地 质 学 报
1989 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 2 期
http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

个旧松树脚矿田6号东锡矿床的矿液运移特征

江祝伟 周大鹏
（昆 明 工 学 院）

本文选择了围岩岩性单一、主要表现为一个阶段热液活动的6号东矿床，用多元统计分析的方法，研究了在不同温度和压力条件下的主要成矿元素的组合类型及其在矿床中的分布特点。结合矿床构造分析，揭示了6号东矿床矿液运移的构造-地球化学表征，再现了矿液在断裂与矿床中运移的方向和路径。以便更深入地了解断裂构造对矿液运移、溢散和停积场所的控制作用，为热液矿床的预测提供理论依据。

一、矿床地质构造特征及矿液运移控制因素的初步分析

1. 矿床地质构造特征

6号东矿床位于松树脚矿田东南缘，与成矿关系密切的荷叶坝斑状黑云母花岗岩向南隐伏于该矿床之下(图1)。

矿床赋存于三叠系个旧组马拉格段下部 ($T_2g_2^1$) 厚层白云岩中。地层向南陡倾，围岩岩性单一(图1)。

矿体为充填交代型，赋存于层间裂隙内，多呈脉状、透镜状、条带状、柱状及不规则状。围岩可见白云岩的褪色蚀变及铁、锰矿化。矿床为典型的岩浆期后高中温热液矿床，主要受构造裂隙控制。

经详细的构造填图，发现本区构造线走向主要为东西向、北北东向与北西向等。其中北北东向构造为成矿期构造，北北东向的长闹塘断裂(压扭性)与东西向的松树脚断裂(扭性)构成矿田的主要构造格架。它们同时也是6号东矿床的控制性断裂。

据6号东矿床中矿体的产出特征及控矿裂隙的力学性质，大致可分为4个矿群（图1）：北部和中部分别为近东西向的6-28# 与6-27# 矿群，单个矿体走向与矿群一致，主要受压性、压扭性的沿层剥离构造控制，矿体连续，延伸稳定，分布于长闹塘断裂旁侧；东部为北北东向展布的6-21# 矿群，单个矿体近南北向或追踪北西、北东向延伸，含矿裂隙具有明显的张性特点，大致沿北北东向呈雁行排列，且向南南西侧伏；南部为6-24# 矿群，单

本文1987年10月收到，1988年9月改回，季国容编辑。

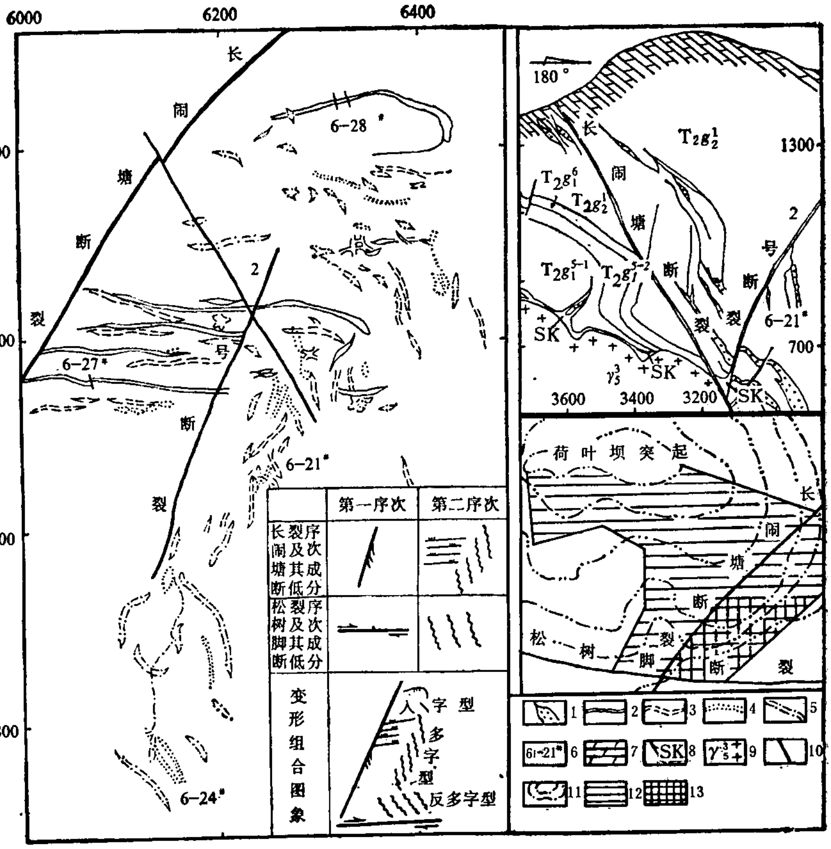

图 1 6 号东矿床 870-1045 中段矿群分布及 6140 线南北向剖面

Fig. 1 Distribution of the ore groups from the 870 m level to the 1045 m level and north-south-trending section along the 6140 line in the No. 6 East deposit

1. 矿体; 2. 1045 中段矿体; 3. 995 中段矿体; 4. 920 中段矿体; 5. 870 中段矿体; 6. 矿群编号; 7. 白云岩; 8. 矽卡岩; 9. 花岗岩; 10. 断层; 11. 花岗岩等深线; 12. 矿化范围; 13. 6 号东矿床矿化区

$T_2g_1^5$ 中三叠统个旧组卡房段第 5 层; $T_2g_1^6$ 中三叠统个旧组卡房段第 6 层; $T_2g_2^1$ 中三叠统个旧组马拉格段第 1 层

个矿体受北西向张性裂隙控制,总体近东西向呈雁行排列,与松树脚断裂较为接近。

上述控矿构造明显为长闹塘断裂与松树脚断裂活动时产生的低序次构造。它们分别构成入字型、多字型与反多字型控矿构造型式(图 1),并控制了 6 号东矿床的矿体分布。

此外,值得一提的还有 2 号断裂,与长闹塘断裂相比,其规模较小,且与前者在剖面上形成倒入字形,为矿床主要的配矿构造[1]。

2. 矿液运移控制因素的初步分析

矿液运移特征的研究目前仍是探索性较强的课题。影响成矿元素迁移和富集的因素很多,诸如成矿热液的温度、压力、活动期次、围岩性质、地质构造等等。在矿液运移过程中,上述物理化学条件的改变往往通过沉淀物质成分的变化表现出来。因此,通过成矿热

液留在地质体中的地球化学表征，结合构造观测，可以查明矿液运移的方向和通道。

为了有效地运用构造-地球化学方法对矿液运移特征进行研究，选择了围岩岩性单一，主要表现为一个阶段热液活动的 6 号东矿床作为研究对象。首先，矿床赋存于个旧组马拉格段下部 ($T_2g_2^1$) 厚层白云岩中，围岩性质单一，且由于地层陡倾，矿体从深到浅都位于同一层位里。其次，6 号东矿床属斑状黑云母花岗岩冷凝固结后期硫化物阶段形成的层间裂隙型热液矿床。个旧矿区成矿阶段主要分为硅酸盐阶段、氧化物阶段、硫化物阶段和碳酸盐阶段[2]。除硫化物阶段外，其它 3 个阶段所特有的矽卡岩脉、长石脉、电气石脉及大量方解石脉等，在矿床内皆未发现。主要表现为单一的锡石-硫化物矿脉。基本上可以认为 6 号东矿床是一个成矿阶段的产物。

因此，在排除了围岩的选择性交代及多期多阶段热液活动的复杂因素后，温度、压力及断裂构造即成为控制 6 号东矿床矿液运移的主要因素。

二、成矿元素组合——矿化地质因子的确立及地质含义

矿液的运移总是从高压向低压方向流动，温度一般也是由高变低。矿液自深部上升时，由于温度、压力逐渐降低和成矿物质不断地析出，溶液的成分和浓度也在不断变化。因此，沿着矿液通路各地段形成的矿化类型与矿化强度也是不断变化的。考虑个旧矿区矿体及原生晕，发现主要成矿元素从成矿中心向四周为铜、锡→锡、铅、锌→铅、锌、锡→铅、锌，呈有规律的分布[2]。沉淀主要是顺向的，铜的逆向是因铜的亲硫性在还原条件下沉淀所致，但它不影响总体受温压影响的沉淀方向。因此，在 6 号东矿床范围内，根据这一沉淀分带的地球化学特征，检出代表不同温度、压力条件下的矿化元素组合，并研究它们在矿床地段的分布特点，便是揭示矿液运移特征的关键。尤其在排除了围岩性质的影响之后，这种研究具有更大的可靠性。

选择具有代表性的锡、铜、铋、铅、锌、镉、锰 7 个矿化指示元素作为基本变量[3]，对矿床不同部位 74 个具有矿化蚀变的围岩及断裂构造岩样品进行了定量分析1)。为了消除矿

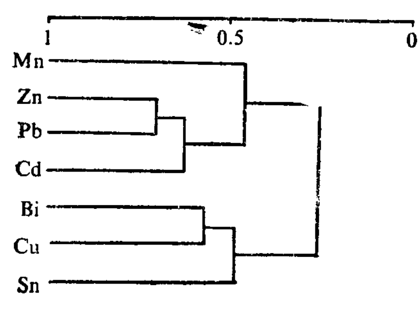

图 2 6 号东矿床 64 个样品 7 个变量 R 型聚类分析结果分群图

Fig.2 Grouping of the R-mode cluster analysis on 64 samples and 7 elements

1) 云南省地质矿产局测试中心测定。

样的影响，删除分析数据中锡、铅或锌大于 10000ppm 的样品后，得到可供分析的 64 个样品共 448 个基本数据。为了消除量纲的干扰，数据在后述聚类分析与因子分析的程序中都进行了标准差标准化的预处理。

首先对上述 64 个样品 7 个变量进行 R 型聚类分析[4]，得出 7 个矿化指示元素之间的关系(图 2)。在相关系数 $r = 0.445$ 的相似水平上，可将元素分为两组：(1) 铅、锌、镉、锰；(2)铋、铜、锡。结合前述矿化原生晕的分带性考虑，前者应为较低温度、压力条件下的矿化元素组合，后者应为较高温度、压力条件下的矿化元素组合。

在 R 型聚类分析的基础上，进行了 R 型因子分析[4]。因子分析是一种降维处理方法，它只用少数几个因子表达较多的原始变量但又不造成信息的明显损失，原始变量被综合成因子的根据是地质成因上的关联[5]。通过 R 型因子分析得出正交因子解 (表 1)，以因子载荷绝对值大于 0.5 为显著(用底线标出)，从而得到以下 3 组关联：A_1：镉、锌、铅；A_2：锡、铜；A_4：铋、铜。不难看出：关联 A_1 基本能反映较低温度、压力条件下的矿化元素组合的大多数信息，作为这一关联的代表 F_1 因子称为较低温压条件下的矿化地质因子；关联 A_2 则反映了较高温度、压力条件下的矿化元素组合的主要信息，该关联的代表 F_2 因子称为较高温压条件下的矿化地质因子；关联 A_4 的代表 F_4 因子亦为较高温压条件下的矿化地质因子。其中 F_1 和 F_2 两个因子的方差贡献就占总方差的 58.95%，表明两个因子即可说明全部 7 个变量矿化信息的大多数，基本能概括两类矿化因子的主要特征。部分信息的损失是由于锰和铋在这两个因子中的载荷较低而引起的。由此可见，通过因子分析所确立的矿化地质因子与聚类分析所得的矿化元素组合类型基本一致，它们的地质含义较为明确，基本能表明矿化过程中不同的温度、压力环境，可以作为研究矿液运移特征的基本指标。

表 1 6 号东矿床 64 个样品 7 个变量 R 型因子分析方差最大旋转因子载荷

Table 1 Varimax rotated factor loadings of R-mode factor analysis on 64 samples and 7 elements in the No. 6 East deposit

变量 \ 因子	F_1	F_2	F_3	F_4	公共因子方差
Sn	−0.0254	<u>−0.9984</u>	0.0321	0.0390	1.0000
Cu	0.3768	<u>−0.5675</u>	−0.1565	<u>0.7152</u>	1.0000
Bi	0.0083	0.0155	0.1575	<u>0.9875</u>	1.0001
Pb	<u>0.8431</u>	−0.4434	0.2112	0.2190	1.0000
Zn	<u>0.8662</u>	−0.0787	0.3205	0.3752	1.0000
Cd	<u>0.9697</u>	0.1877	−0.0488	−0.1487	1.0000
Mn	0.1573	−0.0137	<u>0.9843</u>	0.0796	1.0001
方差贡献	2.5689	1.5573	1.1689	1.7052	
方差贡献累计百分比	36.70%	58.95%	75.65%	100%	

三、矿液运移特征——因子得分分布图的地质解释

因子得分是地质因子在样品上的取值。因子得分绝对值越高，该地质因子代表的地

质条件(就本文而言，即成矿的温度、压力环境)在样品上反映就越明显。为了进一步揭示矿化地质因子在矿床中的分布特征，形成矿液运移的概念，必须将每个样品的因子得分(表 2)投到各中段取样位置图上得到矿化组合晕，再对矿化组合晕进行分析。

表 2　6 号东矿床 R 型因子分析因子 1、因子 2 得分表

Table 2　Scores of F_1 and F_2 factors of R-mode factor analysis in the No. 6 East deposit.

顺序号	点　号	因子得分		顺序号	点　号	因子得分	
		因子 1	因子 2			因子 1	因子 2
1	L2045-2	7.6	−2.1	33	L1920-10	11.3	−12.4
2	L2045-3	15.6	−7.4	34	L1920-11	10.7	−4.8
3	L2045-4	4.3	−7.6	35	L1920-12	48.6	−49.7
4	L2045-6	32.4	−14.7	36	L1920-30	8.7	−13.0
5	L2045-8	7.8	−4.2	37	L1920-29	8.2	−1.1
6	L2045-10	35.5	−5.2	38	L1920-30	27.0	−3.0
7	L2045-11	67.0	−12.2	39	L1870-1	2.2	−4.1
8	L2045-12	7.4	−5.4	40	L1870-2	10.2	−8.7
9	L1995-1	6.0	−5.8	41	L1870-3	6.8	−1.2
10	L1995-2	7.1	−6.0	42	L1870-4	7.7	−3.9
11	L1995-4	5.1	−3.9	43	L1870-5	2.9	−3.2
12	L1995-5	15.4	−6.0	44	L1870-6	4.2	−3.3
13	L1995-6	2.8	−2.0	45	L1870-7	36.0	−20.1
14	LJ1995-1	1.9	−2.3	46	L1870-8	10.2	−1.0
15	LJ1995-3	28.5	−5.0	47	L1870-9	2.6	−1.3
16	LJ1995-5	8.4	−2.6	48	L1870-10	3.9	−3.0
17	LJ1995-6	9.8	−1.9	49	L1870-11	5.9	−57.2
18	LJ1995-7	2.2	−1.2	50	L1870-12	11.5	−15.2
19	LJ1995-9	10.0	−8.2	51	L1870-13	4.5	−1.5
20	LJ1995-12	47.7	−15.6	52	L1870-14	8.0	−3.7
21	LJ1995-13	18.2	−11.0	53	L1870-15	2.5	−5.3
22	LJ1995-14	7.8	−3.7	54	L1870-16	3.0	−2.9
23	LJ1995-15	30.3	−12.1	55	L1870-17	1.8	−1.9
24	LJ1995-16	17.2	−2.0	56	L1870-18	23.3	−12.8
25	L1920-1	7.6	−17.1	57	L1870-19	12.0	−5.1
26	L1920-2	19.2	−8.6	58	L1870-20	4.2	−1.0
27	L1920-3	7.1	−10.8	59	L1870-21	3.0	−2.3
28	L1920-4	1.1	−23.6	60	L1720-1	13.8	−18.3
29	L1920-5	17.1	−5.9	61	L1720-2	5.7	−7.0
30	L1920-7	5.4	−6.2	62	L1720-3	7.8	−4.8
31	L1920-8	4.5	−5.4	63	L1720-4	3.4	−2.2
32	L1920-9	16.8	−3.9	64	L1820-1	5.9	−2.0

为简明起见，选择了 F_1 与 F_2 两个矿化因子作为分析对象。在 F_1 因子中，关联成员因子载荷符号为正，故因子得正分越高，地质含义中的较低温度、压力条件下的矿化特点越显著。在 F_2 因子中，关联成员因子载荷符号为负，故因子得负分越高(绝对值越大)，地质含义中较高温度、压力条件下的矿化特点愈显著。由于矿液在运移过程中随温度、压力降

低，可在不同地段形成不同的矿化元素组合晕，因此，根据两类矿化因子得分（即矿化元素组合晕值）高值区分布的具体部位及错位特征，即可确定矿液运移的具体路径及流向。

本研究表明，在不大的距离空间内即可形成不同的矿化元素组合晕，但要组合晕呈现较完整的分带特点，尚需要一定的距离。就 6 号东矿床而言，100—200m 的垂向距离就可出现较清楚的组合晕分带（图 3，4）。这为研究一个矿床范围内的矿液运移特征提供了可能。

审视 F_1 与 F_2 因子得分在断裂及矿床各中段的空间分布，对矿液运移特征作如下解释：

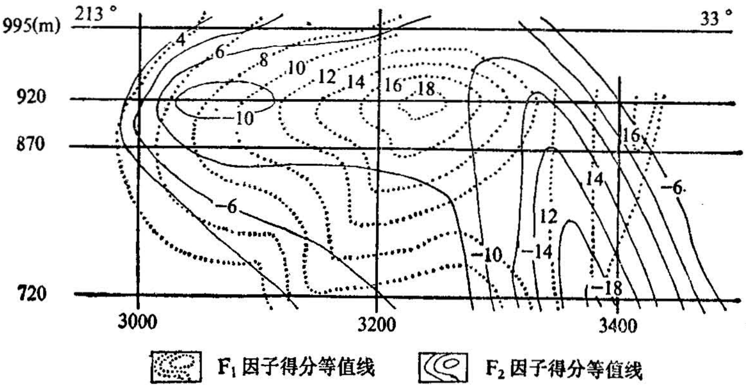

图 3 长闹塘断裂纵剖面 F_1 与 F_2 因子得分分布图

Fig. 3 Distribution of the scores of F_1 and F_2 factors in the vertical section of Changnaotang fault

1. 矿液在长闹塘断裂中的运移特征——断裂二维空间因子得分分布的地质解释

矿液在导矿断裂中的主要运移通道具有定位性与定向性，反映在图 3 中。两个因子得分的高值区都在 Y 坐标[1] 3200—3400 线之间，其中 F_1 因子得分极大值处于 920m 高程，且靠近 3200 线，而 F_2 因子得分极大值则位于 720m 高程（本剖面最低高程），且靠近 3400 线。二者形成由下而上、由北东向南西斜向错位的特征。代表锡、铜矿化的较高温压条件下的矿化因子与代表铅、锌矿化的较低温压条件下的矿化因子的矿化元素组合晕分带明显，反映矿液运移的主要通道在 Y 坐标 3400—3200 线之间，且沿长闹塘断裂，由深部向浅部，从北东向南西运移的特征。此外，两个因子得分的极大值较小，分别为 −18 与 +18，表明两种不同的矿化元素组合晕在长闹塘断裂中相对较弱，而极大值的错距达 200m，又说明矿化元素组合晕的分带较宽。上述特点反映了矿液在导矿断裂中流速较大，导致矿化元素沉淀的时间较短，形成不同矿化元素组合的空间距离也相对增长。

2. 矿液在矿床中的运移特征——各中段因子得分空间分布的地质解释

在矿床地段，F_1 与 F_2 因子得分分布较为复杂，但仍表现出明显的矿液运移规律，现分

1）本文水平坐标非真实坐标，仅表示相对位置。其中 X 为水平横坐标，Y 为水平纵坐标。

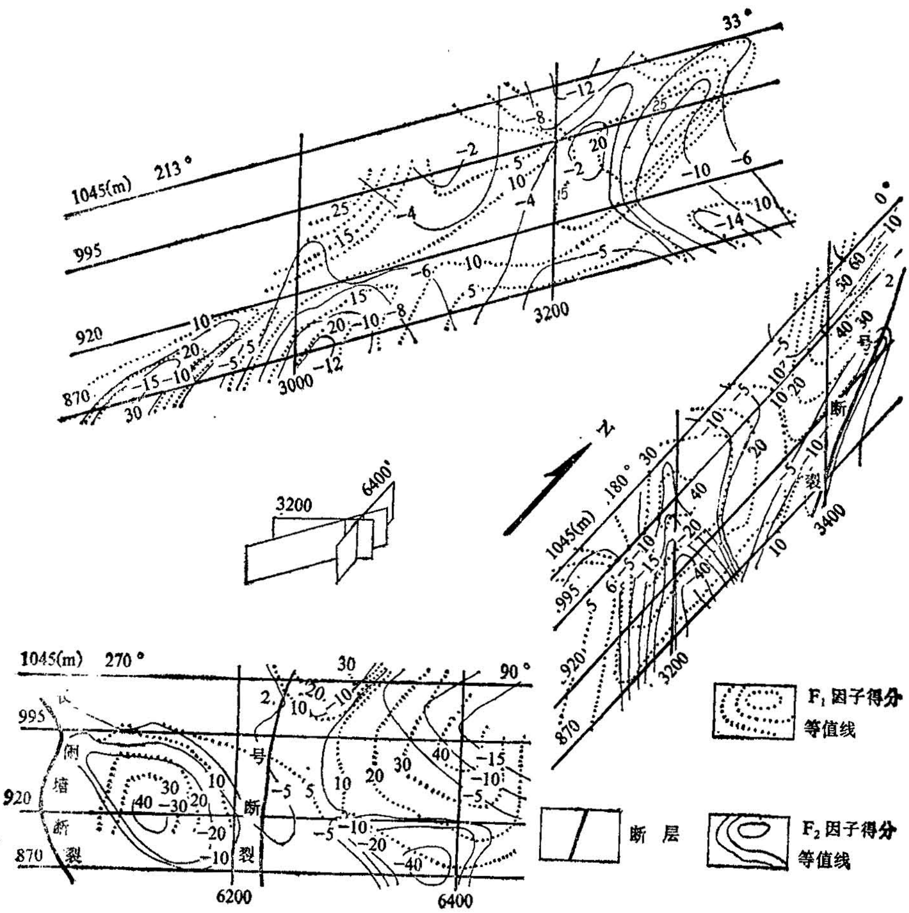

图 4　6 号东矿床不同方向剖面 F_1、F_2 因子得分分布图

Fig. 4　Distribution of the scores of F_1 and F_2 factors in the sections of different directions in the No. 6 East deposit

述如下:

（1）矿床范围内矿液主要表现为由下而上的运移特征，且存在一些主要的矿液入口，这些入口具有明显的定位性与定向性。因子得分的空间分布特征，可以揭示这些入口的具体位置及矿液运移的路径。

因子得分分布图上，两种不同矿化元素组合晕表现为剖面上的垂向错位及中段平面上的重合现象。这些强晕的分带与重合皆出现在一定的部位。其中最重要的部位是 X = 6400、Y = 3200 附近，这在各方向剖面(图 4)及主要中段平面(图 5)都是明显的。从图 4 北东向剖面还可看到，这种垂向错位实际上是较复杂的 S 形错位，表明矿液在矿床中是沿垂直方向呈 S 形上升的。此外，Y = 3000 与 Y = 2800 两个部位仍存在两种不同矿化元素组合晕强晕的重合现象(图 5)。由于 920m 以上中段的取样图仅到 Y = 3000 处，故未能反映南部 Y = 2800 一线的强晕区。

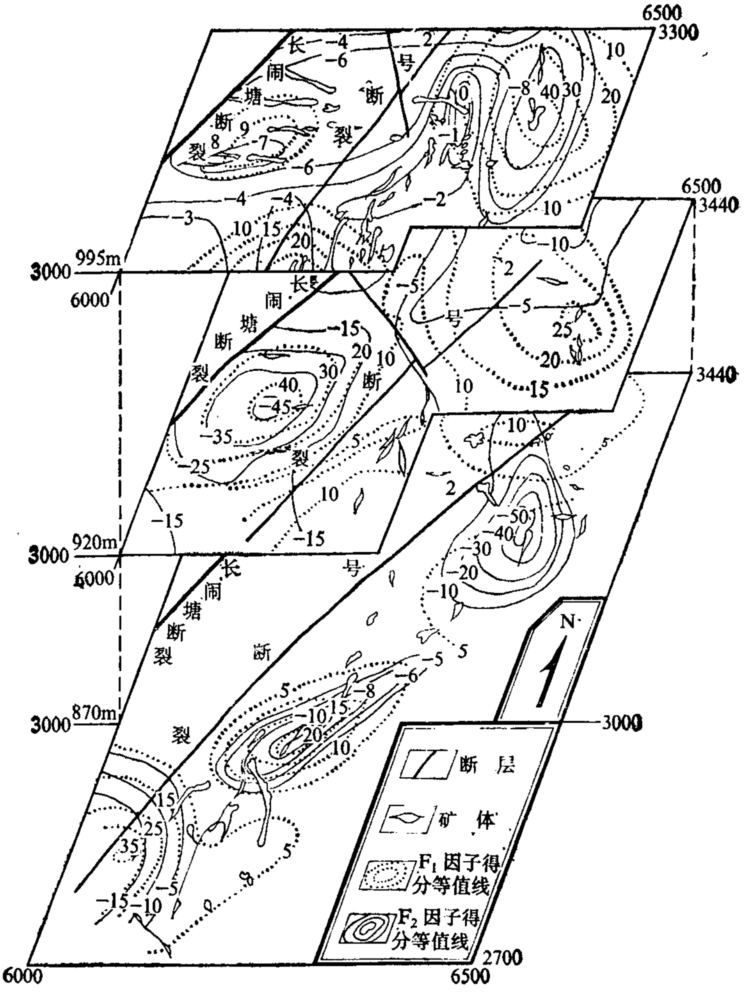

图 5　6 号东矿床不同中段平面 F_1 与 F_2 因子得分分布图

Fig. 5　Distribution of the scores of F_1 and F_2 factors in the different levels in the No. 6 East deposit

上述 3 个部位皆可视为矿液的入口位置。值得提出的是，这 3 个强晕区皆靠近且平行 2 号断裂，沿北北东向大致等间距分布。 其中 Y = 3200 一线的强晕区，随不同中段依次出现在 2 号断裂两侧。这一特点表明，矿液在矿床地段的主要通道及运移方向明显受 2 号断裂控制。

(2) 矿液的运移速度较慢，使矿质有较充分的沉淀时间。反映在图 4 中，代表不同矿化元素组合晕的两个因子得分极大值较大，大致分别为 −40—−50，40—50。表明两种不同的矿化元素组合晕在矿床中相对较强。并且两强晕极大值之间的错距仅 125m，说明矿化元素组合晕的分带较窄。上述特点反映了矿液在矿床中运移的速度较慢，使矿化元素能较充分地沉淀，从而形成强晕。同时，形成不同矿化元素组合的空间距离也相对缩短。

(3) 除以上主要特征外，两种不同的矿化元素组合晕在局部空间的重合及错位方向往往较为复杂，应具体分析。

3200 线东西向剖面中(图 4)，995m 中段与 1045m 中段，较低温压条件下的矿化元素组合晕的高值区相对较高温压条件下的矿化元素组合晕高值区由 6400 线向西错位，表明矿液有自东向西流动的趋势。这两个中段正是东西向 6-27# 矿群较发育的地段。结合 995m 中段平面(图 5)考虑，X = 6400，Y = 3200 处正是矿液的主要入口处，矿液从该处进入矿床后，向西注入近东西向的容矿裂隙是不难理解的。此外，该中段靠近长闹塘断裂部位，也出现两种矿化元素组合晕较强且重合的现象，该组合晕呈东西向展布，与 6-27# 矿群一致，表明矿群也可能从导矿的长闹塘断裂直接向东进入 6-27# 矿群的容矿裂隙。说明了矿液进入容矿构造的入口不是唯一的。它较好地解释了 6-27# 矿群两头锡高，中部铅高的矿化特点。

在 870m 与 920m 中段(图 5)，两类矿化元素组合晕高值区在平面上出现局部错位现象。870m 中段，较低温压条件下的矿化元素组合晕相对较高温压条件下的组合晕由南东向北西错位。而在 920m 中段，前者却相对后者由北西向南东错位。这是否反映了矿液 S 形上升或更为复杂的回流特征，值得进一步研究。

四、花岗岩突起与断裂构造对矿液运移及成矿的控制作用

荷叶坝斑状黑云母花岗岩突起为矿田的主要矿源地。但是，对 6 号东矿床而言，还需要确定与成矿有直接联系的花岗岩次级突起。矿液运移特征的研究表明，成矿热液来自深部。最近经工程证实，在矿床深部 X = 6400 与 Y = 3400 附近存在花岗岩的次级突起。它与前述矿液在长闹塘断裂中的运移通道及上部矿液进入矿床的主要入口位置十分吻合。由于长闹塘断裂规模较大，下接岩体，从而成为对 6 号东矿床起主要控制作用的导矿断裂。而花岗岩突起产出的部位则决定了长闹塘断裂中矿液运移通道的具体位置。

2 号断裂作为长闹塘断裂的分枝，无疑是 6 号东矿床良好的配矿构造。本文揭示的 3 个主要的矿液入口皆沿 2 号断裂大致等间距分布，这与 2 号断裂的压扭性特征有很大关系。断裂在挤压和剪切作用下，往往会出现一些大致等间距的剥离空间，从而控制了矿液的运移通道。

在矿液的入口附近，如果容矿构造较为发育，则易于成矿。如 6 号东矿床 X = 6400，Y = 3200 附近的入口处，正好在 6-27#、6-28# 与 6-21# 3 个矿群容矿裂隙群的交汇部位，对矿液及时向容矿构造溢散较为有利。这 3 个矿群的形成正是凭借了它们的“地利”优势。此外，南部沿 2 号断裂在 Y = 3000 与 Y = 2800 两个部位也可能为矿液的入口，应注意其深部的勘察，特别后者已接近长闹塘断裂与松树脚断裂交汇的构造有利部位，据现有资料，这一带深部有锡晕增强的趋势，应引起注意。

总之，在弄清控矿断裂分布规律的基础上，进一步研究矿液运移的特征是十分必要的。它能揭示矿液来源地的具体位置和矿液在断裂中运移的具体路径，加深对构造控矿规律的理解，为矿藏预测提供更为可靠的依据。

本文承蒙云锡松树脚矿地测科热情支持与提供坑内工作方便。工作中得到孙家骢教

授的指导和欧大澄教授的帮助，部分83级毕业生参与了野外工作及研究，在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] 翟裕生，1984，矿田构造学概论。第 64 页，冶金工业出版社。
[2] 汪志芬，1983，关于个旧锡矿成矿作用的几个问题。地质学报，第 57 卷，第 2 期，第 155—158 页。
[3] 孙家骢、江祝伟、雷跃时，1987，个旧矿区马拉格矿田构造-地球化学特征。地球化学，第 4 期，第 308 页。
[4] 王学仁，1982，地质数据的多变量统计分析。科学出版社。
[5] 余金生、李裕伟，1985，地质因子分析。地质出版社。

THE FLOWING CHARACTERISTICS OF ORE-BEARING FLUIDS IN THE No. 6 EAST TIN DEPOSIT OF THE SONGSHUJIAO OREFIELD, GEJIU

Jiang Zhuwei and Zhou Dapeng

(Kunming Institute of Technology, Kunming, Yunnan)

Abstract

The No. 6 East tin deposit in the Songshujiao orefield of Gejiu is a post-magmatic hydrothermal deposit which is related to the late Yanshanian porphyritic biotite-granite. The deposit is obviously controlled by faults. The study of the characteristics of migration of ore-bearing fluids can appropriately reveal the control of faults on ore formation.

On the basis of classification of the fault system in the deposit, two kinds of mineralization factors which have definite geological meanings were obtained from R-mode cluster and R-mode factor analyses of 64 samples and 7 elements. They represent separatelly two kinds of mineralization association of the principal ore-forming elements under the higher and lower temprature-pressure conditions. Based on the features of the spatial distribution of high-score areas of two kinds of mineralization factors in the deposit and relevant faults, the direction and channal of migration of the ore fluids in the faults may be deduced and the main channelway for the circulation of the ore fluids may be reconstructed.

This research can appropriately elucidate the control of faults on the sites in which ore fluids are dispersed and accumulated, thus providing the theoretical basis for metallogenetic forecast of hydrothermal deposits in question.

作 者 简 介

江祝伟，生于 1948 年，1981 年于长春地质学院地质力学专业研究生毕业，现任昆明工学院地质系教师，从事矿田构造方面研究。通讯地址：云南省昆明市昆明工学院地质系。