

# 小秦岭脉型金矿床容矿断裂及 石英脉形成机制的探讨<sup>①</sup>

邵世才 何绍勋 奚小双

(中南工业大学地质系,长沙,410083)

**提 要** 小秦岭金矿床容矿断裂带中发育一套完整的从糜棱岩至碎裂岩系列的构造岩,显微构造现象异常发育,经研究判断容矿断裂带为右旋逆冲推覆型韧—脆性剪切带。容矿空间(即断裂)的形成机制为液压致裂作用,其周期性的裂开(crack)和含矿热液的周期性的封闭作用(sealing)最终导致多期多阶段的含金石英脉体的形成。

**关键词** 容矿断裂 液压致裂 金矿 小秦岭

小秦岭脉型金矿密集区位于灵宝潼关两县,由 1200 多条含金石英脉组成。前人<sup>[1,2,3,4,5]</sup>对其矿床地质,矿床地球化学和成矿预测进行了大量的研究,但对矿床构造的研究尚显薄弱<sup>[6,7]</sup>,尤其是容矿断裂的形成和含金石英脉体的定位以及两者之间的内在联系则不曾研究。本文旨在探讨小秦岭金矿容矿断裂的成生机制及其对石英脉定位的控制意义。

## 1 区域地质及矿床地质概况

小秦岭含金石英脉的容矿围岩为太古界太华群,它是一套火山沉积岩系,变质程度达角闪岩相,主要岩石类型为斜长片麻岩,斜长角闪岩、变粒岩、石英岩和混合岩类等。

脉型金矿床构造较为简单,即所有含金石英脉均赋存在控矿断裂中,并完全受断裂构造的控制(图 1)。金矿密集区内石英脉成群成带分布,规模不等。延长一般 10~4000m,厚 0.1~14m。根据脉体之间的穿插关系,可划分为五个矿化阶段,(I)粗粒黄铁矿—石英阶段;(II)金—黄铁矿—石英阶段;(III)粗粒多金属硫化物阶段;(IV)细粒多金属硫化物阶段;和(V)石英—碳酸盐阶段。以 I 阶段形成的石英脉体最厚,V 阶段形成的脉体最薄或仅沿早期次脉体裂隙分布,两者的体积分别约占脉体总体积的 85%和 5%,但金的成矿主要发生在 II III 和 IV 等含较多金属硫化物的成矿阶段。

<sup>①</sup> 国家自然科学基金资助项目(编号 49172134)

(收稿:1992. 7. 9)

## 2 容矿断裂带的特征

小秦岭金矿区有近东西向、近南北向、北东向和北西向四组容矿断裂,以近东西向容矿断裂分布最广,规模最大,控制约90%以上的金储量,是本文研究的重点。

### 2.1 容矿断裂的一般特征

该组断裂主要分布在老鸭岔—大月坪背斜轴附近,走向 $NE70^{\circ}\sim SE120^{\circ}$ ,多为南倾,部分北倾,倾角一般 $25^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,以 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 者矿化最佳。该组断裂规模大小不等,延长从数m至数千m,以3000m者矿化较好,如杨砦峪、文峪和东闯等大型金矿,其控矿断裂延长均在3000~6000m(图1)。含矿断裂带内构造岩发育,主要有糜棱岩、千糜岩、构造片岩、碎裂岩和构造角砾岩等一整套韧—脆性剪切带系列构造岩,它们在不同的断裂内发育程度不同。一般大型容矿断裂带中发育糜棱岩系列岩石,分布于石英脉的两壁及其尖灭处;而碎裂岩及角砾岩则主要发育在中小型容矿断裂中。这种容矿断裂带中发育完整系列的构造岩,说明断裂带经历了从韧性至脆性的递进剪切变形作用。

### 2.2 显微构造特征

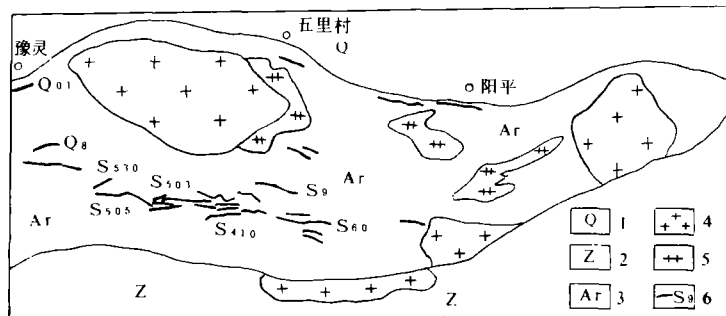
构造岩中显微构造现象特别发育。糜棱岩的主要矿物为石英和长石。石英表现为较强的韧性变形特征,如波状消光、变形纹、变形带、塑性拉长、拔丝构造以及亚晶、多边形化作用、动态重结晶和核幔构造等恢复构造;长石则主要表现为脆性破裂,如书斜构造、菱形节理等,但在一定程度上也发育塑性—半塑性变形,如双晶扭折、弯曲,机械双晶等。碎裂岩类岩石主要发育显微破裂,形成岩石角砾;其长石则发生碎裂化作用,石英发育波状消光或形成变形带等。在此不多冗述。

### 2.3 运动学分析

根据构造岩的如下特征可判别容矿断裂带为左旋逆冲推覆型韧—脆性剪切带<sup>[8]</sup>:

2.3.1 **S—C 结构** 其中S面理表现为拉长的石英条带、绢云母条带和长石碎斑长轴的定向排列;C面理为剪切面理,表现为绢英质呈定向排列。S与C的锐夹角指示左旋剪切(照片1)。

2.3.2 **不对称压力影** 核晶主要为黄铁矿,阴影部分为动态重结晶石英,它是同构造运动的产物,其结晶尾指示为左旋剪切(照片2)。



1. 第四系 2. 栾川群官道口群 3. 太华群 4. 花岗岩 5. 辉绿岩 6. 石英脉

图1 小秦岭区域地质及含金石英脉分布简图

Fig. 1 The sketch map showing regional geology and distribution of gold-bearing quartz veins

2.3.3 “书斜式”构造 主要由板条状长石残斑构成,其倾倒方向指示左旋剪切(照片3,4)。

2.3.4 长石残斑和竹节状石英构成反“S”形构造 长石和石英因剪切作用被拉断,呈反“S”形排列,指示左旋剪切(照片5)。

2.3.5 动态重结晶石英的结晶尾 因强烈的剪切作用,形成反“S”形构造,指示左旋剪切(照片1,6)。

### 3 含金石英脉体的特征

如上所述,小秦岭金矿床均由含金石英脉体组成。因此,剖析石英脉体的结构构造和组成特征及其与断裂带的关系,乃是解决石英脉体及金矿化在断裂带中定位机制的关键。

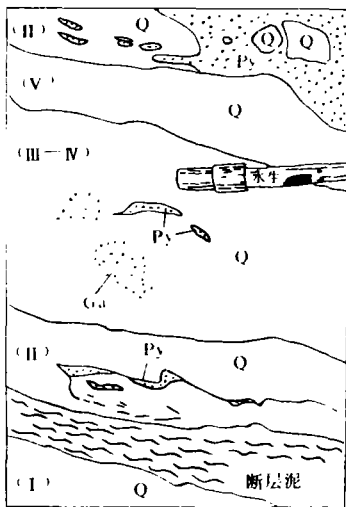
#### 3.1 石英脉体的结构构造特征

小秦岭含金石英脉一般呈透镜状,在断裂带中的分布是不连续的,各个石英脉体之间为遭受蚀变的糜棱岩类岩石。一个完整石英脉体皆由不同期次的成条带状或层状的次级脉体组成,这些次级脉体在平面上呈对称分布(图2),即边缘为早期次石英脉,向脉体内部逐渐变为晚期

次石英脉,至脉体中心则为最晚期次的石英—碳酸盐脉。因此透镜状脉体中部矿化期次最多,两端渐少,且主要为早期石英脉。就各期石英脉的规模和含金性来说,第I期矿化产物构成石英脉的主体,II、III、IV期矿化为最重要的矿化阶段。因此,透镜状石英脉体的中间部位含金性最佳。

#### 3.2 角砾岩块在脉体中的分布特征

小秦岭含金石英脉体中普遍含有角砾岩块,且脉体的边部及两端含量高,向中心渐少,甚至完全缺失,即早期次石英脉体含角砾岩块多,晚期较少。角砾一般呈条带状、片状、透镜状或棱角状,角砾岩块在石英脉体中呈“漂浮状”分布,其产状均与石英脉的产状相一致;其大小不等,小者仅几cm,大者可达1~2m,一般在数cm~数十cm。在垂直石英脉体走向方向上,从脉的边缘至中心,角砾岩块变化顺序为:围岩→半破裂角砾带→破裂角砾带→混杂角砾带。半破裂角砾带和破裂角砾带均为围岩就地发生角砾化的产物,其胶结物为石英,前者是围岩仅发生破裂,角砾之间无明显位移,仍具“可拼合性”,甚至与围岩也是“藕断丝连”或根部完全与围岩相连;后者角砾之间有一定位移,但也可拼合;也有一些大的角砾被拉断,形成“布丁构造”,显然它是高流体压力造成的(如图3a);混杂角砾带是既有原地角砾,也有异地角砾,排列无规律,角砾已发生明显位移、旋转(图3b)。在透镜状石英脉体的两端,主要



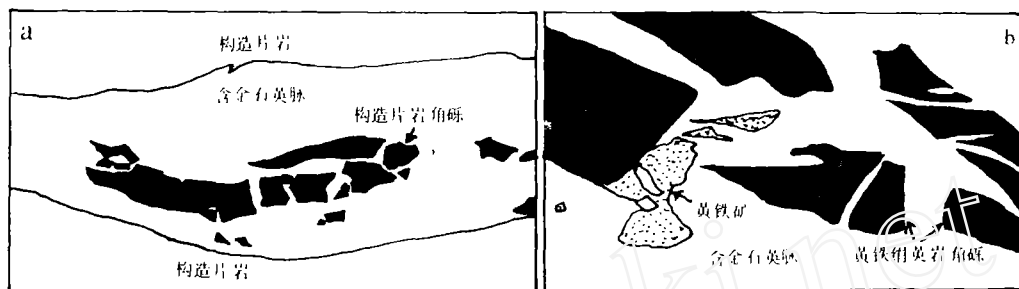
Q. 石英 Py. 黄铁矿 Ga. 方铅矿  
I~V. 成矿期次

图2 杨岩峪 $S_{60}$ 脉1794中段  
多期次石英脉示意图(据照片)

Fig. 2 The diagram showing  
ribbon quartz veins(after photo)

在透镜状石英脉体的两端,主要

是破裂、半破裂的围岩或糜棱岩化岩,这些破裂岩块的个体较大,一般在 0.5m 左右,大者达 2



a. C<sub>5</sub>脉 YD30--CD17 北壁(据晃援等,1989)之破碎角砾带

b. S<sub>6</sub>脉 YD4--CD11 东壁(据岳铮生,1986)脉内混杂角砾带

图 3 角砾岩块在石英脉的分布

Fig. 3 Diagram showing the distribution of wallrock's breccia

~3m,岩块之间无位移和旋转。

根据对含金石英脉体的结构构造剖析和所含角砾岩块的分析,作者认为小秦岭地区的容矿断裂并非先成断裂而是同生断裂,即容矿断裂的生成和含金石英脉体的定位几乎是同步的,且容矿断裂的生成乃含金热液的高流体压力所致,即液压致裂作用(Hydrofracturing)。石英脉体中的角砾为流体释放压力产生爆破而形成的。其详细证据见后述。

#### 4 容矿断裂的形成及含金石英脉的定位机制

依据容矿断裂与其脉状充填物的关系,可将容矿断裂分成两类,一是先成断裂,后被热液充填,断裂的形成与脉的充填之间有相当长的时差;另一种是断裂一旦生成,即被含矿热液所充填,且断裂的形成成为流体压力所致,它们之间时差极小,这种作用称液压致裂作用。两种断裂的形成机制不同,其断裂和充填物的特征也完全不同。现在所研究的含矿断裂多为前者<sup>[9,10]</sup>,但后者也受到了越来越广泛的重视<sup>[11,12,13,14]</sup>。小秦岭金矿带的容矿断裂就是由液压致裂作用所形成,而脉的生成机制则为“裂隙—愈合”作用<sup>[15]</sup>

##### 4.1 液压致裂作用的证据

容矿断裂的形成机制为液压致裂作用,证据如下:①如上所述及图 1 所示,围岩角砾岩块在石英脉中的展布、排列方式、结构构造都证明断裂是液压致裂作用所形成。②石英脉具平行复脉的特征,不同期次的石英脉在剖面上呈板状透镜状平行脉壁展布,在平面上呈对称分布,两侧脉的期次早,中间期次晚,它们是断裂多次“裂开—愈合”作用的结果。③不同期次的石英均具梳状构造,垂直脉壁生长,且后期脉中有先成石英脉体的角砾,证明后期脉体是在先成脉体裂开后,在完全开放的空间内生长的。④石英脉两侧围岩蚀变弱,蚀变厚度薄,蚀变分带差等特征说明石英脉是在断裂形成后产生压力降,含矿溶液就立即沉淀了,而不是含矿热液被动充

填充交代早期的断裂。

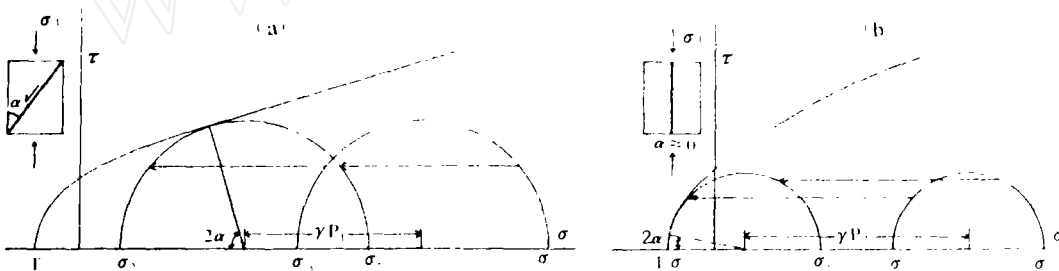
从上述几方面的特征足以证明容矿断裂是具有较大的流体压力的含矿热液所致,容矿断裂一旦形成,其空间就被含矿热液所充填。由于物理化学条件的骤变,如温压的降低,使含矿热液沉淀下来。

#### 4.2 液压致裂的理论依据

当岩石块体(假设为各向同性)受到  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  应力的作用,其应力状态可用莫尔圆表示(图4),其方程为:

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)^2 \quad (1)$$

岩石发生断裂的唯一条件就是莫尔圆必须与破裂包络线相切。这可通过如下两种途径来实现:①  $\sigma_1 + \sigma_3$  值变小,即绝对应力值减小,使莫尔圆左移并与包络线相切;② 增加流体压力,



(a) 高应力低流体压力状态(剪破裂); (b) 低应力高流体压力状态(张破裂)

图4 流体压力( $\gamma P_f$ )对岩石断裂的影响

Fig. 4 Diagram showing the affect of fluid pressure on fracturing

使有效正应力  $\sigma_1'$  降低,其结果是莫尔圆左移。对于具有一定破裂强度的岩石,靠降低绝对应力使其破裂在地质上是不可取的。因此增加流体压力就成了岩石破裂的关键,特别是容矿断裂地区内,岩石中含有大量的流体。下面具体分析流体压力对岩石断裂的影响。

设流体压力  $P_f$  作用于围岩后的有效压力为  $\gamma P_f$  ( $\gamma$  为校正系数),则有效正应力为  $\sigma_1' = \sigma_1 - \gamma P_f$ ,用  $\sigma_1'$  代替  $\sigma_1$ ,代入(1)式中得到有流体压力参与的莫尔圆方程:

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \gamma P_f\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)^2 \quad (2)$$

该方程构成的莫尔圆与(1)式的莫尔圆的唯一差别在于向左平移了  $\gamma P_f$  (图4a、b)。可见影响岩石断裂的因素有三:①抗张强度  $T$ ; ②岩石所受的应力  $\sigma_1 + \sigma_3$ ; 和③流体的有效压力  $\gamma P_f$ 。在  $T$  和  $\sigma_1 + \sigma_3$  恒定条件下,  $\gamma P_f$  是岩石发生断裂的关键因素,即满足  $\gamma P_f \geq \sigma_3 + T$  时才发生断裂。

在小秦岭金矿带,由于区域构造应力的作用,使岩石发生递进剪切变形,首先发生韧性剪切变形作用。这是一种扩容作用,使岩石的孔隙度加大,在应力松弛阶段即有大量含矿流体进入糜棱岩,由于液压传递作用,糜棱岩的孔隙液压与流体的压力相等。由于含矿溶液的压力很

大,可达108~163MPa(晁援,1983),所以有效正应力 $\sigma'_1(= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \gamma P_f)$ 变得较小,使莫尔圆向左平斜移 $\gamma P_f$ 。当 $\gamma P_f$ 足够大时,莫尔圆与包络线相切,岩石即发生破裂,这时的 $P_f$ 称为阈值。若 $\sigma_1 + \sigma_3$ 较大(高应力状态), $P_f$ 较小,则形成的破裂为剪破裂(图4a),否则形成张破裂(图4b)。小秦岭容矿断裂则为后一种情况,即应力低,流体压力大,产生容矿的张性破裂。一旦张性破裂形成,高压的含金流体立即拥入压力极低的张性空间,物理化学条件的变化使其沉淀其中。这时张性破裂停止扩展,破裂也因流体沉淀而愈合。这时流体压力相对 $P_{amb}$ 近似为零,莫尔圆右移,回复至无流体压力状态。上述过程为一个压力旋回。当来自深部的流体不断积累,流体压力也不断升高,莫尔圆逐渐左移,当达到使先成脉体破裂的阈值时,张破裂形成,含金流体充填并沉淀其中。如此反复进行,就形成了多期多阶段的具平行复脉的石英脉体。在莫尔圆上的表现就是莫尔圆左右摆动,其 $\gamma P_f$ 变化历程如图5所示。一旦 $\gamma P_f$ 达到 $\sigma_1 + T$ 时,岩石即发生破裂, $\gamma P_f$ 随之降低,直到与环境压力 $P_{amb}$ 达到平衡为止;此后随着流体的不断补给, $\gamma P_f$ 不断升高,在 $t_2$ 时又发生破裂。如此周期性变化,图4中之莫尔圆周期性左右摆动,就形成了条带石英复脉。

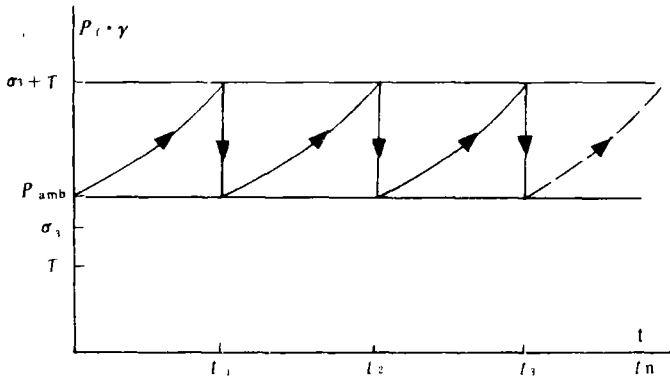


图5 有效流体压力 $P_f \gamma$ 变化曲线图

Fig. 5 The curves of  $p_f \gamma$  in the fractures

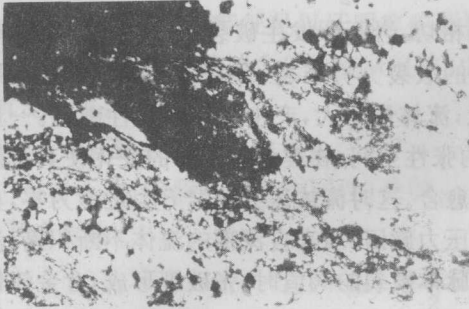
裂。实际上液压致裂作用远比上述复杂,它还受到岩石各向异性和先存断裂的控制<sup>[17]</sup>。Kerrich et al. (1988)<sup>[13]</sup>和中南工大构造研究室(1991)<sup>②</sup>分别详细讨论了岩石各向异性(软弱面或片麻理方向)及主应力旋转等因素有液压致裂作用产生的影响。

此外,含矿流体的热能可促使岩石发生热能致裂作用。由于成矿流体体系含有大量的热能,可使岩石体积发生膨胀,即产生扩容现象,同时,岩石体积膨胀可使流体的内压力急剧增大,最终形成破裂<sup>[18]</sup>,特别是在含斑岩体的矿区,热能致裂作用更为明显,德兴斑岩铜矿的放射状断裂即为热能致裂形成(高合明博士,1991,私人通信)。

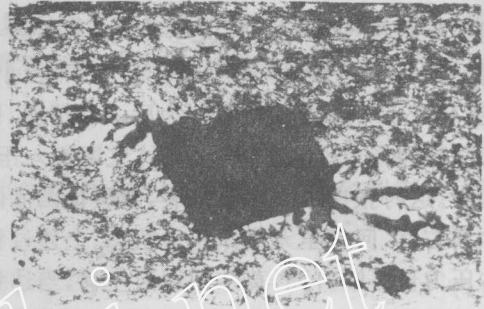
本次研究工作在野外期间得到了河南地质研究所刘长命、尉向东和徐莉、中南工大周翊以

① 晁小双. 西华山钨矿脉形成机制, 中南工业大学博士论文, 1987

② 中南工大构造室, 河南洛宁地区断裂构造带金银富集规律及远景评价, 1991



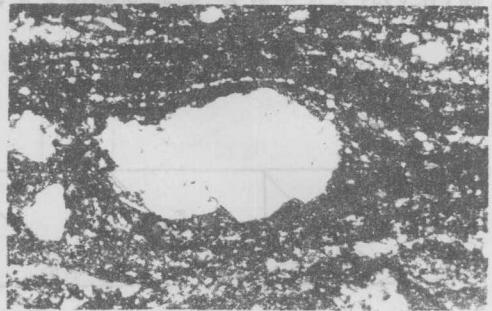
照片1 动态重结晶石英和绢云母构成S-C面理



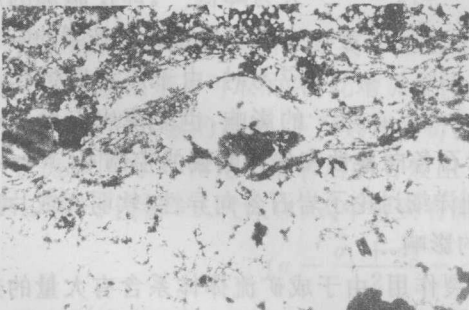
照片2 初糜棱岩中不对称压力影,核晶为黄铁矿



照片3 糜棱岩中倾斜长石残斑构成的“书斜式构造”



照片4 糜棱岩化片麻岩中的“书斜式构造”



照片5 长石残斑和竹节状石英构成反“S”形构造



照片6 动态重结晶石英集合体结晶尾构成反“S”形构造

及秦岭金矿、文峪金矿和桐峪金矿地测处等许多同志的大力协助,谨致诚挚谢意!

### 参考文献

- 1 栾世伟等.小秦岭金矿地球化学.矿物岩石,1985,5(2):1-112
- 2 胡志宏等.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,1986,16(2):63-74
- 3 姬金生.小秦岭西段金矿床氢氧同位素研究.矿床地质,1991,10(3):283-288
- 4 晁援等.陕西小秦岭金矿控矿条件及脉体评价标志.中国金矿主要类型区域成矿条件文集(3),地质出版社,1989,87~139
- 5 邵世才,何绍勋等.华北地台南缘金矿带铅同位素研究.中南矿冶学院学报,1992,23(6)
- 6 栾世伟等.小秦岭金矿糜棱岩成因机理及其与金矿化的关系.1986,13(3):32-40
- 7 胡正国.太古宙高级变质地体中金矿床的一种形成机制——以陕西潼峪金矿为例.黄金科技动态,1969,(2)11-16
- 8 何绍勋等.一种新的金矿化类型——剪切带型金矿.中国有色金属学报,1992,2(2):1-6
- 9 陈国达.成矿构造研究法(第二版).地质出版社,1985,121-193
- 10 曾庆丰.论热液矿床的形成条件.科学出版社,1986,76-151
- 11 Cox S F, et al. the role of fluids in syntectonic mass transport and the localization of metamorphic vein-type deposits. Ore Geol. Rev. 1987, (2):65-86
- 12 Sibson R H, et al. high-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. Geology, 1988, 16, 551-555
- 13 Kerrich R, et al. the formation of gold deposits with particular reference to Archean greenstone belts and Yellowknife(1). Contribution to Geol. NW Territories(Canada), 1988, 3, 37-62
- 14 Moritz R P, et al. mechanics of formation of the gold-bearing quartz-fuchsite vein at the Dome mine, Timmins area, Ontario. Can. Jour. Earth Sci. 1990, 27, 1609-1620
- 15 邵世才,何绍勋等.太古宙含金石英脉金矿床的构造定位机制.地质与勘探,1991,27(7)
- 16 Griggs D T. Hydraulic weakening of quartz and other silicates. Geophy. J. Roy. Astron. Soc. 1967, 14, 19-31
- 17 Haimson B C. Large scale laboratory testing of hydraulic fracturing. Geophy. Research Lett. 1981, 8, 715-718
- 18 於崇文等.云南个旧锡—多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系,中国地质大学出版社,1988. 261-266

## RESEARCH ON MECHANISM OF FORMATION OF THE ORE-HOSTED FRACTURES AND GOLD-BEARING QUARTZ VEINS AT XIAOQINLING AREA

*Shao Shicai He Shaoxun and Xi Xiashuang*

*(Department of Geology, Central-south University of Technology)*

### Abstract

A complete set of fault rocks from mylonite to cataclasite are present in the ore-hosted fractures at Xiaojinling Au-ore area where microstructural phenomena are very common. The fractures are sinistral thrust-type ductile-brittle shear zones and formed by the hydrofracturing by the high fluid pressure. The cyclic crack of the fractures and cyclic sealing caused by the ore-forming fluids produced the multistage gold-bearing quartz veins.