

文章编号:1000-4734(2001)01-0067-06

湘中锡矿山式锑矿锑与砷、金的共生分异现象

陶 琰^{1,2} 金景福²

(1. 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; 2 成都理工学院, 成都 610059)

摘要:通过湘中锡矿山式锑矿矿化蚀变特征及矿化蚀变岩石微量元素统计分析,阐述了成矿作用中锑与金、砷共生分异的现象,并以因子分析为手段,提取成矿作用中最主要的两个特征因子,综合地质分析,指出锑矿成矿过程中主要包含有两种地质作用:硅化与锑矿化。硅化和锑矿化分别同砷、金富集和锑矿质沉淀析出相联系,从而造成锑与金、砷共生分异。硅化作用主要在成矿早期,温度较高(200~300℃),砷、金主要在这一阶段析出。锑矿化则集中发生在成矿作用晚期,温度较低(100~200℃),辉锑矿以裂隙充填方式沉淀成矿。对锑与金、砷共生分异的认识较好地解释了矿化带上成矿特征指示元素在元素聚类分析中不相关的矛盾。

关键词:湘中; 锑矿; 元素共生分异; 因子分析

中图分类号: P59; P618.66

文献标识码: A

作者简介:陶 琰, 1963年生, 博士, 从事矿床地球化学研究。

低温热液矿床通常都具有 Au、As、Sb、Hg 元素组合异常,而且,在以其中某一种元素为主的成矿区内,常有其它一种或几种元素的伴生矿化,形成矿床系列组合^[1~5],表现出 Au、As、Sb、Hg 在低温热液成矿作用中的共生关系。但是,由于各自在地球化学性质上的差异,导致它们在矿化时间和空间上发生分异。这些低温组合元素既共生又分异的双重地球化学特征已引起有关研究人员注意^[2,6~8]。朱赖民等^[7]系统研究了黔西南微细浸染型金矿床中金和锑的共生分异。我们在对湘中锡矿山式锑矿的研究中发现:在矿化蚀变岩石的成分聚类分析中 Sb 与 As、Au 不相关。本文旨在分析湘中锡矿山式锑矿锑与砷、金的共生分异的元素地球化学特征,阐述造成分异的机制,并简要说明其找矿意义。

1 湘中锡矿山式锑矿的基本地质特征

湘中锡矿山式锑矿分布于湘中盆地范围内,地处华南褶皱系向扬子地台的过渡部位。矿床矿点众多,目前已发现四十多处,地跨娄底、涟源、冷水江、新化、新邵、双峰、邵阳、隆回、祁东、新宁等县市,是湘中地区最重要的矿床类型,占有湘中地区锑矿储量的 75%。锑矿主要产出于隆起(带)

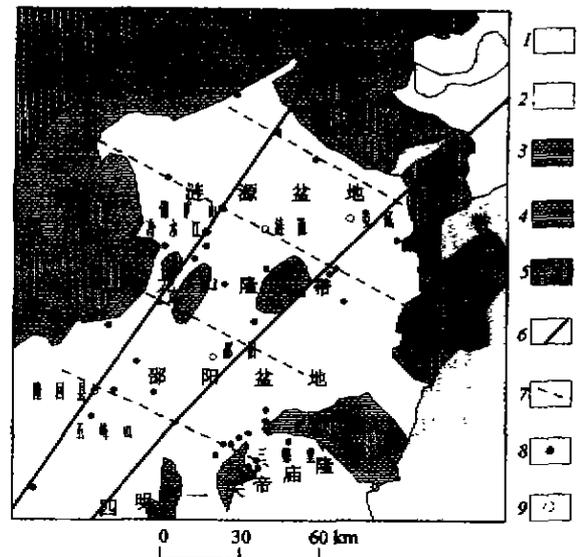


图 1 湘中地区地质简图

Fig. 1. Geological sketch map of the Xiangzhong area.

1. 白垩系--第三系 2. 泥盆系--中三叠统 3. 震旦--志留系 4. 冷水溪--板溪群 5. 印支-燕山期花岗岩 6. 超壳断裂 7. 隐伏基底断裂 8. 锡矿山式锑矿床(点) 9. 市县所在地

边缘并受区域性深大断裂控制(图 1)。成矿作用发生于燕山晚期,成矿温度一般 100~200℃,属典型低温矿床,成矿物质来源于与燕山期构造-岩

收稿日期:2000-04-18

基金项目:地质矿产部定向科研基金(地定 96-13)

浆活化作用有关的深源流体^[3]。锡矿山式锑矿又称为似层状硅化岩型锑矿^[9],以锡矿山锑矿为典型代表,赋存于泥盆系中统-三叠系下统构造层,产出在灰岩与细碎屑岩组合建造中,以围岩硅化为显著特征。硅化作用对原岩蚀变交代,沿层间破碎带或断裂带成面型或线型分布,形成硅化体,矿体产出在硅化体中。金属矿物基本上为单一的辉锑矿,在硅化岩中以浸染状、脉状、构造角砾胶结物、团块状或构造空洞充填产出,脉石矿物主要为石英或方解石。

2 锑与砷、金共生分异的地球化学特征

2.1 共生的地球化学特征

湘中地区是我国重要的锑成矿区,除锡矿山式锑矿广泛分布外,区内还发育有中低温热液型的金、银、汞、砷、铅、锌等矿产资源,与锡矿山式锑矿有成因联系的金、银、汞、砷构成湘中地区最主

要的成矿系列,可在一个矿带或矿床内伴生矿化,形成锑金矿、汞锑矿等。区域化探表明,区内各主要成矿带均表现出 Sb、Au、As、Hg 等元素组合异常^[3,9]即这些低温元素在区域矿化上的共生性。

湘中锡矿山式锑矿矿化带以富含 Au、As、Sb、Hg、Ag、W、Mo、Se 为特征,特别是 Au、As、Sb 具有很高的地球化学异常。矿化蚀变岩石(硅化岩)微量元素含量按岩类统计如表 1 所示,不论原岩为何种类型,蚀变岩 Au、As、Sb 含量相对其原岩都有显著的增加(图 2),而且,相对于克拉克值, Au 高出将近 100 倍,锑 2 000~10 000 倍,砷 100~1 000 倍等(图 3)。这些元素在蚀变岩中显著富集,是成矿流体蚀变改造作用的结果。Au、As、Sb 作为成矿作用的特征指示元素,反映湘中锡矿山式锑矿 Au、As、Sb 共生的元素地球化学特点。

Hg 也是 Sb 成矿流体活动的特征元素之一,在三德堂金锑矿点采用 Hg 蒸气测量,有效地圈定出硅化带及矿体。限于样品分析未检测汞,本文对汞未作讨论。

表 1 各种岩矿微量元素含量平均值($/10^{-6}$; Au/ 10^{-9})

Table 1. Average contents of some trace elements in altered rocks ($m \times 10^{-6}$ except Au in $\times 10^{-9}$)

岩类	辉锑矿	硅化灰岩	硅化泥岩	硅化砂岩	围岩灰岩	围岩泥岩	围岩砂岩	克拉克值
样品数	14	18	5	5	3	3	3	泰勒,1964
As	32.6	1 009.5	2 454.7	257.4	22.4	123.3	94.2	1.8
Sb	355 285.7	2 331.0	454.1	1 380.6	168.4	125.5	209.6	0.2
Ag	23.7	2.5	10.8	1.9	0.5	1.6	1.1	0.07
Au	677.2	400.3	355.1	154.2	11.8	34.8	14.4	4
Mo	20.7	4.0	4.0	2.4	1.6	1.9	2.4	1.5
W	10.6	47.5	32.7	12.2	8.7	3.0	3.4	1.5
Se	6.7	1.3	1.6	2.9	0.7	1.9	2.1	0.05

注:样品由成都理工学院核技术应用开发实验室用仪器中子活化分析方法测定。

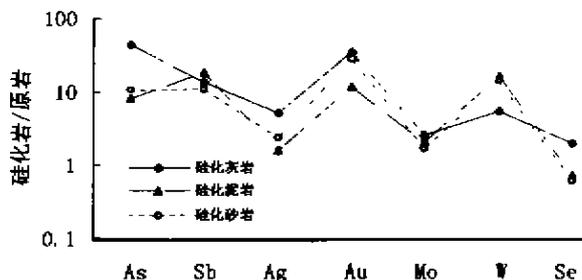


图 2 蚀变岩相对原岩的元素含量变化

Fig. 2. Element content variations in altered rocks.

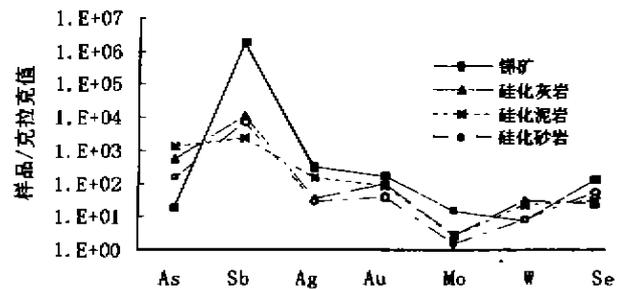


图 3 蚀变岩元素相对克拉克值的富集程度

Fig. 3. Element abundance compared with the Clark value.

Au、As、Sb 共生的现象在矿床(点)剖面测量中也十分明显,如图 4、5 所示。As、Sb 在矿化剖

面上具有一致的变化趋势, As、Sb 异常反映矿化带的范围。

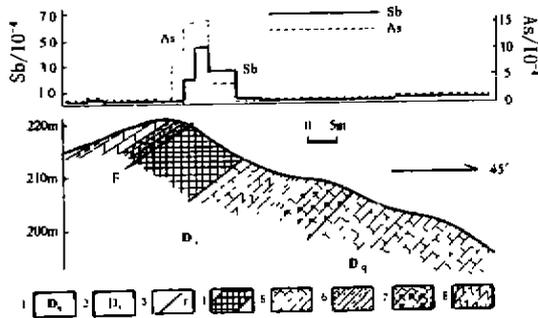


图 4 三德堂金锡矿区矿化剖面 Sb,As 变化曲线
Fig. 4. Sb, As variation curve of the mineralization profile.

- 1 中泥盆统棋梓桥组 2. 上泥盆统自发堂组 3. 断层
- 4. 矿化带 5. 灰岩 6. 泥质岩 7. 耐质灰岩 8. 泥灰岩

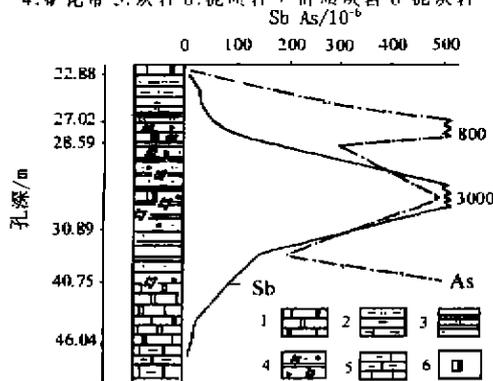


图 5 五峰山汞锡矿区 ZK3102 孔 Sb,As 变化曲线^[9]
Fig. 5. Sb, As variation curve in the ZK3102 bore section.

- 1 白云质灰岩 2. 泥质粉砂岩 3. 交代石英岩 4. 碎裂岩
- 5. 泥灰岩 6. 辉锑矿

2.2 分异的地球化学特征

虽然在矿床或矿化带上 As、Au、Sb 都具有很高的地球化学异常,但在元素聚类分析中 As、Au 与 Sb 表现出不相关的特点。以湘中锡矿山式锡矿主要矿床矿点的蚀变岩石样品微量元素含量作聚类分析,聚类谱系如图 6 所示。从图 6 可以看出,As、Au 相关,聚为一类,Sb 与 As、Au 不能在任何有意义的相关水平上聚类。表明 Sb 与 As、Au 相互间具有独立的地球化学效果,是在矿化作用

中的分异造成的。

对样品微量元素含量作 R 因子分析。按元素与公因子间的最大相关性,提取出表征公因子的元素群,得到元素的作用因子分类(表 2),与聚类分析结果基本一致,Sb 与 As、Au 分属于不同的作用因子上。

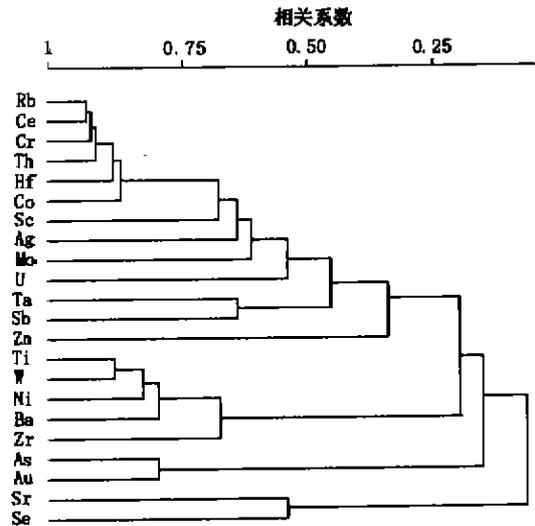


图 6 蚀变岩元素聚类谱系图
Fig. 6. Hierarchical diagram of elements in altered rocks.

Sb-Au、Au-As 间相关性的散点投影如图 7 所示。Sb 与 Au 不相关,As、Au 正相关。

相应的,根据野外地质观察及岩矿石镜下鉴定,锡矿矿体基本上都产出在硅化体中,但强硅化的岩石中往往没有锡矿石,仅偶见有星点状辉锑矿;辉锑矿主要发育在弱硅化的灰岩中,并以裂隙式充填或构造角砾胶结物形式产出。As、Au 在强硅化岩中具有较高的含量,随硅化强度减小,含量降低。三德堂锡矿点强硅化岩中有伴生金矿体,罗家塘锡矿点强硅化作用形成的次生石英岩中 Au 含量达到 1 g/t 以上,但在弱硅化岩中,一般只有几个到几十个 10⁻⁹ 的金含量,As 与 Au 有相应的同步关系。显示 Sb 与 Au、As 在空间上的分异。

表 2 R 因子分析元素归类表

Table 2. Element classification by R-factor analysis

因子	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈
元素	Cr, Co, Se	Cs, Th, Hf	Ni, Ba, W, Zr	Ti, Sb, Mo	Rb, Ag, Ta, Zn	As, Au	Sc, Sr	U

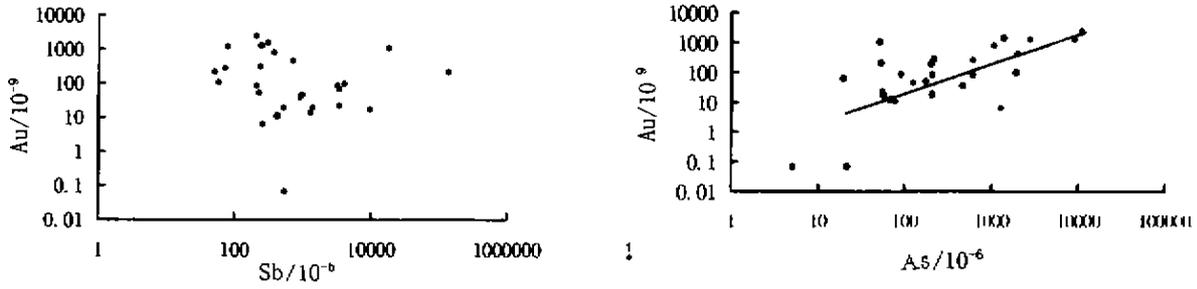


图 7 Au-Sb、Au-As 相关性散点图

Fig. 7. Au-Sb, Au-As correlation diagram.

3 锑与砷、金的共生分异机制

据矿床特征及因子分析,湘中锡矿山式锑矿的成矿作用可区分出两个最主要的特征因素:硅化和锑矿化作用。锑与砷、金的共生分异源于统一的成矿作用下硅化和锑矿化的阶段性演化。

对主要矿床矿点不同硅化强度、不同锑矿化程度的蚀变岩样品微量元素含量进行 Q 因子分析,各正交因子特征值及占总和的百分比与累积百分数如表 3 所列,样品载荷及元素的因子得分在因子平面 g_1g_2 上的投影如图 8,9。

表 3 正交因子特征值及占总和的百分比

Table 3. Factor's eigenvalue and the percentage of the sum

正交因子	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6
特征值	18.888 7	8.244 1	1.548 9	0.989 1	0.608 9	0.432 7
占总和的百分比	60.931 4	26.593 8	4.996 3	3.195 7	1.958 9	1.395 7
累积百分数	60.931 4	87.525 2	92.521 5	95.717 2	97.676 1	99.072 0

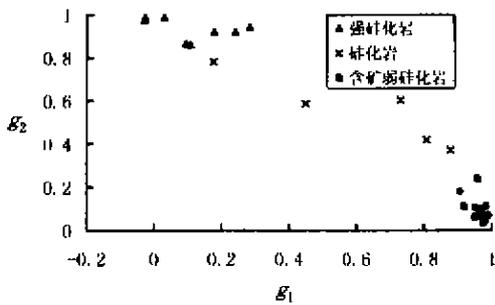


图 8 元素的因子得分在因子平面 g_1g_2 上的投影

Fig. 8. Sample's factor loading in the factor plane g_1g_2 .

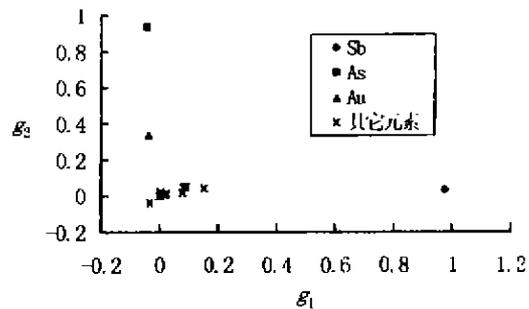


图 9 样品载荷在因子平面 g_1g_2 上的投影

Fig. 9. Element's factor score in the factor plane g_1g_2 .

根据 Q 因子分析(表 3),正交因子特征值高度集中在少数几个特征因子上,特别是前两个因子分别占全部特征值总和的 60.93% 和 26.59%,合计占 87.52%,表明前两个因子 g_1 、 g_2 即在很大程度上反映了成矿蚀变岩石的总体特征,代表成矿作用中两种最主要的地质作用因素。

从图 8 可以看出, g_1 大体上是依赖于 Sb 含量的因子, g_2 基本反映样品中 As、Au 含量的特点。

再结合图 9,所有与锑矿化有关的中—弱蚀变硅化岩均有相当高的 g_1 因子载荷,且因 g_1 是依赖于 Sb 含量的因子,因此, g_1 主要反映锑矿化

作用。正交因子 g_2 上载荷值高的样品均为硅化强度较高的岩石,部分达次生石英岩程度,例如罗家塘的硅化岩样品和锡矿山北矿段的部分硅化岩样品等,因此, g_2 主要指示硅化作用,以 As 为特征指示元素,且伴生有 Au 的富集。

流体包裹体测温及地质研究表明^[3],比较强烈的硅化发生在成矿作用早期,流体温度较高,一般在 200℃ 以上,次生石英岩石英中的流体包裹体均一温度达 273℃;而 Sb 沉淀析出则主要在晚阶段,流体温度较低,一般在 200℃ 以下。强烈的硅化交代作用和锑矿化是同一成矿流体活动在不同成矿作用阶段上的表现。

在因子 g_2 上 Sb 的计量得分很低,而在因子 g_1 上的 As、Au 的计量得分也很低,这种交叉关联很低的情况表明成矿作用的阶段性造成 Sb 与 Au、As 的重大分异。As、Au 在较高温度下的早期硅化中富集,同期 Sb 的沉淀甚微;Sb 在成矿作用的晚期锑矿化阶段集中沉淀成矿,同期基本上没有 Au、As 从热液中的析出。

地球化学热力学及有关实验研究表明,成矿热液中锑、金、砷能够共同迁移^[7,10~16],但在成矿热液中的溶解度及其沉淀的物理化学条件存在差异^[7,12~14],特别是温度降低对金、锑的沉淀效应不同。热液期金的沉淀温度主要在 200℃ 以上,锑则主要在 200℃ 以下沉淀析出,分别与成矿作用中的硅化与锑矿化阶段相对应。

总而言之,在成矿作用过程中硅化与锑矿化的阶段性造成了 Sb 与 Au、As 在时间和空间上的分异。

4 找矿意义

对于整个成矿作用而言,Sb 与 Au、As 具有共生的一面,因而 As 异常能够很好地指示本类型

的锑矿化。以核物探方法直接在野外迅速测定 As,圈定矿化带是找矿非常有效的手段。

As、Au 与 Sb 在区域矿化作用中具有共生性质,一方面可作为锑成矿作用的特征指示元素,另一方面,也有形成伴生金矿的可能性。

金、锑分异与成矿作用过程中不同阶段相联系,对应于强硅化交代和锑矿化。因子分析还表明,矿化程度较高的样品在硅化作用因子上的载荷值很小,而硅化强度高的样品在矿化因子上的载荷值也很小,表现为锑矿化程度与硅化强度呈消长关系。金在强硅化岩中相对富集,找伴生金矿的有利地带是有强烈硅化交代的地带。较好的锑矿化则主要出现在弱硅化岩中。

锑与金在成矿过程中的分异,有可能造成锑、金矿化在空间上的异位,锑、金矿化可互为找矿线索。

5 结 论

湘中地区 Sb、Au、As、Hg 等元素在区域矿化上有共生的性质,锡矿山式锑矿矿化带以富含 Au、As、Sb、Hg、Ag、W、Mo、Se 为特征,特别是 Au、As、Sb 具有特别高的含量,是湘中锡矿山式锑矿成矿作用的特征指示元素。

Sb 与 As、Au 在元素聚类分析中表现出不相关,是矿化作用的分异所造成的。

造成锑与砷、金共生分异的机理是砷、金在较高温度下的早期硅化中富集,而锑则在成矿作用晚期的锑矿化阶段集中沉淀。

矿化蚀变岩锑矿化程度与硅化强度呈消长关系,较好的锑矿化主要出现在弱硅化岩中,伴生金矿可能产出在有强烈硅化交代的部位。

致谢:高振敏研究员给予了大力支持并提出指导意见,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 涂光炽,等. 中国层控矿床地球化学. 第一卷[M]. 北京:科学出版社,1984. 327~348.
- [2] 涂光炽,等. 中国层控矿床地球化学. 第二卷[M]. 北京:科学出版社,1987. 122~133, 291~295.
- [3] 金景福,陶琰,赖万昌,等. 湘中锡矿山式锑矿成矿规律及找矿方向[M]. 成都:四川科学技术出版社,1999.
- [4] 钱汉东,陈武,胡勇. 黔西南、桂西北微细浸染型金矿床砷、汞、锑、钨元素及矿物组合特征[J]. 高校地质学报,1995,1(2): 45~50.
- [5] 张复新,马建荣,陈衍景. 秦岭卡林型金矿床金、砷地球化学探讨[J]. 地球化学,1999,(5): 453~463.
- [6] 朱赖明,胡瑞忠. 紫木由含砷微细浸染型金矿床金砷成矿过程初步研究[J]. 矿物学报,1999,19(1): 83~89.
- [7] 朱赖明,胡瑞忠. 黔西南微细浸染型金矿床中的金和锑共生分异现象及其热力学分析[J]. 中国科学(D辑),1999,29(6): 481~488.

- [8] 王华云,施继锡. 贵州丹寨、三都、都匀地区低温成矿系列的成矿物质来源和分异条件[J]. 矿物学报, 1997, 17(4): 491~500.
- [9] 林肇凤,邹国光,胡必勤,等. 湘中地区锑矿地质[J]. 湖南地质, 1987, (增刊3):1~217.
- [10] 樊文苓,王声远,田弋夫. 金在碱性富硅热液中溶解和迁移的实验研究[J]. 矿物学报, 1995, 15(2):176~184.
- [11] 樊文苓,王声远,田弋夫. SiO_2 与成矿元素锑络合作用的实验研究[J]. 矿物学报, 1997, 17(4):472~477.
- [12] Rytuba J J 姚仲友, 项才, 译. 卡林型金矿床中金和硫化物的热液搬运和沉积的地球化学[J]. 地质地球化学, 1988, (10): 1~8.
- [13] Spycher N F and Reed M H. Evolution of a broadlands-type epithermal ore fluid along alternative P-T paths: implications for the transport and deposition of base, precious, and volatile metals [J]. *Economic Geology*, 1989, 84: 328~359.
- [14] Spycher N F and Reed M H. As (III) and Sb (III) sulfide complexes: An evaluation of stoichiometry and stability from existing experimental data [J]. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1989, 53: 2185~2194.
- [15] Grigoryeva T A and Sukneva I S. Effects of sulfur and of antimony and arsenic sulfide on the solubility of gold [J]. *Geochim. Intern.*, 1981, 18:153~158.
- [16] Ballantyne J M and Mooke J N. Arsenic geochemistry systems [J]. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1988, 52:474~483.

PARAGENESIS AND DIFFERENTIATION OF As, Au WITH Sb IN XIKUANGSHAN-TYPE ANTIMONY DEPOSITS, CENTRAL HUNAN

Tao Yan^{1,2} Jin Jingfu²

(1. Open Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,
Guiyang 550002; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: On the basis of mineralization characteristics and the statistical analysis of element contents in altered rocks, this paper deals with the paragenesis and differentiation of As, Au with Sb in the Xikuangshan-type antimony deposits in the central part of Hunan Province. Factor analysis extracts two main factors, one represents silicification and the other antimony mineralization. For the former connected with enrichment of As, Au and the latter with Sb, it causes differentiation of metallogenic elements. With precipitation of As and Au, silicification took place at the early metallogenic stage at relatively high temperature (200~300°C), forming silicified rocks. Antimony precipitation occurred mainly at the late stage at lower temperature (100~200°C), and stibnite filled in fractures or fissures. This paper gives a good explanation of why high-abundance paragenesis elements in the metallogenic province show no correlation in cluster analysis.

Key words: central part of Hunan Province; antimony deposit; element paragenesis and differentiation; factor analysis