

磨礪

別羅夫 勃蘭德 合著

磨 礮

別羅夫 勃蘭德 合著

東乃良 胡恩堂 于廣泉 譯
金長忠 于爾鐵 石大新

依維駿 校

遼寧人民出版社

一九五四年·瀋陽

編號：4079

磨，礦

著者：蘇聯 別羅夫，勃蘭德
譯者：董乃良 胡應堂 于廣泉
金長忠 于爾茂 石大新
校者：依維
出版者：遼寧人民出版社

發行者：新華

印刷者：瀋陽

〔瀋陽〕

字數：178,000

一九五四年十一月

印數：1—2,063

一九五四年十一月

定價：11,400元

著 者 序

本書係蘇聯國立黑色與有色金屬科技書籍出版社自一九四五年出版選礦叢書以來的第四部。在本書以前出版的有：考特力亞爾的「機械分級機」（1945）；希羅金斯基的「水力分級機」（1947）；李安道夫的「有用礦物篩分法」（1948）。

本書收集了濕式圓筒磨礦機磨礦理論及實際操作的豐富材料，並廣泛地採用了蘇聯各有關研究部門在磨礦上的成果。

著者目的在於把各書刊及報告中的材料加以系統化，並得出公式，以期合於實際應用。

本書前四章是別羅夫寫的；其餘幾章是勃蘭德寫的。

著者對協同編著此書的安得列夫教授和勃洛赫工程師致以最深的敬意。

目 錄

著者序

第一章 磨礦機的種類、處理礦量及磨礦效率·····	1
一 磨礦機的處理礦量·····	2
二 磨礦機的磨礦效率·····	6
第二章 磨礦難易度·····	7
一 利用開路磨礦系統的球磨機測定磨礦難易度·····	7
二 利用閉路磨礦系統的球磨機測定磨礦難易度·····	10
三 利用棒磨機測定磨礦難易度·····	19
四 對磨礦難易度實驗資料的分析·····	20
第三章 球磨機的磨礦動力學·····	24
第四章 球磨機·····	27
一 溢流排礦式的圓筒型球磨機·····	27
二 圓筒型格子球磨機·····	57
三 圓錐型球磨機·····	64
四 各種球磨機的比較·····	65
五 球磨機的理论·····	73
六 球磨機的操作·····	80
(一) 球磨機構造對磨礦成績的影響·····	80
(二) 磨礦介質對磨礦成績的影響·····	91
(三) 給礦對磨礦成績的影響·····	105
(四) 返砂量對磨礦效率的影響·····	120
七 球磨機的消耗動力·····	128

八	球磨機的選擇	130
第五章	棒磨機	135
一	棒磨機的構造	135
二	棒磨機的應用及其工作指標	138
三	棒磨機棒的裝入量	145
四	棒磨機的迴轉速度	146
五	棒磨機的處理礦量、所需動力以及動力消耗率	147
六	棒磨機與球磨機的比較	148
第六章	磨礦系統	151
一	一段磨礦系統	151
二	兩段磨礦系統	152
三	三段磨礦系統	154
四	磨礦系統的比較和選擇	155
第七章	磨礦系統中所用的分級設備	158
第八章	磨礦設備的設計	160
一	閉路磨礦	160
二	磨礦設備的配合	166
三	球的管理工作	171
四	磨礦機的檢修	171
第九章	磨礦機的安裝	174
一	磨礦機的基础	174
二	磨礦機的安裝	178
三	磨礦機的防護	181
四	磨礦機的開車	182
第十章	磨礦設備的管理	183
一	機械的管理	183
二	技術操作的調整	185

第一章 磨礦機的種類、處理 礦量及磨礦效率

在選礦前使礦石粒度逐漸減小的一系列操作中，如欲在碎礦及磨礦粒度間劃分鮮明的界限是很困難的，因為這要牽涉很多條件；通常所講的磨礦，其產品是在 1~2 公厘以下。

選礦廠磨礦作業主要是使用球磨機、棒磨機和礫磨機，很少使用圓盤磨礦機、搗礦機、對滾機及其他磨礦機。

球磨機是個圓空筒或錐型空筒，其兩端有中空軸。空筒即在中空軸上繞水平軸綫而迴轉。空筒內充填以破碎介質（約為空筒的一半），破碎介質在機體迴轉時起着破碎礦石的作用。礦石是由中空軸的一端添入，而由另一端排出。

一切磨礦機通常都以破碎介質的種類作為磨礦機分類的根據。在每一類中還要按胴體型式和排礦方法再進行分類（表1）。

磨 礦 機 的 分 類

表 1

磨 礦 機 種 類	破 碎 介 質	胴 體	排 礦 方 法
球 磨 機	金 屬 球	筒 型	1. 溢流排礦 2. 格子排礦
		錐 型	溢流排礦
棒 磨 機	各種尺寸的金屬棒，棒的長度均與機體長度相等。	筒 型	1. 溢流排礦 2. 開口式低水平排礦
礫 磨 機	各種尺寸的礫石或硬岩石塊	筒 型	1. 溢流排礦 2. 格子排礦
		錐 型	溢流排礦

最初的磨礦機是在十九世紀末葉應用在水泥製造工業中（第一台球

磨機出現於一八九三年)，使用的全是長筒形礱磨機，至於用鐵球作破碎介質的嘗試，因為鐵球往往容易破裂，很久未能實現。

自一九一〇年起隨浮游選礦的發展，磨礦機得以廣泛利用，並且構造也趨於完善。遠在十九世紀七十年代發明的棒磨機，這時又重新開始應用。

磨礦機通常是以處理礦量和磨礦效率這兩個主要指標來評價的，因此在研究磨礦機時，應該注意影響處理礦量和磨礦效率的一些因素。

一 磨礦機的處理礦量

磨礦機的計算，一般有以下四種方法。

第一種方法是以單位時間內，經過磨礦機的礦石噸數來計算，在礦石噸數外，並指明給礦和產品的粒度。

例如：1800×1800公厘磨礦機將一種礦石由50公厘磨到0.2公厘，其處理礦量為80噸/一晝夜。

這個方法的缺點在於不能表示出給礦和產品粒度的變化。因為只是用一種數字來表示，所以一切礦粒的分佈情形便無法知曉。因此若只指明給礦和產品的粒度（根據不同粒度篩分結果），就無法比較兩個磨礦機的處理礦量。

第二種方法是以單位時間內磨得的一定細度的產品噸數，來計算磨礦機的處理礦量。

例如：2100×3000公厘磨礦機將斑銅礦磨到-0.15公厘，其處理礦量為250噸/一晝夜。

這種計算方法的用途較為廣泛，且為最簡單的方法。

通常這一方法都按產品較小的粒級來計算，它的優點是能够在產品表面積上給以概略的比較，因為利用較小粒級的產品，基本上其表面積是能算出的。然而這方法並未能考慮到計劃粒度的本身性質（-0.2，-0.15公厘），同時對較大粒級的粒度也未加表示。雖然這種表示的粒級可能與產品的計劃粒級完全相符，但基本上粒度還是有區別的。在這樣的情況下，按某種特定粒級計算，其所得的結果也不能作為處理礦量比較的根據。

第三種方法是用磨礦機在單位時間內處理礦石的〔表面——噸〕數

字來表示。因為在實際磨礦中，業已證明磨礦所需功率是和產品表面積成正比的，所以這種計算磨礦機處理礦量的方法是最有理論根據的。

具有一定重量的球體或立方體的礦粒，以及其他同樣大小的礦粒，其表面積是與其直徑成反比（即一定重量的礦石，其表面越大則其直徑越小，表面越小則其直徑越大）。產品的粒數與產品粒度的直徑立方也成反比（即產品粒度越大其粒數越少，產品粒度越小其粒數越多）。假如一些產品其礦粒全由同一形式的粒子所構成，並且能分成數級時（每一粒級都以其平均直徑來計算），那麼就很容易用「表面——噸」來計算整個礦粒的表面積。用任何一粒級重量的單位表面積作為一個單位（假定各粒級的排出礦量都已確定）都是可能的。

根據許多實驗證明，經過破碎後得出不規則形狀的礦粒粒數，也是與破碎產品的直徑立方成反比的。按照這個道理，可以說具有一定重量的許多礦粒表面積也是和直徑成反比。因此就有理由根據篩分結果用「表面——噸」來計算礦石的表面積。篩分實際應用最廣泛的 $\sqrt{2}$ 的標準篩（註），因為用 $+26.70$ 公厘篩級重量單位面積（篩子的第一級）做為一單位，很容易求出各粒級的表面係數來。所以標準篩最為合適（表2）。將篩分得出的各粒級量全乘上表面係數（率），其所得的積，再互相加在一起，以便求出該礦石篩分的平均表面係數（率），或直接求出本礦石的 100 個重量單位的表面積（假如篩分量用百分數表示），或 1 個重量單位的表面積（假如篩分量用小數表示）。這樣就可求出實際的礦石比表面積。

將此比表面積再乘以礦石總噸數，即得出用「表面——噸」表示的所有礦石表面積。

用表面積測量磨礦機處理礦量的道理，乃是依據磨礦產品和原礦的表面差異性出發的。

註：篩孔的大小通常都用網目數表示，網目數是在一吋的篩子上所有的眼數。因為篩子的鐵絲厚度可能不一樣，計算篩孔尺寸時，除網目外，還應注意篩子的兩種相鄰篩孔間的比率。篩孔間的比率是表示篩子的基本條件，所謂篩孔間的比率就是指兩個相鄰的篩子（由大到小），其篩孔的比例。詳見1948年蘇聯國立黑色與有色金屬科技書籍出版社出版的李安道夫同志著「有用礦物篩分法」。

以標準篩（篩級 $\sqrt{2}$ ）0.075公厘為基礎得出的各篩級的表面率

表 2

粒 級		表面率	粒 級		表面率
網 目	公 厘		網 目	公 厘	
—	+20.70	1.00	-11 +20	-1.17 +0.833	32.00
—	-20.70 +18.85	1.11	-20 +28	-0.833 +0.589	45.12
—	-18.85 +16.35	2.22	-28 +35	-0.589 +0.417	61.00
—	-16.35 + 9.12	2.82	-35 +48	-0.417 +0.295	90.20
+1	- 9.12 + 6.68	4.00	-48 +65	-0.295 +0.208	128.00
-3 +4	- 6.68 + 4.70	5.61	-65 +100	-0.208 +0.117	180.48
-4 +6	- 4.70 + 3.35	8.00	-100 +150	-0.117 +0.104	256.00
-6 +8	- 3.35 + 2.36	11.28	-150 +200	-0.104 +0.075	360.96
-8 +10	- 2.36 + 1.85	16.00	-200	-0.075	512.00
-10 +14	- 1.85 + 1.17	22.56			

註：所用篩孔大小均將網目換算成公厘

用〔表面——噸〕計算磨礦機的處理礦量，其表示法如下：

2100×3000 公厘球磨機的處理礦量為100,000〔表面——噸〕/一晝夜。

這種方法雖然可以作為比較球磨機處理礦量之用，但它並不能做到磨礦的真正比較。此法特點在於磨礦和處理礦量用一個數字表示，其缺點為：

1. 其指標僅能供比較之用，故僅有相對價值。

2. 其表面率最小的粒級同較大的篩級全用 $\sqrt{2}$ 乘，當然是不正確的，根本就表示不出最小粒級的真正粒度。就像 -0.075 公厘的篩級都用 $0.075 \div \sqrt{2} \approx 0.05$ 公厘 計算。但這樣實際得出的數值却是非常低的（在5微米〔註〕以下），所以這種計算方法所用的表面係數對最小篩級的礦粒來講，其實用價值未免有些問題；這也就是說本方法僅能供〔有效〕表面積比較之用。並且還有一點，雖然這種方法能表示出很細的磨礦細

註：微米是百萬分之一公尺。——譯者

度，例如磨到 -0.075 公厘，但這種粒度（小於 0.05 公厘）對浮選僅能有害，並不能證明機械的有效性。

3. 表面——噸所表示的表面積，隨其篩分時所用篩級的多少而有很大的變動，在比較兩種產品表面積時，無疑地要用同樣多篩級的篩子。特別是小礦粒多，而表面率大的那些粒級，不用較多的篩級計算而僅取少數粒級計算時，則所得結果，一定相差太遠。

第四種方法是礦石表面積評價的圖示法。這方法在 1913 年就已應用。在理論根據上與上述第三種方法沒有多大區別。礦石特性曲線（註）和縱座標軸間的面積是由各粒級產品的總和乘上礦粒直徑的逆數而算出（圖 1）。因此如上法一樣，結果就達到了以「網目——噸」表示的礦石近似表面積。我們用單位時間內所形成的表面——噸就可以衡量出球磨機的处理礦量。

在此圖示方法中，對最終一級表面的測定，也是不正確的。它對原礦和產品在篩分時所用的篩級並不像分析法那樣準確。

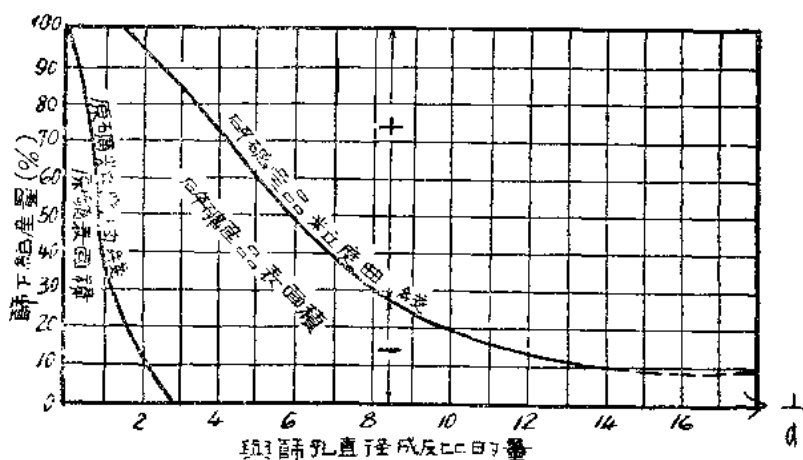


圖1. 礦石表面積評價的圖示法

註：按粒度繪成的曲線。橫座標所指的量是與篩孔直徑成反比，而縱軸是通過該篩子的礦石總量。

我們認為此種按產品及表面——噸來計算處理礦量的方法對細磨來講還比較合適。因為計算表面是用較小的一些篩級來進行的，同時這些篩級也正是用做計算產品處理礦量的。

二 磨礦機的磨礦效率

在實際磨礦中，為了很好地比較磨礦工作，所以應用「效率」一詞。磨礦效率是用每小時單位動力的處理礦量來表示。這時所用的動力，有時是用總動力，或用有效動力計算，而不計算主軸的摩擦損失。

根據上面所講磨礦機的幾種計算處理礦量的方法，我們常用的有下列幾種：

1. 處理原礦噸數 / 仟瓦小時；
2. 最終產品的噸數（ -0.15 或 -0.075 公厘） / 仟瓦小時；
3. 表面——噸 / 仟瓦小時；
4. 網目——噸 / 仟瓦小時。

上述各種計算磨礦機處理礦量和效率的方法，在作比較時都需用同一種單位。

第二章 磨 礦 難 易 度

礦石的礦物成分與物理性質對磨礦效率及處理礦量有着極大影響。

每種礦石都有其不同的磨礦難易度。

各種礦石都能用數種實驗室實驗的方法，或以某一種礦石為標準定出係數來比較磨礦難易度。

各種礦石的相對磨礦難易度就是用來比較磨礦機的成績和在設計新選礦廠時應如何選擇適當的磨礦設備。

相對磨礦難易度的測定，因實驗用的條件和方法不同，其結果自然有很大差異。磨礦難易度的差異與產品粒度減小的程度也有關係，例如純石英磨到 -0.6 公厘並無困難，但磨到 -0.075 公厘時就是一種硬而難磨的礦石了。以比重指標表示的磨礦難易度對於比重大的礦石來講其磨礦難易度自然就大，然而這種增大，實際並不與比重的增加成正比。所以根據這種情況，磨礦難易度的測定有多種方法。無論用哪種方法來計算磨礦難易度，都必須按產品的各種粒度分別予以計算。

各種礦石的相對磨礦難易度通常都是用實驗室的球磨機來算出。磨礦難易度的實驗方法到現在還未能統一，現行的實驗方法有以下兩種：

1. 開路磨礦系統用實驗室的球磨機進行一定時間的磨礦；
2. 類似與分級機互成閉路的磨礦系統，同樣也是用實驗室的球磨機進行磨礦實驗。

一 利用開路磨礦系統的球磨機測定磨礦難易度

蘇聯有用礦物機械選礦研究院曾制定各種產品粒度的磨礦難易度計算方法。主要是先確定兩種礦石在開路的情形下，將礦石磨成各種粒度所需的時間；然後把兩種礦石都磨到同一粒度時的兩種產量係數加以比較。每一種礦石都是在同樣條件下進行多次不同時間的磨礦。這兩種礦

石產品的篩分結果都可繪成不同的曲綫（圖2）。縱座標代表某種特定粒度篩上累積量，橫座標代表從實驗開始的磨礦時間。

根據曲綫，就能確定出這兩種礦石磨到篩下最含計劃粒度90%所需的磨礦時間。

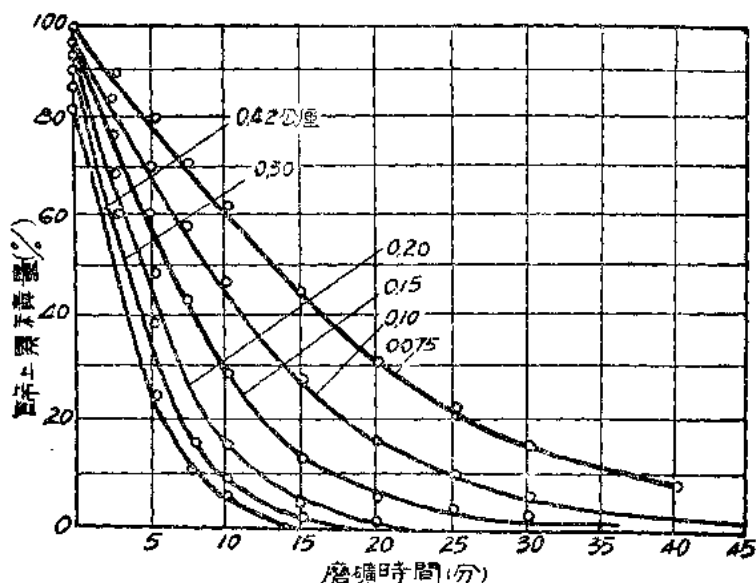


圖2. 實驗室的球磨機產品粒度與磨礦時間的關係（通卓夫作）

磨礦機單位容積的處理礦量是根據礦石磨到各種粒度以其磨礦時間和礦石稱取量來表示（公斤 / 小時—公升）。

利用處理礦量間的多少，也可做出一種礦石的磨礦難易度與另種礦石磨礦難易度的比較。

用上述方法可作出許多種礦石磨礦難易度的實驗，表3和表4就是開路磨礦時所得出的各種礦石磨礦難易度的一些係數，表5是這些實驗在用實驗室的球磨機進行磨礦時，所應有的條件。

各種礦石開路磨礦的磨礦難易度（通卓夫作）

表3

礦石	比重	指定粒度篩下量達到90%時濕式磨礦的 相對處理產量（公斤/小時）					
		-0.42 公厘	-0.30 公厘	-0.20 公厘	-0.15 公厘	-0.10 公厘	-0.075 公厘
楚平斯基產石英	2.65	1.225	0.995	0.763	0.571	0.381	0.260
傑格嘉爾產黃銅礦	4.76	1.235	1.114	0.953	0.858	0.740	0.600
同上	4.17	1.172	1.071	0.963	0.848	0.682	0.518
阿爾馬雷克產斑銅礦	2.50	1.426	1.151	0.968	0.713	0.434	0.359
察柯里寧產粗粒結晶鉛鋅礦	2.74	0.942	0.875	0.791	0.638	0.471	0.313
同上（硫化礦）	2.83	0.980	0.911	0.823	0.679	0.518	0.375
同上（平均試料）	2.83	1.02	0.911	0.767	0.681	0.557	0.418
澤利雅諾夫產鉛鋅礦（硫化礦）	2.78	1.515	1.332	1.190	0.990	0.752	0.535
同上（氧化礦）	2.56	2.150	1.850	1.400	1.075	0.817	0.574
阿克丘茲產鉛鋅錫礦	2.94	0.827	0.734	0.636	0.558	0.421	0.315
烏爾圖產錫礦	2.63	1.068	0.989	0.810	0.627	0.747	0.305
奧里庚產錫礦	3.65	2.179	1.820	1.450	1.112	0.753	0.503
契爾陀雅克產錫礦	2.60	1.056	0.877	0.802	0.624	0.410	0.273
鉬 礦	2.50	1.150	1.032	0.814	0.644	0.503	0.408
阿勃捷里洛夫產錳礦	2.79	0.796	0.689	0.590	0.488	0.388	0.290
基姆康產鐵錳礦	3.10	2.18	1.96	1.83	1.62	1.25	0.935
高爾勃拉高連特產鐵錳礦	3.61	1.740	1.485	1.281	0.953	0.612	0.421
克里沃羅日斯基產鐵質石英	3.70	2.72	2.32	1.820	1.51	1.02	0.705
卡列里斯基產偉晶石	2.61	1.74	1.38	1.04	0.715	0.495	0.340
凱輔產藍晶石	3.12	1.44	1.21	0.92	0.75	0.52	0.320

開路磨礦時各礦石的磨礦難易度（希羅金斯基作）

表4

礦石	比重	磨到-90%時的單位產量 公斤/公升小時 [註]						
		-0.6 公厘	-0.42 公厘	-0.30 公厘	-0.20 公厘	-0.15 公厘	-0.10 公厘	-0.075 公厘
石 英	2.63	0.827	0.777	0.700	0.593	0.458	0.323	0.225
鉬 礦	3.16	0.702	0.695	0.680	0.650	0.580	0.453	0.305
熙賓產磷灰石	2.94	1.965	1.790	1.550	1.223	0.886	0.560	0.336
卡拉巴施產黃銅礦	3.52	4.880	4.170	3.160	2.060	1.310	0.770	0.410
柯文拉德產斑銅礦	2.69	1.175	1.142	1.107	1.030	0.850	0.560	0.340
索普契瓦奇產銅鎳礦	3.19	0.580	0.570	0.565	0.530	0.475	0.388	0.285
諾伏列文斯克產黃銅礦	4.30	2.125	2.069	1.977	1.809	1.485	1.025	0.634
克拉斯諾格瓦爾傑依產黃銅礦	4.50	2.745	2.595	2.410	2.080	1.580	1.040	0.610
德府茲卡茲崗產銅礦	2.66	3.430	3.085	2.573	1.825	1.135	0.640	0.325

註：磨礦粒度 4.7~0 公厘

開路磨礦時測定各礦石磨礦難易度所用磨礦機的磨礦條件 表5

指 標	希羅金斯基的實驗結果 (表4)	通卓夫的實驗結果 (表3)
球磨機尺寸: 直徑×長度(公厘)	240×190	308×197
容積(公升)	8.7	11.7
機 型 式	稜 形	平 形
球磨機迴轉數(轉/分)	74	66
同 上 臨界速度的%	80	—
鐵球裝入量(公斤)	16	26.5
同 上 佔球磨機容積的%	40	—
鐵球直徑(公厘)	25	30
給 礦 量	0.80公升	0.883×6公斤 (6—礦石比重)
同 上 佔球磨機容積的%	9(視容積)	6(實容積)
礦石粒度(公厘)	—4.7	—6
液體和固體的比例數(以容積計)	1:1	2.15:1

二 利用閉路磨礦系統的球磨機測定磨礦難易度

實驗室的閉路磨礦，是把稱好的礦石經短時間（一定的或不定的時間）磨礦後，將磨好的產品排出；要加入與其重量相同的新礦石來代替排出的產品，如此循環繼續到排出礦物量失掉常態時為止。

目前，實驗室的球磨機還未能建立起很好的閉路磨礦實驗方法。

關於一定磨礦時間的磨礦難易度的計算

這種方法是希羅金斯基同志所發現的。磨礦條件和開路系統所用的一樣，先把濃度 1:1 的礦石進行一定時間的磨礦；為了排出磨好產品，用篩子篩分（把 -0.075 粒級的礦粒用水洗去），然後稱量剩餘篩上的礦物，並向其中加入與篩下量相等的給礦量，最後再加水稀釋至 1:1。

按這種操作，要重複至最終產品排出量失去恆量時為止（通常作10次即可）。

對最後兩次操作所得的產品和返砂要進行篩分，取其平均數。以最後兩次產品的平均排出量，作為該循環時間內的排出量。返砂比是根據返砂量與溢流量之比算出。

表 6 所載材料是一些礦石在閉路情況下，用同樣磨礦時間磨到 0.15 公厘時所得出的磨礦難易度。

然而我們應該注意各種礦石在一定時間內進行的閉路磨礦實驗，必須找出各該礦石在其磨礦時間內的返砂量。因為由於返砂量的不同，磨礦難易度自然也不同。所以，用這種方法求得的指標，其正確性就有一定限度。

磨礦時間相同的返砂量，因為不會像連續磨礦那樣，能使返砂量增加，而減少礦石在球磨機中停留的時間，所以這種實驗方法，無論怎樣控制返砂量，其結果絕不能達到如實際連續磨礦的效果。因之，不能不說是該方法的缺點。

閉路磨礦（時間為 3 分鐘）磨到 - 0.15 公厘時
幾種礦石的磨礦難易度

表 6

礦 石	返 砂 量 %	單位生產量 公斤 / 公升小時	
		以 礦 計	以 -0.15 公厘 品 計
石 英	289	0.685	0.650
鉬 鎢 礦	295	0.880	0.768
熙賓產磷灰石	173	1.245	1.102
卡拉巴施產黃銅礦	139	1.725	1.456
柯文拉德產斑銅礦	137	1.185	1.006
索普契瓦文奇產銅鎳礦	313	0.770	0.695

在返砂量不變的情況下，對磨礦難易度的測定

實驗用的球磨機其內部尺寸為 305 × 305 公厘，迴轉數每分鐘 68.5 轉。進行的是乾式磨礦，鐵球直徑 37~19 公厘 (285 個)，共重 20,125 克，實驗用的礦石試料是用對滾機破碎至 - 3.3 公厘，礦石裝入量 700 立方公分（按視容積計算），每次磨礦時間以球磨機迴轉數表示。磨礦所需時間是按返砂量不變為先決條件（返砂量固定為 250%），並且每磨一個時間後，從球磨機內磨好的最終產品，其排出量必須達到球磨機內總給礦量的七分之二左右（即 1:3.5）。

第一次磨礦所需時間是根據以前的實驗決定的；以後的磨礦時間，根據球磨機在每次磨礦時間內每一轉所得出的最終產品數量（克數）來