

第一章 選礦過程

§ 1. 選礦概論

「有色金屬」的概念包括原有的有色金屬，即銅、鉛、鋅等以及稀有的、貴重、散佈金屬。

在平時有色金屬對所有的國民經濟工業部門有着最重要的意義。但是有色金屬在戰時更具有特殊的意義，因為其中大多數是屬於戰略上的金屬。

如果沒有有色金屬，則任何工業和農業以及軍事部門便不可能存在和進一步發展。有色金屬廣泛地用於機器製造業、電氣工業、建築業、飛機製造業、坦克製造業、各種軍械、彈藥的生產以及家常用品和輕便器具的生產等等。

按照銅、鋁、金、銀和其他有色金屬的生產量，蘇聯在世界各國中是居領導地位。有色金屬的生產是隨我國社會主義國民經濟增長的需要，而不斷地發展着。例如，在一九四六至一九五〇年內，銅的生產增加為160%。而鋁的生產增加為200%。但是，我國建設共產主義的任務，需要繼續發展有色金屬的原料基地及其生產技術。

在所有的工業部門、農業、尤其是在機器製造業中，技術的進步要求更迅速地發展有色金屬的生產。

有色金屬的來源，就是有用礦物或含一種和幾種有色金屬的岩石。

凡有用礦物中，含有近代技術經濟條件下可能選出的貴重金屬量者，就稱為礦石。但是，並不是所有含貴重成分之有用礦物都可以叫做礦石。因為，礦石之定義是有條件的，它不僅決定於現代的技術條件，並且是根據社會主義國家的條件，以及發展國民經濟的利益而確定。

含有一種貴重金屬或礦物的礦石，叫做簡單的或單金屬礦石。如在其中含有兩種或更多種的貴重礦物時，此礦石叫做複雜的或多金屬礦石。在岩石中有用礦物並不含有足以將其選出之量者，稱為脈石。

組成礦石的礦物，呈金屬硫化物的，稱為硫化礦物、硫酸化礦物等等。呈氧化物的，稱為氧化礦物、低價氧化礦物等等。與此相當的礦石，含有呈硫化物型的有價礦物叫做硫化礦，而含呈氧化物型的稱為氧化礦。含有好幾種礦物的礦石叫做混合礦石。

地下埋藏的有色金屬礦石，如不預先進行選礦，則大多數是不能直接從其中提煉出金屬的。

因此，譬如對冶煉加工而言，就要求一定的金屬含量，常預先規定對每一種

礦石的技術規格。

一般的有色金屬礦含大量的岩石，而其中的金屬含量，常遠遠低於冶煉技術條件所需之金屬含量。

除金屬品位相當低以外，有色金屬礦石的礦物組成和化學組成還特別複雜。它是含有好幾種有色金屬和稀有金屬以及礦物的綜合礦石。這些金屬共同存在於礦石中，如不預先選礦，就難以進行冶煉（而在某些情況下除外）。爲了進行有色金屬的生產，就必須事先加以處理。處理的結果，在最小的費用和最大的技術經濟效率下，得到可以從其中冶煉出有色金屬和有價值共生成分的產物。選礦過程包括預先處理有用礦物和用特殊的操作將其分成兩種和更多的產物。此類產物中都富集有一種或一組礦物。

礦物預先處理之結果，一般是得到兩種或更多的產物：主要的含脈石礦物的尾礦，和一種、兩種和更多種的精礦。在精礦中富集有相當的有用礦物。這就是選礦過程的基本。

選礦技術的發展大大地擴大了工業原料的基礎，使那些以前因爲品位太低和成分複雜而不能在工業上應用的礦床變爲有用的有色金屬礦床。選礦技術繼續改進，不僅提高分選礦物的效率，而且也擴大有色冶金業之原料基地，因爲它使含有色金屬品位更貧的有用礦物也變得可以開採。

選礦的應用，並不增高成本，而相反地，却減少處理礦石之最終價值。例如，在處理精礦的冶煉廠中熔煉含60%的鉛精礦時，其進入冶煉處理的產物體積，較之用含5%Pb礦石直接進行熔煉縮小到1/12.5。如果冶金工廠位於距礦山很遠的地方，而選礦廠直接設在礦山附近，那末，在這種情況下，運輸費用就節省很多。並且也減少所有下一步作業的費用：減少冶煉用機組設備的數目，減少勞動力和工廠的技術管理人員的數量。這點很顯然地可以由處理100噸礦石，經過預先選礦和未經選礦得到一噸金屬鉛估價比較表（表1）來說明。表中所引述的數目字是有條件的。

採用選礦過程的經濟利益是很明顯的。在這種情況下煉出1噸鉛的成本要低得多。現在選礦過程被廣泛地採用，它不僅用於處理貧礦，而且也用於處理較富的礦石：95%以上的有色金屬礦石都要進行選礦，而僅僅約5%的富礦不進行選礦。

在沒有選礦以前，由於錫、鎢、鋁、汞和銻等金屬在礦石中的品位很低，而富礦的埋藏又極其有限，所以這些金屬礦石在當時是不能進行冶煉的，採用選礦便促進了這些工業部門的發展。

(表 1)

處理鉛礦石和煉出 1 噸金屬鉛的估價比較表

未進行預先選礦			進行過預先選礦		
費 用 項 目	條 件 成 本		費 用 項 目	條 件 成 本	
	盧 布	%		盧 布	%

處理 100 噸鉛礦石之估價比較表

1 噸礦石按 40 盧布計算			1 噸按 40 盧布計算		
開採 100 噸礦石之成本……	4000	8.8	開採 100 噸礦石之成本……	4000	8.8
1 噸公里按 5 戈比計算			1 噸按 25 盧布計算		
100 噸礦石 200 公里距離的			100 噸礦石選礦用的成本……	2500	5.6
運費……	1000	2.2			
1 噸按 400 盧布計算熔煉			1 噸公里按 5 戈比計算 8		
100 噸鉛礦之成本……	40000	89.0	噸精礦 200 公里的運費……	80	0.18
			1 噸精礦按 400 盧布計算熔		
			煉 8 噸精礦之成本……	3200	7.12
總 計	45000	100.0		9780	21.7

煉出 1 噸金屬鉛之估價比較表

煉出 1 噸鉛需開採 22.8 噸			煉出 1 噸鉛需開採 22.8 噸		
礦石，每 1 噸按 40 盧布計算	912	8.8	礦石，每 1 噸按 40 盧布計算	912	8.8
22.8 噸礦石距離為 200 公			22.8 噸礦石之選礦費用每		
里之運費，每 1 噸公里按 5			噸按 25 盧布計算……	570	5.50
戈比計算……	228	2.2	所得到的 1.9 噸精礦，200		
熔煉 22.8 噸礦石，每噸			公里的運費每噸公里按 5 戈		
按 400 盧布計算……	9120	89.0	比計算……	19	0.18
			熔煉 1.9 噸精礦之成本每		
			噸按 400 盧布計算……	160	7.47
總 計	10260	100.0	總 計	2261	22.0

附註：在某種情況下 100 噸礦處理的礦石中可以煉出 4.4 噸金屬鉛

祇有採用選礦以後，才有可能合理地利用複雜的、多金屬礦石中的全部貴重成分。才使得每一種有用礦物分成獨立的精礦並單獨地進行冶煉加工。

為了使有色金屬進一步進行冶煉，所以選礦時首先要從有色金屬礦石中儘量分出和精選出含有色金屬的礦物。

物理性質、化學性質和組成礦石的礦物其他性質的區別，在選礦時具有重要的意義。選礦方法的選擇，選礦前礦石準備的條件和選礦技術指標都是與礦物的

各種性質有關的。

在自然界中可遇到2000種以上的天然礦物類型，在附錄（在書末）中列述主要礦物及其簡要的特性。

礦石經過選礦，結果得出名爲精礦、中礦、尾礦的產品。這些概念是相對的，因爲在實際上所有得到的產品，都富集了某一種礦物，從而在一定程度上，它們都是精礦。

在現代技術發展的水平上，選礦的尾礦可以理解爲其中富集着脈石的礦物，即不含有色金屬（或含極少量有色金屬）的產品，照例是現在認爲沒有工業價值的產品。隨着選礦技術的發展，這種概念是可以變更的，因爲所有類型的礦物原料，在將來都可在工業上應用。蘇聯的先進選礦廠中，現在已經擬定利用石英尾礦作爲熔劑，而含礬土的尾礦用作煉鋁用的精礦等。

有色金屬選礦的精礦，就是指其中含有一種有價值礦物或幾種有色金屬礦物的，其礦物成分總含量能滿足冶煉要求的產品，即從精礦中能進一步煉出有色金屬和有價值的成分。從精礦或尾礦的定義可得出中礦的定義：中礦就是一種選礦過程由於某種原因並沒有做完的中間產品。中礦所含的有價值礦物少於精礦而多於尾礦。

選礦時，選出的精礦中的金屬含有量對原礦中的金屬總含有量之比，以百分數表示，叫做採收率（ $\epsilon\%$ ）。

原礦的重量對從其中選出的精礦重量之比，叫做選礦比（ γ ）。

例如，含5%Pb（ $\alpha\%$ ）的鉛礦100噸（ Q ）進行選礦。選礦後得到含60%（ $\beta\%$ ）之精礦8噸（ $r\%$ ）和92噸含0.2%Pb的尾礦。

這些數值之間形成下述關係：

式中 ϵ ——精礦中金屬的採收率%；

α ——原礦中金屬品位%；

β ——精礦的金屬品位%；

r ——精礦的重量%。

依此，鉛精礦採收率是：

$$\epsilon = \frac{r\beta}{\alpha} = \frac{8 \times 60}{5} = 96\%,$$

而選礦比是

$$\gamma = \frac{Q}{r} = \frac{100}{8} = 12.5$$

即送到冶煉廠之精礦量（重量）較礦石重量減少到 $\frac{1}{12.5}$ 。含0.1%金屬的貧礦

（鋁、鎢、鉬等精選過程的作用就是最典型的。這類礦石選礦後得到含60%金屬之精礦，採收率爲90%。則精礦產量僅佔全部的0.15%（ $\gamma = \frac{\epsilon\alpha}{\beta} = \frac{90 \times 0.1}{60}$ ）

=0.15%)，即從1000噸被處理的礦石中得到 1.5噸精礦。選礦比爲：

$$r = \frac{Q}{q} = \frac{1000}{1.5} = \frac{100}{0.15} \approx 667.$$

選礦的任務是從礦石中選出有用礦物，並盡可能的使礦石中的有價值成分在高的採收率條件下，選成與脈石分開的最富和最純的精礦。應當着重指出，選礦是使有用礦物與脈石機械的分離。因爲選礦的結果並不變更礦物本身的物理性質和化學性質。

§ 2. 選礦過程的分類

根據個別礦石和礦物不同的物理、化學和礦物性質，就要應用不同的有用礦物精選法。最常見的有下述主要的選礦法。

重力選礦法 它是根據礦物比重的不同和礦物在水中或空氣（氣體）中不同的沉落速度。在水介質中進行的重力選礦法，從而體現於跳汰機、搖床、溜槽上以及在重液和浮懸液中等所進行的選礦法，是主要的並且廣泛地用來處理含金、錫、鎢和其他金屬以及非金屬有用礦物的選礦法之一。在空氣介質中選礦或稱爲氣選或風選。在原則上是與在水中的選礦法相同的，但是很少使用，因爲對按沉落速度分選而言，空氣介質不及水來得合適。

浮選法 它是基於礦物表面物理、化學性質之不同。在水中有化學藥劑和氣泡（或沒有它）存在時，有用礦物浮於礦漿之表面（磨細的礦石與水之混合物叫做礦漿，其中礦石顆粒呈懸浮狀態），從而在表面形成礦化泡沫。將泡沫刮出成爲產品而得到含有價值成分的精礦，並將其與未浮起的脈石礦物（尾礦）分離。

手選（揀選），它是根據單個礦物的顏色和光澤的不同。選礦過程是按礦塊或脈石的外表，用手來進行挑選。因爲有色金屬礦石多半是細粒嵌佈礦物（通常肉眼是看不清的），所以手選就比較用得少，祇是作爲補助作業。

粒度選礦 它是根據有用礦物和脈石顆粒粒度之不同。操作過程多半是在篩分機上使大顆粒與細粒礦物分離。

依礦物形狀選礦 它是根據結晶及其化合物形成不同的形狀的性質，這樣便可能與脈石分離（例如煤、石棉、片岩，有板狀的礦塊可以與圓形之脈石分離）。

摩擦選礦 它是根據礦物沿斜面運動時，其摩擦力之不同。譬如，選石棉礦時就可使用（纖維狀的石棉礦緩慢沿傾斜面滑動或是在螺旋分離器中運動，而在實際上脈石礦物很快地沿傾斜面滾動）。

電磁選礦法 是根據礦石的礦物顆粒透磁性的不同。

靜電選礦法 是根據礦物導電性之不同。

採用所列舉的選礦法之一時，礦石必須要預先進行準備。

每一種選礦方法祇有將從礦山採來之不同粒度的礦塊，破碎到單體分離或接近於這種程度時，才能有效地被採用。祇有在單體分離的情況下，才能採用某種選礦方法，把有用礦物從脈石中分選出來。

絕大多數的有色金屬礦是極細粒嵌佈的有用礦物。其嵌佈細度達到 0.1—0.01 毫米和更細些。為了使這種礦石準備好進行選礦。就必須進行破碎和磨細。

在破碎和磨細過程中，要將其分成較細和較粗的產品，較粗的產品應當進行再破碎。按粒度使礦石分離的作業叫做篩分，而按礦物之粒度和比重（按等落性）分離的作業叫做分級。

因為有色金屬主要的選礦法（浮選、重力選礦）要用水，所以送到冶煉廠去的最終產品（精礦），含有一定百分數的水分。這種水分必須除掉、排除水分的作業叫做脫水，這種作業是由濃縮，濾過和乾燥組成的。

圖 1 是選礦作業的原則性的一般的流程圖。

圖 2 和圖 3 表示原則性的選礦流程圖（圖 2 是重力選礦流程圖，圖 3 是浮選流程圖）。

原料流動的順序和作業的連續性，從所列的流程圖中可以看到：在表示礦塊粒度數目字之前面的正號（+）和負號（-）如：—600+0 毫米，就表示礦塊最大粒度不超過 600 毫米。而最小者可能很小，即最小的本身尺寸接近於 0 毫米。在礦石中所有中等大小的礦塊尺寸可以由 600 到 0 毫米。

粒度由 600 到 0（毫米）之原礦

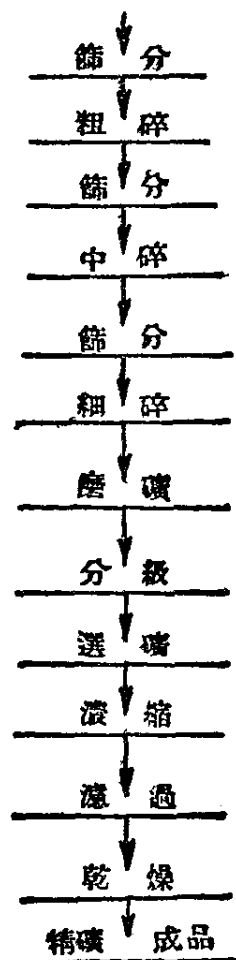


圖 1 選礦作業原則性之流程

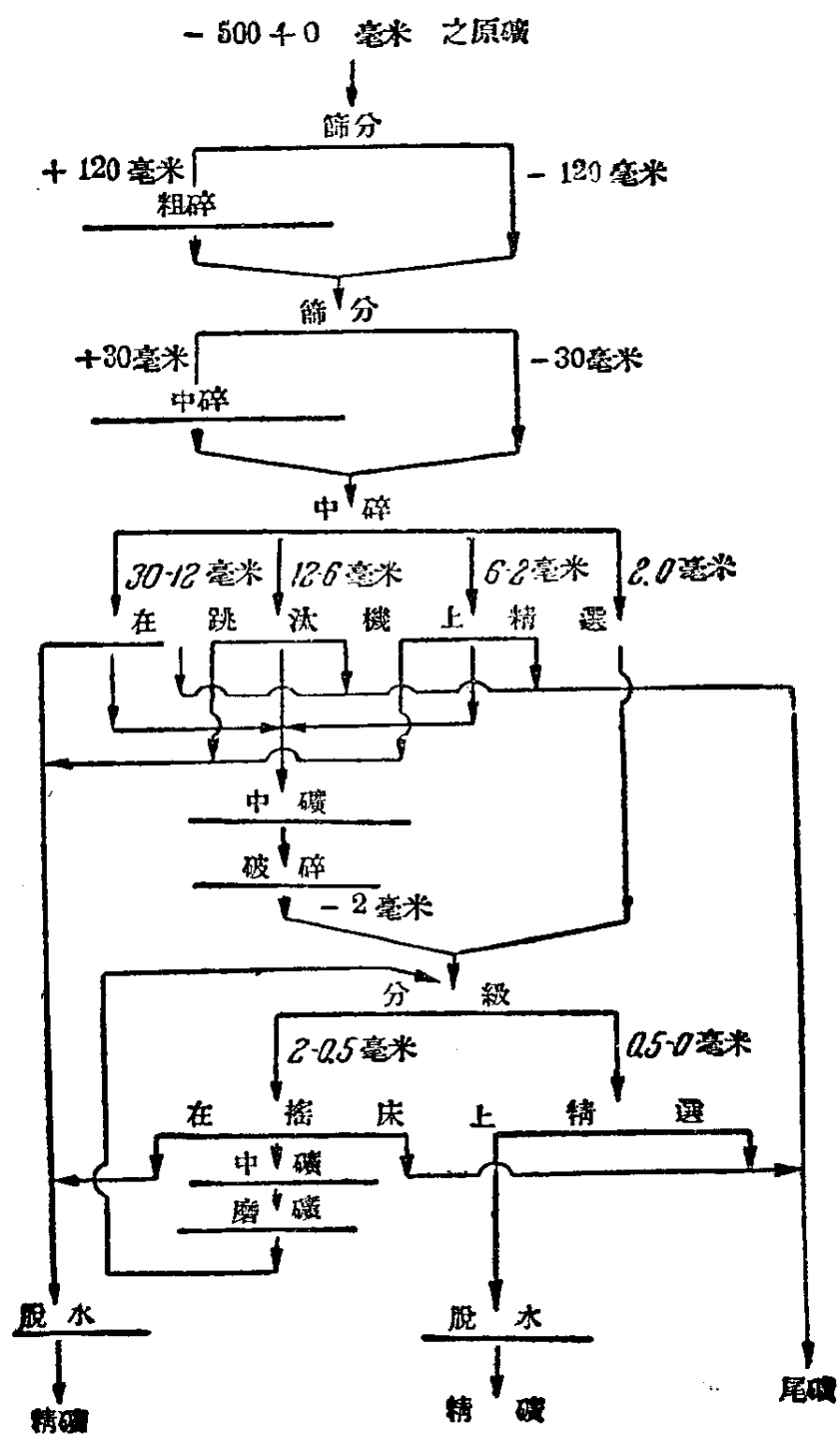


圖 2 重力選礦流程圖

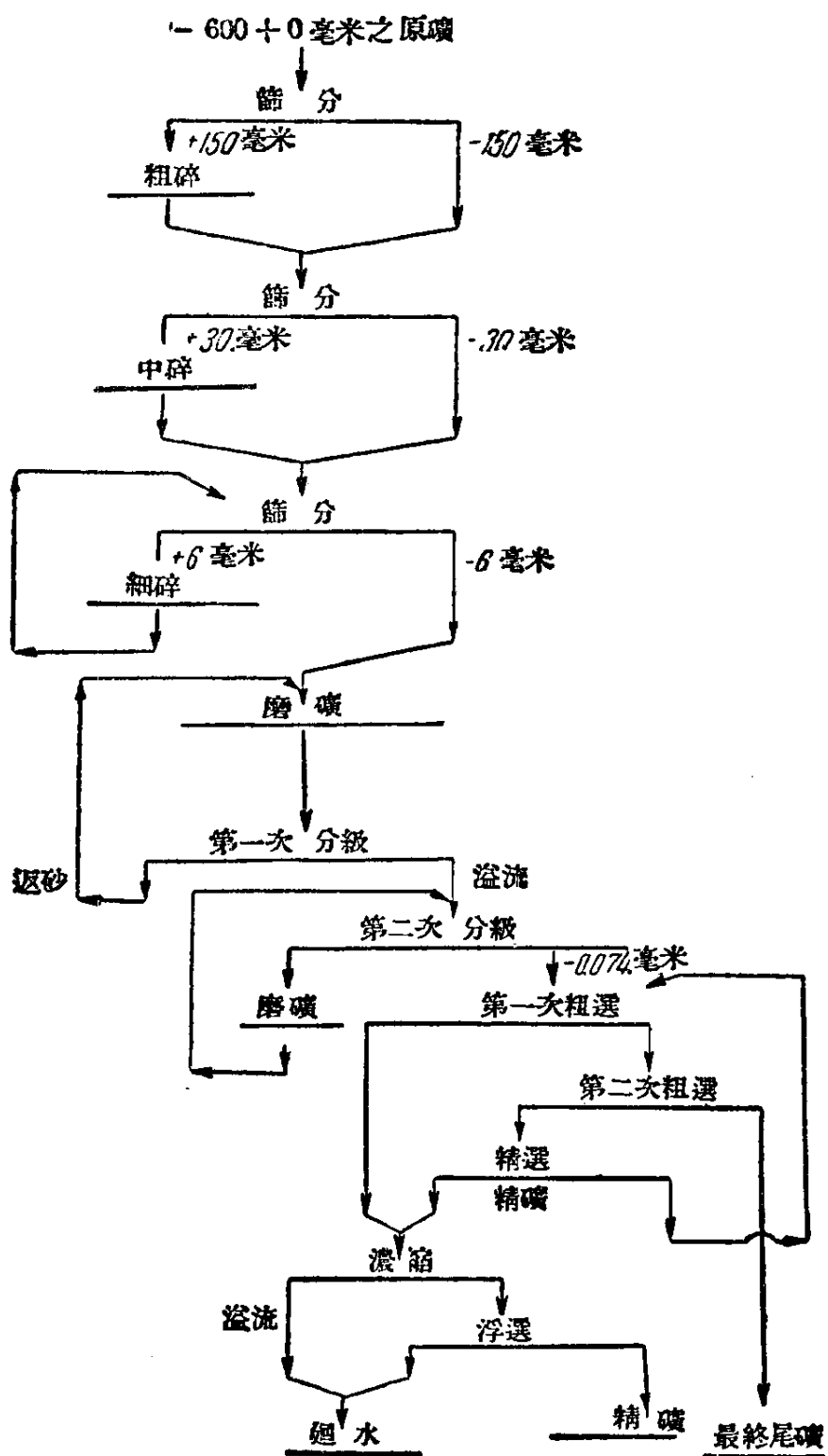


圖 3 浮選流程圖

第二章 礦石的成分及其分析

§ 1. 概 論

選擇選礦法時，礦石和其加工產品的物質成分，即礦石之化學成分、礦物成分和粒度成分（礦塊粒度、有用礦物嵌佈粒度大小及其共生程度）具有重要的意義。爲了能確定選礦前最後磨礦之大小，所以必須研究有用礦物顆粒的粒度。

爲了測定組成礦石的全部元素和礦物，要在研究可選性以前以及在選礦過程中，確定礦石的物理性質和化學性質，所以要進行化學分析和礦物分析。

要按礦石和選礦產品的成分來檢查選礦過程並加以控制。

全部原礦或所得產品的分析是極其困難的過程。如果要這樣分析時，那就不可能控制技術操作過程的進程。因此，爲了分析便要採取所謂平均樣品（即一小部分物料）。平均樣品應當正確地代表礦石或其加工產品之全部物質，因之取平均樣品中要保持含有成分在數量上的比例關係。

§ 2. 平均樣品

組成成分與原料全部物質成分比例相同的一定份量的原料，稱爲平均樣品。

從全部原礦採出滿足化學分析、篩析或其他分析用的平均樣品的最少重量，視原礦中最大礦塊大小及其化學成分，即有用礦物在礦石中之百分含量，以及有價值成分在原礦中的嵌佈及均勻分佈的程度而定。

平均樣品的重量常用下式計算：

$$Q = K d^3$$

式中 Q —平均樣品的最少重量，仟克；

d —最大礦塊直徑，毫米；

K —與礦石質量有關的係數，即與有價值成分在礦石中的品位、粒度以及有價值成分在礦石中分佈的均勻性有關（表 2）

各類礦石係數 K 之值

（表 2）

（按切巧特的意見，較近的數據見第十七章，表 127）

礦石種類	礦 石 特 性	K 之範圍	K 之平均值
I	極貧的礦石 礦化作用極均勻 均勻微粒嵌佈	0.16—0.40	0.25

續 (表 2)

礦石種類	礦 石 特 性	K 之範圍	K 之平均值
II	貧礦..... 礦化作用較均勻 細粒均勻嵌佈	0.40—1.50	1.0
III	中等品位礦石..... 中粒和細粒嵌佈	1.50—3.00	1.80
IV	平均礦石..... 均勻的中粒的和粗粒嵌佈	3.00—6.00	4.50
V	富礦..... 礦化作用不均勻 粗粒不均勻嵌佈	6.00—15.00	10.00
VI	極富的礦石..... 礦化作用極不均勻 間隔而成大塊的嵌佈	15.00—24.00	20.00

對於有用礦物粗粒和不均勻結晶的富礦而言，係數 K 平均為 10。所取的平均樣品，如供篩析用，最大礦塊直徑為 5 毫米，則 $Q = Kd^2 = 10(5)^2 = 250$ 仟克。

對於極貧之礦石，即有用礦物為細粒和極均勻地結晶者，係數 K 平均為 0.25。所以對這樣粒度的原礦，平均樣品之重量將等於： $Q = 0.25(5)^2 = 6.25$ 仟克。如將這種礦石磨到 0.5 毫米，那末，平均樣品的重量將減少到

$$Q = 0.25(0.5)^2 = 0.0625 \text{ 仟克。}$$

在計算平均樣品時（以及在其他場合）將採用術語「礦塊之直徑」或「粒度」。這裡需要說明的：從掌子上採下來的礦塊或在破碎和磨礦時的礦塊形狀和尺寸是極其不同的。因此某種顆粒是立方體或球形，那末，它的表示法依長、寬和厚度來測量。這三個量度根據下述公式之一得到一個數值：

$$d = b; \quad (1)$$

$$d = \frac{l + b}{2}; \quad (2)$$

$$d = \frac{l + b + t}{3}, \quad (3)$$

式中 l —礦塊長度;
 b —礦塊寬度;
 t —礦塊厚度;

d —顆粒（礦塊）的直徑或大小。

所以當談到礦塊尺寸或顆粒直徑時，尺寸可由上述方法計算之。

如果礦石磨的很細，那末，顆粒的直線尺寸 l , b 和 t 很相近，從而使得測量顆粒不能得到精確的結果，那末，這種情況的礦石顆粒可視做球形並依公式計算，求出所謂等價直徑 $d_{\text{等}}$ ：

$$d_{\text{等}} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1.24 \sqrt[3]{V} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{G}{\delta}},$$

式中 G —礦粒的重量；
 δ —該礦物的比重；
 V —顆粒體積。

如果礦粒彼此尺寸很少有區別，所求出之數值除以所取之顆粒 n 之後，很易算出顆粒之平均直徑。

例如，需要計算比重為 $\delta = 2.6$ 之石英顆粒等價直徑。把顆粒放在分析天秤或普通天秤上秤出重量 G 。如顆粒重量等於 1.5 克時，其等價直徑等於：

$$d_{\text{等}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{G}{\delta}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{1.5}{2.6}} = 1.04 \text{ 毫米}.$$

篩分或篩析後所得不同粒度等級的平均直徑，就是兩個極限篩孔的算術平均值。例如，礦石經過篩子：第一號篩孔為 10 毫米和第二號篩孔為 6 毫米。其結果得到三種粒級：第一級 +10 毫米、第二級 -10 +6 毫米和第三級是 -6 毫米。在 -10 +6 毫米粒級中，顆粒之極限直徑是係下述： $d_1 = 10$ 毫米和 $d_2 = 6$ 毫米；所以在此級中顆粒的平均直徑將等於：

$$d_{\text{平均}} = \frac{d_1 + d_2}{2} = 8 \text{ 毫米}.$$

在這種情況下計算平均等價直徑時，譬如可以取 50 個礦物顆粒，秤出重量，將總重量以 50 除之。因之得到顆粒平均重量，並從前述公式中得出等價直徑。使用此類公式計算所得的精確度，一般是可合於實用的。

在滿足需要更高的精密度的專門研究時，C. E. 安得烈耶夫做出了新的更精確的計算顆粒平均直徑的方法。

§ 3. 篩 析

篩析是供測定原礦以及碎礦、磨礦和選礦產品粒度用的。爲了測定粒度或確定粒度組成，要採取平均的礦樣並將其篩分成爲不同的粒度等級。

一套篩子中每個篩子有一定的篩孔尺寸。上面的篩子最粗，到下面的最後的篩子最細。

把留在每個篩子上的產物重量秤出並算出每個等級的粒度百分含量。

依靠篩析可以比較一種碎礦機和另外一種碎礦機的工作效率，檢查碎礦機、

磨礦機之工作結果以及選礦技術過程的工作結果。測定原礦和選礦產品的粒度性並研究有價值礦物在不同粒級中的分配。

爲了進行篩析，使用各種標準的標準篩。實驗室的標準篩是直徑由150到450毫米之圓框。其深度由25到50毫米。篩框一般是由黃銅製成。套篩是用一個篩子套在另一個篩子上的方法疊成的。在一套篩子中還有一個底盤和蓋。底盤是用來承受通過最後一個篩子的最細級顆粒的；蓋子是爲了減少生成灰塵的損失。

在圖4中是一套實驗室用標準篩。這套篩子之特徵是前一個篩子和下一個篩子之直徑有一定的對比關係。篩孔數值的變化規律性是一個常數。每一個篩孔對

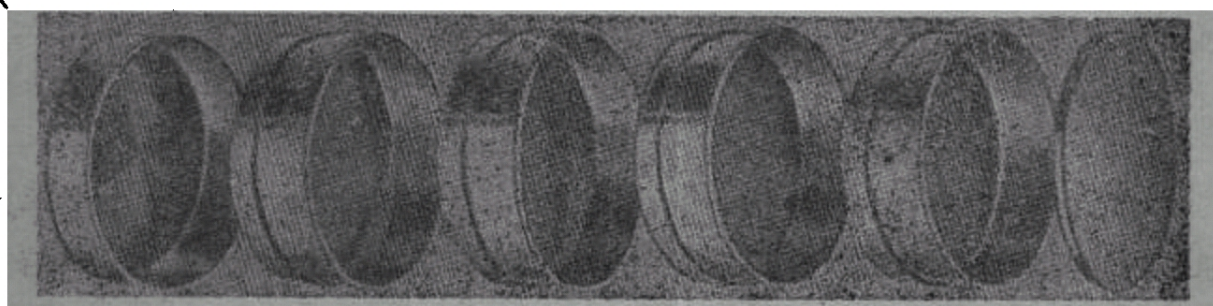


圖4 實驗室用篩子

下一個篩孔之比稱爲篩比。

在蘇聯常用的篩序和篩比（表3）： $n = \sqrt[4]{2} = 1.414$ ； $n = \sqrt[4]{2} = 1.189$ ； $n = \sqrt[4]{10} = 1.060$ （國定全蘇標準2851—45）。

在第一種篩序中以 $\sqrt[4]{2}$ 作爲篩比，它的基礎是採用200〔目〕的篩子〔即在一吋直線長度上的篩孔數；我們不推薦用這個度量篩孔的術語，而用毫米或微米的表示法來代替它〕，其篩孔徑爲0.074毫米。這個篩子叫做標準的（零位的）。

第二類篩序是採用篩比， $\sqrt[4]{2}$ ，是以18〔目〕篩孔直徑爲10毫米之篩子作基礎。然而篩比爲 $\sqrt[4]{2}$ 之篩序是主要的，而篩比爲 $\sqrt[4]{2}$ 者是中間的篩序。

(表 3)

實驗室篩序

篩比爲 $\sqrt{2}$ 的等級 基本等級0.074 [毫米] (200 [目])		篩比爲 $\sqrt{2}$ 等級 基本等級1 [毫米] (18 [目])		按ГОСТ2851-45 (毫米) *	
在25.40 [毫米] 長度上的 篩孔數 (目)	篩孔直徑 (毫米)	在25.40 [毫米] 長度上的 篩孔數 (目)	篩孔直徑 (毫米)		
1	25.4	—	—	50	4.0
—	18.35	—	—	45	3.5
—	13.33	—	—	40	3.2
—	9.42	—	—	35	2.8
3	6.68	—	—	32	2.5
4	4.69	—	—	28	2.2
6	3.33	7	2.83	25	2.0
8	2.36	8	2.50	22	1.8
10	1.65	10	2.00	20	1.6
—	—	12	1.63	18	1.4
14	1.17	14	1.41	16	1.2
—	—	16	1.19	14	1.1
—	—	18	1.00	13	1.0
20	0.83	20	0.84	11	0.9
28	0.59	25	0.71	10.0	0.8
—	—	30	0.59	9.0	0.7
35	0.42	35	0.50	8.0	0.63
—	—	40	0.42	7.0	0.56
—	—	45	0.35	6.0	0.50
48	0.30	50	0.30	5.5	0.45
65	0.21	60	0.25	5.0	0.4
—	—	70	0.217	4.5	0.356
—	—	80	0.177	0.315	0.112
100	0.15	100	0.15	0.28	0.1
—	—	120	0.125	0.25	0.09
150	0.10	140	0.105	0.225	0.08
—	—	170	0.083	0.20	0.071
200	0.074	200	0.074	0.18	0.063
—	—	230	0.062	0.16	0.056
250	0.061	270	0.053	0.14	0.05
325	0.043	325	0.044	0.125	0.045
					0.04

* 根據現用的ГОСТ(國定全蘇標準)之篩序是由140 [毫米] 開始。除了所列出之尺寸外，在此篩子系統中還有中間篩號。

使用篩比時，可以計算出篩孔直徑大小。例如，在已知篩序中篩比為 $\sqrt[4]{2} = 1.414$ 時，篩孔直徑為 0.074 毫米，那末，此篩序中上面一個篩子之篩孔直徑為 0.104 毫米（或是 150 [目]），因為， $0.074 \times \sqrt[4]{2} = 0.104$ ，或是， $0.104/0.074 = \sqrt[4]{2} = 1.414$ 。（再比上 1.414 的篩子為 100 目）。

必要時還有更密的篩序等級，即中間篩比等於 $\sqrt[4]{2} = 1.189$ ，而中間的 170 [目] 的篩子，篩孔直徑為 $0.074 \times \sqrt[4]{2} = 0.074 \times 1.189 = 0.088$ 毫米。基本篩下面一些篩子的篩孔直徑同樣是按篩比規律變化的。

在蘇聯工廠中製造篩比為 $\sqrt[4]{2}$ 和 $\sqrt[4]{2}$ 的黃銅和鍍銀的篩子（表 4）。

篩析要有一套標準篩。把秤好的平均樣品放在上面最粗的篩子上。然後用手或在震篩器上連續搖動，這樣保證原礦沿篩子分級。將存留在每個篩子上的原礦稱量之，將每個等級之重要分數填寫在適當的表上，並且剩在篩子上的原礦要記以正號（+），即，原礦大於此篩之孔徑，而通過篩子的原礦則記以負號（-）。

按樣品總重量的關係計算載於表 5 中縱行「篩析數據 [重量%]」。

在表中「累積百分數」是所有上層的等級百分重量的累積（換句話說，累積百分數就是表示某一篩上所有存留的百分數，如這篩子是在最上面時）。

根據篩析的數據常可以作出曲線。此曲線表示每個等級的累積重量百分數（橫軸上的比例尺是以毫米表示的顆粒尺寸，或更精確些是用篩孔直徑尺寸，而縱軸是每個等級以累積百分數表示的重量）。

（表 4）

蘇聯工廠出品篩子的規格

篩號（每 25.4 [毫米] 上的篩孔數，即目數）	篩孔的公稱尺寸 [毫米]	金屬絲的公稱直徑 [毫米]	在 1 [厘米] ² 上實際篩孔數
8	2.625	0.5	10
12	1.63	0.45	24
15	1.27	0.4	26
18	1.04	0.35	54
20	0.9	0.35	65
25	0.7	0.30	100
30	0.58	0.25	146
35	0.51	0.25	200
40	0.445	0.18	260
60	0.277	0.14	576
50	0.35	0.15	400
70	0.277	0.13	784

續 (表 4)

篩號 每25.4〔毫米〕 上的篩孔數, 即目數)	篩孔的公稱尺寸 〔毫米〕	金屬絲的公稱直徑 〔毫米〕	在1〔厘米〕 ² 上實際篩孔數
80	0.182	0.13	1040
100	0.154	0.10	1600
120	0.122	0.09	2304
130	0.112	0.08	2704
140	0.106	0.075	3024
150	0.096	0.07	3600
160	0.088	0.07	4096
170	0.081	0.065	4620
180	0.079	0.06	5184
200	0.075	0.05	6083
220	0.065	0.045	8190
250	0.060	0.04	9408
325	0.048	0.035	15376

圖 5 是根據表 5 的數據作出之曲線。

有時候所作曲線橫軸是按粒級大小以毫米計的對數值表示的。

根據曲線特性可判斷物料的粒度。如果示性曲線是直線的話, 那末, 這證明此樣品全部大小顆粒是均勻分佈的。

中等硬度的石英 礦石具有接近於直線的示性曲線; 軟的岩石 為凹形示性曲線。較硬的岩石是凸形的。根據這種曲線可以斷定碎礦機和磨礦機的工作情況。當生成較多的細小粒級時, 得出凹形曲線, 如果在已破碎的物料中大礦塊佔多數, 那末, 曲線是凸形的。篩析結果的圖表使得有可能計算未列於表中之粒度的

(表 5)

篩 析 記 錄

篩 孔 直 徑 尺 寸		重 量 百 分 數		累 積 百 分 數
〔網目〕	〔毫米〕	〔克〕	%	
- 28 + 35	- 0.59 + 0.42	15	7.32	7.32
- 35 + 48	- 0.42 + 0.30	13	6.34	13.66
- 48 + 65	- 0.30 + 0.21	21	10.25	23.91
- 65 + 100	- 0.21 + 0.15	17	8.39	32.30
- 100 + 150	- 0.15 + 0.10	35	17.07	49.27
- 150 + 200	- 0.10 + 0.074	41	20.00	69.27
- 200	- 0.074	63	30.73	100.00
		205	100.00	

中間值。除此之外，作出曲線還可以比較兩種或幾種篩析結果。

篩析時，物料總損失不應超過1—2%，否則工作是不能令人滿意的，應當重作。

爲了比較依次在同一機器中磨碎之各種類型礦石之特性，或比較同一種礦石依次在不同機器中磨過的粒度起見，所以把兩條、三條和更多的曲線放在一個圖表（圖6）中。如果研究關於某一種礦石粒度的所有三條曲線，那末，可以深信凹形曲線1表示有多量的細粉存在，即含有+10毫米粒度等級者爲20%。曲線2爲直線，說明原料均勻分佈，含有+10毫米等級者65%。凸形曲線3表示較粗粒等級+10毫米有50%存在。

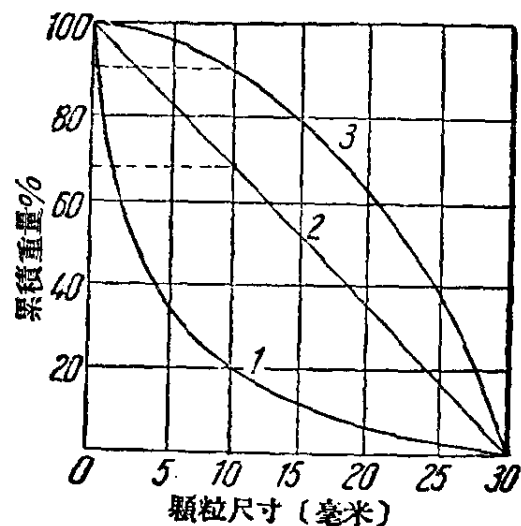


圖5 篩析曲線

圖7是篩析用的震篩器的構造。

篩子固定在機械震篩器的架子上，架子由電動機帶動在水平面上作迴轉搖動。除了這種運動之外，篩子由於槓桿對上部盤的衝擊而產生震動。在架上可以同時固定13個篩子。使架子運動之傳動裝置位於震篩器下面的匣子內。其中充滿

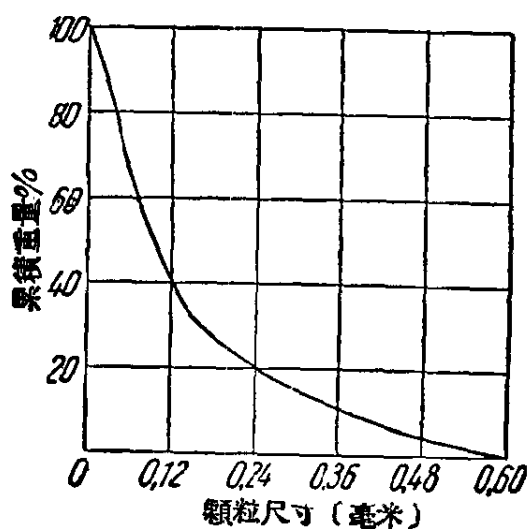


圖6 篩析曲線

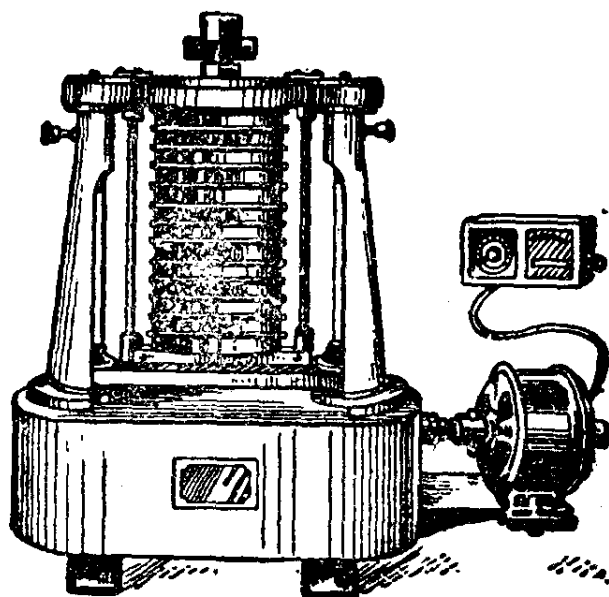


圖7 機械震篩器

潤滑油。震篩器設有電流的自動開關，後者與計時機溝相連，從而可以在規定的時間內開動。

機械震篩器與手篩法相比，使細粒物料篩分操作加快幾倍，並使篩分的質量提高。

規定的大量篩析一般規則：如果在一分鐘內篩子重複搖動，得到需繼續篩分的物料不超過最細等級（例如，—74〔微米〕等級）樣品重量之0.05%，那末，認為篩分之質量是合格的，否則應當重新篩析。

如果在進行篩析之礦樣中含有很多細粒，那末，對於這類細粒應採用濕法篩析。

爲了較比準確的分析，濕式篩分要通過最細孔徑之篩子，譬如，0.074或0.043毫米。將此篩子沉入於盛有水之容器中，所盛之水爲邊緣高度之 $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ 。然後將其與試驗之原礦一起用手多次地沉於水中。經過1—2分鐘重複在新鮮水中沖洗，直到容器中的水透明爲止。

將剩在篩上的物料烘乾（篩子也同樣地被熱空氣吹乾）並用乾法進行一般的篩分分析。

乾法篩析得到的小於—74微米原礦部分，與濕法篩分所得到小於—74微米的合在一起。

當需要把與水一起存在容器中的最細顆粒（—43微米）更精細的分散分析時，應進行水力分級。

細產品的分散分析是基於礦物顆粒在水介質中沉降速度的不同。如果較粗的顆粒易用一般的乾式或濕式篩析法分開的話，那末，粒度由43到1〔微米〕之細粒，用水力分級法才可以最精確地分離。如果沒有所需要的設備，可使用沉降分離法。

使用最簡單沉降分離時，將已磨細的原礦以一定的固液比加入圓筒中，經小心攪拌後，將礦漿保持不動。經過一定的時間，較粗的顆粒就沉在筒底，而最細的顆粒呈懸浮狀態。將此懸浮液傾出而得到所求的最細的礦粒。然後向留存在圓筒內的物料加水，重新攪拌、靜止、傾出。對於每一粒級，這種作業要反覆幾次，一直要到傾出的溢流完全澄清爲止。爲了得出次一粒級和更粗的粒級，靜止的時間應逐漸減少。

礦粒沉降速度與粒度、比重和其他因素有關。

表6列出顆粒沉降時間與直徑和比重的關係。

在水中沉降的細礦物粒的直徑可用下公式計算：

$$d = \sqrt{\frac{18\mu \times v}{(\delta - \Delta) \times g}},$$

式中 d —礦粒之直徑，厘米；

v —在介質中顆粒沉降速度，厘米/秒；

μ —介質粘度，克/厘米·秒。