

试论金的构造地球化学及其找矿的几个问题

徐光荣

(长春冶金地质专科学校)

随着地球化学,尤其是勘查地球化学的蓬勃发展,六十年代出现了一门地球化学与构造地质学相结合的边缘学科——构造地球化学。处在形成和发展中的构造地球化学,目前还没有一个能被普遍接受的完整定义。笔者认为,构造地球化学主要是研究在不同层次的构造单元内,在不同期次的构造活动中,在各种构造应力的作用下元素和离子的地球化学性状和规律,以及它们的分布和分配特征。构造地球化学涉及的范围很广,本文着重讨论金的断裂构造地球化学,探讨金的构造控矿模式及应用构造地球化学普查、评价内生热液金矿的几个基本问题。不当之处,欢迎批评指正。

金的构造控矿模式

金矿床与其他金属矿床相比,成矿作用具多样性、多期性和多成因性。在众多的金矿床类型中,分布最广泛、生产量较大的要算内生热液金矿床,它占我国已知金矿储量的80%以上。其工业类型大体可分为石英脉型、破碎带蚀变岩型和细脉浸染型。一般来说,内生热液金矿床具有对太古宙基性火山岩、中酸性侵入体和构造的专属性^①。一段时间以来,有相当一部分学者强调金矿的层控性,另有相当一部分学者则强调金矿成矿作用的多样性,否认金的成矿作用有专属性。但从国内外金矿的普查找矿实践和大量著名内生金矿床的基本地质特征看来,内生金矿床普遍具上述三种专属性,且与层控性、金的成矿作用的多样性之间并非是水火不相容的关系。在金的三种专属性中,最突出的是金对构造的专属性。根据笔者的工作实践,认为内生金矿床普遍受深断

裂、主干断裂带、长断裂、扩容段构造四级构造单元分级控制,其总和组成金的控矿构造系统。

(一) 深断裂 受深断裂带控制,是国内外许多著名金矿基地的共同特征,Е. А. 拉德凯维奇把它概括为金对深断裂的专属性。Г. П. 沃拉诺维奇指出,蒙古—鄂霍茨克深断裂带控制了它南北两侧的金矿带,北侧有斯塔诺夫金矿带;南侧为主金矿带,包括外贝加尔金矿带、阿穆尔金矿带和东锡霍特阿林金矿带。我国佳木斯—牡丹江金矿成矿带受敦(化)—密(山)深断裂控制,据邵永恕等人资料,该深断裂南侧以再生岩浆型金矿为主;北侧以混合岩化热液型金矿和变质热液型金矿为主,成矿带主体产于太古宙麻山群分布区,目前已有183个金矿产地。近几年找到的老柞山大型金矿受敦密深断裂和依(兰)—舒(兰)深断裂控制。横贯吉林全省的挥发河深断裂控制着其南侧的辉南石棚沟金矿、桦甸夹皮沟金矿、安图海沟金矿和龙金城洞金矿等;其北侧有二道甸子金矿。地跨内蒙、辽北的赤峰—开原深断裂控制了红花沟、撰山子等一系列金矿床和矿点。山东省招掖地区的金矿受沂沭深断裂控制,三山岛、玲珑、焦家等大型特大型金矿均位于该深断裂的北东侧。

控制内生热液金矿的深断裂,不同于控制铬、镍、铂族元素和钒钛铁岩浆岩型矿床的深断裂。后者主要为硅镁层深断裂;而前者普遍属于硅铝层壳型深断裂,且多产于太古宙老变质岩分布区或太古宙花岗岩—绿岩带,一般延长数十至数百公里,甚至上千公里。硅铝层壳型深断裂控制着与内生热液金矿有关的中酸性侵入杂岩体或复合岩体群的规模和空间分布,影响主干断裂带的规模和空间定位,控制着金的一级成矿单元——金矿成矿省或金矿成矿带。与其相应的地

①徐光荣:金矿成矿学基础,1985年。

球化学场则为金及有关元素的地球化学省。地球化学省内的地层和岩石,尤其是太古宙基性火山岩中,金的丰度普遍高于金的地壳克拉克值,这些含金高的岩石和地层很可能是在硅铝层下部被地热流加温改造为中酸性重熔岩浆,在区域构造运动的驱动下沿深断裂与次级断裂的交汇部位由下往上运移,或在深部由深断裂流向与其相邻的次级断裂,再由下往上运移,形成呈带状或呈群分布的侵入体,或迳直溢出地表而成为火山岩或火山—侵入岩体建造。因此,深断裂是含金热液的一级导矿和容矿构造,从总体上限定了金的矿化蚀变范围,决定了金及其有关指示元素的迁移方向和路径。

(二) 主干断裂带 主干断裂带一般产在深断裂的附近或直接产在深断裂带之中,它是内生热液金矿的二级导矿和容矿单元,通常由一条中位断裂带和若干条侧位断裂带组成。主干断裂带的突出特征之一是规模大,一般沿走向断续延长十几公里至几十公里,宽数百至数千米,中位断裂的规模大于与其相邻的侧位断裂。组成主干断裂带的构造单元主要是经长期、多次构造运动产生的断层及劈理、节理等,且普遍被不同期次、不同规模和不同岩性的岩墙、蚀变带和石英脉所充填交代。产在主干断裂带内的含金石英脉和蚀变岩成群成带出现,沿主干断裂带走向断续相连,组成含金脉群带,其规模与主干断层带一致。大型、特大型和许多有工业意义内生热液金矿床,几乎都产于规模巨大的含金脉群带的脉岩集中地段。如夹皮沟金矿和小秦岭的老鸦岔脑含金脉群带都长达50公里,宽5公里。山西省代县滩上含金脉群带长18公里,宽3公里。胶东焦家含金脉群带长12公里,宽50~200米;玲珑、新城、三山岛、灵山沟等大型特大型金矿均产在主干断裂带内脉岩较集中的地段。

产在主干断裂带中的岩墙是整个断裂带的基本组成部分之一,它是重要的容矿条件、容矿构造和找矿标志。在金矿研究中,国内外有不少人强调脉岩的重要性^②。笔者认为,脉岩的重要性

主要在于它是主干断裂带的基本组成部分,不产在主干断裂带内的脉岩对金矿是没有意义的。与金矿化有关的脉岩的岩石类型,看来没有明显的专属性,如小秦岭金矿、胶东金矿主要与基性岩墙,尤其是辉绿岩和煌斑岩岩墙关系比较密切;夹皮沟金矿主要与中、酸性岩墙,尤其是闪长玢岩、花岗闪长岩关系比较密切;不少金矿床与伟晶岩脉、正长斑岩岩脉有关。金矿脉多产于脉岩的上盘和下盘,尤其是下盘;富矿柱多产于含金石英脉与脉岩的交汇处,含金比较富的金矿脉常产在数条成矿前的脉岩之间,因此,脉岩是金富集的重要屏蔽构造。产在主干断裂带内的岩墙,按其与成矿的时间关系,可分为成矿前、成矿期和成矿后的。前二者是重要的屏蔽和容矿构造;后者往往穿插破坏矿体,但因为它们在空间上与金矿脉有密切关系,同样是重要的找矿标志。在脉岩不发育甚至没有脉岩的地段,矿化往往不强,很难见到大型、特大型金矿体或富矿段。

主干断裂带是内生热液金矿床的二级控矿构造单元,它的产状和规模决定了金矿田的产状和规模。

(三) 长断裂 含金长断裂,一般是指含金脉群带中沿走向延长大于1000~2000米、延深大于500~1000米以上的容矿断裂构造,一般宽数米至数十米,延深往往大于延长,有的延深达3500米以上,是大型、特大型内生热液金矿床或金矿体的主要容矿构造。例如,印度科拉尔金矿延深达3500米,金储量700吨;加拿大鄯秋潘金矿矿体延深1220米,金储量为1550吨;澳大利亚卡尔古利金矿延深1200米,金储量1050吨;我国玲珑金矿的52号脉长2100米,宽3~30米,已控延深600米,预计延深可达1800米,175号脉长2000米以上,二者都是特大型矿体;小秦岭金矿长度大于2000~4000米的长断裂有7条,金储量占该矿总储量的80%以上,其中文峪矿区的505号脉长4200米,宽10米左右,已控延深900米以上,为一特大型矿体。可以说只有主干断裂带内的长断裂才有可能形成大型和特大型内生热液金

^②刘连登等:脉岩在热液金矿床成因研究中的意义,1985年。

矿床或金矿体。

长断裂主要由断层或复合断层组成,断裂面的力学性质通常经过多次演变,一般为压扭性或张扭性复合断裂,其形成历史普遍具长期多次活动的特点,至少有2~3个大的构造运动期(成矿前,成矿期和成矿后的),每期构造运动又具“脉动性”。在长断裂中形成金的工业矿体,至少要有成矿前和成矿期的两期构造运动,前者形成的断裂构造一般被成矿前的岩墙、乳白色石英脉或矿化蚀变岩充填交代,不形成金的工业矿化。只有成矿期间构造运动强烈,“脉动”频繁,使前期形成的岩墙、石英脉和蚀变岩受到破坏,为含金热液提供运行通道,并为含金和金属硫化物的细粒深色石英沉淀提供容矿空间。成矿后的构造运动对金矿体起破坏作用,为晚期热液脉体提供沉积场所。

含金长断裂在主干断裂带中通常以含金蚀变岩和含金石英脉的面貌出现,沿走向断续相连,在水平和垂直剖面上多见膨胀、收缩、分枝、复合、尖灭、再现等现象。沿走向呈首尾相应,或呈雁行状、叠瓦状延续,倾角普遍偏陡且多变,深部可见倾向翻转现象。在地貌上,由于差异风化作用,含金长断裂常呈线状负地形或正地形,其风化残积物往往被高价铁离子染成红色,在某些地段可以见到铁帽、锰帽、硅质细脉带、硅化岩石崖。蚀变岩多见黄铁绢英岩化、绢英岩化和青盘岩化等。沿含金长断裂的走向和倾向,一般能测到金及有关指示元素的原生晕异常。

(四) 扩容段构造 含金长断裂中金的局部富集地段称为金的扩容段构造,是赋存金矿体和金的富矿段的主要容矿构造。沿长断裂走向或倾向常出现构造应力局部集中,使岩石破碎程度、裂隙率和孔隙度显著地高于其相邻地段,形成减压扩容构造。当含矿热液沿长断裂运移进入扩容段时,由于空间骤然增大,压力骤然降低,使矿液运移速度急剧减缓,甚至滞留,进而导致矿液温度相应下降,加之扩容段内裂隙水、孔隙水的掺入和岩石化学成分的影响,使矿液的pH, Eh值等发生变化,促使金及有关的元素迅速析出,形成金的富矿体或富矿段。含金长断裂内的扩容

段构造往往延深大于延长,故金矿体和金的富矿段通常多呈柱状。

含金长断裂中扩容段构造的类型比较多,根据现有资料,归纳如下:

1. 张裂隙,尤其是张压或张扭复合裂隙。在露头上常表现为长断裂的膨胀段或复合段,所包容的石英脉或蚀变岩发育角砾状构造。

2. 含金长断裂的走向急剧变化,脉幅在拐弯处由窄变宽、或由收缩更迭为膨胀的地段。

3. 含金长断裂倾角出现急剧变化。如倾角由陡变缓,或倾向出现反向地段。

4. 含金长断裂内出现封闭环境的地段。通常包容破碎带的围岩为渗透性很低的岩石或不透水体,如角岩、页岩和粘土岩等;组成破碎带的岩石为化学性质活泼、物理性质酥软的硅化灰岩、硅质灰岩,或者裂隙率、孔隙度很高的钙质砂岩、灰质角砾岩等。二者组成使含矿溶液滞积而不易逸散的封闭环境。

5. 含金长断裂与成矿前或成矿期次级断裂交叉的地段。

6. 含金长断裂内片、劈理化发育的地段。

7. 主干断裂带内脉岩比较发育且集中的地段。脉岩在两侧包住含金长断裂,或脉岩的上、下盘,尤其是下盘经多次重复破碎,并被蚀变岩和晚世代石英脉充填交代地段。

在含金长断裂中寻找扩容段构造,是应用四级控矿构造理论提高找矿效果的关键环节。扩容段构造的地球化学特征是金及有关的指示元素大量集中,并形成原生晕异常,以至出现金的工业聚集。

(五) 金的控矿构造系统 上述四级构造单元组成金的控矿构造系统。根据主干断裂与深断裂的几何关系,可将其划分为如下三种类型。

1. 包容型金矿控矿构造系统 主干断裂带被包容在深断裂带之内。如山西东北部至河北西部的浑源—滦源深断裂,呈北西向延展,是晋东北金矿的一级控矿构造,许多金矿床(点)产在该深断裂带内的若干条主干断裂带中,代县滩上主干断裂带位于其内靠西侧部位,义兴寨—三条岭主干断裂则产在该深断裂带内的轴部位置。

2.侧列型金的控矿构造系统 主干断裂带位于深断裂带的一侧或两侧,二者延伸方向大体平行。如胶东金矿的主干断裂带多呈北东向延展,位于一级控矿构造沂沭深断裂带的东侧。

3.交叉型金的构造控矿系统 主干断裂带位于深断裂带的一侧或两侧,其走向与深断裂带呈角度相交。如吉林省的挥发河深断裂带,总走向为北东东向,而位于该深断裂带南侧的夹皮沟主干断裂带则呈北西向延展,二者呈大角度相交。

金的构造地球化学基本特性

金的构造地球化学要研究的内容很广,本文着重讨论金在主干断裂带—长断裂—扩容段中的构造地球化学基本特征。

(一)构造岩类型和分带 在一个基本上未受风化剥蚀作用破坏的断裂构造中,通常地表和浅部为脆性破碎带,典型的构造岩主要为张性角砾岩或具张压、张扭性质的构造砾岩。这种构造岩与其未受破坏的原岩相比,具有较大的松散系数,是有利于矿液淀积的减压扩容带,是重要的容矿构造。断裂的中深和深部多属压性或压扭性断裂带,发育排列密集的破碎理或流劈理,构造岩类型主要为糜棱岩,它是矿液运移的通道,也是重要的容矿构造。

(二)蚀变岩类型及分带 与金矿化有关的蚀变岩产在主干断裂内,是含金脉群带的重要组成部分。在成矿过程中,含金热液进入容矿段后,由运移转为滞留和集聚,并与容矿段围岩发生复杂的渗透交代作用,形成蚀变岩带和金及有关指示元素的扩散晕,在条件有利时,进而形成金的工业堆积。蚀变岩和扩散晕在水平和垂直方向上均包围金矿体,成为比矿体大若干倍的外壳或包络晕,这就是可作为重要找矿标志的热液蚀变晕和有关指示元素的原生晕异常。

最常见的蚀变岩类型主要有黄铁绢英岩化、绢英岩化,且多紧靠金矿体(化)的边缘,是较为可靠的找矿标志。其次为硅化、玉髓化或似碧玉化、钾化、青盘岩化和绿泥石化等。蚀变围岩往往具有分带性,但蚀变围岩的类型、分带结构和顺序多因地区不同而异,应视具体金矿床而定。

隐伏金矿体所对应的地表,一般蚀变岩表现不明显,但产在主干断裂带内,沿长断裂走向延伸的蚀变岩,是寻找金及有关指示元素原生晕异常的重要标志。

(三)原生晕特征 与金矿有关的指示元素的原生晕异常多具水平和垂直分带特征,对于金矿指示元素的水平、垂向分带规律和分带模式,国内外许多地球化学工作者作了大量研究工作,提出了不少模式和经验总结,但这些规律和模式往往差别很大,具有明显的地方性。其原因主要是金成矿作用的多样性、多期性和多成因性,以及成矿物理化学条件、围岩性质、含金热液来源不同等因素,导致金的指示元素种类、元素组合及分带性等随地区不同而异,不存在普遍适用的统一模式。尽管如此,从众多资料和著名内生热液金矿床实例可以看出,金的指示元素及其分带性,客观上存在着某些基本趋势,可作为探讨其理想分带模式的实际依据。

在金矿化探工作中,应用较为广泛的指示元素有Au, Ag, As, Sb, Hg, Ba, Mn, Te, Cu, Pb, Zn, Be, Bi, W, Mo, Sn, Ni, Co, S, B, F, Cl, I等。为了预测隐伏矿体和分析判断金矿体的剥蚀深度,深入研究其指示元素的垂向分带特征,具有迫切的实际意义和重要的理论意义。根据有关元素的地球化学特征,综合有关资料,与金有关的指示元素的理想垂向分带模式大体如下:

1.远程指示元素 又称探途远素,是指其异常对指示下部赋存盲矿体较为有效的指示元素。常见的主要有Ag, As, Sb, Hg, 其次是Te, Ba, Mn, F, Cl, I等。R. W. Boyle (1979)认为,用原生晕找金的最佳指示元素是Au, Ag, As, Sb, Hg, Te。他指出,一旦发现 $Sb > 0.7 \text{ ppm}$, $Te > 0.05 \text{ ppm}$,就意味着有Au(Ag)矿化的征兆。在加拿大的耶洛奈夫金矿, As, Sb异常出现在埋深数百英尺盲矿体上方的剪切断裂带中。在澳大利亚的诺斯曼,金的盲矿体位于As, Sb异常下面达700米深。苏联И. Т. 萨马尔采夫(1983)认为, Sb, Ba, Ag, Hg是预示隐伏金矿体较为可靠的指示元素。B. B. 波利卡尔波奇金认为,

As, Sb, Hg, Cu是找金比较可靠的远程指示元素, 并指出, 如果原生晕中仅有As, Hg, Sb的高浓度, 而无Au和Ag的高浓度, 说明晕位于最佳矿化带的上方, 当接近矿化带时, 晕中Cu浓度明显下降, 一旦Au和Ag高含量出现, 且 Au/Ag 比值 >1 , 则说明已接近最佳矿化带。

应用上述远程指示元素找金, 还要结合成矿的地质时代和地质背景。Hg主要在成矿时代较晚的新生代、中生代火山岩地区效果较好, 在成矿作用古老的太古宙绿岩带金矿中, 以Hg作指示元素很难奏效, Te作为找金的远程指示元素, 亦主要倾向于中、新生代火山岩地区。综合国内外地球化学找矿经验, 认为找金矿效果较好, 适用性比较广的远程指示元素是Au, Ag, As, Sb, F及 $Au/Ag < 1$ 。

2. 近矿指示元素 主要是指在金矿体附近或矿体中与金伴生的元素, 其异常的出现表明已接近矿体, 或异常就在矿体之中。常见的主要有Pb, Cu, Zn, Mn, 其次为Ni, Co等, Au/Ag 比值远远大于1。

3. 矿下指示元素 在金矿体的下部(尾部)往往聚集某些在压力较大、温度较高条件下析出的元素, 常见的主要为Mo, W, Bi, Sn, Be。只有以上某一单元素异常出现, 不一定是矿体的尾部晕, 要结合元素组合, 含矿地层剥蚀深度、地貌等特征综合确定。由于金成矿具多期、多阶段性, 当某一矿体被剥蚀到尾部时, 不能排除在其下方和或相邻部位有可能存在未受剥蚀的隐伏矿体, 所以有时会出现矿体尾部晕和前缘晕在同一水平面上并存的情况。

构造地球化学找金的步骤和方法

(一) 逐级查明成矿地质条件 从已有的区域地质、地球化学、地球物理和遥感地质等几个方面的资料入手, 鉴别工作区内有无深断裂存在。在查明确有控制金矿的区域性深断裂存在的基础上, 进一步考查其是否位于具有Au高丰度值的太古宙老地层或太古宙绿岩带内。如属有望区, 则应继而查明与金矿有关的岩浆岩、各种脉岩和蚀变岩的发育情况和分布特征, 并根据它们之间

的组合关系鉴别主干断裂带。在有若干条主干断裂带存在的地区, 应优选最佳者作为重点工作的对象。一个有工作价值的主干断裂带其长度一般应在10公里以上, 孤立、零星、短而脉幅不宽的单个含矿脉体或微弱的蚀变岩很难赋存工业矿床。

将优选出的主干断裂带中的矿化点、石英脉、蚀变带和各种岩墙进行登记排队, 填制较大比例尺的主干断裂带地质图。区别中位断裂带和侧位断裂带, 着重在中位断裂带内寻找长度大于1000~2000米的含金长断裂。利用地貌特征、风化残积层的特殊颜色、发育于劈理节理中的蚀变岩, 及石英脉中角砾状构造被晚世代石英胶结等标志寻找扩容段构造。

(二) 测制地质地球化学剖面 在有扩容段构造特征的地段, 测制垂直其走向的地质地球化学剖面, 视具体情况间距可选用500, 200或100米, 一般测3~5条, 以基本能控制整个扩容段为宜。在工作初期, 至少要测一条横穿整个矿化蚀变带及其两侧上百米未蚀变岩石的主干剖面, 以发现金及有关指示元素的异常, 了解它们在各种围岩中的丰度。在矿化蚀变带内采样点距一般为0.5或1米, 蚀变带超过10米时, 可放宽到2~5米, 在围岩与矿化蚀变带的接触线上必须采样。从接触线至未蚀变的围岩方向, 可按0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5, 10米依次采样, 从10米往外可按10~20米点距采样, 直至离接触线100~200米处, 以了解接触带附近有无金的负异常存在, 确定是否有金的矿源层, 了解不同岩石和地层中金丰度的。

原生晕样品的重量不能少于100克, 加工过程不能过筛, 预防自然金在过筛时人为贫化。

(三) 指示元素检出限的选择 为了有效地以金找金, 金的检出限必须达到0.1 ppb级, Ag, As, Sb, Hg, Te应达到ppb级; 其他指示元素的检出限达到ppm级即可, 在工作初期, 最好不采用半定量分析方法, 以防漏掉某些元素的异常。

(四) 资料整理 根据分析结果, 绘制地质地球化学剖面图和相应的平—剖面图, 结合数据处理结果建立工作区矿与非矿致异常的区分标志, 进而选择有望异常进行工程验证。