

# 湖南西部钨铋金矿床成矿规律及找矿应用

何永森<sup>1</sup>, 鲍振襄<sup>2</sup>, 包觉敏<sup>2</sup>

(1. 湖南辰州矿业股份有限公司, 湖南 沅陵 419607;

2. 湘西矿产资源综合研究发展中心, 湖南 乾州 416009)

**摘要:** 湖南西部钨铋金矿床赋存于雪峰弧形构造带之前寒武系浅变质岩系中, 受到韧-脆性剪切构造控制, 具有明显的地层层位效应。区域变质和动力变形过程中, 大规模深层次的韧性剪切变形促使矿源层中的 Au 活化迁移, 连同 SiO<sub>2</sub>, K 等活性组分和岩石中的 H<sub>2</sub>O 一起形成含金动力变质热液, 当其进入伸展型脆韧性剪切带及其剥离构造带、张扭性断裂带时, 形成充填交代型含金石英脉型和破碎带蚀变岩型金矿。研究表明, 矿床具有特定的元素共生组合, 矿脉(体)沿倾向延伸大且普遍具有侧伏成矿现象, 沿控矿构造方向侵入的长英质脉岩带与成矿有一定的联系; 载金的硫(砷)化物以富集轻硫同位素为特点, 氧化-还原反应是金成矿的主要化学机制等特征性成矿标志。矿床广泛发育中低温热液蚀变, 黄铁矿、毒砂矿物和 As 元素是找金的标型矿物和指示元素。矿床成因主要属于受韧-脆性脆韧性剪切带控制的变质热液型金矿。

**关键词:** 钨铋金矿床; 成矿规律; 找矿意义; 矿床成因; 湘西

**中图分类号:** P612; P618.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2013)01-0070-08

## 0 引言

在湖南西部, 东起益阳, 经常德, 西到沅陵, 西南起自洪江, 南至会同、靖州长约 500 km 的地带, 分布着 250 多处金矿床(点), 这是我国华南地区著名的湘西钨铋金矿带(以下简称湘西金矿), 矿床的成生与雪峰弧形构造带密切相关。上个世纪 80 年代以来, 在该区相继发现了一批大型矿床, 说明本区前寒武系变质基底具备优越的成矿地质条件和良好的找矿前景。因此, 本文研究其成矿地质特征, 探讨成矿规律及找矿意义, 对于本区及类似地区金矿的找矿评价和成矿预测具有现实意义和理论意义。

## 1 区域地质背景

湖南西部雪峰弧形构造带地处扬子板块与华南

板块结合部位之江南地体西南段及其毗邻地带, 长达 1 000 余 km, 这一巨大的深切上地幔的断裂系统, 严格地控制了湖南前寒武系浅变质岩系中大部分金矿的成生与展布, 从而构成巨型金矿成矿带<sup>[1]</sup>。

地史上, 处于江南古岛弧西段的雪峰古岛弧为元古宙扬子板块的岩浆弧, 大面积分布有中元古界江南地体南缘的大陆边缘活动拗陷带的冷家溪群含金基性火山喷发建造, 新元古界弧间及弧后背盆板溪群含火山碎屑沉积建造、盆地含金浊流沉积建造, 以及陆缘碎屑沉积、具重力流沉积特征的震旦系长安组含金火山碎屑建造等, 均系湘西金矿重要的容矿层位。

在雪峰弧形构造带分布着主要与变质作用(包括区域变质作用、动力变质作用和热接触变质作用)有关的, 在空间、时间和成因上有联系的不同矿物(元素)组合的矿床, 包括钨铋金矿床、铋金矿床、铋砷金矿床、砷金矿床、钨金矿床及单金矿床, 组成湘西钨铋金矿床成矿系列<sup>[2]</sup>。矿床成组成带集中产出, 构成金矿化集中区(带), 自北而南可划分为 2 个

收稿日期: 2012-11-06; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 何永森(1970-), 男, 工程师, 1992年毕业于中南大学资源工程学院, 主要从事湖南辰州矿业股份有限公司国内外矿业投资发展。通信地址: 湖南省沅陵县官庄镇湖南辰州矿业股份有限公司; 邮政编码: 419607; E-mail: tzfz@163.com

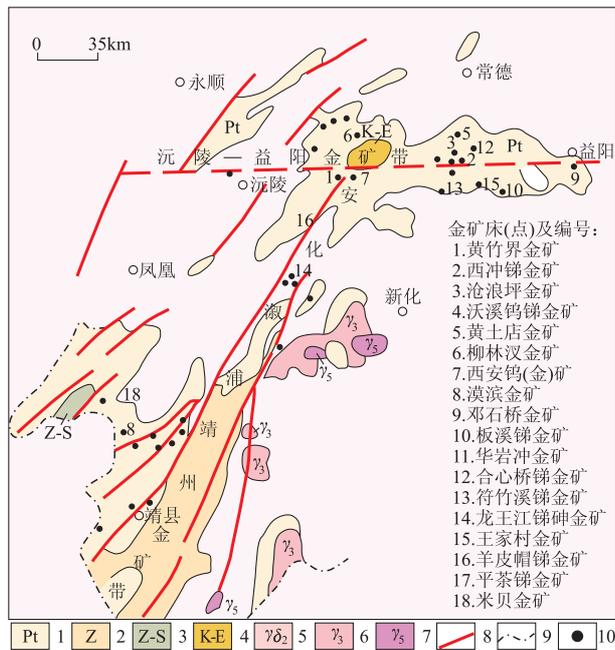


图 1 湖南西部前寒武系金矿床(点)分布图  
 Fig. 1 The distribution map of Precambrian gold deposit(occurrence) in west Hunan.

1. 冷家溪群和板溪群; 2. 震旦系; 3. 震旦系至志留系; 4. 白垩系至第三系; 5. 雪峰期花岗岩; 6. 加里东期花岗岩或花岗闪长岩; 7. 印支-燕山期花岗岩; 8. 断裂; 9. 省界; 10. 金矿床(点)及编号

主要金矿化集中区(带),即北部的沅陵—益阳金矿化集中区(带),西部的安化—溁浦—靖州金矿化集中区(带)(图 1)。它们具有共同的成矿特征、形成规律及矿床成因。

## 2 成矿的主要地质特征

### 2.1 相同的地球化学元素组合与矿物组合

研究表明,湘西金矿化集中区具有相同的地球化学元素组合,即 W, Sb, As 和 Au, 说明该区矿床有着共同的含矿建造。据区域元古宇冷家溪群和板溪群元素背景含量统计,平均  $w(W) = 4.8 \times 10^{-6}$ ,  $w(Sb) = 2.4 \times 10^{-6}$ ,  $w(As) = 5.12 \times 10^{-6}$ ,  $w(Au) = 3.5 \times 10^{-9}$ , 分别是上部大陆地表平均值(S. R. Taylor, 1985)的 2.4 倍、12 倍、4.4 倍和 1.9 倍,表明这些地层具有为矿床形成提供成矿物质的潜在能力,且矿床或其附近地层中高含量的元素或元素组合,与矿床的成矿元素组合具有一定的对应关系。

湘西金矿按照矿石矿物共(伴)生组合关系,金矿石建造可划分为钨-金、钨-铋-金、铋-金、铋-砷-

金、砷-金和金型。金属矿物共(伴)生组合是:金矿物(自然金,少量含银自然金,微量方铋金矿(AuSb<sub>2</sub>)等);硫化物(黄铁矿、辉铋矿);砷化物、含砷矿物(毒砂、含砷黄铁矿、黝铜矿)和氧化物(白钨矿、少量黑钨矿);以及少量或微量其他硫化物(闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、辉铜矿)等。尽管矿床类型或矿种组合不同,上述共(伴)生矿物含量会不同,但这些矿物大体上都可不同矿种组合的金矿里出现。由此可见,这些共(伴)生组合的矿物都是在同一成矿热液体系中形成的钨-铋-砷-金矿物组合。

### 2.2 矿床(体)产状形态特征

按照矿体产状形态及与围岩(地层)接触关系,湘西金矿可划分为 2 类,即缓倾斜层状-似层状矿床和陡倾斜交错脉状矿床。前者主要产于低角度层间剪切滑动断裂系统,后者主要产于区域断裂-侧高角度张剪性复合构造带。两者的共同特点是:矿床(体)产状形态严格受成矿(容矿)构造控制,具有单向或双向延伸,多层(条)平行或斜列产出,近于等间距地分布,某些板柱状矿体则具有沿倾斜发育较深和侧伏成矿的独特性,其向深部延伸的长度超过其水平长度数倍至 10 余倍。其侧伏角大小与矿脉(体)产状有关,一般而言,缓倾角者侧伏角较小,一般  $< 30^\circ$ ; 陡倾角者侧伏角较大,为  $60^\circ \sim 85^\circ$ <sup>[3]</sup>。如沃溪钨铋金矿床十六棚公矿段板柱状矿体,走向长仅 200 m,已控制倾斜延伸达 2 300 m,根据成矿预测,沿矿体侧伏方向延深超过 4 000 m(垂深达 1 200 m),矿体延深长度超出其走向长度 20 倍,构成国内外罕见的板柱状矿体<sup>[4]</sup>,并有望成为金储量达 100 t 以上规模的超大型矿床。

### 2.3 矿化分带

湘西金矿成矿元素(矿物)在水平方向与垂直方向均具有一定的分带性,但水平方向上的分带不如垂直方向上的分带明显。例如:①沃溪钨铋金矿床<sup>[5]</sup>,在水平方向,矿床东部铋金较富,西部钨较富,鱼儿山以西白钨矿减少,钨铁矿明显增多;在横向上,矿化中心的主脉(层间脉)为钨铋金共生矿脉,在其上下盘蚀变围岩中的网脉状矿脉则为金或钨金共生矿脉。这 3 种成矿组分在垂向的变化,以金的矿化深度和强度最大,分布最稳定,铋矿化次之,钨矿化较小且白钨矿多出现在矿脉头部,往深部钨铁矿增多。②符竹溪铋金矿床,地表大部分仅出露硅化破碎带和少量石英脉,间或伴有金矿化、铋金矿化。然而自地表至矿床垂深 540 m 范围内,铋金矿化蚀变分带十分明显,自上而下可综合划分为 6 个带<sup>[6]</sup>:

蚀变退色带→硅化带→石英细脉带(锑金矿化的标志带)→含金锑石英破碎带(主要矿化带)→含金锑石英破碎带→含金石英破碎带(金矿化增强,细粒黄铁矿明显增多,锑矿化基本消失)。可以说,这是湘西地区以金为主、共(伴)生锑矿化矿床垂向分带的典型矿例,具有普遍成矿意义。

## 2.4 金及载金矿物某些标型特征

### 2.4.1 金矿物标型特征

湘西金矿的 Au 以成分较均匀、成色高为特征。含金石英脉与含金硫化物矿脉 Au 的平均成色分别为 977.3 和 986.6, 平均含 Ag 为 1.6% 和 0.45%, 具深成金矿床自然 Au 产出的特点。

湘西金矿中金矿物以自然金、显微金和次显微金为主<sup>[7]</sup>, 但不同的矿床有所不同。含石英脉中的自然金, 以中、粗粒状为主, 肉眼可见金占 70%~80%, 且主要产于石英脉的裂隙中; 含金硫化物中的金则以显微金与次显微金为主(>80%), 并主要赋存于载金矿物黄铁矿、毒砂和辉锑矿等硫(砷)化物的裂隙或晶隙中, 或为其包裹。

研究表明<sup>[8]</sup>, 自然金常呈细脉状、树枝状、角砾状沿载金的硫(砷)化矿物裂隙充填, 或呈细粒状沿其粒间充填, 有的沿其细脉的一侧进行交代而显示残余结构, 少数呈球粒状沉淀在载金矿物的晶面上。次显微金常呈球状、链状不均匀分布在载金矿物晶面上, 或细网脉沿裂隙充填, 或呈“纳米金”被矿物包裹<sup>[9]</sup>。

### 2.4.2 载金矿物标型特征

湘西金矿金的主要载体矿物是黄铁矿、毒砂和辉锑矿<sup>[7-8]</sup>, 其生成期都有 2 个世代。不同矿物组合矿床的含金性和金的分布率是有差别的。如, 含金石英脉型金矿, 主要载金矿物是黄铁矿; 锑金矿(钨锑金矿)类矿床, 主要载金矿物是黄铁矿和辉锑矿; 而砷金(锑砷金)类矿床, 金的主要载体矿物是毒砂。

黄铁矿( $\text{FeS}_2$ ): 第一世代的黄铁矿主要产于蚀变带与矿脉接触部位或其附近, 呈晶形较好的粗粒状, 以五角十二面体为主,  $w(\text{Au}) = 8.45 \times 10^{-6} \sim 63.62 \times 10^{-6}$ ; 第二世代黄铁矿分布于矿脉及近矿蚀变围岩中, 粒度较细, 结晶较差, 为半自形-他形粒状, 形态以立方体为主, 含金较高, 为  $31.4 \times 10^{-6} \sim 254.3 \times 10^{-6}$ , 其化学成分以亏 Fe(41.19%~46.52%)、亏 S(46.14%~53.1%)为特征。

毒砂( $\text{FeAsS}$ ): 早期毒砂与板岩、绢云千板岩等浅变质岩有关, 毒砂晶体大, 结晶程度高, 一般为自形, 晶形为长柱状或板柱状, 横切面为菱形或长方

形, 产状大致与岩石劈(片)理平行或微斜交, 系沉积-成岩期形成; 晚期毒砂主要为细粒半自形-自形晶, 粒度较细, 常与黄铁矿、辉锑矿等硫化物共生或交代黄铁矿, 而自身又被辉锑矿、黝铜矿、自然金穿插交代或被辉锑矿包裹。毒砂的化学成分以富 S(20.51%~22.49%)、亏 As(41.21%~45.07%)为特点。

辉锑矿( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ): 早期辉锑矿主要呈他形粒状或致密块状集合体,  $w(\text{Au}) = 0.25 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$ , 杂质元素(As, Se, Fe)含量高是载金辉锑矿的重要特点; 晚期辉锑矿呈针状、放射状等, 晶粒大小不一, 成分较纯, 含金较低, 为  $0.42 \times 10^{-6} \sim 0.75 \times 10^{-6}$ 。

## 2.5 硫同位素组成特征

区内大量的硫(砷)化物硫同位素测试结果表明, 富金的硫(砷)化物都是以相对较富集轻硫同位素为重要特征。据 163 件硫同位素测定结果,  $\delta(^{34}\text{S})$  平均值为  $-1.18 \times 10^{-3}$ , 变化范围  $15.71 \times 10^{-3} \sim 6.91 \times 10^{-3}$ , 极差达  $22.62 \times 10^{-3}$ , 但其标准差仅  $3.39 \times 10^{-3}$ 。全区约有 95.5% 的  $\delta(^{34}\text{S})$  值在  $\pm 5 \times 10^{-3}$  范围内, 其轻硫同位素递增顺序为: 毒砂( $-1.17 \times 10^{-3}$ , 39 件)→黄铁矿( $-1.00 \times 10^{-3}$ , 81 件)→辉锑矿( $3.74 \times 10^{-3}$ , 43 件)。辉锑矿与黄铁矿具有不一致的  $\delta(^{34}\text{S})$  值, 并不意味着它们有不同的硫源。根据 Ohmoto 等人的实验<sup>[10]</sup>, 处于硫同位素平衡交换的共生黄铁矿和辉锑矿, 在温度为 250~120 °C 范围内, 黄铁矿一般要比辉锑矿高出 4.2%~7.0%。张理刚指出<sup>[1]</sup> 氧逸度的急剧增大可导致  $\delta(^{34}\text{S})$  变小。因此本区黄铁矿与辉锑矿  $\delta(^{34}\text{S})$  的差异, 可能是由于后者硫的氧化态较高, 或者前者存在对硫引起的。它们的  $\delta(^{34}\text{S})$  值虽不同, 但仍然具有同一的硫源。而载金的硫(砷)化矿物以富集轻硫同位素为主, 这正是热(动)力变质热液成矿的硫同位素组成特征, 硫源可能主要来自硫同位素均一化程度较高的地壳深部或下地壳。

研究表明, 载金的硫(砷)化物其  $\delta(^{34}\text{S})$  值和金含量之间存在某种程度的相关关系。如本区黄铁矿  $\delta(^{34}\text{S})$  值平均为  $-1.00 \times 10^{-3}$ , 相应的黄铁矿金含量平均为  $88.30 \times 10^{-6}$ ; 毒砂  $\delta(^{34}\text{S})$  值平均  $1.17 \times 10^{-3}$ , 相应的毒砂金含量平均为  $172.7 \times 10^{-6}$ ; 辉锑矿  $\delta(^{34}\text{S})$  值平均为  $-3.74 \times 10^{-3}$ , 相应的辉锑矿金含量平均为  $15.25 \times 10^{-6}$ 。金含量与黄铁矿、毒砂和辉锑矿中  $^{34}\text{S}$  亏损(负值增大)之间存在明显的相关关系, 表明上述载金的硫(砷)化物与金是同时沉

表 1 黄铁矿含金量与  $\delta(^{34}\text{S})$  值关系Table 1 Relation of Au content to  $\delta(^{34}\text{S})$  for different pyrites

矿床	产状	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$
沃溪	层间石英脉中的黄铁矿	73.68	-1.7
	蚀变板岩中的黄铁矿	81.2	-2.5
沧浪坪 (含石英脉)	立方体黄铁矿粒径 $>2.5$ mm	3.5	9.0
	立方体黄铁矿, 粒径 $1\sim 2.5$ mm	含金稍高	7.2
	立方体黄铁矿, 粒径 $0.45\sim 1$ mm	11.5	6.9

淀的<sup>[12]</sup>,也表明金是从部分氧化的溶液中沉淀的,因为这种硫同位素组成的硫(砷)化物只能是在氧化态硫达平衡时形成。而区内不含金或含少量金的硫化物  $\delta(^{34}\text{S})$  值常出现较大的正值,且随着  $\delta(^{34}\text{S})$  值增大愈接近地层硫 ( $\delta(^{34}\text{S}) = 12.6 \times 10^{-3}$ ),其金含量愈低(表 1)。由此认为,湘西金矿中的硫(砷)化物硫同位素组成为较小的负值时极有可能是载金矿物,并可作为预测和评价矿床的有效的同位素地球化学标志。

## 2.6 氧化-还原反应是湘西金矿成矿的主要机制

湘西地区金矿容矿地层主要为浅变质的绢云母板岩、粉砂或砂质板岩的铝硅酸盐类岩石,其化学性质稳定,地层中大面积呈分散状态的成矿元素要富集,必须经过活化、迁移的过程,而金溶解能力则是其迁移富集的基本因素,它首先受氧化还原条件的影响,即金的溶解度在氧化作用下增强,还原作用下减弱。从地球化学来说,金将被氧化的热水溶液淋滤搬运,当溶液进入还原环境,便沉淀下来。

从湘西金矿常见的主要共生元素来看,变价元素是 Au 的最重要的氧化剂和还原剂,尤以 Fe, S 等为最。变质作用对于变价元素 Fe 来说,一般是还原过程,即从高价态 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 变为低价态 ( $\text{Fe}^{2+}$ ),从而产生 Au 的活化迁移。资料表明,岩石中含 Au 量与  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  值呈反比,即 FeO 越多,含金越低,表明 Au 迁出越多;而蚀变矿化岩石则相反。故在相同成矿条件下,围岩含有相对较高的能助金还原的  $\text{Fe}^{3+}$ , 或者还有同样起助金还原的 As 存在,为 Au 的沉淀提供了极其有利的条件。

沉积物中的 S 在没有成岩时应为高氧化态,在成岩及变质过程中转变为低价,可由沉积岩及沉积变质岩中的硫化物佐证。当高价 S 还原成诸如  $[\text{HS}]^-$ ,  $[\text{AsS}_3]^{3-}$ ,  $[\text{SbS}_3]^{3-}$  之类的络离子时,不但可以使 Au 氧化,而且易与 Au 离子组成更复杂的络离子,促使 Au 的活化迁移<sup>[13]</sup>。湘西金矿的共生矿物中,硫化物特别是黄铁矿占有重要地位,说明 S 在 Au 迁移中的重要作用。

变价元素的氧化会促进 Au 的还原,这已是不争的事实。在湘西金矿中,黄铁矿、毒砂是常见的主要共生矿物。黄铁矿、毒砂中的含 Au 量也往往比其他硫化物要高得多。究其原因,是由于热液中  $\text{S}^{2-}$  在与 Fe 形成黄铁矿、毒砂时,氧化成为  $[\text{S}]^{2-}$  及  $\text{S}^-$ , 有利于 Au 的还原沉淀。这与上述矿石中硫同位素组成的硫(砷)化物只能是在氧化态硫达平衡时形成的论点是一致的。由此可见,氧化-还原反应是湘西金矿成矿过程中的主要化学机制。

## 3 成矿规律

### 3.1 构造成矿规律

湘西产于前寒武系的金矿主要是在上地幔隆起区的边缘,即幔隆与幔凹的过渡部位。这些部位之所以对金矿成矿有利,主要因其常有深断裂通过之故<sup>[14]</sup>。雪峰弧形构造带是华南两大地体的对接带,长达 1 000 余 km,深切上地幔,历史悠久,结构复杂,成矿条件良好。该弧形构造带基本上控制了省内大多数前寒武系地层中金矿的成生与展布。所以,雪峰弧形构造带既是巨型韧性剪切带,也是巨型金矿成矿带。

从湘西金矿分布的区域构造格局看,宏观上 NE 向构造系最为发育,通常形成区域性韧性剪切带,是区内的主要断裂体系,对区域地质构造与成矿具有显著的控制作用,其旁侧(主要为一侧)的近 EW 向断裂则控制着区内重要金矿的成生。正是这 2 组深部构造的存在,才造就了区域金成矿集中区(带)按 EW 向构造定位,同时按照 NE 向构造成带的分布格局,表明区内金矿分布格局是近 NW 向基底隐伏构造带和 NE 向深大断裂联合控制的结果。断裂构造致使矿源层和围岩遭受变形和变质,驱动了热液活动和成矿元素的活化迁移,并在有利的部位形成矿床,断裂与成矿具有同步性。断裂带空间的充填及其分布的区域性,服从于应力释放的物理

平衡和物质的平衡。因此,构造控矿的实质就是构造成矿。

### 3.2 矿床的区域分布规律

据矿床(点)的集中分布情况,可将湘西金矿划分为湘北及湘西2个金成矿集中区。其矿床类型主要为含金石英脉型,其次为破碎带蚀变岩型。

含金石英脉型金矿包括层状-似层状矿床和陡倾斜脉状交错矿床,均产于隆起构造带之开阔平缓背(向)斜构造的翼部,赋存于新元古界板溪群尤其是下组马底驿组紫红色板岩、含钙板岩内,受区域EW向或NE向断裂旁侧的层间滑脱带(剥离断层)之舒缓波状起伏的低序次横跨褶皱(半背斜、半向斜)构造控制,并沿褶皱轴向向深部侧伏延伸。成矿具有多层性,产状与围岩产状近于一致。矿体产出形态主要为层间石英脉,次为网脉和节理脉,以及近矿蚀变岩(褪色化黄铁矿化板岩)。各矿脉在平面或剖面上,都呈不等间距的平行排列。在层脉与层脉、层脉与支脉之间,常发育有网脉。而陡倾斜交错脉状矿床,多位于区域构造变形强烈。例转背斜及断裂发育处,如冷家溪、符竹溪等金矿多产在区域主干断裂附近,矿脉往往成群成组雁行状平行或斜列分布,其中以充填在压扭性和张扭性断裂者脉体较稳定,沿倾向发育较深和具有侧伏成矿的特点。

破碎带蚀变岩型金矿主要见于雪峰弧形构造带东段的益阳、桃江、汉寿等地,主要赋存于中元古界冷家溪群绢云母板岩、砂质板岩及粉-细砂岩中。矿床产于复背斜、背斜翼部,严格受剪切带控制,如益阳南郊柳塘坡、硃坡和王四村金矿均产在浅变质基性火山岩与细碎屑岩接触带附近的片理化带中,在强片理化带中尤其明显。其含金石英脉型矿化主要分布在强片理化带的断裂破碎带中,含金破碎带蚀变岩型矿化则直接产在片理的破裂面中<sup>[15]</sup>。

岩坝桥岩体外接触带破碎带蚀变岩型金矿,主要赋存于中、新元古界浅变质的碎屑岩内,成矿严格受脆性剪切构造带控制<sup>[16]</sup>,角砾岩、碎屑岩和蚀变岩为其主要容矿岩石。矿床具有厚度较大、品位较低、矿化较均匀的特点。

### 3.3 地层层位和岩石建造的成矿规律

湘西金矿显著的地质特点是成矿受地层层位和岩石建造控制,但并不局限于某一固定层位和岩性,常存在于几个层位和岩相之中,沿层位呈长带状展布,它们的共同特点是受古老的结晶基底控制,基本特征是同源。据统计,全省303处产于地层中的金矿,75%以上的矿产地分布于前寒武系浅变质岩系

中,尤其是板溪群约占总数的一半,而湘西金矿又是全省前寒武系浅变质岩系中金矿的主要产区,足以佐证湘西金矿成矿的地层效应。这类沉积建造的某些特征,无疑有着许多对成矿有利的因素。其一,Au的初始丰度较高。据沅陵-益阳一带板溪群马底驿组Au的背景含量分析, $w(\text{Au}) = 2.3 \times 10^{-9} \sim 2.9 \times 10^{-9}$ ,平均 $2.5 \times 10^{-9}$ (39件);冷家溪群 $w(\text{Au}) = 3.1 \times 10^{-9} \sim 3.8 \times 10^{-9}$ ,平均 $3.7 \times 10^{-9}$ ,分别高于上部大陆地壳 $w(\text{Au})$ 平均值 $1.8 \times 10^{-9}$ (Taylor等,1985)1.49倍和2.06倍,可视为金的矿源层。该区马底驿组各种矿物中金含量分析表明,有78.3%的Au赋存在黏土矿物中<sup>[17]</sup>,其赋存状态应以吸附形式为主。这说明在马底驿组岩石中有相当数量的金是以易活化的吸附形式存在。其二,区内火山沉积砂泥质及富含火山凝灰质的复理石和类,复理石沉积建造,形成于弧间盆地,推测其初始沉积建造中金丰度可能较高。其三,这类富含黏土矿物、高价铁氧化物及钙质的岩石,其黏土矿物和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体对Au有着明显的吸附作用,钙质岩层中的Ca、Mg等碱土金属易于溶解迁移进入溶液中,促使酸性溶液遇碱中和形成中酸性或弱还原环境,有利于金的沉淀。由此可见,含金地质建造决定了区域潜在的含金性,造成金矿化在区域分布上的不均匀和时间上的继承性,从而形成矿化集中区的必要前提。

### 3.4 中酸性侵入体的成矿作用规律

湘西金矿大多远离岩浆岩体,岩体的侵入作用与成矿的直接关系不明显。但围绕岩坝桥岩体外接触带出现的破碎带蚀变岩型金矿与岩体侵位有一定的时空关系,这除了某些破碎带蚀变岩型金矿围岩产生的“斑点”化外,更主要的是在岩体上侵作用的过程中,岩体以它巨大的热能促使矿源层中金的活化、迁移并汇聚于剪切构造带所产生的含金流体中,随着物理化学条件的改变沉淀形成矿床。

值得注意的是,在构造伸展体制下,脆性断裂的形成导致湘西金矿某些矿区(床)中酸性岩脉的普遍侵位,形成大量花岗斑岩和石英斑岩等长英质脉岩。岩脉不仅为成矿作用带来部分矿质和伴生元素,而且成为金矿脉的赋存构造。兹以半边山含金斑岩和符竹溪含锑金斑岩为例,探讨区内长英质脉岩与金矿关系。

半边山含金斑岩赋存于加里东期桃江花岗闪长岩体外接触带之冷家溪群条带状绢云母板岩、粉砂质板岩中。断裂构造和劈理发育,尤以 $5^\circ \sim 35^\circ$ 方向

断裂最发育,为含金斑岩的主要侵入构造,共发现 5 条斑岩脉,一般长 1 800~3 500 m,最长 5 400 m,呈陡倾斜的脉状平行产出。斑岩中的金矿化按其赋存特点,可划分为 3 种类型,即斑岩型金矿化、含金石英脉型金矿化和接触破碎带型金矿化<sup>[18]</sup>,以充填于斑岩中 300°~315°方向的石英脉含金性最佳,接触破碎带中金矿化厚度较大,地表出露亦较明显。据近年深部钻探资料,金资源量在 5 000 kg 以上。

符竹溪铋金矿位于 NWW 向符竹溪区域性压扭性断裂旁侧,与 NWW 向断裂呈“入”字形交汇部位。沿断裂有钠长辉绿岩、花岗斑岩侵入,还发育大量含铋金石英脉和破碎带。研究表明<sup>[19]</sup>,区内长英质脉岩在空间上与金矿化关系密切,金矿化往往赋存在长英质脉岩上下盘紧靠脉岩产出,或赋存于脉岩中间穿插脉岩。近年来,在符竹溪井下新发现的富铋金矿脉与长英质脉岩形影相随。长英质脉岩不仅与铋金矿化存在密切的空间关系,而且有着密切的成因联系。长英质脉岩的侵入作用是一种重要的成矿作用<sup>[20]</sup>。

### 3.5 围岩蚀变的成矿规律

区内金矿均发育程度不等的中低温热液蚀变现象,常见的有绢云母化(退色作用)、硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉铋矿化、碳酸盐化、绿泥石化等,其中绢云母化、硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉铋矿化与金矿关系密切。

绢云母化是湘西金矿最普遍的近矿围岩蚀变。所谓退化实质上是绿泥石被绢云母交代,即绢云母化,它可使含 Au 络合物解络后的  $K^+$  取代原矿物中的  $Fe^{2+}$ ,而钾化是利于成矿的。因此,凡绢云母化范围愈大,金的矿化相对亦较强,可以说绢云母化是金矿化区域性蚀变标志。硅化常叠加于绢云母化之上,而黄铁矿化、毒砂化和辉铋矿化常产于近矿围岩二侧及蚀变破碎带、石英脉内,与金矿化相伴。

作为成矿最直接的标志的围岩蚀变,其蚀变带通常总是沿着构造破碎带展布,金矿化也总是伴随着构造带和蚀变带而发生。如果说绢云母化带是金矿化近矿围岩蚀变的一种特征性的地质标志,那么,叠加在绢云母化带内的硅化、黄铁矿化、毒砂化和辉铋矿化就是金矿体(化)存在的蚀变标志,而且蚀变带的产状、规模直接影响着矿化的产出形态,并使其矿化沿蚀变带呈现出规律性分布。

## 4 找矿应用

### 4.1 成矿元素共生组合及其变化

湖南西部不同元素(矿物)共(伴)生组合的金矿床,是本区最为常见的地质规律之一。利用成矿物质和不同元素(矿物)之间的共(伴)生规律,可以由此及彼、互为标志进行找矿和成矿预测评价。研究表明,多组分、多期次叠加成矿的矿床,是形成“成型”矿床的重要标志,也是新矿床类型出现的端倪。当成矿组分共生组分发生变化时,尤其要重视新矿床类型的出现。如华南地区久负盛名的百年老矿——湘西沃溪钨铋金矿床,深部矿体矿石中出现明显不同于浅部 W-Sb-Au 矿物组合的辉铋矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、硫铋矿、车轮矿等矿物,预示深部发育 Au-Pb-Zn-Bi(Cu)的矿化组合<sup>[21]</sup>,深部找矿应多注重 Au-Pb-Zn-Bi(Cu)多金属矿床。

### 4.2 矿体侧伏规律

这是湘西大多数脉状金矿床普遍存在的现象,这是由于这类矿床既具有沿倾向发育较深的特点,其向深部延伸的长度超过其水平方向长度数倍至 10 余倍,从而大幅度地增加矿床资源量;又具有侧伏成矿现象,对于矿床深部定位预测十分重要。就区域性的成矿区带而言,系统地研究矿体的侧伏规律,可以掌握区域内类似矿产的侧伏规律<sup>[3]</sup>,对于找矿和探矿工程的布置将获得事半功倍的效果。这是一个在找矿学上具有重要意义的问题<sup>[22]</sup>,值得深入研究。

### 4.3 控矿地层层位和岩性

湘西金矿空间分布的特点是受一定层位和岩性控制。北区沅陵、桃源、安化一带,主要受马底驿组控制,该区板溪群中 40 余处矿床(点)有 80% 赋存于马底驿组,仅 20% 赋存于五强溪组<sup>[23]</sup>;南区靖州、会同一带,主要是五强溪组和长安组控矿,绝大部分金矿床(点)均产于该组,从而显示出层控性。容矿地层的岩性大多为钙质-砂泥质类复理石建造和火山沉积砂泥质复理石建造。

由此可见,湘西金矿通常都是分布在富金的浅变质岩系出露的基底范围内,富金的古老基底提供了成矿物质来源,金的成矿作用都是在继承了基底中金的高丰度性质基础上对金矿成矿起作用的。因此在宏观上,古老的变质基底是区域控矿的主要因素,不同元素(矿物)组合的金矿床基本特征是“同

源”,沿着古隆起所形成的剪切构造带是湘西金矿找矿最具成效的区域。

#### 4.4 长英质脉岩

区内部分金矿区(床)出露长英质脉岩的重要特点是,岩脉不仅为成矿作用带来部分矿质和伴生元素,而且成为含金石英脉的赋存构造,据此,长英质脉岩可以作为本区赋存于前寒武系金矿找矿评价的重要地质标志,预期通过进一步地找矿研究工作还有发现斑岩型金矿的可能性。

#### 4.5 围岩蚀变及标型矿物

实践表明,绢云母化(退色化)是湘西金矿具有普遍意义的、特征性的近矿围岩蚀变;不少矿床地表沿断裂带仅见绢云母化(退色化),但深部却存在隐伏-半隐伏矿体。硅化是矿床中最常见的一种热液蚀变,与矿化关系密切。黄铁矿化常与硅化叠加产出,为金矿化富集的标志,黄铁矿是主要的载金矿物。

此外,作为标型指示元素的 As 可以作为寻找金的判据,即当 Au 与 As 高度相关时,与 Au 矿化(Au 型、As-Au 型)有关;当 Au 与 As 密切相关,Au 与 Sb 亦呈正相关时,可能出现 Sb-Au 型、Sb-As-Au 型金矿;若 Au 与 As 相关不显著或不稳定,As/Sb 值较小时,可能是铋矿化的显示。在化探找金时,在注意 Au 异常的同时,加强对 As(Sb)异常的研究将有助于寻找金矿。

## 5 矿床成因

湘西金矿无论是含金石英脉型还是破碎带蚀变岩型,均赋存于剪切构造带内,作为含金建造的前寒武系变质岩系由于 Au 元素含量高,又普遍发生区域变质作用和较强的构造变质作用,因此可为成矿提供物源。

剪切构造作用将机械能转化为热能,为 Au 的活化迁移提供能量,同时热能加热变质水使其活性增大,充分萃取围岩中以易活化形式存在的成矿物质形成含矿热液。另外,剪切构造作用形成的劈理化带、糜棱岩等提供了含矿热液的通道,使其能在更大范围循环萃取更多的成矿物质。由此可见,本区沉积岩在区域变质和动力变质过程中,以杂质元素状态赋存于沉积矿物中或以吸附状态赋存于矿物表面或间隙中的 Au,随着温度和压力的升高,在载金矿物重结晶或重新组合过程中很容易转入区域变质

热液或动力变质热液中,连同  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}(\text{Na})$  等活性组分和岩石中的  $\text{H}_2\text{O}$  一起形成变质热液<sup>[24]</sup>,并定位于一定的构造部位。

总之,位于扬子板块与华南板块结合部位的湘西金矿,主要沿不同构造单元的交接部位及深大断裂呈带状展布,集中分布于雪峰弧形构造带。其成矿的地球动力学为大规模推覆构造形成的深大断裂构造环境。湘西金矿主要产于区域前寒武系含金建造,成矿是在区域变质、热接触变质和动力变质所产生的变质热液作用下,使矿源层中的金活化、迁移、沉积富集。矿区(床)附近可以有显生宇岩浆岩,亦可有不同程度的叠加岩浆热液蚀变和矿化<sup>[25]</sup>,但矿床主要产于变质岩区,以变质热液成矿作用为主导,故矿床成因属于变质热液型金矿。此外,尚有为数不多的与长英质脉岩有关的热液金矿。

#### 参考文献:

- [1] 鲍振襄,万榕江,鲍珏敏. 湖南共生金矿床及其成矿规律[J]. 黄金地质,2003,9(1):38-47.
- [2] 鲍振襄,万榕江,鲍珏敏. 湘西浅变质岩系中钨铋金矿床成矿系列[J]. 黄金地质,1999,5(3):41-47.
- [3] 鲍振襄. 湘西钨铋金矿带中铋金矿床成矿的独特性[J]. 黄金科学技术,1995,3(2):33-37.
- [4] 沈瑞锦,符巩固,罗定量,等. 浅谈矿体的侧伏[C]//湖南地学新进展:2. 长沙:湖南科学技术出版社,2002:28-35.
- [5] 鲍振襄,何谷先. 湘西沃溪钨铋金矿床地质地球化学特征[J]. 湖南地质,1991,10(3):207-216.
- [6] 姚振凯,朱蓉斌. 湖南符竹溪金矿床多因复成模式及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学,1993,17(3):199-209.
- [7] 艾国栋,戴塔根,陈明辉,等. 金矿床中黄铁矿-毒砂-辉铋矿标型及金的赋存状态——以湖南省金矿床为例[J]. 地质与资源,2010,19(2):157-163.
- [8] 张振儒,杨思学,陈梦熊. 湖南沃溪金铋钨矿床的矿物学研究[M]//湖南省沃溪式层控金矿地质. 北京:地震出版社,1996:216-232.
- [9] 艾国栋,戴塔根,陈明辉,等. 金矿床中黄铁矿-毒砂-辉铋矿标型及金的赋存状态[J]. 地质与资源,2010,19(2):157-163.
- [10] Oral O, Cohmoto H, Rye R O. Isotopo of Swfur and carbon [M]// Bames H L. Geochemistry of hydrothermdl ore deposits. New York: John wiley and sons, 1979:509-567.
- [11] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985:266-267.
- [12] Cameron E M. 安大略赫姆洛金矿床地球化学同位素研究[J]. 周群辉,译. 地质科技情报,1987(1):94-101.
- [13] 王中雄. 氧化-还原反应在金的内生成矿过程中的作用和意义[J]. 地质与勘探,1989(10):12-15.
- [14] 甫仁,权正钰,胡能勇,等. 湖南省岩金矿床成矿条件及分布富集规律[J]. 湖南地质,1993,12(3):163-176.
- [15] 李玉平. 湖南益阳南郊金矿床地质特征及成因研究[J]. 黄

- 金地质科技,1994(3):54-58.
- [16] 鲍振襄. 岩坝桥岩体外接触带破碎带蚀变岩型金矿地质特征及相关问题探讨[J]. 黄金地质,1995,1(2):21-25.
- [17] 权正钰,王甫仁,胡能勇,等. 雪峰弧形构造带与金锑矿床[J]. 湖南地质,1998(增 11):7-15.
- [18] 刘英俊,马东升. 湖南益阳—沅陵一带金矿床的成矿作用地球化学[J]. 地球化学,1994,23(1):1-12.
- [19] 鲍振襄. 半边山含金斑岩体的发现及其地质意义[J]. 贵金属地质,1993,2(3):207-213.
- [20] 刘继顺,湘中地区长英质脉岩与锑(金)成矿关系[J]. 矿产与勘查,1996(6):321-326.
- [21] 鲍振襄,万榕江,鲍珏敏. 湖南前寒武系地层中长英质脉岩与金成矿关系[J]. 黄金地质,2002,8(1):33-39.
- [22] 彭渤,刘升友,Piesrzymski Adam,等. 湘西沃溪金矿床矿石矿物学特征及深部找矿意义[J]. 中国地质,2008,35(6):1286-1290.
- [23] Циумов Р Т,王义为. 矿床学的地球化学观点[J]. 地质地球化学,1989(4):46-52.
- [24] 黄镜友. 湖南境内沿倾向发育较深的脉状矿床的地质特征及规律[J]. 湖南地质,1995,14(1):44-48.
- [25] 刘湘勤,刘学通. 湘西地区岩金成矿规律及找矿方向[J]. 湖南地质,1991,10(4):300-306.
- [26] 陈柏林. 甘新北山金窝子韧性剪切带型金矿床成因[J]. 矿床地质,2010,29(6):972-982.
- [27] 朱奉三. 中国金矿床成因类型的划分及基本特征研究[J]. 黄金,1989(6):11-19.

## Metallogenic model of tungsten-antimony-gold deposits in west Hunan province and the application of the model to the ore exploration

HE Yongmiao<sup>1</sup>, BAO Zhenxiang<sup>2</sup>, BAO Juemin<sup>2</sup>

(1. Chenzhou ming Co Ltd, yuanling 419067, Hunan, China;

2. Research and Development centre for Mineral Resource in west Hunan,  
Qianzhou 416007, Hunan, China)

**Abstract:** Tungsten-antimony-gold deposits in west Hunan province occur in the Pre-cambrian low grade metamorphic rock sequence and are controlled by ductile-brittle shear zone and horizons. During regional and dynamic metamorphism deep ductile shearing deformation in large scale facilitated remobilization of Au in the source bed to form Au bearing metamorphic hydrothermal fluid together with H<sub>2</sub>O within the rock and active constituents, such as SiO<sub>2</sub>, K etc. When the Au-bearing hydrothermal fluid entered in the extensional ductile shear zone and its detachment tectonic zone, tension shear zone Au-bearing filling replacement quartz vein and altered cataclastic rock type gold deposits were formed. Studies show that such Au deposits are characteristic of specific element combination, more extension along dip and pitch of ore vein (body) and felsic rock belt emplaced along the gold ore-control structure is related to gold metallogeny. The Au metallogeny is characterized by light sulfur isotope enrichment of Au-bearing sulfides and arsenides and oxidation-reduction reaction is the main chemical mechanism. Meso-epithermal alteration is developed with such Au deposits. Pyrite, arsenopyrite and As element are the typomorph mineral and mark element for the ore prospecting. Genetically, such Au deposit is the ductile-brittle shear zone-controlled metamorphic hydrothermal Au deposit.

**Key Words:** Tungsten-antimony-gold deposit; metallogenic pattern; significance to ore prospecting; genesis; the west Hunan province