

·矿产资源·

华北板块南缘熊耳群火山岩系中的杏仁体 ——热水成矿作用的证据

张汉成, 肖荣阁, 安国英, 张 龙, 侯万荣, 高 亮

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 在华北板块南缘熊耳群火山岩的矿化部位, 普遍存在着特征明显的杏仁体, 有的杏仁体甚至构成了矿化体, 前人对此研究很少。对杏仁体的结构、构造特征及充填矿物进行了系统研究, 详细论述了杏仁体的形成机制及其与成矿热水流体和成矿作用的关系, 指出杏仁体是在华北板块南缘熊耳群火山岩内进行找矿勘查的重要标志。

关键词: 华北板块南缘; 熊耳群火山岩; 杏仁体; 热水流体; 充填作用; 交代作用

中图分类号: P588.14; P611 文献标识码: A 文章编号: 1671-2552(2003)05-0356-08

华北板块南缘中元古界熊耳群火山岩冷凝后留下的气孔被火山期后热液矿物所充填, 形成成分复杂的杏仁体。这种杏仁体普遍存在于热液型铜、铅、锌、金、银多金属矿床(点)的近矿围岩中, 特征明显, 有的甚至形成杏仁状矿化, 与成矿关系密切, 是一种重要的找矿标志。前人多关注构造控矿, 而对杏仁体与矿化的关系研究甚少。作者认为深入研究杏仁体的各种地质特征及形成机制, 对于正确认识熊耳群火山岩系内已知矿床的成因及确定今后有效的找矿勘查方向具有重要意义。

1 熊耳群火山岩特征

熊耳群是一套广泛分布于华北克拉通南缘豫陕晋交界地区、厚度巨大的中基性—中酸性火山岩系, 其中夹有少量浅水钙泥质薄层沉积岩。豫西熊耳山、崤山、外方山是熊耳群分布的主要地区, 也是近几年发现的主要多金属矿化地层, 主要有上宫金矿、北岭金矿、庙岭金矿、前河金矿以及王坪铅锌矿、西灶沟铅锌矿、代丈沟铅锌矿等中—大型矿床(图1)。熊耳群角度不整合于基底太华群之上, 其上被蓟县系官道口群或相当层覆盖, 形成时代属中元古代长城纪^[1]。熊耳群火山岩系从下至上分为大

古石组、许山组、鸡蛋坪组、马家河组。其中大古石组出露很少, 在大部分地区缺失, 其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; 许山组以玄武安山岩、安山岩为主, 其次为英安流纹岩及少量玄武岩; 鸡蛋坪组以

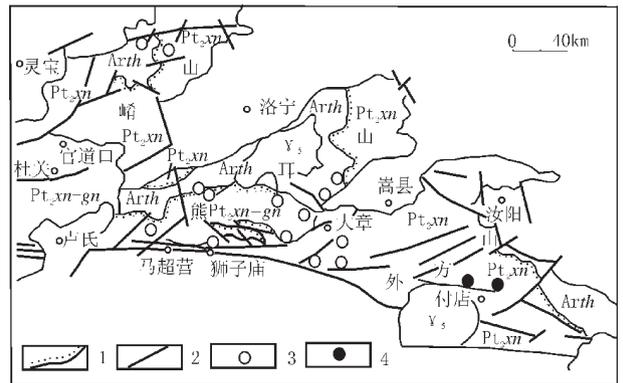


图1 华北地台南缘崤山—熊耳山—外方山地区多金属矿床(点)分布

Fig. 1 Distribution of polymetallic ore deposits (occurrences)

in the Xiaoshan-Xiongershan-Waifangshan area on the southern margin of the North China platform Arth—太华群 Pt₂xn—熊耳群 Pt₂xn-gn—熊耳群—官道口群(未分); γ₅—花岗岩体; 1—不整合界线; 2—断裂; 3—金矿床; 4—铅锌矿床

收稿日期 2002-10-09; 修订日期 2003-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40073013), 国土资源部自由探索项目(编号: 2000440)资助。

作者简介: 张汉成(1969-), 男, 博士研究生, 矿床学专业。E-mail: zhcj@sina.com

玄武安山岩、安山岩与英安一流纹岩互层为特征;马家河组岩性单一,基本上全是玄武安山岩、安山岩,夹有较多火山碎屑岩和正常沉积岩。熊耳群以杏仁状火山岩广泛发育为特征。对熊耳群火山岩历来有裂谷成因^[2,3]和火山弧成因^[4-6]等不同认识。作者认为其与Condie^[7]总结的大陆裂谷火山岩特征相同,应属形成于陆缘裂谷环境的火山岩系。

2 杏仁体的宏观特征

(1)杏仁体分布:杏仁体普遍存在于已知多金属矿集区内赋矿熊耳群中基性火山熔岩中(图版I-1)。在同一熔岩单层内,常因杏仁体含量及形态的不同而出现成层现象。即中、下部不含或少含圆形小杏仁体,向上杏仁体逐渐增多且演变为长轴方向垂直或基本垂直于熔岩层面的椭圆形杏仁体,顶部的杏仁体大且多,形态复杂。这种现象无疑与熊耳群火山熔岩喷出地表后冷凝过程中的气体逸出作用及火山活动后期的热水流体改造作用有关。岩相学研究表明,杏仁体内部充填、交代成因的热水沉积矿物含量极高,假相结构十分发育,钾长石化、绿泥石化普遍,热水流体活动现象十分明显。

(2)杏仁体形态特点:杏仁体在赋矿熊耳群中基性火山熔岩中的含量变化很大,一般在10%~20%左右,少数岩石中小于5%或大于40%。其大小不一,一般在数毫米范围内,大者可达5~7 cm。总体来说,杏仁体以其成分、形态、大小的复杂多变为特征,即使肉眼下未见杏仁体的岩石,在显微镜下也常可看到5%左右的显微杏仁体。按杏仁体的形态来说,有球状、椭球状、透镜状、倒滴水状、云朵状、管状、裂隙状及囊状等不规则形态。在河南确山、舞阳和马超营断裂附近及陕西东部地区,由于受变形作用影响,杏仁体常被压扁或拉长,相互之间由复杂的丝、管状或树枝状等变形杏仁体相连接,在当地被视为良好的工艺品来开发利用,俗称“梅花玉”^[8]。

(3)杏仁体的内部构造 ①皮壳状杏仁构造。热水沉积充填物呈同心环状分布或呈葡萄状外形,各环与气孔轮廓平行度较好。②梳状、射束状杏仁构造。前者是组成杏仁体边部的梳状矿物,与气孔壁垂直;后者是呈扇形射束状、柱状或纤维状的热水沉积集合体,在气孔内分布的对称性较差,这在以绿泥石为主要组成物的杏仁体中多见。③晶簇状杏仁构造。热水沉积充填矿物的结晶程度良好,呈晶

簇状或巨晶状,一般仅限于气孔的边部,中心是空的。这种杏仁体往往很大,直径可达数厘米。④其他形式的杏仁构造。热水沉积充填物常呈半充填状成层分布,所构成的层面与杏仁体内部层面近于平行。在杏仁体周围常可见到熊耳群火山活动后期或火山活动间歇期热水流体活动所保留下来的蚀变晕圈结构(图版I-2、3、4),单偏光镜下这种现象尤为明显。蚀变晕圈一般由热水沉积矿物集合体构成,沿杏仁体周边呈环带状分布,边界十分清晰。这种蚀变晕圈结构是成矿热水流体在杏仁体内部空间运移、扩散、渗透、沉积或交代,使杏仁体内部早期形成的矿物发生蚀变后所保留下来的热水流体运移迹象。

(4)杏仁体的矿物组成:杏仁体内的热水沉积矿物集合体一般由石英、钾长石、绿泥石、绿帘石、萤石、电气石、钠长石、绢云母、黑云母、方解石、葡萄石、阳起石、楣石、角闪石、明矾石和沸石等非金属矿物组成。另外,在许多杏仁体中还可见到黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、镜铁矿、钛铁矿等金属矿物(图版I-3、4、5、6)。

3 杏仁体矿物学特征

系统全面地研究熊耳群中基性火山熔岩中杏仁体的矿物学特征是这次工作的重点,首先进行光性矿物学鉴定,再选择典型杏仁体进行化学分析、X衍射分析与电子探针分析等。尤其是对钾长石杏仁体进行了系统的矿物学研究,对其他杏仁体矿物特别是金属矿物也进行了部分矿物化学分析。

(1)钾长石。在赋矿熊耳群中基性火山熔岩的杏仁体中,观察到普遍存在热水沉积或溶液充填形成的钾长石,例如在前河、北岭、大摄坪、上宫等多金属矿集区,其大小一般为0.3 cm×1.2 cm,巨者可达3 cm左右。据化学分析(表1),钾长石杏仁化学成分以SiO₂、Al₂O₃、K₂O为主,其中混有部分碳酸盐和铁质矿物成分。K₂O含量4.25%~14.2%。据图解分析,其Al₂O₃含量变化趋势与火山成因硅质岩相似(图2)。

微量元素分析发现(表2),其中B、F、Sr、Rb、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Hg、Cr、Li、Ni、Cd、Co、V、Ba明显富集,尤其富Cu、Pb、Zn、Au、Ag和Ba、F。其中F以矿物萤石形式存在,Ba以矿物重晶石或者在钾长石中形成钡冰长石的形式存在。

钾长石稀土元素地球化学以富集轻稀土元素、具正Eu异常为特征(表3、图3)。Michard^[9]在研究现

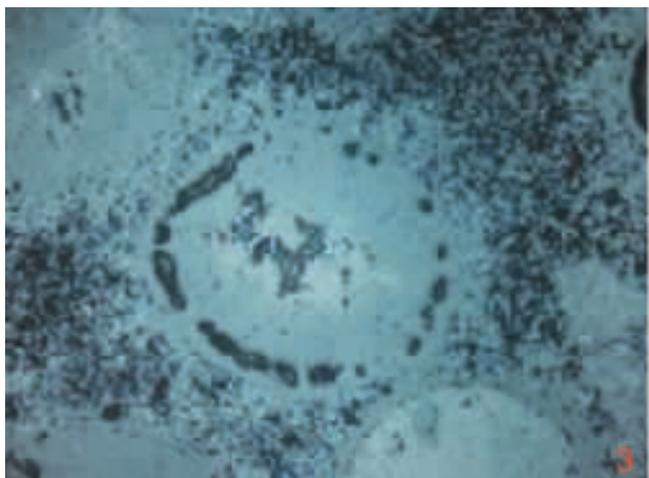
图版 I Plate I



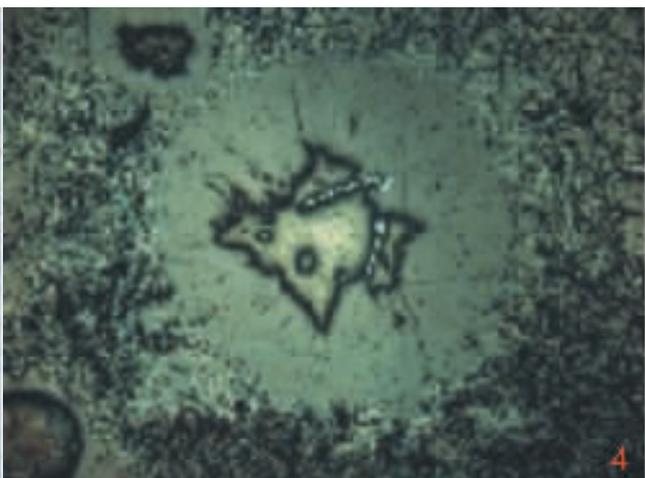
熊耳群安山岩中的杏仁体



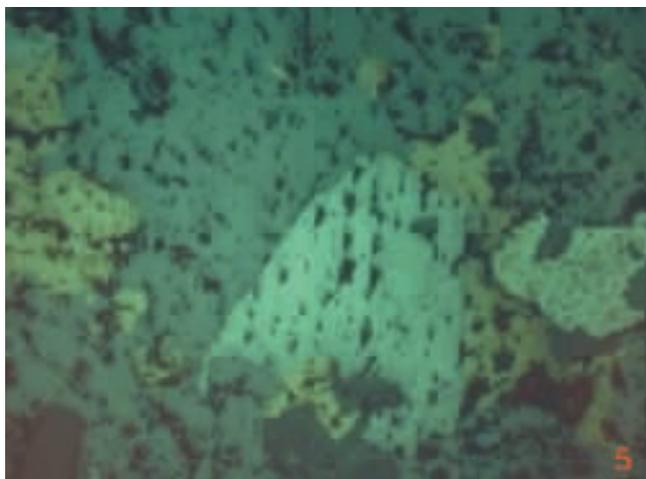
杏仁体周围的蚀变晕圈结构(反光×50)



杏仁体周围的蚀变晕圈结构及含金黄铁矿(反光×50)



杏仁体周围的蚀变晕圈结构及含金黄铁矿(反光×50)



杏仁体中的方铅矿、黄铜矿和含金黄铁矿(反应×100)



杏仁体中的针状钛铁矿(正交偏光×50)

表 1 巨晶钾长石杏仁体化学成分

Table 1 Chemical composition of megacrystalline K - feldspar in amygdales

样品	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂	H ₂ O _m	总量
Q4-1	77.3	8.85	1.1	0.59	0.52	3.52	0.67	4.25	0.05	0.02	0.03	2.25	0.84	100.07
WP12	66.5	18.19	0.26	0.13	0.09	0.39	0.2	14.2	0.01	0.02	0.01	0.06	0.37	100.47

注 :Q4-1采自前河金矿 ,WP12采自王坪铅锌矿 ;由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析 ;氧化物含量 %

表 2 巨晶钾长石杏仁体微量元素特征

Table 2 Trace element features of megacrystalline K - feldspar in amygdales

样品	Au	Ag	B	As	Sb	Hg	F	Be	Cr	Li	Ni	V	Cd	Co	Cs	Cu	Ba	Sr	Zn	Ga	Rb	Zr	Pb	Ta	Hf	Nb	U	Th	Sc
Q4-1	10.6	65	3.5	11.2	0.41	5	54	0.31	21.9	5.7	6.9	26.4	60	10.9	2.37	25.5	5763	218	18	8.6	79.8	16	20.3	0.11	0.45	0.79	0.08	0.47	0.9
WP12	3.3	389	1.6	10.9	0.29	5.5	50	0.07	23.5	0.5	5.9	6	7	1.1	0.52	33.1	1694	64	5	5.5	205	10	2.2	0.14	0.29	0.58	0.07	0.95	0.5

注 :Q4-1采自前河金矿 ,WP12采自王坪铅锌矿 ;由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析 ;元素含量 :10⁻⁶

代地热系统后 ,发现明显的Eu正异常仅限于较高温 (>230℃) 富Cl、pH<7的热水溶液 ,并指出能渗透不同类型岩石(玄武岩、粗面岩、流纹岩和沉积物)的热水溶液可能具有相似的REE配分模式。一般认为 ,在250℃以上的温度和高压条件下 ,Eu主要以2价形式存在 ,而在相对低温的条件下 ,Eu以2价和3价两种形式共存^[10,11]。热水流体中Eu正异常的形成 ,与长石蚀变过程中Eu²⁺从矿物中迁出而进入溶液 ,使溶

液中的Eu²⁺浓度相对增加有关。但是伴随富Eu²⁺的长石蚀变过程的发生 ,富Eu³⁺的矿物也同时遭受蚀变作用 ,后者对前者将产生抵消作用。Sverjensky^[10]对此的解释是 ,溶液中的Eu³⁺在高温条件下不稳定 ,通过Eu³⁺+Fe²⁺→Eu²⁺+Fe³⁺反应使Eu³⁺转化为Eu²⁺及相关的络合物 ,从而使Eu²⁺浓度增加。另外 ,在成矿热水流体与岩石发生水-岩作用过程中 ,其周围环境的Eh、pH、络合介质种类、络合性质、温度、压力等条

表 3 巨晶钾长石杏仁体稀土元素特征

Table 3 REE features of megacrystalline K - feldspar in amygdales

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Q4-1	0.9	2.4	0.35	1.6	0.34	0.15	0.29	0.05	0.31	0.06	0.17	0.02	0.16	0.03	1.8
WP12	0.9	1.9	0.23	0.8	0.18	0.11	0.21	0.04	0.23	0.04	0.12	0.02	0.13	0.02	1.3

注 :Q4-1采自前河金矿 ,WP12采自王坪铅锌矿 ;由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析 ;元素含量 :10⁻⁶

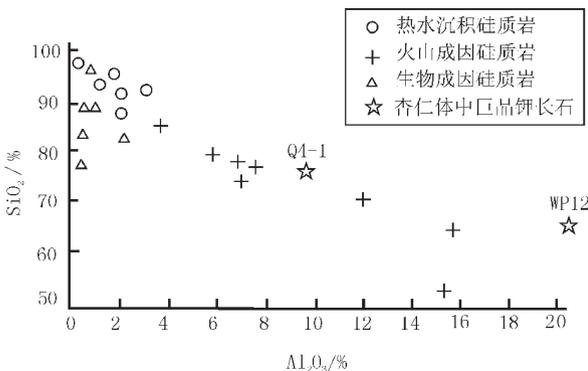


图2 杏仁体中巨晶钾长石SiO₂-Al₂O₃图解
Fig. 2 Diagram of SiO₂-Al₂O₃ of K-feldspar megacrysts in amygdales

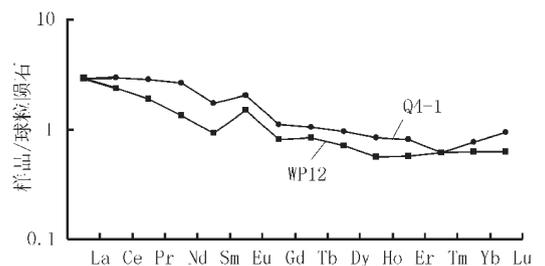


图3 杏仁体中巨晶钾长石稀土配分曲线
Fig. 3 REE distribution patterns of K-feldspar megacrysts in amygdales

件也对正Eu异常的形成起到控制作用。

镜下观察,杏仁体中的钾长石粒度一般介于0.2 mm×0.5 mm~2.5 mm×3 mm之间,常呈自形、半自形板状,可见卡式双晶、巴温诺双晶、格子状双晶。钾长石表面可见到粘土质矿物,解理缝及其边缘部缝隙中常可见到铁质氧化物,局部可见绢云母化。钾长石化学成分的电子探针分析结果见表4。从表4中可以看出钾长石化学成分以SiO₂、Al₂O₃、K₂O为主,K₂O含量8.92%~16.59%,其中混入了部分碳酸盐和铁质矿物成分。

据X衍射测定,并用三峰法投图分析(图4)^[21],求出钾长石三斜度(Δ)介于0.35~0.9125之间,有序度(δ)介于0.303~0.95之间,结构状态以最大微斜长石为主,个别为中间微斜长石。这与用费氏台测定的结果^[13]相一致,明显不同于表生火成岩或喷发岩中的高温透长石。

(2)绿泥石。在赋矿熊耳群中基性火山熔岩中普

遍存在绿泥石杏仁,镜下观察,常呈细鳞片状集合体,颜色为无色—浅黄色,多色性显著,干涉色I级灰白。绿泥石化学成分电子探针分析结果见表5。将其投点到Hey的分类图解^[14](图5)中,从图5中可以看出,杏仁体中的绿泥石投点位于蠕绿泥石区和密绿泥石区,其化学成分位于热水沉积成矿蚀变范围内。

(3)石英。石英是常见的杏仁矿物,有粗晶和细晶多种晶形。细晶石英多为绿泥石杏仁的环边,粗晶石英多与绿帘石、钾长石或方解石共同组合成复合杏仁,一般在杏仁中同心环状生长,从杏仁体边缘向内依次为钾长石、石英、绿帘石、方解石,在有些杏仁体中的中心部位也可见到自形程度良好的石英单晶。其化学成分电子探针分析结果见表6。

(4)绿帘石。在赋矿熊耳群中基性火山熔岩的杏仁体中,我们观察到普遍存在火山期后热水流体充填形成绿帘石的现象。镜下观察,绿帘石自形程度良好,以极高正突起、多色性显著、柱面平行消光、II—

表4 杏仁体中钾长石化学成分

Table 4 Chemical composition of K-feldspar in amygdales

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	BaO	总量
BP4	66.98	0	16.93	0	0.03	0	0	0	0.21	0.13	13.36	2.23	0	0	0.59	100.46
BP5	66.2	0.01	17.91	0.12	0.27	0	0	0.09	0	0.19	15.62	0.21	0	0	0.7	101.31
BP6	65.48	0	17.46	0	0.16	0.19	0	0	0.12	0	16.59	0.35	0	0	0.05	100.4
BP15	54.01	0.1	32.97	0	2.73	0.04	0	0.17	0.22	0	8.92	0.82	0	0	0.02	100
BP24	63.98	0.08	19.13	0.02	0.22	0	0	0.69	0	0	8.96	4.02	0	0	2.91	100
BP37-1	63.76	0	17.46	0.14	0	0	0	0	0	0	15.81	0.13	0	0	1.62	98.92

注:样品来自王坪铅锌矿;由中国地质大学(北京)电子探针室测定,氧化物含量 %

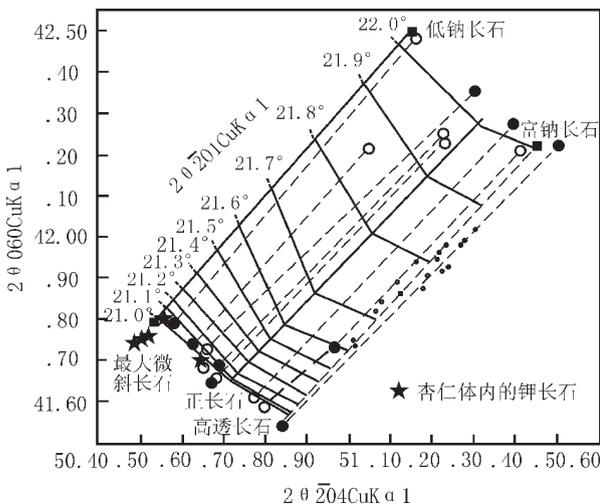


图4 杏仁体内钾长石结构态图解

Fig. 4 Structure diagram of K-feldspar in amygdales

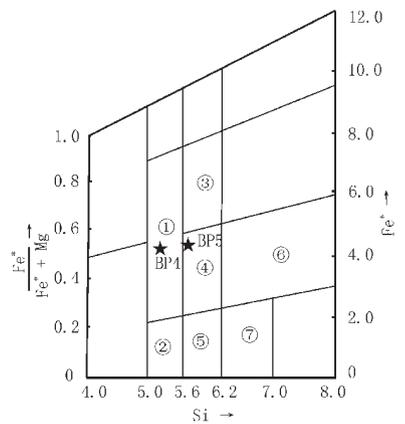


图5 杏仁体内绿泥石分类图解

Fig. 5 Classification diagram of chlorite in amygdales

①蠕绿泥石,②透绿泥石,③铁镁绿泥石,④密绿泥石;
⑤斜绿泥石,⑥辉绿泥石,⑦叶绿泥石;★杏仁体内的绿泥石

Ⅲ级鲜艳干涉色为特征。其化学成分的电子探针分析结果见表7。

(5)方解石。方解石杏仁分布不太普遍,一般与绿泥石、绿帘石、石英等组成复合杏仁。镜下观察,方解石自形程度良好,以无色透明、有菱形解理、显著的闪突起和高级白干涉色为特征。其化学成分的电子探针分析结果见表8。

(6)金属矿物。杏仁体中普遍存在金属矿物,如黄铁矿、黄铜矿、钛铁矿等金属矿物(图版 I-3、4、5、6),在前河、滩头、松里沟等金矿区存在杏仁状黄

铁矿、黄铜矿化现象,少数杏仁体甚至构成具工业规模的独立矿床(体),例如汝阳地区大撮坪铜矿化点。杏仁体中金属矿物化学成分的电子探针分析结果见表9。从表9中可以看出杏仁体中的黄铁矿S含量介于39.28%~53%之间,Fe含量介于42.1%~46.1%之间,与标准黄铁矿S、Fe含量理论值(S 53.33%,Fe 46.67%)相对比,黄铁矿S、Fe含量均偏低,表明正负离子均有微量元素替代。其中Co含量介于0.01%~1.94%之间,Co/Ni比值大于1,Se含量介于0.1%~0.3%之间,S/Se比值为214.96~1769.33,Se/Te比值为0.08~1.01。杏仁

表 5 杏仁体中绿泥石化学成分

Table 5 Chemical composition of chlorite in amygdales

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	BaO	总量
BP4	27.34	0	18.38	0.25	27.34	0.3	13.85	0.06	0	0.03	0.05	0.02	0	0	0	87.61
BP5	29.57	0.15	12.6	0.25	29.95	0.18	14.49	0.08	0	0.09	0.08	0	0	0	0	87.45

注:样品采自王坪铅锌矿;由中国地质大学(北京)电子探针室测定,氧化物含量 %

表 6 杏仁体中石英化学成分

Table 6 Chemical composition of quartz in amygdales

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	BaO	总量
BP4	99.86	0	0	0	0.07	0.05	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	100.02
BP5	100	0	0	0.13	0	0	0	0	0.06	0	0	0.02	0	0		100.33
BP6	99.68	0	0	0	0.06	0.04	0	0	0.07	0	0	0.13	0	0	0.22	100.19
BP12	100.14	0	0	0	0.13	0	0.1	0	0.09	0	0	0	0	0	0.04	100.5
BP59	99.32	0.01	0	0.19	0.03	0	0	0	0	0.05	0	0.26	0	0	0.07	99.93
BP63	98.99	0.1	0	0	0.06	0.06	0	0	0.01	0	0	0.06	0	0	0.07	99.36
BP54	99.52	0.05	0	0.09	0.1	0	0	0	0.05	0	0	0.08	0	0	0.1	100

注:BP4、BP5、BP6、BP12采自王坪铅锌矿, BP59采自藿香湾矿区, BP63采自赵家庄矿区, BP54采自松里沟;由中国地质大学(北京)电子探针室测定,氧化物含量 %

表 7 杏仁体中绿帘石化学成分

Table 7 Chemical composition of epidote in amygdales

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	BaO	总量
BP4	39.16	0	25.82	0.18	8.41	0	0	21.1	0.24	0	0.01	0	0	0	0	94.92
BP63	38.93	0.01	24.28	0.03	9.27	0.17	0	21.29	0	0.01	0	0.04	0	0	0.14	94.17

注:BP4采自王坪铅锌矿, BP63采自赵家庄矿区;由中国地质大学(北京)电子探针室测定,氧化物含量 %

表 8 杏仁体中方解石化学成分

Table 8 Chemical composition of calcite in amygdales

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	BaO	总量
BP4	0.12	0	0.03	0.13	0.14	0	0.08	55	0.02	0	0.1	0.11	0	0	0.04	55.78
BP5	0.04	0	0.1	0	0	0.06	0.22	54.52	0.12	0.07	0.04	0.18	0	0.01	0	55.37

注:样品采自王坪铅锌矿;由中国地质大学(北京)电子探针室测定,氧化物含量 %

体中的黄铜矿Cu含量介于32.51%~36.63%之间,S含量34%左右,Fe含量介于24.27%~30.79%之间,与标准黄铜矿Cu、S、Fe含量理论值(Cu 33.88% S 34.87%, Fe 30.51%)相对比,黄铜矿S、Fe含量偏低,也有微量元素替代的空间。黄铁矿与黄铜矿中金矿化普遍,尤其在金矿区是一种重要的金矿化类型,一般Au含量为0.n%,最高可达到1.5%,Au/Ag一般介于0.1~1之间,个别可达40。这些信息表明,金属矿物及金矿化与中高温富硅钾成矿热水流体活动密切相关,杏仁体中的金属矿物是金的重要载体,甚至形成多金属矿化。

4 杏仁体成因及其成矿地质意义

上述显微矿物学及化学成分信息表明,熊耳群火山熔岩中大量存在的杏仁体形成过程极其复杂,其形成过程实质上是火山作用、构造作用、热水流体活动作用和变质作用过程的总和,但究其本质,是熊耳群火山活动后期热水溶液长期在不同地质条件作用下演化的结果。

形成杏仁体需要两个必备条件,一是封闭稳定的气孔空间,这需要低压的火山喷发环境和高挥发分的岩浆条件;其次需要火山期后相对稳定的热水

溶液来源。根据区域地质研究,熊耳群火山岩形成于陆缘裂谷浅水环境,具备了这两个条件,因此形成了杏仁体极其发育的杏仁状火山岩。

杏仁体形成的地质作用以充填作用为主,即在熊耳群火山活动后期或熊耳群火山活动间歇期,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分的性质、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^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{2-} 等离子的富硅钾成矿热水流体^[15],在熊耳群中基性火山熔岩冷凝过程中由于排气作用所形成的气孔内,发生沉淀、充填、交代作用,从而构成富含热水沉积矿物或金属矿物的杏仁体。随后,在漫长的地质年代中热水流体继续演化、活动,但强度逐渐减弱,常表现为后期叠加、改造已形成的杏仁体内的各种热水沉积矿物。

(1)熊耳群中基性火山熔岩中普遍存在的杏仁体是在火山活动的后期或火山活动的间歇期,由火山活动所提供的热水流体在中基性火山熔岩冷凝后

表9 杏仁体中金属矿物化学成分

Table 9 Chemical composition of metallic minerals in amygdales

地点 与样号	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Se	Te	Au	Ag	Cr	Mn	Pb	Hg	Ti	V	Cd	In	Ge
前河	53.07	45.29	0	0	0.13	0	0.05	0.09	0.02	0.33	0.07	0.11	0.01	0.01	0.11	0	0	0.23	0.47	0	0.02
1	52.55	45.63	0.39	0	0.04	0.38	0	0.07	0	0.26	0	0.08	0	0	0.09	0	0.05	0	0.28	0.06	0.11
王坪	52.76	44.83	0.07	0.18	0	0.13	0.08	0.19	0.32	0.04	0.1	0.49	0.23	0	0	0.01	0.09	0	0.14	0.15	0.18
3	33.97	24.27	0	0.07	36.63	0	1.3	0	1.47	0	0.1	0.44	0	0.01	0.06	0.06	0	0	0.37	0.09	1.17
4	34.77	28.89	0	0	33.21	0	0.92	0	0.85	0	0.04	0.11	0.06	0.01	0.13	0.01	0.1	0	0.05	0.03	0.85
赵家庄	53.13	45.65	0	0	0	0	0.13	0.21	0.06	0	0	0	0.06	0	0.04	0	0.08	0.01	0.38	0.04	0.2
藿香湾	53.46	44.42	0.46	0.51	0.02	0	0.14	0.1	0	0.08	0	0	0.05	0	0.1	0.01	0	0.01	0.33	0	0.2
2	34.55	29.27	0.02	0	32.51	0.19	1.15	0.01	0.67	0.05	0	0.09	0.13	0	0	0	0	0.08	0.3	0.13	0.85
柿树底	53.72	45.01	0	0.23	0	0.5	0.08	0	0	0.05	0.1	0.11	0.01	0	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.1
松里沟	52.61	45.95	0.3	0	0	0.04	0	0.03	0.06	0.15	0.05	0.28	0.05	0	0.03	0.02	0	0.03	0.39	0	0.02
北岭	53.01	46.58	0.01								0.13										
2	53.34	46.05	0.01								0.20	0.007									
3	53.10	45.84	0.01								0.16	0.004									
大摄坪	34.76	29.55	0		34.62						0.09										
2	34.90	30.79			33.67						0.07	0.05									

注:前河1、2,王坪1、2,赵家庄,藿香湾1,柿树底,松里沟,北岭1~3号样品测定矿物为黄铁矿;王坪3、4,藿香湾2,大摄坪1、2号样品测定矿物为黄铜矿;北岭、大摄坪数据据河南省地矿厅等内部资料综合;元素含量:%

留下的气孔内沉积所形成的。

(2)杏仁体内部富含石英、钾长石、绿泥石、绿帘石、萤石、方解石、沸石等矿物和黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、钛铁矿等金属矿物。

(3)杏仁体周边具有明显的热液蚀变晕圈结构,是火山期后热液活动及热液蚀变的标志。

(4)杏仁体内部黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、钛铁矿等金属矿物的形成机制与熊耳群火山岩系内铜、铅、锌、金、银等多金属矿床的成矿地质作用密切相关。

(5)杏仁体内部金属矿化极其普遍,少数杏仁体甚至独立成矿的实例表明,杏仁体及其中的金属矿化研究对区域找矿预测具有指导意义,不仅要重视构造控矿,而且要注意杏仁体与矿化关系的研究。

上述结论是作者在野外观察和室内研究基础上归纳总结的几点认识,其中有些方面还需进行深入研究,希望能与同行专家及感兴趣的学者共同探讨,以促进对华北板块南缘中元古界熊耳群火山岩系内部杏仁体及热水成矿作用的深入研究。

参考文献:

- [1] 乔秀夫,张德全,王雪英,等.晋南西阳河群同位素年代研究及其地质意义[J].地质学报,1985,59(3):260~269.
- [2] 张本仁,骆庭川,高山,等.秦巴地区岩石圈地球化学特征和演化及其地质意义[A].见:张本仁等主编.秦巴区域地球化学文集[C].武汉:中国地质大学出版社,1990.1~32.

- [3] 夏林圻,夏祖春,任有祥,等.华北板块南缘中元古代裂陷火山活动特征[A].见:叶连俊等主编.秦岭造山带学术讨论会论文集[C].西安:西北大学出版社,1991.57~67.
- [4] 杨巍然,杨森楠.造山带结构与演化的现代理论和研究方法——东秦岭造山带剖析[M].武汉:中国地质大学出版社,1991.190.
- [5] 贾承造,施央申,郭令智.东秦岭板块构造[M].南京:南京大学出版社,1988.120.
- [6] 胡受奚,林潜龙.华北与华南古板块拼合地质成矿[M].南京:南京大学出版社,1988.358.
- [7] Condie K C. Plate Tectonics and Crustal Evolution. Second edition[M]. New York: Pergamon Press, 1982.
- [8] 张建洪,康日仓,李劲松.河南省汝阳县梅花玉的矿物学特征[J].岩石矿物学杂志,1993,12(1):76~86.
- [9] Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. Cosmochim. Acta, 1989, 53: 745~750.
- [10] Sverjensky D A. Europium redox equilibria in aqueous solution[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1984, 67: 70~78.
- [11] Wood S A. The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium, 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters[J]. Chem. Geol., 1990, 82: 159~186.
- [12] 苗春省,高新国.长石有序度测定法及在地质上的应用[M].北京:地质出版社,1983.
- [13] 袁鹤皋,黄超勇.汝阳付店—鲁山圪塔一带熊耳群熔岩的长石类型及结构状态[J].河南地质,1988(2):34~37.
- [14] 北京大学地质系岩矿教研室.光性矿物学[M].北京:地质出版社,1988.
- [15] 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):245~251.

Amygdales in the volcanic series of the Xiong'er Group on the southern margin of the North China plate: evidence of hydrothermal mineralization

ZHANG Hancheng, XIAO Rongge, AN Guoying,
ZHANG Long, HOU Wanrong, GAO Liang
(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Amygdales with distinct features are prevalent in mineralized sites in the Xiong'er Group volcanic rocks on the southern margin of the North China plate. Some amygdales even have developed into mineralized bodies. However, previously this phenomenon was less studied. Based on a systematic study of the textures and structures of amygdales and their filling minerals, the formation mechanism of amygdales and their relationships with hydrothermal ore fluids and ore-forming processes are discussed in details in the paper. Finally, the authors point out that amygdales are an important indicator of exploration in the Xiong'er Group volcanic rocks on the southern margin of the North China plate.

Key words: southern margin of the North China plate; Xiong'er Group volcanic rocks; amygdale; hydrothermal fluid; cavity filling; metasomatism