

安徽省东南部东至地区金矿 化作用的独特性

杨书桐

(南京大学地球科学系, 南京)

摘要: 从地球化学屏蔽层、沉积型黄铁矿高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值、含金硫化物的非稳定平衡、Au-As-Sb 组合元素矿化作用在高峰期彼此分离、热液蚀变递进性等方面, 阐述了东至地区金矿化的独特性。

关键词: 地球化学屏蔽层 晶格金 热液蚀变递进性 东至

金矿化体系大多是一些开放的非平衡体系, 矿化作用受浓度、温度、压力、pH、Eh、流体性质、时间和动力等综合因素控制。上述这些控制因素的差别使得金矿化特点繁杂多样。然而在一定的比例尺基础上, 地球内部存在一系列彼此不同、但内部却相对均一的金矿化域, 域内矿化点特征的同源性总和就反映了矿化域本身的特点。

自从美国本世纪 60 年代率先报道超大型“卡林”型金矿以来, 在我国近十余年也特别注意探寻此类金矿, 如在皖南地区就实现了这种尝试。皖南东至地区金矿化点较多, 具有一定的同源性, 如多系微细粒浸染型金矿化; 成矿元素组合为 Au-As-Sb 型; 矿石矿物以黄铁矿、毒砂、辉锑矿为主。但除此常见特征外, 东至金矿化域还有自己的独特性。

1 东至金矿化域的一系列特点

东至金矿化域位于江南地背斜的北缘, 与长江中下游断裂凹陷带毗邻, 其本身产在一个两边受北东向深大断裂控制的次级断陷盆地中, 盆地长约 80 km, 宽约 30 km。盆地中沉积地层从北至南年代逐渐变新, 从中元古界的木坑组过渡为志留系的高家边组, 另外从底部到顶部沉积建造特点变化明显。矿化域中矿化点较多, 如花山、柴山、杨家畈等金矿化点, 其中以花山金锑矿化点最具代表性。另外, 本区燕山期花岗质岩石星罗棋布, 多为小的岩株。总之, 东至金矿化域是一个中、晚元古代及早古生代地层比较发育且燕山期构造、岩浆活动比较频繁的 Au、As、Sb 的矿化集中区。

1.1 矿化富集具有天然的地球化学屏蔽层

东至地区存在三套明显不同的沉积建造, 从底到顶分别为浊积岩建造、碳硅泥建造和钙泥质建造(杨书桐, 1989)。底部的浊积岩建造由中元古界的木坑组和牛屋组组成, 岩性以凝灰质杂砂岩、粉砂岩和杂色页岩为主, 沉积物成熟度较低; 中部的碳硅泥建造主要由震旦系

的兰田组、皮园村组和下寒武统的黄柏岭组组成,岩性以硅质岩、碳质页岩为主;上部的钙泥质建造由中寒武统杨柳岗组、上寒武统团山组、青坑组及下奥陶统崧山组组成,岩性以泥灰岩和白云岩为主。本区的主要金矿化如花山金矿化就产在碳硅泥建造和钙泥质建造的过渡部位,这个界面就是一个天然的地球化学屏蔽层。碳硅泥建造金的背景值高达 $5.1 \times 10^{-9} \sim 12 \times 10^{-9}$,有机碳含量高达 0.2%~0.3% (杨书桐, 1988),孔隙度为 1.41%,渗透率为 0.15 md (嵇复元, 1989);钙泥质建造金的背景值为 $3 \times 10^{-9} \sim 5 \times 10^{-9}$,孔隙度为 5.29%,渗透率为 0.25 md。A S Radtke 和 B Z Scheiner (1987) 研究表明:在含有机碳为 0.3% 或更高的岩石中金含量将明显增加,他们同样也认为碳质页岩、硅质岩粒度细、比表面积大更有利于对 Au 的吸附,因此碳硅泥建造是很好的初始吸附层;钙泥质建造因孔隙度、渗透率较大,因此是很好的矿化富集层。所以说,上述两种建造的界面组成了一个良好的地球化学屏蔽层。

1.2 含矿建造中沉积型黄铁矿的硫同位素组成特点

作者对东至地区次级断陷盆地中不同时代地层里的星散状沉积型黄铁矿的硫同位素进行了系统研究(图 1),我们发现存在两个特点:一是整体 $\delta^{34}\text{S}$ 值相当高;其次是随时代变新 $\delta^{34}\text{S}$ 值逐渐降低。

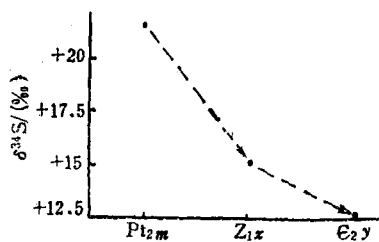


图 1. 沉积型黄铁矿硫同位素的演化趋势

Fig. 1 Evolutionary trend of sulfur isotope values in sedimentogenic pyrite.

浊积岩建造中三个木坑组样品里的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值达到 +22.29‰,甚至超过了一般海水的硫酸盐硫同位素值(海水硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值一般在 +20‰ 左右),如此高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值:一方面说明本区海水硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值异常高,如在东至县发现重晶石的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 +42‰ (胡永嘉等, 1986),比一般海水硫酸盐硫同位素平均值高一倍;另一方面更重要的是,此盆地为一相对封闭且非补给性的小型盆地,海水硫酸盐得到了大规模的还原(W C Shanks, 1987)。然而

到震旦纪和寒武纪时 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别减小到 +14.14‰ (三个体宁组黄铁矿样品的平均值)和 +12.7‰ (四个中寒武统杨柳岗组黄铁矿样品的平均值),这可能反映了后期海水变为相对静海环境,硫同位素分馏程度加大了,因此, $\delta^{34}\text{S}$ 值也就相应降低了^①。

总之,从硫同位素组成特点可以看出:本区沉积地层中沉积型浸染状黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值达 +12‰~+23‰,这一普遍高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值反映了盆地的相对封闭性和硫酸盐大规模的还原,这有利于 Au、As、Sb 等矿质的保存和沉淀,同时大规模的还原过程也提供了大量的硫源,所以 $\delta^{34}\text{S}$ 值高是形成微细粒金矿化的有利条件。

1.3 载金硫化物的非稳定平衡性特点

一般来说,比较稳定平衡的硫化物应该是成分比较稳定,杂质成分相对较少,若含金,金应该多呈零价的单体自然金赋存在硫化物中。但金矿化过程本身由于受到复杂地质因素的扰动,实际情况往往偏离稳定的平衡态。作者通过对本区载金矿石矿物成分及金的赋存状态的研究^①发现,除了极少量金呈次显微金外,大量的金主要以晶格金形式赋存在黄铁矿和

① 杨书桐, 皖南东至金矿成矿作用机理研究, 南京大学硕士论文, 1989

毒砂里, 这已通过 SEM、TEM、EPR、Mössbauer 谱等现代分析测试方法及 HNO₃ 化学浸取法得到了证实^[10]。除此之外, 在柴山金矿化点, 发现大量单晶毒砂中 As 含量变化很大(表 1), 从 29 at%~33 at% (原子百分比), 从放射状集合体的中心到边缘变化也很大。这些现象在我国还未引起足够和广泛的重视, 但国外已开始逐渐报道, 如法国莱卡特莱特金矿区就有类似现象存在 (F Delbove 等, 1990)。上述晶格金的大量出现, 单晶载金矿物主元素成分含量变化很大等现象都与矿石矿物的快速生长造成的非稳定平衡性有关 (Wu X et al., 1989; 杨书桐, 1989)。

表 1 单晶毒砂中主元素含量(%)

Table 1. Major element content of single crystal arsenopyrite

点号	As	S	Fe	As(at%)
1	46.26	29.13	33.09	33.70
2	42.81	22.41	33.61	30.48
3	42.59	21.87	35.41	30.32
4	41.81	18.14	39.12	30.60
5	40.36	20.53	27.39	30.51
6	44.95	21.54	33.61	30.92
7	42.70	23.56	34.82	29.53

马鞍山钢铁研究院电子探针室测试

1.4 含矿热液蚀变的递进性

我们知道, 大多数金矿化体现了多期、多阶段矿化的特点, 在本区除了此种特点外, 还有热液蚀变的递进性特点。东至地区的金矿化不少集中在钙泥质建造的底部, 位于与碳硅泥建造的接触带。含矿围岩主要是不纯的碳酸盐, 矿化蚀变以黄铁绢英岩化为主。在热液蚀变过程中, 随着蚀变程度逐渐增加, 黄铁绢英岩首先呈团块状交代围岩, 然后呈条带状交代围岩, 最后以块状形式彻底交代含矿围岩; 相应地, Au 含量逐渐升高, 从 $12 \times 10^{-9} \sim 18 \times 10^{-9}$ 升高到 $1.4 \times 10^{-6} \sim 3.6 \times 10^{-6}$, 这进一步说明热液蚀变的递进性与金矿化的集中性是同步的, 这也是本区的特点之一。

1.5 Au-As-Sb 组合中各元素矿化高峰期的分离性特点

过去在东至地区找金大多沿辉锑矿脉延伸, 结果有些令人失望。如在花山金矿化带(图 2)中的西段, 金矿脉与锑矿脉伴生沿 F₁ 断层分布, 然而在矿脉延伸的东端, 金矿脉开始有向北呈弧形转弯的趋势, 并单独呈脉。为此作者通过矿相学、包裹体地球化学及电子探针分析研究发现: Au、As、Sb 各元素矿化的高峰期不一样, As 矿化最早, Au 次之, Sb 最晚。As 矿化主要为成岩后生阶段的产物, 与之伴生的热液蚀变不甚明显, 毒砂自形程度很高, Au、Sb 都以类质同象形式参与其中, Au 含量变化范围较大为 $0 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$, Sb 0.1%~0.15%。Au 矿化主要为构造岩浆活动期的产物, 构造活动主要体现在层间断层及滑脱断层的大量发育, 岩浆活动主要表现为一些中酸性同熔型岩浆的活动, 与此同时, 热液蚀变也广泛发育, 如黄铁绢英岩化、硅化和去碳酸盐化等, 其中与金矿化最密切的则是黄铁绢英岩

● 杨书桐, 1989, 皖南东至金锑成矿作用机理研究, 南京大学硕士论文

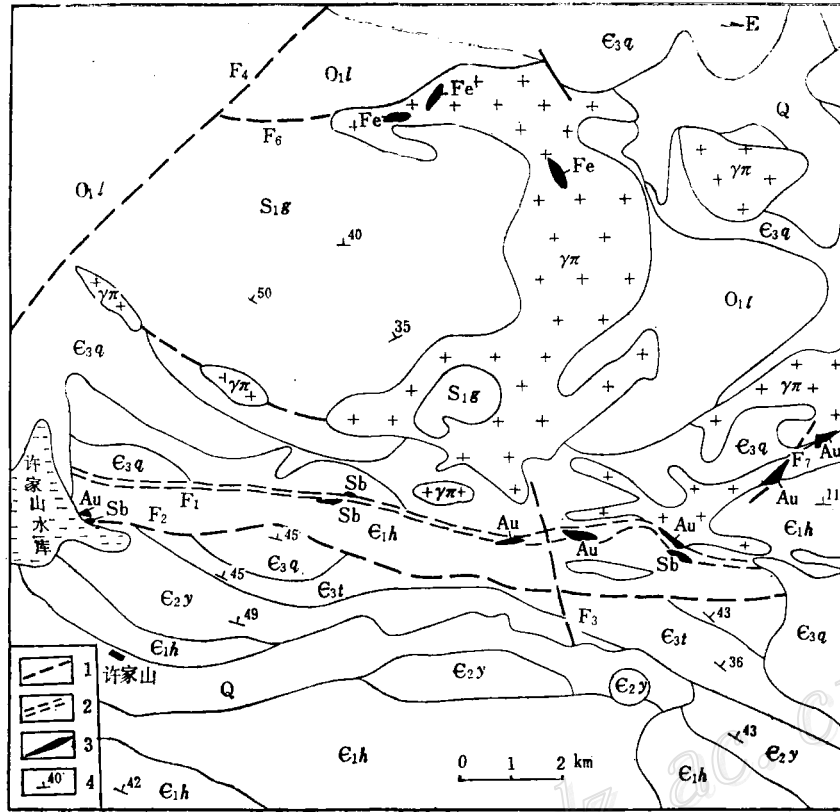


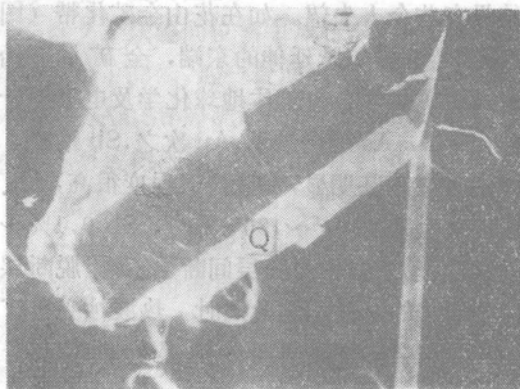
图 2 东至花山金矿地质图

Q—第四系；S_{1g}—高边组粉砂岩；O_{1l}—仑山组白云岩；E_{3q}—青坑组灰岩白云岩；E_{3t}—团山组灰岩；E_{2y}—杨柳岗组泥质条带灰岩；E_{1h}—黄柏岭组碳质页岩，顶部泥质灰岩；γπ—花岗岩；1—断裂；2—断层破碎带；3—矿体；4—地层产状

Fig. 2. Geological map of the Huashan gold deposit in Dongzhi area.

Q—Quaternary; S_{1g}—Siltstone of Gaobian Formation; O_{1l}—Dolomite of Cangshan Formation; E_{3q}—Limestone-dolomite of Qingkeng Formation; E_{3t}—Limestone of Tuanshan Formation; E_{2y}—Argillaceous banded limestone of Yangliugu Formation; E_{1h}—Carbonaceous shale of Huangboling Formation; γπ—Granite porphyry; 1—Fault; 2—Fault shatter zone; 3—Orebody; 4—Attitude of strata.

化；锑矿化主要是后构造活动期的产物，辉锑矿以脉状或块状形式胶结一些张性角砾或充填



照片 1 与辉锑矿（下部）共生的长柱状石英（上部）的扫描电镜图象 20 kV × 450

一些早期矿物里的裂隙，此阶段 As 主要以类质同象形式参与辉锑矿中，无独立砷矿物存在，As 含量为 0.1%~0.3%，与辉锑矿共生的石英并不是脉状石英，而是一些自形程度很高，呈六方柱和棱面体聚形的晶簇状石英（照片 1），贯穿双晶发育，长宽比不等。这种石英颗粒多形成于低温、低压、SiO₂ 饱和度很低的条件下（卓维牟，1981）。

另外通过对金矿化阶段形成的石英包裹体及锑矿化阶段的辉锑矿包裹体成分分析发现（表 2）：金是在弱酸性、弱氧化条件下

表 2 石英和辉锑矿包裹体成分分析表 (%)

Table 2 Analyses of inclusions in quartz and stibnite

样号	溶液 (ml)	矿物 类型	pH	Eh (mV)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	(10 ⁻⁶)				HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
										Au	Sb	As	Hg				
y002	50	石英	6.94	44.43	0.35	0.84	1.12	0.85	0.39	0.8	215	2000	10	6.03	0.021	0.31	12.26
y065	40	石英	6.70	58.63	0.57	0.23	25.73	0.31	0.31	0.6	370	1500	12	5.44	0.42	0.25	4.55
y059	50	辉锑矿	2.85	286.39	0.48	0.76	5.12	1.48	1.50	2.3	1200	30	17	—	0.48	0.37	259.67

南京大学地球科学系实验室测试

形成的, pH 值为 6.7~7, Eh 值为 44~59 mV; 而 Sb 矿化辉锑矿则是在强酸性、强氧化条件下形成的, pH 值为 2.85, Eh 值为 286.39 mV, 从溶液的物化特征上再次说明了它们矿化高峰期彼此分离的原因。

尽管我们发现 Au-As-Sb 元素组合中矿化元素经常共生, 但在本区由于作用因素多样, 矿化历史长, 再加上元素本身地球化学性质的差异, 使得各自的矿化高峰期相互分离, 这也是本区多期多阶段多元矿化的一个很重要的方面。

2 结论

随着我国对金矿资源的日益需求, 我们将逐步过渡为勘探一些低品位大储量的微细粒浸染型金矿。东至地区的金矿化作为此类金矿, 体现了一系列的独特性: 具有有利的地球化学屏蔽层; 沉积型浸染状黄铁矿具有较高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值; 含金矿石矿物具非稳定平衡性的特点如晶格金的大量出现, 主元素含量变化较大等; 矿化热液蚀变具有递进演化的特点以及成矿元素各矿化高峰期彼此分离的特点, 所有这些特点都体现了东至金矿化域中地质特点的复杂多样性。

最后感谢硕士论文导师徐克勤教授的耐心指导以及博士导师胡受奚教授、张基敏副教授的耐心指正。

参 考 文 献

- 1 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第一卷. 北京: 科学出版社, 1984. 129~185
- 2 胡受奚等. 矿床学, 上册. 北京: 地质出版社, 1981. 15~40
- 3 R W 博伊尔. 金的地球化学及金矿床. 马万钧, 王立文等译. 北京: 地质出版社, 1984. 310~439
- 4 Wu X, Delbove F, et al. Conditions of formation of gold-bearing arsenopyrite: a comparison of synthetic crystals with samples from Le Chatelet gold deposit, Creuse, France. *Mineral Deposita*, 1990, 25(suppl): 8~12
- 5 Yang Shutong, Hu Lunchi. The genesis of element assemblage variation in a linear subbasin-controlled gold deposit belt in South China. In: Ladeira E A ed. *Proceedings of the symposium Brasil Gold'91*, 1991, 179~181

THE PARTICULARITY OF GOLD MINERALIZATION IN DONGZHI AREA, SOUTHERN ANHUI

Yang Shutong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu Province)

Abstract

The Dongzhi gold district is a metallogenic province with special character, and this paper has enumerated some of its unique features: the interface between the carbo-silica argillaceous formation and the overlying calcio-argillaceous formation is a geochemical shielding layer conducive to gold mineralization; $\delta^{34}\text{S}$ values of sedimentary pyrite are extremely high, ranging from +12‰ to 23‰; some phenomena of nonsteady equilibrium are present in auriferous sulfides, such as the extensive existence of lattice gold and the remarkable variation in As content of single arsenopyrite crystals; ore-bearing hydrothermal alterations are characterized by progressive evolution, i.e. ore-bearing host rocks were replaced successively by beresitization varying gradually from lumpy to banded or even massive form; at the peak mineralization stage, the individual elements in Au-As-Sb association were separated out in order of As, Au and Sb. These characteristics serve as indicators and criteria in prospecting for gold deposits with low grade and large reserves.