

熊耳群火山岩系金银多金属矿床热水成矿作用

张汉成 肖荣阁 安国英 张 龙 侯万荣 费虹彩

(中国地质大学地球科学学院, 北京 100083)

提要:在华北板块南缘熊耳群火山岩系地层内部,已发现金、银多金属矿床多处,但对其成因机制的解释,不同学者往往存在不同认识。笔者通过对已知矿床产出地质特征、成矿热流体特征和来源以及矿化、蚀变围岩系统研究后提出熊耳期后火山热液是控制金、银多金属矿床形成的主要因素,成矿作用以热水流体的沉积、充填作用为主,主成矿期应为熊耳群火山活动后期等新认识。

关 键 词: 裂谷; 熊耳群; 热水流体; 成矿作用

中图分类号: P618.51; P618.52 文献标识码: A 文章编号: 1000-3657(2003)04-0400-06

华北地台南缘中元古代熊耳群裂谷带^[1]地处中国南北两大构造单元的过渡地区,大致呈 NWW 向延展,裂谷带内出露地层以熊耳群火山岩系和太华群变质岩为主体。其中,熊耳群火山岩系是裂谷带内控制金、银多金属矿床形成的主要地层层位。20 世纪 80 年代以来,在其内部已经探明金、银、铅、锌多金属矿产多处,如庙岭金矿、上宫金矿、前河金矿、牛头沟金矿、潭头金矿、王坪铅锌银矿、西灶沟铅锌银矿、代丈沟铅锌银矿等大中型矿床(图 1),是目前河南省的重点找矿地层层位。

1 熊耳群火山岩系分布及地层层序

熊耳群火山岩系横跨豫、晋、陕三省,出露面积约 6 000 km²,厚度从近千米到 7 000 m 不等。其东部以北西向的济源—登封—鲁山断裂与嵩箕地块为界,西部与北东向延展的临潼、中条地块为界,南部由东西向逐渐转向北西向的洛南—栾川—方城断裂与秦岭地槽为界。熊耳群火山岩系不整合于太华群变质岩之上,其上被高山河组不整合覆盖,其地层层序及岩性特征自下而上分述如下:

大古石组:熊耳群下部一套以沉积岩为主的岩石组合,主要分布在济源西北部邵源、栾川北部、外方山等地区。该组下部为黄绿色含砾长石石英砂岩,上部为紫红色砂岩、页岩,岩层厚度变化很大。

许山组:主要分布在豫西崤山、熊耳山、外方山地区,由

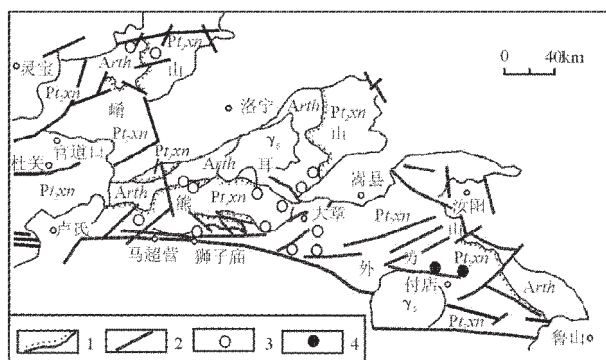


图 1 熊耳群火山岩系金、银多金属矿床分布

Fig. 1 Distribution of Au(Ag)-polymetallic ore deposits in the

Xiong'er group volcanic rock series

Arth—太华群;Pt₅xn—熊耳群;γ₅—花岗岩体;

1—不整合界线;2—断裂;3—金矿床;4—铅锌矿床

Arth-Taihua Group; Pt₂x1-Xiong'er Group; γ₅-granite; 1-Unconformity;

2-Fault; 3-Au deposit; 4-Pb(Zn) deposit

灰绿、灰紫色安山玢岩、辉石安山玢岩、角闪安山玢岩夹少量安山玄武玢岩、流纹斑岩、英安斑岩、火山碎屑岩等组成。

鸡蛋坪组:主要分布在熊耳山、外方山以及豫北济源地区,地层出露厚度很大,岩性较为单一,主要有紫红、灰黑色

收稿日期: 2002-11-12; 改回日期: 2003-05-25

基金项目:国家自然科学基金(40073013)与国土资源部国际合作与科技司自由探索项目(2000440)资助。

作者简介:张汉成,男,1969年生,博士生,矿床学专业;E-mail:zhcjd@sina.com。

流纹斑岩、英安斑岩及石英斑岩,常夹火山碎屑岩、杏仁状安山玢岩、辉石安山玢岩等。

马家河组:该组地层分布广泛,在熊耳群分布区均有出露。其岩性单一,基本上均为灰色、紫灰色安山玢岩,夹少量流纹斑岩、英安岩、安山玄武玢岩、火山碎屑岩及正常沉积岩,熔岩具杏仁状和枕状构造。

综上所述,熊耳群火山岩系以未遭受变质的火山熔岩为主体。从整体上看,基本构成一个完整的喷发旋回,其喷发以中—中基性为主的熔浆喷发开始,经过中酸性—酸性为主的喷发阶段,最后又转入到中性为主,并伴随有中酸、酸性熔浆交替喷发的阶段而结束。其火山喷发韵律明显,类型多样,具明显周期性。

2 金、银多金属矿床地质特征

熊耳群火山岩系已知金、银多金属矿床主要有上官、北岭、前河、柿树底、松里沟、藿香洼、赵家庄等大一—中型金矿,王坪、西灶沟、老代仗沟等铅锌矿以及大摄坪等铜矿(矿化点),地质特征见表 1。

3 成矿热水流体特征及来源

3.1 成矿热水流体特征

从矿床成矿热水流体成分特征可以看出成矿热水流体中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{2-} 等离子含量极高,属富硅钾成矿热水流体^[2],其组分以硅钾为主,并含有其他成卤组分(表 2)。

成矿热水流体均一温度变化范围介于 115~286℃,为中高温成矿热水流体和中低温成矿热水流体共同组成;其盐度变化介于 1%~15.3%,范围较宽;氧逸度 lgf_{O_2} 变化范围为 1~15.3;pH 值变化范围介于 5~7.58,显示为弱碱性质;成矿压力变化范围为 $300\times10^5\sim800\times10^5$ Pa;成矿深度变化范围为 1.2~3.2 km(表 2)。

3.2 成矿热水流体组成及物质来源

已知矿床不同类型矿石或围岩的 H、O 同位素数据显示出已知矿床成矿热水流体主要由岩浆水和建造水共同组成,硫化物矿石 S、Pb 同位素组成表现其来源既有幔源成分也有壳源成分。

根据含氧矿物¹⁸O 石英、方解石、铁白云石的分析, $\delta^{18}O_{\text{矿物}}$ 值变化范围为 12.95‰~16.7‰,换算为流体 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 组成,有负值出现, δD 值变化较大,为 -52‰~-107.2‰,温度变化在 122~260℃之间。可以看出成矿热水流体并非单一来源,而是由岩浆水和建造水共同参与成矿。

矿石铅 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 值变化范围很窄,相对稳定,其中 $^{206}Pb/^{204}Pb=16.391\text{‰}\sim17.488\text{‰}$,极差 1.097‰; $^{207}Pb/^{204}Pb=15.245\text{‰}\sim15.461\text{‰}$,极差 0.216‰; $^{208}Pb/^{204}Pb=36.589\text{‰}\sim38.415\text{‰}$,极差 1.826‰;铅 μ 值介于 9.052~9.69 之间(正常铅 μ 值范围 8.689~9.238),部分属于正常铅,部分为异常铅(表 3)。反映出成矿物质来源既有壳源物质又有幔源物质。在铅构造模式图上,所有样品投点均位于地幔及造山带附近,说明金、银多金属矿床成因不仅与熊耳期火山活动联系紧密而且与火山期后构造活动有关。

$\delta^{34}S$ 值介于 -14.95‰~+8.37‰之间,变化范围很大(表 3),一般认为 $\delta^{34}S$ 值偏离陨石 S 而出现较大负值的原因有两种:一是 S 同位素发生分馏;二是由于 S 为生物来源或细菌还原硫酸盐而使 ^{34}S 富集。Ohmoto^[4]等学者曾详细研究了成矿热水流体物理化学状态对 $\delta^{34}S$ 值的影响,指出硫化物 $\delta^{34}S$ 值不仅取决于体系总 S 同位素组成($\delta^{34}S_{\Sigma S}$),而且也和环境有关,而成矿热水流体中结晶析出的硫化物 S 同位素组成($\delta^{34}S$)与成矿热水流体温度(t)、pH 值、 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$ 、氧逸度(lgf_{O_2})、离子浓度(I)等参数有关。

熊耳群火山岩系产出的金、银多金属矿床位于华北、华南两大古板块构造活动区结合部位,其中广泛活动的成矿热

表 1 熊耳群火山岩系多金属矿床地质特征
Table 1 Characteristics of polymetallic deposits in the Xiong'er Group

地质背景	大地构造环境 火山岩及时代 岩浆岩及时代	华北地块南缘熊耳群裂谷带内 中元古代熊耳群火山岩系是以安山岩为主体的玄武岩-安山岩-流纹岩组合 主要为燕山期斑状花岗岩、碱性花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩等
成矿特征	金属元素组合类型 矿床(体)及定位	Au(Pb、Zn、Cu)型、Pb-Zn(Cu、Au、Ag)型、Cu(Pb、Zn、Au、Ag)型 矿床(体)受熊耳群杏仁状火山岩及不同级别断裂破碎带控制
	矿石矿物组合	矿石中金属矿物以硫化物为主,主要有自然金、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等。脉石矿物主要有石英、钾长石、绢云母、绿泥石、绿帘石、铁白云石、方解石、萤石、重晶石等 矿石常具有杏仁状、角砾状、细脉浸染状、浸染状、蜂窝状等构造类型。矿石结构主要有半自形晶粒状结构、碎裂结构、填隙结构、包含结构、网脉结构、残余交代结构等。在具杏仁构造的矿石中可以看到杏仁体一般呈球状、椭球状、透镜状及囊状等不规则形态,直径 0.1~5cm。杏仁体常被黄铁矿、黄铜矿、钾长石、石英、方解石、萤石等充填
	矿石结构构造	从矿体中心向外,由高温成矿元素组合逐渐演变为低温成矿元素组合 具有中高温热水沉积岩到中低温热水沉积岩组合
成矿作用	矿床分带性 热水沉积岩组合	
	成矿物理化学条件	均一温度: 115~286℃; 盐度: 1%~15.3%; 压力: $300\times10^5\text{Pa}\sim800\times10^5\text{Pa}$; pH: 5~7.58; lgf_{O_2} : -25~-40.5
找矿标志	成矿流体组成及类型 成矿机理 控矿因素	由富含 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{2-} 等离子组成的富硅钾成矿热水流体 成矿地质作用以热水沉积、充填作用为主 熊耳群杏仁状火山岩内燕山期花岗岩体附近或不同级别断裂破碎带
		1.具有玄武岩-安山岩-流纹岩组合,且杏仁构造特别发育。2.燕山期花岗岩周边部位或断陷盆地边缘不同级别断裂破碎带,尤其是其交叉部位。3.热水沉积岩组合发育,尤其是钾(长石)化发育。4.具硼、氟、锶、钡等元素异常矿化晕。5.已知 Au(Pb、Zn、Cu)型、Pb-Zn(Cu、Au、Ag)型、Cu(Pb、Zn、Au、Ag)型矿床周边

表 2 熊耳群火山岩系多金属矿床成矿热水流体特征和物理化学特征

Table 2 Characteristics of hydrothermal ore fluids of polymetallic deposits in the Xiong'er Group

样号	样 品 位 置	液 相 (10 ⁻⁶)								气 相 (mol%)						
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	H ₂ O	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	CO	
1	西灶沟	13.81	5.81	4.81	0.54	3.63	25.21	7.89		510.5	29.91	0.37	7.37	0.35	7.5	
2	老代仗沟	7.04	8.25	5.42	1.05	0.48	16.18			94.62	3.10	0.66	0.41	0.17	1.03	
3	上 宫	0.28	0.97	1.27	1.51	0.20	0.52	1.22	5.53							
4		9.19	3.86	106.85	17.18		22.0									
5		19.25	3.93	14.77	2.76			3.90	23.18	1635	291			11.5	1464.3	
6		33.07	4.37	15.10	14.23			87.36								
7		6.95	3.27	13.80	3.07			6.30	33.63	1251	214			12.0	2903	
8	北 岭	0.50	0.45		0.06		0.26	1.97		99.20	0.60					
9		2.90	2.93		0.27	0.55	7.28	1.53		96.38	3.10	0.07	0.11	0.04	0.27	
10		0.84	1.62		0.08	0.42	0.41	0.82		97.58	1.21		0.47	0.06	0.68	
11	前 河	2.19	2.13	0.99	0.10	0.03	2.08	3.77		99.41	0.59					
样品位置		包裹体类型		均一温度 (爆裂温度) (℃)		盐度(%)		氧逸度 (lg f _{O2})		酸碱度 (pH)		还原参数 (R)		压力 (10 ⁵ pa)		深度 (km)
老代仗沟		液 相		148 ~ 270(158 ~ 388)		8		-28.5		6.59		0.59		800		3.2
上 宫		液相、 气液相		170 ~ 200(250 ~ 380)		4 ~ 15.3		-40.5 ~ -34.6		5.47 ~ 7.58				500		2
北 岭		液相为主		115 ~ 250(160 ~ 330)		1 ~ 5				6 ~ 5		0.13 ~ 0.62		300		1.2
前 河		气相、液相		276 ~ 286		3 ~ 3.5		-25 ~ -35		6.45 ~ 5.3				700		2.8

注:据河南省地质矿产厅资料^①,其中1、5、6、7气相成分单位为10⁻⁶。

表 3 熊耳群火山岩系多金属矿床矿石、围岩 Pb 和 S 同位素组成

Table 3 Pb and S isotopic compositions of ores and wall rocks
of polymetallic deposits in the Xiong'er Group

样品位置	样 品 数 量	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb (均值)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb (均值)	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb (均值)	μ (均值)	样 品 数 量	测 试 矿 物	δ ³⁴ S (‰) (均值)
西灶沟	12	17.37	15.457	38.039	9.381	5	黄铁矿	8.37
						6	闪锌矿	7.66
						13	方铅矿	6.36
北 岭	13	16.528	15.245	36.589	9.052	7	黄铁矿	-10.33
						3	方铅矿	-0.6
上 宫	8	17.029	15.404	37.479	9.277	25	黄铁矿	-7.18
						9	方铅矿	-14.33
						1	闪锌矿	-13.9
						1	黄铜矿	6.68
						4	重晶石	5.01
前 河	2	17.181	15.461	37.716	9.360	12	黄铁矿	-7.12
						5	方铅矿	-14.95
王 坪	4	17.488	15.537	38.415	9.69			
大摄坪	1	16.391	15.352	36.903	9.22			

注:据河南省地质矿产厅资料^②。

水流体具有较高的氧逸度及弱碱还原环境,结合氢氧同位素研究结果,笔者认为 δ³⁴S 值偏离陨石 S 而出现较大负值的原因与熊耳期火山活动之后成矿热水流体长期活动并淋滤、交代熊耳群及太华群火山岩系有关,是成矿热水流体在成矿作用过程中发生不同程度分馏的结果。

4 金、银多金属矿床成矿作用研究

根据上述已知矿床产出地质特征及成矿流体研究结果来看,熊耳群火山岩系内金、银多金属矿床成矿作用应以成矿热水流体沉积、充填作用为主,即在熊耳群火山活动的后期或熊耳群火山活动的间歇期,由火山活动所提供的热水流体以及随后由华北、扬子两大板块发生造山运动所引发的大

规模热水流体,长期、反复在复杂地质条件作用下淋滤基底太华群和盖层熊耳群火山岩系并沿断裂破碎带或岩石中的裂隙运移、演化、富集。当温度、压力、热水流体和岩石化学组成的性质、组分的浓度以及活度等物理、化学条件发生变化并达到适宜条件时,富含 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃²⁻等离子的富铀钾成矿热水流体在熊耳群火山岩系内部适宜部位发生沉积、充填作用从而构成富含热水沉积矿物的金、银多金属矿(化)体。随后,在漫长的地质年代中成矿热水流体继续演化、活动,但强度逐渐减弱,常表现为后期叠加、改造已形成矿(化)体。其主要证据有:

(1) 杏仁状矿化:在熊耳群火山岩系已知矿床矿化部位或古火山机构相附近,普遍存在特征明显、富含钾长石、石

① 河南省地质矿产厅,熊耳群地质环境演化及含矿性研究报告,1996。
② 河南省地质矿产厅,1:50 000(鸣皋幅、汝阳县幅、杨楼幅)区域地质调查报告,1994。

表 4 杏仁体中金属矿物化学成分(%)
Table 4 Chemical composition of metallic minerals in amygdales(%)

样 号		S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Se	Te	Au	Ag	Cr	Mn	Pb	Hg	Ti	V	Cd	In	Ge
前河	1	53.07	45.29			0.13		0.05	0.09	0.02	0.33	0.07	0.11	0.01	0.01	0.11			0.23	0.47		0.02
	2	52.69	45.84	0.01					0.11	0.06	0.12	0.02	0.3			0.11				0.41	0.25	0.08
王 坪	3	52.55	45.63	0.39		0.04	0.38		0.07		0.26		0.08			0.09		0.05		0.28	0.06	0.11
	4	52.76	44.83	0.07	0.18		0.13	0.08	0.19	0.32	0.04	0.1	0.49	0.23			0.01	0.09		0.14	0.15	0.18
	5	33.97	24.27		0.07	36.63		1.3		1.47		0.1	0.44				0.06	0.06		0.37	0.09	1.17
	6	34.77	28.89			33.21		0.92		0.85		0.04	0.11		0.06	0.01	0.13	0.01	0.1	0.05	0.03	0.85
赵家庄	7	53.13	45.65					0.13	0.21	0.06				0.06		0.04		0.08	0.01	0.38	0.04	0.2
霍香洼	8	53.46	44.42	0.46	0.51	0.02		0.14	0.1		0.08			0.05		0.1	0.01		0.01	0.33		0.2
	9	34.55	29.27	0.02		32.51	0.19	1.15	0.01	0.67	0.05		0.09	0.13					0.08	0.3	0.13	0.85
柿树底	10	53.72	45.01		0.23		0.5	0.08		0.05	0.1	0.11	0.01	0.01		0.03		0.03		0.04		0.1
松里沟	11	52.61	45.95	0.3			0.04		0.03	0.06	0.15	0.05	0.28	0.05		0.03	0.02		0.03	0.39		0.02
北 岭 ^①	12	53.01	46.58	0.01								0.13										
	13	53.34	46.05	0.01								0.20	0.007									
	14	53.10	45.84	0.01								0.16	0.004									
大摄坪 ^②	15	34.76	29.55			34.62						0.09										
	16	34.90	30.79			33.67						0.07	0.05									

注:样品 1、2、3、4、7、8、10、11、12、13、14 测试矿物为黄铁矿,5、6、9、15、16 测试矿物为黄铜矿。①、②引自河南省地质矿产厅资料,其他数据由中国地质大学(北京)电子探针室测试。

表 5 富钾长石岩中黄铁矿和黄铜矿化学成分(%)
Table 5 Chemical compositions of pyrite and chalcopyrite in K-feldspar-rich rock(%)

样品	矿物	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Se	Te	Au	Ag	Cr	Mn	Pb	Hg	Ti	V	Cd	In	Ge	总量
Bp49-1	黄铁矿	52.67	45.11			0.16	0.50	0.02	0.11	0.14			0.29	0.05	0.16		0.03		0.08	0.45	0.08	0.16	100.01
BP57		52.65	44.03	1.61			0.6	0.03		0.1		0.1	0.24		0.14		0.07		0.17	0.16	0.09	0.02	100.01
BP60		53.18	45.24	0.19				0.08		0.37	0.03	0.2	0.18			0.06	0.02		0.22		0.12	0.11	100.0
BP65		53.14	45.21	0.17	0.04		0.28			0.14		0.01	0.57					0.03	0.05	0.27	0.07	0.01	99.99
BP57-2-1	黄铜矿	32.92	30.86		0.19	32.41	0.53	0.66	0.2	0.54	0.39	0.11	0.09	0.33		0.05	0.07	0.02		0.26		0.39	100.02
BP57-2-2		13.74	71.6		0.08	11.59	0.49	0.56	0.26	0.43	0.05	0.04	0.18	0.07		0.05		0.03		0.04	0.16	0.63	100.0
BP57-2-3		33.31	32.28	0.02		31.14		0.99	0.18	0.67	0.08		0.15	0.13		0.03		0.05		0.12	0.04	0.84	100.03

注:BP49-1 和 BP65 分别采自柿树底和赵家庄矿区,其他采自霍香洼矿区,由中国地质大学(北京)电子探针室测试。

英、方解石、绿帘石、绿泥石、沸石、明矾石、萤石等热水沉积矿物的杏仁体,在汝阳县椒沟南甚至构成独立杏仁状铜矿床。在前河、潭头、松里沟等金矿区的杏仁体内存在黄铁矿、黄铜矿化现象(图 2—照片 1~2),且含金品位很高(表 4)。

(2) 富钾长石岩:该岩石中的金属矿物成分见表 5。在霍香洼金矿、松里沟金矿、前河金矿等已知金、银多金属矿床矿区,可以看到延伸稳定、规模巨大、沿同生断裂充填形成的顺层或穿层富钾长石岩层,最厚处可达 20 m。这种富钾长石岩结构致密细腻,镜下观察,钾长石呈微晶或细晶结构,基质胶结物为碳酸盐矿物。富钾长石岩内部常具黄铁矿、黄铜矿化现象,其中的含金黄铁矿颗粒相对较粗、分布均匀(图 2—照片 3~4),沿裂隙带呈细脉状局部集中或呈星点状分布。

(3) 矿化围岩蚀变:熊耳群火山岩系已知矿床矿化围岩蚀变主要有富钾长石岩化、石英岩化,并伴有绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、萤石化及少量重晶石化蚀变。在富钾长石岩内部杏仁体周边常具有明显的热液蚀变晕圈结构,单偏光镜下这种现象尤为明显。蚀变晕圈一般由金属矿物集合体所构成,沿杏仁体周边呈环带状分布,边界十分清晰,反映了熊耳

群火山活动后期成矿热水流体的活动特征(图 2—照片 5~6)。

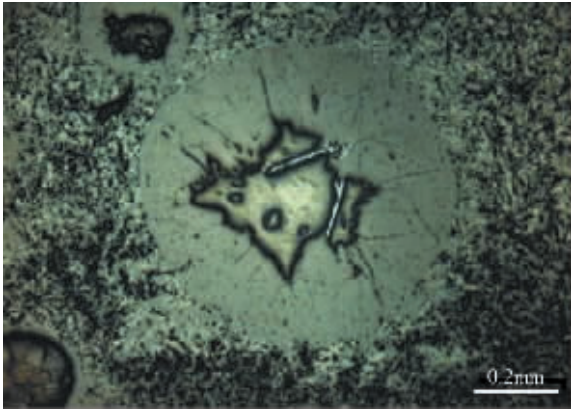
(4) 次火山岩型矿化:熊耳群火山岩系同浅成次火山岩比较发育,在古火山口附近的火山角砾岩及杏仁状安山玢岩中,杏仁状金属矿化普遍,在安山玢岩基质中黄铁矿均匀分布,表现了火山热液富集的特征,例如汝阳外方山地区一系列的铅、锌、铜矿化都与次火山及火山口相角砾岩有关。

(5) 熊耳群火山岩系已知矿床常受燕山期花岗岩体附近或断陷盆地边缘不同级别断裂破碎带控制,这些断裂破碎带的存在为成矿流体的运移、沉淀提供了理想的通道和堆积空间。

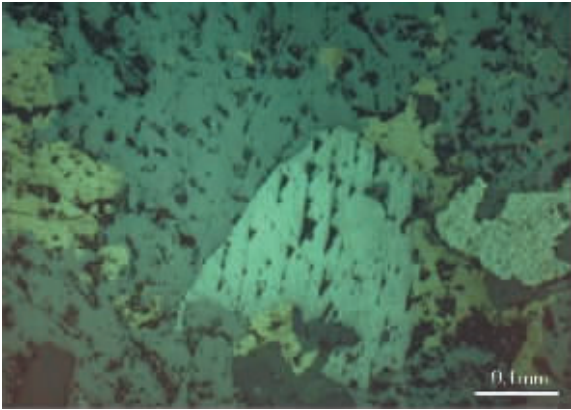
(6) 岩石地球化学数据支持热水沉积观点,上述已知矿床不同类型矿石或围岩的 H、O 及 S、Pb 同位素数据及钾长石、杏仁体内不同矿物包裹体常量、微量、稀土元素数据显示出成矿流体及其物质成分主要由熊耳群火山热液所提供。

5 结论与讨论

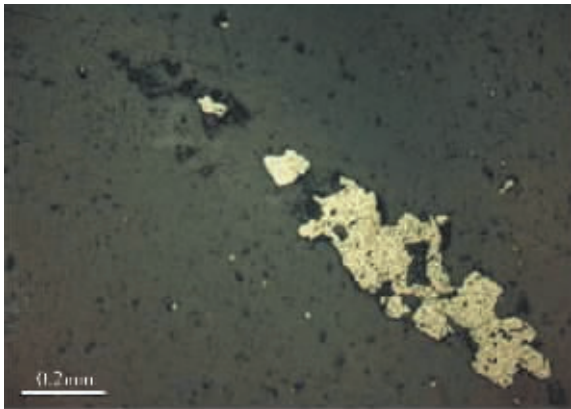
前人^[3,5-6]虽对熊耳群火山岩系内产出的金银多金属矿床作了大量研究工作,但其认识多以强调成矿作用以燕山晚期岩浆活动及后期叠加改造作用为主,忽视了对热水沉积及



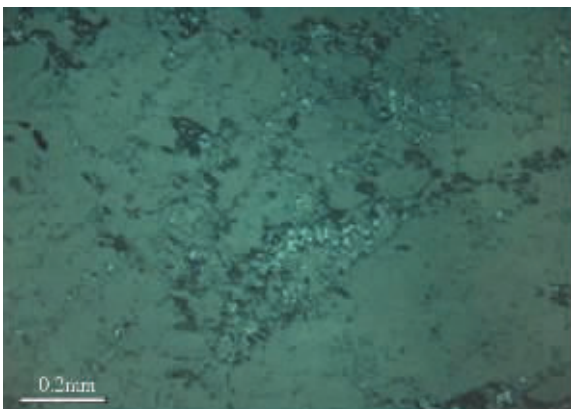
照片 1 杏仁体中的含金黄铁矿(反光)
Photo 1 Gold-bearing pyrite in amygdale
(reflected light)



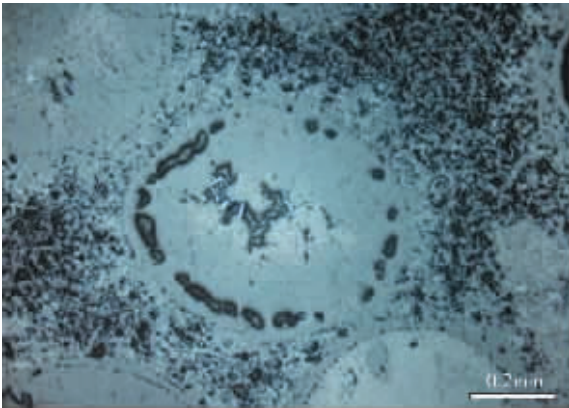
照片 2 杏仁体中的方铅矿、黄铜矿和含金黄铁矿(反光)
Photo 2 Galena, chalcopyrite and gold-bearing pyrite in amygdale
(reflected light)



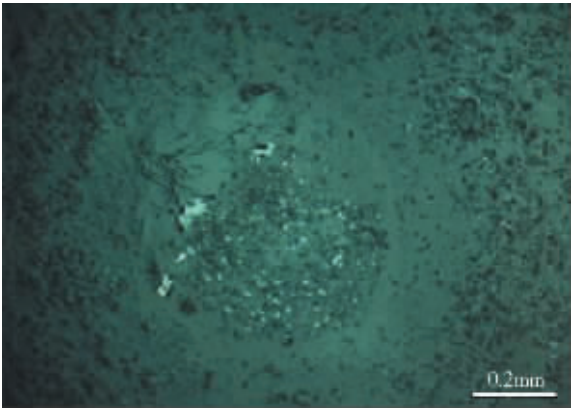
照片 3 富钾长石岩中的含金黄铁矿细脉(反光)
Photo 3 Gold-bearing pyrite veinlet in K-feldspar-rich rock
(reflected light)



照片 4 富钾长石岩中的含金黄铁矿细脉(反光)
Photo 4 Gold-bearing pyrite veinlet in K-feldspar-rich rock
(reflected light)



照片 5 熊耳群杏仁状火山岩中的蚀变晕圈结构
及含金黄铁矿(反光)
Photo 5 Alteration halo structure and gold-bearing pyrite in
amygdaloidal volcanic rocks in the Xiong'er Group
(reflected light)



照片 6 熊耳群火山岩中的蚀变晕圈结构
及含金黄铁矿(反光)
Photo 6 Alteration halo structure and gold-bearing pyrite in
volcanic rocks in the Xiong'er Group
(reflected light)

图 2 熊耳群火山岩系矿化围岩显微照片

Fig. 2 Photomicrographs of mineralized rock in the Xiong'er Group

其成矿作用的研究。现代矿床学研究认为,大部分矿床,尤其是中—浅成矿床的成矿都是在热水流体参与下所形成,成矿热水流体的活动极其广泛,常形成各种热水沉积、充填、喷流或喷气沉积等矿床。成矿热水流体类型可划分为中高温硅钾卤水与中低温碳酸盐卤水和硫酸盐卤水^[2,7]。不同类型的含矿卤水其形成过程及起源是不同的,其主要与地质作用过程有关,高温硅钾卤水主要是在火山岩浆作用条件下形成的,在一些高温地热区、岩浆热液交代矿床、洋底裂谷区中广泛存在。而中低温成矿卤水可以在更广泛的地质条件下形成,尤其是构造作用、沉积成岩或变质作用等环境中形成。

通过系统调查熊耳群火山岩系内金、银多金属矿床的矿化特征和热水流体特征,发现熊耳期后火山热液是控制金、银多金属矿床形成的主要因素。据此认为熊耳群火山岩系内成矿热水流体实质上是熊耳群火山活动后期或火山活动间歇期,由火山活动所提供的富硅钾成矿热水流体。金、银多金属矿床成矿作用应以富硅钾成矿热水流体的沉积、充填作用为主,主成矿期应为熊耳群火山活动后期。

参考文献 (References):

- [1] 张国伟,周鼎武,郭安林. 晋、豫、陕交界地区元古界形成的构造环境[A]. 见:西北大学地质系成立四十五周年学术报告论文集(下册)[C]. 1987. 299~311.
Zhang Guowei, Zhou Dingwu, Guo Anlin. Tectonic setting of Proterozoic formation in the neighboring region of Shanxi-Henan-Shaanxi [A]. Proceedings of the Academic Reports in Celebration of the 45th Anniversary of the Founding of Northwest University [C]. 1987, 299~311 (in Chinese with English abstract).
- [2] 肖荣阁,张宗恒,陈卉泉,等. 地质流体自然类型与成矿流体类型[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 245~252.
Xiao Rongge, Zhang Zongheng, Chen Huiquan, et al. Types of geological fluids and ore-forming fluid [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 245~252 (in Chinese with English abstract).
- [3] 黎世美. 熊耳山地区构造蚀变岩型金矿成矿模式及矿床成因探讨[J]. 豫西地质, 1990, (1): 1~10.
Li Shimei. Research on metallogenic model and genesis of tectonic altered rock-type Au deposits in Xiongershan area [J]. Geology in West Henan, 1990, (1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- [4] Ohmoto-Hiroshi. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. Econ. Geol., 1972, 67(5): 551~578.
- [5] 陈衍景,富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社, 1992. 166~184.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992. 166~184 (in Chinese with English abstract).
- [6] 任富根,李维明,李增慧,等. 熊耳山—崮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, 1996. 91~100.
Ren Fugen, Li Weiming, Li Zenghui, et al. Ore-forming Geological Conditions and Models for Ore Searching and Ore Evaluation of Gold Deposit in Xiongershan-Xiaoshan Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 91~100 (in Chinese with English abstract).
- [7] 肖荣阁,张汉成,陈卉泉,等. 热水沉积岩及矿物岩石标志[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 379~385.
Xiao Rongge, Zhang Hancheng, Chen Huiquan, et al. Hydrothermal sedimentary rock and indicators of minerals and rocks [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 379~385 (in Chinese with English abstract).

Hydrothermal mineralization of Au (Ag)-polymetallic ore deposit in the volcanic rock series of the Xiong'er Group

ZHANG Han-cheng, XIAO Rong-ge, AN Guo-ying,
ZHANG Long, HOU Wan-rong, FEI Hong-cai

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Many Au (Ag)-polymetallic ore deposits have been discovered in the volcanic rock series of the Xiong'er Group on the south margin of the North China plate. However, there are many different explanations for the genetic mechanism of these deposits. Based on a systematic study of the geological characteristics of these deposits, features and genesis of hydrothermal ore fluids, mineralized and altered host rocks, the authors propose the new views that the volcanic hydrothermal fluids after the Xiong'er volcanic activity is the main factor controlling the formation of the Au (Ag)-polymetallic ore deposits, and that the major ore-forming processes are deposition and cavity filling of hydrothermal fluids. In addition, the authors also suggest that the main mineralization stage is the late phase of the Xiong'er volcanic activity.

Key words: rift; the Xiong'er Group; hydrothermal fluid; mineralization