

# 沉积岩中金矿床的基本特征 及成矿模式探讨

何立贤

(贵州省地质矿产局)

**摘要** 对已经发现的沉积岩中的金矿床归纳出十条共同的基本特征。这类金矿床与已知的汞、锑、砷矿带或矿化集中区一致,说明它们在成因上有联系。作者把汞、锑、砷、金作为一个成矿系列建立金的成矿模式,即生油模式加构造成矿模式。石油和油田水提供物源,构造破坏造成成矿条件。

**关键词:** 沉积岩; 金矿; 矿床特征; 成矿模式

## 一、共同的基本特征

已经发现的沉积岩中的金矿床,在区域地质背景,尤其是控矿条件、矿体形态、矿床规模等方面,几乎都各有所不同,但是,可以归纳出一些或多或少相似的特征,主要有以下几个方面:

### 1、赋矿地层的多层性与区域控矿层位的局限性

以贵州来说,已知具有一定规模的金矿床的赋矿层位有寒武系、奥陶系、二叠系和三叠系,从全国来说,产金层位可能更多一些,即多层含矿性。但是,在黔西南及桂西北地区,主要赋矿层位是中、下三叠统,其次是二叠系;黔东地区的三都一丹寨则主要是中、上寒武统。川西地区主要是中、上三叠统;川、陕、甘交界地区主要是寒武—志留系;湖南湘东南地区可能主要是泥盆系,都显示了地区性的层位控制性。

### 2、控矿构造的多样性与背斜控矿的普遍性

这类金矿床的控矿构造多种多样,多数为断层破碎带控矿,如丫他、金牙、紫木函、东北寨、滥泥沟、四厢厂、坝桥等,有的则为不整合(假整合)面或层间断层控矿,如板其、锅塘、央友等。但是,所有这些矿床几乎都分布在一个背斜或穹状构造轴部(紫木函、三岔河)或近轴部(锅塘、金牙、丫他)。由于这些控矿背斜、穹状构造轴部含矿层位已被剥蚀,并多受断层破坏,相当一部分矿体也可能被剥蚀掉,矿化出现在背斜周边次级构造中(如滥泥沟、册阳、四厢厂等),在黔西南地区,几乎没有一个矿床产在向斜或近向斜轴部,即使有断层切割,也难见金矿化。这种现象,在有色金属矿床,如汞矿、铅锌矿床中,也是如此。

### 3、热液成矿作用的共性

同一些产于沉积岩中的有色金属,如汞、锑、铅锌矿床一样,这类金矿也是热液成矿作用富集的,说明带矿介质是热流体,主要是热水溶液。不但产在沉积岩中的金矿床,产在其他岩类中的金矿床,也几乎都与热液成矿作用有关。在《中国矿

床》金矿一章中作者按成矿热液来源不同,把金矿床则分为岩浆(火山)热液、变质热液和地下水热液矿床等类型。所以,对金矿来说,热液成矿作用的认识是比较一致的,只不过对热液的来源有不同的见解而已。对产于沉积岩中的金矿床来说,地下水热液成矿为大多数研究者所公认,但对地下水热液的形成机制及其带矿、成矿过程,看法还不尽一致。

#### 4、主要载金矿物的相似性

从中国许多矿床以及美国卡林矿床来看,这一类型金矿的载体主要是黄铁矿,尤其是含砷黄铁矿和毒砂,其次是粘土矿物和有机质,石英和碳酸盐矿物及其他硫化物都不是主要载体。

#### 5、赋存状态的特殊性

几乎所有这一类型金矿中金的粒度极细,原生矿石中,在高倍显微镜下也难见到,属于显微粒和超显微微粒级,只有用化学分析或电子探针才能确定其存在。其在载体中的赋存状态,迄今还是一个需要研究的课题。据我们对丹寨四厢厂汞金矿床的研究,金矿物及其赋存状态有以下几种:

(1) 自然金:产于蚀变层纹状粘土质石英粉砂岩中,呈粒状嵌布于石英、水云母、方解石粒间,粒度 0.001mm,含金 95.39%,银 4.61%。

(2) 含银自然金:产出围岩及产出状态同上,粒度 0.001mm,含金 86.12—92.92%,含银 7.08—13.68%。

(3) 银金矿:产出围岩与存在形式同上,粒度 0.001mm,含金 77.36%,含银 22.64%。

(4) 含汞自然金:产出围岩同上,充填在黄铁矿裂纹中,与辰砂伴生,或在草莓状黄铁矿表面、粒间,显微宽 0.0005mm,含金 73.38—83.68%,汞 8.83—13.07%,银 3.32—13.56%。

(5)  $\beta$ -汞金矿:产出围岩同上,嵌布在布满水云母鳞片的黄铁矿晶粒间,或与辰砂伴生在黄铁矿晶粒间,能谱分析化学成分,含金 42.87—63.63%,含汞 36.48—52.90%,含银 0.09—1.55%。

(6) 金汞齐:产在蚀变粘土角砾中,嵌布在一期和二期黄铁矿裂纹中,呈粒状集合体产出, <0.001mm,能谱分析含金 67.52%,汞 32.38%,银 0.10%。

(7) 类质同象(固溶体)形式存在于毒砂、含砷黄铁矿中。这是金的主要赋存状态。据能谱、波谱分析,含金几百到几千克/吨。

据卡林金矿的研究结果,金主要存在于含砷黄铁矿表层环带中。中国许多这一类型金矿也与此类似,四厢厂矿床黄铁矿的富砷环带中含砷 9.22%,含金 0.1%。至于金在粘土矿物和有机质中的存在形式,一般认为是吸附状态,但据板其金矿前后两次选矿试验研究结果看来,早先认为水云母是主要载金矿物,后经电镜扫描及探针分析研究,水云母中也含有极细粒含金黄铁矿。一般说来,黄铁矿越细,含金越高。因此,粘土矿物和有机质中,很可能包含难以分离的极细粒含金黄铁矿。不管怎样,含砷黄铁矿和毒砂是这一类型金矿的主要载金矿物是有较多依据的。由于金粒极细,以致不能用淘洗的办法而只能用氰化法提取,这是与其他类型金矿的最大差别,以致这一类型金矿迟至本世纪 60 年代才被人们发现和认识。根据这一特点,滇、黔、桂片区工作的同行,把这类金矿称之为显微和超显微粒型金矿。

#### 6、地球化学元素组合的相似性

根据一些研究工作较多的地区和矿床来看,这一类型金矿具有一组相同的地球化学元素组合,即 As, Hg, Sb, Au 组合。在三都—丹寨汞、锑、金矿带中,据 700 多件不同时代、不同岩石的几十种元

素样品的分析结果来看,汞、锑、砷、金几种元素的含量,在全区寒武地层、不同相区寒武地层和中寒武统地层中,具有同步增高的特征(见下表),而其他元素则是无序增减。

三都—丹寨汞、锑、金矿带  
区域地层汞、锑、砷、金含量表(ppm)

地 层	样品数	Hg	Sb	As	Au
全区地层平均	788	0.469	1.117	11.04	0.00180
全区寒武系	547	0.746	1.645	17.12	0.00278
江南区寒武系	349	0.980	1.982	20.69	0.00333
江南中寒武统	131	1.104	4.048	43.70	0.00838

从表中可以看出,全区寒武系地层中Hg、Sb、As、Au含量比全区地层中的含量分别高0.6、0.4、0.5、0.5倍;江南区寒武系地层中的平均含量则分别高1.1、0.8、0.9、0.9倍;而江南区中寒武统地层中的平均含量则分别高1.33、2.62、2.9、和3.9倍。

从一个矿床范围来看,汞、锑、砷元素的浓集中心与金矿体(化)范围也是吻合的,如紫木垌金矿床和四厢厂汞金矿床,尽管在紫木垌矿床中极少见到辰砂和辉锑矿,这就说明,这一类型矿床中Hg、Sb、As、Au构成一个成矿组合或成矿系列,尤其是汞和金的相关性,是其他类型金矿少见的。

#### 7. 与汞、锑、砷矿床(化)相关性

就我所知,这一类型金矿床与汞、锑、砷矿床(化)关系十分密切,现已发现的矿床,几乎都伴随有辰砂矿化,或辉锑矿化或雄黄矿化甚至与汞、锑、砷矿床伴生,从已有研究结果来看,虽然汞、锑、砷矿化都晚于金矿化,但它们极可能是在同一个成矿体系中的不同阶段先后富集的。

#### 8. 矿化围岩的选择性

与汞、锑矿床不同,这一类型金矿虽

常伴随汞、锑矿化,但赋矿围岩常常是含泥质的碳酸盐岩、粘土岩和粉砂岩,围岩中一般均含有机质。据拉达克研究,卡林型金矿几乎都富含有机质,中国的这一类型金矿也同样富含有机质,有机质含金是这一类型金矿床的普遍现象。

#### 9. 低温成矿的必然性

对这一类型金矿成矿温度的测试数据甚少,但据与之伴生的汞、锑矿床的测试资料,汞、锑的成矿温度几乎都<200℃,汞矿一般为90—150℃,金矿形成较早,据推断,略高于汞矿,但均属低温热液成矿,因为对未变质的沉积岩来说,成岩温度不超过绿片岩相下限,低温成矿应是沉积岩中金矿及其他矿产的必然现象。

#### 10. 成矿时代一般较新

就对汞矿和锑矿的研究,中国汞、锑矿成矿时代基本上不早于印支期,就滇、黔、桂三角区来说,主要是燕山晚期,甚至是喜山期,这将在金矿成矿作用过程部分予以探讨。

以上十点是这一类型金矿床或多或少所共同具有的特点,其中的第2、4、6、7四项尤为重要。

## 二、成矿模式探讨

沉积岩中金矿的主要特点之一是金粒极细,绝大部分在高倍显微镜下“不可见”,其主要载体和在载体中的赋存状态还是一个有待深入研究的问题,因此,就这种“不可见的”金矿本身来建立其成矿模式是困难的,在首先发现这类金矿的美国,也处于讨论阶段,但是根据某些与这一类型金矿的分布、富集有密切关系的可见因素来建立其成矿模式则是可能的。

从中国这一类型金矿的特征中可以看到,这类金矿不但与已知的汞、锑、砷矿

带或矿化集中区一致,而且在地球化学元素组合上,也与汞、铋、砷相关,构成区域地球化学组合异常;在矿物组合上,常形成金-汞、金-铋或金-砷矿石。这都说明它们在成因上是有联系的。也就是说,汞、铋、砷、金作为一个成矿系列出现,具有同一的物质来源,同一的带矿介质(流体),是在同一成矿作用过程中,在适宜的物化条件和地质环境中先后沉淀、富集成矿的。因此,把汞、铋、砷、金作为一个成矿系列来建立金的成矿模式不但有科学依据,而且中国汞、铋矿床多,研究程度较高,测试资料丰富,也有助于成矿模式的探讨。

我认为,产在沉积岩中的汞矿床以及那些被公认的“低温热液”矿床,如铋、砷、铅、锌以及现在讨论的显微、超显微粒型金矿床,是沉积岩的一个组成部分,是在沉积岩长期发展的过程中的某一阶段形成的,是一个长期由量变到质变的过程。因此,离开沉积岩发生、发展和变化的全过程,来探索这类矿床的形成过程,虽不能说是是不可能的,至少是不全面的。

世间一切事物都处在不断发展、变化之中,永不停止。沉积物也一样,从松散沉积物开始,埋深不断加大,经过成岩作用而逐渐固结成岩,以后还可能受到变质和超变质作用,构造破坏作用,总是处于不断发展变化之中。在这种长期的发展和变化过程中,其中的各种矿物和微量元素组分,随着外界环境的变化主要是温度和压力的变化,发生不同程度的转移,重新调整、重新组合以及其它物理化学变化是必然的。那些较不稳定的组分和活泼元素更是如此。比如水分,从松散沉积直到晚期成岩阶段,就由百分之几十降到百分之几,其性质和赋存状态也有所变化。根据生物成油理论,油气就是生油层系中的有机质经过成岩作用逐步演化而聚集的。既

然沉积物中的孔隙水和有机物可以逐渐演化,聚集于沉积岩中的金属元素,尤其是那些活泼和较活泼的元素,为何不能随流体而活化转移呢?基于这种构想,在《中国矿床》的汞矿一章中,我提出了石油(含油田水,以下同)藏是汞矿矿源的观点。当然,并非所有的油气藏都富含汞,但富含汞的油气藏现在有(渤海湾一个奥陶系富汞油气藏,每立方气含汞可达 206 微克即 500 万方气中可提取一吨汞),富汞的古油气藏也是存在的。据武尉文研究,贵州万山地区,就是遭受破坏了的,尚留有破坏了的残存物——固态变质沥青的下古生界古油气藏。这一带的汞矿床中沥青很多,汞矿也是油气藏破坏后的主要“残存物”。在《贵州汞矿地质》一书的序言中,我不无感叹地说:贵州汞矿是以古油藏破坏为代价的产物。既然有富汞的油气藏,为何不能有富铋、富砷、富铅锌的油气藏呢?可以说,不是全部,至少是绝大部分产于沉积岩及其变成的各类岩石中矿产的形成,都同沉积岩本身包括微量元素在内的组成及其变化过程有关。沉积岩中很多矿床的形成,实际上就是沉积物在不同发展过程中,在变化着的物化条件下,不断发展、变化的过程。地质学家就是根据这些发展过程来研究沉积岩及与之有关的岩石,并把不同阶段的岩石划分为各种不同的沉积岩、变质岩、混合岩等等,把不同阶段形成的矿床区分为“同生沉积矿床”、“成岩矿床”、“受变质矿床”、“内生再造矿床”等等。因而在某种意义上,沉积岩中不少矿产的成矿作用过程就是成岩(广义的,含变质与超变质)作用过程。因此,应把产于沉积岩中的矿产同沉积岩的发展、变化联系起来,当作一个长期的地质历史发展过程的结果的一部分来研究。

沉积岩中成矿元素的含量很低,汞不过亿分之几,金不过十亿分之几。如果说

在一定条件下局部富集是可能的,那么凭这样低的含量,要富集数以吨计的金矿床,以千吨计的汞矿床,以万吨计的锑矿和其它大、中型“热液”金属矿床,不经过大范围的、长期的由分散和相对集中的过程来实现,而是由天水下降,在流经局限范围的围岩内来萃取富集是难以设想的。所以作为带矿介质的“热液”,只有在长期的历史发展过程中,在相当大的范围内,不断地从岩石中把分散的金属萃取出来;并且集中在一个局限的范围内,才足以沉淀出一定规模的矿床来。这一过程应该说是与油气形成的过程是一致的,甚至可以说是同步的。在非生油层系内,如火山沉积岩系,应与成岩过程中封存的卤水储层的形成是同步的。一般说来,有卤水的储层,或多或少都有油或气,自流井卤水就产天然气。

沉积岩发展过程中,随着油气、卤水储层的形成,其所伴随的成矿元素的活化转移,并不完全取决于围岩中其含量的多少,而主要取决于其活泼及活化转移条件。不说其它条件,在低温条件下活泼和较活泼的汞、锑、砷、金较易伴随油气和卤水转移到储层中并聚集到封闭构造,成为成矿的直接矿源层。放开来说,我认为产在沉积岩中的汞、锑、砷金是一个低温成矿系列,其直接矿源层就是古油气或卤水储层。对其它产在沉积岩中的“热液矿床”,我也持这种观点。换言之,成矿热液就是古油藏和封存卤水,因此,古油气、卤水形成的过程就是热液形成的过程;而古油气、卤水的破坏、逸失过程,就是有关矿床富集的过程。所以说,产在沉积岩中的“热液矿床”,是以古油气、卤水的破坏为代价而形成的。从这一构想出发来建立的这一类型金矿,或者说汞、锑、砷、金成矿系列的成矿模式就是:生油模式加构造成矿模式。石油和油田水,提供物

源,构造破坏造成成矿条件。

1、生油模式:这是大家熟知的,油藏的生成,大体经过两个阶段:

初次移运:一个完整的生油层系包括生油层,储集层和盖层。生油层主要是含有机质的粘土岩、泥岩;储集层主要是高孔隙度的砂岩和碳酸盐岩;盖层主要是低孔隙度的泥岩。这一阶段主要营力是压实作用。有机质转化为油滴随泥岩中排出的水体以水溶形式转移到储集层中。在这一过程中,易活化的成矿元素也首先以有机络合物、硫氢络合物或其它形态转移到储层中。随着成岩作用的进程,其它一些成矿元素也将转移到储层中。

二次移运:由于沉积盆地的不均匀沉降或构造运动,导致岩层产生倾斜,石油和卤水将沿储层倾斜向上方转移,最终聚集在有盖层封闭的圈闭构造内而形成不同规模的油藏,油藏一般有三层结构:上部为气顶,其下为石油,下部为底水边水,即油田卤水。油田水一般都是卤水,含有数十种元素。

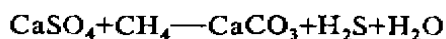
由于长期以来,石油地质与金属矿床研究各不相涉,油气和油田水中微量金属的分析资料很少,但富汞油气田的存在已为探油工作证实;有的油田石油含金可达3ppb,而高盐度卤水对金属元素的溶解力远比淡水高得多已是人们的共识。在油田中,底水、边水的储量可能比石油储量还大。据科林斯的资料,美国油井产出的水比油多得多。至于油田卤水中含或多或少硫化氢也是客观存在的事实。因此,作为带矿热液(热流体),在成岩过程中,长期与围岩发生作用的石油和油田水,能更多更广泛地萃取围岩中的金属元素,远比天水下渗加热萃取围岩中金属的可能性要大得多,更不用说天水下渗成矿这种假说难以回答和阐明许多客观成矿现象了。

2、构造成矿模式:产于沉积岩中的

汞、铊、砷、金成矿系列的矿源层,就是油气、油田水储层。石油和油田水中所溶解的金属元素虽远比淡水和一般海水高得多,但毕竟一般还是 ppm 级,有的(如金)甚至只是 ppb 级,在大油田中,其总量是可观的,但很分散,多难以回收利用。这些成矿元素只有在石油和卤水保存条件受到破坏而逸失的过程中,由于物理化学条件发生变化,在某些有利于其沉淀的地质环境中集中富集,才能形成一定规模的矿床。这一过程,就是石油的第三次移运,即逸失的过程。如其演化程度高,油气本身只能残存沥青、金属硫化物,也可说是油气卤水流失的残存物。这一过程大多与成油期后的构造破坏有关。这就是构造成矿模式。

这里举一个汞矿带的例子。

务川汞矿带是一个近南北向长几十公里,宽十余公里,向两端倾伏的梭状背斜构造。核部出露下寒武统金顶山组,主要赋矿层位是清虚洞组。主矿层已查明是一层石膏岩,经热液成矿作用而蚀变成方解石,辰砂较均匀地散布在蚀变方解石层中。方解石化局限在背斜轴部及附近,向深部则为石膏。经研究,成矿过程也是石膏岩经有机质还原成方解石的过程,其反应式大体如下:



(石膏) (油气) (方解石)

在这一过程中富汞流体中的汞与  $\text{H}_2\text{S}$  结合而形成辰砂沉淀在方解石中。

从矿床分布来看,沿背斜轴部有十几个汞矿床和矿点,其中背斜最高点的木油厂,轴部被一个北东向断层切割,断层带有强硅化小汞矿体,而轴部则形成一个特大型汞矿;其南矛头坪为另一次高点,形成较小的矿床,再向南有一些高点,一般只有矿化,再南到马宗岭,矿层所在全是石膏岩,汞含量极低。这说明油藏破坏后

流体有由深部(下部)向浅部(上部)转移、散失的总趋势,因而背斜最高点矿床规模最大,向南北倾没端,矿化逐渐减弱,以至消失。

对于金、汞、铊、砷在体系中沉淀的过程,根据国内外有关的试验研究资料,提出以下几点推论:

(1)、根据已有资料,在有机质泥岩和火山沉积岩中,比其它沉积岩富含多种金属元素,如各个沉积期的“黑层”或“黑色岩系”,汞、铊、砷都是活泼元素,金是较活泼元素。汞和金具有一些近似的物化参数,如电子构型相似(金为  $4f^{14}5d^{10}6s^1$ ,汞为  $4f^{14}5d^{10}6s^2$ ),电离势相近(第一电离势金为 9.22 电子伏特,汞为 10.43 电子伏特)等。至于汞与铊、砷的相关性则是众所周知的,因而这些元素有一道转移的可能性,这也就决定它们参与同一个成矿作用并在空间分布上常密切伴生甚至共生的必然性。至于它们以何种形式共存于一个体系中,据国内外许多专家的试验研究,这四种元素均可以硫或硫氢络合物形式和有机络合物形式存在于碱性溶液中。

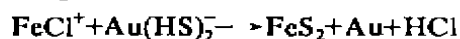
(2)、在储层受到构造、剥蚀破坏,导致含矿流体逸失过程中,物化条件的变化是比较复杂的,许多物化因素和地质因素都可导致流体中矿质的沉淀,其中温度变化可能是最重要的因素。油气形成和演化过程受三个因素影响,即时间、压力、温度。时间越长,压力越大、温度越高,演化程度越高,最后演化成干气和沥青。这是一个增压增温的过程,对那些在同一体系中溶解度与温度有关的元素,能否和在何时转入溶液也是一个增温的过程,由低温条件易转入的元素(如汞、砷、铊、金)开始过渡到需要较高的温度才能转入体系的元素(如铁及其他元素)。而油气藏遭到破坏而逸失的过程则是一个减压、减温的过程,首先主要逸失气,然后是油和

水。对其中金属来说,较高温度才转入的首先沉积,而低温转入的最后沉淀。据已有的试验资料,金的成矿温度大约在 150—250℃ 之间。据 Rytuba 研究,金的溶解度在  $\text{pH} > 6.5$  时即在偏碱性溶液中,随温度升高而增加,温度升高 100℃,溶解度大约增加十倍。换言之,在成矿过程中,温度如果由 250℃ 降到 150℃ 这一区间,金的溶解度要减少 90%,金将大量沉淀。而这一区间,由于  $\text{pH}$  值  $> 6.5$ ,偏碱性,体系中的汞、锑、砷的络合物还是稳定的,只有在温度继续下降时才沉淀富集。因此,成矿温度的变化是造成金和汞先后沉淀的主要因素。

(3)、锑、砷在体系中与汞有类似的性质,在移运和成矿过程中可以紧密共生或伴生,但作为矿床,它们是不相容的,往往以一种为主,其它只有矿化现象。在我国,汞、锑都富集成矿床的只有陕西公馆。其他成百的矿床、矿点,都是以汞为主,或以锑为主,或以雄黄为主。这种现象,可能与这几种矿物在同一体系中的溶解度不同和相互抑制作用有关。据 Learned (1974) 对辰砂和辉锑矿互补溶解度的研究,认为只有在辉锑矿不饱和的溶液中,辰砂在碱性硫化物溶液中的运移才是可能的。而雄黄在纯水中是可溶的,在低温碱性溶液中也是可溶的。其溶解度比辉锑矿还高。因此,在同一个碱性溶液中,如雄黄大量存在,将抑制辉锑矿和辰砂的溶解,辉锑矿与辰砂的关系也是这样。所以,在一个带矿流体中只有雄黄不

饱和,锑、汞才能在溶液中存在。围岩中汞、锑、砷丰度和同一溶液中溶解度的不同和相互抑制作用,可能是导致三种元素各自形成较单一矿床的原因。

(4)、含砷黄铁矿和毒砂是这一类金矿床的主要载金矿物。据已有研究资料证明,金主要赋存在热液期生成的含砷黄铁矿和遭受到后期“改造”的沉积成岩期黄铁矿中,多以包裹金形式存在,相当一部分金与汞、锑、砷一道赋存在黄铁矿环边中。似可说明金是黄铁矿形成过程中甚至在其后富集在黄铁矿中或其表面的。据 Rytuba 对黄铁矿溶解度的研究,黄铁矿的溶解度与溶液中  $\text{NaCl}$  浓度成正比,并随温度增高而增加。在油田卤水中可以氯络合物形式存在。在成矿过程中,由于温度的降低和溶液的稀释,将不稳定而与体系中的硫络化物发生反应而生成黄铁矿。如体系中含金,在碱性溶液中,金呈  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  状态存在,将会发生如下反应:



在反应过程中,金可包裹在黄铁矿中,也可与体系中的汞、砷、锑一道沉淀在黄铁矿环边中。

随着成矿温度降低,  $\text{pH}$  值减少,及其他因素变化,导致其他硫化物在晚期阶段沉淀富集。

以上是我对沉积岩中的汞、锑、砷、金成矿模式或成矿机制、成矿过程的一个思路和构想。其中许多提法和某些推论可能是错误的,许多方面还有待深入细致的研究。

