

3. 成矿作用是在中低温条件下进行的, 硫主要来自地壳。常见的矿石矿物有辉锑矿、黄铁矿、毒砂和白钨矿, 少量矿物有黑钨矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿和黄铜矿等。矿物共生组合和包裹体测温(爆裂法)资料表明, 成矿是在中低温条件下进行的。如早期石英一氧化物阶段, 以中温为主偏高温(石英320~280℃, 白钨矿290~260℃, 可见金280~254℃); 中期石英一自然金硫化物阶段, 即自然金和包裹体金形成的主要阶段, 以中温为主(石英265~190℃, 黄铁矿250~230℃, 毒砂245~240℃, 辉锑矿245~170℃); 晚期石英一碳酸盐阶段, 以低温为主, 一般无矿化。看来, 从早期到晚期, 由于偏高温至中低温, 由氧化物到硫化物矿物之间的温度递降趋向与矿物生成顺序是一致的。

湘西钨锑砷金矿床主要硫化物硫同位素测定结果, $\delta S^{34}\%$ 平均值在-13.2~+5.67之间, 极差-3.6~+10.5。由于变质程度低, 硫同位素均一化程度较差而稍富集轻硫。笔者认为区内硫源可能主要来自地层本身(不少人认为来自地表深部或上地幔)。

总之, 在湘西钨锑砷金矿床分布的范围内, 广泛出露着元古代浅变质的碎屑岩, 附近无火成岩出露, 亦无可作为判断深部有隐伏岩体存在的标志; 矿床主要呈层状一似层状和脉状产出, 与控矿构造一致; 大部分与围岩整合, 少数不整合, 但均局限于一定的地层层位, 或离含矿地层不远的其他地层断裂内。钨锑砷等元素具有较高的初始丰度值, 为成矿提供了较为丰富的物质来源。笔者认为湘西钨锑砷金矿床属于变质热液成因。

金在毒砂中的赋存状态

湘西钨锑砷金矿床中, 除含金石英脉矿床产明金和微粒金, 共生矿物中除个别矿床(如沃溪)与黄铁矿有关外, 多数矿床与毒砂矿物有关。后者是本文论述的主要对象。

1. 毒砂矿物的特征 区内毒砂为锡白色, 多呈自形一半自形晶, 长柱状、粒状, 粒径1~2mm, 最大1cm。在含金石英脉型和含锑金石英脉型矿床中, 毒砂作为共生矿物或出现于矿床

内, 或出现于近矿蚀变围岩内。在锑一砷一金矿床中, 毒砂矿物分布甚广, 很多板岩、特别是千枚状粉砂质板岩中最为常见。毒砂呈长柱状、柱板状, 极少为粒状, 自形程度高, 横切面为菱形或长方形, 晶体两端或周围有纤状石英垂直生长, 形成房巢构造。其后还经历了较强的变质作用, 镜下可清楚地见到经过变质作用的细片状白云母绕过毒砂晶体生长, 并呈现一致性弯曲。

2. 毒砂的含金性 在本区元古代地层内, 几乎所有类型的钨锑砷金矿床中共生(或为主)的毒砂矿物都伴生金。它基本上与黄铁矿一样, 许多矿床金与毒砂常常比贵金属与黄铁矿更密切地共生。毒砂是区内微粒金的主要载体矿物(表1)。

3. 金在毒砂中赋存的特点

(1) 区内含金的硫化物主要是毒砂、黄铁矿和辉锑矿。这些矿物含量之多寡及其中含金量的高低, 直接影响着矿体中的金品位。如沃溪矿床矿石中辉锑矿占4.3%, 黄铁矿占5.28%; 其单矿物平均含金量分别为110g/t和92g/t; 矿体中平均含金量为5.45~10.33g/t。西冲矿床矿石中的辉锑矿含量虽高于沃溪(占5.68%), 但辉锑矿单矿物含金只有1.5~46.75g/t; 黄铁矿单矿物虽然个别含金可高达403.1g/t, 但在矿石中的含量仅占1.1%左右, 因此矿体平均含金只有3.06g/t。

在矿石中, 辉锑矿和黄铁矿的出现常与毒砂呈反消长关系, 故它们之间的含金量亦呈反消长。即当矿石中辉锑矿和黄铁矿含量偏高时, 毒砂含量偏低; 矿石中毒砂含量较高(>1.5%)时, 锑品位变化大, 矿体小而复杂。如合心桥等矿床中毒砂富集, 含金亦高。

(2) 在锑一金矿床中, 毒砂为金矿石的共生矿物; 在含金石英脉矿床中, 毒砂化和硅化、黄铁矿化一样, 为金矿脉的重要近矿蚀变。在这两类矿床中, 金均呈伴生金, 金与硫(砷)硫化物是同一成矿阶段的产物, 只是晶出有先后。在有的含金毒砂石英脉内(平江), 毒砂的含金性具有经济意义。在钨一锑一金矿床中, 见有自然金包裹毒砂呈包含结构, 或交代毒砂呈交代残余结构¹。而在锑一砷一金矿床中, 毒砂是金的主要载

湘西钨锡砷金矿床含金量

表 1

矿床名称	地层层位	矿床组合	矿物中的金含量 (g/t)					
			样品数	毒砂	样品数	黄铁矿	样品数	辉铋矿
龙王江	五强溪组上段	锡—砷—金	5	158.8	5	< 4		
江溪垅	"	"	1	102.6	1	< 1	1	< 1
王家村	"	锡—金—砷	1	94.31				0.21~0.45
板溪	"	含金石英脉		17.82~52				0.17~0.15
蔡家港	"	锡—金—砷		139				
澳滨	"	含金石英脉		22.33~23.75				
羊皮帽	五强溪组中上段	锡—金		108~200				
黄金洞	五强溪组中段	含金毒砂石英脉		186~470				
符竹溪	马底驿组中上部	金—锡				59~60		0.2~4
沃溪	马底驿组中段	金—锡—钨				92		110
合心桥	冷家溪群	金—锡		195.5		20~32.25		0.5~42.3

体矿物，既是金的携带者又是富集者。

(3) 在锡—砷—金矿床中，矿石的含砷量和毒砂的粒径可作为判断矿石品位的标志。据对龙王江矿床的统计，矿石中 Au 与 As 含量呈正比 (表 2)。

龙王江锡—砷—金矿床
主要矿石类型锡、砷、金含量关系 表 2

样号	长度 (cm)	岩性	Au (g/t)	As (%)	Sb (%)
L ₁	15	强硅化、毒砂化粉砂质板岩	8.54	2.09	0.67
L ₂	65	"	6.66	2.06	1.48
L ₃	90	硅化、毒砂化细砂岩	1.78	0.48	0.15
L ₄	45	强硅化、毒砂化细砂岩	5.95	1.60	0.15

表 2 表明，砷含量的增高起到了提高金矿石品位的作用。砷主要富集在毒砂中，可代替部分铁或硫，与金同时沉淀。

和黄铁矿一样，毒砂颗粒愈细金品位愈高 (表 3)，原因虽尚不清楚，但可能作为毒砂晶出的核心，或可能与毒砂的破碎和糜棱岩化有关，从而把金引入破碎的糜棱岩化带²。

(4) 据龙王江矿床化学分析资料，金与砷的比值较稳定，一般为 3.6~4.5。当样品中含 As 量达到 0.27% 时，Au 一般可达 1.5g/t 左右。由于金与砷有一定关系，表明金和砷以保持不变的相对含量，通过沉积成岩及区域变质热液作用，同时进入毒砂矿物和岩石中。在某种意义上说，金矿化和围岩具有同时性，其特点是以成矿物质的再沉积为主。所以，对湘西不同组合类型的金矿床来说，虽然毒砂与黄铁矿都是有利的成矿标志，特别是在含金石英脉型矿石里，但两者在矿床中并不总是金矿化的一个必然的标志。有不少钨锡砷金矿床常常伴生大量基本上不含金的黄铁矿，但大部分含毒砂的矿床 (尽管有的不具经济意义)，一般都富集金。

黄铁矿和毒砂分粒级试金分析结果 (g/t)

表 3

粒级	沃溪钨锡金矿床 (黄铁矿) ¹⁾	沧浪坪金矿床 (黄铁矿) ¹⁾	龙王江锡—砷—金矿床 (毒砂) ²⁾
粗粒 (> 2 mm)	51.1	64.16	102.6
中粒 (1~2 mm)	80.5	100.98	120~177
细粒 (< 1 mm)	142.6	112.0	200

1) 引自钟东球，关于金属硫化物在找金标志方面的认识，1983年。

2) 据岩矿鉴定资料中，毒砂粒径统计，其中细粒者系羊皮帽锡—金矿床资料。

金在毒砂矿物中的赋存状态

1. 沃溪钨—铋—金矿床 毒砂作为共生矿物,或以毒砂化作为重要的近矿蚀变。经中南矿冶学院地质系电子显微镜分析和光片观察,毒砂中的金主要呈微粒机械混入物或微包裹体形式存在。

2. 龙王江铋—砷—金矿床 在光、薄片中均未直接见到金粒。人工重砂试样分析,仅一个样品见稍多的微粒金;所有样品淘洗后的主要硫化物为毒砂。

又据1081件金的化学分析资料,金与砷呈明显的线性相关,相关系数为0.46。同样表明金可能呈机械混入物赋存于毒砂中。

3. 贵州三都铋—砷—金矿床 赋存于板溪群龙里组(相当于湘西五强溪组),成矿特点与湘西类似^③。该矿90%以上的金分布于毒砂和黄铁矿中,而辉铋矿和脉石矿物中含金甚微。

大量的毒砂和黄铁矿的电子探针成分像和X射线图像分析表明,在毒砂中微量金比黄铁矿中多,而且在这两种矿物中的分布都是不均匀的。化学物相分析表明,金与砷的关系较密切。50组砷、金分析数据的回归分析得出,As和Au的相关系数接近1(0.99),说明这两种元素的相关性很强。

含金毒砂形成的地球化学过程

金是镧系收缩后元素,亲铁性较强,亲硫

性弱。随着原子序数的增加,它的原子半径增加很少。由于核电荷对外层电子的引力较强,故金的电子云结构紧密,电离较高(9.19v),不易失去外层电子。另一方面,金的电负性为中等(2.3),不易接受电子成负离子,属惰性元素。因此,在自然界中多呈独立的自然金矿物出现。

金在变质作用中,往往被变质水带出,呈[AuS]⁻络合物形式进行迁移;金虽不与硫结合,但硫在变质作用过程中则是金的富集剂和搬运剂,使其由高化学位向低化学位运移并发生沉淀。而铁质在低硫的还原条件下,可形成毒砂并使自然金沉淀,甚至金同时沉淀在毒砂晶体表面上,或者充填在早先形成的毒砂裂隙中。这一论点还可从晶体化学得到证实。因为金可形成固熔体,进入毒砂晶格。八面体中铁的共价半径为1.29Å,金为1.40Å,砷为1.39Å,这是金在毒砂中以类质同像共价半径替换铁或砷的主要原因。

总之,除湘西不同组合的钨铋金砷矿床中共生着具有经济意义的自然金外,在雪峰弧形构造带内,在所有类型金矿的毒砂里都伴生金,而且金与毒砂常比贵金属与其它硫化物之间更密切地共生。尤其在元古界板溪群五强溪组浅变质的硅铝质岩石中,受地层层位和构造控制的铋—砷—金矿床中亦具有一定经济意义。在该类矿床中,毒砂是金的主要富集者,同时又是金的携带者。

在成文过程中,曾参考了湖南冶金地质237队和我队有关资料,并得到我队向中文、高利军同志的协助,特此说明并致谢。

①张振儒等:沃溪金、铋、钨矿床金的赋存状态,1978年。

②张 建:对原生金矿普查评价时应注意的一些问题,1983年。

③吴秀群:三都铋砷金矿石物质组成及其金的赋存状态的初步研究,1983年。