

人们对矿化强度的理解往往不同。有的以矿化的发育程度来衡量，更多的则是以品位高低来代替矿化强度的大小。然而实践证明，矿体（脉）较大者其品位可能很低，矿化强度未必大；矿体（脉）品位高者规模可能很小，矿化强度也可能很小。

这种矛盾的出现是因为概念模糊。“矿化强度”应指使有用矿物相对集中成矿的矿化作用的强弱程度^[1]。在矿床勘探中，通常用矿化强度指数来表示^[2]，并定义为：

$$K_u = \frac{\text{某一勘探水平（或矿体某矿段）平均品位}}{\text{整个矿体平均品位}}$$

上述概念和公式表明，矿化强度既不是指矿化的发育程度，也不是单指有用组分品位的高低。矿化强度是一个比值，只具有相对概念。进行比较的某矿段（或其他）的平均品位只有当每个样品所起的作用是等同的时候，才适于采用算术平均法计算。当品位与某些因素有函数关系时，则需用加权平均法计算。C. C. 依扎克松还提出了由于多次因素影响的高次加权平均中导出权的计算公式^[3]。

同样，多阶段成矿作用中的矿化强度，是指每一阶段的矿化在整个成矿过程中相对作用的大小，计算时也要考虑它们各自的产物在整个成矿作用中的代表性问题，而不能单纯根据某阶段品位的高低来确定。这是因为不同阶段的品位影响的范围或所起的作用是不等的。例如山东某金矿矿化晚阶段出现明金，但它很不发育，在整个矿化过程中所起的作用（代表权）很小，因此实际上它的矿化强度是很小的。

根据上述原理，并参照C. C. 依扎克松提出的有关导出权的意义，笔者提出在多阶段成矿中矿化强度的计算公式为：

$$K_i = P_i C_i / \sum_{i=1}^n P_i C_i$$

式中， K_i 为第 i 阶段的矿化强度； P_i 为第 i 阶段产物所占比例（权）； C_i 为第 i 阶段平均品位， $i = 1, 2, \dots, n$ ，为成矿阶段数。

对于非叠加矿化的多阶段成矿， P_i （权）可通过测量各阶段产物（矿体、矿脉等）的体积比或面积比或长度比直接计算出来。然而，对于多阶段叠加矿化而言，由于各阶段产物在空间上的叠加和混杂，其比例和品位都难于单独求得，需要根据概率论的原理通过筛分分析逐步分离出来。本文以山东某金矿为例，初步探讨了多阶段叠加成矿的矿化强度计算方法及其意义。

山东某金矿多阶段矿化特征

该金矿位于华北地洼区辽鲁地穹系山东洼隆西北部，含金石英脉矿床产于混合岩化花岗岩内的断裂裂隙中。成矿具有多阶段、以叠加方式为主的矿化特点。根据稳定矿物共生组合及其结构、构造特征，穿插、包裹及胶结关系和矿石中的银金比等数值差异，可将其内生矿化期划分为四个热液成矿阶段（表1）。

此外，含金石英脉矿床还经历了一个表生期，生成褐铁矿、斑铜矿、辉铜矿、孔雀石、铜蓝、自然金、自然铜等矿物。次生富集带一般分布于距地表20—100米范围内，其中含金品位可局部富集到3倍以上。

在上述矿化阶段中，除热液期第四阶段及表生期有少量自然金产出外，其余金多呈裂隙金、晶隙

山东某金矿床热液成矿阶段特征简表

表 1

成矿作用		矿物共生组合	结构构造特征	Ag-Au*	
序号	阶段			$\bar{X}$	$\sigma_{\bar{X}}$
I	黄铁矿—乳白色石英	石英、黄铁矿	自形晶粒状结构, 斑点状或斑杂状构造	0.5	0.124 ($N=7$)
II	灰白色石英—黄铁矿	黄铁矿、石英、黄铜矿、磁黄铁矿	半自形晶粒状结构, 脉状、网脉状及块状构造	1.68	0.46 ($N=16$)
III	多金属硫化物	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、石英	自形—半自形晶粒状结构, 块状, 斑杂状构造	5.0	3.34 ($N=10$)
IV	碳酸盐	方解石、石英、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金	自形晶粒状结构, 细脉状, 胶状构造		

* $\bar{X}$ 为平均值, $\sigma_{\bar{X}}$ 为均方差, N 为样品数。

金、包体金形式存在于黄铁矿中, 少量存在于黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等矿物中。黄铁矿为贯通性矿物, 但它在各阶段分布很不均匀。由于多阶段矿化在空间上部分叠加, 使取样观测所得金品位的统计数据呈现多峰混合分布特征。这种多峰型混合分布, 是由二次以上不同的成矿作用随时间的推演, 先后发生且在空间上不充分的混合所造成的^[4]。

金品位混合总体的筛分 及矿化强度的计算

1. 金品位混合总体的逐步筛分分析 金矿

矿床 108 脉金品位数据统计表

表 2

品位分组	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~32	32~36	36~40	40~44	>44
分组频数	70	43	19	12	15	6	3	5	3	3	2	1
分组频率	37.85	23.24	10.27	6.49	8.11	3.24	1.62	2.7	1.62	1.62	1.08	2.16
累计频率	100	62.15	38.91	28.64	22.15	14.04	10.80	9.18	6.48	4.86	3.24	2.16

矿床 55 脉金品位数据统计表

表 3

品位分组	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~32	32~36	36~40	40~44	>44
分组频数	67	24	18	14	20	10	2	5	3	1	1	3
分组频率	39.88	14.29	10.71	8.32	11.91	5.95	1.19	2.98	1.79	0.6	0.6	1.79
累计频率	100	62.12	45.83	35.12	26.8	14.89	8.95	7.76	4.78	2.99	2.39	1.79

在累计正态概率纸上, 用上述金品位数据作图, 同样显示了多总体混合分布特征(图 2)。A. J. 辛克莱认为, 这种用于矿床勘探数据的概率

田内分布着 200 多条含金矿脉, 其中 108 脉和 55 脉为两条主脉, 延长均达数千米, 采深已达 300 多米, 对六个开采中段的穿脉(间距 25 米左右)中的矿体取样品位数据进行统计, 结果见表 2、表 3。

根据表 2、表 3 中的统计数据, 作金品位密度分布曲线, 均呈现了三峰正不对称分布特征。各峰之间均有部分重叠, 曲线尾部还显示一个不完全的峰值, 反映至少有四个阶段的矿化在矿床中部分叠加(图 1)。

图, 最重要的用途是辨识数据集总体的个数, 并且将每个值通过部分或完全筛分而归属于各自的分组或总体^[5]。

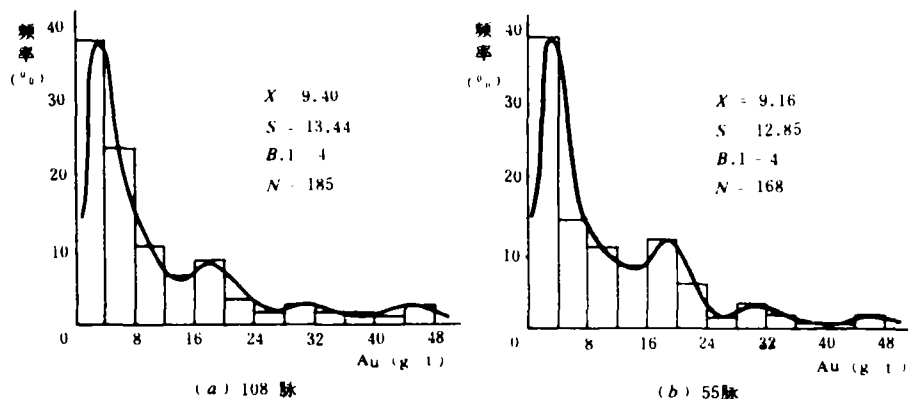


图1 某金矿108脉及55脉金品位密度分布的直方图及曲线图

$\bar{X}$ 为均值; S 为标准差; $B \cdot 1$ 为组距; N 为样品数量

对该矿床金品位多峰混合总体的筛分过程,是在假定为双峰分布的基础上找出第一个拐点,它所处的百分位数确定了上、下两总体的相对比例。然后,对联合总体曲线上、下部的各点,分别按100%的全概率范围重新作图,先确定一个单一总体和一个混合总体,然后对余下的混合总体的累计概率曲线再进行第二次筛分,依此类推,直到完全筛分而将它们归属于各自的单一总体为止。

在上述统计及筛分过程中应注意两点:

(1) 分组组距的确定: 肖威(Shau, 1964)认为, 组距最好选择在数据标准差的 $1/4 \sim 1/2$ 之间。据此, 我们统计了108脉185个刻槽样

金平均品位为9.40, 标准差为13.44; 55脉168个刻槽样金品位平均值为9.16, 标准差为12.85。考虑肖威的意见并结合矿床工业品位与边界品位的中界值, 我们取标准差的 $1/3$, 并以四舍五入, 以4为组距分组统计金品位分布密度及累计概率。

(2) 筛分拐点的选择: 曲线拐点的选择需进行检验并反复调试, 应用公式 $P(A+B+C+D) = P_A f_A + P_B f_B + P_C f_C + P_D f_D$, 将筛分后的四个总体在不同的纵坐标水平上重新联合。对金矿55脉和108脉若干筛分检验点重新联合的结合, 基本与实际曲线吻合(图2)

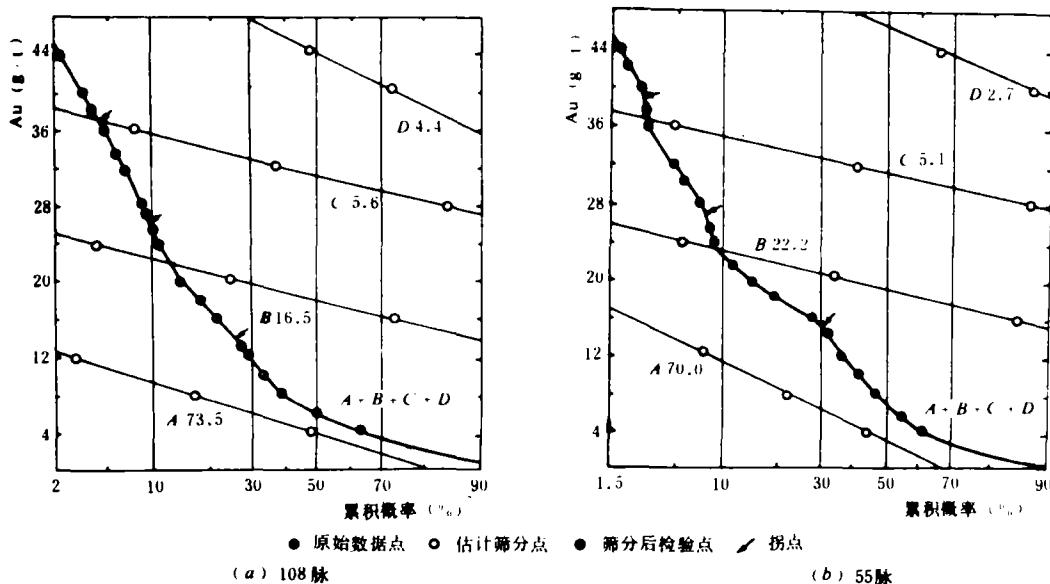


图2 某矿床108脉和55脉金品位的筛分概率图

筛分所得各成分总体参数表 表 4

矿脉 编号	比例 (%)				估计均值 (g/t)				估计标准差 (g/t)			
	P_a	P_b	P_c	P_d	C_a	C_b	C_c	C_d	S_a	S_b	S_c	S_d
108	73.5	16.5	5.6	4.4	3.8	18.2	31.2	44.0	4.5	3.4	3.3	6.4
55	70.0	22.2	5.1	2.7	3.2	19.0	31.2	46.4	6.3	3.1	2.9	5.6

将以上四个成分总体的参数与四个热液矿化阶段（以及表生期次生富集带）的分布、品位等地质特征相比较，可判属总体 A、B、C 分别与热液成矿第一、二、三级段相对应，总体 D 则以表生富集带产物为主并混有热液第四阶段产物，因而它实际上还是一个混合总体，但由于筛分到末尾数据减少，无法进一步分开。A. J. 辛克莱研究了多种类型矿床勘探数据的统计结果后认为，除少数特殊情况外，成功地处理四个总体大约是最高限度了。

上述成分总体与矿化阶段各相对应的主要依据如下：

(1) 实际观察四个热液矿化阶段，第一阶段乳白色石英脉沿控矿断裂呈舒缓波状产出，发育普遍，品位较低，一般难于单独形成工业矿体，最多只能形成一些贫矿；第二阶段灰白色石英—黄铁矿脉只发育于断裂弯曲、产状变化地段，呈脉、细脉叠加或穿插在乳白色石英脉内，或充填在石英脉晶洞中。凡有第二阶段矿化叠加地段，一般都能形成较好的工业矿体；第三阶段的多金属硫化物多呈斑杂状或团块状，分布在断裂分支复合等部位，与第一、二阶段产物叠加形成富矿包；第四阶段产物分布更为局限，条件有利时在方解石细脉中可出现粒状或树枝状自然金集合体，或含金很高的粉末状、胶状黄铁矿条带。总的来说，矿化发育程度随阶段演化而减弱，金品位则有逐渐增高的趋势。这些特点与筛分后的四个总体的参数特征是相符的（图 3）。观察提供了定性的概念，而计算则提供了定量依据。

(2) 我们在各阶段产物局部集中地段取样，分析资料表明：第一阶段产物中金品位一般为 $0. n \text{ g/t} \sim n \text{ g/t}$ ，变化范围较大；第二阶段金平均品位为 14.6 g/t （据 15 个样品统计）；第三阶段金平均品位约为 25.6 g/t （据 10 个样品统计）；

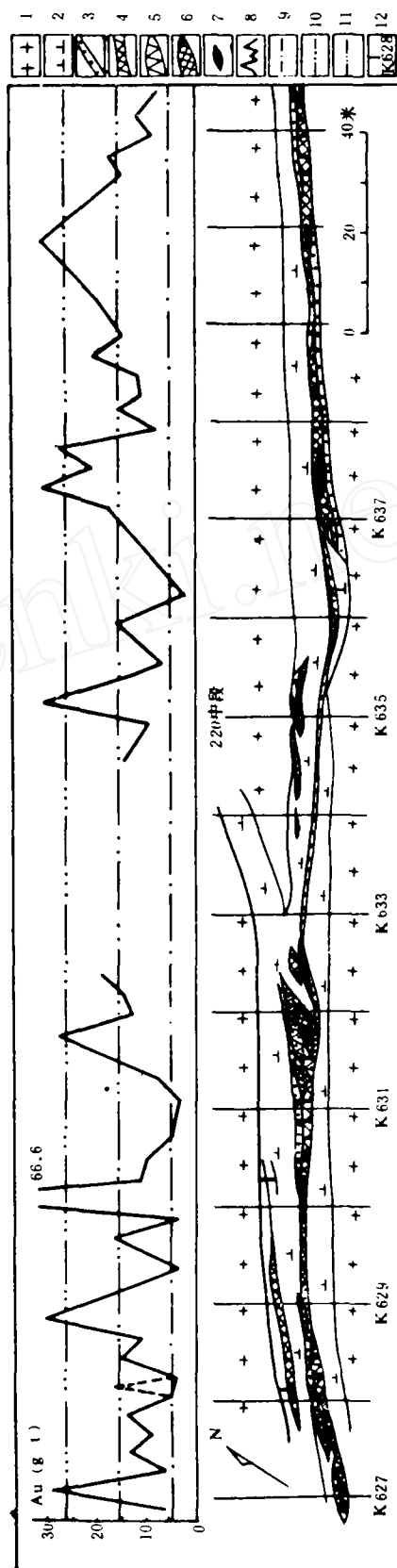


图 3 108 脉 11' 矿体多阶段叠加矿化及金品位分布图
1—混合花岗岩；2—闪长（粉）岩脉；3—控矿断裂；4—第一阶段石英脉；5—第二阶段石英脉；6—第三阶段石英脉；7—第三阶段多金属硫化物；8—金品位变化曲线；9—第一阶段金品位；10—第二阶段金品位；11—第三阶段金品位；12—勘探线及编号

表生富集带品位可达40~60g/t, 最高达几百g/t。由上可见, 虽然由于叠加矿化, 使热液第二、三阶段产物受到分布最广、品位最低的第一阶段产物的混杂, 其取样分析品位比筛分所得单一总体均值略低, 但两者还是一一对应的。

2. 矿化强度的计算及其意义

将以上逐步筛分所得各成分总体(对应各矿化阶段)的有关参数, 代入本文所提出的矿化强度的计算公式

$$K_i = \frac{P_i C_i}{\sum_{i=1}^n P_i C_i} \text{ 中, 得出该金矿108脉和55脉各阶段矿化强度如下(表5)}$$

108脉及55脉各阶段矿化强度表

表5

成矿活动		比例 $P(\%)$		均值 $C(g/t)$		$P_i \times C_i$		矿化强度 K_i		备注
期	阶段	108脉	55脉	108脉	55脉	108脉	55脉	108脉	55脉	
热液期	I	73.5	70.0	3.8	3.2	279	224	0.29	0.21	以表生期产物为主
	II	16.5	22.2	18.2	19.0	300	422	0.32	0.45	
	III	5.6	5.1	31.2	31.2	175	159	0.18	0.17	
	IV	4.4	2.7	44.0	46.4	194	125	0.21	0.14	
表生期										
总计		100	100	9.48	9.30	948	930	1.0	1.0	

由表5可见, 无论是108脉还是55脉, 均以热液第二阶段矿化强度最大。第一阶段所占比例(权)虽达70%以上, 但因品位低, 矿化强度反而次之, 由于石英脉分布广因而金成分分散矿化。实际上该金矿有许多石英脉, 都是由于第二、三阶段矿化不发育而工业意义很小。一些规模较大的主脉(如108脉和55脉)在平、剖面上出现矿化减弱带或无矿地段, 也是这些地段在控矿断裂脉

活动活动时, 由于活动性质的差异, 不利于第二、三阶段成矿所致。

对矿脉内不同标高矿体的各阶段矿化强度进行比较, 可进一步查明矿化富集规律。现以108脉中较富的9[#]、11[#]两矿体为例, 进行品位统计(9[#]矿体225个刻槽样品, 11[#]矿体180个刻槽样品)和筛分分析, 并计算其矿化强度, 结果如下(见表4, 累计概率图省略)。

108脉9[#]、11[#]矿体各阶段矿化强度表

表6

成矿活动		比例 $P(\%)$		均值 $C(g/t)$		$P_i \times C_i$		矿化强度 K_i	
期	阶段	9 [#]	11 [#]	9 [#]	11 [#]	9 [#]	11 [#]	9 [#]	11 [#]
热液期	I	46.0	50.0	8.3	1.9	382	215	0.18	0.17
	II	30.2	26.0	21.2	15.6	641	406	0.31	0.28
	III	14.6	17.8	33.8	26.5	494	470	0.24	0.33
	IV	9.2	6.2	61.4	50.8	562	317	0.27	0.22
表生期									
累积		100	100	20.8	14.4	2079	1438	1.0	1.0

由表6可见, 108脉中的9[#]、11[#]矿体虽然均为矿脉中的富矿体, 但富集因素有所差异。9[#]矿体靠近地表, 其中除热液第二阶段矿化强度仍为最大外, 表生富集(加热液第四阶段)的矿化强度跃居第二, 反映了表生作用的影响及次生富集带的发育水平; 而矿脉下部的11[#]矿体,

热液第三阶段的多金属硫化物广泛叠加在第二阶段黄铁矿脉中(图3), 经计算其第三阶段的矿化强度超过第二阶段而跃居第一, 这种现象又与矿床中的逆向分带相吻合。

总之, 通过对某金矿两条主脉的矿化强度计算并结合地质观察, 在矿化富集规律等方面可获

得一些定量的、更为确切的认识:

(1) 在热液期四个矿化阶段中, 矿化强度最大者既不是分布最广的第一阶段贫金石英脉, 也不是金品位较高的第四阶段, 而是第二阶段黄铁石英脉。实践证明, 凡有第二阶段矿化叠加地段, 均能形成较好的工业矿体, 在有第二、三阶段矿化叠加部位, 则常形成富矿柱; 相反缺乏第二、三阶段矿化叠加的地段, 常形成矿化减弱带或无矿地段。

(2) 各阶段矿化特点是: 第一阶段为分散矿化(矿化发育程度较大但有用组分分布太散), 第二阶段为分段集中矿化, 第三阶段为局部集中矿化。

(3) 矿脉中富矿体总的矿化特征是热液第一阶段矿化强度相对减弱, 第二、三、四阶段矿化强度相对增强。但比较而言, 矿脉上部(340米标高以上)表生富集因素的影响较大, 而矿脉下部(230~220米标高以下)热液第三阶段的矿化强度增强。前者反映了表生富集带的发育水平和影响, 后者反映了热液矿化的逆向分带特征。

根据上述规律, 我们认为查明第二、三阶段矿化叠加地段, 是矿床深部预测的关键。我们曾结合控矿断裂特征(形态上的舒缓波状和产状上的陡缓变化等)及成矿各阶段断裂脉动活动的性质, 预测在矿床深部矿化减弱带下面还有有利于第二阶段矿液充填的另一矿化富集带出现。这个观点正在得到实践证实。

结 论

(1) 多阶段成矿作用中的矿化强度, 是指每一阶段矿化在整个成矿过程中相对作用的大小, 计算时要考虑它们各自的品位在整个成矿作

用中的代表权, 而不能单纯根据各阶段品位的高低来衡量。

(2) 采用筛分分析从多总体联合的概率分布中区别出单一总体的方法, 前人早有论述。本文在于利用筛分所得各成分总体的有关参数, 结合地质实际提出了多阶段叠加成矿的矿化强度计算公式, 并认为它对于非叠加的多阶段成矿的矿化强度计算仍然适用。

(3) 根据本文提出的计算公式和方法, 可以定量地比较矿床中各阶段矿化强度的相对大小, 有助于确定成矿期或成矿阶段的主次及其矿化特点, 查明不同地段矿化强度的差异及矿化局部富集规律, 如结合各期、次控矿构造活动性质分析, 可对矿区深部盲矿体(段)的预测起一定的指导作用。

(4) 严格地说, 概率图的使用尚属一种半定量性质, 但它具有简便易行的优点, 并能引导地质观察由定性向定量发展。

工作期间, 得到武汉地质学院赵鹏大、卢作祥、范永香、胡旺亮及某金矿孔庆存、宫润潭等同志热情帮助, 在此表示感谢!

主要参考文献

- 1 袁见齐等, 矿床学, 地质出版社, 1979
- 2 北京地质学院等, 找矿勘探地质学, 中国工业出版社, 1964
- 3 长春地质学院矿床勘探教研室, 矿床勘探, 地质出版社, 1979
- (1) 赵鹏大等, 矿床统计预测(武汉地质学院教材), 1981
- (5) A·L·辛克莱(赵鹏大等译), 概率图在矿床勘探中的应用, 地质出版社, 1981

剖面对比的移动相关分析

南京大学地质系 武耀诚

剖面对比是地质工作的基本方法之一, 它包括的内容十分广泛, 诸如地层剖面对比, 勘探线钻孔柱状图的对比以及坑硐工程中系统采样的对

比等。只有在正确对比的基础上, 才有可能探讨沉积作用、古地理、构造运动, 或圈定矿体, 编连地质界线, 从而总结区域地质和成矿规律。