DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2007.01.004

第 16 卷第 1 期 地 质 与 资 源 Vol. 16 No. 1
2007 年 3 月 GEOLOGY AND RESOURCES Mar., 2007

·矿床地质/地球化学·

文章编号:1671 – 1947(2007)01 – 0016 – 07 中图分类号:P611;P618.51 文献标识码:A

含金剪切带型金矿床的成矿作用

王荣湖[1,2],刘志远[3],周乃武[1],赵纯福[1],侯根群[1],
(1. 东北大学,辽宁 沈阳 110016;2. 辽宁黄金公司,辽宁 沈阳 110015;
3. 辽宁省有色地质局勘查总院,辽宁 沈阳 110002)

摘 要:对辽宁省阜新市排山楼金矿床及含金剪切带型金矿床的研究成果进行对比,重新理顺了有关含金剪切带、含金剪切带型金矿床的概念和判别标准. 提出了含金韧性或韧脆性剪切带是表壳岩、含金基底岩系形成期或同构造旋回变质变形期的特定产物,故可称之为含金同韧性剪切带. 含金同韧性剪切带是一种含金流体的储集构造样式,其成矿作用需要进入浅层次的抬升、成矿流体的汇聚与成矿沉淀的过程. 成矿作用过程的差异性(抬升速率不同)导致各种矿化类型的金矿的形成.

关键词:含金同韧性剪切带;含金同韧性剪切带型金矿床;成矿作用;排山楼金矿床;辽宁省

1986 年多伦多专题讨论会前后含金剪切带为世人关注,以 M·博纳梅宗代表的一批学者将其命名为含金剪切带型金矿床[1]. 此后,我国先后理顺了一些已知金矿床,发现一批新的类似金矿床,形成了一个含金剪切带型金矿的找矿与研究热. 辽宁阜新排山楼金矿就是在此背景下于 1989 年被发现,公认为韧性剪切带型的金矿床. 该矿床的发现,引起了国内外地质界的关注,铸就了一批研究成果. 然而通过类比,发现剪切带型金矿床并非具有一个统一的成矿模式,一系列相关问题值得深入探索.

1 问题的提出

1.1 研究现状回顾

含金剪切带概念的提出是金矿成矿学中的重大事件. M·博纳梅宗(1986)认为,含金剪切带是长期活动的大型构造通道,其主岩可以早于构造活动存在或与构造活动同时形成,特别强调含金剪切带即是控矿构造,同时兼具成矿功能. M·博纳梅宗等学者[2,3]通过百余个含金剪切带的研究,提出了一个十分重要的结论性认识:含金剪切带型金矿床包括了所有产于基底的金矿床,其中包括石英脉型金矿. 其基本特征是剪切作用导致了早期含金矿物的糜棱岩化,形成了可以迁移的金的‘微粒云’. 这种微粒云是金矿床形成的直接物源,是含金剪切带型金矿床成矿三阶段模式的理论依据. 认为金的微粒云源于硫化物中的离子金作为矿胚(包括可见金在内),并引入了溶液矿源层的概念(见后述).

博氏(1987)得出了剪切带型金矿床的成矿作用三阶段成矿模式:含暗金的早期阶段、细粒金的中期阶段和块金的晚期阶段. 之后,他和 E. Marcoux(1990)就上述三阶段提出了三阶段五幕的成矿作用过程,并提出了如下结论性认识:

(1)含金剪切带早期阶段岩石类型的多样性和中期阶段构造性质的多样性是造成剪切带型金矿床多样性的原因.

早期阶段矿化是构造变形和热液蚀变联合改造主岩的结果. 全球性剪切带核部矿化作用的成分是直接继承主岩的化学成分. 除微量元素(特别是 Pb 和 Au)外,进入流体的主要组分是 S(硫化作用)、K(钾化)和 CO_2(碳酸盐化). 因此,镁铁质和超镁铁质岩能形成滑石菱镁片岩型金矿床. 遭受不同应变梯度的主岩的力学行为,控制了剪切带演化中期及晚期阶段产生的裂隙类型,可形成网脉状和脉状矿体,其成分反映了主岩的化学组成. 晚期变形和流体循环的叠加使得剪切带的矿化类型更为复杂. 晚期变形导致了早期形成产物的重结晶和业已形成矿物的不稳定,故中期阶段首次出现了块金作用.

(2)具有经济价值的含金剪切带型金矿床的形成,需要多种应力和应变状态的应变作用多期次演化过程的叠加. 因此,多阶段活动是该类型金矿床的突出特征.

在早期阶段,金以赋存于磁黄铁矿为特征,除此之

收稿日期:2006 – 07 – 10;修回日期:2006 – 09 – 22. 李兰英编辑.

外的没有发现新的金源，只有金的赋存形式或状态发生变化 . 在早期剪切带中，伴随热液流体循环发生的矿化幕是使金在有利的构造部位富集的因素 . 与此相对应，伴随岩脉或网脉出现的每一次构造活动的末期都会导致矿化的重新分配，在某些情况下，能使金贫化. 毫无疑问，这些活动对金以矿物形式出现以及块金的形成起到了重要作用 . 这些矿化幕的连续演化导致了金的富集 . 多次活动的矿化剪切带矿化较比新生的剪切带好 .

(3) 火山 – 沉积岩系中的含金剪切带中的各个矿化幕及其相对应的金的品位变化特征不同 .

早期阶段(第一幕),在剪切带糜棱岩化面理上,形成由含金毒砂和金属硫化物组成的浸染状金矿化，这种矿化一般不具工业意义 . 在剪切带中心贫钛的硅化带中，形成含金硫化物的初步富集 (第二幕) . 金不呈独立矿物存在，仅仅在毒砂晶体的边缘富集 . 隐伏的乳白色石英脉在早期剪切带中或其附近定位 (第三幕). 这种脉可具有 Bi、W、Mo 或 Sn 等元素共生 . 在构造再次活动过程中，使其中的一部分成为新的矿化载体 . 但是总体上继承了早期阶段矿化，重新活化富集形成金矿 . 这种现象反映在中期阶段的富集相中，并首次形成独立自然金 (第四幕)，其一般以铅代入形成方铅矿为特征，并且在土壤中形成 Pb 的地球化学异常. 在晚期阶段 (第五幕)，剪切带内形成网脉状石英脉，根据重新形成的矿化类型 (参见图 1 中的①②④型)的不同,形成品位不等的块金 .

图 1 中金的含量是指每一个演化幕中矿石分析的品位，数字① ~ ⑤代表剪切带演化各个幕的序次以及相应的矿化建造 . 第一和第二幕为早期阶段：①浸染状含金磁黄铁矿形成; ②浸染状含金毒砂出现, 引起金品位增高 . 第三和第四幕为中期阶段: ③代表主构造定位; ④自然金和硫化物在有利的石英相中沉淀, 使主构造矿化 . 第五幕为晚期阶段, 形成网脉和块金 .

2 + 5 幕或 4 + 5 幕形成高品位矿石 ;1 + 5 或 4 + 5 幕形成低品位矿石 . 在构造规模范围内，后一种情况常与 Ag、Pb 和 Cu 伴生,导致含金总量降低 . 个别样品中可能含有很好的块金，金品位局部可达 100×10^{-6} 数量级 .

1.2　存在的问题

笔者以为,上述有关含金剪切带的主要研究成果,尚存较多有待进一步探索的问题 . 这些问题是：

(1)按照侧分泌理论,不间断地从糜棱岩化的主岩中，特别是从矿胚中获取的有限物源不足以形成大型 – 特大型金矿床 . 令人不能理解的是,经过成岩期、变质期和动力变质作用过程的主岩还会残留多少可供萃取的成矿物质？因此,依据侧分泌理论,后生矿床能否获得所需的成矿物质,值得讨论 ;其次,金矿成矿物质的预富集 (矿胚) 形式是世人所关注的,那么如何予以正确的揭示则是很重要的课题 .

(2)暗金以离子金的形式存在,并成为成矿的物源(金的 ‘微粒云 ”) 的提法,存在不可确认性 . 因为人们还没有足够的证据证明，在自然界中以固体形式存在的自然金是离子态的 . 事实上，人们针对金的赋存状态，特别是能够进入热液的可能状态已进行了潜心研究，公认唯有吸附态的自然金才可能成为形成含金的成矿流体的赋存形式[4,5]. 因此,对于金的 ‘微粒云 ”的假设需要求证 .

(3)博氏等人认为,造成含金剪切带型金矿床多样性的原因是由于糜棱岩化主岩的多样性和剪切带构造活动的多样性所致的结论，笔者以为并没有阐述得十分清楚或者说没能够从成矿的动力学机理给予清晰的

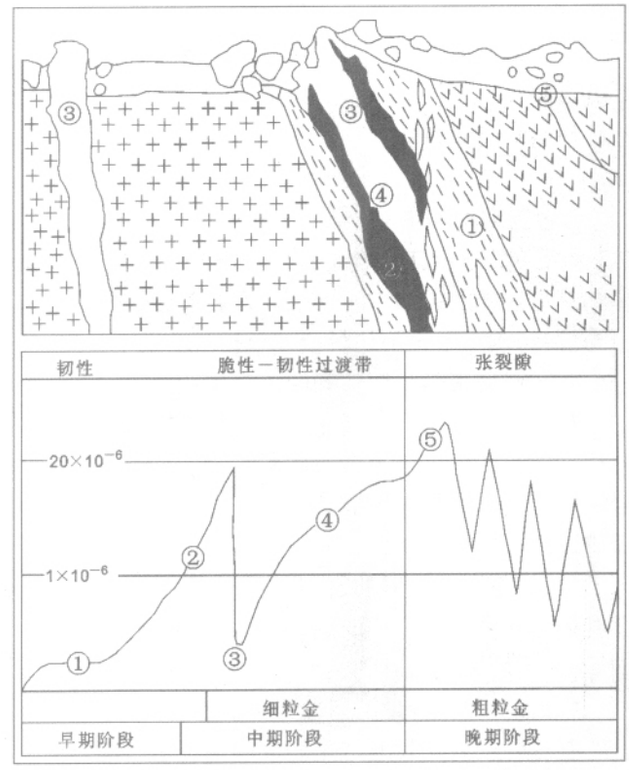

图 1　酸性或火山沉积环境中剪切带型含金石英脉演化图
(据 M. Bonnemaison 和 E. Marcoux, 1990)

Fig. 1　Evolvement course of shear zone type gold-quartz vein in acidity or volcanic sediment environment
(after M. Bonnemaison and E. Marcoux, 1990)

解释.

上述相关的问题归根结底是涉及含金剪切带的基本概念问题，为什么含金剪切带能够兼具控矿与成矿两种作用？对此，我们逐一展开讨论.

2 含金剪切带的定义

2.1 重新审视并定义含金剪切带概念

从上述提及的的 M·博纳梅宗有关含金剪切带的概念可知，确认含金剪切带应该包括 3 个基本条件：其一是含金剪切带是长期活动的大型构造通道；其二是主岩(实际是含金建造)早于韧性剪切带形成或与韧性剪切带同时形成；第三个条件是含金剪切带产于基底岩系中. 只有这样才可能使得糜棱岩带成为矿液流通和矿化赋存的有利条件，从而形成含金剪切带型金矿床. 对此，笔者是赞同的，但是在以往的研究成果中并没有揭示含金剪切带形成的实质性内涵. 对此，分析如下：

(1)含金剪切带是同韧性剪切带.

鉴于含金剪切带通常是韧性剪切带，是地壳中深层次的线性塑性变形的产物，因此就规范了含金剪切带的形成的特定性，即标志着含金剪切带形成于基底岩系的形成时期或者基底岩系的同构造变质变形旋回期. 据此，本文可定义含金韧性剪切带是同韧性剪切带. 换言之，非同韧性剪切带不可能成为含金韧性剪切带.

(2)含金剪切带是由含金建造构成的糜棱岩带，从上述论及的含金同韧性剪切带形成的充要条件，还能够十分清晰地看出，含金剪切带的成矿流体源于糜棱岩化之前的原岩，特别是原岩能否为成矿流体的形成提供必要的物化条件. 只有如此，含金同韧性剪切带才可能兼具成矿流体通道和自我成矿机制的双重作用，而区别于非同韧性剪切带和脆性断裂的单一控矿作用.

(3)含金剪切带是含金成矿流体的储集构造带.

如上所述，既然含金剪切带的主岩是由含金建造组成的，因此，在主岩成岩期必然派生出含金的同生建造水溶液，这是毋庸置疑的. 与此同时形成的韧性剪切带作为下地壳的扩容带的形成，具有能够大量吸纳含金流体的条件，而成为含金流体储集构造.

综上，可以给出含金剪切带一个合理的定义：含金剪切带是产于基底含金建造形成期或同构造旋回期的，含有含金流体的同韧性剪切带.

2.2 排山楼金矿是同韧性剪切带型金矿

辽宁省阜新市排山楼同韧性剪切带型金矿床发育于以流纹质熔岩－射气岩(含电气石)以及由富含泥质石英砂岩、杂砂岩及灰岩组成的类浊流沉积建造的新太古界瓦子峪岩组与以中基性火山岩及层流沉积物(硅铁质建造)的大营子岩组接触部位的瓦子峪岩组一侧. 显示出该剪切带是基底含金岩系变质变形期的同韧性剪切带，并且含金剪切带成生的部位恰恰是差异性能干性岩层之间的滑移剪切的产物(图 2). 其成矿流体主要源于瓦子峪组含金火山喷气－浊流沉积建造的成岩期，并于变质变形期存储于韧性剪切带内[6,7]. 然而，该矿床的特点是大而贫，不具有博氏的三阶段成矿过程. 依笔者之见，其关键在于含金同韧性剪切带成矿体系的自组织成矿作用的动力学问题.

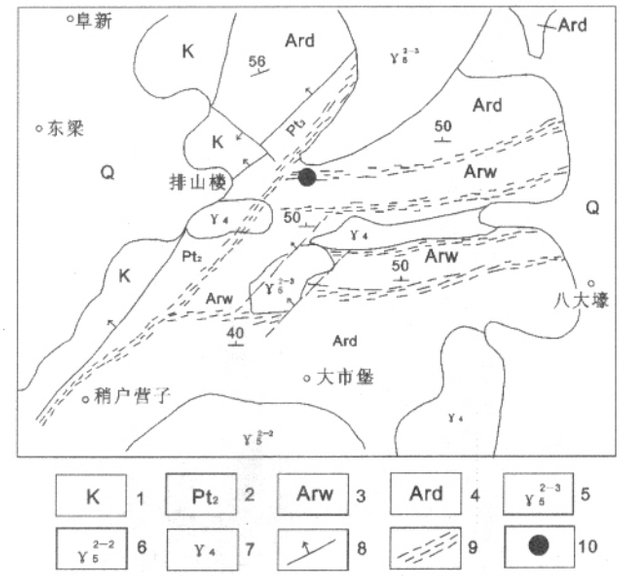

图 2 排山楼地区区域地质略图

(据曲亚军、高殿生等,1990,修改)

Fig. 2 Regional geologic map of Paishanlou area

(modified from QU Ya-jun, GAO Dian-sheng et al., 1990)

1—白垩系(Cretaceous);2—长城系(Changcheng sys.);3—太古宇瓦子峪组(Archean Waziyu fm.);4—太古宇大营子组(Archean Dayingzi fm.);5—燕山期似斑状花岗岩(Yanshanian porphyritic granite);6—燕山期黑云母花岗岩(Yanshanian biotite granite);7—海西期花岗岩(Hercynian granite);8—断层(fault);9—韧性剪切带(ductile shear zone);10—排山楼金矿(Paishanlou gold deposit)

3 含金同韧性剪切带成矿动力学问题

3.1 关于含金同韧性剪切型金矿的多样性

本文不赞同含金同韧性剪切带金矿床的多样性取决于糜棱岩主岩的多样性的认识，但是赞同造成矿床多样性的主因是含金同韧性剪切带活动多样性的看

法. 所谓同韧性剪切带型金矿床的多样性具体表现在3个方面:①虽然是含金同韧性剪切带,但是不具经济价值;②虽然具有经济价值,但不具有块金效应,如排山楼同韧性剪切带型金矿(矿床平均品位为 1.5×10^{-6});③能够形成具有所谓三阶段的金矿床. 笔者以为,韧性剪切带型金矿床首先应该具有金矿床的共同属性. 所谓含金同韧性剪切带活动的多样性同样可以按照其成熟度的标志进行划分:①成熟的标志是,经历了从韧性→韧脆性→脆性及其脉动;②不完全成熟的标志是,只经历了从韧性→韧脆性→脆性的演化,没有在脆性阶段出现脉动成矿的迹象;③不成熟的标志是,仅仅经历了从韧性到韧脆性的转变. 由此可见,造成上述3种类型含金同韧性剪切带的主因在于:①所谓的糜棱岩带中的含金成矿流体的丰富与否;②在此前提下,含金同韧性剪切带活动能否达到成熟状态,取决于活动过程的成矿动力学条件.

3.2　成矿动力学研究现状

在有关含金同韧性剪切带的成矿动力学方面,Robert 和 Kelley(1987)、Robert(1988)、R. H. Sibson(1988、1994)、F. Robert(1995)等先后提出了高角度逆断层是先存韧性剪切带的重新活化[8, 9],可能的情况是:在拉张体制下形成的高角度正断层,当区域应力场转变为挤压时变为高角度逆断层;当包含区域应力方向时,由陡直的走滑断层转化而成;初始的低角度逆断层逐渐变陡. R. H. Sibson 等还推断,由于静岩压力与静水压力的差值为 17 MPa/km,因此,在 10 km 处因断层地震破裂引起的流体压力降低是巨大的,它必然会影响到石英及其他矿物的溶解度,是导致矿物沉淀的重要因素. 另外,该类矿床的流体一般为富含 CO_2 的低盐度溶液,压力的突然降低必然导致溶液沸腾或不混溶作用,从而引起碳酸盐沉淀.

韧性剪切带是地壳深层次(0~15 km)普遍存在的构造形式,是相对狭长的(长宽比大于 5∶1)被低有限应变状态岩石包围的面状高应变带,它具有强烈的塑性流变及剪切应变的特点. 韧脆性转换带的温压条件为:10~15 km、250~400 MPa、250~350℃. 按照含矿构造脉动成矿理论(R. H. Sibson,1994、1995),能够完成全部的金矿成矿作用过程.

由上述可见其中存在的问题:①没能够阐述含金同韧性剪切带是如何从深层次转换为浅层次的动力学问题;②没有阐明含金同韧性剪切带是含金成矿流体的储集构造;③韧脆性转换(10~15 km)的高压状态能否进入成矿状态是值得探讨的.

3.3　关子块金效应问题

块金效应不是含金剪切带型金矿床所独有的现象. 君不闻采矿者说,某某矿曾经遇到大片的叶子金;某某金矿中含有明金,乃至块金等等. 实际上"原生"的明金在大部分金矿,尤其是石英脉型金矿中是一种普遍存在的现象,并且明金存在的部位往往是很少出现硫化物的"老白干"石英脉中. 对于这种块金的形成,通常认为是成矿定位后的"再溶解,近迁移"的产物(图3). 研究表明,这种块金常常位于矿床的上部以及独立的几乎未见硫化物的石英脉中(如我国蓬莱地区的黑岚沟金矿至大柳夯金矿一带). 因此,在形成"狗头金"的理论中,提出了胶体成因说和源于原生矿中的块金风化剥蚀的观点都是有据的.

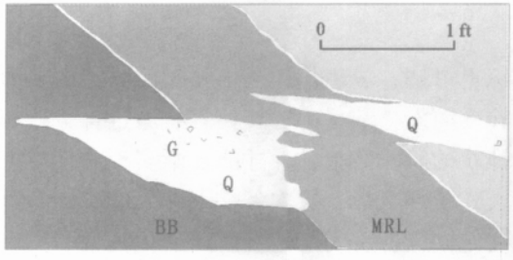

图3　切穿梅因里夫-利窦层(MRL)和勃莱克巴尔层(BB)的次生石英脉

(转引自 R. W. Boyle, 1984)

Fig. 3　Deuterogenic quartz vein cutting through MRL and BB layers

(after R. W. Boyle, 1984)

Q—石英(quartz);G—粗粒金(macro-grained gold)

如果说块金效应并不是作为同韧性剪切带型金矿床独有的,那么需要解释的只有贫而大和富而大同韧性剪切带型金矿床两种矿化了.

3.4　含金同韧性剪切带型金矿床的成矿动力学

地体的抬升速率是含金同韧性剪切带的动力学机制. 韧性剪切带演化的3个阶段是(图4):早期形成时,深度大于 10~15 km,温度不低于 400℃,压力 400 MPa 以上,并且是从韧性向韧脆性转变的层次标志. 中期阶段有关的流体包裹体的均一温度为 250~350℃,压力为 50~200 MPa(相当 5 km 左右深度),表明了剪切带业已进入脆性层次. 此外,流体演化表明,中期阶段进入容矿部位的流体是均一相的,然后变为富 CO_2 三相包裹体,有时含有一定的甲烷和氮气,水是主要成分,具低盐度,能够表征成矿流体沸腾状态. 晚期阶段的成矿流体不含挥发份,盐度变化大,均一温度较低,为 200~150℃.

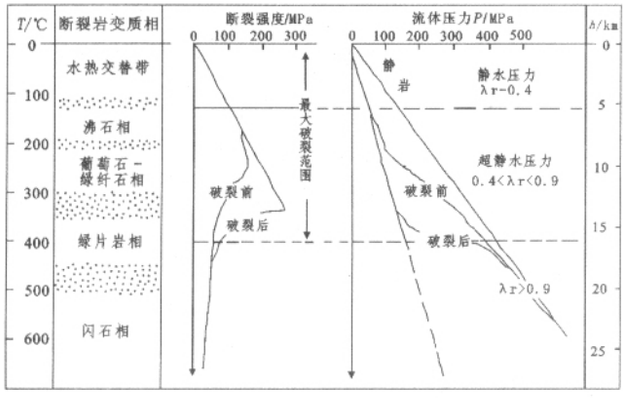

图 4 断裂带中的流体状态垂直分带图

(据 R. H. Sibson, 1994)

Fig. 4 Vertical zonation of fluid state in fault zone

(after R. H. Sibson, 1994)

综上可知，成矿作用是由相对的深层次逐渐向浅层次转变而发生的．这种转换只有通过含金剪切带所在的地块的阶段性抬升，才能逐渐实现从韧性至韧脆性以及在脆性变形域层次条件下进入成矿期．由此可知，决定同韧性剪切带型金矿床矿化类型和贫富的主因是含金剪切带所在地体的抬升速率．抬升速率很快，含金成矿流体来不及汇聚沉淀成矿，显然形成的矿化是相对均匀的贫矿化；如果含金同韧性剪切带没有经历过韧脆性形变阶段，从韧性直接进入脆性阶段的快速抬升，赋存于含金同韧性剪切带中的成矿流体没有发生任何位移，显然就不能形成矿床；如果含金同韧性剪切带经历了从韧性→韧脆性→脆性，并且在脆性阶段完成全部的各个阶段的成矿作用过程的话，显然形成的金矿床不仅仅是相对富矿化类型，而且完全可能出现成矿定位后的块金效应．

综上所述，含金同韧性剪切带形成的矿床（矿化）类型的多样性归根结底取决于地体（地块）的抬升速率，而不是所谓的三阶段的某一阶段成矿所致．由此可见，博氏等人的观点是建立在惟含金剪切带的自身的讨论，而未能够注意成矿环境的重要影响．所以，本文强调了导致矿床多样性的关键在于成矿环境赋予的动力学机制．至于能否形成大型和特大型金矿床的主因并不在于含金同韧性剪切带是否是连续活动，关键在于同韧性剪切带内是否存在丰富的成矿流体．

3.5 排山楼金矿床的成矿动力学

根据 R. H. Sibson（994）断裂流体的垂直分带及排山楼金矿围岩的变质相，大致可以推断该含金同韧性剪切带初始的性状，即形成于压力 500 MPa、温度为 500℃和 20 km 深度韧性状态．本区域自古元古代以来为缓慢抬升过程，而自中新元古代开始较快速抬升，从而进入了韧脆性的转变阶段[10]．自中生代，本区域卷入了滨太平洋构造域演化时期，地体被改造成为北东—北北东向的断块式盆、岭格局，沉降（或抬升）幅度达 6 km 以上，此时该剪切带已累计抬升 15 km 以上，进入了水热交换带的成矿定位状态．但是，由于抬升的速率较大，致使该剪切带脆性演化并不是很强烈，仅局部出现硅化和黑云母化伴生（此现象表征温度较高，层次较深）以及沿平行主剪切面的破劈理，充填有石英细小脉体．浸染状展布的微粒状黄铁矿成为了金的主要载体矿物．因此多金属硫化物极其稀少．这就是说，其成矿阶段仅仅表现为相当于博氏的早期阶段（以细粒金为主，兼有显微金和次显微金）的特征．

综上所述，含金同韧性剪切带的成矿多样性取决于所在地体或地块的抬升速率及其阶段性．

4 含金同韧性剪切带成矿机理

含金剪切带型金矿床既然是金矿床，那么它就应该具有金矿床的一般属性（热液的、受控于断裂的后生矿床），而服从于金的成矿理论．

4.1 侧分泌理论不是成矿流体形成的机理

如上所述，含金剪切带只有作为韧性剪切带型成矿流体库的构造样式，才可能兼具控矿与成矿的两种属性．

对此，博氏等人在其论述中，称之为“溶液矿源层”，并且是一笔带过，未能详述，反而十分强调热液的侧分泌作用．鉴于此，本文完全不赞同成矿流体的形成是浅层次的大气降水对流循环萃取主岩的理论．众所周知，侧分泌理论的对流循环说只能够，并且仅仅能够在相对开放系统的条件下进行，并且对流循环的路径局限于断裂裂隙的连通等条件，对主岩的萃取是极其有限的．并且含金流体必须是低盐度的 $COS-H_2O-CO_2$ 溶液，对流循环的溶液又是难以“耦合”的．因此，侧分泌理论不适于金矿床成矿流体的形成．对此，David I. Groves（1988）同样认为绿岩金矿不是如此形成的．这些证据包括：①矿石形成于较高的压力（100～300 MPa）条件下的较深部位；②构造研究和铅同位素研究表明金矿化的时间晚于火山活动；③一些矿脉在垂向上延深较大，这与近地表沉淀机制相抵触；④氢氧同位素研究表明流体具岩浆、变质或“同生”成因．本文的理由是，固定在固体岩石中的金是很难被活化－迁移的，唯有那些呈吸附态的金才能够较为容

易进入溶液中. 而只有沉积物中的金才呈吸附状态,因此只有含金沉积建造才可能提供丰富的进入成矿流体的可溶性金. 这就不仅仅与含金同韧性剪切带的形成环境和条件相吻合,而且为本文提出的真正意义上的含金剪切带中的"含金"的实质是含有含金流体的韧性剪切带提供了依据. 换言之,本文赞同 David I. Groves(1988)提出的 3 种可能来源之一的同生(含金流体),即本文称为同生建造含金溶液的观点,由此可见所谓含金同韧性剪切带就是含有同生建造水构成的含金溶液的同韧性剪切带.

4.2　金的"微粒云"仅仅是一种假设

博氏等人提出三阶段的金的"微粒云"(由暗金提供)的设想与其论述的矿床形成的实际不符,特别是早期阶段以离子金赋存于毒砂、磁黄铁矿等铁的硫化物中的提法是极其不合理的. 经研究以及大量的矿床揭示表明[4],磁黄铁矿的晶格具有 Fe^{3+} 的缺席构造,因此在理论上应该富含金. 但是由于其摩氏硬度 4, H_v 值为 373 ~ 409, 故易发生塑性变形,实际上并不含金. 统计表明,矿床中金的主要载体矿物是毒砂(如果存在)→黄铁矿→石英,并且这些作为金的载体矿物的充要条件是碎裂化(这也是博氏等人十分强调的),而完好的自形晶是不含金的. 上述金的载体矿物的含金次序恰恰反映了这些矿物的易发生脆性变形的特征,例如黄铁矿摩氏硬度 6 ~ 6.5, H_v 值为 1452 ~ 1625,属于极性脆;毒砂摩氏硬度为 5.5 ~ 6, H_v 为 870 ~ 1168,属于极性脆;石英摩氏硬度 7, H_v 为 763 ~ 1140,易碎裂. 由此可知,在相同应力作用下,上述五种矿物的碎裂程度依次是毒砂→黄铁矿→石英,所以金矿床中的金的载体矿物及其含金次序如上所列. 诚然,磁黄铁矿在很多金矿床中都或多或少存在,并且能够转变为白铁矿和黄铁矿. 但是,总体上含量远远低于上述 3 种矿物. 例如排山楼金矿中的磁黄铁矿,其含量低于硫化物(黄铁矿为主,达 95%)总量的 5%,且不含金. 黄铁矿是该矿床的唯一载金矿物.

金在矿床中是呈自然金状态存在的. 因此,载金矿物必须是早于自然金沉淀的矿物. 铁的硫化物、硫砷化物和石英脉显然早于自然金形成,故这些矿物自然成为了金的载体矿物. 至于多金属硫化物等矿物能够成为"包体金"的载金矿物的原因在于,这些矿物几乎都是通过交代铁的硫化物(包括毒砂)实现沉淀的,所以其中的自然金将残留下来并被包裹在晚期形成的硫化物中就是自然而然的现象了. 如下列反应方程式所示:

$$FeS_2(Au) + CuCl_2^- = CuFeS_2(Au)$$

(含裂隙金的黄铁矿)　　(含包体金的黄铜矿)

综上所述,博氏等人的含金剪切带成矿过程和多阶段成矿理论不符合金矿成矿实际,需要修正,某些推测甚至是应该否定的("微粒云"/暗金).

4.3　成矿过程与机制

将含金同韧性剪切带的成矿作用过程建立在含有含金成矿流体前提下,便易于解释. 试论述如下.

(1)成矿流体的分异与机制

众所周知,成矿流体是一个复杂的多元的有限混溶体系. 因此,在剪切带活动期间,由于压力降低,必然导致初始的混溶体系发生分异,出现了酸碱分离、气液分离的分异作用[11]. 所以,形成了酸性蚀变在先的阶段以及接续的含 SiO_2 的碱性溶液上升,形成充填型石英脉[12, 13]. 鉴于 SiO_2 流体通常为胶体溶液,因此其巨大的胶体分子团需要更大的裂隙. 这就是说,剪切带必须进入脆性形变强烈的状态,否则难以形成石英脉. 所以,石英脉的出现是剪切带从韧脆性向脆性转换的标志.

(2)成矿沉淀过程

经综合考查,各种类型金矿床的矿化次序是:石英脉充填阶段→铁的硫化物(毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿)阶段→构造脉动→自然金沉淀阶段→构造再活动→含铁的多金属硫化物(黄铜矿、铁闪锌矿为主,有时出现辉铋矿)通常以交代铁的硫化物方式沉淀阶段→不含铁的硫化物(主要是方铅矿、辉银矿)沉淀阶段→含银、砷、锑的硫盐沉淀阶段→低温硫化物(辉锑矿、雌黄、雄黄等)沉淀阶段. 这一矿石矿物沉淀次序不仅仅为大多数金矿床所共有,含金剪切带型金矿床同样是毫无例外的. 对于某一个具体金矿床而言,其矿石矿物的种类及含量的多少,只与初始的成矿流体性质有关,而与其他任何因素无关. 需要说明的是,初始成矿流体的性质又与含金沉积建造的性质和沉积物的物源(火山 - 喷气沉积、陆源碎屑沉积,或者两者兼而有之)有关,但是无论是哪一种来源,含金沉积建造充要的地球化学条件必须是富含铁、硫和碳的,似乎缺一不可. 这是由于富铁意味着金的初始丰度较高,富硫表明了吸附金能够进入溶液的可迁移要素,而富碳表明了含金溶液的物化性质处于稳定的条件,从而保持金的稳定溶解和成矿前的多次迁移.

笔者认为,当含金剪切带进入脆性形变域,甚至发生沸腾成矿,这就意味着剪切带的成矿作用完全属于自身的脉动成矿过程了. 它的成矿机理应该完全服从

于真空抽汲源和“断层阀”的脉动成矿机制.

参考文献：

[1]Bonnemaison M, Marcoux E. Les zones de cisaillement auriferes du sode hercynien francais[J]. Chronique de la recherche miniere, 1987, 488.

[2]甘盛飞. 国外前寒武纪金矿床地质研究进展[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1992. 114—121.

[3]博伊尔 R W. 黄金开发史和金矿床成因[M]. 北京：原子能出版社，1991. 189—390.

[4]周乃武. 论金的亲铁亲硫性[J]. 矿山地质，1990，11(2)：77—82.

[5]马启波. 中国热液金矿床黄金建造及成矿作用与找矿方向[M]. 北京 地质出版社，1994.

[6]骆辉. 辽宁阜新排山楼金矿地质和成矿作用[J]. 前寒武纪研究进展，1997，20(4)：13—23.

[7]曲亚军，高殿生. 排山楼金矿地质特征及金质来源[J]. 辽宁地质，1990，(4)：302—314.

[8]Simon J H. 碎屑沉积地体的金矿成矿作用[A]. 见：国际金矿地质与勘探学术会议论文集[C]. 1989. 50—57.

[9]Fyfe W S, et al. Fluids in earth´s crust [M] Amsterdam-Oxfrod-New York: Eleveier Scientific Publishing Company, 1978.

[10]沈保丰, 骆辉. 辽宁阜新排山楼金矿 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 同位素年代学[J]. 前寒武纪研究进展，1998，20(4)：10—18.

[11]解习农，李思田. 断裂带流体作用及动力学模型[J]. 地学前缘，1998，13(3—4)：145—151.

[12]Bonnemaison M. Les “filons de quartz aunrifere”: un cas particulier de shear zone aurifere[J]. Chronique de la recherché miniere, 1986, 482.

[13]王安建，李树勋. 脉状金矿与成因[M]. 长春：吉林科学技术出版社，1996. 11—121.

METALLOGENESIS OF AURIFEROUS SHEAR ZONE TYPE OF GOLD DEPOSITS

WANG Rong-hu[1,2], LIU Zhi-yuan[3], ZHOU Nai-wu[1], ZHAO Chun-fu[1], HOU Gen-qun[1]

(1. *College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang* 110016, *China*; 2. *Liaoning Gold Corporation, Shenyang* 110015, *China*; 3. *Liaoning Institute of Nonferrous Geological Exploration, Shenyang* 110002, *China*)

Abstract: Based on an integrated study and comparison of the shear zone type of gold deposits both in China and abroad, the authors sum up the conception and criterions of auriferous shear zone and gold deposits of the type. By examination of Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning Province, it is concluded that the auriferous ductile or ductile-brittle shear zone is the specific result during the forming stage of supracrustal rock and basement rock series or the metamorphic-deformation stage of syntectonic cycle. Therefore, it can be referred as to auriferous syn-ductile shear zone. Such shear zone is a structural style that can preserve auriferous fluid. The metallogenesis for shear zone necessarily undergoes the following process: uplifting to shallow level, convergence of ore-forming fluid and deposition of mineral elements. The variety of metallogenetic process results in different metallization types of gold deposits.

Key words: auriferous syn-ductile shear zone; gold deposit of auriferous syn-ductile type; metallogenesis; Paishanlou gold deposit; Liaoning Province

作者简介：王荣湖(1964—)，男，辽宁盘锦人，高级工程师，1990 年毕业于东北大学研究生院，现为东北大学在读博士，从事黄金地质管理与研究工作，通讯地址 沈阳市东陵区万柳塘路 109 号 辽宁黄金公司，邮政编码 110015.