

线、面、体含矿系数相互关系初步探讨

范 坤 生

划分矿床勘探类型及对有用组分分布很不均匀、非矿部分无法直接圈出的矿床进行储量计算时,往往引入含矿系数这一概念。含矿系数是矿床、矿体、矿段或块段内有工业价值的矿化部分与整个矿床、矿体、矿段或块段的长度、面积或体积之比。用长度之比确定的含矿系数称为线含矿系数;用面积之比确定的含矿系数称为面含矿系数;用体积之比确定的含矿系数称为体含矿系数。

体含矿系数最具代表性,但勘探中绝大多数情况下,不能直接确定。而沿走向、倾向或厚度方向的线含矿系数及走向或倾向横断面的面含矿系数较易确定。确定某一方向线含矿系数时,一般就用这个方向的线含矿系数代表体含矿系数。长期以来,人们对线、面、体含矿系数相互关系的认识,一直存在着分歧。有人认为,某两个方向线含矿系数的算术平均值,可代表这两个方向所处断面的面含矿系数;三个方向线含矿系数的算术平均值,可代表体含矿系数。也有人认为,某两个方向线含矿系数之积,可代表这两个方向所处断面的面含矿系数;三个方向线含矿系数之积,可代表体含矿系数。

为了判别这两种认识是否正确并探讨线、面、体含矿系数的相互关系,兹讨论如下:

设下列各图均表示一个被坑道四面揭露的矿体、矿段或块段。每个小立方体的长、高、厚均为1米,带点者为有工业价值的矿化部分,不带点者为非矿部分;整个长度BC为L、高度CG为H、厚度AB为M,走向断面积ABCD为SL、倾向断面积CDFG为SH,体积为V;具工业价值的矿化部分,在测量线上的总长度为Σl、总高度为Σh、总厚度为Σm,走向断面积和为ΣSl、倾向断面积和为ΣSh,体积和为ΣV,每一个单独的具工业价值矿化部分的长度为l、高度为

h、厚度为m;走向线含矿系数为K_{ρl},倾向线含矿系数为K_{ρh},厚度线含矿系数为K_{ρm},走向面含矿系数为K_{ρsl},倾向面含矿系数为K_{ρsh},体含矿系数为K_{ρv};虚线表示测量线。

根据含矿系数的概念,则

$$K_{\rho l} = \frac{\Sigma l}{L}, K_{\rho h} = \frac{\Sigma h}{H}, K_{\rho m} = \frac{\Sigma m}{M},$$

$$K_{\rho sl} = \frac{\Sigma Sl}{SL}, K_{\rho sh} = \frac{\Sigma Sh}{SH},$$

$$K_{\rho v} = \frac{\Sigma v}{V}.$$

如果体含矿系数等于三个方向线含矿系数的积,即: $K_{\rho v} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho h} \cdot K_{\rho m}$

.....(1)

则必须 $\Sigma l \cdot h \cdot m = \Sigma l \cdot \Sigma h \cdot \Sigma m$ 。

因为 $\Sigma v = \Sigma l \cdot h \cdot m$, $V = L \cdot H \cdot M$,

只有当 $\Sigma l \cdot h \cdot m = \Sigma l \cdot \Sigma h \cdot \Sigma m$ 时,才能形成

$$\begin{aligned} K_{\rho v} &= \frac{\Sigma v}{V} = \frac{\Sigma l \cdot h \cdot m}{L \cdot H \cdot M} = \frac{\Sigma l \cdot \Sigma h \cdot \Sigma m}{L \cdot H \cdot M} \\ &= \frac{\Sigma l}{L} \cdot \frac{\Sigma h}{H} \cdot \frac{\Sigma m}{M} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho h} \cdot K_{\rho m}. \end{aligned}$$

如果走向横断面的面含矿系数,等于走向线含矿系数与厚度线含矿系数之积,倾向横断面的面含矿系数,等于倾向线含矿系数与厚度线含矿系数之积,即:

$$K_{\rho sl} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho m},$$

$$K_{\rho sh} = K_{\rho h} \cdot K_{\rho m} \dots\dots\dots(2)$$

则必须 $\Sigma l \cdot m = \Sigma l \cdot \Sigma m$,

$\Sigma h \cdot m = \Sigma h \cdot \Sigma m$ 。

因为 $\Sigma Sl = \Sigma l \cdot m$, $\Sigma Sh = \Sigma h \cdot m$,

$SL = L \cdot M$, $SH = H \cdot M$,

只有当 $\Sigma l \cdot m = \Sigma l \cdot \Sigma m$, $\Sigma h \cdot m = \Sigma h \cdot \Sigma m$ 时,才能形成

$$K_{\rho sl} = \frac{\sum Sl}{SL} = \frac{\sum l \cdot m}{L \cdot M} = \frac{\sum l \cdot \sum m}{L \cdot M}$$

$$= \frac{\sum l}{L} \cdot \frac{\sum m}{M} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho m},$$

$$K_{\rho sh} = \frac{\sum Sh}{SH} = \frac{\sum h \cdot m}{H \cdot M} = \frac{\sum h \cdot \sum m}{H \cdot M}$$

$$= \frac{\sum h}{H} \cdot \frac{\sum m}{M} = K_{\rho h} \cdot K_{\rho m}.$$

但是, $\sum l \cdot h \cdot m$ 与 $\sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$, $\sum l \cdot m$ 与 $\sum l \cdot \sum m$, $\sum h \cdot m$ 与 $\sum h \cdot \sum m$ 的关系是在计算范围内每个具工业价值矿化部分的长度、高度、厚度积的和, 长度、厚度积的和, 高度、厚度积的和分别与在测量线上具工业价值矿化部分的长度和、高度和、厚度积的和, 长度和、厚度积的和, 高度和、厚度积的和的关系。它们不是在任何情况下都彼此相等, 而在某些条件下可彼此相等。自然界的矿体、矿段或块段的矿化连续性不尽相同, 其中具工业价值的矿化部分和非矿部分的形态排列组合关系也是多种多样。在某些情况下, 如若 $\sum l \cdot h \cdot m = \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$, $\sum l \cdot m = \sum l \cdot \sum m$, $\sum h \cdot m = \sum h \cdot \sum m$, 则(1)、(2)两式所表示的结论可以成立。反之, 在某些情况下, $\sum l \cdot h \cdot m \neq \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$, $\sum l \cdot m \neq \sum l \cdot \sum m$, $\sum h \cdot m \neq \sum h \cdot \sum m$, 则(1)、(2)两式所表示的结论就不能成立。

如图1所示, 矿体、矿段或块段三度空间中有二个方向连续矿化, 只有一个方向矿化不连续。由图1可知:

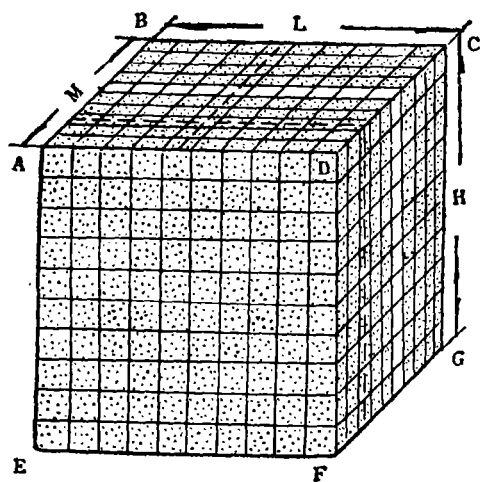


图1

$$\begin{aligned} \sum l &= 10 \text{ 米}, \\ \sum h &= 10 \text{ 米}, \\ \sum m &= 9 \text{ 米}, \\ \sum v &= \sum l \cdot h \cdot m = 900 \text{ 米}^3, \\ \sum Sl &= \sum l \cdot m = 90 \text{ 米}^2, \\ \sum Sh &= \sum h \cdot m = 90 \text{ 米}^2, \\ L &= H = M = 10 \text{ 米}, SL = SH = 100 \text{ 米}^2, \\ V &= 1000 \text{ 米}^3. \end{aligned}$$

因此, $\sum l \cdot \sum h \cdot \sum m = 900 \text{ 米}^3$,

$$\sum l \cdot \sum m = 90 \text{ 米}^2, \sum h \cdot \sum m = 90 \text{ 米}^2,$$

$$\sum l \cdot h \cdot m = \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m = 900 \text{ 米}^3,$$

$$\sum l \cdot m = \sum l \cdot \sum m = 90 \text{ 米}^2,$$

$$\sum h \cdot m = \sum h \cdot \sum m = 90 \text{ 米}^2,$$

$$K_{\rho l} = \frac{\sum l}{L} = 1, K_{\rho h} = \frac{\sum h}{H} = 1,$$

$$K_{\rho m} = \frac{\sum m}{M} = 0.9, K_{\rho sl} = \frac{\sum Sl}{SL} = 0.9$$

$$K_{\rho sh} = \frac{\sum Sh}{SH} = 0.9,$$

$$K_{\rho v} = \frac{\sum v}{V} = 0.9,$$

$$K_{\rho v} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho h} \cdot K_{\rho m} = 0.9,$$

$$K_{\rho sl} = K_{\rho l} \cdot K_{\rho m} = 0.9,$$

$$K_{\rho sh} = K_{\rho h} \cdot K_{\rho m} = 0.9.$$

$$\text{而 } \frac{1}{3}(K_{\rho l} + K_{\rho h} + K_{\rho m}) = 0.96,$$

$$\frac{1}{2}(K_{\rho l} + K_{\rho m}) = 0.95,$$

$$\frac{1}{2}(K_{\rho h} + K_{\rho m}) = 0.95.$$

$$\text{所以, } K_{\rho v} \approx \frac{1}{3}(K_{\rho l} + K_{\rho h} + K_{\rho m})$$

$$K_{\rho sl} \approx \frac{1}{2}(K_{\rho l} + K_{\rho m}),$$

$$K_{\rho sh} \approx \frac{1}{2}(K_{\rho h} + K_{\rho m}).$$

这说明当矿体、矿段或块段具有与图1一样或近于一样的矿化连续性时(如某些层状、似层状矿体或平行矿脉带等), (1)、(2)两式所表示的结论成立。由于这类矿体的走向和倾向线含矿系数均等于1, 所以, 在实践中, 只要求出厚度方向的线含矿系数, 或者走向面含矿系数、倾向面含矿系

数、三个方向线含矿系数之积，均可代表体含矿系数；三个方向线含矿系数的算术平均值，不能代表体含矿系数，而大于体含矿系数。走向线含矿系数与厚度线含矿系数之积，等于走向面含矿系数，其算术平均值则大于走向面含矿系数。倾向线含矿系数与厚度线含矿系数之积，等于倾向面含矿系数，其算术平均值则大于倾向面含矿系数。

如图2所示，当矿体、矿段或块段三度空间中只有一个方向具工业价值的矿化部分是连续的，其余两个方向矿化不连续，按上述方式，同样可以证明(1)、(2)两式成立。对于这种类型的矿体、矿段或块段，在实践中，可用二个间断方向线含矿系数之积，或者能同时反映二个方向间断情况断面的面含矿系数，代表体含矿系数。三个方向线含矿系数的算术平均值，不能代表体含矿系数，而大于体含矿系数；走向与厚度线含矿系数的算术平均值，不能代表走向面含矿系数，而是前者大于后者；倾向与厚度线含矿系数的算术平均值，亦不能代表倾向面含矿系数，前者仍大于后者（数值见表）。

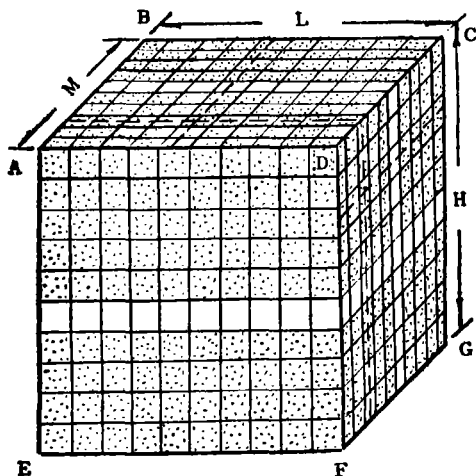


图2

如图3所示，当矿体、矿段或块段三度空间中具有工业价值的矿化部分均不连续，按图1方式，同样可以证明(1)、(2)两式所表示的结论是成立的。对这种类型的矿体、矿段或块段，在实践中，可以用三个方向线含矿系数之积代表体含矿系数。三个方向线含矿系数的算术平均值远比体含矿系数大，走向与厚度线含矿系数的积等于走向面

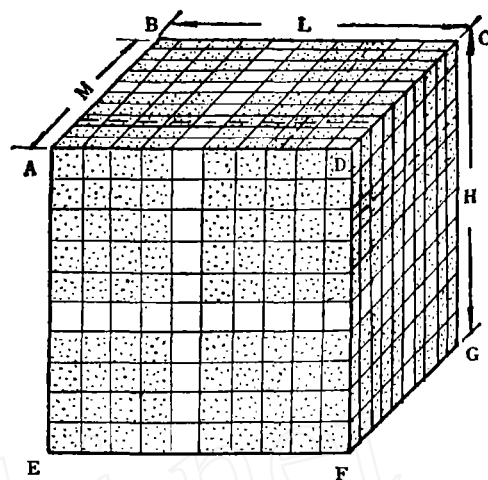


图3

含矿系数，其算术平均值则大于走向面含矿系数；倾向与厚度线含矿系数之积等于倾向面含矿系数，其算术平均值则大于倾向面含矿系数；走向、倾向面含矿系数、或二者的算术平均值，虽然比三个方向线含矿系数之算术平均值接近于体含矿系数，但前者仍然大于后者。

如图4所示，矿体、矿段或块段三度空间中具有工业价值的矿化部分均不连续，并与无矿部分均匀相间分布。由图可知：

$$\begin{aligned} \Sigma l &= \Sigma h = \Sigma m = 5 \text{ 米}, \Sigma sl = \Sigma l \cdot m = 50 \text{ 米}^2, \\ \Sigma sh &= \Sigma h \cdot m = 50 \text{ 米}^2, \Sigma v = \Sigma l \cdot h \cdot m = 500 \text{ 米}^3, \\ L &= H = M = 10 \text{ 米}, SL = SH = 100 \text{ 米}^2, \\ V &= 1000 \text{ 米}^3. \end{aligned}$$

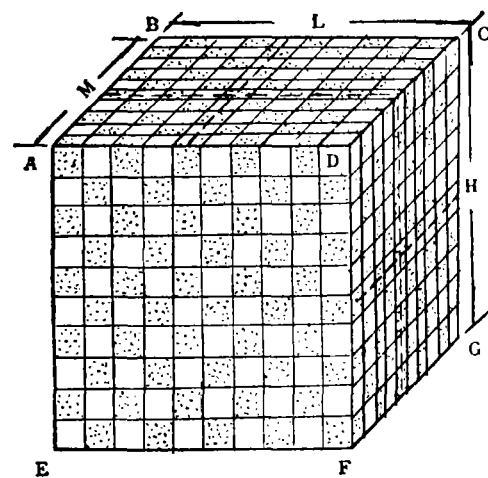


图4

$$\text{因此, } K_{\rho l} = \frac{\sum l}{L} = 0.5,$$

$$K_{\rho h} = \frac{\sum h}{H} = 0.5,$$

$$K_{\rho m} = \frac{\sum m}{M} = 0.5,$$

$$K_{\rho sl} = \frac{\sum sl}{SL} = 0.5,$$

$$K_{\rho sh} = \frac{\sum sh}{SH} = 0.5,$$

$$K_{\rho v} = \frac{\sum v}{V} = 0.5.$$

然而, $\sum l \cdot \sum h \cdot \sum m = 125 \text{米}^3$,

$$\sum l \cdot \sum m = 25 \text{米}^2,$$

$$\sum h \cdot \sum m = 25 \text{米}^2,$$

$$K_{\rho l} \cdot K_{\rho h} \cdot K_{\rho m} = 0.125,$$

$$K_{\rho l} \cdot K_{\rho m} = 0.25,$$

$$K_{\rho h} \cdot K_{\rho m} = 0.25.$$

所以, $\sum l \cdot h \cdot m \neq \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$,

$$\sum l \cdot m \neq \sum l \cdot \sum m,$$

$$\sum h \cdot m \neq \sum h \cdot \sum m,$$

$$K_{\rho v} \neq K_{\rho l} \cdot K_{\rho h} \cdot K_{\rho m},$$

$$K_{\rho sl} \neq K_{\rho l} \cdot K_{\rho m},$$

$$K_{\rho sh} \neq K_{\rho h} \cdot K_{\rho m}.$$

即前述(1)、(2)两式所表示的结论,无一可以成立。相反,可以看出:

$$K_{\rho v} = \frac{1}{3} (K_{\rho l} + K_{\rho h} + K_{\rho m}),$$

$$K_{\rho sl} = \frac{1}{2} (K_{\rho l} + K_{\rho m}),$$

$$K_{\rho sh} = \frac{1}{2} (K_{\rho h} + K_{\rho m}),$$

即体含矿系数等于三个方向含矿系数的算术平均值,走向面含矿系数等于走向与厚度线含矿系数的算术平均值,倾向面含矿系数等于倾向与厚度线含矿系数的算术平均值。

前述四个图的线、面、体含矿系数见下表。

还可以绘出更多图形进行分析,其结论或者如图4,或者如前三个图,或者接近前者或后者。

图4与前三个图产生两种不同的结论,其主要原因如下:

1. 图形中具工业价值的矿化部分与非矿

部分排列、组合关系不同,前三个图中具工业价值矿化部分有规律排列,并被非矿部分在整个矿体、矿段或块段中全部隔断,图4中具工业价值矿化部分和非矿部分,在三度空间中犬牙交错分布,前者未被后者在整个矿体、矿段或块段中全部隔断。

2. 线含矿系数具有明显的方向性,计算线含矿系数时,有人的主观因素参加。前三种图形,计算线含矿系数时,总是在某一方面上,具工业价值的矿化部分与非矿部分同时存在的地段进行,而不会在与此方向平行的非矿部分中,再求出一些等于0的线含矿系数,然后求其算术平均值,作为该方向的线含矿系数。与此方向平行的非矿部分,只能被看作与此方向相垂直的方向上的间断,并参与后者方向上线含矿系数的计算。图1中平行走向的非矿部分,只能被看作厚度方向上的间断,并参与厚度方向线含矿系数的计算,而不应在计算走向线含矿系数时,作为走向上的间断。也就是说,图1所示的矿体、矿段或块段的走向线含矿系数,只能认为是1,而不能是0.9。而图4中,同一无矿部分,在测量线含矿系数时,可参与三个不同方向线含矿系数的计算。

3. 由于矿化连续性不同和计算线含矿系数时的人为因素(如1, 2两条所述),前三种图形 $\sum l \cdot h \cdot m = \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$, $\sum l \cdot m = \sum l \cdot \sum m$, $\sum h \cdot m = \sum h \cdot \sum m$, 从而根据线、面、体含矿系数的概念,用数学推导而得出的(1)、(2)两式能够成立;图4, $\sum l \cdot h \cdot m \neq \sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$, $\sum l \cdot m \neq \sum l \cdot \sum m$, $\sum h \cdot m \neq \sum h \cdot \sum m$, 因而(1)、(2)两式不能成立。

综前所述,得出以下认识:

1. 矿体、矿段或块段的线、面、体含矿系数的相互关系,不是一成不变,要么是积的关系,要么是算术平均值的关系,视具体情况而定。

2. 线、面、体含矿系数的相互关系,由于自然界中矿体、矿段或块段矿化连续性不同,其中具工业价值的矿化部分和非矿部分的排列、组合关系不同,并且在计算线含矿系数时亦有人为因素参与。

3. 不同矿体、矿段或块段的线、面、体含矿系数的相互关系,可根据 $\sum l \cdot h \cdot m$ 与 $\sum l \cdot \sum h \cdot \sum m$ 、 $\sum l \cdot m$ 与 $\sum l \cdot \sum m$ 、 $\sum h \cdot m$

(下转第39页)

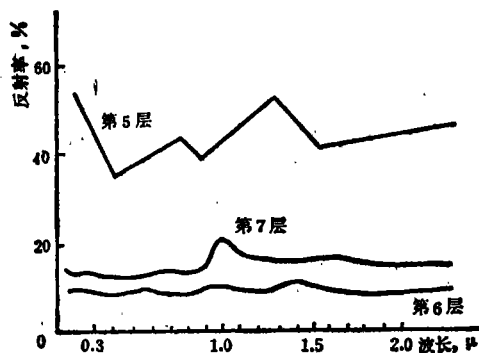


图7 石碌矿区岩层光谱曲线图

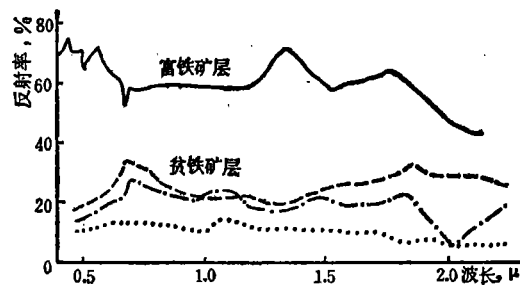


图8 石碌矿区贫、富铁矿层光谱曲线图

的找矿与勘探工作。

4.应用：当前，航宇照片镶嵌图和判释图已在区域矿产资源勘察及评价中正式使用，不少国家还将其列为一整套图件的一部分。如在美国阿拉斯加州中南部的比斯纳福的区域调查工作就是这样的。在所完成的一套图件中，除1:25万基础地质图，各种元素的地球化学异常图、航磁等值线圈、重力异常图外，还包括ERTS—1卫星影像判释图。最后，根据地质、地球物理和航宇影像资料，编出了该区矿产资源远景图（成矿预

测图）。并根据各种标志，如岩石类型、侵入体、地表蚀变、航宇照片上的颜色异常、地球化学异常和物理场、断裂和其它构造，以及已有矿床等，圈出了25个远景的地区，估计了铜、钼、金、银等矿产资源的远景储量。

我国应用遥感技术方面还刚开始。我国地大物博、矿产丰富、类型齐全，是很有前途的。

本文编写过程中应用了国内外许多作者的资料，在此一并表示衷心感谢。

（上接第32页）

与 $\Sigma h \cdot \Sigma m$ 的关系判断。当彼此相等时，是积的关系；当彼此不等时，则是算术平均值的关系，或者近似于算术平均值的关系。

4.体含矿系数最具代表性。面含矿系数的代表性次于体含矿系数，而优于线含矿系数。

5.层状、似层状矿体或平行密集矿脉带，三度空间中，只有厚度方向矿化不连续，该方向线含矿系数即能代表体含矿系数，三个方向线含矿系数的算术平均值，不能代表体含矿系数，而大于体含矿系数。线含矿系数和面含矿系数的关系亦然。

6.矿体、矿段或块段，三度空间中，只有一个方向矿化连续，其余两个方向矿化不连续，能够同时反映该两方向间断情况的断面（如图2中CDFG面）面含矿系数，即能代表体含矿系数；三度空间线含矿系数的算术平均值，不能代表体含矿系数，而是前者大于后者。

7.矿体、矿段或块段三度空间矿化均不连续。在这种情况下，要分析具工业价值的矿化部分与非矿部分排列、组合情况，研究 $\Sigma l \cdot h \cdot m$ 与 $\Sigma l \cdot \Sigma h \cdot \Sigma m$ ， $\Sigma l \cdot m$ 与 $\Sigma l \cdot \Sigma m$ ， $\Sigma h \cdot m$ 与 $\Sigma h \cdot \Sigma m$ 的关系，然后根据其相等与否，采用乘积或算术平均值的方法求体含矿系数。

8.有些书刊中，在论述含矿系数时用含矿率或含矿系数（ $K\rho$ ）：

$$K\rho = 1/L = s/S = v/V$$

式中 l 、 s 、 v 为有工业价值的矿化地段（狭义的矿体）的长度、面积或体积。这种叙述和表达形式，未明确指出 l 、 s 、 v 为有工业价值矿化部分的总长度、总面积、总体积，或长度和、面积和、体积和，没有用 Σl 、 Σs 、 Σv 表示之，因此，容易使人产生误解，并在误解的基础上，按照数学公理，推导出线、面、体含矿系数的相互关系，总是积的关系的不恰当结论。建议在论述含矿系数时改变这种论述方式和公式表达形式。