

## 个旧锡矿成矿热液活动的微量元素地球化学指示

陶 琰, 马德云, 高振敏

(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, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:**通过对不同地质体中微量元素含量对比及因子分析,明确成矿热液活动元素,区分不同地球化学类型的元素集群。研究表明,成矿热液活动源于花岗岩岩浆侵位,花岗岩浆期后热液及地下水在岩体热力驱动下构成了一个系统的矿化热液活动体系,对区内地层产生广泛的蚀变影响,形成矿体、热液活动脉体及矿化热液活动元素对围岩地层的改造。成矿热液活动体系为开放系统,运动方式以构造断裂导流为主,孔隙渗透为次。

**关键词:**个旧;锡矿;热液活动;微量元素;地球化学

**中图分类号:**P611 **文献标识码:**A

个旧锡矿是我国著名的 Sn、Cu、Pb、Zn 多金属超大型矿床,成矿作用与岩浆期后热液活动密切相关<sup>[1-4]</sup>。元素地球化学特征是成矿热液活动最直接的体现,是研究成矿模式的有效途径,同时,也是确定找矿勘探原则特别是化探方案的重要前提。生产、勘查部门及科研院所许多研究人员对个旧锡矿元素地球化学作了大量、系统的研究工作<sup>①②</sup>[2,4-9],阐述了热液活动与岩浆作用的亲缘关系、查明了成矿特征指示元素、认识和研究了热液活动元素在空间上的分带及其动力学机制等。本文主要侧重于层间成矿作用热液活动体系,对几类不同地质体元素地球化学特征进行比较研究,了解热液活动体系的基本作用方式及主要特点。

## 1 矿床地质简介

个旧锡矿主要产出在个旧断裂东侧的个旧东部矿区,矿田产出受五子山复背斜控制,包括马拉格、松树脚、高松、老厂、卡房五大矿田(图 1)。

### 1.1 岩浆岩

个旧地区花岗岩大量产出,在西区有三百余平方公里的花岗岩出露,东区主要为隐伏花岗岩,

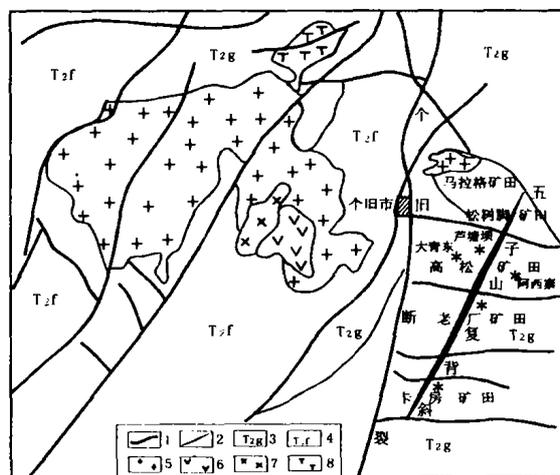


图 1 个旧锡矿地质简图

(据西南有色地勘局三〇八队<sup>①</sup>)

Fig. 1. Geological sketch map of the Gejiu tin mine and sample localities.

1. 断裂; 2. 背斜轴; 3. 中三叠统个旧组; 4. 中三叠统法郎组; 5. 花岗岩; 6. 二长岩; 7. 辉长岩; 8. 碱性岩; \* . 取样地段

沿五子山复背斜轴部有近 150 km<sup>2</sup> 的隐伏花岗岩体产出,埋深 200~1 500 m 不等。主要为黑云母花岗岩,并伴有碱性岩类产出。黑云母花岗岩据 K-Ar 同位素年龄测定为 59.5~115 Ma,为燕山中晚期产物,主要为燕山晚期<sup>[10]</sup>。庄永秋等<sup>[2]</sup>认为,个旧花岗岩系列各岩体都是锡成矿岩体,岩浆演化愈晚岩体成矿性愈好,花岗岩中 Pb、Zn、Sb、W、Sn、Bi 等有色金属元素含量普遍较高,高于维

收稿日期:2001-09-21;修回日期:2002-04-20

基金项目:云南省院省校合作项目(2000yk-05)

第一作者简介:陶 琰(1963-),男,博士,从事矿床地球化学研究。

① 西南有色地勘局三〇八队.个旧矿区高松矿田大型锡多金属隐伏矿床远景预测及勘查验证(研究报告).1990.

② 西南冶金地勘公司物探队.个旧东部矿区锡-多金属矿床地球化学(原生晕)模式及找矿预测研究(研究报告).1983.

氏值数倍,花岗岩是本区锡多金属矿床大多数成矿金属元素的物质来源,同时,也是成矿热液活动主要驱动营力——热源。

## 1.2 地层

矿区内出露地层为中三叠统碳酸盐岩,属个旧—开远台地海湾的泻湖—撒布哈含膏、藻碳酸盐相沉积,赋矿地层主要是中三叠统个旧组卡房段灰岩、白云质灰岩及白云岩。地层对成矿的控制是与其与成矿花岗岩的有利配置为前提的,在有利岩浆和构造条件下,互层带和转换界面是控制矿体产出的关键因素<sup>[2]</sup>。

## 1.3 构造

个旧锡矿位于个旧构造-岩浆盆地,矿区范围约一千余平方公里,个旧断裂将矿区分为东西两区,东部矿区总体受五子山复背斜和协调隐伏于其轴部的五子山花岗岩大脊状体组成的构造-岩浆组合控制,夹持于个旧断裂和岬界山断裂之间。五子山复背斜轴向 NNE,长约 40 km,其上二级褶皱主要有马松穹隆、大箐—阿西寨向斜、老卡背斜等。断裂构造主要有 NNE 向、EW 向、NW 向三组,横跨复背斜的 EW 向断裂个松断裂、背阴山断裂、老熊冲断裂等将东部矿区分隔为依南北向分布的几大矿田(马拉格、松树脚、高松、老厂、卡房)。区内 NNE 向断裂走向延伸长,下延达花岗岩表面,是重要的导矿和容矿构造,NW 向断裂局部发育,也具有控制矿体产出的作用。

## 1.4 矿床

原生矿化类型包括夕卡岩型和层间硫化物型两大类,以隐伏形式赋存于隐伏花岗岩体顶面内外接触带及上覆中三叠统个旧组碳酸盐岩地层中。矿床产出主要以隐伏花岗岩株突起为中心、环绕岩株四周和顶部分布,W、Be、Bi、Sn、Cu、Pb、Zn、Ag 等金属矿化顺向分带,从接触带向外依次形成 W-Be、W-Cu-Sn-Bi、Sn-Cu、Sn-Pb、Ag-Sn-Pb-Zn 矿床<sup>[1,2]</sup>。断裂、层间裂隙及不同岩性互层带是层间矿产出的主要场所。

# 2 成矿热液活动的元素地球化学特征

## 2.1 样品及测试

对不同地段不同类型岩矿石取样 30 件。取样对象区分为地表基岩、地表构造岩、深部近矿蚀

变围岩和矿体,取样地段主要集中在高松矿田的大箐东矿段、芦塘坝矿段、阿西寨矿段,另外还包括老厂和卡房两个矿田的部分样品,见图 1 中标注的取样地段。

样品测试采用等离子质谱分析方法(ICP-MS),由中科院矿床地球化学开放研究实验室漆亮、冯家毅测定。

## 2.2 因子分析—矿化热液活动元素识别

根据测定结果,对近矿围岩、构造岩、地表基岩分别进行 R 型因子分析。各类地质体元素含量变化基本上可归结为三个影响因子,各因子特征值及所占百分数如表 1 所列,最主要受前两个因子  $f_1$ 、 $f_2$  影响,各元素在  $f_1$ 、 $f_2$  两个影响因子上的荷载系数如图 2 所示。

表 1 各类地质体 R 型因子分析特征值表

Table 1. Characteristic values of R-factor analysis for different geological bodies

特征因子	$f_1$			$f_2$			$f_3$		
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
	近矿围岩			构造岩			地表基岩		
特征值	13.36	10.82	4.32	13.40	8.21	3.65	11.31	9.41	4.74
特征值百分数	44.54	36.06	14.39	44.68	27.36	12.16	37.71	31.35	15.80
特征值累计百分数	44.54	80.60	94.99	44.68	72.04	84.20	37.71	69.06	84.86

不同地质体在因子  $f_1$ 、 $f_2$  上的主要荷载元素分别罗列如下:

(1) 近矿围岩:

$f_1$ : Mn V Cu Zn As Mo Cd In Sn Sb Tl Pb Bi

$f_2$ : Li Ti Rb Sr Y Zr Nb Cs Hf Ta Th U

(2) 构造岩:

$f_1$ : Li Ti V Cu As Rb Sr Y Zr Nb Ag Sn Hf Ta Tl Th U

$f_2$ : Mn Zn Cd In Sb Cs Pb Bi

(3) 地表基岩:

$f_1$ : Li Ti V Cu Rb Sr Y Zr Nb Hf Ta Tl Th U

$f_2$ : Mn Zn As Ag Cd In Sn Cs Pb Bi

结合元素地球化学特点,近矿围岩的  $f_1$  及构造岩和地表基岩  $f_2$  显然是矿化热液活动因子,主要活动元素包括 Mn、Pb、(Cu)、Zn、Ag、Sn、Sb、As、(Mo)、Cd、Tl、In、Bi;近矿围岩的  $f_2$  及构造岩和地表基岩  $f_1$  的地球化学意义较为复杂,主要是地层原岩因素影响,同时也包含部分由花岗岩浆活动和矿化热液活动所造成的影响,特别是构造岩中的 Cu、Ag、Sn、As、Nb、Ta、Th、U;地层原岩因素不能单独地

有效区分出来,可能是因为本区围岩地层均为碳酸盐岩,大部分微量元素本底含量很低,所有微量元素含量比较强烈地受到矿化热液活动影响。

根据各影响因子特征值百分数,影响微量元素含量变化的矿化热液活动因子占有很大比重,近矿围岩、构造岩及地表基岩中分别占 44.5%、27.4%、31.4%,反映成矿热液活动的强烈性和广泛性;另外,各类地质体矿化热液活动元素基本上相同,体现出成矿作用的统一性和成因上的相对单一,即本区成矿作用局限于燕山中晚期花岗岩侵位事件,花岗岩浆期后热液及地下水在岩体热力驱动下构成了一个系统的矿化热液活动体系,对区内地层产生了广泛的蚀变影响,形成矿体、热液活动脉体,并对围岩地层中微量元素进行了改造。

2.3 不同地质体中微量元素含量变化的指示意义

对比分析构造岩及地表基岩等不同地质体,构造岩相对于地表基岩,微量元素含量明显增加的元素主要有: Cu、Pb、Zn、Ag、Sn、Sb、As、Nb、Cd、Cs、Ta、Bi、U(见表 2),并且,这些元素在矿石、近矿蚀变围岩有更高的含量(见图 3),显然属于矿化热液活动元素,其元素组合反映岩浆期后热液的特征。

表 2 部分成矿热液活动元素在各类地质体中的平均含量(×10<sup>-6</sup>)

Table.2. Mean values of trace elements in different geological bodies(×10<sup>-6</sup>)

元素	基岩(8)	近矿围岩(7)	构造岩(7)
Cu	4.683	131.950	25.781
Zn	56.427	936.087	253.551
As	0.582	38.604	11.077
Y	0.451	1.431	5.007
Zr	1.666	4.505	23.401
Nb	0.142	0.557	1.915
Mo	1.380	2.067	0.447
Ag	0.071	3.162	0.272
Cd	0.193	12.318	1.015
In	0.006	0.555	0.058
Sn	0.870	50.297	5.369
Sb	5.410	7.277	5.581
Cs	0.062	0.922	1.493
Hf	0.256	0.227	0.785
Ta	0.016	0.049	0.137
Tl	0.191	0.369	0.162
Pb	19.015	2982.318	76.024
Bi	0.067	1.913	0.470
Th	0.086	0.271	1.666
U	1.089	2.643	1.732

测试单位:中科院矿床地球化学开放研究实验室;测试者:漆亮、冯家毅;括号内数字为样品个数。

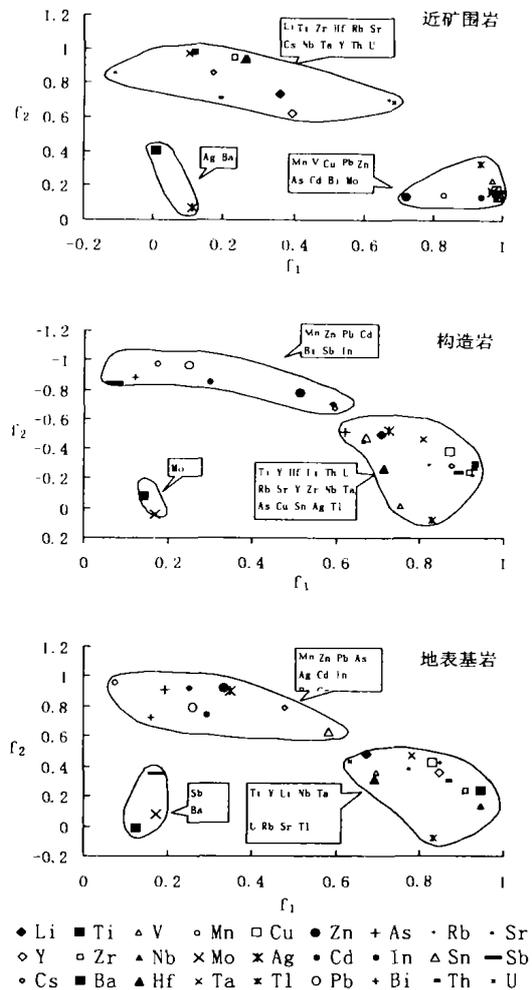


图 2 近矿围岩、构造岩及地表基岩的 f<sub>1</sub>-f<sub>2</sub> 因子平面上的元素集群

Fig. 2. Element grouping in factor f<sub>1</sub>-f<sub>2</sub> plan.

根据表 2 及图 3 作进一步对比分析,可区分出两种不同地球化学指示意义的元素。

部分矿化热液活动元素在近矿围岩中的含量基本上都明显高于地表基岩,这一部分元素受距成矿流体活动中心或矿化中心距离远近的控制较明显,包括: Zn、As、Cu、Ag、In、Cd、Cs、Ta、Sn、Pb、Bi,其异常高低及异常组合往往能反映出成矿深度信息,这些元素大部分即是成矿元素,具有较强的在深部析出沉淀的倾向。在本区特定的成矿地质条件下,这些元素难以远距离迁移,经验认识及理论分析表明,大部分在距岩体数百米的范围内析出,受温度梯度等物理化学条件控制,形成矿床元素组合类型及矿化蚀变在空间上的分带<sup>[1,2,8]</sup>。地球化学勘查上,根据元素析出温度高低或析出

次序,进一步区分为近程指示元素如 Cu、Sn 等和中远程指示元素如 Pb、Zn、As、Ag、Cd。

另一部分矿化热液活动元素含量在近矿围岩和地表基岩无显著的变化,但成矿区内普遍有较高的含量水平,这类元素地球化学异常能够指示

成矿热液活动,含量并不受距矿化活动中心距离的明显控制,如 Sb、Tl、U 等。这类元素在本区特定地质条件下难以从热液中析出,可随热液运动远距离迁移,甚至有可能最后进入地表水体,但在热液活动区域或路径上留下印迹。

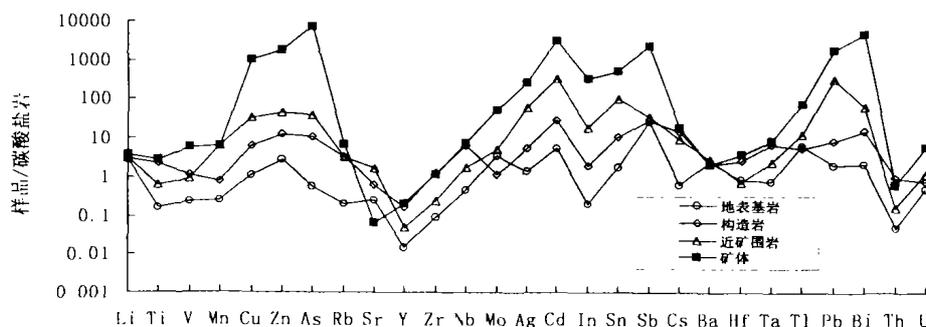


图 3 个旧锡矿高松矿田几类地质体微量元素平均含量(标准化)组成

Fig. 3. Mean values of trace elements in various geological bodies associated with mineralization in the Gaosong deposit, Gejiu, normalized by mean values of global limestones from Turekian and Wedepohl(1961).

已有研究表明,围岩地层普遍受到成矿热液活动的影响,高松矿田芦塘坝矿段围岩地层矿化微量元素含量相对于未矿化地带地层原生微量元素含量有明显增加,即受到成矿热液活动迭加影响<sup>①</sup>。部分微量元素迭加强度如表 3 所列。

表 3 部分地层矿化热液活动微量元素叠加强度  
Table 3. Intensity of trace elements over lapping on strata by hydrothermal process

地层	Sn	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Cd	B
T <sub>2</sub> G <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1.7	7.9	20	1.6	3.2	18	3.6	11.8
T <sub>2</sub> G <sub>2</sub> <sup>1</sup>	0.35	3	6.1	21	0.85	4	3.6	3.4
T <sub>2</sub> G <sub>1</sub> <sup>6</sup>	46	18.1	44.7	7.8	5.5	23.6	4.2	3.4
T <sub>2</sub> G <sub>1</sub> <sup>5</sup>	23.6	4.3	97.4	9	5.5	10	4.1	7.4

注:据西南有色地勘局三〇八队<sup>①</sup>;叠加强度 = 平均含量/地层元素丰度;T<sub>2</sub>G<sub>1</sub><sup>5</sup>、T<sub>2</sub>G<sub>1</sub><sup>6</sup> 分别为中三叠统个旧组卡房段地层第五、第六层;T<sub>2</sub>G<sub>2</sub><sup>1</sup>、T<sub>2</sub>G<sub>2</sub><sup>2</sup> 分别为中三叠统个旧组马拉格段地层第一、第二层。

但地表基岩与构造岩比较,大部分成矿热液活动元素含量低 5 ~ 10 倍,深部基岩与构造岩比较也有类似差异。矿体主要呈似层状产出在白云岩与灰岩接触的层间界面,或呈脉状产出在构造断裂、裂隙中,矿体与围岩界限分明。据此认为,

成矿热液活动以构造断裂(包括裂隙)导流为主,孔隙渗透为次,成矿作用(不包括接触带夕卡岩型)以充填形式为主,交代作用为次。

### 3 热液活动体系分析

成矿热液活动元素组合表现为岩浆期后热液的特点,矿床元素组合类型及蚀变元素地球化学分带与花岗岩顶面的空间关系显示与受花岗岩顶面控制的温度梯度的控制<sup>[1,2,7]</sup>,有理由认为,个旧锡矿东部矿区成矿热液活动体系最根本的影响因素是花岗岩,花岗岩既是成矿物源的供给体,又是热液活动体系的主要驱动营力——热源,相对于区域性深源流体成矿,热液活动体系受区域应力驱动影响较小。根据包裹体 H、O 同位素组成研究,成矿热液活动有地下水的混合作用<sup>[2]</sup>。因此认为成矿热液是花岗岩岩浆期后热液与地下水构成的混合体系并受侵位花岗岩热力驱动。

成矿热液活动体系基本上为开放系统。元素地球化学研究表明,成矿热液活动对区内上覆地层造成了广泛的蚀变影响,一部分热液活动元素受距热液活动中心距离的控制,其元素地球化学

①西南有色地勘局三〇八队.个旧矿区高松矿田大型锡多金属隐伏矿床远景预测及勘查验证(研究报告).1990.

异常,具有垂向上向上衰减的普遍现象<sup>①</sup>,成矿作用表现出良好的空间分带,综合分析认为,总体上体现为开放系统的元素地球化学特征。对区内断裂构造观察表明,各级序及各方向的断裂在成矿热液活动期主要表现为张裂性质,高松矿田芦塘坝断裂、麒麟山断裂、麒阿断裂等在地表均表现为宽大的张裂带,宽数米到十几米,以充填热液活动脉体为显著特征,脉石矿物方解石充填于裂隙中,常形成粗大的梳状聚晶(俗称马牙石),断裂带中原岩呈支离型角砾,深部(近矿产出部位)也主要表现为张裂性质,据部分探矿工程和开拓工程所见,主要控矿断裂构造角砾棱角分明,矿石在断裂及裂隙中充填成矿。断裂构造普遍表现为张裂性质与花岗岩侵位顶托作用有关,且成矿期深部巨大的花岗岩基承托区域应力,减轻上覆地层遭受区域应力的挤压作用。

成矿地质条件上,花岗岩上覆地层均为比较单一的碳酸盐岩组成,缺乏泥、页质岩类地层圈闭因素,是本区成矿热液活动体系处于开放系统的重要原因,另外,热液活动深度较浅<sup>[2]</sup>,在近地表浅部,碳酸盐岩特别是白云岩物性上主要表现为脆性,区内张性断裂大量发育并构成网格,许多断裂自花岗岩顶面直达地表,构成系统开放的必要条件。

成矿热液活动体系的另一个显著特点是以构

造断裂(包括裂隙)导流为主。构造岩及基岩的元素地球化学特征显示热液活动在断裂带中的主导地位。构造岩矿化热液活动指示元素含量显著高于基岩;矿体产出明显受断裂带控制<sup>[2]</sup>,化探研究表明,矿化异常以断裂带为中心分布,芦塘坝矿段热液流体场分析显示成矿流体活动中心在芦塘坝断裂带上<sup>①</sup>。

上述三个特征基本反映了个旧锡矿东部矿区成矿热液活动体系的地质约束条件。

## 4 结论

成矿热液活动元素主要有 Cu、Pb、Zn、Ag、Sn、Sb、As、Cd、Cs、Tl、Nb、Ta、Bi、U。其中, Cu、Zn、As、Ag、Cd、Sn、Pb、Bi 明显受距矿化中心距离的控制,形成矿床元素组合类型及矿化蚀变在空间上的分带,可进一步区分出近程指示元素 Cu、Sn 和中远程指示元素 Pb、Zn、As、Ag、Cd。另一些元素如 Sb、Tl、U 含量不受距矿化活动中心距离的明显控制,在近矿围岩和地表基岩间无显著的变化,但成矿区内普遍有较高的含量水平,可作为成矿热液活动示踪元素。

成矿热液活动体系基本上为开放系统,表现为断裂开放形式,流体活动以断裂导流为主,孔隙渗透为次。

## 参 考 文 献

- [1] 西南有色地勘局三〇八地质勘探队地质研究室.某夕卡岩型锡、铜矿床的成矿特点[J].地质与勘探,1974,(4):9~14.
- [2] 庄永秋,王任重,杨树培,等.云南个旧锡铜多金属矿床[M].北京:地震出版社,1996.185.
- [3] 陈俊,周怀阳.华南含锡花岗岩的地质地球化学研究[J].南京大学学报,1988,(1):130~140.
- [4] 伍勤生,许俊珍,杨惠.个旧含锡花岗岩锶同位素特征及成矿作用研究[J].地球化学,1984,(4):293~298.
- [5] 王雅丽,李磊.个旧老厂细脉型锡矿床微量元素的多元统计分析[J].云南地质,1997,16(1):76~84.
- [6] 魏明秀.我国个旧夕卡岩型锡矿的地质-地球化学研究[J].地球化学,1993,(2):146~154.
- [7] 李石锦.云南个旧矿区富锡、铜矿体成矿学浅析[J].大地构造与成矿学,1998,22(2):148~155.
- [8] 於崇文,等.云南个旧成矿区锡石-硫化物矿床原生金属分带形成的地球化学动力学机制[J].地质学报,1990,64(3):226~237.
- [9] 伍俊德.竹林接触带矿床地质特征及找矿预测[J].矿产与地质,2000,14(3):185~187.
- [10] 李家和.云南某锡矿岩浆杂岩体的同位素地质年龄[A].全国同位素地质会议文集(第二辑)[C].北京:地质出版社,1977.165~171.

①西南有色地勘局三〇八队.个旧矿区高松矿田大型锡多金属隐伏矿床远景预测及勘查验证(研究报告).1990.

# AN INSIGHT INTO HYDROTHERMAL PROCESS OF INVOLVED IN THE FORMATION OF GEJIU TIN DEPOSITS AS INDICATED BY TRACE ELEMENT GEOCHEMISTRY

Tao Yan, Ma Deyun, Gao Zhenmin

(Open Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

## Abstract

According to the variation of trace element contents, this paper discusses the active elements involved in mineralization of the Gejiu tin deposits and identifies different geochemical types of element groups. Furthermore, the characteristics of hydrothermal process was studied. Most of the active elements involved in mineralization are typical elements of deuteritic fluids, showing the mineralization is closely related to granites. As deuteritic fluids mixed with underground water, and were driven by heat of granite in an open system, the hydrothermal fluids moved along fractures and permeated in the strata, forming ore-bodies and hydrothermal veins, and exerted a strong influence on the trace element contents in the strata of this region.

**Key words:** Gejiu; tin deposit; hydrothermal process; trace element; geochemistry