

某多金屬礦床伴生分散元素的 取樣及儲量計算方法

孫雪山、甘志賢

某多金屬礦區總儲量報告中，除對主要組份鉛、鋅進行儲量計算外，並對伴生的硫、銅、鋁以及稀有分散元素銻、銻、鎢、銀（銀、鎢雖不屬分散元素，但在本礦區的賦存性質與分散元素類似，故將其與銻、銅合併敘述，下同）等也進行了計算。筆者願就某隊的工作結果，結合北京地質勘探學院范永香同志在該區的研究成果，整理介紹出來，希望能有助於綜合利用工作的開展。

一 礦區伴生的稀有分散 元素分佈的一般規律

某多金屬礦床，系賦存於震旦紀白雲岩裂隙中的砂礫岩型多金屬礦床。主要礦物有黃鐵礦、方鉛礦、閃鋅礦、黃銅礦、磁鐵礦、透輝石、石榴石、高錳輝石、透閃石、石英、白雲石、方解石等。礦床經光譜、多元素及較系統的組合分析、單礦物分析，證明礦石中伴生有稀有分散元素銻、銻、鎢、銀及稀有貴重金屬銀、金、鉍、銻等元素。按其在礦床中富集程度不同，工業意義較大者有銻、銻、鎢及銀。其他元素含量太微，沒有意義或意義不大。

（一）稀有分散元素在圍岩中的分佈

1. 礦區花崗岩中的稀有分散元素：礦區花崗岩中含有稀有分散元素，黑雲母花崗岩中有關的礦化元素及銻的含量較淺色花崗岩為高，黑雲母花崗岩中的副成分石榴石經光譜分析，證明均含有銻、銻、鎢、銻、銻、銅。不难看出在與成礦有關的花崗岩中，銻及礦化元素鉛、銻、銅等有富集的趨勢，與礦床稀有分散元素富集可能有成因關係。

2. 沉積岩中的稀有分散元素：在近礦的白雲岩及含銻的灰岩中，發現有銻、銻、鎢等，所有的樣品均含有銀及鎢。可見沉積岩中稀有分散元素的存在，與礦化作用及火成岩侵入和沉積岩本身含有這些元素有成因上聯繫。

二 稀有分散元素在金屬礦物中的 分佈

根據岩礦鑑定和單礦物分析，在本礦區各種金屬礦物中均含有一定的稀有分散元素及其他雜質元素，惟其含量多少有別。其中以閃鋅礦、方鉛礦含稀有分散元素較富。按照稀有分散元素在礦物中分佈特點可分為兩類：第一類為分佈較廣的稀有分散元素，即差不多所有金屬硫化物中均有分佈，惟含量高低有別，如銻、鎢；第二類為只在某幾種有關的“寄生礦物”中，如銻，是存在於閃鋅礦、方鉛礦中。

根據單礦物分析資料，對幾種主要稀有分散元素在主要礦物中的分佈情況敘述如下：

1. 銻：主要分佈於閃鋅礦及方鉛礦中，在閃鋅礦中含銻0.01%左右，最高者達0.04%；百分之九十以上的閃鋅礦樣品均有分佈。一般早期含銻、銻較富的閃鋅礦含銻有增高的趨勢。在方鉛礦中有百分之五十的樣品含銻，但較閃鋅礦為低，一般為0.003%，最高達0.006%。其它在黃銅礦光譜分析中發現有銻；分佈極廣的黃鐵礦不含銻，磁鐵礦個別樣品含0.001%的銻。

2. 銻及鎢：其特點是在所有金屬礦物中均有分佈，但在閃鋅礦中最富集。

銻在閃鋅礦中一般達0.01%強，低者為0.004%，其它在黃鐵礦、方鉛礦、磁鐵礦中含量極為穩定，均在0.004%左右。

鎢主要在閃鋅礦中且含量極為穩定，常在0.21~0.22%之間，在淺色閃鋅礦中最高達0.36%；其它礦物中以方鉛礦較高，含量變化極大，從0.069~0.007%；在黃鐵礦及磁鐵礦中亦含0.002~0.003%的鎢。

3. 銻、銻及鉍：銻僅見於黃鐵礦及磁鐵礦中，且含量極為穩定，在0.002%。銻只見於鉛精礦（含量為0.0005%）及磁鐵礦中（含量為0.001%）。鉍在个

別樣品中發現，一般含量為0.001%，甲礦區方鉛礦中含量有高達0.04%者。

(三) 稀有分散元素在礦體中的分布

1. 稀有分散元素與主要組份之間的關係

從單礦物、組合及個別精礦分析資料中都反映了伴生的稀有分散元素與主要元素有著緊密的正相關關係，特別與鉛、鋅最為密切。

(1) 銅、鎳：從主要分區乙礦區作圖及計算結果，得到與單礦物分析一致的資料，與鉛、鋅有著極為密切的關係。以乙礦區33個組合樣品依鉛、鋅分級平均作圖，圖上各點離散程度極小，點間幾可聯成比例直線，與鉛鋅的關係均較密切，但與鋅更為密切（見圖1、圖2）。與鉛也表現了密切的相關關係，一方面是含鉛的礦物中含有這些元素，更重要的在於鉛鋅之間有著密切的聯繫。

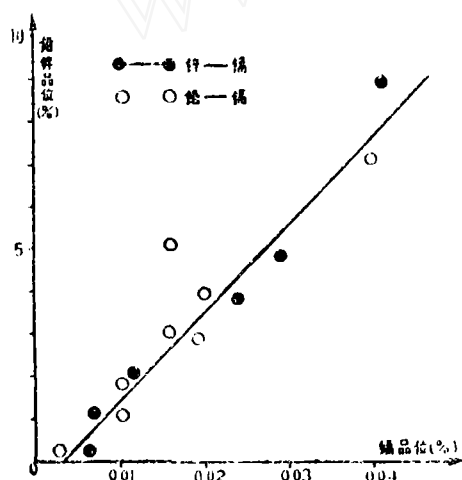


圖1 鉛鋅與鎳關係圖

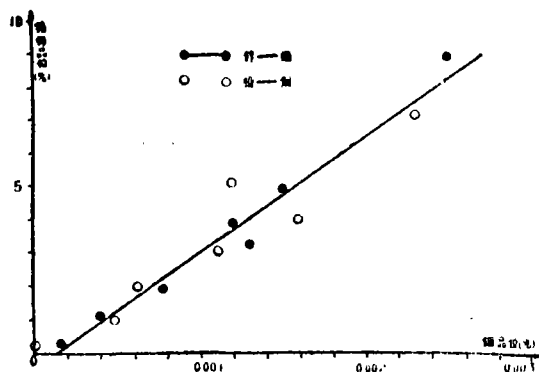


圖2 鉛鋅與銅關係圖

(2) 鋅：從單礦物分析資料中已經了解，所有礦物中均有分布，與多種組份之間有著一定的聯繫，故最終造成與主要組份之間均不是很緊密的關係。從與鉛鋅關係圖來看，各點的離散程度極大（見圖3），相關係數計算結果均小於0.2。

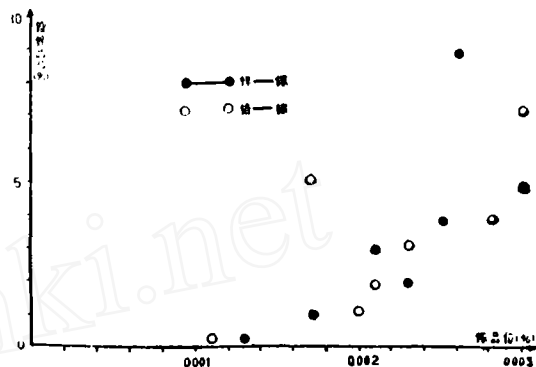


圖3 鉛鋅與鋅關係圖

(3) 銀：與鉛鋅均有密切的關係。

茲將礦區代表性礦體相關係數計算結果列如表1：

表1

元 素	γ	元 素	γ	元 素	γ
Pb-In	+0.86	Zn-In	+0.87	S-In	+0.40
Pb-Ga	+0.10	Zn-Ga	+0.18	S-Ga	+0.12
Pb-Cd	+0.84	Zn-Cd	+0.98	S-Cd	+0.01
Pb-Ag	+0.81	Zn-Ag	+0.83	S-Ag	+0.13

從表1中可見，除鋅外均與鉛鋅有著密切的關係，尤其與鋅最為密切。與硫均沒有明顯的相關關係。

2. 稀有分散元素在礦床中的變化

(1) 銅在空間分布上，距離花崗岩由近而遠，從甲礦區經乙礦區、丙礦區，可以看出這些元素總的變化，由黃鐵礦帶及黃鐵礦鉛鋅礦帶向鉛鋅礦帶，這些元素的富集強度減弱，丙礦區多數組合分析均不含銅，而在甲礦區則凡含有鉛鋅的組合樣品銅達到最高含量。

(2) 礦區中銅、鋅、鎳、銀及鉛鋅等品位變化係數與鉛鋅比較，銅、鎳、銀較鉛鋅稍大或近等，而鋅則很低，如乙礦區為56.6，說明組合分析結果反映了組合範圍內的平均變化。而鋅因在礦石中幾乎所有礦物均有分佈，故平均結果變為穩定，但不能從而得出結論認為該元素在礦床中是穩定的。

(四) 稀有分散元素在精礦中的富集

從單礦物分析資料，已經查明稀有分散元素與主要礦石礦物之間有密切的關係，預料在鉛、鋅精礦中稀有分散元素將得到相當富集。現將個別樣品分析資料列如表2。

表 2

產 品	品 位 %			
	In	Ga	Ge	Tl
鉛 精 礦	0.09	0.0018	0.0006	0.0005
鋅 精 礦	0.065	0.0015	0.0007	0.0002
硫 精 礦	0.0078	0.0018	0.0003	0.0002
尾 礦	0.0035	0.0015	0.0004	0.0001

(據分析單位銻結果可能偏高)

从上表可見錫在鉛鋅精礦中達到了相當的富集。但遺憾的是沒有鎢、銀、金等元素的分析結果。

(五) 稀有分散元素在礦床中存在的形式

依礦區已有資料來看，稀有分散元素有無獨立礦物不能肯定，有些元素在自然界中已有獨立的礦物分布，如鎢、鉍。在本區因研究不夠，鑑定不易，尚未發現，但從工業利用及儲存量上來看，可以肯定可能有價值的仍為伴生於閃鋅礦、方鉛礦及黃鐵礦的部分，對此予以重視是必要的。花崗岩全分析結果證明，含有0.002%的鎢，與礦石中鎢的平均含量相同，但肯定沒有利用的價值，因為花崗岩不作為開採對象。

二、稀有分散元素的取樣

與化驗分析

多金屬礦床中，稀有分散元素只是作為主要有用組份的副產品順便回收，故在勘探多金屬礦床的同時，要對稀有分散元素進行研究。為對這些元素進行評價，最重要的工作是取樣以及與取樣相應的研究。其目的在於肯定礦床中存在哪些稀有分散元素以及其富集程度；了解礦床中稀有分散元素的存在形式以及其富集規律，特別是與主要元素之間的關係，了解與哪些礦石類型和品級，以及與哪些礦物有關；了解主要礦石在技術加工及冶煉過程中各種產品及廢料中稀有分散元素的分布富集情況。

(一) 各種樣品的採取目的與取樣方法

1. 光譜分析：目的在於發現礦石中是否有某些稀

有分散元素的存在。採樣方法是在礦體裡採用揀塊法或取單礦物。為了節省加工費用，也可以從礦體中的基本分析副樣中，按礦石類型、品級（貧、中、富、）抽取。為提高分析效果，可將樣品進行富選，提高主要礦物的含量。樣品重量為20—30克。

2. 單礦物分析：其目的方面在於發現那些因含量低在分析礦石樣品或精礦樣時，可能被忽略掉的伴生元素；另一方面是要了解礦床內伴生的稀有分散元素與主要礦物之間的關係，從而了解稀有分散元素在礦物及礦床中的分布與富集規律。稀有分散元素常與幾種主要金屬礦物關係密切。由於這些元素在礦石中含量甚微，用組合分析可能使原礦中稀有分散元素的品位降低到沒有工業價值；而實際上主要礦石礦物，經過選礦後，稀有分散元素可能在某種精礦中達到相當富集的程度，而成為值得回收利用的。所以考慮用較系統的單礦物分析資料進行稀有分散元素的儲量計算。

某礦區單礦物樣品是在方鉛礦、閃鋅礦、黃鐵礦中，用揀塊法採取或選取富集的便於分離礦物的標本，根據礦物結晶顆粒的大小，把標本粉碎至所需粒度，在雙筒顯微鏡下分選出純淨的單礦物樣品，一般選出樣品在送交化驗之前，要經過多次放大分選檢查，以求達到相當純度。樣品重量一般10克左右，在做化驗時一般每一元素需用1—2克，但是用重量法定金、銀時，則所需重量較大。分析項目為主要組份及有意義的伴生雜質。該礦區分析項目有鉛、鋅、硫、銅、鎢、鎳、鈷、鉍、金、銀等。按一般黃鐵礦中均含有硒、碲兩元素，分析時應列入，但該礦區沒有分析硒、碲。

3. 組合分析：其目的是為確定某種稀有分散元素在所研究的礦體內的含量，對伴生元素進行評價，計算其儲量。採樣方法是按礦石的類型、品級（按普通樣品主要組份的含量劃分為4—5級），從基本分析樣品中抽取組合。組合原則必須是同一礦體並在工業礦體範圍內採取，一般同一礦體同一工程同一品級，作為一個組合樣品，由10—20個基本分析樣品，按各個樣品長度進行組合。具體每個樣品所應抽取的重量可按下式計算：

$$x = \frac{L}{\sum L} \times Q$$

x —— 某個樣品應抽取的重量；

Q —— 組合樣品總重量；

L —— 某個樣品長度；

$\sum L$ —— 組合樣品總長度。

分析項目主要是依據單礦物、精礦等的光譜分析結果，選定有價值的元素進行。某多金屬礦區組合分析項目有鉛、鋅、硫、金、銀、銅、鎳、鎢、鉍、鉭等。組合樣品原始重量一般為200—400克。

4. 精礦、尾礦取樣：其目的是了解稀有分散元素在各種精礦中富集程度，或是在尾礦中富集程度，以確定有否回收利用價值，以及了解稀有分散元素伴隨主要組份在選礦過程中的可選性。樣品由選礦試驗單位採取。分析項目是根據已掌握的資料，提出有工業意義的伴生元素進行分析。某礦區分析項目有銅、鎢、鉍、鉭，其他元素如金、銀、鎳、鉍、鈾等也列入。

(二) 取樣及分析中應注意的及存在問題

1. 光譜分析：這種分析是為下一步工作提供依據，其靈敏度高，取樣簡易，效率高，成本低，應廣泛的採用。但對於鎢、鉍兩元素不宜採用光譜分析，如採用時，必須有專門的設備。

2. 單礦物分析：單礦物分析存在的主要困難是不易取得純淨的礦物，效率低，需要時間人力較多。另外單礦物樣品採取只有在確定稀有分散元素與主要礦物之間有密切關係，且只與少數幾種礦物之間有密切的關係時才是有意義的。且礦物的世代完全或絕大部份屬於一個世代或幾個難以識別的世代，才是有意義的。礦物的結晶要比較粗大。

因此一般大量採用單礦物分析進行儲量計算是有困難的。但是在任何情況下採取少量樣品是必要的，這對於了解伴生元素與主要礦物的關係及其富集形式規律是有很大的幫助的。樣品數量每類礦物一般採取幾個就可以。

3. 化驗分析：稀有分散元素含量微，分析困難，目前一般化驗室還不能做，是研究中的一個困難問題。一般認為對這些元素分析靈敏度要高，但準確度不必過嚴，允許相對誤差可達±30—50%，但是應該注意檢查有否系統誤差，因此各種分析樣品一定要做內外檢驗分析。

某礦區對銅的化驗分析結果只能達到十萬分之一，十萬分之一以下為零。根據銅與鉛鋅關係密切，當鉛鋅在工業品位以上時，無疑銅應該是存在的，而且銅具有工業價值的最低品位規定百萬分之二，所以其分析精度直接影響到工業評價問題。

4. 組合分析：多金屬礦床中稀有分散元素，主要作為主要組份的副產品，所以組合樣品範圍要在工業

礦體範圍內採取。組合樣品的分散要系統均勻些且有代表性。如果某一級別中所包括的樣品數量過大，則可將樣品縮減到30—40個單個樣品，可以用某一種隨便選取的方法來採樣。例如可根據取樣登記簿的紀錄，從所有同級樣品中每隔兩個或者四個選取一個樣品。在組合分析項目中要把主要元素列入組合分析項目。一般組合分析有如下缺點：

(1) 組合分析結果反映的是組合範圍內，稀有分散元素含量的平均變化，不能了解更為精確的位置。

(2) 組合的結果可能使微量的稀有分散元素降低到超過化驗所能達到的精度，以致無法化驗或者是使其品位降低到沒有工業價值。而實際上在技術加工過程的產品或廢料中，又可以富集到可以回收利用的程度。在這種情況下，利用組合分析結果作為評價的根據，顯然是不正確的。有時會得出嚴重的錯誤評價。因此組合樣品僅在查明各種分散元素於礦石中有相當高的濃集，高過分析最低的靈敏度時，才能得到良好的效果。

當伴生元素種類繁多，並在原礦石中達到相當的富集，不因組合而使其含量過低，而使化驗分析發生困難，導致評價錯誤時，用系統的組合分析對伴生的稀有分散元素進行評價與儲量計算是可以的。

(3) 組合分析是確定礦石中某些分散元素的含量，而分散元素（鉍、鎢、鉭、銅）不僅可以賦存於有用金屬礦物中，它還存在於無用矽酸鹽礦物中（石英、雲母、柘榴子石等），因此把該元素在無用礦物中的含量也計入儲量，顯然是不正確的。

5. 必須重視對於精礦、尾礦的研究取樣分析，特別是精礦。因為這種分析不僅可以了解稀有分散元素的富集形式規律，而且也可以了解稀有分散元素伴隨主要礦產在選礦過程中的可選性，肯定不經專門的選礦措施而回收稀有分散元素的可能性，這一點對於稀有分散元素的工業評價乃是最重要的。地質人員必須與選礦試驗單位合作，並明確的提出這方面的要求。我們過去對這方面的研究是很不夠的，到急需時才匆忙的提出要這方面的資料，致使很多必要的分析項目，如鎳、銀、金等沒有提出分析結果。

6. 可選性試驗樣品的採取。當伴生元素只賦存於主要金屬礦物中，且在主要金屬的精礦中富集時，其順便回收的可選性已經解決，則不必另做專門的可選性試驗。因此，除分散元素外在多種礦物中含有銅、鉍、鉭、鈾、銀、金等伴生組份時，應採取專門

的可選性試驗樣品，以便研究其加工技術特性，以及利用人工方法富集的可能性。只有解決可選性問題，才能保證礦床在采、選工作中更有效的利用銅、鋁、鉍、鈳、銀、金等伴生元素。因此在有條件的礦區，對某些伴生元素（分散元素除外）應考慮採取專門的可選性試驗樣品。

三、稀有分散元素儲量計算

（一）計算標準

對礦石中伴生的稀有分散元素的評價，目前還沒有明確的系統的工業標準，現在作為工業評價的主要依據是取決於加工、冶煉過程中能否回收，如果能夠回收，就應該有多少計算多少。

如在原礦石中含銅達0.0002%，鎳達0.001%，鉍達0.001%，鎢達0.05%，鈳達0.001%時即有綜合利用的價值。

某礦區，經前述各種分析證明礦石中伴生的稀散元素主要有鎳、銅、鎢、銀與微量的鉍、鈳、金等。按其在礦體中富集程度不同，鎳、銅在大多數工業礦石中均達到作為綜合利用最低品位的要求；銀、鎢的含量較高且穩定，故對鎳、銅、鎢、銀四個元素進行了儲量計算。

（二）計算方法選擇及其根據

儲量計算方法選擇主要決定於礦床地質特點及勘探方法，並在此基礎上力求方法簡便。但稀有分散元素還較其他礦產具有如下特點：

1. 由於這些元素在礦石中含量低微，沒有或很少有單獨礦物，因此在勘探過程中對其了解較主要組份為差。

2. 這些原料在將來利用上，只是作為主要組份的副產品。所以伴生的稀有分散元素的儲量計算應在主要組份基礎上進行，許多參數應與主要組份參數一致。稀有分散元素平均品位的確定是最具關鍵性的，也是其本身最具特點的參數。

綜合上述，某礦區採用了與主要組分相同的計算方法——地質塊段法進行計算。另外用相關法、單礦物法及精確法作了計算的研究與儲量的估算檢查。

（三）、用地質塊段法計算稀有分散元素儲量的具體方法。

1. 稀有分散元素的儲量只在主要組份鉛、鋅、硫

有工業價值的礦體中進行計算，平衡表外礦石不進行計算。

2. 考慮到單礦物，組合分析資料不多，分布不均勻、不系統，所以不另行圈定礦體及劃分礦塊，以礦體為單位進行，礦石量則借用同一礦體有關主要組份礦石量總和。當礦體較大、資料較多、較均勻系統時，也可以考慮另行圈定礦體，劃為礦塊。

3. 因無冶煉回收資料，選礦回收資料也不全，加之分析精度不高，故礦區所有稀有分散元素的儲量均列為C₂級。當了解研究程度較好時，也可以列為高級儲量。但是一般了解研究程度比主要組份較差，所以儲量級別應比主要組份低。由於稀有分散元素只作為副產品順便回收，因此其儲量級別的高低，意義是不大的。

4. 確定稀有分散元素在礦石中的平均品位，這是最關鍵性的工作。在地質塊段法中可用組合分析資料以算術平均法求得，並按每一礦體進行計算。計算中依下列不同情況分別處理：

（1）礦體中組合樣品個數較多，個別結果為零者，則以零參予計算。因伴生稀有分散元素與主要元素有密切關係，當主要元素達到工業標準，無疑稀有分散元素是存在的。

（2）只有個別樣品的小礦體，則以個別樣品分析結果作為礦體平均品位。若僅有個別樣品分析結果為零者，則依主要組份鉛、鋅品位而定，如其中之一平均品位在2%以上者，則以小礦體缺樣處理，否則不予計算。考慮到只有個別樣品，代表性較差，也可用某地段小礦體平均品位作為某小礦體平均品位。

（3）缺樣的小礦體，若其中鉛、鋅之一平均品位在2%以上者，則以全分區（地段）小礦體組合分析樣品求得平均品位代替小礦體平均品位。理由同前。

（4）不作高品位處理。

5. 部分組合樣品的範圍與工業礦體範圍不一致時，不作考慮。

6. 當組合分析樣品所代表的主要組份比礦石中平均品位偏高或偏低時，在稀有分散元素與主要組份有密切關係的情況下，用地質塊段法所得的結果也是偏高或偏低的。

7. 以組合分析求得礦石中稀有分散元素的平均品位後，以此乘上相應的礦石量，即得出稀有分散元素的金屬儲量。

(四) 用相关法计算稀有分散元素储量的具体方法

1. 方法实质：相关法是通过相关分析（变数统计学的一种方法），确定伴生的稀有分散元素与主要元素之间有何相关关系，以及这种关系的强弱程度。然后通过相关系数求得稀有分散元素的平均品位，用主要元素所算得之矿石量，确定稀有分散元素的储量。因此采用相关法的前提，必须是稀有分散元素与主要元素之间有明确的相关关系，并且这种关系愈强（即相关系数愈接近1）储量计算结果也愈准确。基于现有的研究成果，稀有分散元素在多金属矿床中的富集，与主要组份之间存在相当密切的成因及地球化学方面的联系（如常见以类质同像混入物形式存在于主要金属矿物中），因此利用相关分析，查明稀有分散元素与主要组份之间的关系，并用以计算其储量是有其地质基础的。

2. 相关系数的计算

计算公式：

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{n \cdot \delta x \cdot \delta y}, \quad \delta r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}$$

其中 $\delta x = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}$, $\delta y = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n}}$

r —— 相关系数；

x —— 各个样品中分散元素的品位；

$\bar{x}$ —— 分散元素的平均品位（算术平均值）；

y —— 主要元素品位，用组合样品时为组合分析结果或组合范围内平均品位；

$\bar{y}$ —— 主要元素的平均品位（算术平均值）；

n —— 样品个数；

$\delta x, \delta y$ —— x, y 的均方差；

δr —— 相关系数的均方差。

相关系数具体计算步骤如下（见表3）

(1) 把各个样品分析结果包括主要元素与分散元素填入表3中1~9项。

矿区主要元素与稀有分散元素相关系数计算表

表3

顺序号	组合试料编号	分析结果							对平均数的偏差							偏差		
		Y			X				Y - Y			X - X				(Y - Y)²		
		Pb	Zn	S	In	Cd	Ga	Ag	Pb - $\bar{Pb}$	Zn - $\bar{Zn}$	S - $\bar{S}$	In - $\bar{In}$	Cd - $\bar{Cd}$	Ga - $\bar{Ga}$	Ag - $\bar{Ag}$	10²	11²	12²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

平方				偏差的乘积												备注	
(X - $\bar{X}$)²				(Y - $\bar{Y}$) · (X - $\bar{X}$)													
13²	14²	15²	16²	10×13	10×14	10×15	10×16	11×13	11×14	11×15	11×16	12×13	12×14	12×15	12×16		
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	

(2) 用算术平均法计算各主要元素及分散元素的平均品位。

(3) 将各项品位与各自平均品位相减，其数值分别填入表3中10~16项内。平均品位低则填(+)号，反之填(-)号。

(4) 将各偏差数值进行平方，其结果分别填入表3中17~21项内，并将各项各自相加数值分别填

写在各项下面。

(5) 计算各种元素偏差乘积，即将表3中10~12项分别与13~16项相乘，并将其结果依次填入24~35项内。填写时同号相乘则为(+)号，异号相乘则为(-)号。然后，将24~35项各自相加，数值分别填写在各项下面。在相加时应注意不同(+)、(-)号数值要抵消。

(6) 按照公式計算相關系數及相關係數均方差。

相關系數 γ 值在 ± 1 之間變化，當計算結果 $\gamma \pm \delta\gamma > 0.5$ 時，方認為相關關係是密切的。某礦區鋅鉛與銅、鎳、銀的相關關係是很密切的，相關系數在0.8以上，所以我們用相關法計算了銅、鎳銀三種元素的儲量。

3. 用相關系數計算稀有分散元素的平均品位。

用於計算稀有分散元素平均品位之相關系數，要採用其中最大之數值。如鋅與銅之 γ 值為0.9，鉛與銅之 γ 值為0.8，則採用鋅與銅之 γ 值0.9。

用相關系數計算稀有分散元素的平均品位，可依И. П. 沙拉波夫所提出的直線迴歸方程式及聯合迴歸方程式進行計算：

(1) 直線迴歸方程式： x 對 y 為：

$$X = \gamma \frac{\partial x}{\partial y} (y - \bar{y}) + \bar{x} \dots\dots\dots (a)$$

同樣 y 對 x 為：

$$y = \gamma \frac{\partial y}{\partial x} (x - \bar{x}) + \bar{y} \dots\dots\dots (b)$$

(2) 聯合迴歸方程式

該方程式由上述(a)、(b)二式導出， x 對 y 為：

$$X = \frac{1}{2} \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{\partial x}{\partial y} (y - \bar{y}) + \bar{x} \dots\dots\dots (c)$$

公式中符號的意義與前述相關系數計算大致相同，在具體應用時對某些符號的意義與來源作如下說明：

x ——所計算之礦塊（或礦體）稀有分散元素的平均品位；

$\bar{x}$ ——計算相應的 γ 值時，所得稀有分散元素的平均品位，取自相關系數計算表；

y ——所計算之礦塊（或礦體）主要元素平均品位，取自主要元素儲量計算總表；

$\bar{y}$ ——計算 γ 值時，主要元素的平均品位，取自相關系數計算表；

當 $y > \bar{y}$ 時，無疑 $x = \bar{x} + \text{正數}$ ，故 $x > \bar{x}$ 。反之，當 $y < \bar{y}$ 時， $x = \bar{x} + \text{負數}$ ，故 $x < \bar{x}$ （指正相關關係時）。

上述(a)、(c)二式所得結果並不完全相同，因 x 、 y 並非函數關係。結果差別的大小與相關系數的大小有關，相關系數愈小其差別也愈大。當 γ 值近於1時，差別就很小。這種差別也說明了所計算的稀有分散元素有部分與主要元素無關。在一般情況下二

者都可以用，二種結果可同時列入作為比較參考。茲舉例具體計算如下：

相關系數計算結果，鎳與鋅的關係最密切，相關系數最大， $\gamma = +0.882$ 。

$$\delta x = 28.24 \quad \delta y = 4.15$$

礦石中鋅的平均品位為 $\bar{y} = 2.70\%$ 。

計算鎳與鋅的相關系數時，鋅的平均品位為 $\bar{y} = 3.95\%$ 。

計算鎳與鋅的相關系數時，鎳的平均品位為 $\bar{x} = 24.52$ (g/t)。

求鎳在礦石中的平均品位：

(1) 依直線迴歸方程式：

$$\begin{aligned} X &= \gamma \frac{\partial x}{\partial y} (y - \bar{y}) + \bar{x} = 0.882 \frac{28.24}{4.15} \times \\ &\quad (2.70 - 3.95) + 24.52 \\ &= 0.882 \times 6.80 \times (-1.25) + 24.52 = 6.00 \times \\ &\quad (-1.25) + 24.52 \\ &= -7.5 + 24.52 = 17.02 \text{ (g/t)} \end{aligned}$$

(2) 依聯合迴歸方程式：

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{2} \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{\partial x}{\partial y} (y - \bar{y}) + \bar{x} \\ &= \frac{1}{2} \left(0.882 + \frac{1}{0.882} \right) \frac{28.24}{4.15} (2.70 - 3.95) + \\ &\quad 24.52 \\ &= \frac{1}{2} (0.882 + 1.134) \times 6.80 \times (-1.25) + \\ &\quad 24.52 \\ &= 6.85 \times (-1.25) + 24.52 \\ &= -8.56 + 24.52 = 15.96 \text{ (g/t)} \end{aligned}$$

4. 計算稀有分散元素的儲量

由上述(a)、(c)二式求得稀有分散元素在礦石中的平均品位後，再通過主要元素的礦石量計算其金屬儲量。具體按下列公式計算：

$$P = X \cdot Q$$

P ——稀有分散元素的金屬量；

X ——按(a)、(c)二式所求得的稀有分散元素的平均品位；

Q ——所計算範圍內主要元素的礦石量。該礦石量必須與(a)、(c)公式中所採用之主要元素平均品位(y)相適應。如所採用之 y 為某礦體鋅的平均品位，則應採用該礦體鋅的礦石量。礦石量來源取自主要元素儲量計算總表。

(五) 用單礦物分析資料計算稀有分散元素儲量的具體方法。

1. 方法實質：由於稀有分散元素存在着“寄生礦物”問題，亦即是某種稀有分散元素呈雜質混入於某種礦物中，並且僅存在於某種或某幾種礦物中，這樣通過少數單礦物樣品分析資料，就可以獲得稀有分散元素的平均品位，再通過相應的礦物量計算其儲量。若稀有分散元素有單獨礦物出現或者普遍的存在於多種礦物中時，使用單礦物法則是不合理的。某礦區經分析證明銅、鎢在閃鋅礦、方鉛礦中富集，所以用單礦物法估算了銅、鎢的儲量，銀由於沒有分析，未能進行計算。

2. 稀有分散元素的平均品位計算

通過代表性單礦物樣品分析資料，可以了解稀有分散元素在礦物中的含量。用算術平均法計算出其平均品位。在適合的條件下，僅用少數樣品就可確定稀有分散元素的平均品位。顯然要比用組合分析確定其平均品位簡便與節省。

3. 礦物量的確定

礦物量的精確確定是一個困難問題，需要進一步研究解決，我們考慮用下述三種方法：

(1) 在顯微鏡下測定礦物的含量：用礦石光片在反光顯微鏡下，用統計點或面積方法測定。為使測定達到應有精度，要做大量的測定，同時標本要有代表性，並應注意定向採取，定向磨片。

(2) 用重量法測定礦物量，將礦石破碎後，挑出其中所要測定的全部礦物。

(3) 用金屬量（或品位）進行換算：換算的方法是通過金屬量及礦物組成元素重量比計算而得。當主要元素主要成為某種礦物時，才可使用這個方法。

具體計算可按下列公式進行：

$$Q = \frac{P}{C}$$

Q —— 所要求計算之礦物量；

P —— 所計算之礦物量中主要金屬元素的儲量，取自主要元素儲量計算總表；

C —— 主要元素在該礦物中組成重量比，取自礦物學等有關文獻，其數值為百分比，在具體計算中應以小数點表示。

用金屬量（或品位）換算礦物量存在如下問題：

① 含某種元素的礦物常很複雜，如在多金屬礦中，鉛鋅的金屬儲量（或品位）絕非只來自方鉛礦、

閃鋅礦。因此用鉛鋅的金屬量所確定的方鉛礦、閃鋅礦的量，顯然是有誤差的。

② 在同一種礦物中，其成份也不是固定不變的。如閃鋅礦中鋅的含量就變化很大，可以有10%以上的鋅被鐵銻等所置換。

當然在採樣、分析及具體換算中，要把上述因素考慮進去，無疑工作將是異常複雜與困難的。在多金屬礦床中，當鉛鋅的主要礦物為方鉛礦、閃鋅礦時，用這種換算方法估算還是很簡便的，也可達到一定的精度。本礦區就是採用這個方法。具體換算茲舉例如下：

鉛金屬量為10,000噸，求其方鉛礦量。

從礦物學上查得方鉛礦中鉛佔86.6%，按公式方鉛礦量應為：

$$Q = \frac{P}{C} = \frac{10000}{0.866} = 11547 \text{ (噸)}$$

又鋅金屬量為10,000噸，求其閃鋅礦量。

從礦物學上查得閃鋅礦中鋅佔67%，按公式閃鋅礦量應為：

$$Q = \frac{P}{C} = \frac{10000}{0.67} = 14925 \text{ (噸)}$$

(4) 計算稀有分散元素的儲量

通過單礦物取樣分析求得了礦物中稀有分散元素的平均品位，又以換算或測定方法確定了礦物量。礦物中稀有分散元素的金屬儲量即可求得。具體可按公式計算：

$$P = Q \cdot C$$

P —— 稀有分散元素的金屬量；

Q —— 某種礦物重量；

C —— 某種礦物中稀有分散元素的平均品位。

(六) 用精礦分析資料計算稀有分散元素的儲量。

在多金屬礦床中，稀有分散元素由於與主要礦物關係密切，所以在鉛、鋅的精礦中可以達到相當的富集，即不經專門的選礦而進入精礦中。因此用精礦分析資料估算稀有分散元素的儲量是必要的，所得的儲量要比在原礦中所得地質儲量更具實際意義。一般精礦資料不多，樣品個數少，代表性可能較差，是其主要缺點。稀有分散元素的儲量估算可按下式進行：

$$P = \frac{P'}{C} \times$$

P —— 稀有分散元素的金屬量。

P' —— 某種主要元素的金屬量。

- C —— 某种主要元素精礦的品位;
x —— 精礦中稀有分散元素的品位。

(七) 几种計算結果評述

1. 某礦區計算結果表明, 用地質塊段法及相關法計算結果近似, 一般誤差在10~20%左右, 這說明方法本身有一定可靠性。

2. 計算結果以地質塊段法較高, 相關法比地質塊段法稍低, 單礦物法更低(與地質塊段法差50%)。這是因为地質塊段法是用組合分析結果計算, 稀有分散元素的品位包括了主要礦石礦物與脈石礦物中的含量總和。而相關法稍低是因为有一部分稀有分散元素與其他元素有關, 這一部分沒有計算在內的緣故。單礦物法是因为只計算了方鉛礦、閃鋅礦中所伴生的稀有分散元素, 而伴生於其它礦物的部分未能進行計算的

緣故, 所以結果的偏低是合理的。

3. 總的看來, 由於稀有分散元素在原礦中含量低微, 用組合分析結果在工業評價時可能會引起錯覺。所算得之稀有分散元素儲量, 不僅存在於主要礦石礦物中, 同時也包括了存在於脈石礦物中的部分, 而這一部分儲量一般意義不大。所以用組合分析結果所計算之儲量, 不一定都能有效的利用到工業上去。用相關法、精礦法或單礦物法所計算得之稀有分散元素的儲量, 由於與主要組分或礦物關係密切, 所以在選礦過程中, 稀有分散元素無疑要伴隨主要礦產進入各種精礦中, 因此這些儲量順便回收的可選性是有問題的, 只要解決冶煉回收方法, 就可以保證有效的應用到工業方面。另外這幾種方法所用樣品數量比組合法也少得多。當然這些方法目前還存在一些問題, 有待今後進一步研究。

多金屬礦床伴生稀有分散元素取樣分析方法

范永香

在分佈很廣的岩漿期後多金屬礦床中, 除富集有鉛、鋅、銅等主要有用金屬元素外, 同時有多種有益伴生元素的富集, 諸如金、銀、銻、鈷及稀有分散元素之銻、鎢、鉬、鉍、鉍及碲、銻等。在勘探利用主要礦產的同時, 為合理綜合利用礦產資源擴大稀有分散元素的來源, 同時降低勘探採冶成本, 必需對有益伴生元素予以全面的研究。現僅就伴生的稀有分散元素的取樣分析問題提出初步意見, 供參考與討論。金、銀、鉍、銻等其他有益伴生元素, 與稀有分散元素具有相似的特點, 故不贅述。

分散元素在各個地球化學過程中, 兼其稀有性及分散性為其主要特點, 沒有或很少有自己獨立礦物, 多呈類質同像混入物存在於其他有關礦物中; 由於其親硫的性質而伴生於岩漿期後的硫化礦床, 但一般在自然條件下很難達到工業富集, 大多數需經過加工, 而作為主要礦產的副產品或中間產品綜合回收。因此對這類元素的找礦勘探及經濟評價, 就不僅要注意自然條件下的原生富集, 同時要研究有關礦產在加工利用過程中的分佈。在對主要礦產勘探的同時, 為對伴生元素進行評價, 最重要的工作是取樣及與取樣相應的研究, 目的在於: 肯定礦床中存在哪些稀有分

散元素及其富集程度; 伴生元素在礦床中存在形式及富集規律, 特別是與主要礦石、礦物及元素之間的關係; 伴生元素在主要礦石各個技術加工及冶煉過程中各種產品及廢料中的分佈情況。

一、各類分析樣品採取目的及方法:

1. 光譜分析: 可用簡單的揀塊法採取, 即選擇具有一定代表性的礦石及圍岩送分析, 目的在提供礦石中所含元素種類定性的資料, 以提出進一步做其他更準確分析的項目。光譜分析靈敏度高, 所需樣品少, 且取樣法簡單, 生產效率高, 成本低。取樣時, 除礦石及有關圍岩外, 若有廢石堆, 氧化帶及冶煉爐渣均應採取有代表性樣品, 特別是爐渣及氧化帶的樣品往往為稀有分散元素可能富集的地方, 可以幫助我們很快的鑑定在礦床中存在哪些稀有分散元素。在條件可能的情况下, 尽可能在光譜定性的基礎上, 做些光譜半定量分析, 這樣將提供更重要而可靠的資料。

2. 多元素分析: 採樣範圍主要限於礦體, 可用與基本分析採樣同一方法採取, 或用簡單揀塊法亦可。化學分析的目的在於: 肯定礦石中伴生有益及有害組分的價值及其影響, 從而決定進一步工作的方向及方法。分析項目應包括礦石中可能存在的重要有益