

文章编号:1001-8166(2003)02-0317-04

构造透镜体中成矿雏形断裂的形成过程*

汪劲草,夏 斌,汤静如

(中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州 510640)

摘 要:以应力—应变曲线峰值为界,岩石破坏可分为 2 个阶段,前阶段发育为雏形断裂,后阶段发育成宏观断裂。雏形断裂是一种特殊的断裂形式,在自然界中少见宏观断裂。与宏观断裂不同的是,雏形断裂既无断层面,又无碎裂岩,仅由小(微)裂隙组成。裂隙通常互不连通,总体具优选方向,且集中成透镜状裂隙群。裂隙群中部裂隙最发育,往边部渐趋消失。透镜状裂隙群之间呈雁列式排布,易发育和保存于构造透镜体弱应变域中。主要变形机制有液压致裂和应力腐蚀。形成前经历过微裂隙闭合、弹性变形和微裂隙生长扩容 3 个阶段。以 2 个中型金矿床为实例,研究了这一新发现的成矿构造的地质特征,认为变形分解、液压致裂和构造泵吸三者相互耦合,在雏形断裂形成与成矿过程中发挥关键作用。雏形断裂发育阶段可以形成独立的工业矿体。

关 键 词:构造透镜体;雏形断裂;小(微)裂隙群;液压致裂

中图分类号:P54 **文献标识码:**A

岩石破坏实验已经证实^[1~4],在具有主裂面的宏观断裂形成前,岩石中固有或新增的显微裂隙会逐渐增加并生长,形成肉眼可见的非连通的定向小裂隙群,直至岩石扩容率达到极大值。但是,小裂隙群遗迹在自然界中很难保存,这是缘于岩石在变形过程中,很容易超过应力—应变曲线峰值,而直接发育成宏观断裂。然而,近年来,我们发现在特殊情况下,如构造透镜体弱应变域中,天然发育的小(微)裂隙群往往能够保存,而且还发现它是一种新的成矿构造类型。本文则希望对 2 个中型规模金矿床的构造解析,阐述由上述一系列呈雁列分布的小(微)裂隙群透镜体组成的构造带(简称雏形断裂)的地质特征与形成过程。

1 实 例

实例 1 来自山东焦家红布金矿床^[5](图 1)。该金矿发育于焦家断裂带下盘,夹持于焦家金矿与新城金矿间,离焦家断裂带的水平距离超过 200 m,产于肉红色玲珑钾长花岗岩中。它由 1、2 号矿体组

成,两矿体皆呈长扁透镜体,横剖面上呈斜列式排布,透镜体 XY 面产状约 295°∠70°,矿体向南西侧伏,侧伏角约 60°,延深(X 轴)大于 250 m,最大厚度(Z 轴)30~40 m,最大水平长度(Y 轴)超过 150 m。矿体品位一般介于 1~10 g/t,平均约 4 g/t。单个矿体无明显边界,须取样分析确定。矿体中未见由宏观破裂面——断层或节理控制的规模较大的线性矿化体。矿化母岩——肉红色钾长花岗岩中发育许多肉眼可见的小裂隙,为含金硫化物愈合。无论局部或整体,微裂隙分布都不均匀。总体上,愈往透镜状矿体中心,小裂隙愈发育,矿石品位也愈高。单个小裂隙长度一般为 3~10 cm,宽度一般为 1~3 mm,属中间宽两端窄的闭合型张破裂,总体具优选方向,其与矿体 XY 面近于一致。小裂隙最大发育密度约 80 余条/m,最少约 25 余条/m。显微镜下,在小裂隙的附近,还有一些与其走向近于一致的显微张裂隙,长度一般为 0.05~0.15 cm,宽度一般为 0.01~0.03 mm,为石英—硫化物集合体愈合。由于小或微裂隙彼此间连通性较差,规模较小,又未发

* 收稿日期:2002-06-01;修回日期:2002-09-24.

* 基金项目:国家重点基础研究发展规划项目“古陆缘成矿系统与金铜多金属成矿作用”(编号:2001CB409805)资助。

作者简介:汪劲草(1963-),男,湖北省应城市人,高级工程师,主要从事构造地质研究。E-mail:wangjincao@263.net

生破裂间的摩擦破坏,故钾长花岗岩的整体结构基本保存完整。矿石矿化类型为细脉浸染型,俗称为“红矿”。矿石构造岩类型为微碎裂化钾长花岗岩。

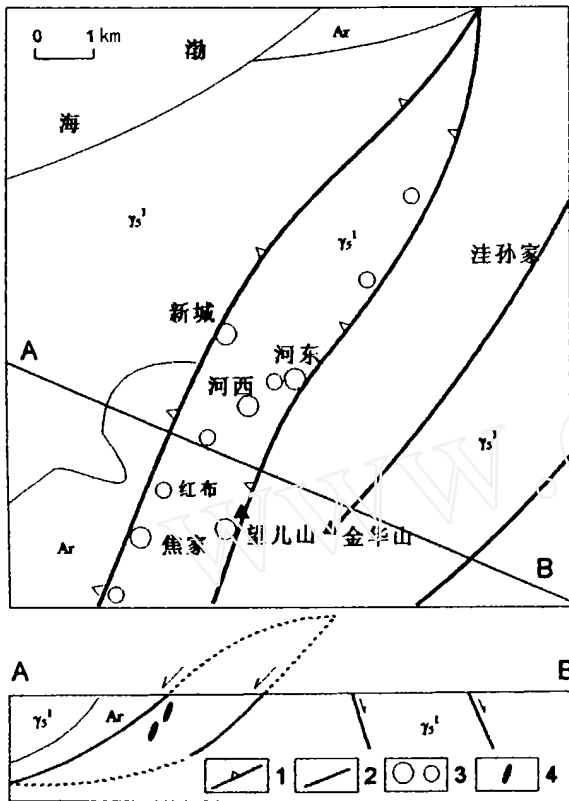


图 1 山东焦家金矿区地质构造平、剖面略图

Fig. 1 Sketch geological-structural map and section of

Jiaojia gold mine district in Shandong

- 1. 低角度左旋斜滑正断层; 2. 高角度左旋斜滑正断层;
- 3. 特大型和中、小型金矿床; 4. 雏形断裂控制的透镜状金矿体;
- Ar. 太古宙片麻岩系; $\frac{1}{2}$. 燕山早期花岗岩; AB. 剖面
- 1. Low-angle, left-lateral, inclined glide normal fault;
- 2. High-angle, left-lateral, inclined glide normal fault;
- 3. Oversize and middle or small-size gold deposits;
- 4. Lenticular gold orebodies controlled by embryo-fault;
- Ar. Gneiss series of Archean era; $\frac{1}{2}$. Granite of early Yanshan period; AB. Section

实例 2 来自河北尖宝山金矿床(图 2)。该金矿床位于冀东宽城县境内,发育于喜峰口—二道河子断裂带西端,受 2 条宏观脆性断裂夹持的构造透镜体控制。两断裂 F_2 、 F_3 发育碎裂岩和断层泥,无矿化或仅有弱矿化显示,断面总体倾向南东,倾角 $60 \sim 80^\circ$,具左旋斜滑性质,斜滑角约 65° 。构造透镜体为中元古界长城系常州沟组,岩性为厚层粗粒石英砂岩;其下盘为太古宙迁西群拉马沟组地层,岩性为角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩及花岗片麻岩;上盘为中元古界长城系高于庄组,岩性为厚层粗晶白云岩。

夹薄层含燧石条带白云岩。在石英砂岩透镜体内两侧靠近 F_2 、 F_3 的边部,发育一系列在平面上呈右行雁列式排布的透镜状金矿体,其长轴与边界断裂呈现 $25 \sim 35^\circ$ 交角。矿体品位一般介于 $0.5 \sim 12 \text{ g/t}$,平均约 5 g/t 。单个矿体无明显边界,须取样分析圈定。愈往透镜状矿体中心,小裂隙愈发育,矿石品位也愈高。单个小裂隙长度一般为 $1 \sim 5 \text{ cm}$,宽度一般为 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 。小裂隙最大发育密度约 120 余条/m,最少约 40 余条/m。小(微)裂隙为含金硫化物石英细脉愈合。显微镜下,在小裂隙的附近,也有一些与其走向近于一致的显微张裂隙,长度一般为 $0.02 \sim 0.10 \text{ cm}$,宽度一般为 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 。受左旋斜滑构造动力影响,雁列透镜状矿体向东北方向侧伏,即愈往东北方向矿体延伸愈深。矿化母岩石英砂岩整体结构基本完整。矿石矿化类型俗称为“长城式”微细浸染型。矿石构造岩类型为微碎裂化石英砂岩。

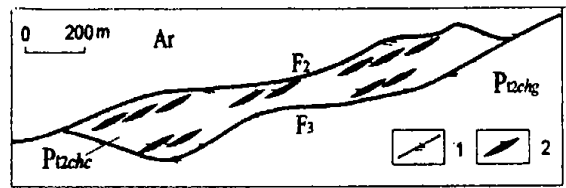


图 2 河北尖宝山金矿地质构造略图

Fig. 2 Sketch geological-structural map of Jianbaoshan gold mine in Hebei province

- 1. 左旋正断层; 2. 雏形断裂控制的透镜状金矿体;
- Pt2chg. 中元古界长城系高于庄组; Pt2chc. 中元古界长城系常州沟组; Ar. 太古宙迁西群
- 1. Left-lateral normal fault; 2. Lens-like gold orebody controlled by embryo-fault;
- Pt2chg. Gaoyuzhang formation of Changcheng system in middle Proterozoic ear; Pt2chc. Changzhougou formation of Changcheng system in middle Proterozoic ear;
- Ar. Qianxi group in Archean ear

2 成矿雏形断裂的形成过程

基于上述实例,并应用岩石破坏实验的成果以及变形分解^[6,7]、液压致裂^[8]和构造泵吸^[9]等理论,进一步讨论成矿雏形断裂的形成过程。

在脆性域中,不均一地地质体递进变形时,就会发生变形分解,非能干性岩石首先屈服,形成宏观断裂,随之出现分枝与联合,而能干性岩石则受到剪切磨削,逐渐发育成构造透镜体。由于断裂沟通着深部承压热流体,且又摩擦增温,因此,在断裂带内,流体温压相对较高,而在构造透镜体内,孔隙流体温压则相对滞后。随着应力在构造透镜体内逐渐积累,应力集中区岩石将发生体积收缩,原有微裂隙闭合,

并引起孔隙液压增加,有效正应力减小。当某处孔隙流体压力(P_f)大于或等于最小主压应力(σ_3)和最小抗张强度(T)之和时,孔隙液压致裂就会发生^[10]。而且,应力腐蚀可以降低岩石的临界应力强度因子(K),即减小岩石的抗张强度,使岩石更易于发生破裂。微裂隙扩容后,流体压力降低,使得宏观断裂带内温压相对高的成矿流体,向透镜体内温压相对低的扩容空间发生定向渗透,从而引起扩容空间中流体压力逐渐回升,并再次引发液压致裂。其间,当温压满足流体中矿物如硫化物、石英的结晶条件时,就会发生沉淀愈合。上述过程会反复发生,即产生周期性的构造泵吸、液压致裂与沉积愈合,直至构造—流体动力系统满足岩石不会破坏的临界动力学条件为止。由于应力的传播具有波动性质^[11],故在均质岩石中应力会呈近等距斜列分段集中,其分布及裂隙的扩展方向遵循 Reidel^[12]简单剪切系统模型,这可能是锥形断裂中透镜状小(微)裂隙群呈雁列式排布,及透镜体的XY面与构造透镜体边界呈锐角相交的原因。由于最初岩石是近于均一的,故应力可能在大集中区内呈近椭圆体分布,且呈现出中间强边部弱的过渡性,这可能是导致中间扩容强而裂隙发育、边部扩容弱而裂隙欠发育及矿石品位发生规律性变化的原因。锥形断裂形成后,岩石变得不均一,构造应力就会相对集中,矿体中就可能形成新的宏观脆性断裂(图3)。

3 认识

综合上述,我们可以给锥形断裂下一个定义,锥形断裂是指岩石在构造应力、液压致裂及应力腐蚀下发育的、由一系列呈雁行状分布的小(微)($10^{-2} \sim 10^2$ mm)裂隙群透镜体组成的非连续的线性构造带;裂隙群发育地带岩石结构基本完整,未出现连续的宏观线性破裂面及由摩擦作用产生的角砾状构造岩;锥形断裂处于宏观断裂形成的初始阶段,即岩石破裂发生于应力—应变曲线峰值以前。

锥形断裂控制的矿体有如下特征:矿体发育于宏观脆性断裂旁侧特别是构造透镜体弱应变域的边部;赋矿母岩结构较均一、能干性较强和孔隙度较高;矿体呈透镜体、无明显边界、品位中间高而边部低;小(微)裂隙具优选方向、属张破裂。

致谢:在写作过程中,彭恩生教授曾提出过许多宝贵意见,在此谨致感谢。

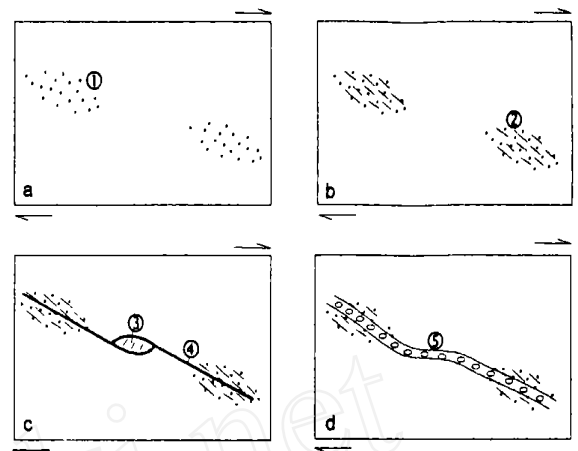


图3 递进变形过程中锥形断裂的形成与演化

Fig. 3 Formation and evolution of embryo-fault in progressive deformation process

- a. 微裂隙闭合与弹性变形阶段; b. 微裂隙生长与扩容阶段; c. 主裂面形成阶段; d. 构造岩带形成阶段; 应力集中区微裂隙群; 由小(微)裂隙群组成的锥形断裂; 断层桥; 主断裂面; 具构造岩的宏观断裂
- a. Microfissure closing and elastic deformation phase; b. Microfissure growth and dilation phase; c. Formation of principal fault surface; d. Formation of tectonite zone; Microfissure group in stress mustering area; Embryo-fault consisting of minute and micro-fissures; Fault bridge; Principal fault surface; Macro-fault developing tectonite

参考文献(References):

- [1] Li Jinguo, Wu Xiuquan, Zhang Botao, *et al.* Experimental research on the fracturing of dissected rock under confining pressure [J]. *Earthquake Geology*, 1984, 6(2): 75-80. [李建国, 吴秀泉, 张渤涛, 等. 在围压条件下切口岩石破裂过程的实验研究[J]. *地震地质*, 1984, 6(2): 75-80.]
- [2] Zhu Dagang. Study on micro-configuration of rock fissure formed by experiment [J]. *Journal of Geological Mechanics*, 1997, 3(1): 57-61. [朱大岗. 实验岩石裂隙微观形态初探[J]. *地质力学学报*, 1997, 3(1): 57-61.]
- [3] Atkinson B K. Subcritical crack growth in geological materials [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89(B6): 4 077-4 114.
- [4] Means W D. Kinematics, stress, deformation and material behavior [J]. *Journal of Structure Geology*, 1990, 12(8): 953-971.
- [5] Wang Jincao. Ore-body controlled by embryo-faults discovered in lower wall of the Jiaojia fault, eastern Shandong [J]. *Geological Review*, 2002, 48(3): 248. [汪劲草. 山东焦家断裂带下盘发现锥形断裂控制的工业矿体[J]. *地质论评*, 2002, 48(3): 248.]
- [6] Bell T H. Deformation partitioning and porphyroblast rotation in metamorphic rock: A radical reinterpretation [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1985, 3(2): 109-118.

- [7] Wang Chunzeng. Deformation partitioning and its research significance [J]. Geological Science and Technology Information, 1988,7(2):13-19. [王春增. 变形分解作用及其研究意义[J]. 地质科技情报,1988,7(2):13-19.]
- [8] Phillips W J. Hydraulic fracturing and mineralization[J]. Journal of Geological Society,1972,128:337-359.
- [9] Sibson R H. Earthquake faulting as a structural process [J]. Journal of Structure Geology,1986,11:1-14.
- [10] Sibson R H. Brecciation process in fault zones [J]. Pure and Applied Geophysics, 1986, 124:159-175.
- [11] Zhai Yusheng, Deng Jun, Li Xiaobo. Regional Metallogeny [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 164-166. [翟裕生,邓军,李晓波. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社, 1999. 164-166.]
- [12] Robert F.Brown A C. Archen gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada[J]. Economic Geology,1986,81:578-593.

FORMATION OF METALLOGENIC EMBRYO-FAULTS IN TECTONIC LENS

WANG Jin-cao, XIA Bin, TANG Jing-ru

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: According to the dividing line of peak value of stress/strain curve, lithofraction may be divided into two phases which the former develops embryo-fault and the latter forms macro-fault. Embryo-fault is a kind of special fracture types that are much less than macro-faults in nature. Compared with macro-fault, embryo-fault only consists of minute fissures and micro-fissures without fault surface and cataclasis. Fissures don't link each other, have whole preferred orientation and assemble a series of fissure lens. Fissures grow mostly in the center of fissure group and in going outwards disappear gradually. The fissure lens group, in an echelon arrangement, is easy to be developed and conserved in the weak strain domain of tectonic lens. The primary deformation mechanism of embryo-fault is hydrofracture and stress corrosion, and its formation experiences three stages: microfissure closure, elastic deformation and microfissure growth dilation. On the basis of two medium-size gold deposits, authors study the geological feature of the metallotectonics discovered newly, realizing that the coupling between deformation partitioning, hydrofracturing and tectonic pumping plays a key part in the formation of embryo-fault and its mineralization. The orebodies may form in the forming process of embryo-fault.

Key words: Embryo-fault; Minute fissure and microfissure; Tectonic lens; Hydrofracturing.