河南省栾川县康山一星星印金矿床断裂活动与热液成矿的关系探讨

雷时斌　白万成　王春宏

（武警黄金地质研究所）

摘要　本文以康山一星星印金矿为例，通过断裂活动与热液成矿关系的研究，提出矿液聚集沉淀受容矿断裂活动和变形控制，成矿元素富集于容矿断裂的构造强应变区。并认为不同活动类型的断裂、矿石的产出类型不同，矿化的完整性、连贯性也不同。另外，通过矿区构造应力场、断裂构造变形场的模拟，探讨了在断裂系统中热液成矿的机理和规律。

关键词：河南；金矿；构造控矿；断裂活动；热液成矿机理

康山一星星印金矿是河南省熊耳山地区继上宫金矿之后，近年来发现的又一重要金矿床。矿床位于马超营金矿成矿带的西段，产出于太古界太华群和元古界熊耳群地层中。矿床、矿体产出部位明显受断裂构造控制。

笔者通过系统的地质调查和综合分析，认为该矿床的热液成矿与容矿断裂活动密切相关。矿化的阶段性是容矿断裂在成矿期内多次活动的客观表现；热液成矿的有利场所，矿体及其富矿产出部位，矿脉的产出类型，矿脉的贯穿性等均与容矿断裂的活动方式及构造变形特征相关。此外，笔者还从断裂活动方式与构造变形的关系出发，探讨了热液成矿规律和断裂控矿机理。

一、成矿期内断裂活动与矿化特征

如图1所示，矿区控矿断裂构造主要有两组：

1、近东西向断裂在矿区主要发育有两条，F_1断裂在矿区北侧通过，是一条形成较早、多期次、多种性质活动的区域性断裂，是马超营断裂带中的一条重要断裂，控制着太华群与熊耳群地层的北部界线，并控制着北东向容矿断裂的形成和发展；F_2断裂是太华群与熊耳群地层的南部接触界线，前人一直认为是不整合[1]，通过我们近几年的工作，确定为一条长期多次活动的断裂，断裂带内不仅构造岩、岩脉发育，而且具明显矿化现象。进一步研究表明，F_2断裂是本矿区的导矿构造之一。

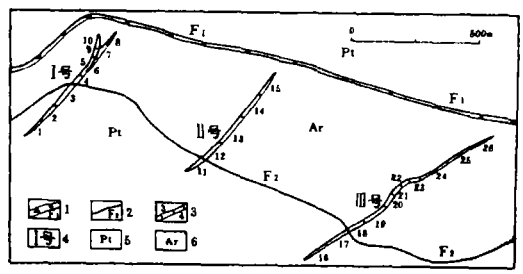

图1　矿区主要断裂构造分布及容矿断裂的单元划分

1—区域断裂；2—矿区断裂；3—容矿断裂及单元编号；4—矿脉编号；5—元古界熊耳群；6—太古界太华群

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2、北东向断裂狭义上属成矿前形成的压剪性断裂。它们成群、成带、等间距斜列分布于F_1断裂南侧，斜交F_2断裂，自西向东Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号断裂群（图中仅示意性地画出了每群中的一条）间距约600米。北东向断裂在成矿期内发生多次再活动，构成矿区容矿构造的主体，具体活动特征列于表1中。

二、容矿断裂活动与热液成矿的关系

康山一星星印金矿矿化的阶段性、矿化叠加取决于容矿断裂的再活动，矿化富集程度、矿脉的产出类型等受容矿断裂活动性质、强度制约，所以其热液成矿特征是断裂活动的客观表现。主要体现在以下几个方面。

1、断裂多次活动与矿化的阶段具对应关系

如前所述，成矿期内北东向容矿断裂总体上发生了四次明显的活动。矿化也先后经历了含金黄铁绢英岩化、石英-黄铁矿-金矿化、石英-碳酸盐-多金属矿化和石英-碳酸盐含少量多金属矿化四个阶段。矿化阶段的完整性在不同的容矿断裂内有较大差异，见表1。同一条容矿断裂内多阶段矿化的叠加，往往发生于断裂交汇处（包括分支断裂发育处）、断裂的局部扩容区和断裂的中心地段。

2、断裂的活动方式不同，矿液的聚集方式也不同，从而导致形成矿脉类型不同

含矿热液沿断裂构造的运移过程中，由于组分浓度差和构造应力引起的压力差，使含矿热液以扩散交代、渗透交代和充填作用等三种方式成矿[2]。通过对不同容矿断裂、断裂不同地段的矿石及不同矿化阶段矿石结构、构造观察表明，矿液在断裂构造通道闭合段以渗透交代作用为主，在断裂完全贯通地段则以充填作用为主。矿石的结构和构造，矿脉的产出类型取决于断裂活动的特征。例如在成矿期第Ⅰ阶段，北东向的容矿断裂为压剪性活动，形成浸染破碎蚀变岩型矿石。在成矿期第Ⅱ阶段，西部北东向容矿断裂为张剪性活动，矿石为贯穿的大脉和张性角砾岩矿脉（1号）；中部北东向断裂发生剪切活动形成板状和平行矿脉及细脉（Ⅱ号）；东部北东向断裂（Ⅲ号）为压剪性活动，仅在断裂局部扩容区形成短透镜状矿脉，其余地段主要为细网脉型矿石。

3、断裂构造内不同地段的矿化富集程度取决于断裂活动强度

断裂交汇处、局部扩容区、断裂中心地段往往形成矿体和富矿体（图2，图3）。

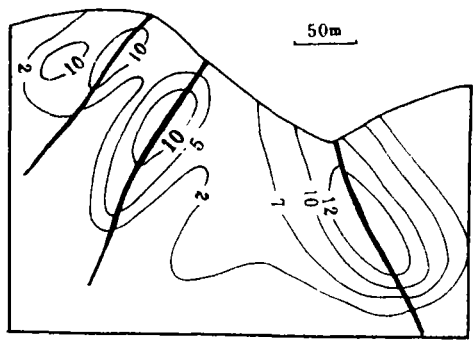

图2　Ⅰ号矿脉金品位纵投影图

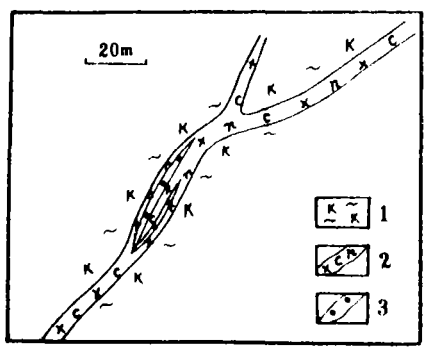

图3　Ⅲ号矿脉Ⅰ—22线平面示意图

1—钾化片麻岩；2—黄铁绢英岩矿脉；3—黄铁矿化石英脉

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

容矿断裂构造活动特征表　　表 1

期	阶段	矿区西部		说明(以Ⅲ号断裂为例)	矿区中部		说明(以Ⅱ号断裂为例)	矿区东部		说明(以Ⅰ号断裂为例)	矿　物	温度(℃)
		挤压	引张		挤压	引张		挤压	引张			
成矿后	晚		北西	填充无矿化马牙石、石英细脉、局部张性角砾岩带			不明显	南北		剪切面	石英	
	早	南北		沿早期破碎带形成断层泥角砾岩带、剪裂面	南北		剪切破碎带	南北		剪切破碎带		
成矿及成矿期内	矿化阶段Ⅳ		北西	局部充填短透镜状含少量多金属硫化物石英脉，石英细脉	近南北		不明显	南北		不明显	石英、方解石、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	150—90
	矿化阶段Ⅲ		北西	充填短透镜状多金属硫化物石英脉和细脉，晚期形成透镜状张性角砾岩带	近南北		平行细脉	南北		南北向分支断裂充填多金属硫化物石英脉，主破碎带内表现为细网脉	石英、方解石、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿	215—150
	矿化阶段Ⅱ		北西	形成贯穿整个破碎带的张性角砾岩带，充填较连续的粗粒黄铁矿化石英脉	近南北		板状矿脉	南北		在局部引张区充填短透镜状石英脉，其余地段形成细网脉	石英、黄铁矿，少量黄铜矿，极少量方铅矿、闪锌矿	260—190
	矿化阶段Ⅰ断裂生成	南北		断层发生压剪性活动，伴有热液蚀变，破碎岩型矿床，形成构造岩为碎粒岩、碎斑岩和角砾岩	南北		同Ⅲ号断裂	南北		同Ⅲ号断裂	石英、绢云母、黄铁矿，极少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	320—260
成矿前	岩浆充填		北西	钾长石化热液蚀变充填不连续长英质岩脉			同Ⅲ号断裂		北西	同Ⅲ号断裂	钾微斜长石、石英	
	断裂生成	近南北		生成并发生压剪性活动，主要构造岩为碎斑岩和碎粉岩	南北		同Ⅲ号断裂	南北		同Ⅲ号断裂		

三、断裂活动成矿机制的数学物理模拟

断裂活动成矿机制是从断裂构造变形的角度探讨热液成矿条件．下面用数学物理方法（有限单元法）模拟矿区的应力场和变形场与热液成矿之间的关系，从而定量地分析矿液聚集沉淀的条件和规律．

1、成矿期内矿区构造应力场特征的模拟

在成矿期第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ成矿阶段，矿区东部和西部北东向容矿断裂活动特征有明显差异（表1），是局部应力场的反映．通过有限单元法模拟可知，矿区在南北向不均匀挤压和东西向不均匀剪切作用下，西部受近北西向引张、近北东向挤压应力作用，东部受近南北向挤压作用为主（图4）．由此可见西部北东向容矿断裂易发生张性再活动，为矿液聚集沉淀提供贯通连续的空间，充填大脉或形成张性角砾岩型矿脉．东部北东向断裂发生左型压剪性活动，仅在断裂转弯处的局部引张区形成贯通的张裂隙充填小的短透镜状矿脉，而主要是在断裂带内形成小裂隙充填细脉或细网脉，到成矿晚期第Ⅲ、Ⅳ矿化阶段，断裂逐渐封闭，使第Ⅲ、Ⅳ阶段的产物微弱或缺乏．

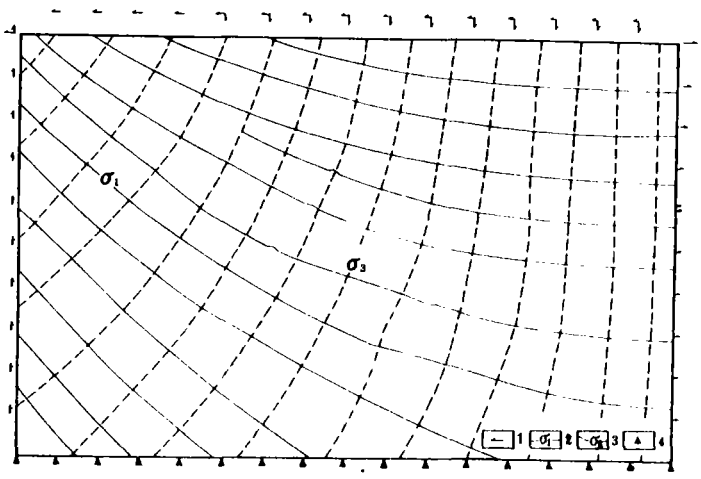

图4　成矿期第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ成矿阶段构造应力场数学模拟图

1—假设外荷作用力；2—最小主应力轴（σ_1）轨迹；
3—最大主应力轴（σ_3）轨迹；4—固支点（零点）

2、断裂构造变形特征的模拟

据莫尔和格瑞菲兹理论公式推导[3]，二维问题的莫尔破裂准则（剪切破裂准则）：

$$(\sigma_1-\sigma_3)^2+\frac{2K^2}{\sigma_I}(\sigma_1+\sigma_3)=K^2\left(4-\frac{K^2}{\sigma_I}\right) \quad (1)$$

由应力与应变关系可得：

$$\frac{E^2}{(1+r)^2}r^2_{max}+\frac{E2K^2}{(1-r)\sigma_I}\varepsilon V=K^2\left(4-\frac{K^2}{\sigma^2_I}\right) \quad (2)$$

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\theta = 45° - \frac{\varphi}{2} \quad (3)$$

(φ——一般为30°[4])

二维问题格瑞菲兹破裂准则（张破裂准则）：

设：$\sigma_1 > \sigma_3$，若$3\sigma_1 + \sigma_3 > 0$，

当$\sigma_1 = \sigma_{bt}$时开始扩展。

若$3\sigma_1 + \sigma_3 < 0$，

当$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + 8\sigma_{bt}(\sigma_1 + \sigma_3) = 0$

开始扩展，由应力应变关系可得：

设：$\sigma_1 > \sigma_2$，

若$2(1+r)\varepsilon V + (1-r)r_{max} > 0$时，

$\sigma_1 = \sigma_{bt}$开始扩展破裂方向与σ_1平行。

若$2(1+r)\varepsilon V + (1-r)r_{max} < 0$时，

$$\frac{E^2}{(1+r)^3} r^2_{max} + 8\sigma_{bt}\varepsilon V = 0$$开始扩展。

$$\theta = \frac{1}{2} arccos - \frac{1}{2}\left(\frac{1-r}{1+r}\right) \cdot \frac{r_{max}}{\varepsilon V}$$

(这组张裂隙极难形成)

在上述各式中：

σ_1—最大主应力；σ_3—最小主应力；εV—平面问题的体变；σ_I—物性常数；r_{max}—最大剪切应变；E—弹性模量；r—泊松比；σ_{bt}—张破裂极限；φ—磨擦角；θ—破裂面与最小主应力的夹角；K—纯剪切极限。

通过体应变和最大剪切应变的分析，不仅可以研究物体变形特征，也可以探讨物体破裂特征。

将康山—星星印金矿主要容矿断裂构造进行单元剖分（图1），通过有限单元法探讨在成矿期第Ⅱ阶段（最主要金矿化阶段）矿区主要容矿断裂构造的变形特征和再破裂特征，模拟结果如表2所示。

1、）西部北东向容矿断裂构造（Ⅰ号）的体变量均为正值，说明断裂构造有较强的扩容能力，而且可能产生的张破裂方向和断裂面近于平行；中部北东向容矿断裂构造（Ⅱ号）体变量接近零值，但最大剪切应变量相对较大，而且可能产生左型剪切破裂方向与断裂面近于平行。这两类断裂构造，在活动中均可以形成贯通连续的空间，前者由张破裂构成，裂隙宽度较大，宽窄不一，充填不规则大脉或形成张性角砾岩型矿脉；后者由相对平直光滑的剪切破裂面构成，往往具有多条平行排列的特征，裂隙量度较一致，但相对较小，充填板状矿脉和平行矿脉。东部北东向容矿断裂构造（Ⅲ号）体变量多为负值，仅在断裂弯曲的一侧为正值。在体变量为正值处可能产生的张裂面与断裂近于平行，其余地段无论是可能产生的张破裂面还是剪切破裂面均与断裂走向斜交，因此断裂构造内不可能形成贯通性较好的空间，仅产生一些网状裂隙和小裂隙，充填网脉和细脉，或在体变量为正值处形成短小的扩容空间，充填短透镜状矿脉。

2、）在断裂构造交汇处（包括次级断裂发育处）及断裂的中心地段，剪切应变量和体应变量均较大，说明这些地段断裂的活动性最强，极易产生再活动，从而造成多阶段矿化的叠加，矿化相对较强。

通过康山—星星印金矿断裂构造活动与成矿关系的实例研究表明，成矿期断裂构造的活动和变形与热液成矿密切相关，断裂构造活动和变形对矿液聚集沉淀起着决定性作用。

研究中得到了武警黄金地质研究所陈纪明、李维明、关连绪等高级工程师的指导和帮助，武警黄金十四支队的卢建波工程师也给予了大力协助，在此一并致谢。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

第Ⅱ成矿阶段主要容矿断裂构造的变形特征和再破裂特征 表2

断裂	单元号	最大剪切应变	体变	张裂面与断裂夹角	左型剪裂面与断裂夹角	右型剪裂面与断裂夹角
Ⅰ号断裂	1	0.696	0.585	0°	30°	30°
	2	0.778	0.588	2°	28°	32°
	3	0.921	0.750	5°	25°	35°
	4	1.133	0.843	10°	20°	40°
	5	1.040	0.630	4°	26°	34°
	6	1.345	0.621	25°	5°	55°
	7	1.237	0.572	26°	4°	56°
	8	1.126	0.586	25°	5°	55°
	9	1.005	0.572			
	10	0.988	0.376			
Ⅱ号断裂	11	0.887	0.210	30°	0°	60°
	12	1.064	0.069	33°	3°	63°
	13	1.344	0.099	39°	9°	69°
	14	1.321	0.077	38°	8°	68°
	15	1.113	0.170	37°	7°	67°
Ⅲ号断裂	16	1.482	−0.072	33°	3°	63°
	17	1.379	−0.116	46°	16°	76°
	18	1.430	−0.284	45°	15°	75°
	19	1.445	−0.283	51°	21°	81°
	20	1.219	0.246	5°	25°	35°
	21	1.159	−0.013	30°	0°	60°
	22	1.222	−0.463	极难形成张裂	15°	75°
	23	1.519	−0.909	极难形成张裂	5°	65°
	24	1.586	−0.311	50°	20°	80°
	25	1.648	−0.551	极难形成张裂	17°	77°
	26	1.621	−0.351	极难形成张裂	22°	82°

参考文献

[1]. 喻积贤等．豫西熊耳山群划分与对比．《河南地质》，1985年，第4期．

[2]. 王子潮、王亚南，构造变形与热液成矿，《地质学报》，1987年，第2期．

[3]. 王维襄、曾佐勋，《固体力学》（中国地质大学试用教材），1982年．

[4]. J.G.兰姆赛，《岩石的褶皱作用和断裂作用》，地质出版社，1985年12月．

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net