

文章编号 1008-0244(2001)-01-01-06

# 金属矿床的卤素元素异常及其形成机理

## ——以粤西茶洞银金矿床为例

张 乾 邵树勋 潘家永

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳, 550002)

**摘 要** 金属矿床中卤素元素参与了金属元素的活化、迁移到沉淀成矿的全过程。然而,除F能作为萤石和云母类矿物的组成部分有时富集于矿石中外,Cl、Br、I很难在矿石中富集。在成矿过程中尤其在成矿的后期,它们能在矿体上部形成范围较广的卤素扩散晕。在茶洞矿床,这种上部扩散晕范围可达200m。其中以I扩散范围最大,Br扩散晕在距矿体50m~130m的范围内最明显,Cl扩散晕在距矿体30m~110m范围内最明显。卤素元素的这种变化特点,一方面可用来解释成矿热液的演化过程,另一方面可用来作为勘查深部隐伏矿体的地球化学标志。成矿流体中卤素元素与金属元素的配合物随着成矿条件的改变而不断被破坏,金属元素作为硫化物等矿物的组成部分沉淀下来,随着热液蚀变的发生和进行,部分卤素元素被带入蚀变带,大部分仍残留在流体相,在成矿的后期,和残余热液一道,以排泄和渗透等方式,在矿体上方或残余热液流经的途中形成大范围的异常。

**关键词** 银金矿床 卤素元素 异常特征 异常形成机理 地质意义

**中图分类号** P618.2, P595

**文献标识码** A

卤素(F、Cl、Br、I)作为矿化剂元素,在金属元素的活化、迁移和沉淀成矿中起着非常重要的作用。然而,除F常以萤石形式大量固定在矿石中或形成萤石矿床外,其它几个元素很少在金属矿床中大量富集。为了追踪它们的去向,我们对几个低温热液矿床的卤素元素进行了研究,发现随着成矿作用的进行,它们逐渐向围岩中扩散,在成矿后期,残余热液中的卤素元素常在矿体上方形成明显的异常<sup>[1~4]</sup>。在低温矿床中,矿体上方的卤素异常多数在数十米至100m范围内。为了探索中高温矿床中卤素元素的变化特点及异常形成机理,我们对广东茶洞银金矿床进行了研究。

### 1 矿床地质及地球化学特征

茶洞矿床位于粤西云开隆起区加里东褶皱带的中部,吴川—四会断裂带的北西盘,肇庆市西南50 km处。矿区出露地层为寒武系留洞群,为一套浅变质片岩,划分为四个岩性段,从南往北(自

下而上)依次为二云石英片岩( $\in Id^{b-1}$ )、白云石英片岩夹石英片岩( $\in Id^{b-2}$ )、石英白云母片岩、黑云石英片岩( $\in Id^{b-3}$ )及绢云石英片岩等( $\in Id^{b-4}$ ),地层总厚度大于6000 m。矿区南北长>6 km,宽约1.5 km,地形总体上北高南低,断裂充填型脉状矿体穿切所有岩性段呈南北向或近南北向展布,向东陡倾。全矿区共发现30余条矿脉,主要为V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>和V<sub>28</sub>号矿脉,长度都在2000m以上,厚度为1m~5m,其余都为规模较小的矿体(图1)。此外还有一些隐伏矿体如V<sub>36</sub>号脉等。矿床围岩蚀变以硅化、绢云母化为主,蚀变围绕矿体范围达10m~30m,强硅化带位于矿体两侧10m~20m以内。矿床主要有用组分为Ag、Au、As。其中As储量>10<sup>5</sup>吨,为一超大型砷矿床,Ag达中型规模(约700多吨),Au为小型规模,此外还伴生有铅和锌。矿区岩浆岩不发育,中部出露有两处花岗斑岩小岩株,呈北东向分布的W、Sn小规模矿化与其有关,另外还有少量基性岩脉和闪长岩脉,与成矿关系不明显。矿石矿物成分复杂,已发现40多种金属矿物,主要为毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、自然银、螺状硫银矿、自然金、银金矿、黄锡矿等。银主要以单矿物形式存在。

收稿日期:2000-04-12;修回日期:2000-06-02

基金项目:国家自然科学基金委员会资助项目(批准号:49573180)

第一作者简介:张 乾(1955-)男 研究员 从事矿床地球化学研究

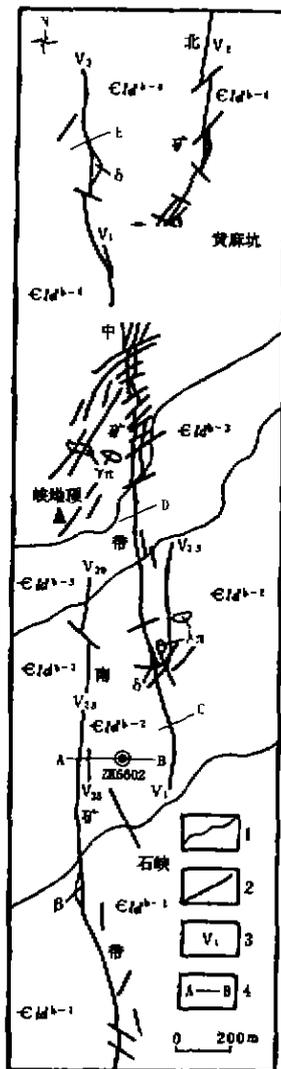


图1 茶洞矿床地质图

Fig. 1. Geological map of the Chadong ore deposit.

$E1d^b-4$ : 寒武系留洞群 b 层 4 段;  $E1d^b-3$ : 寒武系留洞群 b 层 3 段;  $E1d^b-2$ : 寒武系留洞群 b 层 2 段;  $E1d^b-1$ : 寒武系留洞群 b 层 1 段;  $\delta$ : 闪长岩脉;  $\beta$ : 基性岩脉;  $\gamma\pi$ : 花岗斑岩脉;  $\lambda\pi$ : 石英斑岩; 1: 地质界线; 2: 断层; 3: 矿体编号; 4: 采样剖面

对矿物流体包裹体特征研究证实<sup>[5]</sup>, 该矿床有三个成矿阶段, 成矿温度在  $210^{\circ}\text{C} \sim 370^{\circ}\text{C}$  之间, 最高可达  $450^{\circ}\text{C}$ 。与成矿阶段相对应, 成矿温度在  $210^{\circ}\text{C} \sim 240^{\circ}\text{C}$ 、 $260^{\circ}\text{C} \sim 290^{\circ}\text{C}$ 、 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$  三个区间形成三个峰值, 相应地成矿流体盐度在  $4.5 \sim 6.0 \text{ wt}\% \text{ NaCl}$ 、 $9 \sim 10.5 \text{ wt}\% \text{ NaCl}$ 、 $14.0 \sim 15.5 \text{ wt}\% \text{ NaCl}$  形成三个峰值, 显示从早到晚, 成矿温度、成矿流体的盐度都呈降低趋势, 计算的氧逸度和成矿压力也有相同趋势。

S、Pb、H、O 等稳定同位素及矿床围岩和基底岩石的含矿性特征显示<sup>[6,7]</sup>, 该矿床的硫是由

岩浆作用提供的,  $\delta^{34}\text{S}$  值在  $-2.4\text{‰} \sim 1.1\text{‰}$  之间。矿石与围岩和基底岩石铅同位素对比研究显示, 金属元素主要来自区域寒武系和前寒武系地层, 岩浆活动也带来了一部分成矿物质, 成矿流体的来源以深源岩浆水为主。

## 2 卤素元素分布特点及变化规律

### 2.1 分析方法及分析结果

我们在矿区南矿带 66 线地表选择了一条 EW 向的剖面, 长约 400 多 m, 垂直于相距 20m 的  $V_{28}$  和  $V_{35}$  两条矿脉, 以 10m 的间距采集了近 40 个岩石和矿石样品。位于该剖面上的 ZK6602 钻孔, 孔深 200m 处有一隐伏矿体, 含 Ag 达  $445 \times 10^{-6}$ 。该矿体向东倾斜, 倾角较  $V_{28}$  等主矿体平缓。从该矿体至地表的 200m 范围内, 以 10m 间距采集了 21 个岩芯样品。这两条剖面分别代表垂直和水平两个方向。从  $V_1$  到  $V_3$  矿体(从南到北), 布置了 3 条剖面, 采集 45 个样品, 以考察露头矿体不同高度卤素元素的变化特点。另外, 从矿区外新鲜未蚀变的寒武系地层采集 23 个样品作为对照。样品经加工处理后, 用原子吸收光谱法分析了 Ag、Au, 分光光度法分析了 Cl、Br、I, 部分样品经 ICP-MS 和离子电极法检验, 检出限为 Ag、Cl  $1 \times 10^{-6}$ , Br、I 为  $0.1 \times 10^{-6}$ , Au 为  $1 \times 10^{-9}$ , 相对误差控制在 10% 以内。由于矿体围岩以片岩为主, 岩性的不同主要以云母类矿物的种类和含量来确定。分析结果显示, 岩石中的 F 含量受云母类矿物含量的影响, 以至于无法将岩石原有的 F 与热液带来的 F 区分开来, 因此, 本文没有讨论 F。

23 件地层对照样品(去掉 3 件炭质层样品)的分析结果为: Ag  $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ , 平均  $1.6 \times 10^{-6}$ ; Au  $5 \times 10^{-9} \sim 11 \times 10^{-9}$ , 平均  $7 \times 10^{-9}$ ; Cl  $5 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ , 平均  $11 \times 10^{-6}$ ; Br  $0.8 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ , 平均  $1.3 \times 10^{-6}$ ; I  $0.3 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$ , 平均  $0.9 \times 10^{-6}$ 。每条剖面样品的分析结果将在后文的图示中显示出来。

### 2.2 卤素元素的垂向变化特点

为了客观地反映各种元素的变化特点, 没有对分析结果进行任何人为处理。图 2 清楚地反映了 ZK6602 孔 200m 深度范围内 Ag、Au、Cl、Br、I 的含量及在不同深度上的变化特点。可以看出, 上述元素在垂向上的分布有如下的规律性:

(1) Ag、Au 主要富集在距矿体 30m 以内的

蚀变带内, Ag 含量  $> 4 \times 10^{-6}$ , Au 含量  $> 30 \times 10^{-9}$ , 至矿体部位, 二者均达到工业利用标准。距矿体 30m 以外, 二者的含量明显降低, 在近地表的 60m 范围内, Ag、Au 含量(分别为  $0.6 \times 10^{-6} \sim 3.5 \times 10^{-6}$  和  $3 \times 10^{-9} \sim 8 \times 10^{-9}$ ) 接近于地层对比样的含量。

(2) 21 件样品含 Cl 在  $7 \times 10^{-6} \sim 80 \times 10^{-6}$  之间。地表向下 80m 范围内以及靠近矿体的强蚀变带内(距矿体 10m~15m 范围内), Cl 含量  $< 20 \times 10^{-6}$ , 与外围地层 Cl 含量接近, 矿体含 Cl 仅  $10 \times 10^{-6} \pm$ 。在 80m~180m 深度范围内, Cl 存在高异常区, 含量为  $28 \times 10^{-6} \sim 80 \times 10^{-6}$ , 异常峰值在 140m~160m 之间。

$\times 10^{-6}$ , 与矿区外围地层含 I 一致。从地表至 160m 深度范围内, I 含量高出于外围地层 1 倍以上, 在 50m~70m 之间形成明显的峰值。

(5) 在垂向上, Cl、Br、I 都存在明显的异常。一方面, 异常都不在矿体及蚀变带部位。另一方面, 从 Cl→Br→I, 异常范围逐渐增大, 异常峰值逐渐远离矿体。Cl 和 Br 在距矿体 200m 的地表已接近地层的正常值, I 在地表仍高出外围地层 I 含量 1 倍以上, 而 Ag 和 Au 一离开蚀变带就接近地层含量。

### 2.3 卤素元素在地表的变化特点

在地表,  $V_{35}$  矿体只见微弱的蚀变, 因此,  $V_{28}$  矿体上盘至  $V_{36}$  矿体顶部, Ag 和 Au 的异常明显,

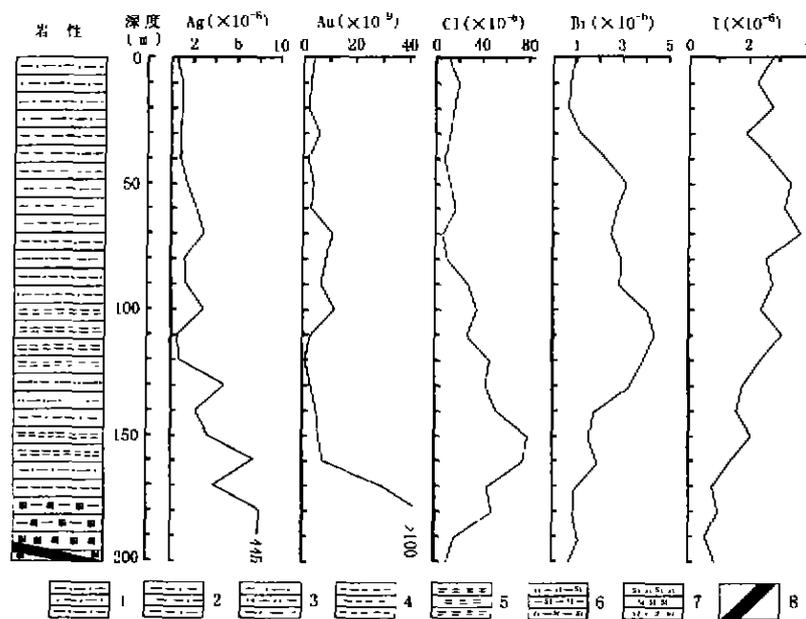


图 2 茶洞矿床 ZK6602 钻孔剖面的 Ag、Au 及卤素元素分布特点

Fig. 2. Distributions of Ag, Au and halogen elements on ZK6602 core section in the Chadong ore deposit.

1. 石英云母片岩; 2. 二云石英片岩; 3. 石英片岩; 4. 云母片岩; 5. 二云片岩; 6. 弱硅化带; 7. 强硅化带; 8. 矿体

(3) Br 在剖面上也呈现分段富集趋势。从地表向深部, 0m~30m 之间, 含 Br  $0.7 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$ , 40m~160m 之间, 含 Br  $1.6 \times 10^{-6} \sim 4.4 \times 10^{-6}$ , 170m 至矿体部位含 Br  $0.7 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$ 。与 Cl 的分布特点类似, 在近地表和蚀变带内, Br 含量与外围地层接近, 在剖面中部存在高含量区间(40m~130m), 峰值位于 100m~120m 之间。

(4) I 含量在  $0.6 \times 10^{-6} \sim 3.7 \times 10^{-6}$  之间。矿石至蚀变带部位含 I 最低, 为  $0.6 \times 10^{-6} \sim 1.0$

离开蚀变带 50m~70m, Ag、Au 含量恢复到与地层 Ag、Au 含量接近(图 3)。矿体上盘 Ag、Au 异常比下盘明显, 异常分布范围比下盘大, 也比垂向上的分布范围大, 这可能是由  $V_{28}$ 、 $V_{35}$  和  $V_{36}$  数条矿体共同作用引起的。

图 3 显示出 Cl、Br、I 的分布曲线在矿体露头部位( $V_{28}$ 、 $V_{35}$ )形成一低谷, 这与贵州丹寨汞金矿床卤素元素的分布特点一致<sup>[3]</sup>。Cl 的异常峰值位于  $V_{36}$  矿体的正上方。Br 在  $V_{36}$  矿体上方地表已有异常显示, 但异常峰值比 Cl 偏东约 30m。地

表 I 异常的分布范围最大,距  $V_{36}$  矿体 80m 的地表处向东延伸 140m 的范围内 I 异常仍有显示,峰值位于 ZK6602 孔向西 25m~40m 处,该部位距  $V_{36}$  矿体的直线距离已达 160m。

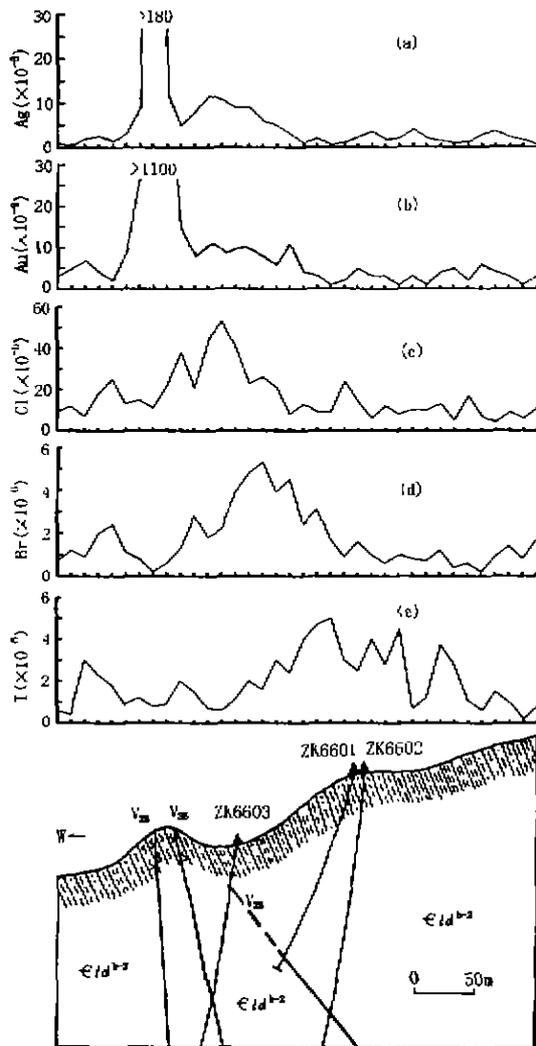


图 3 卤素元素在地表的变化特点

Fig. 3. Characteristics of Ag, Au and halogen elements on the surface.

$\epsilon Id^{b-2}$ :寒武系留洞群二岩性段,岩性见图 2;  $V_{36}$ :矿体

与垂向上的分布特点类似,异常范围、异常距矿体的距离也都是  $I > Br > Cl$ ,以致从  $V_{28}$  矿体向东 200m 仍可见 I 的异常。

### 3 卤素元素异常的形成机理及对隐伏矿体的指示意义

#### 3.1 卤素元素在成矿过程中的演化及异常形成机理

大量实验研究表明,卤素元素尤其是 F 和

Cl,是金属元素活化迁移的重要矿化剂元素。据矿物流体包裹体成分研究,在茶洞矿床,成矿流体中含 Cl  $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6}$ ,含 F  $3 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 。出露于地表的  $V_1 \sim V_3$  矿体从剖面 C 到剖面 E(见图 1)高差为 300m,相当于从矿体下部到上部,成矿温度从  $355^\circ\text{C}$  降低到  $280^\circ\text{C}$ ,说明流体是由南(深部)向北(浅部)运移的<sup>[5]</sup>。由三条剖面 Cl、Br、I 的含量变化趋势(图 4)可以看出,沉淀于矿石中的 Cl、Br、I 从成矿早期到晚期,含量变化不大。但从早期到晚期,它们进入围岩的量明显增加,范围明显增大,并且上盘围岩中的含量明显大于下盘围岩。从矿化情况看,剖面 E 处只见矿体上部的蚀变,已接近于成矿后期阶段,成矿流体已成后期的残余流体,仍含 Cl  $8 \times 10^{-6}$ 、F  $10 \times 10^{-6}$ 。这就是说,在矿体上部形成大范围卤素元素异常是有物质基础的,只是该处矿体上部卤素异常已被剥蚀掉而已。

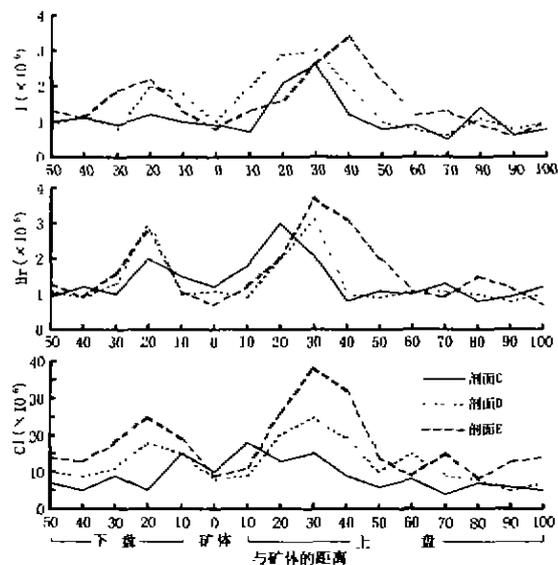


图 4  $V_1$  矿体不同高度上的卤素元素变化特点

Fig. 4. Characteristics of halogen elements at different heights along  $V_1$  orebody.

图 4 可以显示出这样的信息,即当含矿流体沿断裂向上运移,在金属未开始沉淀之前,围岩蚀变就已发生,由于绢云母化等的作用,成矿一开始卤素元素就向围岩中迁移,主体仍停留在热液中,这是因为蚀变过程中没有能够有效固定 Cl、Br、I 的矿物生成。直到有大量金属硫化物开始沉淀,随着卤素与金属配合物的分解,进入热液中呈自由状态的卤素元素的量逐渐增多。到成矿的晚期阶段及后期,成矿流体中与金属配合的卤素元素

已全部分解进入残余热液,它们与组成矿石的成员如石英、硫化物等不具有亲和力而难以全部固定在矿石中,开始大量向外扩散,在矿体上方形成范围宽广的异常带。相比较而言,它们在低温矿床中扩散的距离小于高温矿床,矿体上盘的扩散范围大于下盘。

对热液矿床而言,与矿体同体积的成矿流体不可能形成今天我们所看到的矿体。一种可能的情况是,矿体是成矿流体在不断补给与不断排出这一过程中形成的,即先进入沉淀环境中的含矿流体卸载后必须排出去才能得到后续流体的补充。卸载后的残余流体的排泄过程可能是卤素异常的主要形成阶段。研究发现,残余流体的排泄方式主要有两种,其一为顺断裂、裂隙等通道以较快的速度排出金属矿物沉淀场所,与我们所见的现代热泉相类似。在一些热泉水中含有相当高的 S、Cl、F 等矿化剂元素,这些元素在热泉通道周围常形成一定范围的高异常,在热水经过的路途中通常也会留下它们的痕迹,这种异常是否指示深部有矿化目前还没有验证。第二种方式为残余流体向上渗透的过程中形成卤素元素异常。研究显示,大部分热液矿床形成于断裂构造中,这种成矿断裂一般不与地表直接导通(如果与地表导通,高温、高压状态的成矿液体无疑会喷出地表形成热泉型矿床),在这种情况下,残余流体只能向围压减小的方向借助于微裂隙和岩石孔隙以渗透的方式排出,在渗透过程中卤素元素卸载而形成异常。一般来说,第二种方式形成的卤素异常通常位于矿体上部一定范围内,范围的大小受残余流体的温度、压力、卤素元素含量及存在状态、岩石的可渗透性等多种因素控制,贵州几个低温热液矿床卤素异常范围较小,一般在 100m 以外异常已不明显,茶洞矿床卤素异常可延伸到 200m 以外,这种异常对寻找隐伏矿体具有重要的指示意义。现

代热泉本身可能就是一种很好的深部矿化的标志,只是热泉水经过的路径可能很长(数公里至数十公里),因此其指示更带盲目性。

### 3.2 卤素元素对深部矿体的指示意义

首先让我们假定,如果我们事先在地表垂直于  $V_{28}$  和  $V_{35}$  矿体处做一条 EW 向的剖面,发现如图 4 所示的 Cl、Br、I 的异常,然后从这些异常部位布钻,向下钻进 200m,那么,隐伏于地下的  $V_{36}$  矿体将会被发现。即使从 I 异常的东部向深部钻进,250m 以内也能见到  $V_{36}$  矿体。也就是说,卤素元素的异常能够指示异常的下部一定范围内有可能存在矿化。贵州万山汞矿、半坡锑矿和丹寨汞金矿,卤素元素也显示出很明显的指示作用<sup>[1~3]</sup>。

据罗先熔(1995)的研究<sup>[8]</sup>,广西栗木钨锡矿床,F、Hg、Cu、Pb 异常重合的中心部位,正好是隐伏矿体存在的部位;云南木利锑矿埋深百米以下的矿体在地表也有明显的热释 I 与 Hg 异常。已有的研究显示<sup>[9,10]</sup>,卤素元素对扩大勘探深度和对隐伏矿体的指示有着不可替代的作用,在这方面,前苏联学者大量的研究已经走在世界的前列,他们研究了 20 多个不同矿石建造的金矿床,发现都有明显的 I 异常<sup>[11~13]</sup>。

利用卤素元素异常寻找深部矿体还难以全面用于实践阶段。其原因主要在于:①卤素元素的扩散与热液的温度、压力、岩石的渗透性、碎裂程度等很多因素有关,它们之间的关系尚不清楚;②有矿异常与无矿异常的判别问题,如沿某些断裂带也会有卤素异常显示,但这种异常并不表示深部有矿化;③地表卤素异常与矿床类型和矿种的关系尚不清楚,等等。解决这些问题需要从已知矿床入手,系统研究卤素元素的扩散机理及异常形成机理,从中找出规律性,才能广泛运用于找矿实践。

### 参 考 文 献

- [1] 潘家永、张 乾、邵树勋、张 忠,贵州半坡锑矿床卤素元素地球化学研究. 地质与勘探,1998,34(6):33~36.
- [2] 潘家永、张 乾、邵树勋、张 忠,万山汞矿卤素元素地球化学特征及其地质意义. 矿物学报,1999,19(1):90~97.
- [3] Zhang Qian, Pan Jiayong and Shao Shuxun, Regularities controlling the distribution of halogens in the Danzhai epithermal Hg-Au deposit in Guizhou and their significance. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(Supp 2): 146~148.
- [4] Pan Jiayong, Zhang Qian and Shao Shuxun, Tracer system on halogen mineralizer from the epithermal deposits in Guizhou Province. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(Supp 2): 159~161.
- [5] 潘家永、张 乾、张宝贵等,粤西茶洞银金矿床矿液包裹体地球化学研究. 矿物学报,1995,15(1):47~54.
- [6] 张 乾、张宝贵、潘家永等,粤西茶洞银金矿床矿质来源的同位素示踪研究. 矿床地质,1993,12(4):349~357.

- [7] 潘家永、张 乾、张宝贵、张玉学、邵树勋, 粤西金银矿床成矿规律探讨. *矿床地质*, 1996, 15(3): 257~266.
- [8] 罗先熔, 多种新方法寻找隐伏矿的研究及效果. *地质与勘探*, 1995, 31(1): 44~49.
- [9] Frick C. et al., The use of Cl, Br and F in detecting a buried Cu-Zn orebody along the zinc-line in the Murchison Range, South Africa. *Journal of Geochemical Exploration*, 1989, 34(1): 83~102.
- [10] Nash J. T. et al., Iron and chlorine as guides to stratiform Cu-Zn-Au deposit, Idaho cabolt belt USA. *Mineralium Deposita*, 1993, 28(2): 99~106.
- [11] Трофимов Н. Н. и Рычков А. И., Йод-элемент индикатор при поисках глубоководных месторождений. *Геология рудных месторождений*, 1984, (4): 92~99.
- [12] Трофимов Н. Н. Рычков А. И. и Дьяконов В. В., Литохимические поиски коренного золота по орелам йода. *Геология и Разведка*, 1995, (4): 58~64.
- [13] Трофимов Н. Н. Рычков А. И. Дьяконов В. В. и Маркелова Е. А., Поиски скрытого орудення по орелам йода. *Геология и Разведка*, 1995, (1): 63~68.

## HALOGEN ANORMALY AND ITS FORMING MECHANISM IN THE METAL ORE DEPOSITS: AS EXAMPLIFIED BY CHADONG Ag-Au DEPOSIT IN WESTERN GUANGDONG PROVINCE

Zhang Qian Shao Shuxun Pan Jiayong

(Lab. of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

### Abstract

Halogen may participate in the whole processes of activation, migration and mineralization of ore-forming metals. However, only F can be usually fixed in the ore as the component of fluoride and mica, Cl, Br and I are difficult to fix in the ore. In the post-stage of mineralization, they may form a halogen halo in the wall rocks in the upper part of the orebody. Such the halo extends over a distance of 200m from the buried orebody to the surface in the Chadong Ag-Au deposit. The iodine halo has the largest scope, Br halo is located over a distance of 50m to 100m and Cl halo, 30~110m away from the buried orebody. These characteristics of halogen halo can be used not only to explain the ore-forming fluid evolution, but also to prospect buried orebody as an effective geochemical indicator. The compounds of metal with halogen in the ore-forming fluid are decomposed owing to the variation of ore-forming conditions. Metallic elements are deposited as the components of sulfide minerals, some halogens diffuse onto the alteration belt, but a greater part of halogen is retained in fluid. In the post-stage mineralization, halogen elements together with the remaining fluid diffused upward and then a large scope of halogen anomaly was formed in the upper wall rocks of the orebody or on the way the remaining fluid flows through.

**Key words:** Ag-Au deposit; halogen element; anomaly; anomaly-forming mechanism; geological significance