

· 问题讨论 ·

亦论韧性剪切变形与金的成矿作用

——与邵世才《试论韧性剪切变形与金的成矿》一文的讨论

陈柏林 李中坚 董法先

(中国地质科学院地质力学研究所)

剪切带型金矿是一种重要的金矿类型,韧性-超韧性深层次剪切变形是促使 Au 元素活化分异,形成动力变质含金热液的过程,中浅层次的韧脆性、脆性剪切变形区是 Au 元素聚集成矿部位。韧脆性剪切带的不同变形层次及其构造岩类型决定了剪切带型金矿床的矿化类型。剪切带型金矿床往往具有成矿时代滞后、空间规模差异、物源指示差异、韧性变形强度与 Au 元素含量反相关等异常特征。长期演化的造山带附近及边缘是寻找大型剪切带型金矿床的有利地区。

关键词 韧性剪切带 金矿床 成矿作用 演化 动力分异 (变质) 热液

韧性剪切带型金矿床多年来一直受到国内外学者的重视,对其研究也取得了很大进展^[1-12]。近年来对韧性剪切带的成矿机制,从元素地球化学特征、成矿过程能量转化特征和高温高压成矿实验等多方面进行了探讨^[13-18]。上述研究虽进展很大,但仍存在许多不足之处,特别是没有从地质演化的角度来分析韧性剪切带与金矿的关系,从而使一些地质事实难以解释。邵世才以韧性剪切带(未受蚀变矿化影响的)构造地球化学剖面研究中“变形越强,金元素含量越低”等 6 条依据,提出“韧性剪切作用本身成矿的可能性较小”,“而是后期热液的交代蚀变所产生矿化”的认识^[19]。

笔者认为,韧性剪切变形与金矿成矿作用的关系可分为两个层次(图 1)。第一个是深层次的韧性-超韧性变形,使岩石中的 Au 元素被活化分异,并与 K、Ni、Si、H₂O 等形成动力分异变质热液^[13,17,20-22],是元素活化分异迁出区。在这个层次上,韧性变形越强,原岩中 Au 元素分异析出越多,糜棱岩中剩下的 Au 元素含量就越低。第二个是中浅层次韧脆性、脆性剪切变形域的 Au 元素富集成矿区。依据赋矿剪切带的变形差异及其所控制的金矿化类型又可分为 3 个亚区: a) 在韧脆性转化区域,温压较高,韧脆性剪切强烈,形成糜棱岩和构造片岩,当从深层次韧性变形中分异形成的含金沿剪切带上升运移至本区段时,沿韧脆性糜棱岩中的 C 面和各种微裂隙发生交代蚀变,则形成蚀变糜棱岩型金矿化,这种蚀变糜棱岩中的矿化微细脉往往在 1 mm 左右或更细,这已被众多含金糜棱岩的微观构造研究所证实^[5,6,10,12,17]; b) 在韧脆性区上部及脆性变形区,由于以脆性破碎为主,形成各种碎粒岩或碎粉岩,当含金热液上升至该区段时,沿碎粒岩的微裂隙或全岩发生交代蚀变和矿化,则形成构造蚀变岩型金矿

化^[12, 19, 20, 23]; c)在地壳浅部,剪切变形表现为脆性断层或裂隙带,当含金热液上升至该段时,沿脆性断层或裂隙带充填矿化,则形成石英脉或细网脉型金矿化^[2, 11, 12, 15, 24]。

然而,韧性剪切带大多发育于造山带中.随着造山带的演化,韧性剪切带的演化表现是不断被抬升剥蚀,深部的大规模韧性剪切变形和 Au 元素活化分异作用仍在持续进行,动力变质热液不断沿剪切带上升,在韧脆性区和脆性区交代充填矿化.这种演化的结果是,稍晚的矿化叠加在稍早的韧性剪切变形糜棱岩之上,稍晚的石英脉型矿化叠加在稍早的蚀变糜棱岩型矿化之上.这种叠加矿化和剪切带演化持续进行将导致复杂的矿化类型叠加,甚至出现稍晚的石英脉型金矿化位于稍早形成的蚀变糜棱岩型金矿化之下的反序现象^[23, 24] (图 2)。

目前我们所观察到和研究的正是复杂矿化,变形叠加的韧性剪切带剖面的某一个中段.也正是这种长期演化和变形、矿化的叠加,才造成剪成带型金矿床独有的特征。

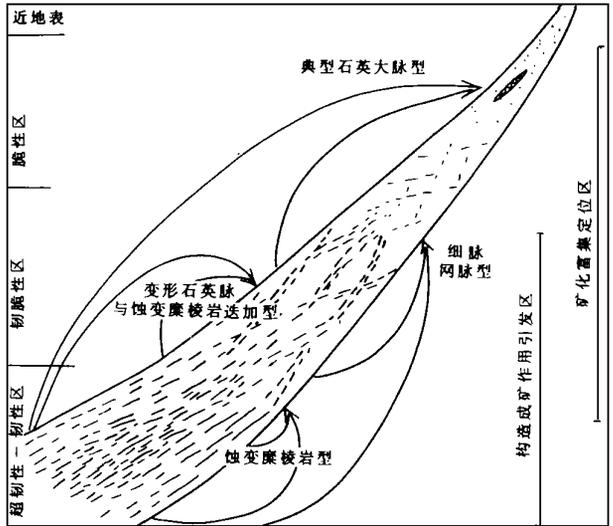
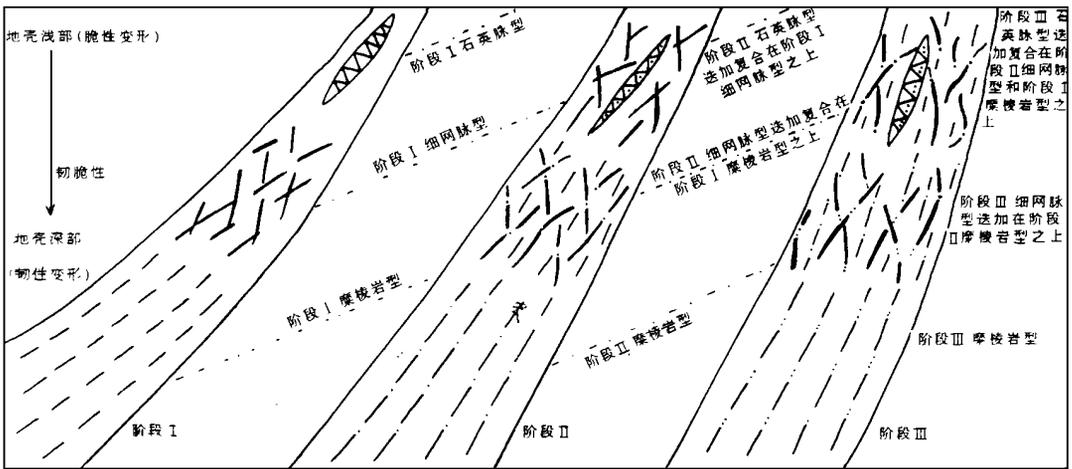


图 1 剪切变形域与金矿化类型关系图

Fig. 1 Sketch showing the relationship between types of gold mineralization and shear deformation



造山运动过程中,构造变形带,矿化带抬升剥蚀与构造变形、成矿作用同步持续进行。

图 2 构造演化与金矿化类型叠加关系模式图

Fig. 2 Model of the relationship between structural evolution and superimposed gold mineralization

现按邵世才文中所列的 6 条理论依据进行讨论。

(1) 从 Au 元素的供应量来看, 虽然韧性剪切带都呈狭长带状, 且目前所见的大型韧性剪切带并不含矿, 而含矿的都是中小型次级剪切带, 但是同一条断裂构造 (或剪切带) 在脆性域的规模较小, 而在韧性域的规模要大得多^[24-27]。目前所见的大型韧性剪切带是较早的韧性剪切带, 它变形时活化分异的 Au 元素及在中浅层次富集形成的金矿体已经被剥蚀; 目前所见到的含金的韧脆性剪切带是稍晚的, 是叠加在较早韧性剪切带之上或变质岩之中的, 比它规模大得多且为其提供 Au 元素来源的韧性-超韧性剪切变形带仍在地下尚未出露。

如果从岩石体积来说, 地壳深层次韧性剪切带体积绝大多数都大于 $5000 \text{ m} \times 3000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$, 若以此体积为准, 假设岩石能提供的金按 3×10^{-9} 计, 则足以提供 120 t 金^①, 更何况地壳中许多变质岩含金量较高, 能够提供的金也大于 3×10^{-9} , 而且韧性剪切带的规模要大得多。因此, 大型韧性剪切带在韧性变形过程中引发的 Au 元素活化分异所能够提供的金足以形成大型-特大型矿床。

(2) 矿床地球化学研究认为剪切带型金矿床的成矿物质来源均为深部或容矿围岩, 这是事实。关键在于“深部”和“围岩”涵盖的尺度和时间演化效果上。首先, 在剪切带剖面上, 相对于韧脆性和脆性变形层次 Au 元素聚集成矿区而言, 处于韧性-超韧性的深层次剪切变形及其形成的动力分异作用和动力变质含金热液具有“深部”的特征; 其次, 这种动力分异作用也是动力变质作用中产生的, 而大多数前寒武纪变质岩的变质作用都伴有强烈的变形作用, 变形变质和变质变形及其所形成的含金热液是无法区别的, 或者说其实质是一致的; 第三, 在广大前寒武纪变质岩区, 由韧性剪切变形引发的含金变质热液的地球化学物源指示显然与金矿围岩——同样的变质岩——是一致的; 第四, 含金动力变质热液沿剪切带上升至地壳浅层次时, 必然会有大气降水的混入。因此, 不论是加拿大阿比提绿岩带、西澳地盾, 还是我国华北地台周边的剪切带型金矿床的成矿元素, 均来自太古宙变质岩, 成矿热流体为变质水和部分大气降水, 在成因上与变质热液型或改造型金矿床有许多相似之处^[28, 29]。

(3) 在韧性剪切带变形过程中, 受剪切的岩石化学位较高, 且变形越强, 岩石化学位越高。从元素的迁移规律上看, 它总是由化学位较高的区域向化学位较低的区域迁移。而韧性剪切带作为一条变形带, 较未变质的前寒武纪岩石更容易让含金热液沿其向地壳浅部运移。因此, 由韧性变形动力分异形成的含金热液大部分沿韧性剪切带向上运移, 只有少数扩散到围岩中去。当然在元素分异迁出区的韧性变形域, Au 元素是降低的, 变形越强, 降低越多; 而中浅层次蚀变矿化区, Au 元素含量升高。有地方降低, 便有地方升高, 物质是守恒的。

(4) 成矿时代总是滞后于赋矿的韧性剪切带。由于 Au 元素活化分异区与聚集成矿区位于剪切带剖面的不同层次上, 目前人们能观察到的是同一部位的地质体。要使不同层次的地质现象出现在同一地质体内, 只有在造山升降过程中通过时间差补偿才能实现。因此, 目前所见的矿体所赋存的韧性剪切带是被抬升了的稍早的深层次韧性剪切带, 其中的金矿化稍晚一些。使含金热液形成的韧性剪切带的韧性-超韧性深层次变形域仍处在地下, 尚未出露地表。

(5) 从金的丰度来说, 要达到工业矿体须富集 $10^3 \sim 10^4$ 倍, 邵文认为没有足够时间达到富集这样多的倍数。这是概念上的误解: ①富集倍数与时间有关, 但并不一定呈简单的正相

① 邵世才原文计算有误, 若按 $100 \text{ m} \times 500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 体积和 Au 以 3.5×10^{-9} 计, 仅能提供 0.2 t 金。

关;②只要变形过程中能有足够的 Au 元素被活化分异出来进入含矿热液,而这些成矿物质在某一有限区域内聚集,便可形成工业矿体,否则不论时间多长,物质总量多么可观,也不一定形成工业矿体;③仅从造山带演化来看,一次造山运动持续的时间往往达到 20 Ma 以上.因此,时间不是决定因素,决定因素是有物质存在,有使物质活化分异—运移—聚集的构造变形作用和各种物化条件.

(6) 矿化剪切带构造地球化学剖面研究认为,变形越强、构造差应力越大,金含量越高^[30-32],并据此论证剪切带与成矿有关.这实际上是一种假象,或者说是张冠李戴的结果.上述研究的都是矿化了的韧性剪切带,矿化是稍晚由更深层次的韧性变形所活化分异出来的含金热液造成的,而深层次的韧性变形过程 Au 元素含量是降低的.

总之,上述这些异常特征虽然表面上与韧性剪切带成矿的观点相矛盾,但正是这些差异或矛盾促使人们更深入地研究韧性剪切带成矿作用的机理,从而能够更客观地了解韧性剪切带的成矿过程,建立韧性剪切带金矿成矿模式.

参考文献

- 1 博伊尔 R W. 金的地球化学及金矿床. 1979. 马万钧, 等译. 北京: 地质出版社, 1984.
- 2 Bonnemaison M, et al. Auiferous mineralization in some shear zone: A three-stage model of metallogenesis. *Mineral Deposit*, 1990, 25 (2): 96~104.
- 3 Kerrich R, et al. The formation of gold deposits with particular reference to Archean greenstone belts and Yellowknife. *Contrib. Geol., NW Territories (Canada)*, 1988, (3): 37~62.
- 4 凌井生. 广东高村金矿韧性剪切带的构造和成矿特征. *广东地质*, 1988, 3 (1).
- 5 凌井生. 河台韧性剪切带蚀变糜棱岩型金矿的地质特征、矿床成因与成矿模式. *广东地质*, 1992, 7 (3).
- 6 曲亚军, 等. 排山楼金矿床地质特征及金质来源. *辽宁地质*, 1990, (4).
- 7 曲亚军. 韧性剪切带内金矿床类型及找矿标志. *辽宁地质*, 1991, (2).
- 8 黄宏立, 等. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因. *地质找矿论丛*, 1990, 5 (2).
- 9 孙宝珊, 等. 金厂峪动力变质金矿床的研究. 见: *地质力学所所刊* (第 7 号). 北京: 地质出版社, 1986 39~54.
- 10 孙胜龙. 夹皮沟韧性剪切带与金矿富集规律探讨. *黄金*, 1990, 11 (7): 6~10.
- 11 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 (1) 1~6.
- 12 曲国胜. 剪切带型金矿成因. *大地构造与成矿学*, 1991, 15 (3): 225~232.
- 12 董法先, 等. 庞西碛金银矿成矿构造及构造动力条件. 见: *地质力学文集* (第九集). 北京: 地质出版社, 1993 202~220.
- 14 刘劲鸿. 论太古宙含金剪切带的成矿机制. *长春地质学院学报*, 1991, 21 (2): 157~166.
- 15 Boullier A M, Robert F. Palaeoseismic events recorded in Archean gold-quartz vein networks. *J. Struct. Geol.*, 1992, 14 161~179.
- 16 岳石, 等. 关于韧性变形与成矿作用的一些实验结果. *地质找矿论丛*, 1990, 5 (4): 30~36.
- 17 董法先, 陈柏林, 等. 安徽界岭金矿及其外围成矿控矿构造与找矿方向. 北京: 地质出版社, 1993.
- 18 周济元, 等. 动力驱动矿液运移的若干问题与成矿预测. 见: *地质力学文集* (第八集). 北京: 地质出版社, 1989 47~58.
- 19 邵世才. 试论韧性剪切作用与金的成矿. *贵金属地质*, 1996, 5 (2): 142~145.
- 20 杨开庆. 构造控岩控矿与构造成岩成矿. 见: *地质力学论丛* (第 6 号). 北京: 科学出版社, 1982.
- 21 张治洮. 动力分异及其在成岩成矿作用中的意义. 见: *地质力学研究所所刊* (第 7 号). 北京: 地质出版社, 1986 129~140.
- 22 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容和方向. 见: *地质力学研究所所刊* (第 7 号). 北京: 地质出版社, 1986 1~

- 13.
- 23 张韞璞, 等. 胶东焦家式金矿地质特征及找矿模式. 见: 国际金矿地质与勘探学术会议论文集. 沈阳: 东北工学院出版社, 1989, 358~ 362
- 24 吕古贤. 胶东玲珑-焦家式金矿地质. 北京: 科学出版社, 1993.
- 25 Ramsay J.G. Shear zone geometry: A review. *Struct. Geol.*, 1980, (2): 83~ 99.
- 26 Sibson R.H. Fault rocks and fault mechanism. *Geol. Soc. London*, 1977, 133 191~ 213.
- 27 郑亚东, 等. 岩石有限应变测量及韧性剪切带. 北京: 地质出版社, 1985.
- 28 Roberts A.G., et al. Ore deposit model# 11, Archean lode gold deposits. *Geoscience Canada*, 1987, 14 37~ 52.
- 29 王秀璋, 等. 中国改造型金矿床地球化学. 北京: 科学出版社, 1992.
- 30 杨开渠. 构造古应力估算与金的富集. *广东地质*, 1990, 5 (1): 31~ 41.
- 31 孙承轅, 等. 江西金山金矿韧性剪切过程中物质的迁移. *矿床地质*, 1994, 13 (4): 371~ 379.
- 32 许顺山, 等. 山东文登金矿成矿动力学研究. *矿床地质*, 1997, 16 (3): 272~ 277.

DISCUSSION ON THE IMPORTANCE OF DUCTILE SHEAR DEFORMATION IN GOLD MINERALIZING PROCESS

Chen Bailin Li Zhongjian Dong Faxian
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Abstract

The ductile shear zone type of gold deposit is one of the most important gold deposit types. Deep ductile shear deformation causes Au to reactivate and differentiate from the source rocks, forming Au-bearing tectono-metamorphic hydrothermal solution. Meso-epizonal ductile-brittle deformation domain is the favourable site for gold ore accumulation. The type of gold metallization are controlled by shear deformation level and features of the deformed rocks. The important characteristics of the ductile shear zone type of gold deposit are that metallogenesis occurs after the ductile shear deformational stage; gold ore-bodies are mainly developed in some smaller ductile shear zones; metallogenic elements are derived mainly from surrounding or deep-seated rocks; and the content of Au is negatively correlated to the ductile deformation intensity of the mylonite. The areas near the orogenic belts are the favourable places for finding shear zone type of gold deposits

Key words ductile shear zone gold deposit metallogenesis evolution tectono-metamorphic hydrothermal solution

作者简介 陈柏林 男 1962年生于浙江龙游, 1986年毕业于中国地质科学院研究生部, 硕士, 主要从事矿田构造和成矿规律研究. 通讯地址: 北京民族学院南路 11号, 地质力学研究所; 邮政编码 100081.