪两大花岗岩基的形成,可以为金的活化迁移提供充足的水介质(表2)。由花岗岩浆结晶分异作用溢出的以水为主的热热水溶液,在相应的构造条件下,从岩体向外运移、成矿。小秦岭地区在成矿过程中所表现的上述矿化方向性(从晚燕山期花岗岩呈放射状向外),还可以从一系列矿床地球化学研究中得到证实。其一,以花岗岩为中心成矿温度由近而远,逐渐降低(表3)。

表2 小秦岭文峪、华山花岗岩形成时可放出水量计算表*

Table 2 Amount of water released during the formation of Wenyu granite and Huashan granite

	文峪岩体		华山岩体		备注
	岩体	顶部相	岩体	顶部相	
花岗岩浆中水的溶解度(%)	5.11~5.30	6.7~10.7	5.16~5.4	6.7~10.7	
结晶分异作用中可放出的水量(t/km^3)	9×10^7		9×10^7		1. 花岗岩比重 2.62g/cm ³ ; 2. 按岩体与顶部相水溶解度差计算; 3. 金的浓度按 2×10^{-15} 重量摩尔单位计算;
花岗岩体积(按1公里深)(km^3)	65		130		
结晶分异作用可放出水总量(t)	5.85×10^9		1.17×10^{10}		
可溶解、迁移的金量(t)	2.30×10^3		4.61×10^3		

* 郭立平计算 1988.

表3 小秦岭金矿含金石英脉中石英包体均一化温度*

Table 3 Homogenization temperature in fluid inclusions of quartz in Au-bearing quartz veins of Xiao Qinling gold deposits

脉号	S ₉₀₃	S ₉	S ₅₀₅	Q ₈	S ₆₀	S ₄₁₀	Q ₀₁	S ₅
距花岗岩距离(km)	花岗岩内部	2.0	2.8	~4.0	3.4	4.1	~7.1	7.0
样品数	7	4	7	2	3	11	3	10
温度变化范围(°C)	348~428	208~350	200~340	205~352	190~306	128~336	128~297	136~253
平均温度(°C)	>350	272	264	253	278	246	224	168

* 引自栾世伟等《小秦岭金矿田深部矿化特征及预测研究》报告,1988.

表4 小秦岭金矿稳定同位素数据综合表

Table 4 Comprehensive data of isotopes in Xiao Qinling gold deposits

$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ (黄铁矿)							
脉号	S ₉₀₃	S ₉	S ₅₀₅	Q ₈	S ₆₀	S ₄₁₀	S ₅
样数	1	12	38	56	56	7	13
平均值	+9.92	-1.216	+4.002	+2.59	+2.59	+3.51	-1.04

$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (石英)							
样数	2	3	3	9	7	—	2
平均值	+10.19	+9.94	+9.43	+10.63	+11.36	—	+11.78

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ (石英—水)							
样数	2	3	3	9	1	—	2
平均值	+7.683	+5.693	+5.155	+4.71	+1.748	—	-9.57

$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (方解石)							
样数	1	4	1	3	2	2	—
平均值	-6.114	-5.488	-4.850	-5.402	-6.555	-5.330	—

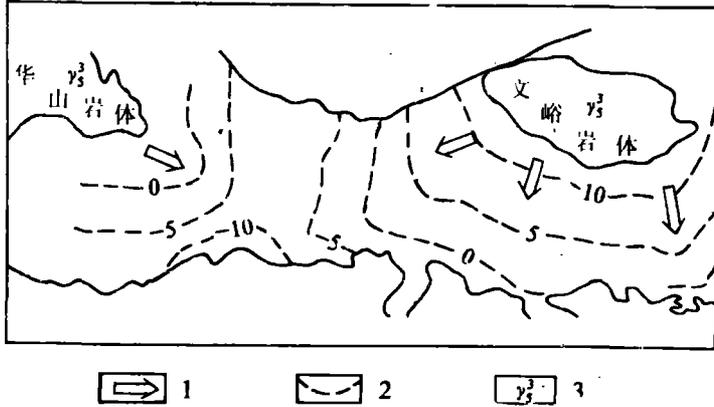
石英包体中氢、氧、碳同位素

样数	—	—	10	4	—	—	—
$\delta\text{D}\text{‰}$	—	—	-49.764	-61.500	—	—	—
$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$	—	—	1.748~ 5.803	-2.208~ +7.306	—	—	—
$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	-20.48	—	-9.433	—	—	—	—

* 引自栾世伟等《小秦岭金矿田深部金矿化特征及预测研究》报告,1988

晚燕山期花岗岩浆的侵入,在小秦岭地区晚燕山期形成的以花岗岩为中心向外辐射的热晕梯度变化,由于有地热梯度的叠加,往往出现局部地区成矿温度的逆向变化。近年来的成矿模拟实验证明,温度的变化是含金络离子形成、分解、成矿的重要因素之一;其二,矿物和矿物包体中硫、氧、碳同位素组成及其变化特点,既反映了晚燕山期花岗岩与含金石英脉之间的亲缘关系,又表现出某种差异性。而且随着距花岗岩的距离愈远,亲缘性减弱,差异性增强(表

4)。说明金矿化随着距晚燕山期花岗岩距离的增大,成矿溶液中岩浆热液的比例减少,围岩间隙水(包括部分下渗的天水)比例的增加。其中硫同位素的变化趋势更为明显(图4)。 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 值由花岗岩向外围正值减少,负值增大。同样说明成矿溶液运移的方向和运移过程中,岩浆水与



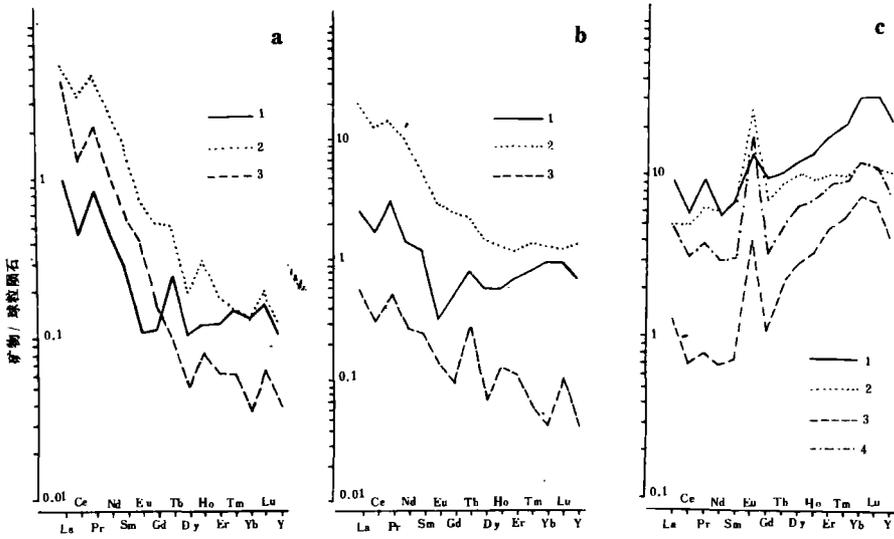
图例说明: 1. 矿源运移方向; 2. 硫同位素等值线(‰); 3. 燕山期花岗岩

图4 小秦岭金矿硫同位素变化趋势示意图(据陕六队资料改编)

Fig. 4 Sketch map demonstrating the trend of the Sulfur isotope variation

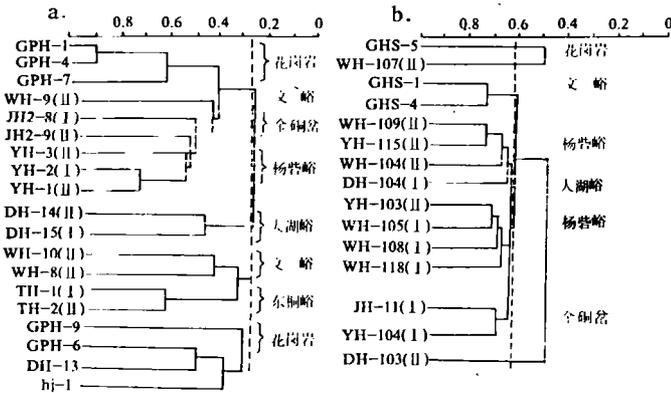
间隙溶液比例的变化;其三,稀土元素配分模式研究结果可进一步证实晚燕山期花岗岩与含金石英脉之间的成因关系(图5)。从花岗岩或其分离体、花岗岩体内的石英脉和花岗岩体以外的含金石英脉中,精选出比较常见的石英、黄铁矿和方解石三种单矿物,用中子活化法测定其稀土元素含量,按稀土标准化方法作配分曲线图。从图示不难看出,花岗岩、花岗岩体内石英脉和含金石英脉,稀土元素配分曲线基本是一致的。这三种地质体的石英中稀土元素配分曲线大致平行,其特点为:曲线向右陡倾,轻稀土与重稀土比值较大,有明显的负铈异常;但花岗岩中石英的重稀土略有增加;三种黄铁矿的稀土曲线也基本平行,也是轻稀土大于重稀土,只是曲线右倾较缓;四种方解石的稀土曲线也基本平行,轻稀土小于重稀土,都具有明显的正铈异常。其四,花岗岩体内和其外围不同距离范围内石英脉中石英与黄铁矿微量元素(Se、Te、Au、Ag、Co、Ni)的Q聚类谱系(图6)及S/Se、Te/Se、Ba/Sr、Au/Ag、Co/Ni等元素比值,也可从另一侧面证实晚燕山期花岗岩与含金石英脉之间的成因关系。从图6和表5既可看出产于晚燕山期花岗岩内、外的石英与黄铁矿微量元素的相似性,同时也可发现某些演化特点。石英和黄铁矿中S/Se、Te/Se比值,按花岗岩体内石英脉—金铜盆 S_9 —文峪 S_{505} —杨砦峪 S_{60} —大湖峪 S_D 的方向增大,而Ba/Sr、Au/Ag依次降低;黄铁矿中Co/Ni比值依次降低。微量元素及其比值的上述变化,同样说明从花岗岩体和离花岗岩体不同距离的石英脉,除时空上的关系外,在矿液运移成矿过程中,微量元素及其比值的有规律变化,也显示出它们的亲缘性及演化方向。

小秦岭地区与金矿化关系密切的岩浆活动,除上述晚燕山期花岗岩浆的侵入作用外,区内广泛发育的辉绿岩、辉绿辉长岩脉(墙)的侵入活动,也与金矿化有一定关系。在侵入时间上属晚加里东和早燕山期,在空间分布上主要密集于太华群地层的间家峪组中。由于辉绿岩、辉绿辉长岩脉(或岩墙)分布广泛,产状很陡($70^\circ\sim 80^\circ$),多数且延伸较大。在晚燕山期花岗岩浆的侵



图例说明: a、文峪花岗岩(1)、花岗岩中石英脉(2)和 S₅₀₅脉黄铁矿稀土元素配分曲线;
 b、文峪花岗岩(1)、花岗岩中石英脉(2)和 S₅₀₅脉黄铁矿稀土元素配分曲线;
 c、文峪花岗岩(1)、S₅₀₅(2)、Q₈(3)、S₆₀(4)的方解石稀土元素配分曲线
 (取赫尔曼球粒陨石稀土元素平均值,1976)

图 5 小寨岭地区晚燕山期花岗岩、含金石英脉中石英与黄铁矿稀土元素配分曲线图
 Fig. 5 REE patterns of quartz vein, ore vein and late Yanshanian granite



a、黄铁矿中微量元素 Q 型聚类分析谱系图
 b、石英中微量元素 Q 型聚类分析谱系图

图 6 小寨岭金矿石英、黄铁矿中微量元素 Q 型聚类分析谱系图
 Fig. 6 Hierarchical diagram of trace element Q-model cluster analysis of quartz and pyrite in Xiao Qinling gold deposits

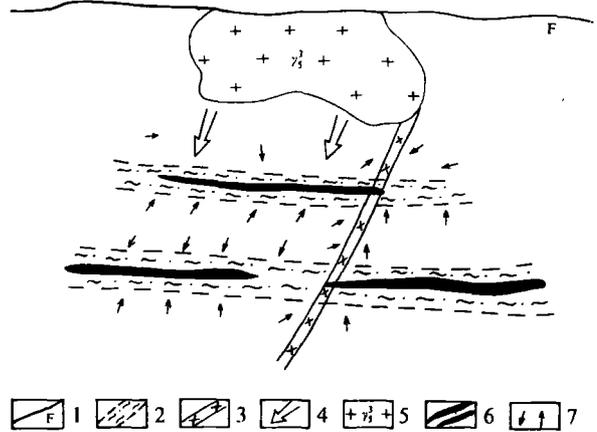
入活动的影响下,辉绿岩或辉绿辉长岩脉受到挤压,使其上、下盘形成破碎带,为矿液的运移提供了良好的通道。

3、构造运动对金矿化的控制作用

构造运动不仅为各期次岩浆活动、各类岩浆岩的形成提供了空间与动力,而且对金的活化、迁移创造必要的物理化学条件。各种构造形迹对矿液运移的方向和矿化的条件都有明显的控制作用。其一,区域构造对矿液运移方向的控制作用。晚燕山期花岗岩浆的侵入,是中生代以后最强烈的构造活动的结果,而大规模岩浆的侵入活动又伴随着相应的构

造运动。表现在早燕山期形成的辉绿岩、辉绿辉长岩脉(或岩墙),受到挤压,上、下盘产生破碎带。同时早期形成的糜棱岩带再次活动,局部地段引张,出现负压空间,使晚燕山期花岗岩浆结晶分异作用形成的岩浆含矿溶液,在热动力的驱使下向糜棱岩带运移。而久已留存于变质岩中的间隙溶液也在热动力的影响下,向糜棱岩带中的引张负压空间运移。两种溶液的汇合(图7),温度压力的变化,含金络合物分解,形成含金石英脉;其二,小秦岭地区褶皱构造对区内金矿化的时空分布也有明显的控制作用。在三次褶皱过程中,以第三次褶皱形成的老鸦岔—金罗斑主背斜轴部最有利于成矿。从褶皱形态看,以伴随有开放性裂隙的背斜褶皱最有利于成矿。近似对称褶皱比例转和不对称褶皱成矿更为有利;其三,区内断裂构造具有明显的控矿作用:首先表现在断裂产状的控矿意义上,根据400余条含金石英脉近550多个产状实测数据分析,区域性控矿断裂主走向为 286° (近东西向),主倾向为 196° (近向南

倾),倾角中等(60° 左右)。但是老鸦岔—金罗斑矿带的东、西部分,控矿断裂有所差别。西段只有一组主要产状。以稍偏西的南倾矿脉为主;东段则有两组产状的断裂控矿,一组以南倾为主、北东倾次之(以金峪岔矿区为代表),五里村、七树坪和大核桃岔几个矿带中,控矿断裂的主倾向 $194^{\circ}\sim 214^{\circ}$ 、 $185^{\circ}\sim 190^{\circ}$,倾角中等;其次倾向 16° 、 $39^{\circ}\sim 40^{\circ}$,倾角多数较缓。对71条有金矿化远景的石英脉和69条未充填的断裂分别进行产状统计发现,主要控矿断裂倾向南南西组 200° ,倾角中等;次要控矿断裂倾向北北东组 30° ,倾角较缓。非控矿断裂倾向北组 9° ,倾角较陡;次倾向北西西组 305° ,倾角中等到较陡。其次断裂力学性质的不同,对金矿化的控制作用也不同。据183条早燕山期非成矿断裂与438条晚燕山期成矿断裂力学性质统计分析表明:成矿前与成矿后断裂在东西走向的压性特征上有继承发展关系;成矿期剪性的北东向断裂具明显改造或新生特征;成矿前与成矿后剪性北西向与张性南北向断裂既有继承性,也有发展与强化的表现;成矿前压剪性的北东东向被成矿期剪性的北东向所代替。其四,构造岩(糜棱岩)的控矿作用:由于小秦岭地区长期受南北强烈挤压和多期次的岩浆活动,在褶皱构造的较深部位常常形成厚度不等的动力塑性构造蚀变岩带,即糜棱岩带。糜棱岩具有发育的裂隙、劈理、片理,空隙度可大于一般变质岩2~3倍,对矿液的运移,以及后期脆性断裂的形成十分有利。据统计,有工业价值的金矿脉91.0%产于糜棱岩带中。糜棱岩带的走向与区域构造线方向一致,但与含金石英脉走向有一定交角,且倾角也较陡。糜棱岩的形态多呈波状起伏的带状延伸,沿其走向与倾角的变化地段,均可有含金石英脉的产出,成为小秦岭地区重要的控矿因素和找矿



图例说明:1、太要深断裂带;2、糜棱岩带;3、辉绿岩、辉绿辉长岩脉(或岩墙);4、岩浆热液运移方向;5、晚燕山期花岗岩;6、含金石英脉;7、变质岩间隙溶液运移方向

图7 小秦岭金矿成矿溶液运移方向示意图

Fig. 7 Diagrammatic sketch showing the migration of ore solution in the formation of Xiao Qinling Au deposits

带)。但是老鸦岔—金罗斑矿带的东、西部分,控矿断裂有所差别。西段只有一组主要产状。以稍偏西的南倾矿脉为主;东段则有两组产状的断裂控矿,一组以南倾为主、北东倾次之(以金峪岔矿区为代表),五里村、七树坪和大核桃岔几个矿带中,控矿断裂的主倾向 $194^{\circ}\sim 214^{\circ}$ 、 $185^{\circ}\sim 190^{\circ}$,倾角中等;其次倾向 16° 、 $39^{\circ}\sim 40^{\circ}$,倾角多数较缓。对71条有金矿化远景的石英脉和69条未充填的断裂分别进行产状统计发现,主要控矿断裂倾向南南西组 200° ,倾角中等;次要控矿断裂倾向北北东组 30° ,倾角较缓。非控矿断裂倾向北组 9° ,倾角较陡;次倾向北西西组 305° ,倾角中等到较陡。其次断裂力学性质的不同,对金矿化的控制作用也不同。据183条早燕山期非成矿断裂与438条晚燕山期成矿断裂力学性质统计分析表明:成矿前与成矿后断裂在东西走向的压性特征上有继承发展关系;成矿期剪性的北东向断裂具明显改造或新生特征;成矿前与成矿后剪性北西向与张性南北向断裂既有继承性,也有发展与强化的表现;成矿前压剪性的北东东向被成矿期剪性的北东向所代替。其四,构造岩(糜棱岩)的控矿作用:由于小秦岭地区长期受南北强烈挤压和多期次的岩浆活动,在褶皱构造的较深部位常常形成厚度不等的动力塑性构造蚀变岩带,即糜棱岩带。糜棱岩具有发育的裂隙、劈理、片理,空隙度可大于一般变质岩2~3倍,对矿液的运移,以及后期脆性断裂的形成十分有利。据统计,有工业价值的金矿脉91.0%产于糜棱岩带中。糜棱岩带的走向与区域构造线方向一致,但与含金石英脉走向有一定交角,且倾角也较陡。糜棱岩的形态多呈波状起伏的带状延伸,沿其走向与倾角的变化地段,均可有含金石英脉的产出,成为小秦岭地区重要的控矿因素和找矿

标志。

表 5 小秦岭石英、黄铁矿中微量元素比值表

Table 5 Ratio of trace elements in quartz and pyrite of Xiao Qinling gold deposits

石英				样号	黄铁矿			
S/Se	Te/Se	Ba/Sr	Au/Ag		S/Se	Te/Se	Ba/Sr	Au/Ag
		5.739	0.519	1	27834	18.465	1.06	0.15
130		32.714	0.282	2	57515.67	6.105	37.88	
		21.3	0.4	J(I)	202539	0.44	0.62	1.344
18500	41	9.261	5.272	J(II)	83206	2.21	0.22	
218.345	0.89	8.464	0.09	W(I)	70067	2.18	0.61	1.18
422.49	1.41	1.239	0.09	W(II)	185039	1.353	0.095	
	520	9.25	1.493	Y(I)		3	1.29	3.13
1943.48	4.32	2.617	0.227	Y(II)		1.75	0.58	
		1.963		T(I)		0.97		10.498
		1.95		T(II)	587444	1.29	3	
310.35	1.045	2.067	0.178	D(I)				
2166.67	0.75	23.029	0.404	D(II)	4510.67	0.75	27.93	

注: 1、伟晶岩异离体中的石英; 2、花岗岩体内石英脉中石英; J、金桐岔 S₉号脉; W、文峪 S₅₀₅号脉; Y、杨砦峪 S₆₀号脉; T、东桐峪 Q₈号脉; D—大湖峪 S_D脉; 样号右侧括号中罗马数字为矿物世代

三、小秦岭金矿成矿模式讨论

成矿模式是从实际和理论的结合上对成矿作用、控矿因素、矿化规律之间内在关系论述的高度概括。其内容主要包括:矿质来源、金的活化条件、迁移形式、沉出作用等。可以用文字表述,也可用图示说明。现将小秦岭金矿成矿模式概述如下:

1、成矿物质的多源性

从金矿脉硫、氧、氢、碳、锶、铅等同位素、矿物包体、微量元素、稀土元素,以及数学地质的判别分析等研究方法所得结果的分析证明,形成小秦岭金矿的成矿物质具明显多源性特征。其中成矿溶剂—水,主要部分来自晚燕山期花岗岩浆的上侵和结晶分异作用所产生的岩浆期后热液,另一部分来自变质岩的间隙溶液,包括部分天水,而且后者所占比例随着矿液从花岗岩

向外运移的距离增加而不断增多。成矿溶液的矿质来源也是各不相同的,其中 Au、Fe、Te、Se 及部分 Pb、Zn 主要来自太华群变质岩地层;Pb、Zn、Cu、W、Ag 及部分 Au 等主要来自各期岩浆活动,与晚燕山期花岗岩的结晶分异作用直接有关;Ni、Co、V、Ti,以及部分 Fe、Au 等可能与辉绿岩、辉绿辉长岩脉或岩墙有关,来自岩石圈底部或上地幔;S、Si 与 CO₂ 主要来自太华群变质岩地层,而卤族元素 F、Cl 则主要与晚燕山期花岗岩有关。

2、金活化的长期性

太华群地层成岩阶段,金有两种来源,一是来自原始古陆核的风化剥蚀碎屑堆积物,一是由海底拉斑玄武岩的喷发作用从地幔带入。在成岩和第一期高角闪岩相的区域变质作用中,金主要呈原子或原子集合体形式,分散于硅酸岩变质矿物中,处于不易释放状态。后经区域性混合岩化作用和区域性绿片岩相退变质作用,岛状、链状铁镁硅酸盐矿物相变为层状硅酸盐矿物,加之氧化还原电位的变化(主要是挥发组分的电离化)和络合剂 H₂S、CO₂、HCl 等参与,使稳定态的金(Au)被活化为含金络离子。赋存部位也从变质矿物的晶隙、晶面、晶间,大部转入矿物的间隙溶液中。最后在与晚燕山期岩浆活动伴生的热动力条件的影响下,使含金间隙溶液和岩浆期后热液在同时向糜棱岩带中的负压空间运移过程中混合,形成金矿化。

3、金迁移形式的可变性

用热力学方法,以金矿脉中石英包体成分和主要矿物组合为基础,计算了在不同温度条件下金的主要迁移形式(表 6)。由于物理化学条件改变,成矿溶液中金的迁移形式是可以变化的。一般规律是高温时以氯络离子的形式为主,低温时以硫氢基络离子形式为主。

表 6 小秦岭金矿成矿过程中金的迁移形式**

Table 6 Transporting forms of gold in the course of mineralization of Xiao Qinling gold deposits

条件	主要形式		次要形式
	AuCl ₂ ⁻	Au(HS) ₂ ⁻	Au ₂ S(HS) ₂ ²⁻
T(°C)	500	300	300
P(Pa)	2×10 ⁸	2×10 ⁸	2×10 ⁸
f _{S₂} (Pa)	10 ^{0.55}	10 ^{-3.82}	10 ^{-3.82}
f _{O₂} (Pa)	10 ^{-33.0}	10 ⁻²⁵	10 ⁻¹⁵
pH	5.56	6.0	6.0
a*	1 ^{-9.82}	10 ^{-5.45}	10 ^{-9.44}

* a 为含金络离子活度

** 李泽琴计算,1988

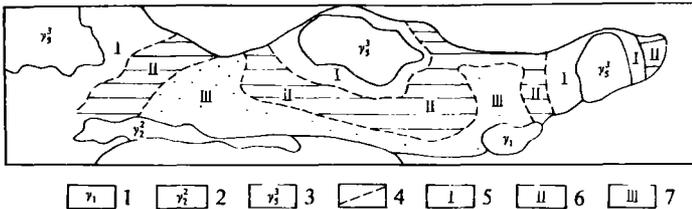
表7 小秦岭金矿成矿物理化学条件表**

Table 7 Physicochemical conditions of mineralization of Xiao Qinling gold deposits

成矿作用 成矿期	原生成矿作用			
	I	II	III	IV
成矿物理化学条件	黄铁矿-石英	石英-黄铁矿	石英-多金属	石英-碳酸盐-黄铁矿
T(°C)	251~303	209~295	155~178	155
P(Pa)	(1.45~1.63)10 ⁸	(1.27~1.58)10 ⁸	(1.10~1.08)10 ⁸	1.08×10 ⁸
h(km)	5.1~5.9	4.6~5.8	3.8~3.9	3.8
f _{O₂} (Pa)	10 ⁻¹⁹ ~10 ⁻²³	10 ⁻²⁰ ~10 ⁻²⁷	10 ⁻³³ ~10 ⁻³⁴	10 ⁻³⁴
f _{S₂} (Pa)	16~7.9×10 ²	0.2~4.0×10 ²	10 ⁻³ ~10 ^{-3.6}	10 ^{-3.6}
f _{CO₂} (Pa)	32~7.9×10 ²	2.5~4.0×10 ²	6.3×10 ⁻² ~1.6×10 ⁻²	1.6×10 ⁻²
Fe ²⁺ (M)*	5×10 ⁻⁶ ~5×10 ⁻⁹	5×10 ⁻⁴ ~5×10 ⁻⁸	5×10 ^{-3.5} ~5×10 ^{-3.2}	5×10 ^{-3.3}
Pb ²⁺ (M)	5×10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	>10 ⁻³	<10 ⁻³
Zn ²⁺ (M)	10 ⁻²	5×10 ⁻¹	10.0	<10.0
Au ³⁺ (M)	2×10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹²	7.1×10 ⁻¹¹ ~3.55×10 ⁻¹⁵	3.16×10 ⁻¹⁸	6.31×10 ⁻¹⁹
PH	6.03	5.70	6.03	
Eh(V)	~-0.115	-0.115	-0.140	~-0.140

* M—相对摩尔数;

** 见(1)



图例说明: 1、太古代花岗岩; 2、元古代花岗岩; 3、晚燕山期花岗岩;

4、矿化区界线; 5、弱矿化带; 6、强矿化带; 7、弱矿化带

图8 小秦岭金矿化原生分带示意图(据李泽琴, 1988)

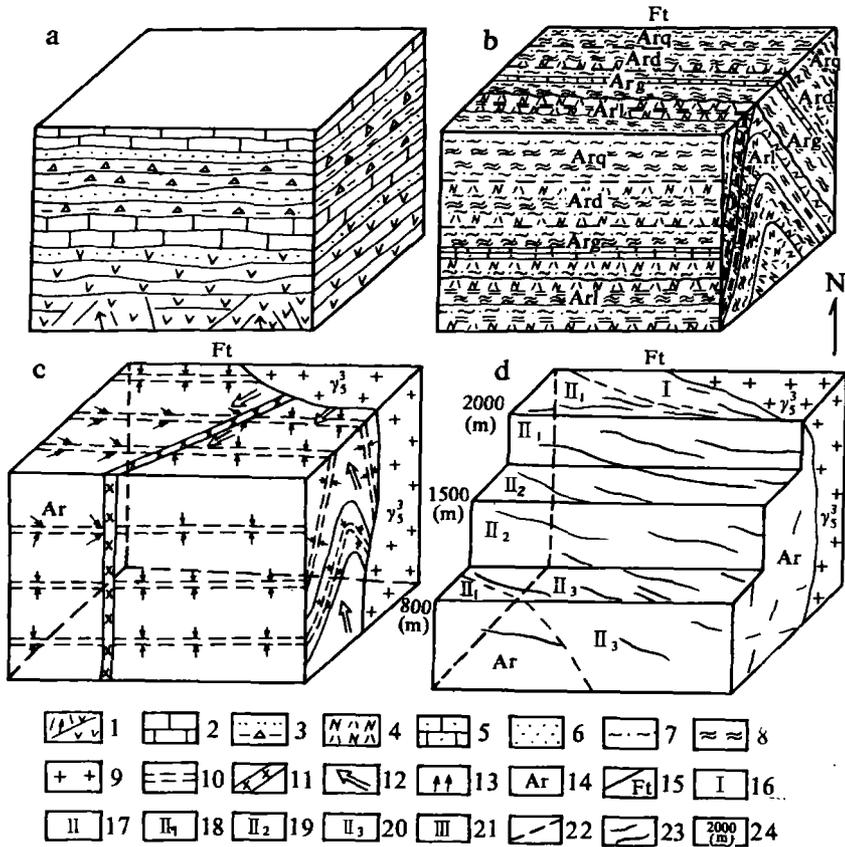
Fig. 8 Sketch map of the primary zone of mineralization in Xiao Qinling Gold Deposits

4. 成矿机理的渐序性

成矿溶液一次贯入分阶段成矿机理。当岩浆期后热液与间隙溶液混合后形成成矿溶液,在构造运动的影响下,糜棱岩带内的局部地段出现脆性引张断裂,形成负压空间。成矿溶液经辉绿岩、辉绿辉长岩脉或岩墙的破碎接触带,或糜棱岩带向储矿构造运移,并一次充填于规模不等、产状各异的断裂、裂隙中。当压力差消失后,矿液的迁移终止,进入成矿期。由于物理化学条件的变化,络离子分解,形成石英、自然金和其它金属硫化物矿物。根据小秦岭金矿各类矿物组构的不同,金矿化过程可划分为四个阶段,各具有其特征的物理化学条件(表7)。

5. 矿化空间的分带性

由于矿质运移的方向性和成矿物理化学条件变化的规律性,使小秦岭金矿化具有明显的



图例说明: 1、海底拉斑玄武岩岩浆喷发机构及其熔岩; 2、碳酸盐岩沉积层; 3、碎屑沉积岩; 4、斜长角闪岩类; 5、大理岩类; 6、长英质岩类; 7、片麻岩类; 8、混合岩类; 9、晚燕山期花岗岩; 10、糜棱岩带; 11、辉绿岩、辉绿辉长岩脉; 12、岩浆期后热液运移方向; 13、间隙溶液运移方向; 14、太华群地层; 15、太要深断裂带; 16、内带(弱矿化带); 17、中带(强矿化带); 18、多金属硫化物矿化类型; 19、黄铁矿矿化类型; 20、少黄铁矿矿化类型; 21、外带(弱矿化带); 22、矿化带范围; 23、含金石英脉; 24、海拔标高

图9 小秦岭金矿成矿模式图

Fig. 9 Sketch map of the metallogenic model of Xiao Qinling gold deposits

说明: a、太华群成岩作用, 金的原始堆积; b、太华群地层隆起变质, 形成再造矿源层; c、晚燕山期花岗岩岩浆侵入, 岩浆期后热液与间隙溶液混合, 形成含金矿液; d、金矿化原生分带

空间分带特征(图8)。在小秦岭地区已发现的千余条含金石英脉中, 工业价值较大且具代表性的数十条金矿脉, 在水平方向上主要集中于距晚燕山期花岗岩基 2~7 公里范围内, 在垂向上分布于标高 2000~0 米的间距中。据此即可以晚燕山期花岗岩为中心, 由内向外分为三个矿化带, 即内带(I)弱矿化带、中带(II)强矿化带、外带(III)弱矿化带。在强矿化带(II、中带)内, 矿脉在水平与垂向上的位置不同, 表现出不同的矿化类型。依此又可按矿化类型分出(由内向外, 由上至下): 多金属硫化物型(II₁)、黄铁矿型(II₂)和少黄铁矿型(II₃)。不同矿化类型矿物组

合、元素组合、矿物标型特征等都有其继承和演化特点。小秦岭金矿上述矿化原生分带,也说明金矿化过程中物理化学条件在时空上的有规律变化。

小秦岭金矿成矿模式的上述内容可用图示概括(图9)。

参考文献

- [1] 栾世伟,小秦岭金矿形成的物理化学条件,成都地质学院学报,(3)1984
- [2] 栾世伟等,小秦岭金矿床地球化学矿物岩石专辑,1985
- [3] 栾世伟等,《金矿床地质及找矿方法》,四川科技出版社,1987
- [4] 栾世伟,我国山金形成条件与分布特征,沈阳国际金矿会议文集,1989
- [5] 陈尚迪,金的地球化学与金的成矿与找矿,成都地质学院学报,(4)1987
- [6] 栾世伟、赵宝金,小秦岭金矿糜棱岩成因机理及其与金矿化的关系,成都地质学院学报,(3)1986
- [7] 胡志宏等,小秦岭金矿金的迁移、沉淀机理研究,地质与勘探,22(6)1986
- [8] 胡志宏、胡受奚等,豫西小秦岭太华群金的地球化学背景及金矿成矿物质来源研究,长春地质学院学报,(2)1986

MAIN ORE-CONTROLLING FACTORS AND METALLOGENIC MODEL OF GOLD DEPOSITS IN XIAOQINLING AREA

Luan Shiwei

Chen Shangdi

(Chengde College of Geology)

Abstract

Xiaoqinling Area is a main producer of gold in China. Attention has been paid to genesis of deposits in the area and many genetic models are proposed. Being confined to different genetic views ore-controlling factors can not be analysed objectively. Main facts supporting the models are reviewed and questions are presented in this paper. The authors make a systematic exponent of ore-controlling factors and an inquire into the control and influence of regional stratigraphy, tectonics and late Yianshanian magmatism on gold mineralization. Aspects of resources and transportation of ore material, space for ore fluid to stay and the precipitation way of ore material are discussed. And a new model (see to Fig. 9) is worked out.