

剪切带型金矿

——以广东河台金矿为例

段嘉瑞 何绍勋 周崇智

(中南工业大学地质系·长沙市)

剪切带型金矿, 是受韧性剪切带控制, 并以剪切作用为主要成矿机制的金矿。它受多级剪切带控制, 矿床产于次级深层韧性剪切带中。矿化强度与剪应变强度正相关, 矿体产于强应变部位。成矿经历了漫长的、通常是4个成矿阶段的富集过程。金质为多来源, 而主要来自围岩, 多发育于变质岩区。剪切造成的物理化学梯度及构造化学在成矿过程中起主导作用。

关键词: 金矿床; 韧性剪切带; 构造物理学; 糜棱岩

剪切带型金矿是近年提出并在认识上得到迅速发展的金矿新类型。笔者在1986年提交的一份科研报告中, 提出了广东河台金矿应当划为“韧性剪切带型金矿”。世界上一些国家也认为剪切带型金矿是一种新的金矿类型。

在法国、加拿大、澳大利亚, 对剪切带型金矿已开始广泛研究, 并用于指导找矿, 取得了显著效果。法国地质矿产调查局, 用了3年多时间对100多个含金石英脉型金矿床进行了系统研究, 认为它们不是裂隙被矿石充填的简单的脉型矿床, 而是老的无石英脉被晚期含金矿化浸染的结果。而这种金矿化, 是因剪切构造作用使石英重结晶微粒化(糜棱岩化), 促进了金的活化、迁移, 并以微粒化石英为储集体而形成金矿床。因此认为含金石英脉是含金剪切带的一种特殊形式(M. 博纳梅宗, 1987)。按照剪切带型金矿的观点, 一些传统上被认为是含金石英脉型或其他类型的金矿床应被重新定为剪切带型金矿。如加拿大红湖区绿岩带中的脉状和网脉状金矿^[1], 魁北克省的西格玛金矿^[2]。此外, 美国密执安州的佩洛斯金矿, 澳大利亚和印度的一些前寒武纪脉金矿床等, 都被重新定为剪切带型金矿。我国的河台、小秦岭、金厂峪及尖皮沟等金矿, 都认为与韧性剪切带有关。1986年在加拿大召开的一次“金矿国际讨论会”上, 有半数以上的论文是涉及这一新成矿理论的。笔

者在作了较系统的研究后认为, 河台金矿是典型的剪切带型金矿。该矿规模大, 成矿与控矿因素发育全。它的特征与近年来国内外对剪切带型金矿的认识基本一致, 且更典型, 并具有一些其他金矿所不具备或未被发现的特点。

笔者认为, 剪切带型金矿床是受韧性剪切带构造控制, 并以剪切作用为主要成矿机制的金矿床。它的基本特征和模式如下:

金矿床产于次级

韧性剪切带中

剪切带型金矿, 一般是产于穿壳型大型剪切带的次级构造中。此种大型剪切带是区域性的线性构造, 可长达数百公里, 对地壳深部或上地幔的岩浆活动起控制作用。它具有韧性剪切带性质, 渗透性高, 是流体的通道; 它本身不是容矿构造, 一般不发育矿化, 矿床均在其次级剪切带内。但是, 大型剪切带控制着金矿带的展布及金质来源, 主要因为这种构造温度高, 金在其中易溶, 而它与次一级构造间存在压力和温度梯度, 以及浓度梯度(化学梯度), 使金质有可能沉淀于次级剪切带中形成矿床。这种控矿构造可以有II~IV级乃至更多级的剪切带组合。

多级剪切带控矿构造是由剪切带型金矿的成矿

环境和过程决定的，而不同级次的剪切带，又是同一剪切带递进变形过程中不同阶段、不同变形域形成的有机组合。近年来，韧性剪切带研究迅速发展，原来对韧性剪切带的概念和分类，已不能包容多种韧性剪切带的特征。笔者将韧性剪切带按变形域分为3类：①超深层流变域高温韧性剪切带；②深层韧性域韧性剪切带；③浅层脆—韧性域浅层韧性剪切带。

高温韧性剪切带，是在超深层构造层次（一般 $>10\sim 15\text{km}$ ）于高温、局部熔融、流体多的条件下形成。它的特点是以晶体生长为主，由变余糜棱岩组成，晶体的粒内应变很弱，粒内应变显微构造不发育，带内的构造化学作用和组分变化也不强；其变形机制主要是在剪切作用下的超塑性的流动。

深层韧性剪切带就是一般概念的韧性剪切带。它形成于深层（一般约 10km ）构造层次，其特点是韧性变形使颗粒细化，发育糜棱岩类断层岩。晶体的粒内应变十分强烈，发育各种典型的显微构造；剪切带内构造化学作用强，组分变化明显，常发生退变质作用。

浅层韧性剪切带发生在浅层构造层次（约 5km ）脆—韧性变形域。其特点是带内岩石发生细化，但以碎裂岩化为主，也有糜棱岩化，常是糜棱岩与碎裂岩共存，晶体的粒内应变发育不均；有表现各种韧性变形的显微构造，反映脆性变形的破裂和裂隙也很发育。宏观上反映了强烈的韧性变形，但微观上，特别是粒内应变较弱。浅层韧性剪切带的韧性变形机制主要是粒间滑动及物质的超塑性流动。在浅层条件下发生强烈韧性变形的原因主要是剪切带含流体（水）较多，有时伴有高温，从而增加了岩石的塑性。

在剪切带型金矿的多级剪切带的组合中，大型（Ⅰ级）剪切带多为高温的，次级含金韧性剪切带多为深层或浅层的。

河台金矿是多级剪切带组合控制的典型实例。它可以划分出4级剪切带。Ⅰ级构造为吴川—四会断裂构造综合体（图1）。“断裂构造综合体”是笔者提出的对某些大型断裂带的新认识^①。^[3]。它是从深层到浅层的不同构造层次，从韧性到脆性的不同变形域，经历了多期构造演化，包括断裂本身、断块构造及伴生构造等组成的复杂线性构造组合。它的组成一般包括韧性剪切带、脆韧性断层、

断块构造及伴生岩浆岩体等。吴川—四会断裂构造综合体由5个构造单元组成，控制着粤西地区的金矿分布，其西部构造单元——宋桂断裂带为Ⅱ级控矿构造，该断裂带主要由一系列高温韧性剪切带组成，呈北东向，长达 200km 。该带上已发现有上百个金矿床（点），是一条大型金矿带。河台韧性剪切带为Ⅲ级控矿构造，控制着河台金矿田，它由10多条斜列展布的含金韧性剪切带组成。而含金韧性剪切带是Ⅳ级控矿构造，控制矿床与矿体的定位。这是一种深层韧性剪切带，是大型高温剪切带递进演化并叠加于其上的次级构造。这4级剪切带构成河台金矿的典型的多级剪切带控矿构造组合。

控制矿床或矿体的构造 为韧性剪切带

韧性剪切带是一种韧性变形强烈但不均匀的单剪构造带。它的主要特点^[4, 5]是：①表现为狭窄的强应变线性地带，没有明显边界，却存在剪切位移；②应变不均匀，从带边缘到中央应变强度递增；③带内由糜棱岩为主的断层岩组成；④从宏观到微观都表现为强烈的韧性变形，而脆性破裂很弱，特别是晶体的粒内应变为韧性变形的主要机制；⑤片理化强烈，构成特殊的S—C面理组合（S—C结构）。同时发育鞘褶皱、剪切带内褶皱及各种不对称构造等小型及微观构造；⑥有强烈的构造化学作用，常常为退变质作用。

上述特征中，糜棱岩的存在是最基本和最重要的。河台金矿首先就是用糜棱岩带指导找矿勘探的。后经研究，糜棱岩带发育良好，又是典型的深韧剪切带。每1条或2条剪切带控制着1个金矿床。河台的含金剪切带，一般长数百至一、二千米，宽10至数十米。带内发育着各种宏观与微观剪切带构造。如S—C面理、剪切带内褶皱、不对称压力影、不对称透晶体、多晶石英条带和单晶石英条带，以及少量微破裂等。晶体的粒内应变十分强烈而普遍。含金剪切带由糜棱岩化云母片岩、初糜棱岩、糜棱岩和超糜棱岩组成，另外还发育1条初构造熔岩（指在透射镜下只有少于10%的视场存在玻璃质，一般称为假玄武玻璃）。含金剪切带的剪应变强度从边缘到中心递增。糜棱呈对称性分带（图

①段嘉瑞等，广东吴川—四会断裂构造综合体，1990。

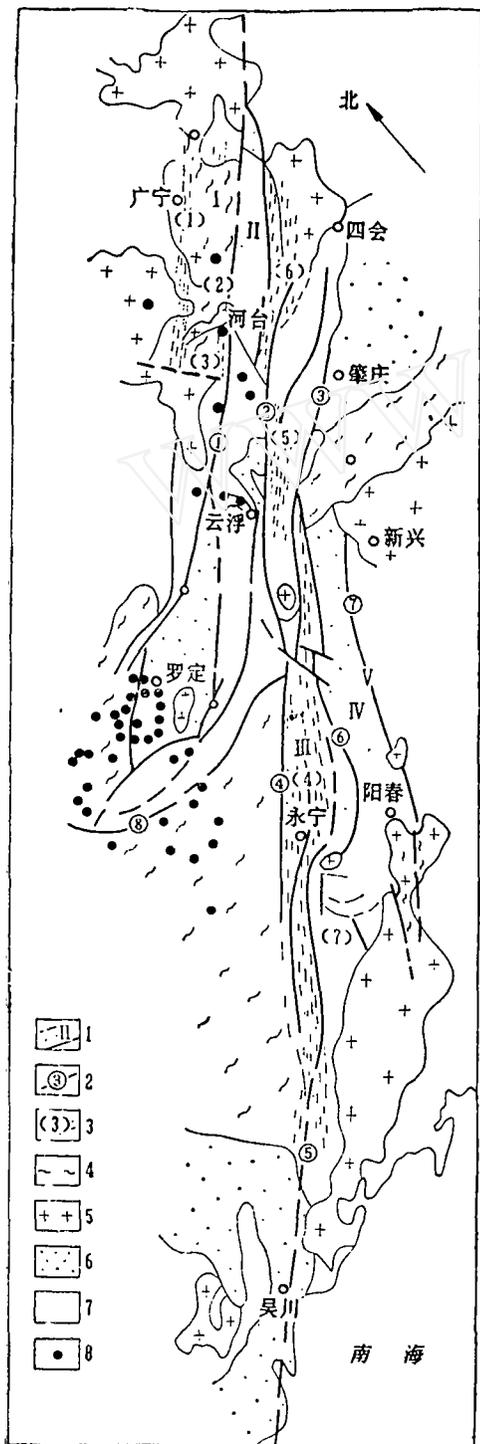


图 1 吴川—四会断裂构造综合体略图

1—构造单元及编号 (I. 宋桂断裂带, II. 罗定—云浮断块, III. 吴川—四会断裂带, IV. 阳春断块, V. 阳春—新兴断裂带); 2—大断层及编号 (①宋桂, ②茶洞, ③安塘, ④三屋排, ⑤吴

川, ⑥石葵, ⑦城桐, ⑧贵子) 3—韧性剪切带及编号 [(1) 江屯, (2) 石洞, (3) 河台, (4) 大王山, (5) 大尖, (6) 石狗, (7) 那霍]; 4—花岗岩; 5—混合岩; 6—中生界; 7—震旦系及古生界; 8—金矿床 (点)

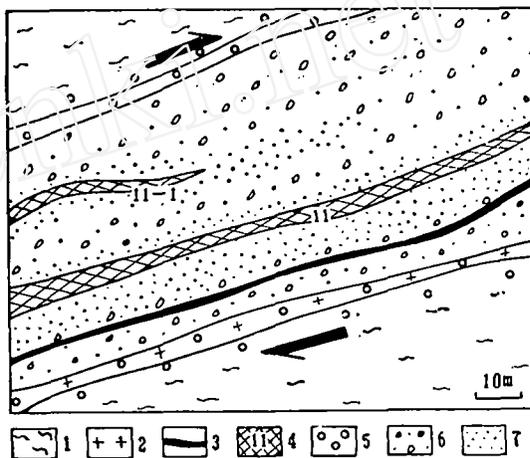


图 2 韧性剪切带内糜棱岩的对称性分带及其与金矿的关系 (高村)

1—混合岩化云母片岩; 2—花岗质脉; 3—假熔岩; 4—金矿体; 5—初糜棱岩; 6—糜棱岩; 7—超糜棱岩; 箭头表示剪切指向

2), 计算出的差异应力很小、应变速率低, 表明这是十分典型的韧性剪切带; 而且剪切带规模越大, 其构造发育越良好, 金矿床规模也越大。但有些矿床的控矿韧性剪切带, 由于后期的改造而使韧性剪切带构造变得模糊不清。

剪切带型金矿的分类

剪切带型金矿按矿床特征和成因, 可划分为两类, 即剪切带糜棱岩型金矿和剪切带脉型金矿。又可按剪切带的产状划分为另两类, 即平移剪切带金矿和推覆剪切带金矿。河台金矿就是平移剪切带金矿的一个代表。该矿剪切带产状较陡, 剪切指向为近水平右行剪切。这种金矿走向稳定, 延深大。

推覆剪切带金矿是受逆冲推覆构造的逆冲剪切滑动带控制; 它的产状较平缓, 但常起伏变化。由于推覆剪切带变化大、不均匀, 故该类型金矿床也不十分稳定。广东新洲金矿便属此种金矿类型 (彭少梅、段嘉瑞, 1990)。此外江西金山金矿等也属推覆剪切带金矿。

河台金矿是典型的糜棱岩型金矿^{〔4〕}，该矿也有少量脉型金矿。糜棱岩型金矿的容矿岩石为糜棱岩，主要是超糜棱岩和中糜棱岩。在河台，实际上糜棱岩都含金，只是含量不同，金矿石就是糜棱岩。矿石矿物简单，硫化物较少。金与石英关系密切，但与一般热液硅化不同。这里的石英呈细粒状，是韧性剪切带动态重结晶、压溶作用和长石等矿物分解的细粒化产物，或者说这是一种特殊“硅化”（可称“剪切带硅化”），以此区别于一般的热液硅化，又可反映金与硅质的关系。

剪切带脉型金矿主要是含金石英脉，它产于剪切带内，个别可延至带外，矿脉围岩为糜棱岩，并发育热液蚀变；有时由于热液蚀变很强，改造结果使剪切带构造及糜棱岩都变模糊或消失。与一般石英脉金矿不同，剪切带含金石英脉的围岩为糜棱岩，脉内矿物变形较强，矿脉受剪切带构造控制。

河台的剪切带脉型金矿不发育，规模小。浙江瓊山金矿是属剪切带脉型金矿^②，它也受多级剪切带构造控制。

剪切带型金矿划分为上述两种类型有重要意义。因为人们常常只注意脉型金矿，而把可能存在的规模更大的糜棱岩型金矿忽视了。

金矿与剪切带构造关系密切

剪切带型金矿的矿床及矿体形状、产状均受剪切带构造控制，金矿化强度与剪应变强度成正相关关系。

剪切带糜棱岩型金矿的矿体形状、产状与剪切带有高度的协调性。糜棱岩型金矿的工业矿体没有明显界线，是按工业品位圈定的。由于矿化连续，矿体实际上呈板状或大透镜体，其产状和剪切带产状一致。另外剪切带的剪切指向还可以指示金矿体的侧伏方向。

河台高村糜棱岩型金矿床产于剪切带中部，矿体呈板状，产状与剪切带一致(图2、3)，陡倾斜，该矿控矿韧性剪切的剪切指向为北东70°，倾角15°。经勘探证实，金矿体也是向北东方向缓倾斜侧伏。

剪切带脉型金矿受剪切带产生的断裂控制。剪切带内可能产生5种断裂(图4A)^{〔6〕}，也就是可能形成5种产状的含金石英脉(图4B)^{〔2〕}。其中最常出现的是D剪切脉，因为它平行韧性剪切带的C面理而容易形成，而且可能出现复脉。其次是R剪切

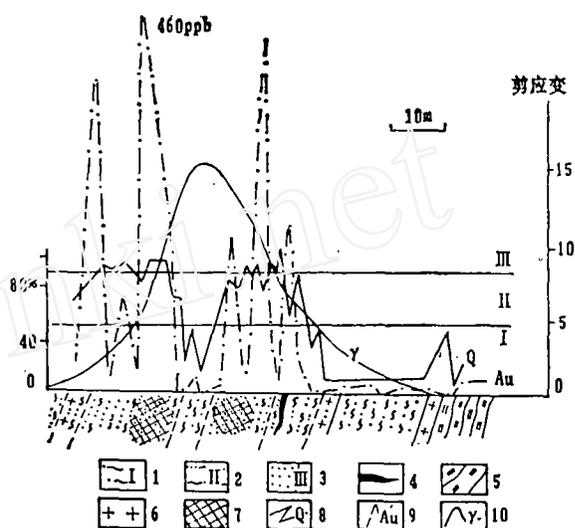


图3 含金量与糜棱岩类型及石英动态重结晶程度的关系曲线图
(高村, PD240, 15线)

1—初糜棱岩，2—糜棱岩；3—超糜棱岩；4—假熔岩；5—云母石英片岩；6—花岗岩脉；7—金矿体；8—石英动态重结晶曲线（左纵坐标为石英动态重结晶含量百分比）；9—金含量曲线；10—剪应变强度曲线

脉和T张裂脉。在河台金矿发育少量D剪切含金石英脉。

剪切带型金矿矿化与剪应变强度关系十分密切，一般剪应变越强，金矿化越好。无论是糜棱岩型还是脉型，金矿体总是产在剪应变最强部位。由于韧性剪切带之剪应变强度是由带边缘向带中央递增，矿体多是产生剪切带中部(见图2、3)，而糜棱岩化的强度指示着应变强度。因此，金矿体往往与超糜棱岩有关。在河台，当剪切带内出现两条超糜棱岩时，金矿体也有两个(见图2)。

成矿背景

剪切带型金矿主要产于变质岩区，其次是在沉积岩中，而侵入体内的剪切带型金矿报道尚少。

变质岩区剪切带型金矿较多，这是由于韧性剪切带的变质环境与变质岩大致处于同一较深的构造层次。更重要的是，剪切带型金矿金质主要来源于

②段嘉瑞等，韧性剪切带金矿及其类型（华南元古宙地壳演化与成矿作用学术讨论会论文），1987。

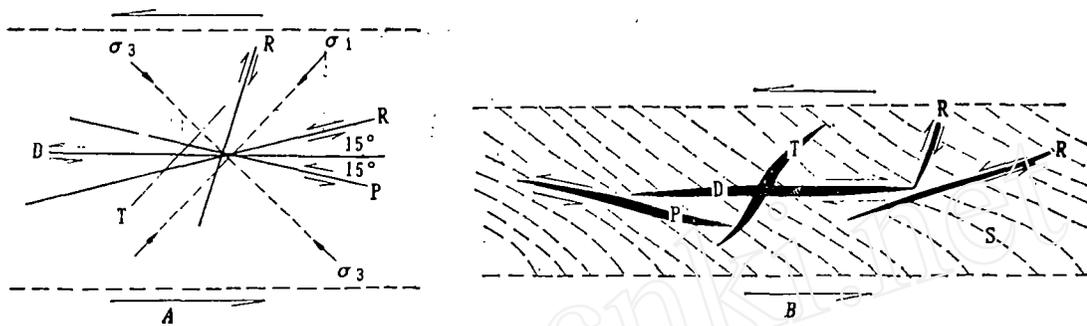


图 4 剪切带内可能出现的断裂系 (A) 及含金石英脉 (B)

(A据Tchalenko, 1968; B据 Roberts, 1987)

R—低角度里德尔剪切裂隙 (与剪切带边界成 15° 交角); R'—高角度里德尔共轭剪切裂隙 (与剪切带边界成 75° 交角); P—逆向剪切裂隙或压力剪切裂隙 (与剪切带边界成 $5\sim 10^\circ$ 交角); D—主剪切裂隙 (与剪切带边界平行); T—沿应变椭球XX面形成的张裂隙 (与S叶理垂直)

围岩, 变质作用是金质活化迁移的主要机制。

大型控矿韧性剪切带的规模巨大。它内部的变形强度、变质作用都不均匀, 且在其递进变形的演化过程中, 由于环境与条件的变化, 可以形成不同类型的韧性剪切带与不同的变质相。例如高温韧性剪切带的重熔、交代等深变质作用, 使金质活化。由于这种剪切带切层较深, 还可以带来深部的成矿物质。由于金质的迁移具有从高级变质相向低级变质相迁移的趋势, 即由麻粒岩相向角闪岩相迁移, 由角闪岩相向绿片岩相迁移, 因此低绿片岩相是大型剪切带中金质迁移的最终汇集岩相。即活化与运移的金质, 将最终汇集到绿片岩相的韧性剪切带内并形成金矿床。

河台金矿的 I、II 级控矿大型高温韧性剪切带的高级变质作用使金质活化, 并迁移到低角闪岩相的混合岩化云母片岩残留体中。尔后, 在这一残留体中形成低绿片岩相的深层韧性剪切带, 并形成金矿床 (图 5)。

国外剪切带型金矿多产于太古代绿岩系。我国的河台金矿则产于长英质变质岩中, 其原岩是震旦系复理石建造的浊积岩。因此, 无论绿岩系或花岗质岩系都可以形成剪切带型金矿。

成矿阶段

剪切带型金矿的成矿作用经历了漫长多期逐步富集的过程, 一般经历 4 个成矿阶段 (见图 5):

1. 早期初步富集阶段

在大型高温剪切带中, 金质被活化溶滤出来, 伴

随其他元素如 S、Si 等形成含矿溶液, 并向剪切带内低变质的片岩残留体迁移形成初步富集, 但并不构成工业矿床。河合金矿产于高温剪切片麻岩带中的震旦系片岩残留体内, 已有早期初步富集 (图 5 之 I)。

2. 中期富集成矿阶段

这是剪切带型金矿形成的主要阶段。中期由于区域大型剪切带的上隆, 构造环境发生变化。与早期阶段相比, 中期的温度、压力都较早期稍低, 形成深层韧性剪切带, 带内发生退变质作用, 出现绿片岩相的糜棱岩。早期阶段初步富集的金质继续向这些韧性剪切带迁移, 也可能有其他来源的成矿物质, 特别是深层物质沿剪切带活动, 形成合金韧性剪切带——金矿床。糜棱岩型金矿主要是这一阶段形成的。在河台, 这一阶段形成数十条韧性剪切带, 其中较大的几条就构成大型金矿床 (图 5 之 II)。

3. 晚期再成矿阶段

区域剪切带继续活动, 由于上隆及应变硬化, 剪切带已转化为脆—韧性剪切带。在剪切作用下, 在带内形成断裂构造, 同时金质再被活化, 随溶液进入断裂中形成剪切带脉型金矿。在河台, 脉型金矿规模小, 而在其他矿床中, 脉型金矿可能是剪切带型金矿的主要类型 (图 5 之 III)。

4. 后期叠加改造阶段

这一阶段通常发生在较浅的构造层次, 剪切带的活动形成各种断裂、裂隙, 甚至破碎带 (角砾成分有糜棱岩角砾)。含矿溶液沿其活动。这种溶液的来源和性质多种多样, 而且能沿渗透性高的韧性剪切带片理化带活动, 使早期形成的金质再活化,

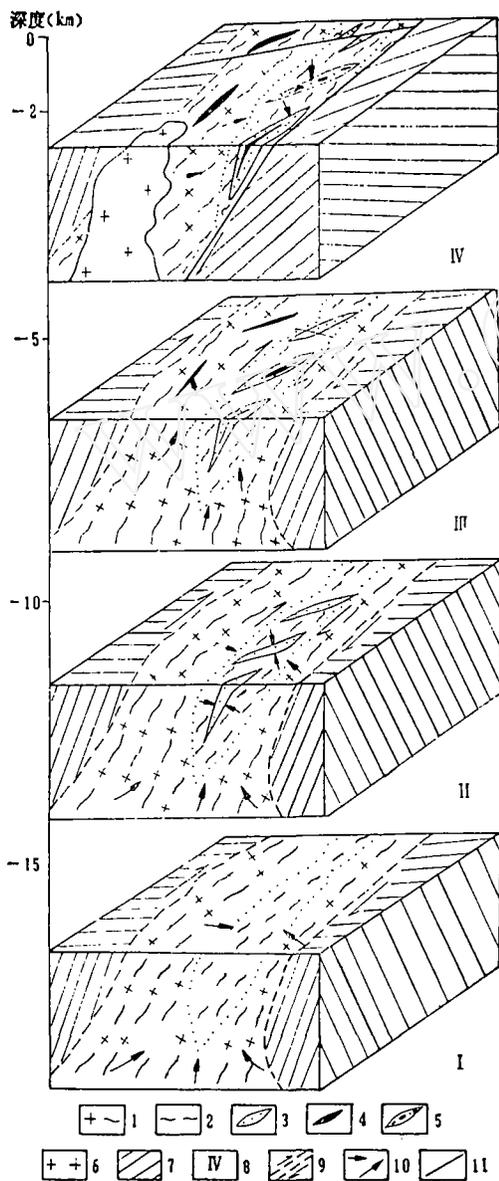


图5 河台剪切带型金矿成矿演化示意图

1—超深层高温韧性剪切带；2—深层韧性剪切带；3—含金韧性剪切带（糜棱岩型金矿）；4—石英脉型金矿；5—后期叠加金矿；6—侵入体；7—围岩；8—成矿阶段；9—剪切指向；10—金质运移方向；11—断层

迁移到有利的断裂、裂隙或破碎带中形成较富的矿体。这种迁移还可突破剪切带的限制，在带外形成金矿。在河台金矿床中，有些富金硫化物的块状金矿富矿包，就是这一阶段形成的（图5之IV）。

值得注意的是，晚期成矿阶段和后期叠加改造

阶段，都有成矿热液活动，发生较强的热液蚀变，改造了早期韧性剪切带构造，能使剪切带型金矿的特征变得模糊或消失。

成矿机制

1. 金的物质来源

剪切带型金矿的一个普遍特点是，与岩浆侵入体的关系不密切，因此多认为金质主要来自围岩，也就是存在矿源层。世界上几个特大型剪切带型金矿，都直接与绿岩带内的科马提岩、拉斑玄武岩有关。河台金矿的金质一般认为来自震旦系复理石建造的浊积岩，但也有深部的物质。实际上该型金矿的物质来源是多源的，但以围岩为主。

2. 剪切作用对成矿的影响

在剪切带型金矿的成矿作用中，剪切带构造不仅是提供成矿时间和空间的被动因素，而且剪切作用就是主要的成矿机制。其中由剪切作用引起的构造化学作用是成矿的主导因素。“构造化学”作用是由构造作用引起的并在变形过程中发生的化学作用。它与“构造地球化学”是不同的两个概念，后者主要是指元素与地质构造的空间配置关系。剪切带的构造化学作用主要有压溶作用、出溶作用、应力蚀裂作用、构造变质反应、构造分异与分凝作用等。这些作用可以促进成矿物质活化、形成成矿溶液，造成金质的迁移沉淀，形成矿床。剪切作用对成矿的另一影响是造成物理化学梯度，促使成矿物质的迁移富集。韧性剪切带是一条不均匀的应变带。从高温剪切带到深层剪切带，在剪切带内，从剪应变较弱的边缘到强应变的中央，物性化学梯度明显，使成矿物质充分地迁移汇聚；因韧性剪切作用的应变速率极低，活动时间长，为金质的逐渐富集形成金矿床，创造了有利条件。

参考文献

- [1] Roberts, R. G., *Geoscience, Canada*, 1987, V.14, №1, p. 37—52.
- [2] Robert, F. et al., *Can. Min. Metall. Bull.*, 1983, V. 76, №850, p. 72—80.
- [3] He Shaoxun, et al., *J. Cent.-South Inst. Min. Metall.*, 1989, V. 20, №4, p. 332—338.
- [4] 周崇智等, *矿产与地质*, 1988, 第3期.
- [5] 郑亚东等, 《岩石有限应变测量及韧性剪切带》, 1985, 地质出版社, 北京.
- [6] Tehalenko, J. S., *Tectonophysics*, 1986, V. 6, №2, p. 159—174.
- [7] Tehalenko, J. S. et al., *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1970, V.81, p. 41—60.