

文章编号:0258-7106 (2001) 01-0190-09

河南康山金矿同位素地球化学及其对成岩成矿及流体作用模式的印证*

王海华^{1,2} 陈衍景^{1,2} 高秀丽^{1,2}

(1 北京大学地质学系, 北京 100871; 2 南京大学内生矿床国家重点实验室, 南京 210093)

提 要 康山金矿位于华北克拉通南缘熊耳山区, 矿化类型介于蚀变破碎带型与石英脉型矿床之间, 为硅化体型金矿。蚀变矿化过程分为早期石英-黄铁矿阶段、中期多金属硫化物阶段和晚期碳酸盐阶段; 温度分别集中在 300~380℃、180~240℃和 100~140℃; 碳氢氧同位素研究揭示成矿流体由变质热液经混合热液, 向大气降水热液演化。流体混合导致矿化中期成矿物质快速沉淀, 多金属硫化物等多种矿物爆发形成, 且结晶程度低(以玉髓和烟灰状黄铁矿为标志), 含矿性好, 是大规模成矿的关键。碳铅硫同位素研究表明成矿物质主要来自马超营断裂南侧由官道口群、栾川群、太华超群等地层构成的俯冲板片, 而赋矿围岩熊耳群提供成矿物质的可能性最小, 因此认为中生代时沿马超营断裂倾向北的陆内俯冲诱发了流体成矿作用, 导致康山金矿等熊耳山区 10 多处大中型矿床的形成和规律性分带, 马超营断裂北侧是寻找金、银等矿床的有利地带。本文印证了同碰撞矿床的存在和成岩成矿及流体作用(CPMF)模式。

关键词 秦岭造山带 康山金矿 同位素 成矿流体 成矿物质 CPMF 模式

中图分类号: P618.51/P597

文献标识码: A

康山金矿是华北克拉通南缘熊耳山金矿集中区最早发现的 3 个金矿(祁雨沟、康山、上官)之一, 现已达大型规模, 并有银、铅独立矿床与之相伴。矿化介于石英脉型与蚀变破碎带型之间, 常被作为过渡类型、复合型(胡受奚, 1988; 胡受奚等, 1997)或硅化体型(陈衍景等, 1992)金矿床。康山金矿的发现丰富了华北克拉通南缘的金矿类型, 开阔了找矿思路, 促使熊耳山成为我国重要的金矿集中区, 带动了铁炉坪—蒿坪沟大型银矿带(伴铅金)的新发现。因此, 康山金矿的成矿机制和找矿模式研究具有重要的科学理论意义和找矿实践意义。

1 区域地质背景

华北克拉通南缘熊耳山前寒武纪地体的东、西边界为新生代断陷盆地, 南、北边界分别是马超营断裂和三宝断裂(图 1)。核心出露早前寒武纪结晶基底太华超群, 为角闪岩相绿岩带(陈衍景等, 1988),

主要由角闪岩类、片麻岩类和条带状混合岩类等岩石组成。厚达 7 160 m 的熊耳群安山岩系(1 850~1 400 Ma)角度不整合在太华超群之上, 在熊耳山地体南部和北部广泛分布。该群由大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组构成, 大古石组为砾岩-砂岩-泥质岩等沉积岩系, 其余 3 组为陆相玄武安山岩、安山岩、英安岩和流纹岩等组成的火山岩系, 其形成构造环境有陆弧(胡受奚等, 1984, 1988; 贾承造等, 1988; 陈衍景等, 1992)和裂谷(孙枢等, 1985)两种观点。

中生代华南与华北板块碰撞时, 三宝断裂反向截割了秦岭造山带内部一系列倾向北的陆内俯冲(胡受奚等, 1997; 陈衍景等, 1990a, 1991, 1992), 为反向逆冲边界断裂(Sengor, 1990), 构成秦岭碰撞造山带北边界(陈衍景, 1996a; 陈衍景等, 1990b; Zhang et al., 1996), 使熊耳山地体成为碰撞造山带的刚性基底推覆体。马超营断裂作为熊耳山地体的南边界, 宽 1~3 km, 由地层或岩石碎块组成, 碎块主要为熊耳群火山岩、太华超群片麻岩、官道口群白云

* 本文是国家攀登预选课题(编号:95-预-39-04)、自然科学基金(编号:49972035)、南京大学内生矿床国家重点实验室项目、教育部跨世纪人才基金项目和国土资源大调查项目的部分成果。

第一作者简介 王海华, 女, 1974 年生, 硕士, 主要从事矿床地球化学研究和学术期刊评估。E-mail: wanghaihua263@263.net

收稿日期 2000-12-20; 改回日期 2001-01-18。张绮玲编辑。

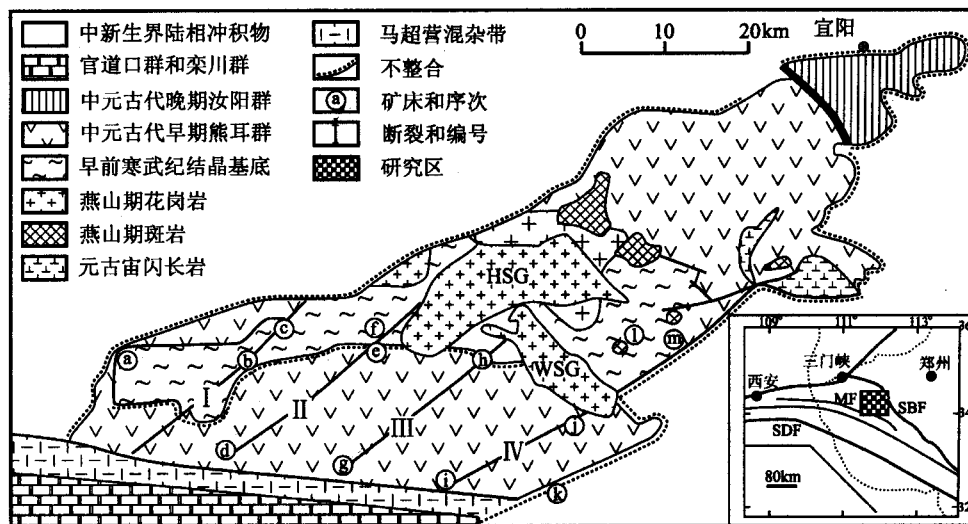


图1 康山金矿构造位置和区域地质图

矿床名称: ①~⑩依次为嵩坪沟银铅矿, 铁炉坪银铅矿, 小池沟金矿, 康山金银铅矿, 上官金矿, 虎沟金矿, 红庄金矿, 青岗坪金矿, 潭头金矿, 瑶沟金矿, 前河金矿, 雷门沟钼(金)矿和祁雨沟金矿; 断裂名称: I~IV依次为三门断裂, 七里坪断裂, 红庄断裂和陶村断裂;

WSG—五太山岩体; HSG—花山岩体; SBF—三宝断裂; SDF—商丹断裂; MF—马超营断裂

Fig. 1 Sketch map showing the locality of the Kangshan gold deposit and its regional geology

岩、栾川群碳质页岩以及含卢木化石(富士谷等发现)的地层,可见太华超群片麻岩逆掩推覆到熊耳群之上等大量地层倒置现象,断裂带构造变形和劈理化强烈,普遍遭受硅化等蚀变,地貌上呈负地形,已被公认为中生代的陆内俯冲混杂带(陈衍景等,1992;胡受奚等,1997;王志光等,1997;范宏瑞等,1994a)。

熊耳山区中生代碰撞型花岗岩类较为发育(范宏瑞等,1994a,b;陈衍景等,2000a),尤其以花山、五丈山、金山庙等花岗岩基和祁雨沟、雷门沟等斑岩—爆破角砾岩群最为醒目。断裂构造以NE向压扭性断层最发育,且控矿明显(图1),经历了压扭—张扭—压扭的演变过程,与近NS、NW、EW向断层配套发育,属马超营断裂的次级构造。

2 矿床地质和矿化蚀变期次

康山金矿产于熊耳山地体南部的熊耳群火山岩系中,定位于东西向马超营断裂带之北边界三门一岭台断裂与NE向康山—七里坪断裂的交汇处,由范家洼、桥沟、星星印和磨石沟等4个矿化密集带构成。矿区断裂十分发育,主要为NE、NNE、NS及NW向等4组断裂;除康山—七里坪断裂外,NE和NNE两组压扭性断裂一般延长数十米至2500m,

为最主要的储矿构造。矿体呈似板状、透镜状产于断裂带内,多成群分布。主要矿石类型为黄铁绢英岩(以803号脉为代表)和脉状细粒交代石英岩(以1101号脉为代表),矿化发育在断裂带内部。脉状交代石英岩矿体多在矿化断裂顶底板附近,与蚀变围岩的界线不甚清楚,矿化类型介于典型的蚀变破碎带型与石英脉型之间,属硅化体型。矿石结构、构造复杂,各种交代结构、碎裂结构和角砾状、网脉状、条带状构造极为常见,局部可见梳状构造。矿石矿物主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、自然金、银金矿、自然银等;脉石矿物主要为石英、钾长石、绢云母、碳酸盐、绿泥石、绿帘石等。矿石建造分为黄铁矿型和多金属硫化物型。

矿区岩石蚀变强烈。矿体两侧发育的蚀变带的强度和宽度与围岩性质、裂隙发育程度有关。主要蚀变类型有硅化、绢云母化、钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、铁锰碳酸盐化、浊沸石化及黄铁绢英岩化、黄铁矿化、多金属硫化物化。从矿体中心向两侧蚀变依次为硅化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化、浊沸石化。矿化蚀变可分为3个阶段:(a)石英—黄铁矿阶段,伴随强烈的黄铁绢英岩化,黄铁矿主要为粗粒自形立方体;(b)网脉状多金属硫化物阶段,伴随细晶或玉髓状石英形成,黄铁矿为细粒烟灰状五角十二面体;(c)细脉状碳酸盐阶段,伴有石英和极

少的硫化物。蚀变越强,金矿化越强;中期多金属硫化物矿化越强,金矿化越强;金和银以自然金、自然银、银金矿的形式存在于矿物粒间、裂隙和晶体缺陷中,与细粒黄铁矿紧密伴生。

详细的包裹体测温研究揭示 3 个阶段的成矿温度分别集中在 300 ~ 380℃、180 ~ 240℃、100 ~ 150℃,略低于上宫金矿的成矿温度(早、中、晚阶段的集中温度分别为 320 ~ 380℃、220 ~ 300℃、120 ~ 200℃)(陈衍景等,1998b)。

3 氢氧碳同位素体系及成矿流体性质、来源和演化

由于矿化过程具有多阶段特征,早期矿化形成

的矿物受到晚期矿化的叠加改造,影响成矿流体氢氧碳同位素组成的测试、计算和解释,因此作者在采样和分选石英矿物时,注重剔除了多期矿化叠加生长的样品(主要借助阴极发光照射和显微热台的包裹体观测),从而保证了样品能够分别代表不同阶段结晶的石英。

从表 1 可见,早期成矿流体 $\delta^{18}\text{O} = 5.75\text{‰} \sim 9.67\text{‰}$,平均 8.28‰, $\delta\text{D} = -72.8\text{‰} \sim -83.9\text{‰}$,平均 -77.4‰ ,具有变质流体或岩浆水的特征;晚期流体 $\delta^{18}\text{O} = -3.61\text{‰}$, $\delta\text{D} = -85.9\text{‰}$,具有大气降水热液的性质;中期流体 $\delta^{18}\text{O} = 3.66\text{‰} \sim 5.09\text{‰}$,平均 4.34‰, $\delta\text{D} = -71.4\text{‰} \sim -92.1\text{‰}$,平均 -81.5‰ ,介于早期与晚期流体之间,应为两者的混合流体。在图 2 中,可以清楚地看出成矿流体从早期深源变

表 1 康山金矿床成矿流体氢氧碳同位素组成

Table 1 D-O-C isotopic composition ore fluids in the Kangshan Au-Ag deposit

样号	样品地质特征	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}/\text{‰}$	$t/^\circ\text{C}$	期次
K8	石英黄铁矿矿石	15.88	9.67	-75.4		320	早期
K8-1	石英黄铁矿矿石	15.62	9.41	-83.9	-0.51	320	早期
K12	石英黄铁矿矿石	11.96	5.75	-72.8		320	早期
平均		14.49	8.28	-77.4			
K3	多金属硫化物矿石	14.89	3.80	-71.4		210	中期
K4	多金属硫化物矿石	16.18	5.09	-81.5	-0.70	210	中期
K5-2	多金属硫化物矿石	14.75	3.66	-92.1		210	中期
K13	多金属硫化物矿石	15.90	4.81	-81.0		210	中期
平均		15.43	4.34	-81.5			
K14	碳酸盐-石英细脉	14.33	-3.61	-85.9	-2.05	125	晚期

南京大学内生矿床国家重点实验室测试,质谱仪为 MAT251, δD 分析精度为 3‰, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分析精度 $<0.2\text{‰}$; D 和 O 为 SMOW 标准, C 为 PDB 标准; $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (据张理刚, 1985)。

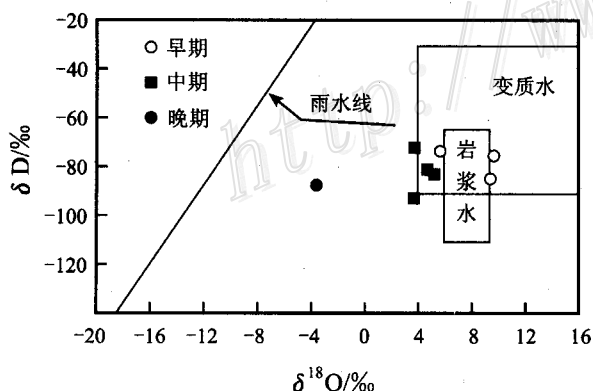


图 2 康山金矿成矿流体氢氧同位素组成

Fig. 2 δD versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram of ore fluid in the Kangshan gold deposit

质热液向晚期浅源大气降水演化的趋势,与最新揭示的造山带型金矿床,尤其是碰撞造山体制成矿流体演化的规律(陈衍景, 1996a)十分吻合。

包裹体 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 从早期 -0.51‰ , 经中期 -0.70‰ , 到晚期 -2.05‰ , 逐渐变小, 反映大气 CO_2 的加入增多(大气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} \approx -8\text{‰}$), 与氢氧同位素所揭示的规律相一致。

4 成矿物质来源的同位素地球化学示踪

4.1 碳同位素示踪

火成碳酸岩、岩浆岩、幔源物质的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -5‰

左右,有机碳 $\delta^{13}\text{C} = -26\text{‰}$,大气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C} = -8\text{‰}$,均低于成矿流体的 $\delta^{13}\text{C}$,显然矿石碳的主要来源不应是上述物质,而只有海相碳酸盐地层($\delta^{13}\text{C} = 0.5\text{‰}$)才能够相对应;以安山岩为主的赋矿围岩熊耳群火山岩系则难以派生出如此碳同位素特征的成矿物质和流体。

需要指出,康山金矿碳同位素特征与铁炉坪银矿(隋颖慧等,2000)、天山望峰金矿(陈华勇等,2000)、西秦岭金龙山卡林型金矿(张复新等,2000)等同碰撞矿床类似,也与变质过程中碳同位素变化行为(陈衍景等,2000b,Schidlowski,1998)相一致。

4.2 硫同位素示踪

康山金矿硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 分布较为集中,变化于 $-0.2\text{‰} \sim 5.4\text{‰}$ (表 2),显示塔式效应(图 3),指示成矿过程中硫同位素均一化程度高。由于康山金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 与熊耳山区的燕山期花岗岩、太华超群变质岩、熊耳群安山岩建造等多种地质体的 $\delta^{34}\text{S}$ 相似,均为小的正值(表 2),因此,仅凭 $\delta^{34}\text{S}$ 可以得出康山金矿硫源的多种解释,难以确定成矿物质的准确来源。考虑到碳同位素研究已经显示至少部分成矿物质来自碳酸盐地层分解, $\delta^{34}\text{S}$ 为正值,笔者认为应有部分硫来自沉积硫酸盐的分解。

4.3 铅同位素示踪

从表 3 和图 4 可见,在熊耳山区的各类地质体

表 2 康山金矿和相关地质体中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$
Table 2 $\delta^{34}\text{S}$ of ores and rocks from the Kangshan gold deposit

样号	地质体	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	资料来源	样号	地质体	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	资料来源
K2	康山金矿	黄铁矿	2.6	本文	1	康山金矿	黄铁矿	3.7	范宏瑞等,1994b
K3	康山金矿	黄铁矿	3.3		2	康山金矿	黄铁矿	3.9	
K4	康山金矿	黄铁矿	0.3		3	康山金矿	黄铁矿	5.1	
K5	康山金矿	黄铁矿	1.8		4	康山金矿	黄铁矿	5.3	
K8	康山金矿	黄铁矿	3.6		5	康山金矿	黄铁矿	2.6	
K12	康山金矿	黄铁矿	1.4		6	燕山期花岗岩	黄铁矿	2.3	
K13	康山金矿	黄铁矿	2.1		7	燕山期花岗岩	黄铁矿	1.8	
K3	康山金矿	方铅矿	2.9		8	燕山期花岗岩	黄铁矿	5.4	
K4	康山金矿	方铅矿	-0.2		9	太华超群变质岩	黄铁矿	1.3	
K5	康山金矿	方铅矿	0.4		10	太华超群变质岩	黄铁矿	2.9	
K8	康山金矿	方铅矿	2.6		11	太华超群变质岩	黄铁矿	2.9	
K13	康山金矿	方铅矿	2.6		12	太华超群变质岩	黄铁矿	5.7	
	康山金矿	黄铁矿	5.4*		13	熊耳群安山岩	黄铁矿	4.3	
	康山金矿	黄铜矿	4.6*		14	熊耳群安山岩	黄铁矿	4.6	
	康山金矿	闪锌矿	3.7*		15	熊耳群安山岩	黄铁矿	2.5	
	康山金矿	方铅矿	1.0*		16	熊耳群安山岩	黄铁矿	5.4	

测试单位：国土资源部矿产资源研究所，Cu₂O 制样，MAT230C 质谱仪，CDT 标样，精度 0.2‰。* 者为平均值。

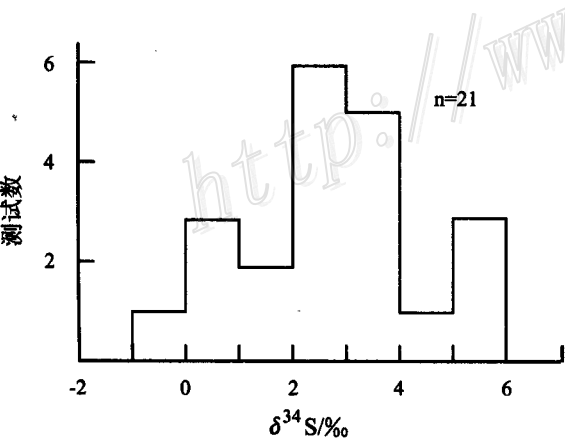


图 3 康山金矿硫同位素直方图

Fig. 3 $\delta^{34}\text{S}$ histogram of ores from the Kangshan deposit

中,尽管熊耳群是康山金矿的直接围岩,但矿石铅同位素组成与熊耳群火山岩的差别最大。康山金矿样品位于地幔线之上,接近造山带线附近,个别样品甚至位于上地壳线附近,表明矿石铅来源的成熟度较高;熊耳群样品则分布在地幔线附近,成熟度低,熊耳群不可能是矿石铅的主要来源,只是成矿流体沉淀成矿物质的场所。

康山金矿铅同位素组成虽然与太华超群、燕山期花岗岩体和上宫金矿的铅同位素组成类似,一定程度上显示物质来源的相似性(胡受奚等,1988,1997;陈衍景等,1992;范宏瑞等,1994a,b;王志光等,1997),但其同位素组成却明显高于后者,还应有成熟度更高的物质提供铅源。部分康山金矿样品位

表 3 - 康山金矿矿石及相关矿床和地质体的铅同位素组成

Table 3 Lead isotopic composition of ores and rocks from the Kangshan deposit and its vicinity

样号	样品地质	测试	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
K3	康山矿石	方铅矿	17.763	15.488	38.271	本文
K4	康山矿石	方铅矿	17.808	15.550	38.463	
K5	康山矿石	方铅矿	17.784	15.510	38.330	
K13	康山矿石	方铅矿	17.888	15.629	38.725	
K8	康山矿石	方铅矿	17.755	15.481	38.243	
89-113	康山矿石	方铅矿	17.593	15.676	38.716	
89-132	康山矿石	方铅矿	17.578	15.528	38.300	
*	康山矿石	黄铁矿	17.818	15.612	38.653	罗铭玖等, 1992
*	康山矿石	黄铁矿	17.762	15.547	38.447	
*	康山矿石	黄铁矿	17.865	15.514	38.374	
*	康山矿石	黄铁矿	17.740	15.439	38.241	
*	康山矿石	黄铁矿	17.831	15.554	38.514	
平均(12 件)			17.765	15.544	38.440	本文
Sg-PD ₃ -Pb-Tz1	上宫金矿	矿石	17.095	15.378	37.502	河南地调一队, 1988, 上宫金矿
Tz ₃ /PD ₃	上宫金矿	矿石	17.053	15.344	37.417	勘探报告(内部资料), 共 884 页
Sg-PD ₃ -DF ₂ -Pb	上宫金矿	矿石	17.208	15.503	37.949	
Rz ₂ /PD ₃	上宫金矿	矿石	17.105	15.384	37.558	
Rz ₃ /PD ₃	上宫金矿	矿石	17.188	15.508	37.938	
Rz ₁ /PD ₆	上宫金矿	矿石	17.119	15.393	37.566	
Sg-PD ₁ -DF ₁ -Pb	上宫金矿	方铅矿	17.085	15.367	37.474	
平均(7 件)			17.122	15.411	37.629	
#	燕山期花岗岩	钾长石	17.440	15.520	37.975	范宏瑞等, 1994b
#	燕山期花岗岩	钾长石	17.199	15.391	37.447	
#	燕山期花岗岩	钾长石	17.473	15.455	37.886	
#	太华超群	全岩	17.400	15.469	38.174	范宏瑞等, 1994b
#	太华超群	全岩	17.353	15.492	42.558	
#	太华超群	全岩	17.609	15.547	37.654	
#	太华超群	全岩	17.530	15.345	38.569	
#	熊耳群	全岩	16.907	15.421	36.346	范宏瑞等, 1994b
#	熊耳群	全岩	16.647	15.300	36.876	
#	熊耳群	全岩	16.439	15.271	36.489	

测试单位: 国土资源部同位素研究实验室, 分析误差为 2σ 。

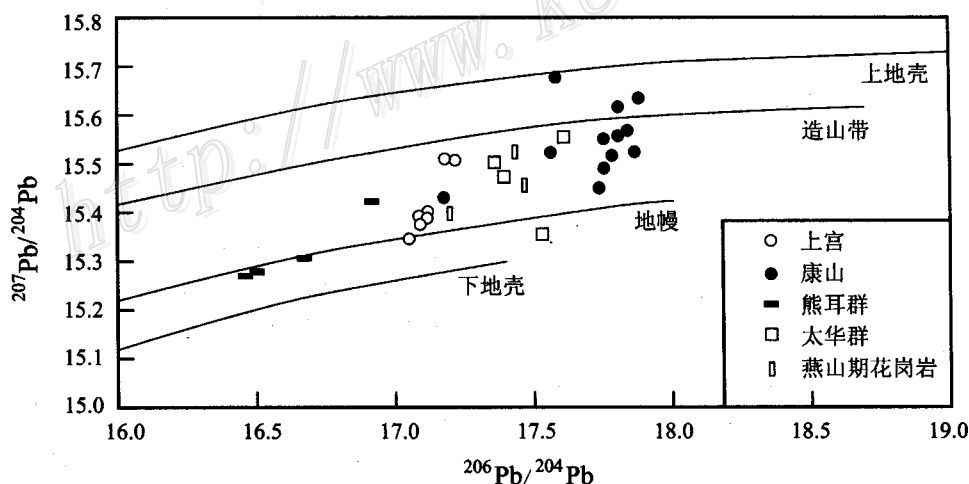


图 4 康山金矿铅同位素构造模式图(仿 Doe and Zartman)

Fig. 4 Plumb-tectonic model for the Kangshan gold deposit

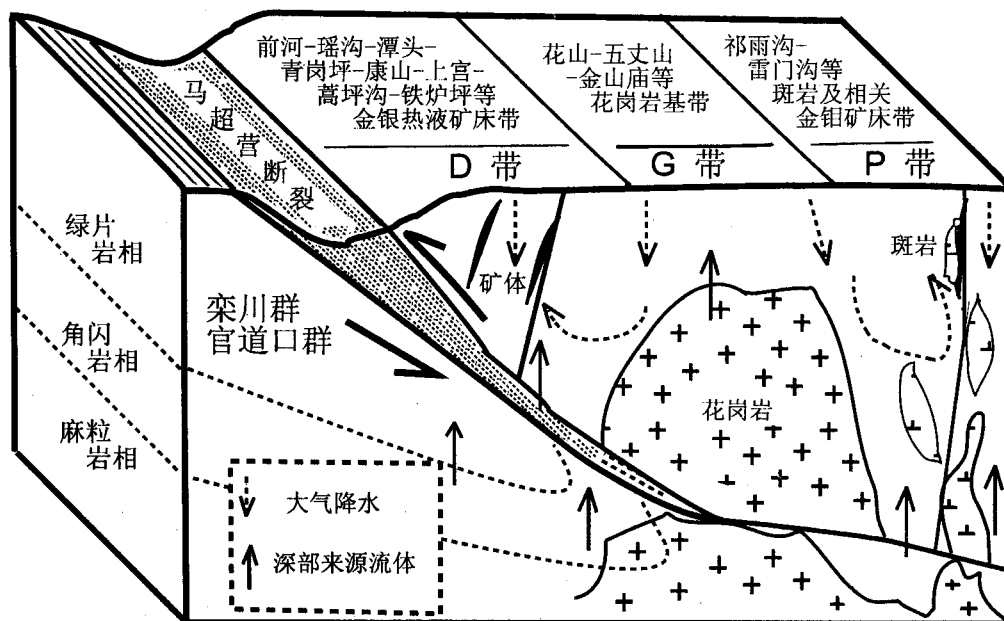


图5 康山金矿成矿模式图(据陈衍景等(1990a)修改)

D—热液矿床带; G—深成花岗岩基带; P—浅成斑岩与斑岩矿床带

Fig. 5 Metallogenic model for the Kangshan gold deposits (modified from Chen et al., 1990a)

于造山带线以上(图5),且位于燕山期花岗岩和太华超群的右上角,显示铀铅含量更高,表明另一物源的成熟度非常高,应含较多沉积物,尤其是化学沉积物。显然,此结果与硫、碳同位素信息一致,可相互印证。

然而,马超营断裂以北的熊耳山区没有发育符合物源特征的地质体,而其南侧广泛发育的官道口群和栾川群碳硅泥岩建造恰恰是十分理想的物质来源区。那么,马超营断裂南侧的地质体是如何提供成矿物质来源的呢?

5 矿床成因机制探讨

作为熊耳山区的若干中生代热液矿床之一,康山金矿是秦岭中生代地壳演化的产物。

三叠纪初,秦岭古洋盆自东而西逐渐缩小,陆陆碰撞开始,晚三叠世海相地层缺失,侏罗纪挤压隆升达到顶峰,白垩纪强烈伸展,白垩纪末碰撞造山作用结束。此间,秦岭造山带内部发育一系列陆内俯冲作用,使地壳缩短加厚,并诱发造山带不同层次的拆沉和岩浆、流体作用,导致成矿物质的活化、迁移和成矿。因此,秦岭地区符合CPMF(Collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization)模式的运用条件(陈衍景等,1998c)。

中生代碰撞造山过程中,沿马超营断裂倾向北的陆内俯冲引起下插板片脱水、脱气和去碱、去硅,形成成矿流体(改造-变质流体)。成矿流体上升运移时不断交代通道围岩,进一步活化萃取金等成矿物质,运移至马超营断裂带与康山-七里坪断裂的交汇部位时卸载,形成康山金矿(图5)。根据CPMF模式及其变异样式,成矿物质主要来自俯冲板片和仰冲板片(含赋矿围岩)。因此,当两者成分相同或相似时,反映成矿物质来源的铅等同位素组成变化范围小,如胶东、小秦岭、冀东等地的绿岩带型金矿床(陈衍景,1996b; 陈衍景等,1998a; 范宏瑞等,2000);当成分差别较大时,同位素组成变化范围大,甚至出现双众数现象,如吉林南部的绿岩带型金矿(陈衍景,1996b)和桐柏山区的碳质层控型金矿床(陈衍景,1995)。康山金矿碳硫铅同位素指示沉积物(尤其是碳酸盐等化学沉积物)是必不可少的组分,与俯冲板片和马超营断裂带内含大量官道口群和栾川群碳硅泥岩建造吻合;矿石铅同位素变化范围小,与太华超群相似,这与俯冲板片和仰冲板片的基底都是太华超群的地质事实相一致。

由于成矿作用发生于造山隆升过程中,康山矿区逐渐隆升,静岩压力和构造应力逐渐减小,成矿流体的温度逐步减低,大气降水热液影响相应增强。氢氧碳同位素研究结果恰恰与此推论吻合,一方面

表明 CPMF 模式能够解释康山金矿的成因,另一方面显示康山金矿包裹体和氢氧碳同位素特征及其所反映的成矿流体 3 阶段演化规律是碰撞造山体制的必然现象,而非偶然。

氢氧碳同位素研究揭示康山金矿中期矿化时流体混合作用(深源改造-变质热液与浅源大气降水热液的混合)强烈,并与中期矿物成分复杂、结晶程度低(玉髓状石英和烟灰状黄铁矿发育为标志)、自然金和银金矿高度富集等地质事实相对应,证明中期矿化对于成矿贡献最大。此特征与 CPMF 模式所阐明的流体演化规律和成矿特征一致,且与研究区碰撞造山过程之挤压伸展转变期的特殊构造环境(减压增温,快速隆升)吻合,表明所揭示的现象与 CPMF 模式可相互验证。

康山金矿含矿构造带宽度较大,微裂隙发育,围岩熊耳群火山岩结晶程度低(导致水岩反应速度快),有利于成矿流体渗透分散,发生面型交代蚀变,难以使流体充填圈闭在较小空间内缓慢结晶,故流体中有限的 SiO_2 无法结晶为粗粒石英脉,只能形成介于蚀变破碎带型和石英脉型之间的以细粒交代石英岩为主的硅化体型金矿。

总之,康山金矿具有碰撞体制热液金矿床的典型特征,属造山带型金矿床(Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2000);其分布空间、形成时间、成矿地球动力学过程等均与秦岭造山带中生代的碰撞造山过程耦合,与 CPMF 模式一致。

6 主要结论

康山金矿的矿化类型介于典型蚀变破碎带型与石英脉型矿床之间,矿石以含硫化物的交代次生石英岩为主,属硅化体型。蚀变矿化分为早期石英-黄铁矿阶段、中期多金属硫化物阶段和晚期碳酸盐阶段,矿化温度分别集中在 $300\sim 380^\circ\text{C}$, $180\sim 240^\circ\text{C}$ 和 $100\sim 140^\circ\text{C}$ 。

碳氢氧同位素研究证明,成矿流体由早期变质热液,经中期变质热液与大气降水热液的混合热液,向晚期大气降水热液演化。矿化中期的流体混合,导致成矿物质快速沉淀,因而矿物成分复杂(以多金属硫化物为标志)、结晶程度低(以玉髓和烟灰状黄铁矿为标志)、含矿性好,是碰撞造山带大规模成矿的关键。

赋矿围岩熊耳群的铅、碳同位素组成与矿石差

别最大,提供成矿物质的可能性也最小;相反,马超营断裂南侧由官道口群、栾川群、太华超群等构成的俯冲板片与铅、碳、硫同位素所指示的成矿物源区最接近。据此确定,中生代沿马超营断裂带倾向北的陆内俯冲诱发了改造-变质-部分熔融作用和流体成矿作用,导致熊耳山区康山金矿等 10 多处大中型矿床的形成和规律性分带。

康山金矿同位素研究印证了 CPMF 模式的科学性以及在熊耳山区的适用性,因此马超营断裂北侧 $0\sim 25\text{ km}$ 的范围是寻找断控系列金、银、铅-锌等矿床的有利地带。

致谢 感谢北京大学地质系、南京大学内生矿床国家重点实验室、河南有色地质勘察院、国家自然科学基金会和国家攀登地质流体项目的有关专家、领导给予的指导和帮助。

参考文献

- 陈华勇,鲍景新,张增杰,等. 2000. 新疆望峰金矿成矿物质和流体来源同位素示踪—碰撞造山成矿作用研究示例[J]. 中国科学 D 辑, 30(增刊): 45~56.
- 陈衍景,富士谷,胡受奚. 1988. 华北地台南缘不同类型绿岩带的主要元素特征及意义[J]. 南京大学学报地学版, (1): 70~83.
- 陈衍景,富士谷,陈泽铭. 1990a. 河南省金矿成矿构造模式[J]. 河南地质情报, (2): 9~14.
- 陈衍景,胡受奚,富士谷. 1990b. 三门峡—宝丰断裂存在的证据及若干问题讨论[J]. 南京大学学报地学版, (3): 75~84.
- 陈衍景,富士谷,胡受奚,等. 1991. 华北克拉通南缘两个不同地块的对比研究[J]. 大地构造与成矿学, (3): 265~271.
- 陈衍景,富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社. 234p.
- 陈衍景,富士谷,强立志. 1992. 熊耳群和西洋河群形成的构造背景[J]. 地质评论, 38(4): 325~333.
- 陈衍景. 1995. 炭质层控型银洞坡金矿的地质地球化学特征和矿床成因[J]. 长春地质学院学报, 25(2): 161~167.
- 陈衍景. 1996a. 陆内碰撞体制流体作用模式及与成矿关系—理论推导和东秦岭金矿床研究结果[J]. 地学前缘, 3(4): 282~289.
- 陈衍景. 1996b. 中国绿岩带型金矿床[A]. 中国金矿研究新进展(第一卷), 北京:地震出版社, 4~29.
- 陈衍景. 1998. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制[J]. 地学前缘, 5(增刊): 109~118.
- 陈衍景,郭光军,李欣. 1998a. 华北克拉通花岗绿岩地体中中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学 D, 28(1): 35~40.
- 陈衍景,李欣,秦善,等. 1998b. 河南上官金矿成矿流体研究及其对碰撞造山体制流体作用指示意义[J]. 自然科学进展, 8

- (1): 73~76.
- 陈衍景, 杨泽军. 1998c. 碰撞造山成岩成矿模式的运用方法[J]. 矿床地质, 17(增刊): 83~86.
- 陈衍景, 李超, 张静, 等. 2000a. 东秦岭斑岩钼矿带含矿岩体的锆氧同位素特征和成岩成矿物质来源[J]. 中国科学, 30(增刊): 64~72.
- 陈衍景, 刘丛强, 陈华勇, 等. 2000b. 中国北方石墨矿床及其赋矿孔达岩系的碳同位素特征及有关问题讨论[J]. 岩石学报, 16(2): 233~244.
- 范宏瑞, 谢亦汉, 王英兰, 等. 1994a. 康山金矿地质地球化学特征及其成因[J]. 黄金, 15(3): 1~6.
- 范宏瑞, 谢亦汉, 赵瑞, 等. 1994b. 豫西熊耳山地区岩石和金矿床稳定同位素地球化学研究[J]. 地质找矿论丛, 9(1): 54~63.
- 范宏瑞, 谢亦汉, 赵瑞, 等. 2000. 小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据[J]. 科学通报, 45(5): 537~542.
- 胡受奚, 周顺之, 富士谷, 等. 1984. 斑岩铜钼矿的成矿物质来源及区域成矿规律[J]. 南京大学学报(自然科学), (专刊): 9~18.
- 胡受奚. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿[M]. 南京: 南京大学出版社. 558p.
- 胡受奚, 赵懿英, 徐金方, 等. 1997. 华北地台金成矿地质[M]. 北京: 科学出版社. 220p.
- 贾承造, 郭令智, 施央申. 1988. 东秦岭板块构造[M]. 南京: 南京大学出版社. 130p.
- 罗铭玖, 王亨志, 念国安. 1992. 河南金矿概论[M]. 北京: 地震出版社.
- 任富根, 李维明(主编). 1996. 熊耳山-崤山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京: 地质出版社. 130p.
- 隋颖慧, 王海华, 高秀丽, 等. 2000. 河南铁炉坪银矿成矿流体研究及其对碰撞造山成岩成矿与流体作用模式的例证[J]. 中国科学 D 辑, 30(增刊): 82~90.
- 孙枢, 陈志明, 张国伟. 1985. 华北断块南部前寒武纪地质演化[M]. 北京: 冶金工业出版社. 267p.
- 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. 310p.
- 张复新, 陈衍景, 李超, 等. 2000. 秦岭造山带金矿-丘岭金矿床地质地球化学特征及成因: 秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制[J]. 中国科学 D 辑, 30(增刊): 73~81.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 267p.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 13: 7~27.
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D I, et al. 2000. The Characteristics, Origins, and Geodynamic Settings of Supergiant Gold Metallogenic Provinces[J]. Science in China Series D, 43(Supp.): 1~68.
- Schidlowski M. 1998. Beginning of terrestrial life: problems of the early record and implications for extraterrestrial scenarios[J]. Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology, SPIE 3441: 149~157.
- Sengor, A M C. 1990. Plate Tectonics and Orogenic Research After 25 Years[J]. Earth Science Reviews, 27: 1~207.
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen[J]. Science in China Series D, 39(3): 225~234.

Isotope Geochemistry of the Kangshan Gold Deposit in Henan and Its Illustration of the CPMF Model

Wang Haihua^{1,2} Chen Yanjing^{1,2} Gao Xiuli^{1,2}

(1 Department of Geology, Peking University, Beijing 100871; 2 State Key Laboratory of Endogenetic Deposit, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words: Qinling orogen, Kangshan gold deposit, isotope, ore fluid, ore material, CPMF (collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization) model

Abstract

Located in the Xionger terrain along the southern margin of the North China craton, the Kangshan gold deposit is assigned to metasomatic quartzite type between the typical quartz-vein type and the altered fracture type. The alteration-mineralization process might be divided into the early silicification-pyritization stage, the middle polymetallic sulfidization stage and the late carbonation stage, with temperatures ranging 300~380℃, 180~240℃ and 100~140℃, respectively. A study of C-D-O isotope system shows that the ore fluids changed from early metamorphic, through middle hybrid to late meteoric solutions. The middle stage fluid hybridization,

resulting in rapid precipitation of ore materials and sudden formation of numerous kinds of minerals such as polymetallic sulfides and leading to poor crystallization (marked by ash-like pyrite and chalcedony) and high gold content of minerals, was the key to the large-scale metallogenesis. The C-S-Pb isotopic studies have revealed that the ore material was mainly derived from the subducted slab south of Machaoying fault, which was made up of the Guandaokou Group, Luanchuan Group, Taihua Supergroup, etc.. On the contrary, the Xionger Group, as the host rocks, is unlikely to have provided significant ore materials for the formation of the Kangshan gold deposit. Hence the Mesozoic northward intracontinental subduction along Machaoying fault induced fluidization and mineralization, resulting in the formation and the zonal distribution of more than ten large or medium gold/silver deposits such as the Kangshan deposit in the Xionger terrain. The northern side of Machaoying fault seem to be the favorable place for gold, silver and lead prospecting. This study gives an example of syn-collision deposit and demonstrates the scientificity of the CPMF (collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization) model.

大型矿集区深部精细结构与含矿信息

——国土资源部专项研究计划

《大型矿集区深部精细结构与含矿信息》是国土资源部“十五”启动的重大科技项目,项目于 2000 年 7 月先以重点项目启动,由于项目研究意义重大,进展突出,今年 4 月升为专项研究计划。该专项由中国地质科学院矿产资源研究所承担,计划 5 年内完成。

该专项下设“大型矿集区深部构造-岩浆三维结构与成矿作用过程研究”等 4 个子项目,选择长江中下游成矿带中一西段,以铜陵、九瑞两个大型矿集区为野外研究基地,从与成矿过程密切相关的构造、岩浆和流体研究入手,充分运用现代地球物理深部探测技术、成矿流体蚀变填图与示踪技术、岩石探针技术和深穿透地球化学技术,针对研究区的关键科学问题,以实际探测为主,综合多学科集成,最终达到以下目标:1)探测大型矿集区的深部三维精细结构和物质组成,探讨其与深部成矿源-运-储系统的关系,建立三维成矿模型,发展大陆成矿理论;2)提取深部含矿信息,建立寻找深部隐伏矿的综合信息模型,为已知矿集区深部及外围找矿和成矿潜力评价提供理论依据和科学思路;3)开发、引进探测深部地壳结构、构造、物质组成的地球物理、地球化学、岩石学等的理论和方法技术;4)建设矿产资源研究基地,培养跨世纪一流人才。

专项采取全新的管理机制,由专家指导组代替专项负责人,指导组由本领域有较高学术地位、德高望重的科学家和高级管理专家组成,对整个专项负责。专项采取三级管理,即专家指导组、子项目负责人和课题负责人。子项目、课题负责及科技骨干一律公开招聘,其中 1/3 以上到社会招聘。为加强项目的管理和体现项目实施与基地建设和人才培养相结合的科技立项精神,专家指导组还制定了“专项计划管理办法”、“专项计划组织运行方案”和“项目、基地、人才三结合实施方案”。

项目启动以来进展顺利,已经完成了横穿铜陵矿集区的深反射地震剖面,从野外监控剖面看,深部信息十分丰富,并有许多预想不到的重大发现,预计能够取得预期成果,目前正在进行资料的处理解释工作。预计,经过 5 年的研究,项目将在我国大陆成矿理论、隐伏矿成矿预测等领域取得重大进展,为成矿学和找矿学的发展做出积极贡献。

(中国地质科学院矿产资源研究所 吕庆田 供稿)