

矿液流向的研究

曾庆丰

(中国科学院地质研究所)

一、引言

现在见到的矿体和矿石,是地质历史上某一时期地质作用的结果。就热液矿床而言,过去认为是岩浆期后的产物,矿液是由地壳下部向上运动。这种单一成因说,把热液矿床的形成机理大大简单化了。现代研究表明,热液矿床是多类型的、多成因的、矿质和矿液是多来源的、成矿过程是多期次的、控矿构造也是多型式的,即具有“五多”的特点。成矿热液有岩浆热液、地下水热液、变质热液、混合岩化热液和复合热液等等。还须看到,成矿过程常常是脉动的(多阶段),而在某些矿床中,又有改造或叠加作用(多期)。所以,矿液的运移方式、路线和方向多种多样。

在成矿过程中,矿液沿着断裂裂隙、层面层理及岩石孔隙运移,随着温度压力逐渐下降,充填交代作用不断进行,矿液的成分和物理化学条件在不断的变化,于是沿着矿液通道在垂向和侧向方向上,矿化强度、蚀变和有关元素含量及组合情况也随之而发生变化。

探讨矿液运移问题,除了理论模拟试验之外,只能从成矿过程所留下的痕迹和反映的特征来判别,即由现在的静态去追索过去的动态,再现其原来的发展演化模式。

二、探索矿液流向的途径

探索矿液流向问题是一个复杂而困难的课题。笔者试图通过下述几个方面事实的分析,对这一课题作一初步的探讨。

(一) 成矿构造标志

构造是成矿必须的条件之一。成矿构造多种多样,可以是原生的,也可以是后生的。诸如褶皱构造、断裂裂隙构造、不整合面、层面、层间裂隙、岩石孔隙以及各种构造的复合类型等等。它们有时既是导矿构造,又是储矿构造。它们的产状、形态和变化与矿液流向有一定的相依关系。

我们在研究塔山矿田时,对成矿构造作了详细的分析。区域花岗闪长岩沿近东西和褶皱轴部断裂带产出。大部分矿体集中于北西方向断裂中。根据我们多方面的研究,确定它们属于平移正断层(斜正断层),其上盘向北西方向以50度左右的角度向下倾斜错动。成矿充填阶段,断裂中部张开最宽,向两侧逐渐变窄。有意义的是,根据坑道编录所绘制的成矿断裂等厚线图,这个最宽张开区的延伸方向并不是沿倾向,也不是沿走向展布,而是向北西方向倾斜。仔细分析张开区的起伏情况,可以看出在其中有明显的张开峰线(张开最宽点的连线)。最大张开区段的上述特征与断裂错动方向相一致。这说明北西向成矿断裂是矿液上升的通道,而其中张开最大区段则形成一个圈闭的储矿构造,为矿液的运移和沉淀提供了十分有利的场所(图1a)。

研究赣南钨矿表明,矿液活动与构造活动有相依的关系。大余矿田沿北北东向断裂带展布,而且南部矿床直接产于花岗岩体中,中部矿床产于岩体上缘,再往北则矿床赋存于岩体上覆的变质岩系中。成矿组分从南向北表现为由气成高温(W、Sn、Be)向高中温(W、Sn、Bi、Cu、Pb、Zn)过渡,相应的成矿温度由高而低(约400—200℃),围岩蚀变由强而弱(云英岩化→硅化→绢云母化)。成岩成矿受构造断裂的控制,成矿作用的递变演化,即矿液活动的总趋势与构造发展相一致。

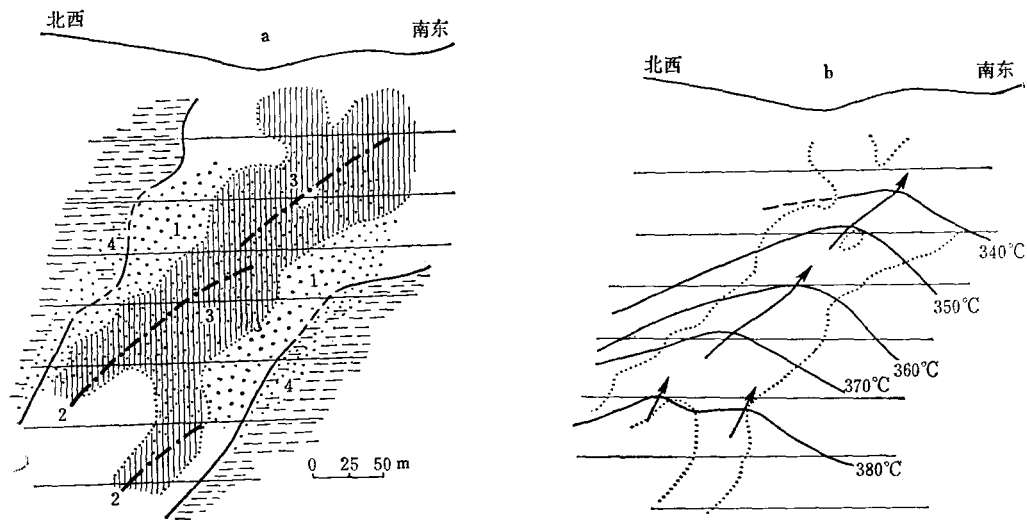


图 1 塔山矿床剖面图

(a) 断裂厚度与矿体关系图：1—断裂张开最大区；2—张开区峰线；3—矿体；4—张开较小区；黑点范围示蚀变强烈区；(b) 成矿温度等值线图

Fig. 1. Cross section of the Tashan ore deposit.

(a) The relationship between the thickness of the fractures and the orebody; 1. The broadest open area of the fracture; 2. line connecting the broadest opening; 3. orebody; 4. less open area. The dotted area refers to intense alteration. (b) Isothermal lines of mineralization.

在区域成矿总的背景上，在具体矿床中，矿液流向有自身的特殊性。以中部矿床为例，矿脉主要是近东西走向，在矿区中央地段发育最好，有很厚的主矿脉，富集了大量W、Sn及多金属硫化物。沿走向方向矿化并非均匀分布，以中段最强，脉幅最大。可见矿液是由区域断裂带的导矿构造上升，然后再由矿区中央向四周扩散的。

我们在研究了成矿构造后确定，近东西走向的成矿断裂属逆冲性质。根据成矿构造组合分析，其生成阶段的应力轴方位如表1。

表 1 成矿断裂生成阶段
应力轴方位表

应力轴	倾向(度)	倾角(度)
δ_3	北北东(3)	10
δ_2	南西(245)	70
δ_1	北西西(272)	15

从表1可见，成矿断裂在生成阶段的压应力轴 δ_3 为南北向、近水平；张应力轴 δ_1 则为东西向、近水平；在剖面方位的中间应力轴 δ_2 并非铅直，而是向西倾斜，角度为70度。具体说，在东西向成矿断裂面上的构造应力方向是向西倾斜的。在矿液充填阶段，断裂带的中段遭受拉张应力最强，这里形成一个深达矿源的宽广低压区。这样，处于高温高压的矿液首先向这个最有利的低压区上升并沉淀成矿。由于断裂生成阶段中间应力轴是向西倾斜的，结合其他方面的分析，有理由认为，矿液是沿着这个构造线方向上升运

移的。

分析相邻及其他一些矿床，亦发现有类似的情况。可见，矿液上升方向与构造应力状态存在一定的相依关系。这对于研究这一课题及深部找矿预测值得进一步探讨。

(二) 矿体及围岩蚀变分析

矿体产状、矿石结构构造和围岩蚀变等是反映矿液运移情况的直接痕迹之一。

前述塔山矿床,从图1a可见,在成矿断裂最大张开区段内,正好是矿体赋存的部位。矿体形态虽然复杂多变,但明显地与构造张开区紧密相关。矿体下部分为两支,而且较薄,向上则合为一个整体,而且随着断裂加宽而变厚变富,沿走向向两侧逐渐变薄、减弱而尖灭。主矿体和下部分叉部分的延伸方向明显地与张开峰线相一致。

在矿体范围内,金属硫化物多为自形晶,晶体较大(0.5厘米左右),矿石多呈致密块状。而在矿体外侧则金属矿物减少,结晶变细,呈浸染状产出。围岩蚀变广泛发育着绿泥石化,次为绢云母化、硅化和碳酸盐化。其发育强度随与矿体距离由近而远逐步减弱。纵观之,蚀变的侧向分带和垂向分带与矿体范围颇为吻合。由此可见,矿液是沿断裂张开峰线方向由下而上运移,在最大张开区段的有利空间沉淀成富厚矿体。由于沿矿液上升地段温度较高,对围岩的热效应和交代作用也强烈,所以这里蚀变也就最强。

(三) 成矿组分分布特征

矿液在运移过程中,随着物理化学条件的改变,在不同地段析出不同的组分和形成品位不均的矿石。因此,矿体中诸元素的地球化学行为、性状、晶出的顺序和矿物共生组合等方面的特征,必然会反映出成矿过程中矿液运移的情况。

在前述大余矿田中部矿床中,主要矿化阶段产出锡石、黑钨矿和多金属硫化物。前两者晶出较早,形成温度也较高(300—360℃)。就W、Sn比较,上部锡石常见,稍下,黑钨矿相对增加。我们根据生产部门提供的化学分析资料,进行了W、Sn比值计算,绘制等比值线图(图2a)。从图可以清楚看出,自上往下 $WO_3:Sn$ 由0.5:1—0.8:1—1:1—5:1。这表明上部含Sn相对高,往下逐渐递减,而W的含量则相对增加。在图中明显反映出倾斜的波峰,说明矿液首先沿这个波峰方向上升,在最先到达的地方,先沉淀温度高的锡石,然后是黑钨矿,并由这个前端向外推移。实地观察和镜下鉴定证明,锡石结晶较黑钨矿为早,前者常贴近或靠近脉壁产出,多与白云母、萤石共生。表明在成矿过程中,Sn迁移得较快,这与挥发分及温度有关。黑钨矿则产于脉的内侧,主要与石英共生。我们曾测定它们的成矿温度,也证明锡石(350℃)较黑钨矿(300℃)为高。

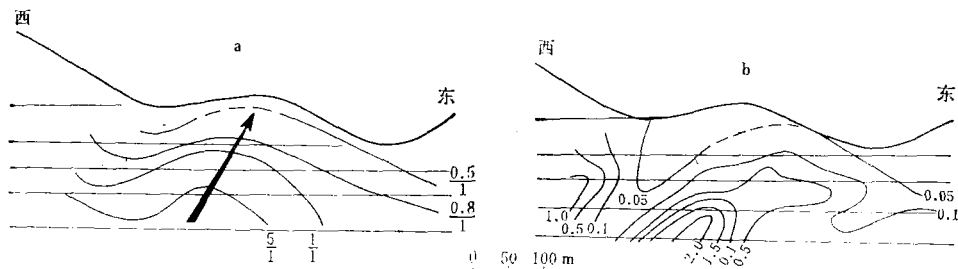


图2 大余矿田中部矿床 WO_3/Sn 等比值线图(a)和 WO_3/Sn 比值三次剩余值趋势面图(b)

Fig. 2. Vertical section of the middle portion of the Dayu ore field.

(a) Isopleth of WO_3/Sn ratios; (b) cubic trend surface of WO_3/Sn ratios.

我们运用电子计算机对W、Sn比值进行趋势面分析,结果表明,趋势值和剩余值出现相似的规律,从图2b可以看出,除中部有一向西倾斜的高峰值外,在西部边缘处,出现有偏高的曲线。结合图2a等值线形态的分析,其西部曲线有向上弯曲的趋势,由此推测,在矿脉带的西部可能存在另一高峰值。

同样,对Pb、Zn分布规律进行计算和分析,等比值线图反映出自下而上 $Pb:Zn$ 由1:5—1:1.5—1:1—1:0.5,即上部Pb含量相对高,往下则Zn含量增加,和前述图形相似。

把W、Sn含量与Cu、Pb、Zn的含量相比,计算其比值关系,反映出上部W、Sn的比值大大超过了Cu、Pb、Zn,而往下则相对降低,从5:1—3:1—2:1—1:1。这说明上部氧化物相对多,而下部硫化物相对增加。看来,这种特征与挥发分和氧、硫浓度的作用有关。

$W:Sn$ 、 $Pb:Zn$ 、 $W-Sn:Cu-Pb-Zn$ 三个等比值线图都有相似的形态,波峰轴线都向西倾斜。这绝非偶然,说明矿液是由西下方上升,沿波峰轴线方向倾斜地向东上方前进。

玢岩铁矿中常含有较多的V, V_2O_5 与TFE呈正相关。二者比值的变化是含矿溶液在运移和冷却过程中发

生的。因此，可利用这种变化规律来查明矿液运移的通道和流向。

(四) 成矿温度、压力标志

矿液由压力高向压力低的方向流动，温度由高而低。所以，查明压力或温度变化的规律性，是研究矿液流向的最重要手段之一。

对造矿矿物温度、压力的测定，目前着重于矿物气液包裹体的研究，或用热力学计算、实验矿物和组分相平衡以及同位素法等。

对矿物气液包裹体的测温主要采用均一法和爆裂法。均一温度一般只代表成矿温度的下限，低于矿物形成的真正温度。但对浅成中低温热液矿床，压力校正值很小，可把均一温度作为成矿温度的近似值。这种方法适用于透明矿物。对不透明的金属矿物，采用爆裂法测温。这种温度可作为成矿温度的上限，须作压力校正。

探讨矿液运移的方向，必须在不同标高、在相等距离的地点系统地采集同样的样品，在室内测温并编制等温线图。

大余矿田由南向北诸矿床与侵入岩体距离加大，温度也由高而低。对于具体矿床也显示了这种有规律的变化。我们在研究中部矿床时，沿不同标高的坑道每50米取一样品，系统对黑钨矿用爆裂法测定温度，将结果绘制纵剖面等温线图（图3a）。由图清楚可见，在中央有一个高温区，而且向西倾斜。在其西侧，温度逐渐递减，每向外推50米，温度下降 10°C 左右，显示出明显的规律性。虽然爆裂法温度偏高，但对判断矿液运移来说，作为相对温度是可行的。此变化显然不是自然增温的结果，它反映了矿液运移的方向，即

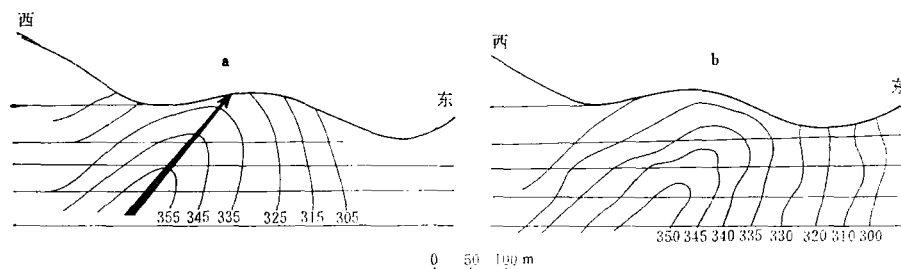


图3 大余矿田中部矿床成矿温度($^{\circ}\text{C}$)等值线图：(a) 黑钨矿等温线图；(b) 四次趋势面图

Fig. 3. Isothermal lines of mineralization in middle portion of the Dayu ore field; (a) Isothermal lines of wolframite; (b) quartic trend surface.

矿液首先沿这个高温带上升，因此，这里矿物结晶温度较高，而向外，则温度递次下降。对温度进行电算处理，并绘制成四次趋势值图（图3b），所示曲线与实测曲线相似。

同样，我们对塔山矿床进行了系统测温工作，作出成矿温度等值线图（图1b）。结果表明，矿体下部温度较高，而向上温度递减；矿体范围内温度较高，而向两侧温度逐渐下降。从等温线的形态可以看出，曲线呈弧形，波峰均朝上。有趣的是，在矿体下部分叉处，曲线显示出两个小波峰，也向上方凸起。在图上连接垂直等温线波峰的交点，用箭头加以标明，这个方向大体上再现了矿液上升的道路和前进的方向。这与成矿构造和组分分析结果相吻合。由此判断，矿液是由下方沿张开峰线方向倾斜地向上方运移的，而且，矿液在下部可能有两个源头，随后才汇集在一起，继续上升前进，并析出有用组分，沉淀形成矿体。

西南汞矿带受北北东向断裂及褶皱的控制，这个方向的主干断裂属于导矿构造。成矿温度由南向北呈有规律的递减。南部温度较高（辰砂爆裂温度为 265°C ），围岩蚀变以硅化为主，属中温再造型层控矿床。往北温度降低（ $133-90^{\circ}\text{C}$ ），蚀变以白云石化为主，次为重晶石化。综合中国科学院地球化学所等单位的研究，在中部万山矿田内，矿床沿北北东向断裂展布，由南向北三个矿床的成矿温度分别为 $183-78^{\circ}\text{C}$ 、 $163-86^{\circ}\text{C}$ 、 $154-62^{\circ}\text{C}$ 。由此可见，矿液主要是从南向北运动，由导矿构造向上盘次级构造运移扩散，然后在储矿构造沉淀成矿。

在平面图上作出等温线，同样有助于辨别矿液运移的动态。喻铁阶等人对江西斑岩铜矿绘制了平面热

晕图(图4a),在花岗闪长斑岩范围内成矿温度较高(360°C),在岩体外侧千枚岩中,温度递次下降(340—270°C)。B. R. 多耶利用闪锌矿作为地质温度计测得巴尔梅特铅锌矿的形成温度,从等温线图(图4b)可以看出,在中央部位温度最高,可达475°C,向四周温度逐渐下降,依次为450—425—400—375—350°C,呈有规律的变化。中央高温区乃是硫化物矿体之所在,其封闭曲线长轴方向指示矿液流动方向。涂光焜用此法研究某锡矿床时,测得Fe含量自含矿侵入体向外递减,相应温度为625—590—525°C。这一变化显示了矿液流动的方向。

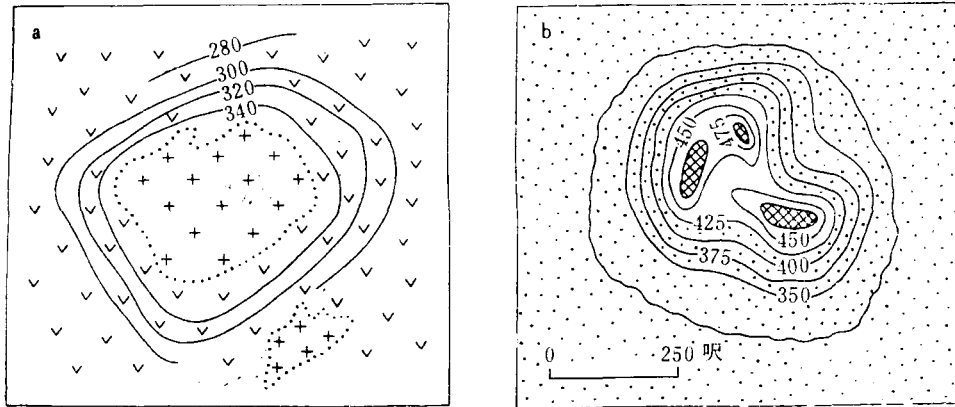


图4 (a) 江西斑岩铜矿热晕示意图
(据喻铁阶等, 1981)
(b) 巴尔梅特铅锌矿热晕图
(据B.R.多耶, 1956)

Fig. 4. (a) Schematic thermal aureole map of a certain porphyry copper deposit in Jiangxi; (b) thermal aureole map of the Barmate lead-zinc ore deposit.

矿液总是从高压区向低压区运移,所以系统测定成矿压力对判断矿液流向有重要意义。

(五) 矿物结晶特征

决定矿物晶体生长的因素是多方面的,但其中之一是有赖于物质的来源和补充。因此,矿液的流向和流速对晶体外形和内部结构以及其他方面特征有一定影响。研究晶体生长特征,找出其规律性,可以在某些方面提供矿液运移的信息。

在野外选择自形晶样品,系统地收集定向标本,在室内制成定向光片或薄片,在镜下进行研究。我们对大余矿田中部矿床和其他一些矿床作过系统的观测,下面从四个方面加以说明。

1. 晶形不对称性:很多晶体的外形显示明显的不对称性,它反映了一定的规律。如图5a,e,晶体在某一方面晶面最发育,表明作为物质补给来源的矿液可能由此方向上升,致使这个方向的晶面生长最快,从而出现不对称性。

2. 内部生长环带差异性:晶面生长快慢自然反映在内部结构中,这须要切片研究它们的生长环带。在垂直光轴切制的石英薄片上,可清楚看出内部环带在不同方向宽窄不同,某一边普遍宽些。有些晶体的中心环带是很对称的六边形,而外边的第二、三、四环带,则在某一面较其他方面为宽。这种特征在萤石、黄铁矿、毒砂等矿物晶体中同样表现得很清楚(图5b,f,g)。

3. 晶体生长不完整性:这种特征表现在一个完好的晶体在某一方面依晶体外形又长了一层,看上去象是补贴上一块,使这个方向的“分量”加重了。而在另一方面则见晶体发育不完整(图5c,h),这反映了物质供给的不充分,使晶体出现“先天不足”。

4. 平行连生的定向性:在单个主晶体旁有时发现定向的平行连生现象,并多在同一方向出现。这种连生的小晶体紧密依附于主晶体。镜下观察表明,它们不是长在主晶体表面,而是根置于其内部,即当主晶

体还未长完整时，在内部生长环带上就有另一小晶体发芽，随后，二者有一段共同生长的过程（图5d）。这种特征在一矿床中经过浸蚀的毒砂光片中反映得特别明显（图5i）。

综合矿物晶体生长特征的各个方面，它们存在相同的规律，反映了矿液是从某一方源源不断地供给矿物结晶时的物质来源。这个结论和前述分析结果是一致的。

此外，矿物某些光学性质变化的规律，如测定黄铁矿和金云母的析光率，也可为判断矿液流向提供一些信息。

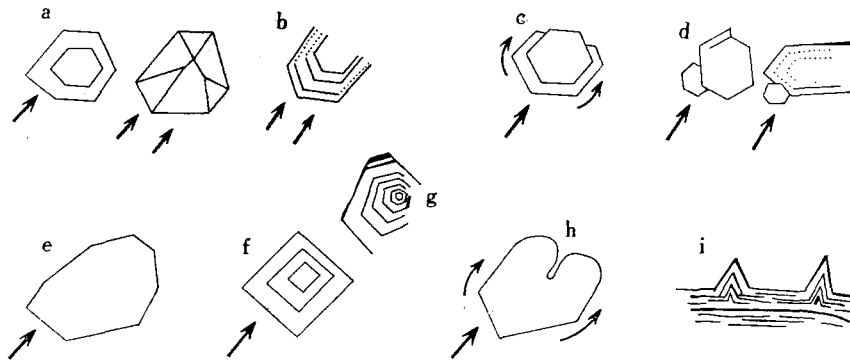


图5 根据矿物生长特征判别物质补给方向

(a、e) 晶体不对称性；(b、f、g) 内部生长环带差异性；(c、h) 晶体生长不完整性；(d、i) 定向平行连生

上排为石英；下排自左而右为绿柱石(e)、萤石(f)、黄铁矿(g)、电气石(h)、毒砂(i)

Fig. 5. Direction of material supply as inferred from characteristics of crystal growth.

(a, e) -asymmetry of crystals; (b, f, g)-variation in inner growth rings; (c, h)-incompleteness of crystal growth; (d, i)-orientational parallel intergrowth.

Upper part; quartz; lower part (from left to right); beryl (e), fluorite (f), pyrite (g), tourmaline (h), arsenopyrite (i).

(六) 矿液浓度标志

矿液在运移过程中，其浓度必然发生变化。因此，研究这种变化的规律性，可望判断矿体运移的方向。浓度（盐度）一般用冷冻法测量气液包裹体的冰点求得，成矿溶液的克分子浓度愈高，则冰点越低。

综合分析现有资料，广西锡石多金属矿田从黑云母花岗岩→矽卡岩铜锌矿→含钨石英脉矿床→锡石多金属矿床→铅锌铋矿床→汞矿床，温度由高而低，由700→400→290→307→140→120℃。盐度由>26.3 wt%逐步下降到4wt%。这和成矿带和矿液总的活动方向是一致的。湖南一水晶矿床，在不同中段的石英和水晶成矿溶液的冰点不同，从下部到上部，其冰点上升，由-21—-17℃，这与测定成矿温度数值相符合，说明矿液是由下向上运移，在这个过程中浓度逐渐下降，温度也随之递减。

世界上很多斑岩铜矿的盐度从中心到边缘有较大的变化。例如宾哈姆矿床中心部位包裹体的盐度>60wt%，边缘则下降至0—5wt%。分析桂林冶金地质所的资料，江西斑岩铜矿也有类似的特点。由里向外，其盐度、温度降低，蚀变逐渐减弱，表明矿液从内向外运移扩散。

利用冷冻温度、盐度测定可以大致推测成矿溶液的运移方向和速率。后者可以利用冷冻时出现的过冷却现象来判断。过冷却现象是冷冻到冰点时尚未结冰的现象。过冷却大，说明流体中很少有悬浮的固体细核，流体很清洁，表明流体运移时速度很慢。例如密西西比型层控铅锌矿床中的包裹体，在冷却时几乎都要出现过冷却，一般要冷冻到冷冻温度下20—40℃才结冰，因此，成矿溶液运移速度是很缓慢的。

目前利用矿液成分来解决矿液运移问题的工作还甚少，有待于今后作系统的深入工作。

(七) 同位素变化规律

分析同位素组成特征,发现它们在矿床内部有一定的方向性变化,这种变化的规律性看来与矿液流向和矿质沉淀的先后有一定关系。

在一些矿床中,发现硫同位素 δS^{34} 值与成矿温度呈负相关,温度高则 δS^{34} 值低,反之则高。这种变化关系可以用来判别矿液的运移情况。据有关实验材料,同位素分馏系数与温度密切相关。温度降低,硫同位素分馏系数增大,当温度高于250℃时,溶液中剩余硫(H_2S)比沉淀的黄铁矿富集 S^{34} ;当温度低于250℃时,黄铁矿的 S^{34} 含量比溶液中剩余硫急剧增多。

江西斑岩铜矿由花岗闪长斑岩岩体向外,蚀变分带依次为:1.伊利石-钠长石化带;2.钾长石化带;3.石英-绢云母化带;4.水白云母-伊利石化带;5.绿泥石化带。据桂林冶金地质所测定,岩体内硫化物(相当蚀变2带)的 δS^{34} 值平均为1.34‰,接触带(相当2、3带之间)为2.67‰,外接触带(相当3带)是2.66‰,再往外(4带)为2.82‰至4.29‰(5带)。综合分析表明, δS^{34} 值由里(岩体、矿体)向外,由下而上呈有规律的递增。而成矿温度则从里向外,从下而上逐步降低,由360—300—270—170℃(表2、图6)。这种自岩体向外递减的规律与黄铁矿由内部向外相对富集 S^{34} 的同位素变异相对应。这从一侧面反映了矿液运移的方向性。

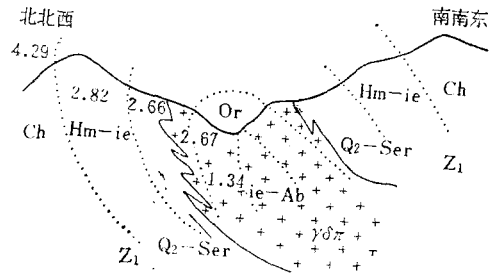


图6 江西斑岩铜矿蚀变分带及硫同位素组成变异图
(据桂林冶金地质所, 1979)

Z₁—下震旦系浅变质岩; $\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩; ie-Ab—伊利石-钠长石化带; Or—钾长石化带; Qz-Ser—石英-绢云母化带; Hm-ie—水白云母-伊利石化带; Ch—绿泥石化带; 图中数字为 δS^{34} 平均值(‰)

Fig. 6. Alteration zonation and variations in sulfur isotopes of a certain porphyry copper deposit in Jiangxi.

Z₁: Lower Sinian low-grade metamorphic rocks; $\gamma\delta\pi$: granodiorite porphyry; ie-Ab: illite-albitization zone; Or: potassium feldspathization zone; Qz-Ser: quartz sericitization zone; Hm-ie: hydromuscovite-illitization zone; Ch: chloritization. Numbers in the diagram refer to mean values of δS^{34} ‰.

3.92至4.66。这与矿液由北西向东南方向前进的分析相吻合。

在一些矿床中,铅和硫的同位素各自比值的变化也有相依关系,铅同位素 Pb^{206}/Pb^{204} 、 Pb^{208}/Pb^{204} 比值增高时, S^{32}/S^{34} 比值也增高。广西铅锌矿床同位素的方向性变化就是例证。

综合所述,同位素的方向性变化可以为研究矿床成因、物质来源和成矿的物理化学条件,同时也为在成矿过程中矿液的发展变化和流向提供更多的科学依据。虽然目前积累的资料还很少,但初步分析表明,这是探索矿液运移的一个新途径,值得今后深入开展工作。

表2 江西斑岩铜矿不同部位硫同位素组成及形成温度表

岩(矿)性	部位	蚀变带	δS^{34} 平均值(‰)	形成温度(℃)
花岗闪长斑岩	岩体内	钾长石化带	1.34	360
		石英-绢云母化带	2.67	300
下震旦系岩	岩体外围	石英-绢云母化带	2.66	270 ±
		水白云母-伊利石化带	2.82	
		绿泥石化带	4.29	
黄铁矿	矿内		2.52	170 ±
			2.62	
	矿体边缘		4.21	
			4.40	

(据桂林冶金地质所, 1979)

铅同位素也有方向性变化的规律,某些矿床从矿体向外铅同位素值有增高的趋势。据宜昌地质矿产所提供的材料,湘西铅锌矿田由北西向东南方向铅同位素比值呈现递增现象。 Pb^{206}/Pb^{204} 由17.58至18.20; Pb^{207}/Pb^{204} 由15.14至15.45; Pb^{208}/Pb^{204} 由

三、结 语

上面对研究矿液流向的各种途径进行了阐述。当然，还须指出，室内模拟实验也是今后开展工作的一个重要方面。探讨矿液运移问题涉及矿床学、构造地质学、结晶矿物学、地球化学、热力学、流体动力学、矿物包裹体学、同位素地质学及数学等综合学科。须要指出，这一工作必须密切与矿床地质的实际情况相结合，如矿体产状、矿物组合、矿化过程和围岩蚀变等等，在野外观察的基础上，进行室内多方面研究。在工作中需要同时利用多种方法，从各个方面相互配合，才有可能得出较为正确的判断。

矿液的运移和集散取决于本身内在因素及外部条件（构造环境和围岩因素等），必须把内因和外因结合起来，才能较全面地认识矿液运移问题和矿产形成机制。这就是我们所提出的“构造矿床学”的基本思想之一。

成矿溶液就其来源方向，可以来自深部，也可来自侧面。矿液流动的通道主要是断裂构造，也可是岩石的孔隙及其他构造。由于断裂常是成群成组出现，所以在矿床中矿液上升的通道可以是一个或数个。矿液源可分为点型（一个或几个源头）、线型、面型或复合型。脉状矿床多为点型、线型，而斑岩矿床或火山岩矿床则以面型为多见。矿液流向可以是自下而上上升（垂向）或平缓进行（侧向），路线可直线或曲线等。流速是不均匀的，有的地段快，有时则很慢，这除了与矿液的性质和物理化学因素有关外，还与构造应力的不均匀性、岩石性质、破碎程度和断层泥的发育等因素有直接关系。

研究矿液运移问题在理论上和实践上都有重要意义。它提供成矿物质来源、运移和集散等方面的科学数据，这有助于深入认识成矿机理、成矿分带、矿化富集规律及分布趋势；对于认识和判断矿体位置、产状、形态、厚度和组分的变化情况提供依据；对找矿勘探特别是矿体深部预测具有现实意义。

本文承蒙学部委员袁见齐、涂光焯教授以及周作侠同志审阅，特此致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 矿物中包裹体研究 1981 科学出版社
- 〔2〕 全国同位素地质会议文集（三） 1979 地质出版社
- 〔3〕 Лесняк В. Ф., 1964, Основны анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах. Львов.

A STUDY OF THE MIGRATION DIRECTION OF ORE-BEARING FLUIDS

Zeng Qingfeng

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

Based on such mineralization features as the metallogenic structures, the orebody and wall rock alterations, the distribution of mineral constituents, the metallogenic temperature-pressure indicators, the growth of mineral crystals, the concentration of ore solutions and the variations in isotopes, this paper deals with the migration direction of ore solutions.

Ore-forming structure is a prerequisite for ore-formation in that it provides space for the migration and precipitation of ore-bearing fluids. The largest open part along the fault of the Tashan hydrothermal deposit coincides with the distribution of the orebody, both stretching in the dislocation direction along the fault. Therefore, under high temperature and high pressure the ore-bearing fluids probably migrated upward along the direction of structural dislocation and then precipitated to form rich orebodies.

The geochemical behavior, mineral assemblage and sequence of crystallization of elements in orebodies reflect the migration of ore-bearing fluids in the process of mineralization. For the Dayu deposit the isopleths of such ratios as W/Sn, Pb/Zn and W-Sn/Cu-Pb-Zn show a similar character, i. e., the peak axial line is inclined to the west, implying that the ore-bearing fluids moved upward along the peak axial line.

One important approach to the study of migration of ore-bearing fluids is to find out the pressure and temperature variations during mineralization, because in this process the ore-bearing fluids migrate from high to low-pressure segments, accompanied by the decrease of temperatures. In the Dayu ore field, an isotherm diagram drawn on a vertical section shows strikingly the existence of a high temperature area in the middle with its axis inclined to the west and a gradual decrease of temperature on both sides. This indicates that the ore-bearing fluids first ascended in this direction, followed by the formation of wolframite at a higher temperature.

The budding and growth of mineral crystals often depend on the supply of the ore-forming materials, as reflected in such aspects as the asymmetry of crystals, the variation in inner growth rings, the incompleteness of crystal growth and the orientation of parallel axial intergrowth.

The study of concentration fluctuations of ore solution sheds light on the problem of the migration direction of ore-bearing fluids. For example, in an Sn-polymetallic ore field in Guangxi, the metallogenic temperatures vary in order of 700—400—300—140—120°C in outward succession and the variations in salinity are from >26.3wt‰ to 4wt‰, which coincides with the metallogenic zoning as well as the bulk migration direction of ore solutions.

The variations in isotope abundance seem to be related to both the migration direction of ore-bearing liquids and the sequence of ore deposition. The average δS^{34} values of sulfides for a porphyry copper deposit in Jiangxi are 1.34‰ within the intrusive body, 2.67‰ at the contact zone, and from 2.82‰ to 4.29‰ outwards, accompanied accordingly by the decrease in the ore-

(to be continued on p. 10)

shows an indistinct zoning with the east part enriched in zinc and the west part in lead. The ores might be grouped into sandstone type and limestone type, the former type possessing sedimentary oolitic, cemented and strawberry-like structures, while the latter type assuming metasomatic, corroded, concentric, gel, stockwork and banded structures; the ore minerals are mainly sphalerite, galena, pyrite; the vein minerals are composed chiefly of quartz, calcite and secondarily of gypsum, celestite and some others.

Trace elements in the ores are characterized by $Sr > Ba$, $Sr:Ba = 0.5-3$, $Zn:Cd = 25-30$, $Mn = 0.1-0.4\%$ and $C = 0.1-0.47\%$. Besides lead and zinc, the contents of such ore-forming elements as silver, cadmium and thallium in the country rocks are several times or even tens of times higher than the contents of these elements in the normal sedimentary rocks of the same types.

Temperatures of inclusions contained in ore and vein minerals as determined by homogenization and decrepitation methods are $160-334^{\circ}C$, and freezing determination shows that salinities of mineral inclusions are $7.4-14.6$ wt% NaCl; microscopic studies have identified submineral facies of NaCl; spectrographic analysis of trace gases shows that inclusions generally have $0.01-0.78\%$ CO_2 and $0.08-1.21\%$ H_2O with celestite possessing the highest quantities of water.

Lead isotopic modal ages are $22-83$ m. y., approximately corresponding to ages of the staurolite; δS^{34} values vary in the range -1.71 to -30.43% , characterized by concentration of light sulfur.

These data have led the authors to believe that the Jinding lead-zinc deposit is the product of early sedimentary-diagenesis and mineralization acted upon afterwards by late ore-bearing hydrothermal fluids, belonging hence to stratabound lead-zinc deposits of sedimentation plus late transformation type.

(continued from p.83)

forming temperature in order of $360-300-270-170^{\circ}C$ from the interior of the intrusive mass outward. This also reflects the migration direction of ore solutions.

The results obtained indicate that a comparatively correct solution to this problem may be found by means of an integrated investigation using a variety of methods.

A study of this problem enables us to further understand metallogenic mechanism, ore zonation, ore enrichment regularity and ore distribution tendency, thus having great significance in mineral exploration, especially in prediction of orebodies at depth.