

大專用書

# 選 礦 學

李文鐘 編著

世界書局

國家圖書館出版品預行編目資料

**選礦學** 李文鐘編著,  
-- 二版, --臺北市:  
世界, 2003【民92】  
面;公分. -- (大專用書)  
ISBN 957-06-0250-3 (平裝)

## 選礦學

(全一冊)

編著／李文鐘

發行人／閻初 發行者／世界書局

登記證／行政院新聞局局版臺業字第〇九三一號

地址／臺北市重慶南路一段九十九號

電話／二三一一〇一八三・二三一一三八三四

傳真／二三三一七九六三

郵撥帳號／〇〇〇五八四三七 世界書局

網址／[www.worldbook.com.tw](http://www.worldbook.com.tw)

出版日期／一九八七年十月初版一刷

／二〇〇三年九月二版一刷

定價／二二〇元 93.20

ISBN 957-06-0250-3

◎版權所有・翻印必究 ◎本書如有缺頁、倒裝，請寄回更換

編寫科技文章，名詞的翻譯最感困擾，本書儘量採用教育部公佈的譯名，但是已公佈的不多，故大部份採用臺北縣金瓜石選廠習用的名稱，或由作者新譯，是否恰當，仍請讀者指正。又書中錯誤之處，亦請專家學者指教，是感！

民國五十九年七月李文鐘序於

聯合礦業研究所

# 選 礦 學

## 目 錄

### 第一章 緒 論

第一節	何謂選礦	1
第二節	選礦之利益	2
第三節	選礦利用之礦物性質	3
第四節	選礦方法	5
第五節	選礦之程序	7
第六節	選礦對採礦及冶煉之影響	8
第七節	選礦效率之計算	9

### 第二章 碎 礦 機

第一節	碎礦及磨礦	11
第二節	碎礦機概述	11
第三節	顎形碎礦機	12
第四節	偏心碎礦機及其與顎形機之比較	19
第五節	中碎偏心機	26
第六節	錐形碎礦機	26
第七節	轉輪碎礦機	29
第八節	咬角	32
第九節	旋錘衝擊碎礦機	35
第十節	其他碎礦法	36
第十一節	碎礦操作	38
第十二節	搗礦機	39

## 第三章 篩及篩分

第一節	分粒	42
第二節	篩級	42
第三節	篩析之表示法	46
第四節	篩面種類及材料	49
第五節	定篩及搖動篩	51
第六節	震動篩	54
第七節	轉篩	59
第八節	篩之能力及篩分效率	60
第九節	各式篩之比較	64

## 第四章 磨 礦 機

第一節	磨礦機概要	65
第二節	磨礦機之構造	65
第三節	轉磨機之襯板	67
第四節	轉磨機之形狀	69
第五節	轉磨機之磨體	70
第六節	轉磨機之洩礦方法	78
第七節	轉磨機之轉速及研磨作用	81
第八節	轉磨機之操作	84
第九節	其他磨礦機	90
第十節	碎礦定律	93

## 第五章 分級與分級機

第一節	礦粒在水中之沉降	98
第二節	自由沉降與阻碍沉降	103
第三節	水力分級機	108

第四節	阻碍沉降分級機	111
第五節	非機動砂泥分級機	114
第六節	機械分級機	118
第七節	空氣分級機	127
第六章 洗礦及手選		
第一節	洗礦	131
第二節	手選	135
第七章 重力選礦		
第一節	重力選礦概述	139
第二節	洗選曲線之繪製	141
第三節	重液選礦	146
第八章 波震選礦		
第一節	概述	156
第二節	動篩波震機	159
第三節	定篩波震機	161
第四節	波震機選礦原理	170
第五節	空氣波震機	182
第九章 溜槽及洗桌選礦		
第一節	平流選礦	186
第二節	溜洗槽及瑞氏洗槽	187
第三節	薄水選礦原理	191
第四節	固定洗桌	196
第五節	活動洗桌	198
第六節	搖洗桌選礦原理	204
第七節	帶選機	207

第八節	螺紋選礦機	208
第十章 浮 選		
第一節	浮選的發展簡史	211
第二節	浮選方法概述	215
第三節	起泡劑及起泡原理	218
第四節	捕集劑及捕集原理	224
第五節	調整劑及其作用	234
第六節	浮選機	241
第七節	浮選操作與浮選程序	248
第十一章 其他選礦法		
第一節	磁力選礦法	257
第二節	磁極作用之力	259
第三節	磁選機	260
第四節	靜電選礦及高壓電力選礦	265
第五節	其他選礦方法	269
第十二章 濃泥及過濾		
第一節	概述	272
第二節	濃泥作用	272
第三節	濃泥機	273
第四節	過濾機	278
第五節	乾燥機	285
第十三章 附屬設備		
第一節	概述	288
第二節	貯存	288
第三節	輸送及提升	290

# 第一章 緒 論

## 第一節 何謂選礦

何謂礦？照狹義的說法，礦是天然生成的礦石，牠含有一種或多種有價值的金屬或礦物，而能作有利的開採者。某處礦牀可當作有利的開採時，第一個步驟就是採礦，那是將礦石從地下採掘出來。可是天然產物，開採出來，就可供利用的，除少數礦石，如煤、自然銅等極少數外，均須再行加工處理，除去不要的雜質始能利用，像冶煉（Metallurgy）乃用化學方法，提出有用的金屬，供人應用。但介於採礦與冶金之間，常須經機械方法，除去雜質的手續，以便運輸或冶煉，此即為選礦（Mineral Dressing 或 Mineral Beneficiation）。所以選礦亦為處理原礦的一種手續。不過牠不像冶金或煉油，使原礦的化學性質或物理性質改變。

選礦一般的定義是：將原礦加工處理，除去脈石，生產出可出售的產品，而不致改變原礦的物理及化學性質的處理方法。牠是利用有用礦物與脈石不同的特性，用機械的方法，將有用礦物的成份提高，與廢石分離。不過所謂不改變原礦的性質，也不是嚴格的說法，例如褐鐵礦或菱鐵礦在磁性選礦之前，常須焙燒使成磁性，浮游選礦常須使有價礦物或脈石的表面發生變化，以增選礦效率。凡此手續，均使所處理的礦石，發生或多或少物理的或化學的變化。雖然如此，選礦實不像火法冶金或濕法冶金使礦石的性質發生重大的變化。

## 第二節 選礦之利益

以前富礦較多，採出的原礦，常可直接應用或售與煉廠作冶煉原



料，如過去自然銅或高成份銅礦，常不須選礦即可直接入爐，作煉銅原料。現在富礦漸少，且因物質文明之進步，銅之需要增加，乃不得不利用貧礦。但貧礦含銅的成份低，含脈石的成份高，若直接冶煉，用化學的方法除去其中的脈石，殊不經濟，而選礦係利用機械的方法，其除去脈石之費用，遠較冶煉方法便宜，又如煉鐵過去均將鐵礦直接入爐，惟現在高成份鐵礦的儲量日漸枯竭，像美國鐵礦豐富的國家，現在也用含鐵成份較低的泰康石（Taconite）作煉鐵原料，但貧礦的利用，必須先用費用較省的選礦方法，除去其脈石，始合算。除去脈石選礦比冶煉便宜，這是選礦利益之一。

其次是選礦所得的精砂，有價礦物成份增高，可減省運費。一般來說，煉廠常設在燃料或動力供應方便，及交通便利的地方，而且煉廠規模不能過小，所以常常有幾處礦區所出的礦產，運往一個煉廠集中處理的情形。所以原礦先經選礦，則無用之脈石，可以除去，只運數量較少的高成份精砂，因此運費可以節省，這亦是選礦利益之一。

有時數種有用礦石，常共生一處，倘不用選礦方法分開，則冶煉時至感困難，礦砂價值大為減低。我國江西所產鎢砂（鎢鐵礦），常含相當成份的錫（錫石），倘不把錫石分開，則對煉鎢甚有妨礙，因此不易出售，若用磁選法，將鎢鐵礦與錫石分開，則不特鎢砂的價值提高，且所產出的錫石，尚可用以煉錫。又如鉛鋅，亦常共生，雖兩者成份常有不同，倘不把鉛鋅兩種礦物分離，則煉鉛時，鋅不但不能收回，反而有害，煉鋅時鉛礦物之情形亦同，若用優先浮選礦法，將鉛鋅礦分離，則原礦中之鉛礦物或鋅礦物，均可以利用，其價值亦遠較混合時為高。

選礦之利益，可就金瓜石銅礦的價值說明之，金瓜石銅礦含銅平均約1%，金約1.5G/T，今以原礦100噸計算，其所含金及銅之價值為：

銅  $1\% \times 100T$ , 含銅 1.0 噸, 每噸銅美金 800 元值 800.00 元  
 金  $1.5G/T \times 100T$ , 含金 150 克, 每克金美金 1.60 元值 240.00 元  
 100 噸原礦共值美金 1,040.00 元

礦砂熔煉費約美金 10 元一噸, 銅之精煉費約 40 元一噸, 金之精煉費約 20 元一公斤, 若直接冶煉則 100 噸之礦砂, 熔煉費及銅與金之精煉費將共需美金約 1,043 元, 約與礦石所含銅及金的價值相等, 即採礦及運費均無法償付, 而為虧損數字。

但若將其選成含銅約 25% 之精砂, 假設銅在選礦時之收回率為 85%, 金為 40%。仍以原礦 100 噸為例, 則選礦所得精砂中, 所含銅及金之價值為:

銅  $1.0\% \times 100 \times 85\%$  含銅 0.85 噸 每噸美金 800 元計 680.00 元  
 金  $1.5\% \times 100 \times 40\%$  含金 60 克 每克美金 1.6 元計 96.00 元  
 精砂價值共計 776.00 元

價值雖較少, 約為美金 776 元, 但精砂量僅  $0.85 \div 0.25 = 3.4$  噸, 精砂熔煉費僅 34.00 美元, 又銅及金之精煉費約 35 美元, 共計尚不超過 70 美元, 選礦費約每噸原砂美金二元, 計約 200 元, 故除選煉費外, 尚餘約美金 500 元, 可付 100 噸原砂之採礦費及 3.4 噸精砂之運雜費, 故尚有經營之價值, 此選礦利益之實例也。

### 第三節 選礦所利用之礦石性質

選礦乃利用有價礦物與脈石不同之物理及化學性質, 將牠們分開。故礦物之性質與選礦有密切之關係, 茲將與選礦有關的礦物的物理性質簡述如下:

**比重 (Specific Gravity)** 重力選礦法乃利用礦物比重不同的方法。在浮選未被普遍採用前, 比重乃選礦上最重要的性質。

**顏色及光澤 (Color 及 Luster)** 礦物的顏色及光澤的不同, 為

手選所利用的性質。又在選礦操作上，顏色及光澤，亦可用作判斷產品成份之高低。此外尚有利用顏色深淺影響吸熱的程度的不同以選礦者。如食鹽是白色的不易吸熱，雜質是黑色的易吸熱，已被用作岩鹽的選礦。最近有光度測量選礦法（Photometric Concentration）以選石灰石。

**磁性**（Magnetic Susceptibility）礦物對磁之吸力強弱各有不同，控制磁力之大小，可以將不同磁性的礦物分開。有些礦物由於加熱可使其磁性變化，亦可加以利用。

**導電性**（Electric Conductivity）有些礦物的導電性較好，有些較差，導電性的不同，亦可利用作分離礦物。

**表面性質**（Surface Properties）如吸着性、附着性、接觸角、極性、及表面能等，浮游選礦的混油法（Bulk Oil Flotation），即利用此種性質。由於藥劑的作用，常可使礦石表面的吸着性質，或化學作用性質，發生變化，現在所用的泡沫浮選法（Froth Flotation），即利用此種性質。

**摩擦**（Friction）不同摩擦係數的礦物，在平面上滑動的快慢，自不相同，此種性質在選礦上，可以利用。

**放射性**（Radioactivity）利用礦物放射性的不同，亦可以將各種礦物分開。現在鈾礦的選礦，即有利用放射性者。

**硬度**（Hardness）礦物硬度不同，可用差別磨礦（Differential Grinding），再用分粒分別選出不同礦物。如滑石所含硬度較大之雜質，可藉以選別。又硬度對碎磨機之磨損程度，關係甚大，硬者易磨損機件。

**脆度或韌性**（Brittleness, Friability 或 Tenacity）有些礦物軟而韌，如自然銅、雲母等。亦有礦物硬而脆，如石英。韌的礦物，粉碎較難，脆的礦物則易成粉末。

**組織及破裂性 (Structure 及 Fracture)** 礦物被打碎後，所成的形狀，多不相同，這對選礦亦有關係。如方鉛礦破碎後，易成方塊，長石易成長形塊，雲母則成片狀等。不同的形狀，將影響其在水中，或其他流體中的沉降速度，及平面上移動的情形。

**共生 (Aggregation)** 礦物共生的情形，可影響分離的難易。如純粹且粒粗的礦物，比粒細及均勻分佈的礦物，容易分離。

**遇熱破裂性 (Decrepitation)** 礦物如方解石、重晶石等，遇熱易分裂，則可用過篩方法與其他受熱不碎的礦物分開。

至於化學性質則能利用者比較有限，因選礦乃用機械方法，將有價礦物與脈石分離也。但部份的化學變化，能影響其物理性質者，亦常為選礦時所利用。

#### 第四節 選礦方法

選礦方法常因選礦技術的進步而改變。**浮選法 (Flotation)** 未發明前，重力選礦法最為盛行。原子能的利用，使放射性礦物的需要突然增加，因此有利用放射性選礦方法的發明。又儀器之進步，使以前不能利用的礦物性質之差異，亦能利用。如光度測量選礦，即利用顏色或反射之差別，以作選礦。

利用礦物不同的顏色、光澤與比重，人們很容易把藍灰色、發亮、拿起來也較重的方鉛礦塊，與一般說來沒有光澤而顏色較淡、重量也較輕的脈石分出。這是最易被利用的手選法 (Hand Sorting 或 Hand Picking)。就是現在，倘礦石有這些特點，在人工較廉的地方，手選法也常被採用。數年前，利用顏色不同因而對吸熱不同之**熱粘法 (Thermoadhesive)**，以選岩鹽。最近有光度測量法，用電子岩石選礦機 (Electronic Rock Sorter)，以選石灰石。

**水洗或洗礦 (Washing)** 可能是其次被應用的選礦法，水可將

泥質的東西洗掉而留下砂質的礦粒。從前礦產品成份的要求較寬，水洗常可以達到目的。以後選礦技術進步，礦產的規格也較嚴，現在洗礦很少應用了。不過在特殊的情況下，亦可以應用，如鐵礦有時用洗礦法，可將含鐵的成份提高。

由洗礦操作，知道水的沖洗力與礦的重力相互作用，可使不同比重的礦物，分別沉積。用水將礦砂在一斜面上流下，輕的及極細的顆粒，將被水沖去，而重的顆粒，將在斜面下部沉積，因此可將有價值的沉積物收集，此種操作常須反覆舉行，以求得較好的精砂或較淨的廢砂，這是重力選礦 (Gravity Concentration) 洗桌選礦 (Tabling) 的先河。我國雲南及南洋一帶的錫礦，現在仍沿用此種選礦方法。

以後曉得較粗的礦石放在篩上，在水裏上下震動也可以將輕重不同的礦物分開。這就是重力選礦波震機 (Jig) 的原理。波震機最初用手動，以後改用動力，而且在裝置方面，也有很多的改進。

洗桌最初是桌面不動，操作也是間斷的，幾經改進，至十九世紀，韋佛里 (A. R. Wilfley) 發明韋氏搖洗桌 (Wilfley Table)，最為成功，桌面用機械帶動，操作亦為連續的。

溜槽 (Sluice) 及搖牀 (Rocker) 也是重力選礦的一種，雖然效率較差，但設備簡單，操作容易，金沙江沿岸及臺灣等地人民，常用以淘洗沙金。

浮沉選礦 (Sink and Float) 或重液選礦 (Heavy Medium Separation)，也是利用比重選礦的。假如一種懸液或液體，牠的比重，比一種礦物重，比另一種礦物輕，如將這二種礦物加入液體中，則輕的礦物將上浮，重的將下沉，好像木屑與砂石同放入水中，較水輕的木屑上浮，而較水重的砂石下沉一樣。此法原先在歐洲用以選煤，近來因懸液的比重控制改進，現在金屬礦採用的也日見增加了。

磁力亦常被利用作選礦，尤其在選鐵礦方面，最初磁力選礦

(Magnetic Separation)，只應用在強磁性的礦物，如磁鐵礦等。以後因磁選機的改進，加強磁極強度，故磁性較弱的礦物，如含鐵或含錳諸礦物，也可以選出。磁選機大都是乾式的，最近則濕式磁選機用於淨化重液選礦的矽鐵介質亦頗成功。

浮游選礦法 (Flotation) (簡稱浮選法)，為最近二三十年來始被普遍應用的方法，牠乃利用礦物表面的特性。當自然的礦物，或事先被藥物處理過的礦物，在水中與氣泡相遇時，牠會附着氣泡隨之上升成爲泡沫 (Froth)。因此可與不附着汽泡的脈石或其他礦物分開。浮選法現在為處理細粒分佈硫化礦物的最好方法，即非硫化礦如選粉煤等，亦漸多採用。

至其他如利用導電性質的靜電選礦，利用放射性的選礦方法及利用加熱破碎性質的熱碎選礦方法等，則僅少數礦物可以應用。

## 第五節 選礦之程序

選礦工作實施之前，須先將礦石打碎或磨細，使有價礦物與脈石解離 (Liberation)，因礦物與脈石常相伴生，倘不先經碎磨使之分開，則富集有價礦物的工作，即不能辦到。至打碎或磨細至何種程度，須視礦物生成之顆粒大小，及其在脈石中分佈情形而定。

打碎及磨細過程中，為使碎礦及磨礦機械發揮最高的效能，常須過篩 (Screening) 或分級 (Classifying)，使已達某種細度的礦粒，先行分出。這是分粒 (Sizing) 工作，可用篩 (Screen) 或分級機 (Classifier)。又選礦時，亦常須事先分粒，如洗桌及波震機選礦時，倘不同大小之礦石能分別處理，則選礦效率可以提高，又如浮選，則可由試驗得知其最適當的細度。所以分粒亦常為選礦程序之一。

原礦經碎磨及分粒後，始行選礦，即將有價礦物與脈石分離選開 (Separation)。加入選礦機之礦石，稱為原砂 (Heading)，或給

礦 (Feed)，經選礦後，通常得二種產品，其含有價礦物較高者，稱為精礦或精砂 (Concentrate)，其含有價礦物較低者，為尾礦或尾砂 (Tailing)，但有時亦有中礦或雜砂 (Middling) 產出，其有價礦物成份介於精砂與尾砂之間，比為中間產品 (Intermediate Product)，須再行處理。

此外精砂有時尚須除水 (Dewatering)，如濃泥 (Thickening)，及過濾 (Filtering)，以便運輸及儲存，尾砂則須設法排棄，均亦為選礦必需之程序。

### 第六節 選礦對採礦及冶煉的影響

半世紀以來，選礦方法的進步，尤其浮選方法的改進，使選礦費用低廉，而所得精砂則品位提高，又重液選礦的進步，則脈石不經磨細先行除去。凡此均使過去認為無經濟價值之貧礦可以利用。從前只開採富礦，須用選擇採礦法 (Selective Mining) 者，現在可以用整塊採礦法 (Bulk Mining)。蓋開採之貧礦，可用選礦法，以低廉的費用除去脈石。又機械大量開採，採礦成本可以減低，但機械開採，不可避免的將會使脈石混入，亦賴選礦將脈石除去。故選礦之進步，使貧礦可以用機械大量開採；地下資源之充份開發利用，及礦產品之能充分供應，選礦之進步實為主要原因之一。

除去脈石或雜質，選礦常較冶煉便宜，以銅礦為例，用優先浮選，不僅可使脈石除去，且黃鐵礦亦易另行收回，而銅精礦含銅品位增高，已無須用鼓風爐而可直接加入反射爐煉成冰銅。又如方鉛礦及閃鋅礦常共生，倘不能分別選出，則對煉鉛或煉鋅均有妨碍，現用優先浮選法，可分別選得含鋅極低的高品位鉛精砂，及低鉛的高品位鋅精砂，使鉛及鋅的冶煉容易。高品位之鋅精砂，且有用浸漬法得鋅溶液，直接用電解法煉得電積鋅者。雖然選礦操作常須將礦石磨細，但粉精砂

之處理，在冶煉上已獲解決，如懸粒焙燒 (Fluidizing Roasting)，可處理硫化礦，已甚成功。製丸粒 (Pelletizing)，可將粉鐵砂製成小丸粒。浮選法，不僅對金屬礦之應用甚獲成功，即非金屬礦如磷礦、螢石、甚至製造洋灰之石灰石，亦有用浮選法者。選礦之進步，對近代礦石原料供應之幫助，可以想見。

### 第七節 選礦效率之計算

選礦之目的，在除去脈石，而所得精砂，其所含有價成份提高，其數量減少。惟在選礦過程中，亦希望減少有價成份之損失，收回愈多愈好。這是選礦的二種目的，但常不能同時滿足。

脈石除去了，精砂的成份提高，故精砂的量減少。富集比 (Ratio of Concentration) 為原砂之重量與精砂重量之比，即所以表示選礦對重量之減少。設  $F$  及  $C$  分別表示原砂及精砂之重量， $K$  為富集比，則  $K = \frac{F}{C}$ ，即多少噸 ( $K$  噸) 原砂選出一噸精砂。 $K$  之數大則表示精砂之量少，就礦砂之數量言，則為選礦之效率好。

精砂的有用成份提高，重量減少了，但另一方面倘有價成份損失甚多，則亦非選礦之目的。收回率 (Recovery)，為精砂中有價成份之重量，與原砂中有價成份重量之比，常以 % 表示之。設  $R$  為收回率， $c$  及  $f$  分別為有價成份在精砂及原砂中百分率，則  $R = \frac{C_c}{F_f} \times 100\%$ 。 $R$  之數大，表示有價成份損失少，亦即收回多，就有價成份之收回言，則為選礦之效率好。

富集比 ( $K$ ) 及收回率 ( $R$ ) 亦可用原砂、精砂及尾砂之有價成份之百分率表示。設  $T$  為尾砂之重量， $t$  為尾砂有價成份之百分率，則

$$F = C + T \dots \dots (1)$$

$$Ff = Cc + Tt \dots \dots (2)$$

$$(2) - (1) \times t \quad \text{得 } F(f-t) = C(c-t)$$



$$K = \frac{F}{C} = \frac{c-t}{f-t}$$

$$R = \frac{Cc}{Ff} = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100\%$$

由上所述，表示選礦之效率須顧及收回率及選礦比二者，所以要比較選礦效率，殊覺困難，因此很多人想用一種方法或用一個數值來表示，各人提出各人的主張，但尚無大家同意的方法。

高丁 (Gaudin) 教授，用選礦指數 (Selectivity Index) 來表示選礦的效率，可供參考，其公式如下：

$$S. I. = \sqrt{\frac{Ra}{Rb} \cdot \frac{Jb}{Ja}} \text{ 或 } = \sqrt{\frac{Ra \cdot Jb}{(100-Jb)(100-Ra)}}$$

Ra 為有價成份在精砂中之收回率

Rb 為脈石在精礦中之收回率 = 100 - Jb

Ja 為有價成份在尾砂中損失率 = 100 - Ra

Jb 為脈石在尾砂中廢棄率 (Rejection)。

( $\frac{Ra}{Rb}$  為有價成份對脈石之相對收回率 Relative Recovery)

( $\frac{Jb}{Ja}$  為脈石對有價成份之相對廢棄率 Relative Rejection)