

# 伴生元素儲量計算理論

И. П. 沙拉波夫

大家知道，綜合矿石的价值不仅决定于主要元素，而且还决定于伴生元素。現在伴生元素在国民經济中具有极重要的意义。但是，在很多情况下，勘探工作者們只研究主要元素，而忽視了伴生元素，因而有时为了伴生元素不得不对矿床进行补充勘探。必須肯定；进行任何勘探都應該充分地研究矿石和圍岩的成份，其目的在使伴生元素不被忽視，并要在計算主要元素儲量同时計算这些元素的儲量。

伴生有益元素矿床勘探方法迄今还不明确。但是，由于矿体中伴生元素分佈的特点，方法也是多种多样的。通常伴生元素分佈不同于主要元素，因为它的地球化学特性是不相同的。

矿石內的伴生元素呈各种形状存在。有的元素作为类質同象混入物存在別种物質的結晶格架中，如閃鋅矿中的錳（可是，在多金屬矿床中錳有时形成独立

的矿物——硫化錳）。另外有一些元素呈自然状态或某种化合物生成于別种物質晶体內部的裂縫內，如黃鉄矿內的金（含金黃鉄矿化片岩矿床）。还有一些元素形成独立之矿物分散于其他矿物中，如汞矿中之銻。

必須以直接的地質(岩石的，矿物的及地层的)及地球化学法以及間接的統計法对矿床伴生元素分佈規律进行研究。直接法和間接法不是互相排斥，而是互相补充和互相充实的。間接法在地質法和地球化学法方面是起輔助作用的，但是其意义并不因此而減低。对已經过勘探，但还未以直接法研究（关于伴生元素）的矿床說，間接統計法却具有特別的意义。

伴生元素儲量計算应根据其空間分佈的規律。同时，应当注意到無論是地質規律或是統計規律都只是同一种自然現象的各个方面，是統一的地質作用表現

全罐中，即經濾板从上部进入中心管，再向下移动，最后經由出气管(5)进入焊槍，进行工作。

当回火发生时，高热混合气冲入安全罐，后由于混合气压力大、速度高，促使保險皮套受力膨脹而脫落，混合燃燒气体由此处排出，从而保證了乙炔发生器的安全。

### 三、几点注意事項

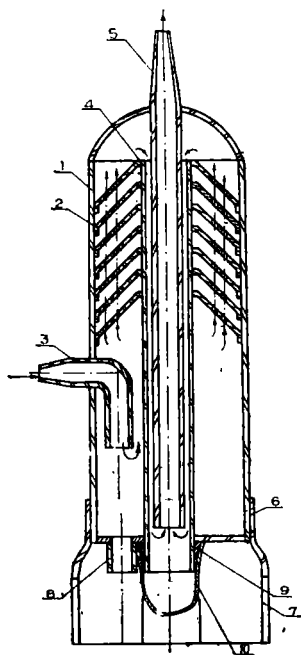
1. 使用之前，必須詳細檢查安全罐各部是否良好，特別对保險皮套更应詳細檢查，視其脫落是否良好。

在安全罐中充滿乙炔气进行检查时，严禁吸煙及携帶明火，以免引起事故。

2. 放水接头(8)应随时檢查，并及时放出罐中存水及其他杂质，謹防堵塞濾板鑽孔，以保証乙炔之正常流动。

3. 安全罐不得放在高溫設備附近，以防溫度高发生意外。

4. 安全罐一般应垂直放在距工地十公尺左右为宜，存放場所应搭盖工棚，防止风雨浸蝕及烈日暴晒。



图：①本体；②濾气板；③进气管；④中心管；⑤出气管；⑥擋圈；⑦彈簧座；⑧放水接头；⑨錐度鋼套；⑩保險皮套。

的各种方法。

矿体中伴生元素分佈的地質条件对各种元素和各种成因类型的矿床說来是不同的。因此,主要元素和伴生元素的儲量計算方法也就不同。

根据地質的推測,即直接地質法和地球化学法的发展,可以运用統計法研究伴生元素分佈的規律。統計法使直接地質法和地球化学法更为可靠。

判明伴生元素与主要元素或与某一地質参数(与断口的距离,矿体厚度,矿物和伴生矿物品位百分比等等)关系的完善可以作为統計法的基础。关系的完善最好藉相关分析来研究。

在数量上表示矿床的各种性質彼此皆有关系,但是这种关系大多数不是函数关系,而是对比,不明显的关系。在勘探部門使用对比理論的經驗已有三十年的历史。

对比理論可帮助解决勘探方法的各种任务,其中也包括伴生元素儲量計算的任务。按B. C. 涅姆琴諾夫的意见,这一理論研究的价值在于「……对比計算在某些方面与能够测定現象之間的存在和相关力的实验仪器相类似。这一計算如同石蕊試紙一样,能够确定現象和因素之間相关反应力和性質」。

矿石中伴生元素儲量計算随着主要元素的儲量計算,長時間都以較原始的方法进行,一九四九年加尔金第一个制定了这一科学的計算方法。这个方法很值得注意,虽然它还有一些缺点。这一方法的實質是这样:

在一个磁鉄矿矿床的黃鉄矿化帶中采取了195个样品,作了鈷和硫的分析。所有样品組合按硫的品位划分几級。每一級皆計算硫和鈷的平均品位,按品位作出鈷和硫的关系曲線图。加尔金根据图形解决关系(直線或曲線关系)形狀的問題。然后計算鈷和硫的关系方程式(或按統計术语称級数方程式)。

$$y = 0.013x + 0.012$$

式中:  $y$ —鈷的品位(%);

$x$ —同样矿石中硫的品位(%)。

这一方程式的自由項証明,按B. H. 加尔金的意见,部份鈷与硫有关系。因此在計算儲量时仅計算与硫有关系的,同时有比較大的可能混入硫精矿中去的那一部份鈷。矿体中鈷的品位按角系数确定,也就是硫品位的直接函数。

B. H. 加尔金建議把按硫的儲量确定鈷的儲量的方法用来計算各种矿石中的其他伴生元素的儲量。

根据上述方法,必須提出下列几点意見:

1. 不要只限于一个級数方程式(鈷对硫),同时必須列出并使用第二个級数方程式(硫对鈷)。当然,这两个方程式彼此都不一致,仅是函数关系而不是在对比关系的情况下,这些方程式可合而为一,但是却失去相关分析的意义。在自然界中未免可能遇到一种情况,就是矿石中的各种金屬在函数上,而不是在对比上互相有关系。因此,应当不是計算一个,而是計算两个級数方程式。这两个方程式的差額随相关系数的增大而增加。

如果B. H. 加尔金把所有样品按鈷(不是硫)的品位級別分类,然后計算硫和鈷的每級平均品位的話,那末硫和鈷的关系曲線图与鈷和硫的关系曲線图就有很大的区别,B. H. 加尔金为同一种硫的品位得到两种截然不同的鈷的品位。

2. 当沒有計算相关系数时,不应計算級数方程式。如果相关系数很小(如小于0.5),那么級数方程式乾脆就不需要,因为在計算儲量时不应用級数方程式。B. H. 加尔金还計算了关系方程式,因为不計算相关系数时,不相信有很稳固的关系。

3. 按图表的形狀,永远也不可能很准确地解决关系形狀的問題。为此,最好是計算相关系数及对比关系,然后再互相比較。如果他們之間的差額很小,那末可認為是直線关系,差額很大表明是曲線关系。

4. 必須把全部金屬,而不仅是那些易混入硫精矿中去的金屬,包括在儲量計算之內。加之,很难提取的一部份鈷(正是与硫沒有关系且混入硫精矿中去的可能性很小的那一部份)仅仅按一个級数方程式测定很不准确。全苏矿产儲量委员会的规范中規定:很难提取的金屬儲量也要計算。在儲量分类第二条中写明:「矿产儲量按地下埋藏量計算,不計算在开采,选矿或加工时的損失」。

关于B. H. 加尔金方法,总的意見就这一些,但是还有一个与矿床研究有关的个人意見,B. H. 加尔金已对该矿床进行过研究,不知为什么他忽略了主要金屬——鉄,而把所有注意力都集中在硫的上面,实际上看来,鈷也与鉄有关。

繼B. H. 加尔金之后,在作者的领导下的全体地質人員于1949—1950年对伴生元素儲量計算方法也进行了一些研究。这一研究的結果在1950年全苏矿产儲量委员会批准的儲量計算报告中已有叙述。

研究的實質是:在勘探多金屬矿床的过程中,对3000多个样品作了鉛和鋅的分析。1949年又从中抽出348个样品,合併为32个混合样品,并作了鉛鋅、

鉄、錳、鋁、金及銀的化學分析。發現不僅鉛和鋅，而銀和錳在礦石中也含有工業品位。

鉛和鋅的儲量系按全部樣品 (3000 多個) 計算的，而銀和錳的儲量應按32個樣品計算。如果混合樣品是作為礦床代表性的樣品的話，這項工作就比較容易，但卻正好不是代表性的樣品。其中鉛和鋅的品位比3000多個樣品的平均品位還要高得多，況且鉛和鋅的品位增長的程度也不一樣。

計算銀和錳的儲量不只是利用32個混合樣品，而且要利用3000個普通樣品，雖然這3000個樣品未做過銀和錳的分析。因此，應當致力說明這個問題：即銀和錳是否與鉛和鋅有關係；這種關係是以什麼樣的形態出現，是否緊密，程度如何？

首先用相關系數的計算來回答第一個問題，如果相關系數小 (小於0.5)，就應計算對比關係。

32個樣品的金屬相關系數如下：

- 1. 銀——鉛  $+0.84 \pm 0.05$
- 2. 錳——鋅  $+0.73 \pm 0.08$
- 3. 銀——鋅  $+0.60 \pm 0.11$
- 4. 錳——鉛  $+0.60 \pm 0.11$
- 5. 銀——錳  $+0.59 \pm 0.12$
- 6. 鉛——鋅  $+0.47 \pm 0.14$
- 7. 鉛——鉄  $+0.37 \pm 0.15$
- 8. 錳——鉄  $+0.26 \pm 0.16$
- 9. 銀——鉄  $+0.07 \pm 0.18$
- 10. 鋅——鉄  $+0.03 \pm 0.18$

這一計算就回答了第一個問題：銀與鉛有關係，而錳與鋅有關係。礦物和地球化學資料也說明有關係，而且這些資料都是一致的。相關分析証實其正確性，並認為是可信的 (對該礦床說)。

相關系數與單位數 ( $r_{Ag, Pb}=0.84; r_{Cd, Zn}=0.73$ ) 的接近，說明是直線關係。這兩對金屬的對比關係也很接近相適應的相關系數。因此，可以作出直線關係的結論 (這就回答了第二個問題)。

為了回答第三個問題，需要列出級數方程式。

$$x = 223y + 0.4 \quad (1)$$

$$y = 0.0024x + 0.0051 \quad (2)$$

式中：x—鋅的品位 (%)；

y—錳的品位 (%)。

還可以照這樣列出類似的鉛——銀和銀——鉛的級數方程式。

方程式 (1) 表明，一部份鋅與錳沒有關係，而方程式 (2) 表明，一部份錳與鋅沒有關係。但是無論方

程式 (1) 或方程式 (2) 都不是很準確的，因為每個方程式都是從測定一個值 (第一種情況是 y，而第二種情況是 x) 的前提下出發的，第二個值只是第一個值表現的結果 (這個前提一般是相關分析的基礎)。實際上，兩個值可能是 [相等的]，也許與某一第三個值有關係。

如果我們固定在一個方程式上，並按這個方程式確定各個塊段或甚至整個礦床中錳的品位的話，那麼就是明知故犯。

將第二方程式改變後，結果可得出：

$$x = 417y - 2.1 \quad (3)$$

方程式 (1) 和 (3) 之間的差額很大，但是在它們之間可以得出一條真理。

1950年，在計算儲量時未發現真正的或 [中間的] 方程式。因此錳的儲量只計算了相當 1/256 鋅的儲量，即按32個樣品計算錳和鋅的關係系數。同樣，銀的儲量也是按鉛的儲量計算的 (按系數 1/1468)。

因而，目前伴生元素的儲量計算在勘探工作中是很必要的，找尋一個統一的相关方程式的時間也就在這時開始了。不過，這種找尋早已進行，只不過是在研究工作的其他方面而已。(如氣象學，土壤地質學及工藝學等)。

K. 皮爾松, Г. 約翰, Б. И. 斯列茲涅夫斯基, 等人都不是從統計方面提出許多計算統一相关方程式的公式，因而沒有一個完全可以作為計算伴生元素儲量之用。

必須指出，統計理論家們 (例如：A. A. 丘普羅夫) 令人懷疑地發表關於找尋統一相关方程式的意見。他們認為，對比關係的兩重性是由於對比法本身的原因。另一個統計學家 E. E. 斯盧茨基認為，相關系數 [……之所以是雙方面的關係，其意義在於，什麼樣的變數可作為無關係的，而什麼樣的變數又作為有關係的，都決定於我們的主見]。

不是統計學家的研究者們也如上面所指出的，不同意這種兩重性。我們提出下列 [中間] 方程式的經驗方法。假設原來的級數方程式為：

$$x = ay + b \quad (4)$$

$$y = bx + c \quad (5)$$

從方程式 (5) 中可得出：

$$x = \frac{1}{b} y - \frac{c}{b} \quad (6)$$

設： $\frac{1}{b} = d, \quad \frac{c}{b} = -e$ ，得出：

$$x = dy + e \quad (7)$$

如果方程式(4)确定的金屬关系与方程式(7)确定的关系一样,在地質上是可信的話,那末我們就可得出下面的統一方程式:

$$x = (0.5a + 0.5d) + (0.5b + 0.5c) \quad (8)$$

如果根据地質資料(一种金屬在另一种金屬內局部結晶时),一个方程式比另一个方程式有优越性的話,那么可以取0.6或0.8的系数,而另一个方程式可取0.4或0.2的系数(补充达到單位数)。如果系数相等时,我們选择其中一个方程式(对一方面的关系說)。怎样选择所需要的系数是很重要的問題。研究这一問題已屬本文范围之外。

对[相等的]金屬說,可以限定为0.5的系数。如果錳和鋅是相等的金屬,那么其中間方程式 $x$ 將为:

$$x = 321y - 0.81$$

一般典型的綫数方程式为:

$$x = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}) + \bar{x} \quad (9)$$

$$y = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}) + \bar{y} \quad (10)$$

式中:  $x, y$ —矿石中相关金屬的品位(%);

$r$ —相关系数;

$\sigma_x, \sigma_y$ — $x$ 和 $y$ 值的标准(与算术平均的平均方根差);

$\bar{x}, \bar{y}$ — $x$ 和 $y$ 的相应的算术平均值。

从方程式(10)中可以得出方程式 $x$ ,从方程式(9)中可得出方程式 $y$ 。方程式 $x$ 如下:

$$x = \frac{1}{r} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}) + \bar{x} \quad (11)$$

方程式 $y$ 为:

$$y = -\frac{1}{r} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}) + \bar{y} \quad (12)$$

如果取原来的綫数方程式(系数0.5),从方程式(9)和(11)及(10)和(12)又可得出中間方程式(一个为 $x$ ,另一个为 $y$ )。

中間方程式 $x$ 为:

$$x = 0.5 \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \left( r + \frac{1}{r} \right) y + \bar{x} - 0.5 \bar{y} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \left( r + \frac{1}{r} \right) \quad (13)$$

同样可得出中間方程式 $y$ :

$$y = 0.5 \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \left( r + \frac{1}{r} \right) x + \bar{y} - 0.5 \bar{x} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \left( r + \frac{1}{r} \right) \quad (14)$$

这两个方程式互相之間的区别比原来两个方程式小得多。当我们求 $x$ 时就用方程式(13),求 $y$ 时就用方程式(14)。

表示中間方程式的綫(这在其結論中已很明显的

看出)在原来綫数之間可以找到,越近于中間, $r$ 值就越大,相适应的綫的角系数就越小。

此外所得出的方程式不要求包罗一切,但是在解决某些問題时,可能比原来的相关方程式要好些。

建議按下列程序进行整理計算伴生元素儲量的勘探資料。

1. 查明有伴生元素。因此,要进行半数单个样品和組合样品的光譜和化学分析。根据地球化学条件,预先拟制已找得的元素一覽表。分析数量一般不大,从10到50。

2. 对那些接近工业品位(組合矿石中)的伴生元素样品作补充的化学分析。分析数量一般为主要金屬分析总数的5—10%。伴生元素的化学分析样品最好取单个样品,但是在个别情况下(取样网很密)也可取組合样品,如B. H. 加尔金建議的一样。

3. 为进行矿石的工艺描述,要作5—30个全分析样品,而取样网密集时,可用混合样品(按地方性原则)。在分析过程中也确定伴生元素的品位。

4. 拟制伴生元素分析样品一覽表,[空白]样品,即該样品中沒有伴生元素的样品也不例外。在这个表中包括有伴生元素,主要金屬及其他金屬的品位。此外,应当指出,地質条件,按地質及地球化学的推测,使伴生元素的品位和地質条件相一致,例如:圍岩的性質,構造要素,风化带等。

5. 对作过伴生元素分析的样品以地質和地球化学观点从統計学上进行研究。研究的目的是为揭开矿床伴生元素分佈的規律性。研究的方法为分类法。分类的原则系按地質和地球化学的推测确定,例如:圍岩类型、采样地点与断层或褶皺軸的远近距离、地层深度、測高深度、矿石的矿物类型、主要金屬或某种其他元素(如硫,在含鈷的磁鉄矿石中)的品位百分数以及矿物相等。分类可表明伴生元素与其他元素或与地質及地球化学条件是强或弱的,正比或反比关系。

如果分类表明,伴生元素和所研究的因素是弱的关系,以及不能揭开伴生元素在矿床中分佈的規律性时,就要以直接法,即按每个样品中所含伴生元素的具体数量来計算这些元素的儲量。

如果确定伴生元素与某种其他元素或某种地質和地球化学产狀条件为强的关系时,可用对比法計算这些伴生元素的儲量。

对比法計算儲量較直接法精确。同时,其精确性随相关系数(不管正負)的增大而增高。换言之,相

(下轉第9頁)

表IV

組 別	1		2		3		4		5	
	含 量	誤 差	含 量	誤 差	含 量	誤 差	含 量	誤 差	含 量	誤 差
含 量 和 誤 差	25.87	+0.35	25.87	+0.36	25.87	+0.36	25.87	+0.36	25.87	+0.36
	25.83	+0.31	25.79	+0.27	25.67	+0.15	25.56	+0.04	25.52	0.00
	25.79	+0.27	25.67	+0.15	25.56	+0.04	25.52	0.00	25.52	0.00
	25.67	+0.15	25.56	+0.04	25.52	0.00	25.52	0.00	25.52	0.00
	25.32	-0.20	25.52	0.00	25.52	0.00	25.52	0.00	25.52	0.00
	25.25	-0.27	25.32	-0.20	25.50	-0.02	25.50	-0.02	25.51	-0.01
	25.23	-0.29	25.23	-0.29	25.32	-0.20	25.48	-0.05	25.50	-0.02
	25.20	-0.32	25.20	-0.32	25.20	-0.32	25.20	-0.32	25.20	-0.32
平均含量	25.52 %		25.52 %		25.52 %		25.52 %		25.52 %	
平均誤差	0.270%		0.204%		0.136%		0.099%		0.089%	
平均相對誤差	1.06 %		0.80 %		0.53 %		0.39 %		0.35 %	
用波動範圍的 一半求得的相 對誤差	1.31 %		1.31 %		1.53 %		1.31 %		1.31 %	

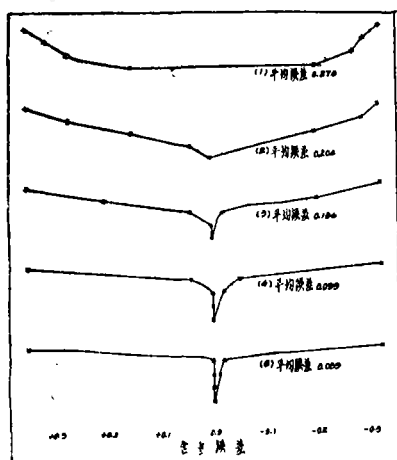


图 III

平均誤差和平均含量來計算相對誤差的辦法。

再从表IV和图III中的五組含量的誤差和曲線（五組中第一組系实例，其它四組系假設）很容易看出，其最高正負誤差虽然維持到 +0.35 和 -0.32 不动，但是因为誤差值的向平均含量的靠攏和頻率的增高，都足以說明正確性的提高，相對誤差当然应当減低，如果再用波動範圍的一半來衡量豈不是歪曲了事实。所以必須採用平均錯差來計算相對誤差，方能得到正確的評價。

最后还必须說明：因为我对于 K 值試驗的工作做得不多，經驗很缺少，本文所提出的意見，大半是出于个人的想象和根据膚淺的理論所推断，难免有未妥之处，尤其是关于誤差的分析問題，感觉到知識太淺薄，缺乏分析能力，希望同志們多多批評，使我提高認識。

（上接第33頁）

关系数越接近〔1〕，儲量計算就越精確，需要样品的数量也越少。

对比法計算儲量的實質在于，總結伴生元素与其他元素（根据許多分析）的关系方程式及确定伴生元素儲量（根据其他元素儲量）。同时，最好按地段，而不是按整个矿床进行計算。如果伴生元素不与其他品位有关系，而是与某种地質和地球化学条件有关系，那末应当按 B. И. 斯米尔諾夫的地質块段法計算儲量，即根据該地質条件計算，例如：把石灰岩和頁

岩或把硫化矿石和氧化矿石分別計算。此处应以直接法（一般）进行計算，但是可根据相关分析划分成很多块段。

最后指出，希望对伴生元素的儲量計算方法組織广泛地研究，「資成地質人員在任何地区进行勘探时必须注意伴生元素」，应作为条文記入儲量計算规范中去。在少数样品不代表块段，甚至有几个块段都缺少样品时，可以应用对比法計算儲量。在此条件下任何其他計算儲量方法都不可应用。

胡家麟譯自“勘探与保矿”1957年第1期蔣丽华校