

含金剪切带的类型划分及成矿机理

李 德 威

(中国地质大学, 武汉)

摘要: 含金剪切带型金矿床是一种重要的新型矿床类型。本文系统地总结了含金剪切带的特征, 提出了含金剪切带的几何学和运动学分类方案, 并以成矿源、成矿场、成矿期和成矿相等方面论述了含金剪切带型金矿床的剪切动力成矿机制, 建立了过渡型和叠加型两类动力成矿模式。

关键词: 含金剪切带 分类 成矿机理 动力成矿模式

自从博纳梅宗(1986)提出含金剪切带以来, 国内外相继报导了许多大型和超大型含金剪切带型金矿床^[2,3,4,10], 并从不同的角度探讨了含金剪切带的特征、控矿作用和演化过程, 取得了一些新认识。但是, 目前缺乏系统的总结和深入的探讨, 作者在前人大量工作的基础上, 通过扬子地台南缘板岩带以及大陆地壳板内变质核杂岩滑脱带中含金剪切带的初步研究^[5,7,6], 提出了含金剪切带的分类方案、成矿机理和动力成矿模式。期望能起到“抛砖引玉”的作用。

1 含金剪切带的特征

所谓含金剪切带应该是指形成并控制着金矿化的韧性剪切带和脆-韧性剪切带的组合。剪切带不仅控制了金矿床的分布、产状和规模, 而且剪切动力作用是矿质迁移、富集的主要机制。此外, 剪切带还是矿质的运移通道和贮集场所。含金剪切带在构造、演化和矿化等方面具有如下显著的特征。

1.1 构造特征

含金剪切带由韧性剪切带和脆-韧性剪切带组成。韧性剪切带和脆-韧性剪切带有两种组合方式: (1)两者在同一构造变形期中不同构造层次上发生空间上的转换; (2)早期形成的韧性剪切带随地壳抬升之后, 其内产生脆-韧性剪切带甚至脆性断层, 表现为不同性质的剪切带在时间上发生演化, 在空间上叠加。含金剪切带以后者居多。

含金剪切带具有一般剪切带的各种变形现象, 以塑性变形为主, 包括鞘褶皱、糜棱岩、剪切流变褶皱、剪切透镜体、压溶劈理、不对称香肠构造以及微观的波状消光、变形纹、扭折带、亚颗粒、动态重结晶新颗粒、核幔结构、S-C组构、S-L组构、拨丝构造、不对称压力影、云母鱼、旋转碎斑系、多米诺骨牌构造、雪球状构造等。它们在不同程度上反映了剪切带的岩石变形状态, 是剪切带的主要识别标志。而且, 其中许多变形现象还是剪切带的重

李德威, 男, 31岁, 副教授, 邮政编码: 430074
1992-06-27 收稿, 1992-12-21 修改回

要指向标志。

在含金剪切带的主要含矿地段, 往往发育不同方向和不同类型的裂隙, 即 R、R'、P、D、T 裂隙系统^[11] (图 1) 它们提供了容矿空间, 形成含金石英脉。

1.2 演化特征

含金剪切带大多数发育于前寒武纪变质岩区, 经历了多期次的构造变形, 一般可分为三个演化阶段: 1. 早期阶段: 即韧性剪切带形成发育阶段, 也是流体运移、矿质准备阶段。以糜棱岩化为特征, 赋存于硫化物晶格中的不可见金分布在糜棱面理上, 因而称之为浸染状金矿化成糜棱岩型金矿化。2. 中期阶段: 表现为脆-韧性剪切变形。形成裂隙系统, 拓宽了扩容带、提高了岩石渗透性, 成矿性好。以含金石英脉大量出现为特征。早期硫化物中的金通过动力再造以细粒晶体形式赋存于硫化物和微砂糖状石英中。3. 晚期阶段: 脆性断裂活动频繁、常破坏或切割先存剪切带。不断增强的脆性变形使先期阶段形成的金矿化发生重新分配, 有时出现块金效应, 但矿化经济意义不大。

1.3 矿化特征

含金剪切带并非都是成矿地段, 有利成矿构造部位有四种: (1) 剪切带弯曲的弧顶部位; (2) 剪切带宽窄急剧变化部位; (3) 剪切带内具强烈应变和叠加变形的中央部位; (4) 不同方向的剪切带的交切部位。如印度科拉尔太古代绿岩带中南北向和北西向剪切带交汇处形成大型金矿床^[8]。

含金剪切带型金矿床可分成糜棱岩型和石英脉型两个亚类, 以后者为主。根据剪切带中脉体的分布、产状、形态、规模、变形程度、交切关系、含矿性、蚀变特征等可划分出不同期次的石英脉。早期石英脉为细脉型, 沿构造面理分布, 已强烈糜棱岩化, 为无矿脉。含金石英脉规模较大, 呈透镜状, 沿走向和倾向分布不稳定, 颗粒无定向细粒化, 杂质成分丰富, 透明度差。在含金石英脉两侧往往有对称的蚀变分带现象, 金矿化与以黄铁矿为主的硫化物带关系密切。

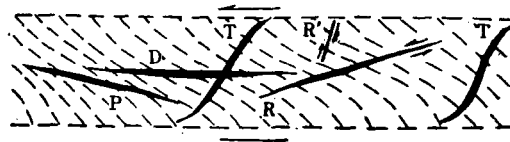


图 1 脆-韧性剪切带中裂隙类型

R—低角度里德尔剪切裂隙; R'—高角度里德尔剪切裂隙; P—逆向剪切裂隙或压剪裂隙; D—主剪切裂隙; T—张裂隙 (据 Roberts, 1987)

Fig. 1. Fissure types in the brittle-ductile shear zone.

R—Low-angle Riedel shear fissure; P—Reverse shear fissure or compresso-shear fissure; D—Principal shear fissure; T—Tensional fissure.

2 含金剪切带的分类

2.1 几何学分类

2.1.1 根据含金剪切带中韧性剪切带与脆-韧性剪切带的相关动向, 将其划分为两类三型 (表 1)。

含金剪切带的结构分类反映了下述规律: (1) 两类三型含金剪切带形成的构造背景和区域构造应力场有显著的差别。协调类含金剪切带是在稳定的区域构造应力场中随地壳抬升发生“宏观”递进变形的结果, 常见于长期挤压的造山带和稳定的地盾区。不协调类含金剪切带则反映了地壳运动伸、缩、剪、滑的多次转化和叠加; (2) 国内外已知的含金剪切带型金

表 1 含金剪切带的结构类型
Table 1. Structural types of auriferous shear zones

类 型		结 构 型 式	相 关 动 向
协调类		脆-韧性剪切带位于韧性剪切带中央强应变域	二者具同向剪切运动
不协调类	斜向型	脆-韧性剪切带与韧性剪切带不吻合	二者异向运动或脆-韧性剪切带切割韧性剪切带
	反向型	脆-韧性剪切带位于韧性剪切带近中央部位	二者反向剪切运动, 呈对偶式

矿床大多数属于协调类, 说明多期递进剪切动力成矿作用有利于金的迁移和富集, 而频繁的差异构造活动不利于成矿; (3) 含金剪切带具有多种构造组合, 是在多期构造演化中形成的, 具有动力再造成矿作用的特点。

2.1.2 根据含金剪切带与围岩之间的产状关系, 分为顺层式和切层式两类。

顺层式含金剪切带边界平行于两壁围岩层理或变形面理, 剪切带产状一般较缓。发育于变质核杂岩滑脱带中的含金剪切带是典型型式。例如, 洪镇变质核杂岩基底剥离断层下盘董岭韧性剪切带中发育含金雁列张性石英脉和主剪切石英脉, 出现含金剪切带边界、糜棱面理与基底剥离断层面及其上盘寒武系大理岩片理和下盘元古界董岭群片麻理多面平行一致的现象^[7]。玲珑金矿也有类似现象。

切层式含金剪切带的边界切割围岩层理或变形面理, 剪切带产状较陡, 其成因往往与局部性或区域性水平剪切作用有关。如广东河台金矿。

2.1.3 根据含金剪切带的组合形式, 将其划分为平行状、网络状和共轭状三类。

从区域上来看, 含金剪切带通常不是以单一的形式产出, 往往是由多条剪切带规律组合而成。例如, 扬子地台南缘元古界板岩带中发育十余条含金剪切带, 彼此平行斜列, 控制了璜山、龙泉、大背坞、金山、黄金洞、沃溪、西冲、漠滨等众多金矿床。而在岩性不均一的秦巴造山带核部围绕着强岩块形成一系列网络状含金剪切带。小秦岭金矿田中小河剪切带和太要剪切带属于此类。

共轭状含金剪切带是区域性挤压作用和动力成矿作用在地壳中、深层次的体现, 其钝角平分线与挤压力方向一致。典型实例是加拿大红湖绿岩带中发育的七条共轭含金剪切带, 目前已发现的 14 个金矿床大多分布在含金剪切带的结合部位^[12]。

2.2 运动学分类

根据含金剪切带的产状及两壁岩石剪切运动方向, 将其划分为正断式、逆冲式和走滑式三大类 (表 2)。

3 剪切动力成矿机理

含金剪切带型金矿床是指在多旋回构造动力作用下形成的、受剪切带控制的一种新型金矿床。剪切动力成矿机理主要包括成矿源、成矿场、成矿期和成矿相。

表 2 含金剪切带运动学类型及特征

Table 2. Kinematic types of the auriferous shear zone and their characteristics

类型 特征	正 断 式	逆 冲 式	走 滑 式
发育背景	发育于地壳多层次伸展背景, 常位于由地幔隆升或区域性水平拉伸形成的大陆板内变质核杂岩滑脱带	发育于造山带核部, 与区域性多期、多层收缩作用有关, 常产于隆拗边界逆冲断层的根带	形成于区域性水平剪切作用, 常与大型走滑断层相伴生
几何特征	剪切带边界平行于围岩面理, 产状平缓, 协调发展	剪切带以中等至高角度产出, 既可为协调式, 也可可为不协调式	产状陡倾, 甚至直立; 常呈平行带状组合, 不协调式产出
构造特征	含金剪切带顺层面状展布, 糜棱岩带较薄, 顶部常被剥离断层切割, 发育顺层剪切流变构造	多产于前寒武变质岩区, 糜棱岩系列完整, 具分带性, 含大量指示剪切带逆冲运动的剪切标志	剪切带常切割不同构造单元和不同类型的岩石组合。韧性剪切带经长期演化后剥露于地表。具水平剪切特征
演化特征	早期在中、下地壳形成近水平的韧性剪切带, 随着地壳抬升和折离减薄, 其内叠加了脆-韧性剪切带	早期形成的韧性剪切带经造山作用及逆冲断层作用带到地壳上部, 叠加了多期、多类构造变形	统一应力场中形成的韧性剪切带和脆-韧性剪切带发生空间转换。上升之后常被晚期脆性断层切割
矿化特征	以石英脉型为主, 既可垂直分带, 又可水平分带; 主剪切含金石英脉产状通常较平缓	以石英脉型为主, 糜棱岩型次之。矿化常见水平分带现象。含金脉体通常倾伏角较大	以糜棱岩型为主。矿化具垂直分带现象。主脉体长轴近水平, 常常被剥蚀, 出露下部糜棱岩型金矿

3.1 成矿源

矿质来源是成矿的重要因素和先决条件。过去往往简单地从这类金矿床产出的围岩条件出发, 片面地强调热液来源, 或变质成矿, 或矿源层。然而, 从含金剪切带产出的构造背景以及矿床地质特征来看, 作为一级构造的韧性剪切带具有规模大、应变强、“切割”深、多期活动等特点, 能够汇集多源含矿流体, 从而控制了金矿床的区域分布和规模。从另一个角度上来看, 尽管含金剪切带大多数产于前寒武变质岩区, 但是, 剪切带型金矿床与原岩无明显的亲缘关系, 在岩浆岩区甚至沉积岩区也有很多含金剪切带。例如, 著名的玲珑金矿是受花岗岩中含金剪切带控制的。它们一致反映了矿质的多源性。

含金剪切带型金矿床的多源含矿流体主要包括热液流体、变质流体、幔源流体、壳幔混合流体、动力流体和天然水。尽管不同背景上发育的含金剪切带中起主导作用的矿质来源可能有所差异, 但是, 深源流体和动力流体自始至终参与了成矿作用。早期发生于地壳深部的固态流变作用、动力变质作用和部分熔融作用在韧性剪切带形成过程中提供了大量的深源流体, 它们是形成糜棱岩型金矿化的主要条件。例如金山金矿床中矿石铅同位素研究表明矿质主要来自岩石圈深部^[9]。晚期在地壳较浅层次形成脆-韧性剪切带的过程中, 动力分异作用、压溶作用、构造侧分泌作用、动力热驱动作用和动力再变质作用为构造裂隙系统提供丰富的含金 SiO₂ 流体, 它们是形成石英脉型金矿床的重要条件。

决定成矿作用不仅仅是矿质来源, 更重要的是使分散的多种含矿流体富集的机制, 即动

力作用,包括应力、热动力、重力等等。剪切动力作用是含金流体运移的主要边界条件,它使矿质从高应力区流向低应力区,从深部向浅部迁移。更具体地说,造成矿质从韧性剪切带→脆-韧性剪切带→裂隙迁移,富集成矿。

3.2 成矿场

这里所指的成矿场,是动(应)力作用造成的矿质迁移、富集规律以及矿床(体)空间分布规律。它与构造应力场、地球化学场、地球物理场以及物质组合密切相关。应该作为构造地球化学研究的重要内容。

构造应力场分析是探索不同成矿阶段矿质迁移途径和富集规律的主要方法之一。在成矿期或成矿前不同应力状态下形成的构造形迹及其组合型式往往是矿质运移的有利通道和贮集场所。在含金剪切带中,韧性剪切带是最佳的导矿构造,汇集了多源成矿系统;脆-韧性剪切带为配矿构造;糜棱面理以及R、P、T、D裂隙是容矿构造,它们在非共轴构造应力场中呈规律组合(图1),并以硫化物和石英作为容矿物质。由此可见,多期矿化系统和多级构造系统是含金剪切带成矿场的主导因素。

3.3 成矿期

含金剪切带一般具有多期次构造活动,而且,剪切带演化越久长,矿化作用越好,所以太古宙绿岩带中含金剪切带常产出大型甚至超大型金矿床。

在成矿期研究中,要注意多阶段成矿与主期成矿的关系,同时,还要重视构造演化、变形序列、成岩序列、成矿序列以及成矿阶段的有机联系(表3)。

表3 含金剪切带构造成矿序列

Table 3. Structural-metallogenic sequence of the auriferous shear zone

构造-成矿关系	变形序列	变形相	动力作用	成岩序列	成矿序列	成矿阶段
成矿前构造	韧性剪切带	变质固态流变变形相	动力变质作用、固态流变作用、部分熔融作用,动态重结晶作用	糜棱岩	含矿流体动移作用	早期矿质准备阶段
成矿期构造	脆-韧性剪切带	脆-韧性剪切变形相	动力分异作用、压溶作用、动力侧分溶作用、动力热驱动作用	蚀变岩、脉石英、脉岩	剪切动力复合成矿作用	主期成矿阶段
成矿后构造	脆性断裂	脆性断裂变形相	断裂作用、碎裂作用	角砾岩、碎裂岩、碎裂糜棱岩	矿化再造及成矿改造作用	晚期调整阶段

含金剪切带的形成演化过程可以概括为:在早期韧性剪切变形期间,整个剪切带中出现连续的应变,这种超壳型线性变形带是高度流体活动区。由于组成韧性剪切带的糜棱岩是均一的,尽管含有大量含矿流体,但是不易富集,表现为分散的糜棱岩型矿化。随着地壳抬升,

后期构造运动导致剪切带重新活动, 产生脆-韧性剪切带, 常伴有岩浆活动。脆-韧性剪切带不连续的周期性活动产生大量裂隙, 裂隙中应力集中和释放过程相应地伴随着流体压力和孔隙度的变化, 造成流体循环。最终由于韧性剪切带与脆-韧性剪切带之间存在着明显的温压梯度、浓度梯度和物化梯度, 含矿流体进入裂隙系统富集形成石英脉型金矿床。

3.4 成矿相

成矿相是指成矿的地质和物化环境。动力成矿作用是一个复杂的过程, 涉及的参量很多, 主要包括差异应力、温度、压力、应变速率、粘度、盐度等。与岩相、变形相、变质相等密切相关, 受剪切动力作用及其相关的热力学和流变学的制约。

不管产于哪种岩类的含金剪切带, 尽管它们一般延深很深, 但是矿化作用往往与剪切带的时空转化状态关系密切, 成矿温度和压力也略低于长英质糜棱岩形成条件, 应变速率相应地有所增加。因而脆-韧性剪切变形相最有利于成矿。

在动态地质条件下, 金的迁移和沉淀往往受含矿流体的流体压力、氧化电位、酸碱度、盐度等因素的影响。一般来说, 高流体压力、强氧化、高氧逸度和强酸性环境有利于金的活化迁移; 在弱酸、弱碱、低氧化-还原态、低盐度并伴有硫化物和 CO_2 的条件下有利于金的沉淀。

4 剪切动力成矿模式

目前国内外矿床模式种类繁多, 但是普遍忽视动力成矿作用。关于动力成矿模式, 作者认为是在构造动力作用下矿质迁移和赋存规律的理想地质模型。它反映了成矿的本质特征, 也是指导找矿勘探的关键。

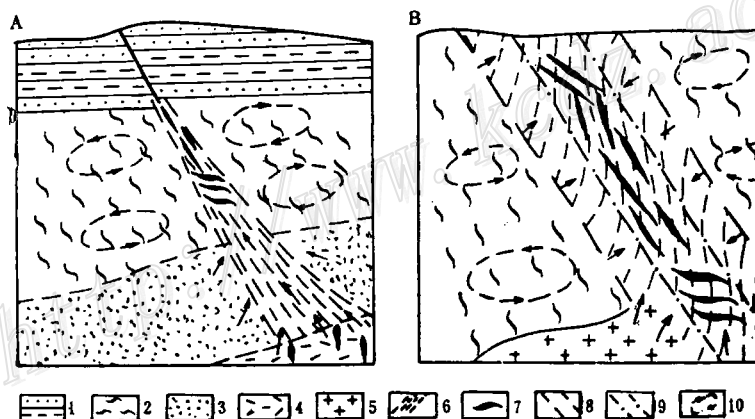


图 2 剪切带型金矿动力成矿模式

A—过渡式; B—叠加式

1—上地壳; 2—中地壳; 3—下地壳; 4—上地幔; 5—岩浆岩; 6—糜棱岩; 7—石英脉; 8—韧性剪切带边界; 9—脆-韧性剪切带边界; 10—流动体系

Fig. 2. Dynamic metallogenic model of shear zone type gold deposits.

A—Multilevel type; B—Multiphase type; 1—Upper crust; 2—Middle crust; 3—Lower crust; 4—Upper mantle; 5—Magmatic rock; 6—Mylonite; 7—Quartz vein; 8—Boundary of ductile shear zone; 9—Boundary of brittle-ductile shear zone; 10—Flow system.

表 4 两种成矿模式的对比

Table 4. Characteristics of the two metallogenic models

特征 模式	结 构 特 征	演 化 特 征	矿 化 分 带 性	成 矿 规 律
过渡式 (或多层式)	上部为脆性断层, 中部为脆-韧性断层, 下部为韧性剪切带	含金剪切带形成于同一构造变形期, 常被后期构造改造	垂向分带。上部为破碎带蚀变型、中部为石英脉型, 下部为糜棱岩型	含矿混合流体沿压力降方向垂向运移。以糜棱岩型为主, 沿糜棱面理呈浸染状分布, 硫化物是金的主要载体
叠加式 (或多期式)	脆-韧性剪切带位于韧性剪切带中央强应变域, 韧性断层切割含金剪切带	多期构造活动和多阶段动力成矿作用。主期成矿以脆-韧性剪切带形成为特征	水平分带。中央为石英脉型、两侧为糜棱岩型。以前者为主	含矿流体多向循环, 既有垂向运动, 又有水平运动, 脉型金矿产于脆-韧性剪切带的裂隙系统。微砂糖状石英是俘获金最有利的矿物

含金剪切带型金矿床的动力成矿模式包括过渡式和叠加式(或称多层式和多期式)两种(图2)。它们具有不同的矿床地质特征(表4)。前者表现为不同性质的剪切带垂向转换, 下部的韧性剪切带较宽, 热动力作用显著, 上部为线性的脆性断层, 发育碎裂岩、断层泥等构造岩, 形成地球化学障。因而位于中部的脆-韧性剪切带最有利于成矿。矿化出现垂直分带现象, 下部主要是糜棱岩型金矿, 中部主要是石英脉型金矿, 上部还可出现破碎带蚀变型金矿化。排山楼、玲珑、焦家、河台可能属于这一类。后者是多期构造作用形成的多类型剪切带的空间组合, 是主要的成矿形式。矿质的动-定转化、散-集规律主要受剪切动力和构造演化的控制, 造成金矿化的水平分带现象, 含金剪切带中部为石英脉型金矿, 两侧为糜棱岩型金矿。目前发现的大多数剪切带型金矿床属于此类, 如横山、沃溪、小秦岭、夹皮沟、金山、黄金洞等。

5 结 语

含金剪切带型金矿床是一种重要的新型矿床类型, 近年来, 虽然引起了矿床地质学家们的广泛关注, 但是, 目前仍处于探索阶段。对成矿构造类型、成矿机理和成矿模式的研究, 无疑将有助于认识这类矿床的成矿规律。剪切动力成矿模式表明: 剪切带型金矿床形成于中、下地壳, 含金剪切带还可延深到岩石圈深部, 具有极为优越的成矿条件。然而, 我国目前的金矿勘查只限于表壳勘探水平, 应该说, 在深部寻找大型和超大型剪切带型金矿床的前景乐观。

由于作者水平有限, 加之内容繁杂, 实际资料不足, 恳请读者批评指正。

参 考 文 献

- 1 博纳梅宗 M. “含金石英脉”是含金剪切带的一种特殊情况. 国外地质科技, 1987, (6)
- 2 王吉琨, 余和勇. 玲珑金矿田花岗岩中韧性剪切带与成矿的关系. 矿床地质, 1990, 9(3)
- 3 张伯友等. 浙江横山韧性剪切带退变质作用与金矿化关系的讨论. 地质找矿论丛, 1992, 7(1)

- 4 王鹤年等. 广东河台糜棱岩带蚀变型金矿床的地球化学研究. 矿床地质, 1989, 8(2)
- 5 李德威. 九岭南缘逆冲推覆体根带糜棱岩研究. 地球科学, 1987, 12(5)
- 6 李德威等. 江西大背坞含金剪切带初探. 江西地质, 1991, 5(1)
- 7 傅昭仁等. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- 8 J U 汉密尔顿等. 印度科拉尔金矿田的矿化与构造. 国外前寒武纪地质, 1988, (4)
- 9 黄宏立, 杨文思. 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)
- 10 Boutler C A et al. The golden mile, Kalgoorlie: a giant gold deposit located in ductile shear zones by structurally induced infiltration of an auriferous metamorphic fluid. Econ. Geol., 1987, 82(7)
- 11 Robert R G. Ore deposits model 11, Archean lode gold deposits. Geosci. Can., 1987, 14(1)
- 12 Andrews A J, Hugon H. The anatomy of a gold-bearing greenstone belt, Red Lake, Northwestern Ontario, Canada. Proceedings of Gold'86 Symposium, 1986

CLASSIFICATION OF AURIFEROUS SHEAR ZONES AND THEIR METALLOGENIC MECHANISM

Li Dewei

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei Province)

Abstract

Auriferous shear zones, consisting of ductile shear zones and brittle-ductile shear zones that formed and controlled gold deposits, show conspicuous structural, evolutionary and mineralization characteristics. The ductile shear zone and brittle-ductile shear zone as well as their R, R', P, D, T. fissures make up a multigrade structural system, commonly being products of multiphase tectonic activity.

According to their geometry and kinematics, the auriferous shear zones might be divided into harmonic type and inharmonic type as well as normal fault style, thrust fault style and strike-slip style, their associations being mainly parallel, network and conjugated forms.

Shear zones not only serve as the ore-controlling structure, but also play an important role in metallogenesis. The metallogenic source, field, epoch and facies constitute the important dynamic metallogenic mechanism of the auriferous shear zone type gold deposits. A dynamic metallogenic model for this type of deposits has been established on the basis of mineralization zoning and the relationship between metallogenesis and structural setting.