

山东乳山金青顶金矿床的 品位分布特征及其成矿作用

付 栋

(山东冶金地质勘探公司)

提 要 本文通过对山东乳山金矿床Ⅱ号主矿体参加储量计算的 34 个钻孔和三个中段的 278 个样品的金品位进行了统计分析,探讨了金品位的空间分布特征与成矿作用的联系和特高品位的处理问题。据分析统计的结果,显示出该矿体具有对数正态分布和双峰频率分布的特征。因此,可以推断该矿床为两期以上矿化叠加的结果。为了消除储量计算中金品位非正态分布的影响。作者亦提出了对特高品位的处理方案。

关键词 金品位统计 正态分布 频率 叠加作用

地质学中通常遇到许多连续型变量都接近正态分布或对数正态分布。不同成因的地质体,其数据统计分布特征不同,据此,我们可通过数据统计分布特征进一步研究地质体的成因特点^[1]。

国内外已有许多金矿区证实,金品位符合对数正态分布。本文通过对山东乳山金青顶金矿床Ⅱ号矿体样品金品位统计分布特征的研究,探讨了金青顶金矿床的成矿作用与金品位分布的联系、高品位样品的概念及有关特高品位处理的若干问题。

一、研究区地质特征概述

金青顶金矿床位于胶东隆起东部,为一大型石英脉型金矿床。区内地质情况较简单,矿床位于混合花岗岩带中,混合岩化程度较高,太古界一下元古界胶东群是本区最发育的地区,主要分布在西部,其次为第四系。

区内仅见有胶东群底部的蓬奇组和中部民山组,主要为一套角闪岩相变质岩,地层走向北东,倾向南东,倾角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。矿床内仅于局部地段见到一些残留体。区内广泛发育有花岗岩和多种脉岩。(图 1)

(一)、花岗岩类及脉岩

区内花岗岩类可划分为混合花岗岩和二长花岗岩,前者为混合岩化作用形成的,后者为岩浆侵入形成的。

昆嵛山混合花岗岩是本区混合杂岩体的主体,以中粒为主,有时为中粗粒,普遍发育有条

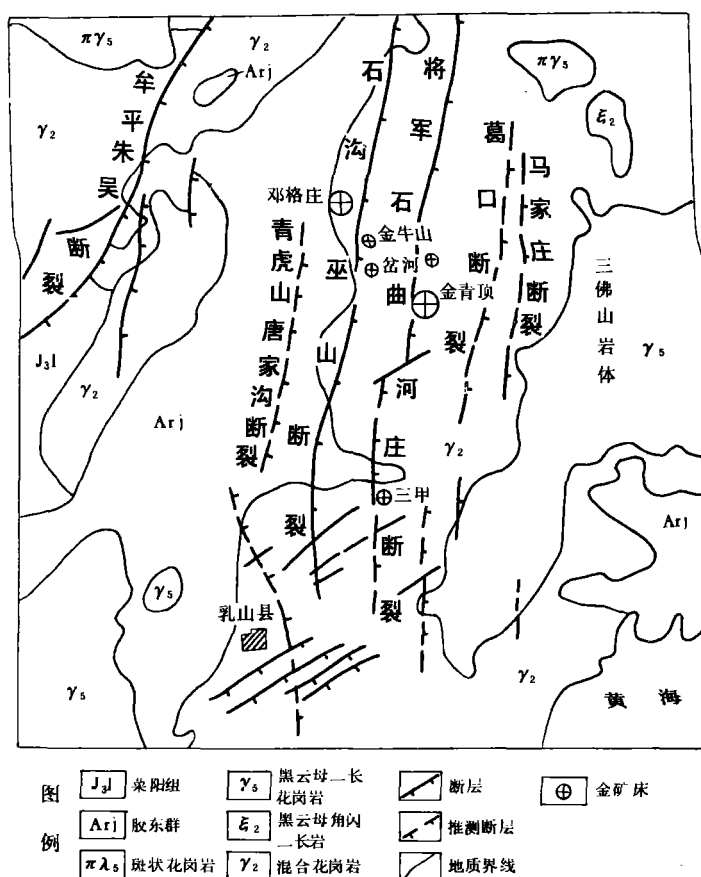


图1 金青顶金矿床区域地质略图

Fig. 1 Sketched geological map of Jin Qingding Au-deposit

(二)、构造

区内构造变动强烈,断裂构造发育,北北东向断裂纵贯全区,为区内主要控矿构造,断裂长达40km、宽1~20m不等,走向5°~25°,倾向南东,倾角75°~90°。(图1)

上述断裂具有如下特点:

- 1、断裂多呈断续出现;
- 2、断裂具多期活动,呈复性结构面;
- 3、各断裂近于平行排列;
- 4、主裂面在走向和倾向上均呈舒缓波状;
- 5、由于石英脉抗风化,在地貌上断裂带常呈脊状高于两侧。

除上述北北东向断裂外,区内尚有北北西、北北东及北东向断裂,但均不及北北东向断裂

纹长石。造岩矿物主要为石英、微斜长石、钠更长石,次要为黑云母,偶见普通角闪石。副矿物主要有磁铁矿、锆石、榍石、磷灰石等。地质年龄为134Ma,为中生代燕山期早白垩纪的产物。

混合花岗岩出露广泛,是区内金矿的主要围岩,与胶东群地层没有明显界线,呈渐变过渡关系,但也有呈侵入接触的关系。混合花岗岩与其他混合岩类混杂伴生,岩体中围岩残留体多已混合岩化。

二长花岗岩是三佛山岩体的主要岩石类型,分布于区内的东南部,呈岩基产出,侵入本区混合杂岩体中,与崑崙山混合花岗岩呈侵入接触,基本上呈北北东—北东向展布,形成于中生代燕山中晚期。岩石呈灰白色,中粗粒结构、块状构造。主要造岩矿物为正长石、钠长石、石英及少量黑云母等,副矿物有磁铁矿、褐帘石等。

区内脉岩较发育,主要有煌斑岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩、混合伟晶岩及石英脉等。脉岩规模较小,倾角一般较陡,是一种脉状侵入体。与金矿有关的主要为闪斜煌斑岩和云煌岩。

规模大,含矿性也欠佳。

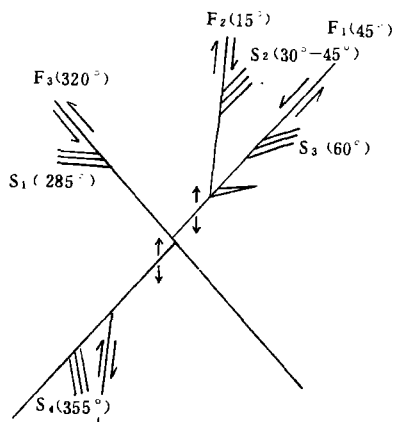
金青顶金矿床位于将军石—曲河庄断裂中,断裂纵贯矿区,断裂走向在地表和垂向不同水平部位有较大的变化,变化范围 $5^{\circ} \sim 50^{\circ}$,倾向南东,倾角 $77^{\circ} \sim 90^{\circ}$,局部有反倾现象。断裂沿走向及倾向呈舒缓波状,局部地段急剧转折或有分枝复合现象,主断裂旁侧发育有平行的次级断裂,断裂内赋存有不连续的含金黄铁石英脉,局部地段还有晚期的煌斑岩脉充填。

根据断裂性质和节理统计可初步确定矿床内有三期断裂活动(图2):

第Ⅰ期(成矿前期断裂 F_1):走向 45° 左右,倾向北西或南东,倾角 $80^{\circ} \sim 86^{\circ}$,断裂规模较小,并为后期成矿断裂所改造。延伸达百余米,宽 $1 \sim 3\text{m}$,切割较深,属压扭性左行断裂。

第Ⅱ期(成矿期断裂 F_2):走向 15° 左右,倾向南东,倾角 $77^{\circ} \sim 90^{\circ}$,规模较大,属压扭性右行断裂,伴生有一组剪节理,沿垂深局部地段迁就、利用和改造了早期断裂 F_1 ,断裂复合处发生拉张作用,形成了张开扩容的有利成矿空间,该断裂与成矿热液活动关系密切。

第Ⅲ期(成矿后断裂 F_3):走向 330° 左右,倾向北东,倾角 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$,断裂长 600m 左右,宽 $0.2 \sim 1.5\text{m}$,对矿体有错动,上盘相对斜落,属左行张扭性断裂,同时伴生有一组密集的剪节理。



F—主断层 S—伴生剪节理 T—伴生张节理

图2 断层与节理配套示意图

Fig. 2 Sketch of faults and their related joints

(三)、成矿作用

金青顶金矿床矿体主要受将军石—曲河庄断裂控制,根据矿石结构、构造、矿物共生组合及其相互穿切关系,该矿床的成矿作用大致可分为两期:早期为石英—黄铁矿期,主要金属矿物组合有自然金—银金矿—黄铁矿;晚期为石英—多金属硫化物期,主要金属矿物组合有自然金—碲金矿—银金矿—黄铁矿—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿—菱铁矿。晚期石英—多金属硫化物期为主要成矿阶段,其叠加于早期石英—黄铁矿期之上。该矿床早期成矿热液可能与崑崙山混合花岗岩热液有关,后期成矿可能与三佛山二长花岗岩热液有关。

金青顶金矿床有一个主矿体和十余个小矿体,Ⅱ号矿体为该矿床的主要矿体,其储量占该矿床总储量的90%以上,以较规则单脉产出,呈似板状,向北北东侧伏,延深达700m以上,沿走向和倾向矿化连续,金矿品位变化较大(表1),采样所见最高品位达 242.38g/t ,一般为 $1 \sim 50\text{g/t}$,该品位范围的样品占样品总数的90%以上

Ⅱ号矿体主要勘探线上金的平均品位及品位变异系数

表 1

Table 1 Average grade and coefficient of grade variation

线号	10	12	13	15	17
平均品位(g/t)	23.96	14.57	29.90	24.75	31.12
变异系数(%)	145	162	156	155	99

Ⅱ号矿体沿走向以 10 线、13 线、15 线及 17 线矿化强度为最强,沿垂深以 -115m、-350m、及 -500m 标高的矿化强度为最强(图 3)。在样品金品位分析数据的空间分布的研究中可明显地显示出从 10 线 -60 米至 -360m 标高、沿矿体侧伏方向向 15~17 线 -440m 至 -530m 标高的范围内有一个连续的高品位样品区域(图 3),剖面对应也很完整连续。这部分样品来自矿脉的含金黄铁矿的核心部位上,它反映了矿化阶段的成矿有利条件形成的客观现实,它处于断裂复合处发生拉张作用部位的中心地带,在成矿热液活动过程中,金和其他金属元素相对富集和沉淀。

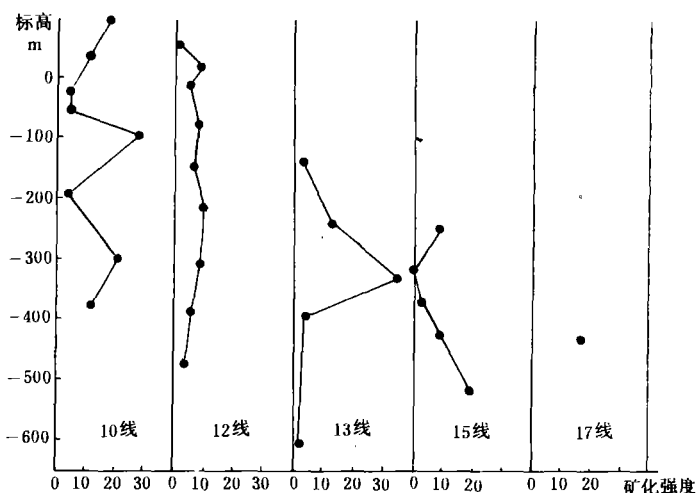


图 3 Ⅱ号矿体金矿化强度指数变化图

Fig. 3 Variation of mineralization coefficient for II ore body

二、矿体样品金品位统计分布特征

本文以金青顶金矿床Ⅱ号矿体为目标总体,对参加储量计算的 34 个钻孔和三个中段的 278 个地质样品的金分析结果进行了统计分析。考虑到样品水平厚度差别的影响,故对每个地质样品的水平厚度按 0.1m 的间隔进行分解,总计得到 1207 个分解数据。

按 10g/t 的分组间隔,将Ⅱ号矿体的全部分解数据共分为 25 个组。图 4 为做出的频率分布直方图。由图可见该矿体样品金品位的统计分布呈对数正态分布。

将数据进行自然对数变换($\mu = \ln(X+1)$, X 为品位值)后,做频率分布直方图(图 5)。频率分布直方图呈现明显地双峰,说明该矿体样品金品位的统计分布为一混合分布,并可推断该矿床为多期地质成矿作用叠加的结果。

累积概率图线也证实了这一结论^[2]。金青顶金矿床Ⅱ号矿体样品金品位的对数变换数据的累积概率图线在概率格纸上表现为一条有明显拐点的曲线(图 6),说明从目标总体中取得的抽样总体为两个个别总体的混合。

根据 A. B. 维斯捷利乌斯提出的常变异系数的理论,在一个地区取样,可能得到一组代表

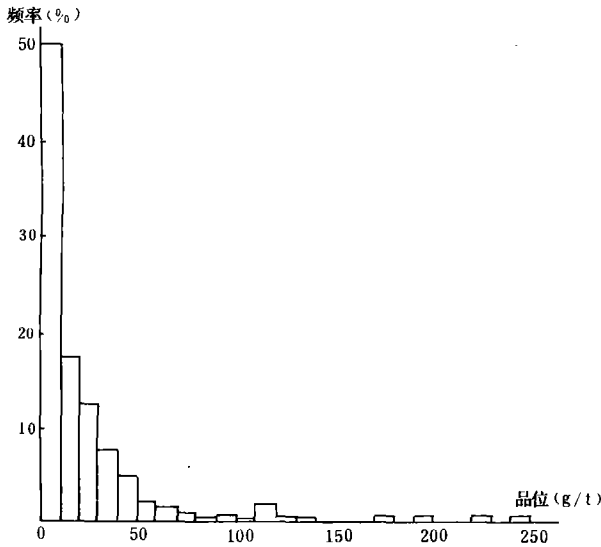


图 4 II 号矿体样品金品位频率分布直方图

Fig. 4 Histogram of Au grade distribution frequency of II ore body

可以确定总体 A 和 B 在混合分布中所占的比例的分界点。由图 6 可确定

$$R_A \approx 33\% \quad R_B \approx 67\%$$

对混合分布总体进行筛分后,计算得 A 总体样品金品位的几何平均值为 2.25g/t,样品金品位对数值的无偏均方差为 0.6916; B 总体样品金品位的几何平均值为 19.17g/t,金品位对数值的无偏均方差为 0.8911。

A、B 两总体的概率密度函数分别为:

$$f_A(u) = \frac{1}{0.6916 \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-1.2093}{0.6916}\right)^2\right\}$$

$$f_B(u) = \frac{1}{0.8911 \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-3.0040}{0.8911}\right)^2\right\}$$

对筛分总体的进一步研究可发现, 3g/t 以下的样品主要是来自总体 A。在 A 总体中, 金以自然金和银金矿赋存于黄铁矿、石英晶体晶隙中, 但富集程度较低, 属早期矿化(石英—黄铁矿期)的产物, 样品金品位一般在 0~12.36g/t 之间, 个别较高品位的样品已被晚期矿化所改造和掩盖。金品位在 3g/t 以上的样品, 在该矿化期中约占

同一地质过程不同阶段和产物的数据。即抽样总体是多个个别总体的混合, 所以可以推断目标总体是由两期地质矿化阶段和产物的数据混合组成的混合总体^[3]。混合分布总体累积概率与组成它的各单一分布总体累积概率的关系为:

$$P_{A+B} = R_A P_A + R_B P_B$$

其中: P_{A+B} 为混合分布总体累积概率;

P_A 、 P_B 分别为 A、B 两总体的累积概率;

R_A 、 R_B 分别代表 A、B 两总体在混合分布总体中占的百分数, 且 $R_A + R_B = 1$ 。

由累积概率曲线上的拐点,

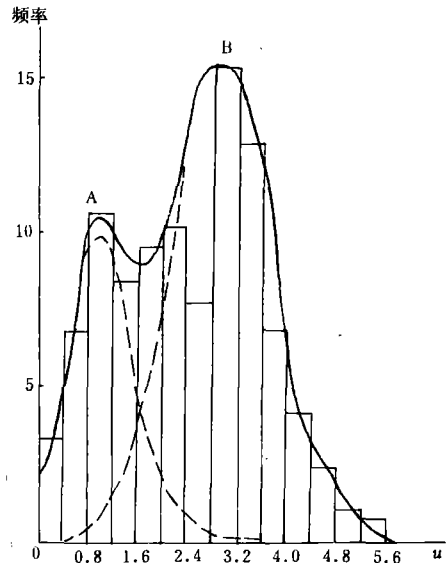


图 5 II 号矿体样品金品位对数频率分布直方图

Fig. 5 Histogram of Au grade Log distribution frequency in II ore body

30.37%，该期矿化提供的金资源量只占矿床金资源总量的 27.44%。

II 号矿体样品品位的频数分布

表 2

Table 2 Distribution frequency of Au—grade

分组区间		混合总体		B 总体		A 总体	
品位值(g/t)	对数变换值	频数	累积频率(%)	频数	累积频率(%)	频数	累积频率(%)
180.27~269.43	5.2~5.6	9	0.75	9	1.12		
120.51~180.27	4.8~5.2	11	1.66	11	2.49		
80.45~120.51	4.4~4.8	29	4.06	29	6.11		
53.60~80.45	4.0~4.4	51	8.29	51	12.47		
35.60~53.60	3.6~4.0	88	15.58	87	23.32	1	0.25
23.53~35.60	3.2~3.6	149	27.92	144	41.27	5	1.48
15.44~23.53	2.8~3.2	185	43.25	171	62.59	14	4.94
10.02~15.44	2.4~2.8	93	50.95	88	73.57	5	6.17
6.39~10.02	2.0~2.4	122	61.06	104	86.53	18	10.62
3.95~6.39	1.6~2.0	116	70.67	70	95.26	46	21.98
2.32~3.95	1.2~1.6	102	79.12	25	98.38	77	40.99
1.23~2.32	0.8~1.2	129	89.81	10	99.63	119	70.37
0.49~1.23	0.4~0.8	83	96.69	3	100	80	90.12
0~0.49	0.~0.4	40	100			40	100

金品位在 5g/t 以上的样品主要是取自总体 B。在 B 总体中，金以自然金、碲金矿及银金矿赋存于黄铁矿、黄铜矿、石英及其它脉石矿物晶隙、裂隙中，富集程度高，属晚期矿化（石英—多金属硫化物期）的产物。样品金品位一般在 2.39~118.85g/t 之间，区内已见最高品位为 242.38g/t，金品位在 3g/t 以上的样品在该总体中占 96.63%，该期矿化提供的金资源量占矿床金资源总量的 72.56%。

呈对数正态分布的数据，实际上是经过多阶段地质过程演化的结果。在多阶段的地质过程演化中，每次变化都是按它前一数值的某函数的比例来进行的，则最终数值将取对数正态分布。金青顶金矿床样品金品位的统计分布特征，表征了该矿床的矿化阶段分为两期，而且晚期矿化是在早期矿化的基础上，在有利部位形成较高程度的富集，为本矿区主要的成矿期，这与石英包体均化温度测试结果得出的结论也是吻合的。^{〔4〕}（图 7）

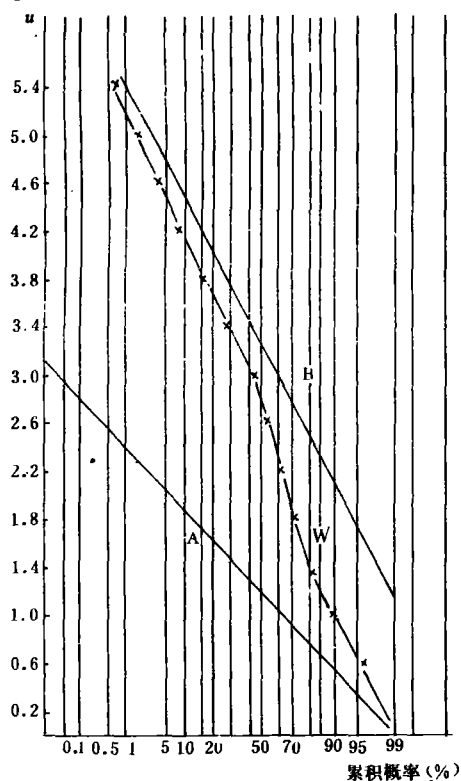


图6 金品位混合总体筛分结果图

A、B 筛分出的单一总体累积概率分布曲线
W 混合分布总体累积概率理论分布曲线
× 混合分布总体累积概率实测值

Fig. 6 Results of screening mixed Au -- grade population

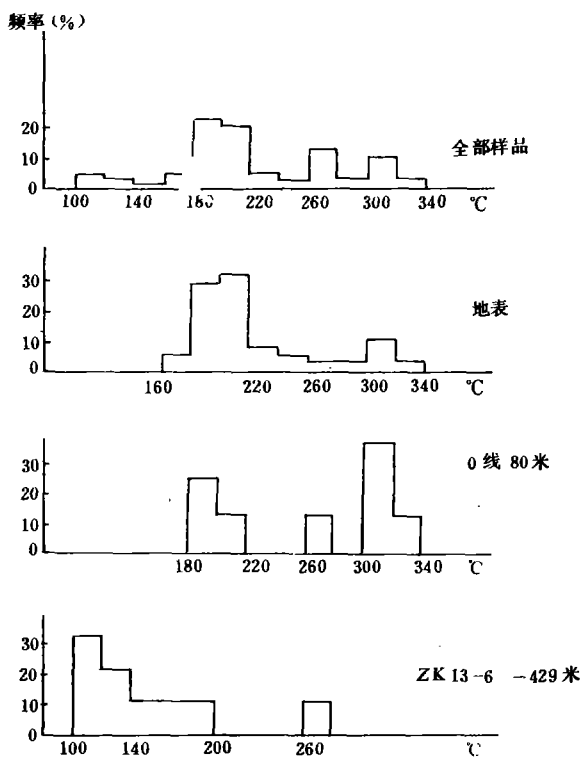


图7 金青顶金矿床石英包体均化温度频率分布直方图

Fig. 7 Distribution frequency histogram of homogeneous temperature of quartz inclusion

A、B 总体分布参数与置信区间计算表

表 3

Table 3 Calculation of A、B population and confident interval

总 体	A	B
n (样本容量)	405	802
$\bar{u}$ (样本均值)	1.2093	3.0040
σ (样本无偏均方差)	0.6916	0.8911
$\bar{u} - 2\sigma$	-0.1739	1.2218
$\bar{u} + 2\sigma$	2.5925	4.7862
$\bar{u} + 3\sigma$	3.2841	5.6773
$(e^{\bar{u}-2\sigma} - 1)$	0 (g/t)	2.39 (g/t)
$(e^{\bar{u}+2\sigma} - 1)$	12.36 (g/t)	118.85 (g/t)
$(e^{\bar{u}+3\sigma} - 1)$	25.68 (g/t)	291.16 (g/t)
$e^{\bar{u}} - 1$ (金品位几何平均值)	2.25 (g/t)	19.17 (g/t)

三、特高品位及其处理

特高品位在金矿床储量计算中,将会产生比较大的影响,因此需要对特高品位进行处理,以消除其非正常的影响。按现行规定,对出现的特高品位要予以剔除并以邻近块段平均品位的2倍代替之。对特高品位进行处理,首先需要解决的是如何确定特高品位。

现行规定一般以矿体平均品位的若干倍(山东现行规定为4~6倍)作为特高品位的判定下限。这种规定注意了特高品位与目标总体数字期望的关系,而忽视了从目标总体的统计分布特征来进行全面地分析研究,这就难免带有片面性。

众所周知,当元素呈随机的空间分布时,无论是样品随机地选取还是系统地选取,如用一组样品进行平均,则根据中心极限定理,其平均数的分布应趋于正态。相反,如果元素在空间上不呈随机分布(即存在某种系统的空间变化),则空间上的相邻样品平均数的统计分布呈现对数正态分布。因此,一般地说,金矿床样品的空间分布存在某种系统地变化趋势。

对单个孤立的高品位样品的出现可以认为是某些成矿因素的偶然的突出影响,而使矿体局部出现金元素的高度富集。然而对连续的高品位样品区(带)的存在则说明成矿作用对金元素富集的非偶然的突出影响,这时样品金品位与样品的空间位置有关,样品之间有成因上的联系。这样确认为特高品位样品的元素含量值就不能孤立地单纯地进行数字上的处理,而应该对矿床(体)的样品品位进行空间分布的分析,并进而对目标总体进行统计分布的研究,以确定合理的品位数值分布范围,对不超过分布上限的,应该视为正常数据,对超过分布上限的,则可视为特高品位。

所以,特高品位是个相对的概念,应根据不同类型的矿床及其成矿地质背景的具体情况来确定。一般地说,特高品位固然与样品平均品位的水平有关,但是通过样品金品位的空间分布特征及目标总体的统计分布特征的分析研究来确定特高品位,则更全面、也更能符合客观实际。

一般地说,当样品数量足够大时,样品金品位对数变换值的分布置信区间可由:

$$P(\bar{U} - 1.96\sigma < U < \bar{U} + 1.96\sigma) = 0.95^{(5)}$$

给出。

其中

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(X_i + a)$$

n 为样品数

X_i 为样品金品位值

a 为一常数,a 的确定以使样品金品位对数变换值能较好地符合正态分布为原则。

σ 为样品金品位对数变换值的均方差。

当研究的矿床(体)为混合分布总体时,需要对总体进行筛分,对筛分的各单一总体分别进行研究。

这样,特高品位的下限 Q_H 可由下式给出: $Q_H = \exp(\bar{u} + 1.96\sigma) - a$

由前所述,金青顶金矿床样品金品位的分布为一混合分布,经筛分可分为两个单一总体 A

和 B, B 总体与晚期矿化阶段产物相对应, 高品位样品基本上是采自 B 总体的, 该总体的样本容量较大, 并经计算 $\bar{U} = 3.0040$, $\sigma = 0.8911$, a 取为 1。这样 B 总体样品金品位的置信区间对应为 2.52~114.65g/t, 因此, 对金青顶金矿床来说, 品位值超过 114.65g/t 的就可视为特高品位, 对不超过 114.65g/t 的则应按正常数值对待。

有些文章认为, 样品品位为成矿作用形成的客观现实, 故对特高品位不应进行处理。然而, 特高品位的产生, 可以认为是某些成矿因素作用偶然的、突出影响的结果。所以, 对特高品位需要进行处理, 以消除偶然的突出影响。

对特高品位的处理, 以 Q_H 值替代特高品位值并参加储量计算较为合适, 因为这样既可消除成矿作用的偶然突出影响, 又适当地反映了成矿作用的现实。用此方案对金青顶金矿床 II 号矿体特高品位进行处理后, 全部样品品位的对数变换值与其均值之差不超过均方差的二倍, 也说明了这样的处理方法对金青顶金矿床来说是较为合适的。

参考文献

- [1] G. S. 科克, R. F 林克, 《地质数据统计分析》, 科学出版社, 1978
- [2] A. J. 辛克莱, 《概率图在矿床勘探中的应用》, 地质出版社, 1981
- [3] 赵鹏大等, 《矿床统计预测》, 地质出版社, 1983
- [4] A. M. 穆德, 《统计学导论》, 科学出版社, 1978

GRADE DISTRIBUTION AND METALLOGENY OF JIN QINGDING GOLD ORE DEPOSIT IN RUSHAN COUNTY, SHANDONG PROVINCE

Fu Dong

(Shandong Geology and Exploration Co. MMI)

Abstract

This paper presents the statistical analysis of gold grade of Jin Qingding gold deposit. Relation between gold grade distribution and metallogeny is revealed and the author proposes a subject, i.e. how to deal with the extreme high grade data. The statistical data exhibits a Log — normal distribution of gold grade and distribution frequency with two peaks suggesting two stages of mineralization of the deposit.