

# 优先浮选的理论与实践

# 優先浮選的理論與實踐

В. М. 阿拉什凱維奇  
Ф. И. 納基爾尼亞克 合著

重工業部有色金屬工業管理局編譯科 譯

重工業出版社

В. М. АРАШКЕВИЧ и Ф. И. НАГИРНЯК  
СЕЛЕКТИВНАЯ ФЛОТАЦИЯ  
(ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)  
Металлургияиздат (Свердловск 1948 Москва)

優先浮選的理論與實踐

重工業部有色金屬工業管理局編譯科 譯  
重工業出版社 (北京三直門內大街三官廟11號) 出版  
北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

重工業出版社印刷廠印

一九五五年五月第一版

一九五五年五月北京第一次印刷 (1—2,183)

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{25} \cdot 100,000$  字  $\cdot 3 \frac{13}{25}$  印張  $\cdot$  定價 (8) 0.57元

書號 0255

發行者 新華書店

## 內 容 提 要

本書對有色金屬硫化礦優先浮選的目前狀況做了簡要的敘述。

書中用生產實踐和實驗室研究的實例，說明每一種因素對浮選過程的影響，以及爲了得到良好的選礦成績而調整這些因素的方法。

本書對優先浮選的技術操作方法，提出了有實際意義的指導性資料，並對所使用的機器設備做了說明。

對於極稀貴的浮選劑，爲了尋求代用品而進行的各種研究工作，本書也將其研究結果作爲資料列入。

本書的對象是選礦廠的工程技術人員和熟練工人，也可供高等工業學校和中等專業學校的學生參考。

本書由重工業部有色金屬工業管理局編譯科苑家良翻譯，中南礦冶學院選礦系系主任胡爲柏教授校閱。

## 目 錄

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 原序.....                                | 5  |
| 第一章 引言.....                            | 6  |
| 第二章 通論.....                            | 9  |
| 第三章 磨礦與分級.....                         | 12 |
| 礦物的解離.....                             | 12 |
| 選擇磨礦.....                              | 24 |
| 礦物比重。礦泥的作用.....                        | 25 |
| 分級.....                                | 26 |
| 第四章 浮選劑.....                           | 33 |
| 捕集劑.....                               | 33 |
| 有關捕集劑在浮選過程中的作用的一些資料（以黃藥為例）... 44       | 44 |
| 起泡劑.....                               | 49 |
| 活性劑與抑制劑.....                           | 52 |
| 調整劑.....                               | 60 |
| 有關降低稀貴浮選劑用量的途徑及其代用品的尋求問題的<br>一些資料..... | 66 |
| 第五章 礦漿溫度、水的質量與浮選前礦漿的充氣作用.....          | 70 |
| 第六章 浮選流程.....                          | 73 |
| 參考文獻 .....                             | 84 |

## 原 序

浮選是選別有色金屬礦物的一種基本而首要的方法，其使用範圍正在日益擴大。目前有千百萬噸各種礦物原料用此種方法來處理。

浮游選礦法之所以能够成功地普遍推廣，首先應歸功於自然科學（物理、化學、物理化學）的成就。自然科學在這個領域內的進一步發展，將促使浮游選礦方法應用到其他工業部門，同時也將促使浮選的實際操作得到改進。

本書並不企圖對一般的有用礦物或有色金屬每種礦石浮選實踐的各個方面做全面的介紹，而只着重於能決定優先浮選技術和經濟效率的一些有色金屬礦石在優先浮選實踐中的主要問題。其中涉及的問題有金屬的解離（細磨和分級）、浮選劑，浮選前礦漿的準備（溫度、充氣等）和浮選的流程，即以盡可能低的費用，達到冶金工業最高指標（採收率、精礦質量）的一些已知的最適當的操作條件。

本書包括六章。第一章敘述有關多金屬及稀有金屬礦石新的選別方法的概念。第二章介紹目前使用浮選法的範圍和對影響浮選過程的主要因素的分析。第三章闡述有關有色金屬礦物解離的問題（細磨和分級），這對於下一步成功地用浮選法分離礦物來說，是一個必需的條件。第四章敘述浮選劑，因為藥劑可使一些礦物進入泡沫，而使另外的礦物仍停留在礦漿中。在本章中，主要的注意力不是放在各種浮選劑的作用原理上，而是放在藥劑的實際使用上，特別是放在如何使浮選劑作用能達到最高效果的條件上。第五章說明決定有色金屬礦石浮選流程各種形式的主要因素，它同時也是本書以上幾章理論的繼續。這章內所要說明的只是這樣的問題，如精礦和尾礦的精選，把所得中礦加以處理的例子和礦物的分離（全浮選與全浮選精礦的進一步優先浮選，直接優先浮選）。第六章則介紹浮選的流程。

本書可供直接從事於有色金屬選礦工作的工業工作人員，以及從事探求合理的選別制度和流程的工作人員參考，亦可作為高等工業學校和中等專業學校學生的參考書。

本書的通論，磨礦和分級，礦漿溫度，水的質量和浮選前礦漿的充氣以及浮選流程等章，由技術科學碩士阿拉什凱維奇（В.М. Арашкевич）和技術科學碩士納基爾尼亞克（Ф.И. Нагирняк）執筆；序言為 Ф.И. 納基爾尼亞克所寫。

著者將非常歡迎並感激讀者的指正和認真的批評。

技術科學碩士 В. М. 阿拉什凱維奇

技術科學碩士 Ф. И. 納基爾尼亞克

## 第一章 引言

在斯大林五年計劃的年代裏，蘇聯的有色冶金工業已變成了主要的工業部門之一。建立了新的礦山，設立了具有先進技術的選礦廠和冶煉廠，就其裝備、技術和生產組織來說，都不亞於國外較好的廠礦。

培養出大批掌握了先進技術的科學和生產幹部，他們在勘查地下礦藏方面，在開採和處理有色金屬及稀有金屬礦石方面都獲得了驚人的成績。

蘇聯國民經濟恢復和發展的五年計劃提出要進一步提高我國生產的技術經濟水平。必須保證最大限度地向礦石內選取礦物，多生產金屬，並有系統地提高其質量。

有色金屬冶金工業的主要任務之一，就是綜合而完全地利用礦物原料。

就當前的任務而言，正確地利用在現代技術上為大家所熟悉的按物質組成來處理有用礦物的方法，有着特別重要的意義。這就要求我們在發展和使用新的複雜礦石選礦方法的基礎上，不斷改進現有的浮選技術操作過程。

近幾年來，在製定和在工業上運用新的複雜礦石選礦方法這方面，蘇聯取得了相當大的成績，積累了大量的資料，這些資料闡明了浮選過程的實質，為浮選理論打下了相當鞏固的基礎，同時將浮選從技藝變為科學，保證了黑色、有色、稀有和極稀有金屬的複雜礦石選礦技術的大力發展。

新的複雜礦石精選法，無論在蘇聯或是在國外，在選別複雜的多金屬礦石時，使用得極為廣泛。

必須指出，這些方法在蘇聯已取得完全獨立的和創造性的發展，並且遠遠超過國外科學技術在這方面的成就。

應當指出，蘇聯用浮選方法處理的礦石，按其本身的技術加工特點，比國外處理的同一類型礦石來說，在大部分的場合下是極難浮游的。

近年來，有必要將礦石嚴格地分成一般的和特別的兩類，一般的礦石可用一般的處理流程來處理，特別的礦石就要採用新而複雜的選礦流程。這是由這類礦石特殊的技術加工特點所決定的。

必須製定新的或改變與修訂現有的選礦流程，這往往是由於在開採礦區的過程中所開採出來的複雜礦石的物理性質和物質組成的變化所引起的，和當礦體從上層開掘到下層以及季節的變化（結凍、礦體水浸），使得礦石中含有大量脈石所引起的。

必需大大地改變現有的流程和所採礦區礦石的浮選方法，有時是因為對礦石中所含有用成分相對價值重新評價所造成的，這種情況是由於需用量的劇烈增長和採用稀有金屬與極稀有金屬——鈮、鎢、鈷、鈦、鋁、鎘等作為合金而產生的。從有色金屬礦石回收稀有金屬的必要，要求根本改變處理這類礦石的技術操

作方法。

在製定選別複雜礦石新方法中，研究和實際使用選擇階段磨礦的性能及其對浮選結果的影響，有着極其突出的意義。這種類型的研究和實際操作使得能廣泛應用發展了的複雜礦石的階段磨礦和階段浮選的流程，使得我們在磨礦車間的循環中安置浮選，並廣泛地使用捕集劑和起泡劑的混合劑，這些混合劑能有選擇地作用在各種有用礦物不同大小的顆粒上。

利用這些方法，在選別複雜礦石時，能將金屬較徹底的回收到同名的精礦內。

在磨礦的循環中引入篩分，由於利用了礦物的選擇階段磨礦現象和相應的改變技術操作流程，就常使複雜礦石的選別成績達到根本的改善。

浮選過程與其他很多選礦過程（磁選、靜電選礦、重力選礦、重液及比重大的浮懸液分選等）相結合，在磨礦循環中利用獨立浮選機和跳汰機，而在浮選循環中利用濃縮，甚至各種浮選產品的過濾，都能大大地降低礦石加工成本與提高浮選的質量和數量指標。

這些新措施的目的，就是不將勿須破碎的礦石破碎，將能够浮出的礦物，盡可能全部浮出。

用在第一浮選循環前後的全部或幾種常見的有用礦物的全浮選流程，或者是為從優先浮選尾礦再回收金屬的下一步浮選全浮選精礦的流程，皆服務於這個目的。

在處理複雜礦石的過程中，聯合使用各種選礦方法與採用多段分級，甚至的氣方法，就是追隨着這個目的，有時這也是唯一可能的和最有效的選礦方法。

我們應當承認，利用鉛、鋅和銅以及其他種類的新生和次生礦物的不同可浮性，是新的有用礦物精選法主要發展方向之一。這些方法說明，礦物的可浮性與同脈石共生在一起的礦石之滯後現象以及與脈石動力變質作用有着密切的關係充同時也證明礦石的可浮性與它的生成時間也有關係。所以在浮選三種主要類型，硫化礦：銅鉛鋅、鉛鋅和銅鋅礦石的過程中，這些方法獲得了廣泛的使用，然而用這些方法來處理含銅的硫化鐵礦，還有待成功地解決。此外，在所有的場合下，特別是在優先浮選銅鉛精礦的過程中，次生銅礦起着特殊的作用，而在第一和第二種場合，氧化鉛礦也有作用，因為有這種礦物不僅決定着技術操作流程的選擇，同時也決定着介質（石灰的或蘇打的）的選擇，首先這是與礦石的產地和其新鮮性（新採出的，還是堆礦場的）有關。

因此，根據礦石的粒度和崩解性能決定礦石在堆礦場內的臨界保存時間，有着特殊的意義，超過這個範圍，會使各種礦物的優先浮選性完全喪失。

在發展新的有用礦物精選法的過程中，這一個最有興趣的方向是值得研究工作者嚴重注意的。這個方向最先是在解決浮選銅鉛鋅礦石問題的過程中發生，目前它已成為工程師 M.M. 波略克夫的方法了，他提出和製定了這個方法並在澤略諾夫斯克選礦廠成功地進行了工業範圍的試驗。M.M. 波略克夫工程師利用了向



銅鉛精礦內加黃鐵礦的方法來改進將這種精礦分選成銅和鉛的效果。

同樣，在選別用普通的方法很難選的貧矽酸鋁礦和鐵礦的過程中，應用高度機械過程也是值得注意的。

在浮選非一般的，難浮游的含銅硫化鐵礦和銅鉍黃鐵礦的過程中，運用充氣法是有着實踐意義的。

正像蘇聯科學院通訊院士 H. H. 普拉克辛和蘇聯科學院礦業研究院的共同工作者所證實的，預先充氣或加入氧氣對浮選前礦漿的作用，在浮選銅黃鐵礦的過程中會提高它的選擇性。利用充氣法或吹入氧氣能够在精選時提高鉍精礦和銅精礦質量，在必要時，還能較徹底的抑制黃鐵礦。

根據 H. H. 普拉克辛的意見，由於事先經過短時的氧化作用（礦漿充氣或充氧），使被硫酸銅活化了的閃鋅礦的浮游活性提高，這點是與在礦場中長期間的堆置會使複雜礦石優先浮選本能的喪失之實際數據相符合的。

目前，在保持嚴格的技術操作制度的同時，轉向使用高等質量的、化學純粹的浮選藥劑進行操作已明顯的決定了。

這種轉變是極必需的，也是選別複雜礦石新方法發生、發展和實行的主要甚至是根本的條件之一。

在嚴格保持技術操作制度條件下，藥劑用量的波動範圍，是要視混有脈石的礦石物質組成的變動範圍和選礦廠用水之物質組成的變化而定的。複雜礦石浮選的技術操作制度，僅許可在這個範圍內改變。

技術操作過程嚴格的制度，是斯達漢諾夫操作法的主要條件，這點已為蘇聯選礦廠多年的操作經驗所證實。

有關捕集劑在浮選過程中的作用一章是本書的重點。本章資料是採取技術熟練工人可以接受的形式來敘述的。

活性劑和其在浮選過程中的對立物——抑制劑作用的敘述，以及硫化劑一節，都是前一章邏輯的發展。在這些章節中所引用的資料，是與優先浮選的本質密切相聯的，將其總結成最普通的形式，這是值得注意的研究，同樣也值得進一步分析，以期能將其實際利用。

同樣也要注意浮選過程中可能發生的反常現象，如：極嚴重的絮凝作用，與其相關的用於破壞絮凝作用的石灰的特殊作用；捕集劑和其他藥劑極嚴重的吸入各種煤質頁岩狀的混合礦脈石中。

## 第二章 通論

目前絕大部分有色金屬、稀有金屬和金礦的礦石以及很多種其他有用礦物，在加以利用（冶煉、化學加工）以前，都要經過精選。浮選就是有用礦物精選的主要方法之一。

浮游選礦法在工業上的使用還是從二十世紀開始的，特別是在第一次世界大戰以後，確切點說是在1920—1922年以後，這種方法才獲得了飛躍的發展和廣泛的使用。偉大衛國戰爭開始前，全世界用浮選方法所處理的各種不同礦產原料只不過一億二千萬噸，也應當說，戰爭期間這個數值就大大的增加了。

最初浮選只用於有色金屬精選，主要是用於選別硫化礦物。物理和化學上的成就，促進了對浮選法進行深入的研究，因此也就促使這種方法得到普及並用到選別其他有用礦物。不但如此，並且有用礦物浮選法在實踐上的綜合與這個方法進一步的發展，使我們在與其他化學方法結合之下，用這個方法來處理礦物原料和其他類型的原料。

在最初的時期，主要力量是放在尋找一些能把有價值的硫化礦與脈石分離的浮選條件上，所選擇的條件（磨礦細度、礦漿濃度等）須能使一些或多或少具有差不多的可浮性的礦物（如重金屬的硫化礦、方鉛礦、黃銅礦、黃鐵礦等）能同時混入泡沫中去，而其他礦物仍停留在礦漿中。這個過程會名為全浮選。在浮選發展前期，這種方法的使用是很顯著的。

在全浮選過程中所得到的精礦，不僅會在第二步冶煉加工過程中造成很大的困難，同時也常常使其失去使用的可能性。

硫化礦物可浮性的研究，某些無機物和有機化合物以及有一定化學組成的捕集劑對硫化礦物表面有不同作用的發現，使得我們找到了將一種硫化礦與另一種礦物成功地分離出來的路徑；開始有可能逐步分選礦物，即我們目前所熟悉的過程——優先浮選過程。

使用油酸和其鹽類（皂類）以及陽離子的藥劑，能實行氧化礦和非金屬礦的浮選，甚至把浮選過程在化學工程領域中普及開來。

現在浮選法可以用於選別幾乎所有開採出來的礦物。

絕大部分的有色金屬硫化礦或氧化礦都用浮選方法來處理，上百萬噸的各種金屬，現在都是由浮選精礦中提煉出來的。

很多的非金屬礦物也都用浮選法來選別。選礦廠用浮選法所處理的有菱錳礦、石墨、泥灰土、硫黃、煤、磁鐵礦、磷酸鹽、鈣和鈦礦、氧化錳、錫石和鋰輝石。

用浮選法成功地分選雲母和高嶺土，螢石和碳酸鹽，由石英或其他矽酸鹽類內選出長石，由矽酸鹽和碳酸鹽的包裹體內選出白鎢礦。

浮選與化學加工的結合，是人所周知的。譬如，用浮選法將硫化物排除以後，再浮游白鎢。白鎢精礦在高壓釜內用蒸氣和蘇打處理。所得的鎢酸鈉再精製，在用石灰加工以後就會得到純度較高的鎢酸鈉的沉澱物（綜合白鎢）。

某些礦石用水冶法和浮選聯合處理，不僅能使我們達到較高的成績，同時也能收回礦石內的所有有價值的組成部分，同樣也能處理貧礦和選礦廠過去所積存下來的尾礦。這個過程的本質就在於，首先將礦石內存在的各種礦物變成溶液，然後將其沉澱（如，銅—用鐵屑，金—用活性炭），最後浮選其沉澱物。

某一選廠會進行過如下的由鐵帽（或稱燒頂礦層）內回收金和銀的過程：礦石磨至70%—200目，在氰化物的溶液內與活性炭混在一起，氰化物將金溶解，為炭所沉澱，後者與吸附在炭上面的金和銀一起，用浮選法選出。

溶解了的金幾乎為炭全部沉澱，在泡沫產品內回收了90%以上的木炭和約87%的溶解了的金。銀的採收率較低。雅秀克維奇（С.М. Ясикевич），阿拉什凱維奇（В.М. Арашкевич）曾在很多礦區內研究過類似的過程。

由礦石內回收金的方法是我們所熟悉的，就是將金溶解在氰化物的溶液內，並沉澱在鋅粉中，下一步再用高級黃藥，甲酚酸和松油來浮選其沉澱物。

有時從含有不多量鈷的鋅電解液內，用 $\alpha$ 硝基 $\beta$ 萘酚（ $\alpha$  Нитрозобетанафтол）將鈷除去。含有約2%鈷的沉澱物被鋅的鹼式鹽和硫酸鈷沾污；沉澱物與稀硫酸攪拌在一起，然後在一排氣升式浮選機內，不加任何的藥劑而進行浮選。沉澱的鈷全部回收到泡沫中。所得的精礦進行焙燒，最終產品含有約66%的鈷。

同樣也必須要注意，就是由過去的銅尾礦中在水和酸中用濾浸法回收銅，將銅沉澱在礦漿內的金屬鐵中，繼續再浮選沉澱銅和硫化銅。

任何物質顆粒的分子附着於兩相界面過程的研究，都使得我們在處理粒度大的達 $50\mu$ 的集合體，或在處理分子般大小的粒子的過程中，普遍使用浮選法。後者更加重要，是因為這與回收高度分散的有價值礦物顆粒問題有關。精製蛋白物質和製糖品，以及精製因印色而作廢的印刷品，以求進一步利用它來取得紙料等過程都可以作為使用浮選選別高度分散顆粒的實例。

浮選是一個複雜的物理化學過程，許多因素都對過程的進行有影響。其中一些因素對這個過程來說是已知的，是一種獨立變化的因素，然而為了達到分選礦物的適當條件，可以在受第一種因素制約的條件下，選擇其他的，這就是附屬變化的因素。

浮選獨立變化的因素包括：

- 1) 礦石的礦物組成；
- 2) 某些礦石的嵌佈情況與硬度；
- 3) 礦物的品位與比例關係；
- 4) 礦石溶解部分的含量和組成；
- 5) 開採和保管時，礦石組成部分的氧化情況；

6) 用水成分 ( $pH$ , 溶解氣體和鹽類等)。

附屬變化因素有：

1) 磨礦和分級 (機器、磨礦介質、磨礦機板的類型、礦漿濃度、返砂量大小、磨礦流程等)；

2) 磨礦和浮選過程中礦物的氧化情況；

3) 浮選劑 (種類、數量、添加地點和次序以及藥劑與礦漿的接觸時間)；

4) 氫離子濃度 ( $pH$ )；

5) 礦漿濃度；

6) 浮選時間；

7) 礦漿溫度；

8) 浮選機類型；

9) 浮選流程 (礦物分離的順序、循環負荷——中礦、充氣等)。

上述獨立浮選因素的綜合，還是要以選擇過程的附屬變化因素為先決條件，這個過程是先要用實驗室試驗，然後再用半工業性的和工業性的試驗來進行的。通過試驗得出的合適的浮選條件，要在過程不變的獨立變化因素的條件下嚴格的保持，否則就會造成整個過程的破壞，而得到不能令人滿意的選礦指標 (採收率、精礦質量)。相反，在全部改變獨立變化的條件下 (礦石的礦物組成、礦物氧化性等) 必須改變附屬變化的因素，並按其引出浮選過程的條件。

### 第三章 磨礦與分級

#### 礦物的解離

細磨與分級是任何有用礦物浮選前的一個極重要的作業，而用浮選方法是否能成功地將礦物分開的問題，實際上在磨礦車間已經解決了。磨礦車間應該得出一定數量的具有浮選所需粒度的、濃度適當的、用藥劑處理過的、特別是具有浮選所需的氫離子濃度（ $pH$ ）的礦漿。

首先必須盡可能使礦物達到完全的解離，因為這是取得高質量精礦及最高採收率的先決條件。在浮選烏拉爾某一礦區的由黃鐵礦、黃銅礦、銅藍、閃鋅礦、黝銅礦、石英、綠泥石和絹雲母以及一些極細微的共生礦物所組成的銅礦時，所以能夠達到按質量來說令人滿意的銅精礦和銅的最高採收率，是因為將礦物完全解離的結果，因為礦物在磨至—300目時也能完全解理。試圖在粗磨的條件下，用選擇各種不同的藥劑，介質（ $pH$  和充氣）以及礦漿濃度的方法來取得同樣的成績，是不可能成功的。處理這個礦區礦石的選礦廠操作的實踐，也同樣證實了上述事實。在最適宜的條件下，採取不同的磨礦比，結果使浮選成績也不同。如表1所示。

在浮選另外一個礦區由閃鋅礦、黃鐵礦、黃銅礦、砷黝銅礦、方鉛礦、銅藍、輝銅礦、石英、重晶石、絹雲母、綠泥石、黑雲母和方解石以及一些極細微的共生硫化礦組成的多金屬礦石時，甚至磨細達90—95%—200目都沒有取得令人滿意的成績。在適宜的條件下，蘇打添加量1.5—4公斤/噸，氰化鈉0.3—2.0公斤/噸和硫酸鋅0.6—2.0公斤/噸礦石時，得到了如下的成績（表2）。

只有當礦物（銅和鋅的硫化礦）達到最徹底的解離時，也就是說在磨細的過程中將礦石磨至60—70%—26微米（560目）才能得到較好的分選結果。當蘇打添加量為0.2—1.0公斤/噸或石灰為0.05—0.2公斤/噸，氰化物<sup>①</sup>為0.025—0.100公斤/噸和硫酸鋅為0.3—0.75公斤/噸時，則得出如下的成績（表3）。

在粗磨條件下，使用不同種類的藥劑和其混合劑也沒有取得良好的成績，也就是說這時礦物（銅和鋅的硫化礦）解離不徹底，也只有達到徹底解離的時候，才有可能取得所希望的選礦指標。並且在這種場合下降低許多藥劑的消耗量，首先是降低蘇打、氰化物和硫酸鋅的消耗量。在磨礦細度適宜的條件下，進一步研究這種礦石浮選過程證明，氰化物的添加量甚至可以降低到10克/噸<sup>②</sup>也不至於使銅和鋅礦的優先浮選成績變壞（表4）。

① 所指出的氰化物添加量是根據氰化鈉來計算

② 按氰化鈉（ $NaCN$ ）計算

硫化銅浮選成績與其解離程度關係表

| 磨礦細度     | 藥          |            |             |          | 劑        |   | 產 量<br>% | 銅 品 位<br>% | 銅採收率<br>% | 註                                          |
|----------|------------|------------|-------------|----------|----------|---|----------|------------|-----------|--------------------------------------------|
|          | 石<br>克/立方呎 | 灰<br>克/立方呎 | 丁基黃藥<br>克/噸 | 甲<br>克/噸 | 松<br>克/噸 | 油 |          |            |           |                                            |
| 80%—200目 | 1000       |            | 70          | 48       | —        | — | 19.51    | 8.8        | 78.54     | 當顆粒的大<br>小小於20微<br>米時，銅的<br>硫化礦幾乎<br>全部解離。 |
|          |            |            |             |          |          |   | 80.49    | 0.59       | 21.46     |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 100.0    | 2.19       | 100.0     |                                            |
| 95%—200目 | 1000       |            | 70          | 48       | —        | — | 19.3     | 9.35       | 82.95     |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 80.7     | 0.46       | 17.05     |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 100.0    | 2.17       | 100.00    |                                            |
| 88%—200目 | 1100       |            | 60          | —        | 48       | — | —        | 9.31       | 85.0      |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | —        | 6.2        | 80.4      |                                            |
| 98%—200目 | 1100       |            | 100         | —        | 48       | — | —        | 7.73       | 83.70     |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 25.05    | 0.75       | 2.42      |                                            |
| 95%—300目 | 1050       |            | 140         | —        | 138      | — | 6.63     | 0.12       | 3.88      |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 68.32    | 2.06       | 100.00    |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 100.00   | 8.15       | 83.00     |                                            |
| 95%—300目 | 872        |            | 140         | —        | 84       | — | 24.88    | 0.42       | 1.80      |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 9.82     | 6.19       | 5.20      |                                            |
|          |            |            |             |          |          |   | 65.35    | 2.31       | 100.00    |                                            |

表 2

銅鉛礦優先浮選的成績表

| 產 品 名 稱  | 品 位, %  |       | 採 收 率, % |       |
|----------|---------|-------|----------|-------|
|          | 銅       | 鉛     | 銅        | 鉛     |
| 銅精礦..... | 10—17   | 15—25 | 82—80    | 6—24  |
| 鉛精礦..... | 0.8—2.0 | 45—60 | 6—25     | 60—87 |

表 3

銅鉛礦優先浮選的成績表

| 產 品 名 稱     | 品 位, %  |       | 採 收 率, % |       |
|-------------|---------|-------|----------|-------|
|             | 銅       | 鉛     | 銅        | 鉛     |
| 銅精礦 I.....  | 19—26   | 9—13  | 50—70    | 2—4   |
| 銅精礦 II..... | 8—14    | 18—25 | 10—30    | 2—10  |
| 鉛精礦.....    | 0.3—0.8 | 49—55 | 5—10     | 60—80 |

表 4

在降低抑制劑添加量的條件下銅鉛礦優先浮選成績表

| 產 品 名 稱      | 品 位, %   |       | 採 收 率, % |       |
|--------------|----------|-------|----------|-------|
|              | 銅        | 鉛     | 銅        | 鉛     |
| 銅精礦 I.....   | 20—24    | 10—24 | 46—53    | —     |
| 銅精礦 II.....  | 8—11     | 14—22 | 20—23    | —     |
| 鉛—黃鐵礦精礦..... | 0.63—1.0 | 32—37 | —        | 81—87 |

如果由於破碎和磨細的結果，所得到的產品是由單體分離的，相互沒有聯繫的礦物顆粒所組成，才算是礦物最完全和最徹底的解理：在這種情況下進行破碎不是按着各種礦物的結晶形，而是按着它們的接觸界限。

實際上，雖然在碎礦過程中礦物分離是發生在顆粒的界限之間，但畢竟也能將單體分離的顆粒破碎，後者要視礦物包裹體的大小和形狀及其硬度與比重而定。單體分離顆粒的破碎情況是隨着粒度的縮小而增大的，在磨細的過程中這就更加明顯。礦物的過粉碎在大多數場合下是有害的，因為這會使技術操作過程更加複雜，並造成有價礦物損失在尾礦中的條件。所以在選擇磨礦流程時，首先要注意的就是礦石的物理化學性質和與下一步選礦過程有關的礦石組成部分。後面這點是要經常牢記的，研究工作者或設計工作者和技術員都應當根據技術操作過程的條件，尋找和選擇能夠保證最高選礦指標（採收率、精礦質量）及其最高操作效率（處理能力、動力消耗等）的流程和細磨條件。至於單體分離顆粒的破碎，為避免礦石過粉碎現象，可進行分段破碎，同時從各段破碎過程上選出粒

度適當的成品和實行中間選礦作業，及早選出已經單體分離的礦粒。

對選擇合理的磨礦流程有影響的主要是礦石的下列性質：

- 1) 礦物和非金屬礦物包裹體的硬度和形狀；
- 2) 礦物和非金屬礦物的硬度與比重；
- 3) 礦物和非金屬礦物的鬆散程度（泥化程度）和其氧化性；
- 4) 欲選礦物的品位和價值。

也有最簡單的場合，就是這時準備磨礦的礦物有幾乎同樣的粒度（圖1曲線1），而硬度和比重也非常近似或甚至與其他礦物和非金屬礦物的硬度和比重相同。在這種場合下磨礦要進行到使礦物顆粒幾乎全部解離為止，而磨礦段數就要看產品的最終粒度而定。

最複雜的磨礦問題，是發生在當礦物包裹體的大小和形狀多種多樣，並且其硬度和比重皆有差別的時候。

在這兩個極端的場合中間，還有許多不同的變異，這也就決定實際操作中有各種不同的磨礦和浮選流程的條件。

如果礦石的嵌佈細度粗（圖1、曲線2），在過程的初期就要適當地進行謹慎的磨礦，在這段中用各種的選礦方法來選出已經單體分離的有價礦粒，相反，其包裹體很細微（圖1、曲線3）的話，就要在大多數欲選礦粒開始解離這一瞬間進行精密的磨礦。在有價成分的嵌佈細度不同的條件下（圖1、曲線4）謹慎的磨礦，應當在全部有價礦物解離的過程中進行，隨着礦粒本身的單體分離情況，用各種的選礦方法將已經單體分離的礦粒選出，

爲了明瞭起見，茲舉幾個例子：

1. 某選礦廠處理的銅礦，本身是泥質片岩和砂岩，嵌佈有輝銅礦、斑銅礦、黃銅礦和少量的氧化銅（矽孔雀石和孔雀石）的散點。銅的硫化礦一部分呈較粗粒嵌佈和其中某些礦物（輝銅礦）的硬度不大，使我們有可能在粗磨過程中選出一部分銅的精礦（圖2），粗磨過程中銅的採收率約50%，其他一部分銅在細磨時再進行回收。爲了從礦石中將銅全部回收，需要將礦石再磨至325目。

2. 某選礦廠處理的硫化銅礦，本身是矽化了的片岩，嵌佈有斑銅礦、黃銅礦、輝銅礦、硫銅鈣礦和銅藍，大多數銅是與粗粒嵌佈的斑銅礦和大量的黃銅礦

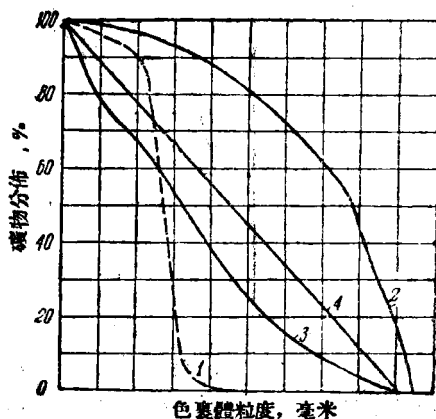


圖1 欲選礦物的包裹體粒度的特性



相聯的。這部分礦物在粗磨（62—65%—200目）過程中已經解離。礦石內輝銅礦的嵌佈很細，爲了使它與其他礦物的連生體單體分離開來，需要磨至500目甚至更細。所以選廠最先進行較粗的磨礦（到62—65%—200目）和浮選，目的是選出最終精礦、中礦和最終尾礦（圖3）。中礦，其中主要包含細粒嵌佈的輝銅礦，再進行再磨和在單獨的循環中進行浮選。

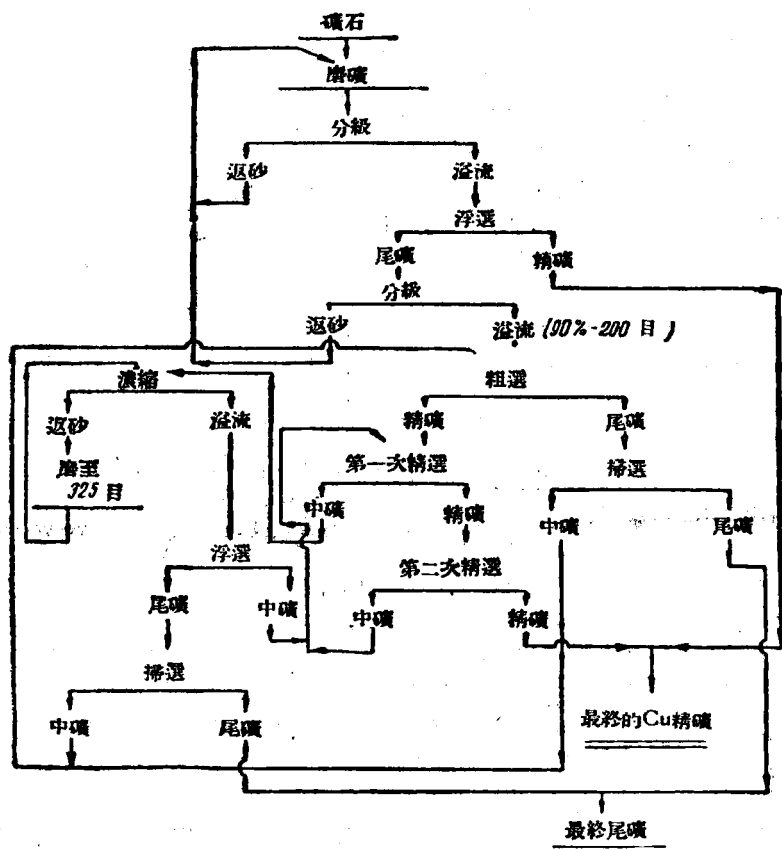


圖2 細磨與浮選的流程圖

3. 在嵌布狀的黃銅礦礦石中，銅礦的粗粒包裹體使得我們已經在粗磨過程中就能選出銅的最終精礦（圖4）。