# 应用数理统计方法研究玲珑、 焦家两种类型金矿床的成因

朱作山 任英忱

**提 要** 本文在论述"焦家式金矿"和"玲珑式"金矿床地质特征的基础上,进一步应用数理统计方法,对两种不同类型矿体的成矿元素和不同晶体形貌的黄铁矿特征进行对比。阐述了二者在空间 分布关系上是属同源成矿物质,并在相同地质构造作用下,由不同性质的构造断裂控制的结果。 关键词 金矿 数理统计 类型关系

在胶东招掖金矿带中分布有上百个大、中、小型金矿床和矿(化)点,基本上都产于玲珑混 合花岗岩和郭家岭花岗闪长岩体之中,矿床或矿体严格受其断裂构造的控制(图1)。目前就



说明:
1一三山岛金矿 2一仓上金矿
3一新城金矿 4一河西金矿
5一焦家金矿 6一望儿山金矿
7一龙埠金矿 8一前孙家金矿
9一金翅岭金矿 10一草沟头金矿
11一玲珑金矿 12一岭南金矿
13一尹格庄金矿 14一夏甸金矿
15一旧店金矿

图 1 招掖地区不同类型金矿床分布图

Fig. 1. Distribution of various types of gold ore deposits in Zhaoye area

区内矿床类型来看,大体上可以分为两种主要不同的矿床类型,其中一种是属于交代作用形成

的"焦家式"金矿床;而另一种则属于充填作用形成的"玲珑式"金矿床。前者通称为破碎带蚀 变岩型,后者称石英脉型。对于两种不同类型矿床产出的空间关系,前人从地质、构造方面做 了很多工作,提出两种不同认识:一种认为石英脉型金矿床出露标高较大,而蚀变岩型金矿产 出的标高较低,二者为垂直方向上下分带 (1)。另一种认为两种不同类型的金矿床,在空间分 布上并非属于上下过渡关系,而是由不同性质的构造断裂所控制 (2)。笔者在两类典型矿床不 同截面的元素、黄铁矿标型特征研究基础上,采用了数理统计方法对两种不同类型矿(床)体的 内部结构特征进行研究结果,也得出和后者相同看法。

一、两种类型矿体因子分析对比

#### 1、主成矿地质过程

在两种类型矿体元素方差极大旋转因子载荷矩阵(表 1、表 2)中,两矿床都表现出在成矿 过程中具有相同的四个成矿阶段,即含金黄铁矿——石英阶段;石英——含金黄铁矿阶段;硫 化物阶段和碳盐阶段。从公共因子方差中可以看出,在主成矿元素 Au、Ag 成矿过程中提取了 全部信息的近 90%。这就是说 Au 在成矿过程中几乎全部信息均被揭示出来。从而得出 Au 在成矿过程中的主要关联:

破碎带蚀变岩型金矿成矿关联(F<sub>2</sub>):Ag、Au、Sb、(As)、Se、Bi;

石英脉型金矿成矿关联(F<sub>1</sub>):Ag、Au、Co、As、(Se)、Bi。

从上述两种不同类型金矿床主要成矿过程中的关联可知, Au 在成矿过程中多以银金矿, 自然金的形式产出,其载体矿物为含 Au 黄铁矿为主, 而 Sb、Bi、Se 等元素,多以类质同象形式 存在于含 Au 黄铁矿中。两种不同类型矿体都具有相同的成矿过程,且皆以单一的含 Au 黄铁 矿成矿作用为主,局部迭加作用次之。

### 2、主成矿过程中元素组合空间变化

从图 2、3 表现出,两种不同类型矿体在不同截面标高上的样品和元素紧密聚集的变化趋势。破碎带蚀变岩型矿体从上至下元素变化:Sb、Ag、Au、Se、Bi→(As)、Ba、Mo→Zn、Mn、Co、Ni。与之相应的矿体上部以晶形简单的立方体黄铁矿{100}为主;矿体下部则以晶形复杂的立 方体与五角十二面聚形黄铁矿{100}+{210}为主。

石英脉型矿体从上至下元素变化: Ag、As、Au、Co、Bi  $\rightarrow$  (Sb)、Cu、Ni、Mo  $\rightarrow$  Zn、Mn、W。与 之对应的矿体上部以晶形简单的立方体黄铁矿 {100} 为主; 矿体下部则以立方体与五角十二面 体聚形黄铁矿 {100} + {210} 为主。

通过 13637 粒不同习性黄铁矿晶形统计,两类矿(床)体黄铁矿垂直分带序列基本一致(从 上至下):{100}→{100}+{111}→{210}→{100}+{210}。

上述对比表明,两种类型的矿体由上至下元素组合和黄铁矿晶体形貌的变化基本一致。 即矿体上部以晶形简单的立方体黄铁矿为主,且富含 As、Ag、Sb、Bi 低温型元素组合,代表了温 度梯度大(冷却速度快)硫过饱和度低的生成条件。矿体下部则以晶形复杂的立方体与五角十 二面体聚形黄铁矿为主,杂质元素以 Zn、Mn 为特征。代表了一种温度适中(黄铁矿形成最

#### 蚀变岩型金矿方差极大旋转因子载荷矩阵(23个样品)

表1

Table	1.	Load matrix o	of rotating	factors v	with	maximum	variance	for t	he gold	deposit	of a	aitered	type	(23	samples)
-------	----	---------------	-------------	-----------	------	---------	----------	-------	---------	---------	------	---------	------	-----	----------

因子元素	1,	2,	3,	4,	公共因子 方 差
Zn	0.8540	-0.1337	-0. 0912	0. 1801	0.798
Со	0.3195	-0.0700	0.7601	0. 0207	0. 685
Ni	0.6812	-0.3383	0. 1965	0.0629	0. 621
Mn	0.7726	-0.1685	0. 3495	-0. 0286	0.748
Sb	-0.1093	0. 8364	-0.2528	0. 0261	0.776
Bi	-0.1987	0.2556	0. 6983	-0. 4166	0.766
, Ag	-0.2524	0. 9046	0. 0287	-0.0826	0. 890
Au	-0.1795	0.8865	0. 2933	0.0115	0. 904
a`	-0.6743	0. 4414	-0.1069	0.3863	0.810
a – e *	0.6796	-0.3967	0.1316	-0. 2994	0.725
Рb	0.7494	0.0618	-0. 1775	0. 0735	0.602
Se	-0.5051	0.6174	0. 3854	0.0617	0. 789
Ba	-0. 2373	-0.4007	0. 2456	0.5515	0. 581
Мо	-0.1622 、	-0.1393	0. 2425	-0.8052	0. 753
方差贡献	5.4110	2.1349	1.7779	1. 1149	
累计百分比(%)	41.2827	57.571	71.350	- 74.560	

\* a:立方体黄铁矿 a-e立方体与五角十二面体聚形黄铁矿

÷

石英脉型金矿方差极大旋转因子载荷矩阵(29个样品)

表 2

Table 2. Load matrix of rotating factors with maximum vrariance for gold deposit of quartz-vein type (29 samples)

因子元素	1,	2,	3,	4,	公共因子 方 差
Au	0. 9836	0. 0693	-0.0783	-0.1064	0. 920
Ag	0.9484	0.1544	-0.0394	-0.0832	0.846
As	0.7672	0.6134	0. 1014	-0.3500	0. 731
Sb	0. 0334	0. 4558	0. 8235	-0.1301	0. 757
Bi	0.8357	-0.0302	-0. 2234	0. 0908	0.726
Cu	-0.0770	0. 0212	0. 8972	-0.0881	0. 793
Рь	0.1309	-0.0767	-0. 0266	0.7990	0.643
Zn	-0. 3004	0. 0811	-0.1197	0. 5939	0. 479
W	-0.1325	0.0410	-0.2110	-0.3852	0. 227
Мо	-0.0213	0. 9087	0. 2581	-0.1751	0.756
Mn	-0.3260	-0.6893	0. 4779	0.3475	0.721
Co	0. 8373	0. 4316	-0.1498	-0.4189	0.749
Ni	-0.3260	0.3688	0.0624	0. 7552	0. 498
方差贡献	3.855	1.940	1.718	1.331	
累计百分比(%)	39. 558	52.962	75.145	88.460	

佳温度),温度梯度小(冷却缓慢),硫过饱和度大的生成环境。两种类型矿体首尾截面的元素 结构和黄铁矿晶体形貌,没有发现相互衔接和重迭的现象,这就是说两种类型矿体不存在特定 的上下过渡关系,而是表现出二者平行存在。

3、矿体特征元素组合





十矿体上部截面样品 ×矿体中一上部截面样品 △矿体中一下部截面样品 \*矿体下部截面样品

Fig. 2 Coordinate plane of Factor 1 and Factor 2 of the corresponding analysis for the section of gold deposit of altered type



# 图 3 石英脉型金矿床矿体截面对应分析 前2因子座标平面图

×矿体上部截面样品 +矿体中-上部截面样品 △矿体中-下部截面样品 ○矿体下部截面样品 Fig、3 Coordinate plane of two factors before the corresponding analysis for the section of gold deposit of guartz-vein

section of gold deposit of guartz-veir

蚀变岩型矿体与主成矿元素 Au 呈正相关的元素组合[r(%)<sup>55</sup>) = 0.406]; Ag (0.8474)、Sb (0.7005)、Bi (0.461)、Se (0.7569)、立方体黄铁矿(0.4317)。

石英脉型矿体与主成矿元素 Au 呈正相关元素组合〔r(號<sup>∞</sup>) = 0.350〕; Ag (0.9074), As (0.6082), Bi (0.8177), Co (0.6483), 立方体黄铁矿(0.627)。

两种矿床特征元素组合基本一致。所不同之处石英脉型金矿床突出了 Co 与 Au 的相关 性,而蚀变岩型金矿床突出了 Sb 与 Au 的相关性。但在矿体围岩蚀变上,二者都发育有相同 的蚀变类型,主要为红化,硅化、绢英岩化和黄铁绢英岩化;并都形成相同的蚀变岩石,钾长石 化花岗岩、硅化花岗岩、绢英岩和黄铁绢英岩等,且只有相同的对称水平分带现象,从中心向两

侧为黄铁绢英岩、绢英岩、硅化花岗岩、钾化花岗岩。只是由于二者控矿构造不同,使其围岩蚀 变的规模相差悬殊。石英脉型的蚀变带宽几米至十几米;而蚀变岩型金矿床围岩蚀变可宽达 百余米。前者成矿属于开放式系统,以充填形式为主,多以新华夏系单一张性断裂控矿,脉的 两侧岩石比较完整,裂隙不发育;而后者多属半封闭系统成矿,以渗滤交代作用为主,多为纬向 构造体系与新华夏构造体系交叉复合部位控矿,围岩破碎裂隙发育。但二者蚀变类型实属一 致。

二、矿体元素分带及剥蚀深度评价



# 图 1 蚀变岩型金矿体地球化学元素组合垂直 分带模式

Fig. 4 Vertical zoning of geochemical elements combination in gold mineralization of altered type

(1)标型组合

矿体上部截面组合:Au、Ag、As、Sb、Bi和立方体黄铁矿{100}。

矿体下部截面组合:Zn、Mn和立方体与五角十二面体聚形黄铁矿{100}+{210}。

(2) 垒乘比

单独使用矿体上、下部截面元素组合来判断矿体的剥蚀程度,虽然在理论上是可行的.但 在很多情况下,由于采样代表性及由分析等方面引起的误差影响,可能使得结果出现不稳定。 因此,采用C、B格里戈良提出的"分带性指数"<sup>63</sup>代替不同截面元素组合,这就是常用的垒乘 比变量的分带性指数(Vn)。计算分带性指数时,样品中必须剔除单纯 Pb、Zn 矿化干扰。(Ag、 As、Sb、Bi、{100}\*) • 10/Zn、Mn • {100}+ {210}, {100}立方体黄铁矿出现率。 {100}+ {210} 立方体与五角十二面体聚形黄铁矿出现率。Ag、As、Sb、Bi、Zn、Mn 元素含量值。矿体上部截 面 Vn 值大于 1: 中部截面 Vn 值 1~0.5; 下部截面 Vn 值小于 0.5。

笔者据上述矿体分带性,建立了两种类型 矿体分带模式(图 4、图 5)。两种类型矿体元素 浓度梯度和不同形貌含金黄铁矿出现率都具有 明显相似的垂向分带结构规律性,这种分布规 律对于指导矿化露头的评价及进行远景预测都 具有实际意义。

当矿体处于不同的剥蚀深度时,在矿体地 球化学异常分带中,元素组合结构也往往显示 出一定的差异。当矿体具一定的埋深,受剥蚀 #希程度比较浅时,显示出矿体下部元素组合异常 强度比较低,而矿体上部元素组合异常强度较 高;当矿体被剥蚀较深时,下部元素组合异常强 度增高,而上部元素组合异常强度反而减弱。

综上所述,提出本区两种不同类型矿体剥 蚀程度、区分矿化和分散矿化地球化学异常、确 定矿体已开拓部位和远景评价的准则。



图 5 石英脉型金矿体地球化学元素组合垂直分带模式

Fig. 5 Vertical zoning of geochemicl elements combination in gold mineralization of guartz-rein type

## 3、回归模型

矿体不同截面标高(统一规格化) Z 与其对应的分带性指数 Vn 回归模型, r = 0.944。 Z = 0.115+0.207 · lgVn。矿体露头截面为头部时 Z 值大于 0; 矿体剥蚀中部时 Z 值近于 0; 矿体剥蚀到中部时 Z 值近于 0;当矿体已被剥蚀到尾部时 Z 值小于 0。

总括上述,可以说明两种不同类型的矿床,在成因上均属同源物质,在相同的地质构造作 用下,由于控矿的断裂构造性质不同而导致矿床类型的不同,两者为平行存在关系,而不是上 下过渡关系。

#### 参考文献

[1]范永香:"初论内生金属矿床矿区地质预测的主要途经",《地球科学》武汉地质学院学报,1984,第4期
 [2]吕古贤 孔庆存:"玲珑——焦家式金矿典型矿田构造研究"《地质科技通报》110(64),地矿部情报所,1987年

〔3〕赵鹏大:《矿床统计预测》,地质出版社,1983年

〔4〕朱章森等:"来利山锡矿原生晕分带性研究及矿化露头评价",《物化探计算技术》,1986,第8卷第3期,地 质矿产部地球物理化学勘查局

# A STUDY ON THE RELATIONSHIP OF LINGLONG-TYPE AND JIAOJIA-TYPE GOLD MINERALIZATION USING MATHEMATICAL STATISTICS

Zhu Zhuoshan Ren Yingchen

#### Abstract

A correlation study has been conducted on the spatial distribution relationship between Jiaojiatype and Linglong-type mineralizations in the Zhaoye gold zone using the mathematical statistics. It is believed that these two types of gold mineralization possess the same metallogenic process through the R-type factor analysis and corresponding analysis. The economic mineralizations are formed during a single metallogeic stage with dominant Au-bearing pyrite. In vertical change, the element assemblage is conformable, the upper part consists of Ag, As, Sb, Bi and cubicpyrite with simple crystal form  $\{100\}$ ; the lower part is characteric of Zn. Mn and prevailing condination pyrite with complicated crystal form  $\{100\} + \{210\}$ . The vertical zoning sequence of pyrite crystal is as follows (from upper to lower):  $\{100\} \rightarrow \{111\} \rightarrow \{100\} + \{111\} \rightarrow \{210\} \rightarrow \{100\} + \{210\}$ , Which shows the gradual changes from rapid cooling to slow cooling for the forming temperature and the change from low to high for the supersaturation of S. These two types of orebodies are parallel in occurrence. The difference in the type is ascribed to the fracture structure of different features, so the metallogenic materials should be cognate.