

資源處理

1. 礦石、脈石、礦物、岩石。
2. 資源處理的範圍：主要對象為礦物。（固固、固液之分離）空氣污染、廢物處理、再生。
3. 資源處理之對象為礦物，則可稱之為選礦（礦物處理）Mineral Processing。
4. 選礦之定義：將原礦加工處理，除去脈石，生產出可出售的產品。而不致改變原礦之物理及化學性質的處理方法。
5. 資源處理之目的：
 - (1) 提高礦物品位，增加價值。
 - (2) 除去冶煉或工業應用上有害之礦物。
 - (3) 將複雜的礦物單純化。
 - (4) 整粒，增加利用性。
6. 資源處理的利益：
 - (1) 比冶煉便宜
 - (2) 可減省運費
7. 資源處理所利用礦石的性質
 - (1) 比重 (Specific Gravity)
 - (2) 顏色及光澤 (Color and Luster)
 - (3) 磁性 (Magnetic)
 - (4) 導電性 (Electric Conductivity)
 - (5) 表面性質：吸附性、吸油性 (Surface Properties)
 - (6) 磨擦（耐磨性） (Friction)
 - (7) 放射性 (Radioactivity)
 - (8) 硬度 (Hardness)
 - (9) 結晶形狀 (Crystal shape)
 - (10) 熱碎性：如方解石、重晶石 (Decrepitation)

8. 有價礦物分佈狀況

- (1) 塊狀
- (2) 交互 (交錯狀)
- (3) 分散 (散點狀)

9. 解離 (Liberation)：將有價礦物單獨分離稱之。

解離粒度 (Liberation size)

- (1) 理論解離粒度：將有價礦物單獨分離出來的最大粒度。
- (2) 經濟解離粒度：於品位及技術上求得協調，獲最大利益之解離粒度。

10. 名詞：

- (1) 品位 (Grade)：礦石中含有價成分之量，以百分比表之。
- (2) 原礦 (Raw Ore)：選廠所進之原料，以供處理用之礦石。
- (3) 給礦 (Feed)：加入選礦機械之礦石。
- (4) 精礦或精砂 (Concentrate)：經處理後除去雜質並提高品位的有價礦石
即選礦所生產的目的礦物。
- (5) 中礦 (Middling)：選礦操作中所產生之品位介於精礦與尾礦間之產物。
- (6) 尾礦、礦砂 (Tailing)：經選礦後，含有價礦物極少，準備廢棄之礦砂
其品位隨選礦技術及市價而變動。
- (7) 脈石 (Gangue)：經選礦選出要丟棄的部分。
- (8) 礦泥 (Slime)：礦粒小於 400 Mesh (-38 μ m) 之泥狀礦砂。
- (9) 礦漿 (Plup)：
- (10) 礦漿濃度 (Plup Density)：

$$\text{礦漿濃度} = \frac{\text{礦重}}{\text{礦重} + \text{水重}} \times 100\%$$

亦有用 礦粒重量：水重 如 1：5

11. 富集比 (Concentration Ratio) :

$$K = \frac{F}{C} \quad \text{即原砂重量與精砂重之比。}$$

即要得到一噸精礦需要用多少噸的原礦。

12. 回收率 (Recovery) : 精砂中有價成份重量與原砂中有價成份重量之比。

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100\%$$

設原礦品位 f	原礦重量 F
精礦品位 c	精礦重量 C
尾礦品位 t	尾礦重量 T

$$\text{則 } F = C + T \quad (1)$$

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

$$(2) - (1) \times t$$

$$Ff - Ft = Cc - Ct + Tt - Tt$$

$$F(f - t) = C(c - t)$$

$$\therefore \frac{C}{F} = \frac{f - t}{c - t} \quad (3)$$

$$\text{◎ } \therefore R = \frac{Cc}{Ff} \times 100\% \quad (4)$$

將 (3) 代入 (4)

$$\text{則 } R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \times 100\% \quad \text{---- 回收率。}$$

13. 富礦比 (Enrichment Grade) : 即精礦品位與原礦品位之比。

$$\text{富礦比} = \frac{\text{精礦品位}}{\text{原礦品位}}$$

$$E.G. = \frac{c}{f}$$

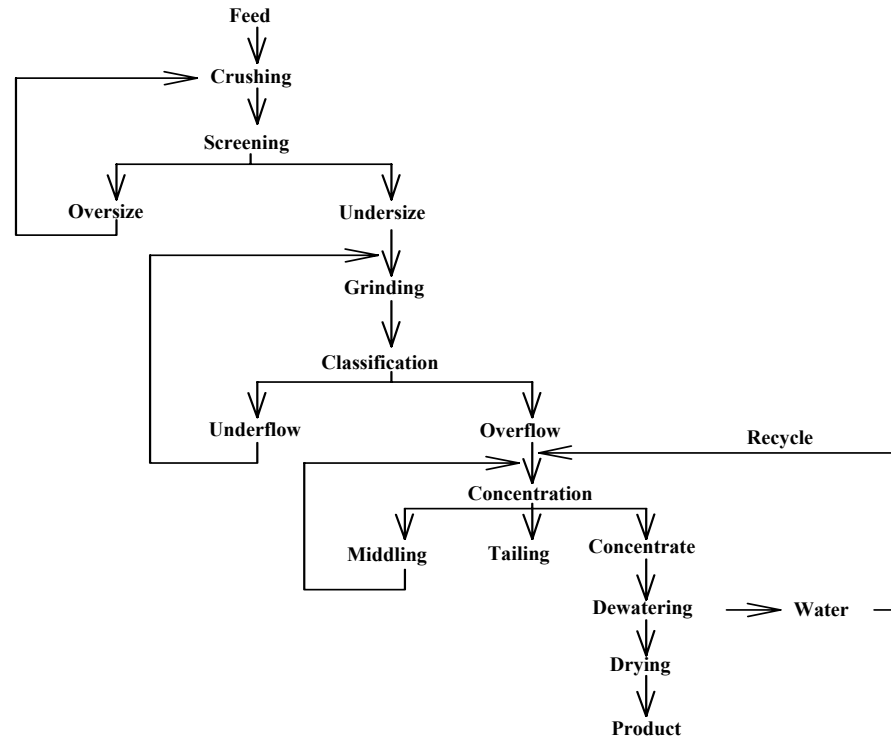
14. 收成率 (Yield) : 精礦量與原礦量之比。

收成率 = 精礦量 / 原礦量

$$Y = \frac{C}{F} \times 100\%$$

相當於富集比的倒數，常用於選煤時用之。

15. 礦物處理的流程圖 (Flow sheet) :



16.例題

黃銅礦 (CuFeS_2) 之原礦品位為含銅率1.5%。經選礦後之精礦品位為20%，而尾礦中之含銅率為0.15%，求回收率，富集比。

17.篩析 (Screen Analysis)

粒度分離的目的：

- (1) 了解『解離粒度』(以達到解離粒度為準。以節省動力)
- (2) 了解各粒度範圍的化學成份
- (3) 應各種處理機械的需要(以提高效率)
- (4) 應市場的要求(以便分離適當的粒度)
- (5) 了解磨礦的狀況(加以控制後再分離)

顆粒的物理性質

- 一. 有效密度：無孔隙、無裂縫礦物之單位體積質量。
- 二. 表觀密度：天然礦物(有孔隙)之單位體積質量。
- 三. 堆積密度：自由堆積或緻密堆積之單位體積質量。
- 四. 孔隙率：天然礦物中單位體積內含有孔隙體積之%。
- 五. 力學強度：
 1. 可碎性：破碎應力作用下抵抗破碎的能力。可碎性可用單位新表面積消耗的功或破碎前後顆粒大小之比值表示。
 2. 脆性：外力作用下發生破碎之性質(上述破碎非指專門破碎機器操作下的破碎)。
 3. 硬度：抵抗比本身更硬物體鑽透的能力。
- 六. 彈性：以 Yang's Modulus 表示。可採用靜力方法：抗壓或抗彎強度；動力方法：機械振動來確定。
- 七. 研磨性：以可磨指數(Grindability Index)表示。
- 八. 顆粒形狀：礦物顆粒均為不規則形狀。形狀影響表面積、運動阻力、沉降速度、被覆性、白度、黏度、熱引擎、化學反應速率、表面能等。顆粒形狀之不規則程度可以下述方法表示。
- 九.

1. 形狀係數(ϕ)

$$\phi = \frac{\text{表面積形狀係數}(k_s) / \text{體積形狀係數}(k_v)}{\frac{6dn^3}{\pi dr^3}} = \frac{\pi dr}{6dn^3} = \frac{6dn}{dr}$$

k_s =表面積與直徑平方之比。

k_v =體積與直徑立方之比。

dr =球體直徑。

dn =不規則顆粒之標準直徑。

當顆粒為球體時， $\phi=6$

2. 球形係數(X)：同體積的球，表面積(A_s)與顆粒之表面積(A_p)之比。

$$X = A_s / A_p$$

X 值愈小顆粒愈不規則，如下表

顆粒形狀	球形	類似球形	多角形	長條形	扁平形
X	1.0	1.0~0.8	0.8~0.65	0.65~0.5	<0.5

3. 比表面積比(Rs)：顆粒表面積與同直徑球體表面積之比。

顆粒形狀對礦物處理的重要性絕不遜於粒度或其他顆粒物性。舉一簡例：當一克比重 1.0 之礦物被破碎成相同大小(三維相同)而剛可通過 200 目篩之粒群，如其形狀為立方體，總表面積約 674cm^2 ；長方狀，約 562cm^2 ；片狀，約 2700cm^2 ；平常砂約 922cm^2 。將以上各種形狀的礦粒加于化學處理，例如酸浸漬，由於形狀不同，立方體的浸漬效果上有砂(不規則形狀)之 73%；長方形的只有 61%；片狀約 270%。

4. 粒形參數(Particle Shape Parameter)訂定方法：此參數可根據顆粒之三維尺寸訂定如下：

$\alpha_1=a/b$ 、 $\alpha_2=A/ab$ 、 $\alpha_3=K^2/4\pi A$ ，a 及 b 投影面二維尺寸，A 為投影面積，

K 為投影周長。

$\alpha_1 \geq 1$ ：瘦長形； $\alpha_2 \leq 1$ ：胖短形； $\alpha_3 \geq 1$ ：凹凸起伏形

例如：1 個立方體： $\alpha_1=1$ ， $\alpha_2=1$ ， $\alpha_3=4/\pi=1.27$

1 個球體： $\alpha_1=1$ ， $\alpha_2=\pi/4=0.78$ ， $\alpha_3=1$

1 個不規則體： α_2 介於 0.5~0.8， $\alpha_1 \leq 4$ ， $\alpha_3 \leq 3$

十、顆粒粒徑：大多數的顆粒成不規則形狀，因此顆粒粒徑或粒度甚難規範。粒度概念要從單一粒徑及粒群的平均粒徑分別敘述。

1. 單一粒徑：一個顆粒有三維尺寸，如顆粒為球體，該球體的直徑則為顆粒之粒徑，其為簡單。由於顆粒以不規則形狀為主，其粒徑之定義變成頗為複雜，而且由各定義導演出來之公式計算單一粒徑，其所得數值差異，如顆粒相當大，可肉眼量測時，單一粒徑定義較為簡單，以三維尺寸表示即可，如最長一維之尺寸為 a，次長的為 b，最短為 c，單一粒徑可以下列各式中選一公式計算：a、b、 $\frac{(a+b)}{2}$ 、 $\frac{(a+b+c)}{3}$ 、 \sqrt{ab} 、 $\sqrt[3]{abc}$ 、 $\sqrt{(ab+bc+ac)/3}$ 。如粒形不規則且又無法從肉眼量測時，粒徑可由下列擇其一，加於定義並計算。

Definition Of Particle Size

Symbol	Name	Definition	Formula
d_v	Volume diameter	Diameter of a sphere having the same volume as the particle	$v = \frac{\pi}{6} d_v^3$
d_s	Surface diameter	Diameter of a sphere having the same surface as the particle	$s = \pi d_s^2$
d_{sv}	Surface volume diameter	Diameter of a sphere having the same external surface to volume ratio as a sphere	$d_{sv} = \frac{d_v^3}{d_s^2}$
d_d	Drag diameter	Diameter of a sphere having the same resistance to motion as the particle in a fluid of the same viscosity and at the same velocity (d_d approximates to d_s when Re is small)	$F_D = C_{DA} \rho f \frac{v^2}{2}$ where $C_{DA} = f(d_d)$ $F_D = 3\pi d_a \eta v$ $Re < 0.2$
d_f	Free-falling diameter	Diameter of a sphere' having the same density and the same free-falling speed as the particle in a fluid of the same density and viscosity	
d_{st}	Stoke's diameter	The free-falling diameter of a particle in the laminar flow region ($Re < 0.2$)	
d_h	Projected area diameter	Diameter of a circle having the same area as the projected area of the particle resting in a stable position	$A = \frac{\pi}{4} d_a^2$
d_p	Projected area diameter	Diameter of a circle having the same area as the projected area of the particle in random orientation	Mean value for all possible orientations $d_p = d_s$ for convex particles
d_c	Perimeter diameter	Diameter of a circle having the same perimeter as the projected outline of the particle	$d_F = d_c$
d_A	Sieve diameter	The width of the minimum square aperture through which the particle will pass	
d_F	Feret's diameter	The mean value of the distance between pairs of parallel tangents to the projected outline of the particle	
d_M	Martin's diameter	The mean chord length of the projected outline of the particle	

上列粒徑之定義及表示法很多，究竟採用何方法取決於方便性及測粒徑的目的。通常實驗室及工程上使用之粒徑以下列為主：

(1).Stoke's diameter；

(2).利用顯微鏡測量之定向徑；Coulter Counter 測量之球相當徑；篩相當徑。不同粒徑定義延伸的測量法所得結果一定有若干差異，所以惟有在測量粒徑時，利用各方法之優點，小心從事，儘量降低誤差外無他策。

(3) 平均粒徑：工業上分別測量每一顆粒的粒徑是不可能的，因此先以各種方法將粉粒物分成若干適當窄狹的粒度範圍之粒級，然後測量各粒度範圍(粒級)的平均直徑，最後再求全體平均粒徑。

十一、顆粒粒度測定方法：常用的顆粒粒度測定如下：

	方 法	適用粒度範圍(μm)
一	尺量	肉眼方便的粒度
二	篩分(Screening)	實驗篩：10,000~74(Subsieve Size 可測至 10 μm) 工業篩：100,000~150
三	升流法(Elutriation)	40~5
四	顯微鏡(光學)法	50~0.25
五	沉降法(Sedimentation)	重力場中：40~1.0；離心場中：5~0.05
六	電子顯微鏡法	1~0.005

篩分是在顆粒大小及粒形影響下能否通過篩孔而決定其粒度大小之方法；升流法是顆粒大小、形狀、比重、表面積等多項因素綜合作用下在升流中分粒度之方法；沉降法原則上與升流法受同樣因素影響下在沒有升流條件下分粒度，除可在重力場中分粒外也可在離心場中進行；顯微鏡法(包括光學及電子)是測量顆粒之投影面二維尺寸當為粒度，電子顯微鏡之放大倍數幾十倍甚至百倍於光學顯微鏡，所以可測粒度遠比光學顯微鏡細小。

十二、利用影像分析 (Image Analysis) 技術分析粒度

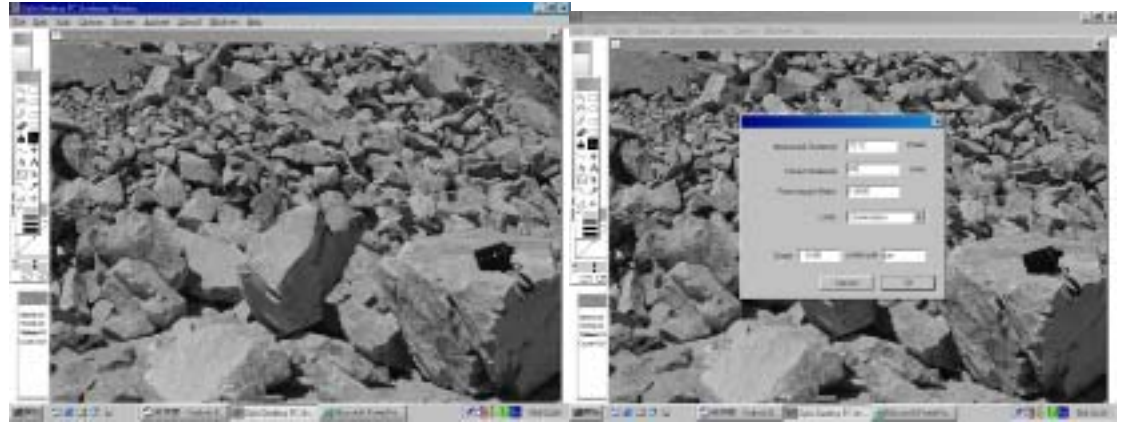
將影像以數據代表，以利分析。影像分析是以數據或圖表的式來表示影像特性，最常用的是亮度分析統計圖，根據統計圖我們可以精確地判斷影像特性。經由分析數位灰階影像(Digital grayscale images)，判斷物體的邊界位置。可計算爆破後之岩塊大小或碎礦前後輸送帶上之礦石粒度分佈。進而瞭解爆破或碎礦機的效率。亦可直接與攝影機連結並擷取影像並分析之。

影像分析操作程序：

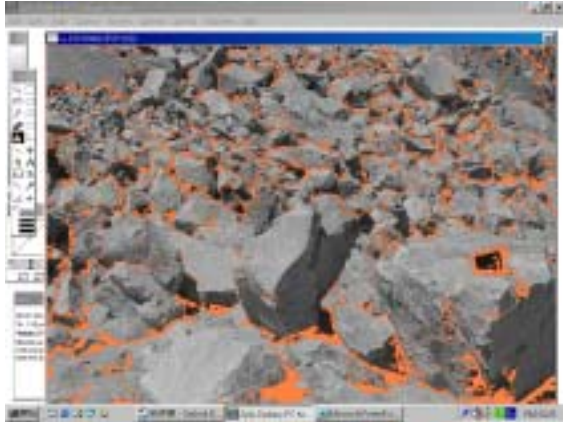
1. 開啟所需分析之影像檔案。



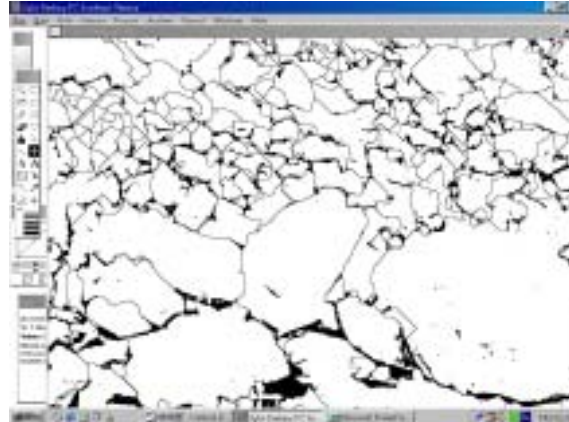
2. 賦予影像內已知物體之尺寸大小。



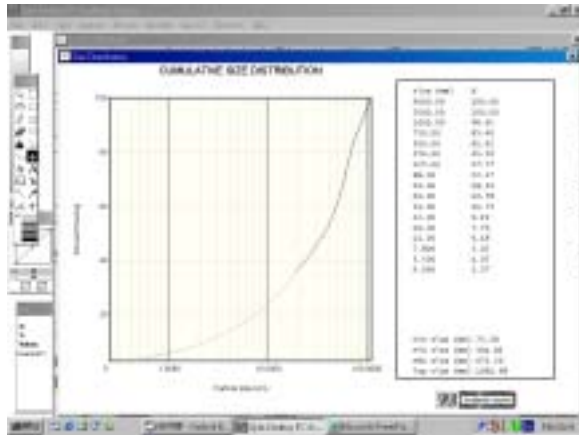
3. 分析影像並獲得各岩石顆粒邊界。



4. 修正岩石影像邊界。

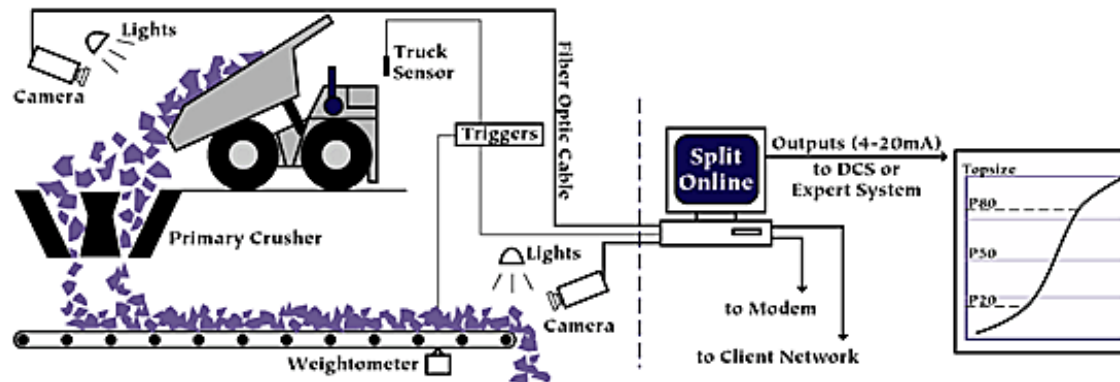


5. 計算顆粒數目及其面積，估算各顆粒之大小。繪製粒度分佈圖。



本分析方法亦可用於河川砂石地表粒度分析及土石流之地表粒度分析

線上分析系統：



Schematic from typical Split-Online fragmentation measurement system.

18.分粒 (Sizing)

包括了二種：

- (1) 篩分 (Screening)：礦粒粒徑大小為依據。用一定間隙或孔徑之篩。使其通過或殘留在篩上之操作。
(適用粗粒、和比重無關，大小有關)
- (2) 分級 (Classification)：在水中或在空氣中落下礦粒，由於粗、細 之下落速度不同而分類稱之。
(適用細粒，和比重、形狀、大小有關)

19. 顆粒大小與表面積有很大的關係。

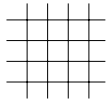
表面積會影響：

- (1) 磨擦力
- (2) 化學反應的快慢
- (3) 與藥劑接觸的多少 (浮選)
- (4) 流體的運動速度

20. 篩 (Screen)：是一種測定顆粒粒度的工具。適用的範圍約在100,000 至43 μ m間。

- (1) 實驗用篩 (標準篩)。
- (2) 工業用篩。

21. 篩網為篩的主體。由篩絲 (Sieve wire) 及篩孔 (Sieve aperture) 組成。



22. Tyler (泰勒) 篩

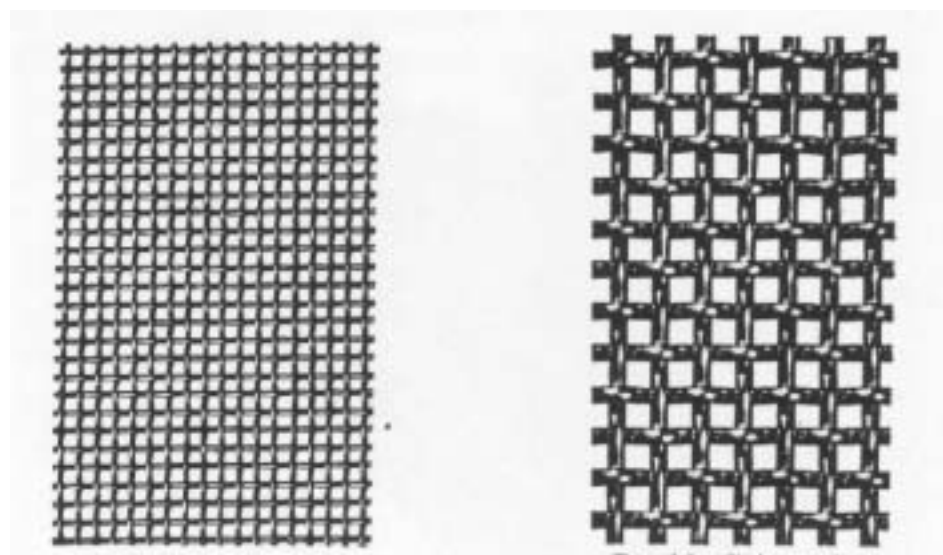
以200篩目的篩，其篩絲直徑為0.0021吋 (0.053mm) 篩孔徑為0.0029吋 (0.074mm)，剛好將一吋長等分為200，所以篩目 (Mesh) 定義為每一吋長所有的篩孔數。其篩孔徑比 (Sieve Ratio) 採用 $\sqrt{2}$ 的系列。即上、下相連續之篩孔比為 $\sqrt{2}$ ，

$$\text{粗一級：} 0.074\text{mm} \times \sqrt{2} = 0.104\text{mm} ;$$

$$\text{細一級：} 0.074\text{mm} \div \sqrt{2} = 0.053\text{mm}$$

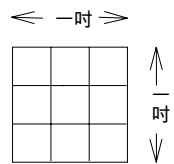


標準篩

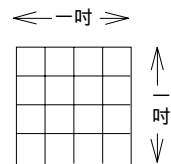


篩絲及篩孔

<u>Tyler 篩</u>		<u>ASTM</u>	
篩號	孔徑 (mm)	篩號	孔徑 (mm)
400	0.038	400	0.037
325	0.043	325	0.044
270	0.053	270	0.053
230	0.061	230	0.062
200	0.074	200	0.074
170	0.088	170	0.088
150	0.104	140	0.105
115	0.124	120	0.125
100	0.147	100	0.149
80	0.175	80	0.177
65	0.208	70	0.21
60	0.246	60	0.25
48	0.295	50	0.297
42	0.351	45	0.35
35	0.417	40	0.42
32	0.495	35	0.5
28	0.589	30	0.59
24	0.701	25	0.71
20	0.833	20	0.84
16	0.991	18	1



3 Mesh



4 Mesh

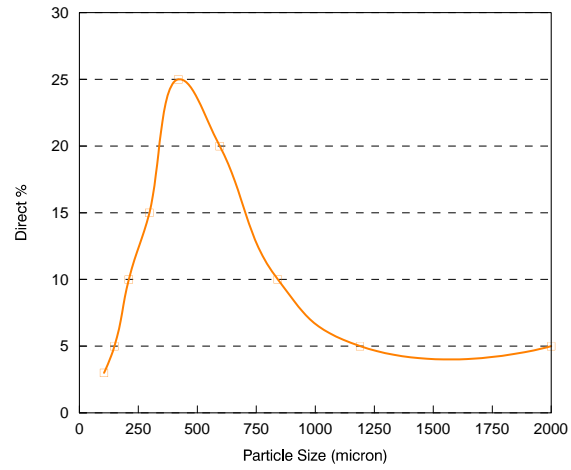
◎ ASTM 篩以 18 篩目(Mesh)為準。篩孔徑為 1 mm 每一篩孔比為 $\sqrt[4]{2}$
 (倍黎廷家) Double Rittinger's Ratio
 為 Richards 提出。

23.盲眼

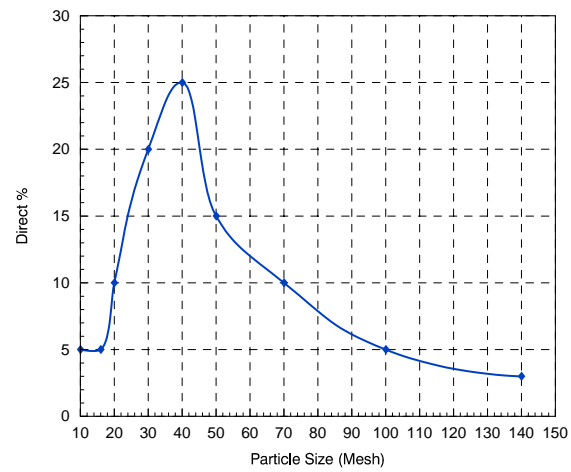
24.篩析紀錄

粒群粒徑 (μm)	粒群粒徑 (Mesh)	個別重量 (g)	個別重量 (%)	累積重量% undersize	累積重量% oversize
+2000	+10	5	5	95	5
-2000+1190	-10+16	5	5	90	10
-1190+841	-16+20	10	10	80	20
-841+595	-20+30	20	20	60	40
-595+420	-30+40	25	25	35	65
-420+297	-40+50	15	15	20	80
-297+210	-50+70	10	10	10	90
-210+149	-70+100	5	5	5	95
-149+105	-100+140	3	3	2	98
-105	-140	2	2		100
合計			100		

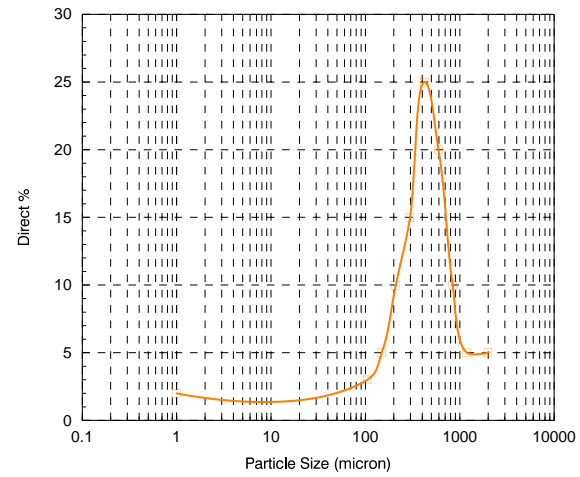
表示方法 (一) 全算術比例繪圖法(直接個別重量百分比)



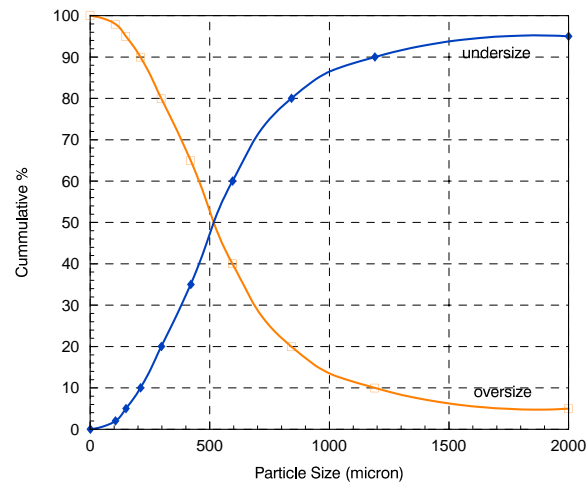
表示方法 (一乙) 全算術比例繪圖法(直接個別重量百分比)橫軸以Mesh來定，繪出的點分佈較均勻



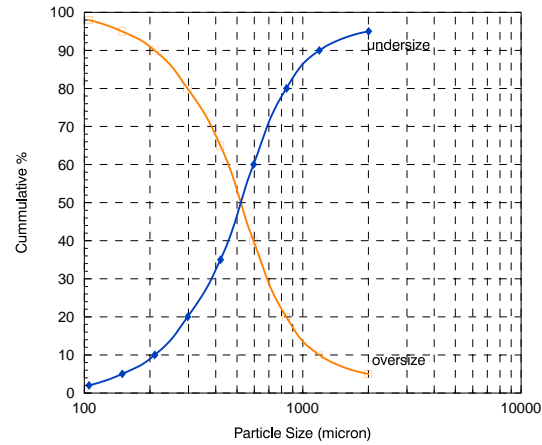
表示方法 (二) 半對數比例繪圖法



表示方法 (三) 累積重量百分比



表式方法 (四) 累積重量百分比 (半對數比例)



25. 篩面可分為三大類：

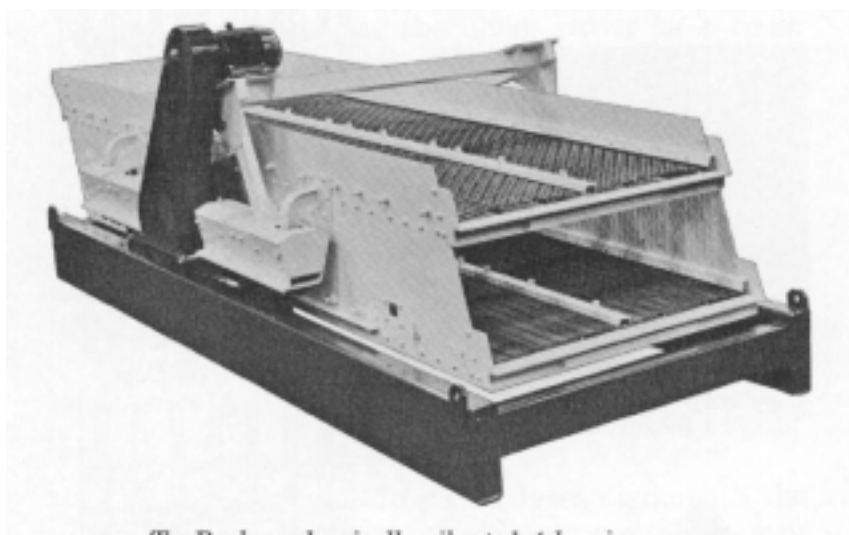
(1) 平行篩條  鐵軌、木條

(2) 軋孔板 

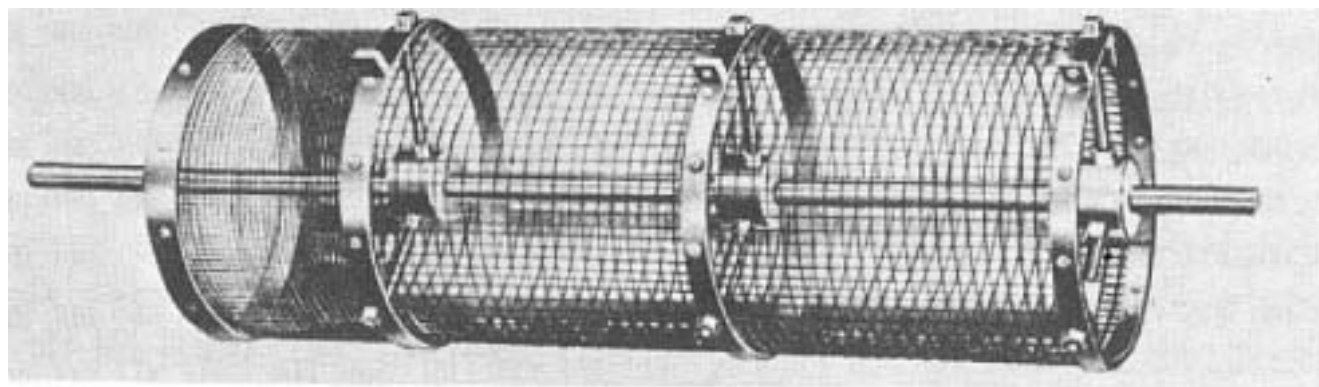
(3) 篩網或篩布

26. 工業用篩，依篩面與過篩砂層之相互運動關係可分為：

- (1) 定篩 (Fixed Screen)
- (2) 搖動篩 (Shaking Screen)
- (3) 震動篩 (Vibrating)
- (4) 轉篩 (Revolving)



震動篩

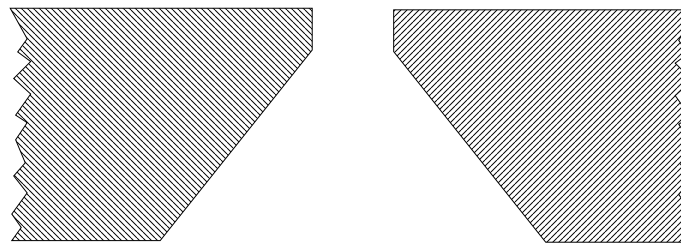


圓轉篩

Some Methods of Particle-Size Analysis

Method	Approximate useful range (microns)
Test sieving	100,000 - 10
Elutriation	40 - 5
Microscopy (optical)	50 - 0.25
Sedimentation (gravity)	40 - 1
Sedimentation (centrifugal)	5 - 0.05
Electron microscopy	1 - 0.005

Standard test sieves are not available with aperture sizes smaller than about $37\mu\text{m}$. Micromesh sieves are available in aperture sizes from $5\mu\text{m}$ to $150\mu\text{m}$, and are made by electroforming nickel in square and circular mesh. Another popular type is the “micro-plate sieve” which is fabricated by electroetching a nickel plate. The apertures are in the form of truncated cones with the small circle uppermost (as following figure shows). This reduces blinding but also reduces the percentage open area, i.e. the percentage of the total area of the sieving medium occupied by the apertures.



cross-section of a micro-plate aperture

Choice of Sieve Sizes

In each of the standard series the apertures of consecutive sieves bear a constant relationship to each other.

It has long been realised that a useful sieve scale is one in which the ratio of the aperture widths of adjacent sieves is the square root of 2 ($\sqrt{2} = 1.414$). The advantage of such a scale is that the aperture areas double at each sieve, facilitating graphical presentation of results.

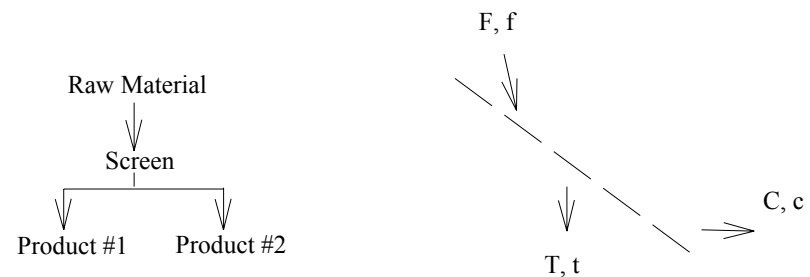
Most modern sieve series are based on a fourth root of 2 ($\sqrt[4]{2} = 1.189$) or, on the metric scale, a tenth root of 10 ($\sqrt[10]{10} = 1.259$), which makes possible much closer sizing of particles.

For most size analyses it is usually impracticable and unnecessary to use all the sieves in a particular series. For most purposes, alternative sieves, i.e. a $\sqrt{2}$ series, are quite adequate, whereas over certain size ranges of particular interest, or for accurate work, consecutive sieves, i.e. a $\sqrt[4]{2}$ series, may be used. Intermediate sieves should never be chosen at random, as the data obtained will be difficult to interpret.

In general, the sieve range should be chosen such that no more than about 5% of the sample is retained on the coarsest sieve, or passes the finest sieve. These limits, of course, may be lowered for more accurate work.

* 篩分效率 (Screen Efficiency)

篩目 (Mesh)	Dp · mm 粒徑	原礦粒篩上 累積%	篩分結果 篩上物%	篩分結果 篩下物%
4	4.699	0	0	
6	3.327	0.296	0.071	
8	2.362	0.187	0.43	0
10	1.651	0.475	0.85	0.195
14	1.168	0.746	0.97	0.58
20	0.833	0.878	0.99	0.83
28	0.589	0.948	1.00	0.91
35	0.417	0.966		0.94
65	0.208	0.977		0.96
-65		1.00		1.00



$$E = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \times 100\%$$

c=0.85 f=0.475 t=0.195

$$\begin{aligned} \therefore E &= \frac{c(f - t)}{f(c - t)} = \frac{0.85(0.475 - 0.195)}{0.475(0.85 - 0.195)} \times 100\% \\ &= 75.93\% \end{aligned}$$

*** 篩分能力**

與篩孔徑大小有關，如一切條件相同(礦石性質、篩孔百分率)

定律：

(1) 一定量的礦砂，比重一定，則礦粒之顆數與礦粒直徑之立方成反比。

$$n \propto \frac{1}{d^3}。$$

(2) 篩面積一定，孔率相同，則篩孔之數目與篩孔徑之平方成反比。

(3) 定量的礦砂，在一定面積的篩面上過篩，則每個篩孔通過礦粒之次數為

$$\text{礦粒數} \div \text{篩孔數} = \frac{1}{a^3} \div \frac{1}{a^2} = \frac{1}{a} \quad (\text{a為礦粒直徑，亦為篩孔徑})$$

即通過篩孔之次數與礦粒直徑或篩孔徑成反比。

(4) 篩的能力單位為 $T/\text{ft}^2/\text{mm孔徑}/24\text{hr}$ 。

(每平方呎篩面，每公厘孔徑，每24hr所能處理礦砂的噸數。)

* 各式篩之能力如下：

篩別	$T/\text{ft}^2/\text{mm孔徑}/24\text{hr}$
斜篩	1-5
轉篩	0.3-2 (濕篩)
搖動篩	2-8
震動篩	5-20

*** 難篩粒 (Difficult Grain)**

僅較篩孔徑略小的礦粒，這種礦粒是難於篩出的。亦稱臨界礦粒。

(Critical size material)

分級

* 一般工業篩分操作小於65Mesh (208 μ m) 就不合經濟效益，(因為篩的效率隨粒徑之減小而變小)，因此細小的礦粒分粒可利用礦粒大小在水中之沉降速度之不同來達到目的。

* 自由沉降：一個球狀顆粒受重力作用，在靜止的流體中沉降，作用於此球狀顆粒之力有：

- (1) 重力
- (2) 浮力
- (3) 阻力

* 影響沉降速度的因素：

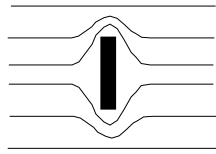
- (1) 比重
- (2) 大小
- (3) 形狀 (與面積有關、相同體積，面積大的慢)
- (4) 空氣泡
- (5) 磁性
- (6) 液體比重
- (7) 液體粘度

* 線流 (Laminar Flow)

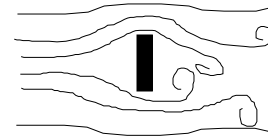
礦粒移動的速度小，周圍液體無顯著的動盪發生稱之。

* 渦流 (Turbulent Flow)

礦粒移動之速度快，引起四周水的動盪。

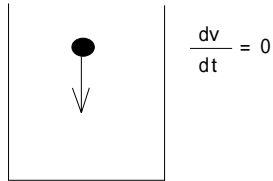


平流



渦流

最終速度



$$F_g = mg - m'g - R$$

重力 浮力 阻力

$$F_g = ma = mg - m'g - R \quad (1)$$

$$= \frac{\pi d^3}{6} \rho \frac{dv}{dt}$$

$$= \frac{\pi d^3}{6} g \rho - \frac{\pi d^3}{6} g \rho_0 - R \quad (2)$$

- ρ : 固體之密度 (g/cm³)
- ρ_0 : 流體之密度 (g/cm³)
- v : 沉降速度 (cm/sec)
- t : 沉降時間 (sec)
- g : 980 cm/sec²
- R : 流體阻力 (dyne)
- C : 阻力係數
- A : 投影面積 (cm²)

A : 投影面積 (cm²)

$$R = C \frac{\rho_0 v^2}{2} A = C \frac{\rho_0 v^2}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

1. 層流 (Laminar Flow)
2. 亂流 (Turbulent Flow)

$$C = f(R_e)$$

Re : Reynold number : 流體的流動狀態，以一種數據代表。它反映了介質在流動中的慣性作用力與黏性作用力的比值。雷諾數大時以慣性作用力為主，雷諾數小時以黏性作用力為主。

$$R_e = \frac{\rho_0 V d}{\mu} \quad (4)$$

μ : 黏度 (0.01 poise = g/cm.sec)

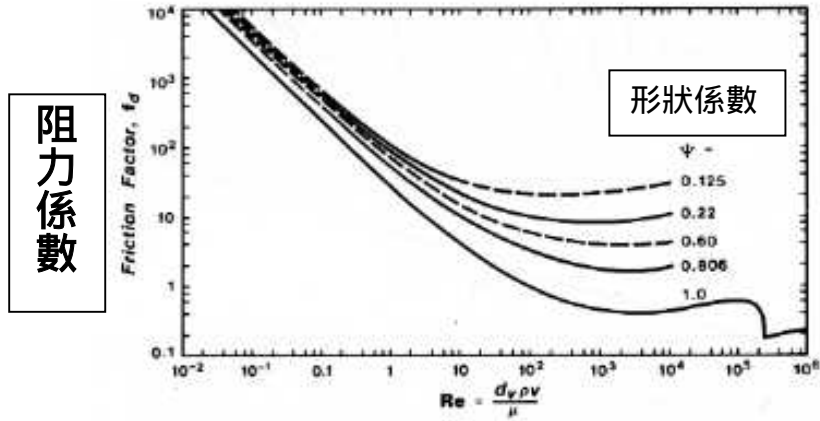


Figure 4.8. Friction factor (drag) chart for particles. (After Waddell.⁹⁾

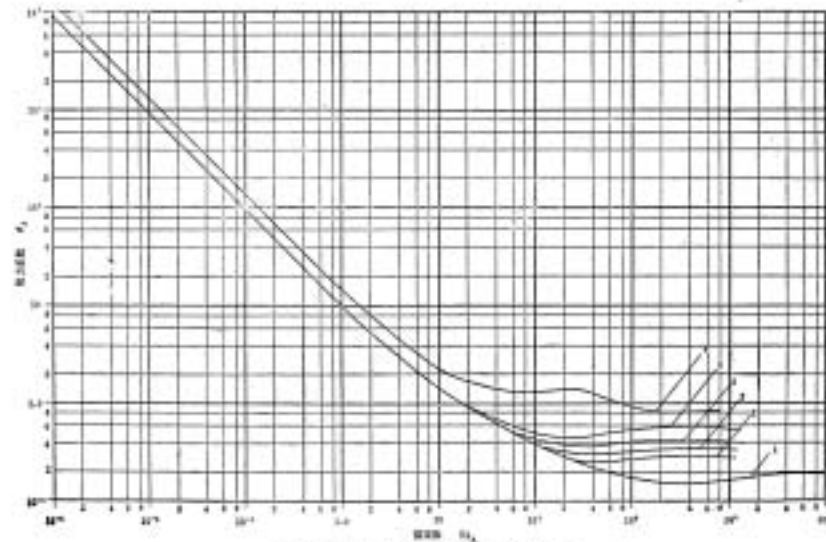


圖 2-2 不同形狀粒子的阻力係數與雷諾數關係圖
 1—圓形；2—六角形；3—八角形；4—正方形；5—三角形；6—菱形；7—正方形

雷諾系數與阻力系數之關係圖

斜直線部分
曲線部分
水平線部分

(層流)
(viscous flow)
(亂流)

$Re < 0.2$
 $0.2 < Re < 500$
 $500 < Re < 10^6$

(Stoke range)

(Newton range)

斜直線 $C = \frac{24}{Re}$ (5)

曲線 $C \approx \frac{18.5}{Re^{0.6}}$ (6)

水平線 $C \approx 0.44$ (7)

(一) Stoke 範圍

將 (5) (4) 代入 (3)

則 $R = \frac{\rho_0 v^2}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{24\mu}{\rho_0 v d} = 3\pi\mu v d$ (8)

阻力公式 (層流 range)
Stoke

(二) Newton range

將 (7) 代入 (3)

$$C = 0.44$$

$$\therefore R = 0.44 \cdot \frac{\rho_0 v^2}{2} \cdot \frac{\pi d}{4} = \frac{\rho_0 v^2 \pi d^2}{18.2}$$
 (9)

若礦粒達到 V_m 時，則 $\frac{dv}{dt} = 0$

由 (2) 知

$$\frac{\rho\pi d^3}{6} \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d^3}{6} g(\rho - \rho_0) - R$$

當 $\frac{dv}{dt} = 0$ 時

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho - \rho_0) = R \quad (10)$$

將 (8) 代入 (10)

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho - \rho_0) = 3\pi\mu V_m d$$

\therefore

$V_m = \frac{g(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} \quad (\text{Stoke's Law}) \quad (11)$

將 (9) 代入 (10)

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho - \rho_0) = \frac{\rho_0 v^2 \pi d^2}{18.2}$$

$$V_m = \sqrt{\frac{4}{3C} \cdot \frac{g(\rho - \rho_0)d}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{3 \times g(\rho - \rho_0)d}{\rho_0}} \quad (\text{Newton's Law}) \quad (12)$$

V_m : 終速 cm/sec

μ : 黏度 (poise)

ρ : 固體密度

d : 固體直徑 cm

ρ_0 : 流體密度

圖4-8及公式(5), (6), (7)可用來估計球形顆粒的直徑與終速, 但是阻力係數C, 及雷諾係數Re均為未知數。因此有一避免試誤(Trial and error)的方法為修正阻力圖表。即將公式(12)及(4)

$$C Re^2 = \frac{4}{3}(\rho - \rho_0) \frac{\rho_0 g}{\mu^2} d^3 \quad (13)$$

及

$$\frac{C}{Re} = \frac{4}{3} \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0^2} \right) \frac{\mu g}{v^3} \quad (14)$$

以上二公式個別有單獨的d(顆粒直徑)及v(終速), 並與C及Re成一關係式。將CRe²及C/Re與雷諾係數Re之關係繪出如下圖, 則d(顆粒直徑)及v(終速)可被估算出。

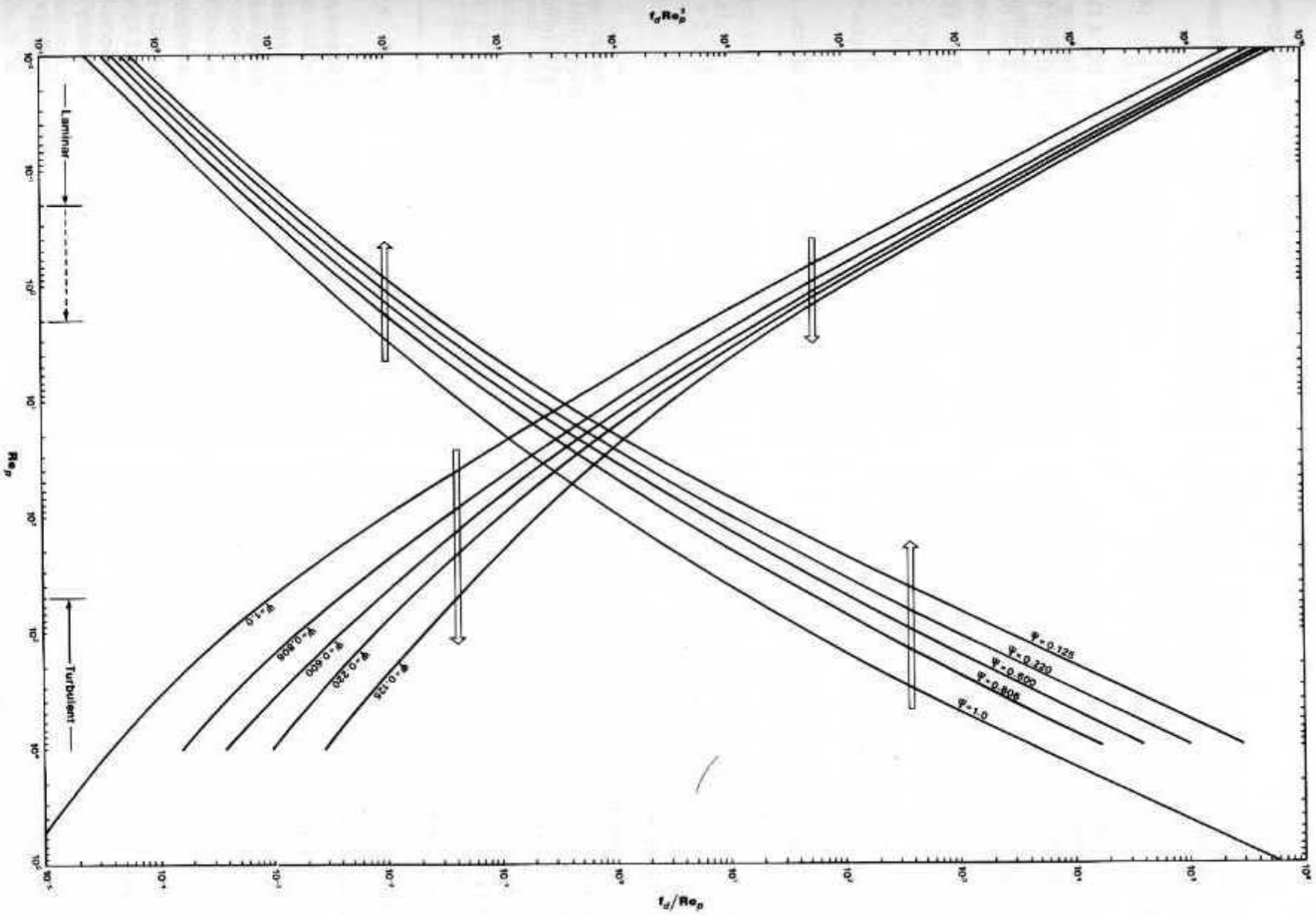


Figure 4.9. Data of Fig. 4.8 replotted as $f_d Re_p^2$ and f_d/Re_p versus Re_p .

例題：

What is the terminal velocity of a 150 μ m diameter particle having density 3145kg/m³, settling in (1) water and (2) in air? (Density of water=1000kg/m³, density of air=1.2kg/m³, viscosity of water=0.01kg/m.sec, viscosity of air = 17.5 $\times 10^{-6}$ kg/m.sec.)

Ans:

(1) Since Re is unknown, the most convenient solution is by Eq. (13) and Figure 4.9

$$C Re^2 = \frac{4}{3}(\rho - \rho_0) \frac{\rho_0 g}{\mu^2} d^3 = \frac{4(3145 - 1000)1000 \times 9.8(150 \times 10^{-6})^3}{3(10^{-3})^2} = 95$$

From figure 4.9 ($\psi=1$)

$$Re = 2.9 = \frac{dv\rho_0}{\mu}$$

$$v = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{(150 \times 10^{-6})1000} = 0.0193m/sec$$

(2)作業

例題：

- (1) 求4000 μm 球型磁鐵礦 ($\rho = 5.2$) 在水中沉降的最終速度及雷諾係數
(水的溫度20)。

例題：

- (2) 某一磁土選廠的工程師，以顯微鏡觀察原瓷土礦經磨礦後的產物，發現瓷土的粒度全部小於2 μm 。但石英 ($\rho = 2.65$) 的粒度仍然粗到20 μm 。為分離瓷土礦物供造紙用。擬設計一部上升水流方式的分級機，設法將瓷土礦物溢流，石英下沉到底流，分別收集之。若瓷土比重為2.3，不規則形狀 (因受不規則形狀影響，沉降速度只達球狀的一半)。石英為球狀。求在自由沉降下，上升水流的速度。

細粉在離心力場之分級原理

在離心力場下可以增加顆粒沉降的速度，顆粒在離心力場之離心加速度 a 為：

$$a = r\omega^2 = \frac{V_t^2}{r} \quad (15)$$

=顆粒的旋轉角速度 (rad/s)

V_t =顆粒的切線速度 (m/s)

= 顆粒的旋轉半徑 (m)

因此沉降公式 (11) 可改寫為：

$$V_m = \frac{a(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} = \frac{r\omega^2(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} \quad (16)$$

因離心力係數

$$G_c = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{v_t^2}{gr} \quad (17)$$

將 (15) (17) 式帶入 (16) ; 則

$$V_m = \frac{a(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} = \frac{G_c g(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} \quad (18)$$

不規則形狀之顆粒的沉降

不規則的程度可用同體積球體的表面積與礦粒表面積之比表示之；即又稱之為球形係數。

$$\chi = \frac{A_{gl}}{A_{gr}} \quad (19)$$

A_{gl} = 同體積球體的表面積； A_{gr} = 礦粒表面積

值越小表示顆粒形狀越不規則；一般可分為五大類：

顆粒形狀	球形	似球形	多角形	長條形	扁平形
球形係數	1.0	1.0~0.8	0.8~0.65	0.65~0.5	< 0.5

將形狀係數 (P) 引入修正後，Stoke's Law 及 Newton's Law 可改寫為：

$$V_{Stoke} = P_s \frac{g(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu} \quad (20)$$

$$V_{Newton} = P_N \sqrt{\frac{3 \times g(\rho - \rho_0)d}{\rho_0}} \quad (21)$$

當顆粒得球狀係數 =0.3 ~ 0.9的範圍時，形狀係數 (P_s, P_N) 可由下列經驗公式計算出：

$$P_s = 1 + 0.843 \lg \chi \approx 1.03\sqrt{\chi} \quad (22)$$

$$P_N = \sqrt{\frac{1.5\chi}{8.95 - 7.39\sqrt{\chi}}} \quad (23)$$

阻礙沉降

$$V_{ms} = \frac{g(\rho - \rho_s)d^2}{18\mu_s} \quad \rho_s = \text{礦漿密度}$$
$$V_{mn} = \sqrt{\frac{8}{3} \cdot \frac{g(\rho - \rho_s)d}{\rho_s}} \quad \mu_s = \text{礦漿黏度}$$

在何種沉降狀況下對比重選礦較有利：

1. 比重差愈大愈好。
2. 粒度差愈大愈好。
3. 阻礙沉降狀況比自由沉降狀況有利。
4. Newton 範圍比Stoke 範圍好。

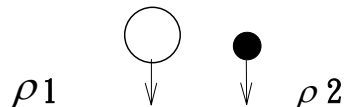
等速沉降粒：二種比重不同的礦粒，在重力加速度與阻力已達平衡之等速情形下具有相等的沉降速度時，稱之。此時礦粒大小的比稱為等速沉降比。

資源處理的過程中最好避免等速沉降。因此必須知道何種情況會發生等速沉降。

(一) 比重不同：

比重小的比重為 ρ_1 ，粒度為 d_1 ，沉降速度為 V_{m1}

比重大的比重為 ρ_2 ，粒度為 d_2 ，沉降速度為 V_{m2}



$$V_{m1} = V_{m2}$$

在自由沉降的條件下：

(1) Stoke's range

$$V_{ms1} = \frac{g(\rho_1 - \rho_0)d_1^2}{18\mu} \quad V_{ms2} = \frac{g(\rho_2 - \rho_0)d_2^2}{18\mu}$$

$$V_{ms1} = V_{ms2}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_0}{\rho_1 - \rho_0}} \quad (\text{等速沉降比}) \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} \text{之粒度比}$$

(2) 在Newton's range

$$\sqrt{\frac{8 \times g(\rho_1 - \rho_0)d_1}{3\rho_0}} = \sqrt{\frac{8 \times g(\rho_2 - \rho_0)d_2}{3\rho_0}}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\rho_2 - \rho_0}{\rho_1 - \rho_0} = C$$

(選礦準據) Concentration Criterion 可用作權衡二種礦粒在重力選礦時的難易

C	彼此可以分離的粒度
負值及>2.5	200Mesh
2.5-1.75	100-65Mesh
1.75-1.50	粗於10Mesh
1.50-1.25	1/4英吋
<1.25	不適用重力選礦法

在水中石英顆粒($\rho=2.65$)與方鉛礦($\rho=7.5$)之等速沉降比為

$$\text{Stoke : } \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{7.5-1}{2.65-1}} = \sqrt{4} = 2$$

$$\text{Newton : } \frac{d_1}{d_2} = \frac{7.5-1}{2.65-1} = 4$$

即有相同沉降速度之石英粒與方鉛礦粒。在 Newton 的條件下，石英比方鉛礦之粒度(直徑)大4倍。若細粒適用 Stoke 定律則大2倍。

在阻礙沉降的條件下：

(1) Stoke range

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_s}{\rho_1 - \rho_s}}$$

(2) Newton range

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\rho_2 - \rho_s}{\rho_1 - \rho_s}$$

ρ_s =礦漿密度

設 $\rho_s=1.5$

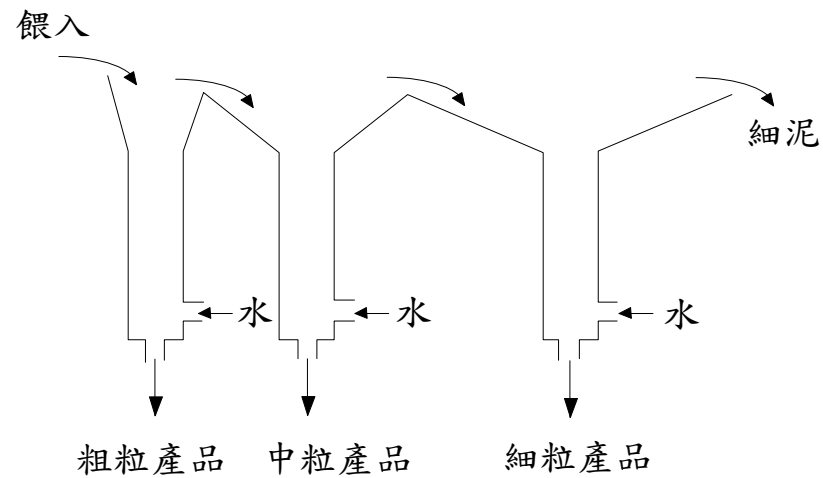
以石英及方鉛礦為例：

(1) Stoke

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{7.5-1.5}{2.65-1.5}} = 2.28$$

(2) Newton

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{7.5-1.5}{2.65-1.5} = 6$$

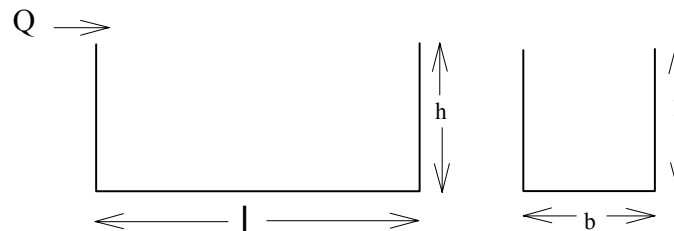


水力分級機



沉澱池

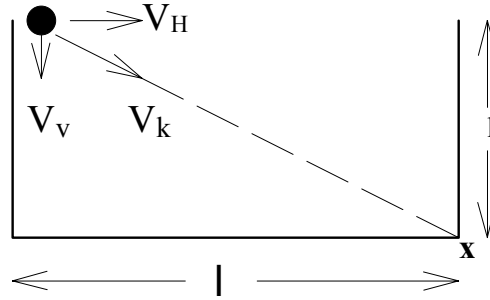
應用例
沉澱池 Settling Pond



面積定律：Area Principle

$$A = \frac{Q}{V}$$

Q：單位時間流入的水量(不包括固體)(m³/hr)



$$\frac{h}{V_v} = t_v \dots\dots(1) \quad \frac{l}{V_H} = t_H \dots\dots(2)$$

WHEN (1)=(2) 當顆粒達到 X 點。時間相同

$$\therefore t_v = t_H$$

$$\therefore \frac{h}{V_v} = \frac{l}{V_H} \dots\dots(3)$$

$$V_H = \frac{Q}{b \times h}$$

$$\therefore Q = V_H \times b \times h \dots\dots(4)$$

將 (4) 代入 (3)

$$V_v = \frac{hV_H}{l} = \frac{hQ}{b \times l \times h} = \frac{Q}{A}$$

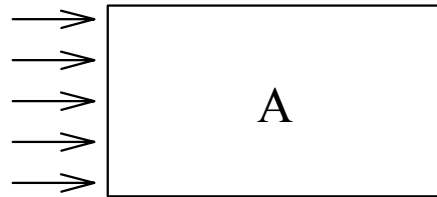
$$\therefore A = \frac{Q}{V_v}$$

Q：單位時間的進水量

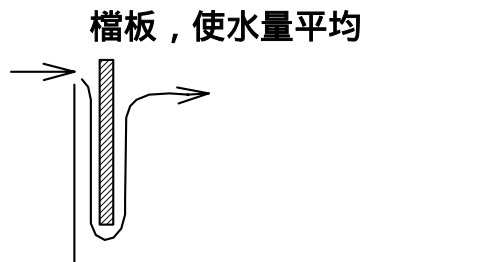
A：水平斷面積

Vv：與水平斷面積垂直方向的沉降速度

所以沉降池所需的面積與 Q 成正比。與 Vv 成反比。與 h 無關，但在實際上 h 仍需酌量。



進水需平均分佈於進水端。



(100 m³ 會有礦粒 10 噸 $\rho=2$) $Q=100-10/2=95 \text{ m}^3$

例題：

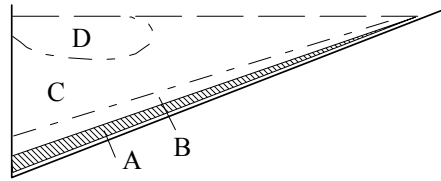
某工廠排水中含有細小固體($\rho=2.6$)。限於公害法規規定。大於 $1\mu\text{m}$ 的固體不許排入河川中。請設計一沉澱池將大於 $1\mu\text{m}$ 的固體沉澱在池中。而將細於 $1\mu\text{m}$ 的固體排出。問此池的面積？

銀礦漿量 = 4000 T/24 hr

銀礦漿稀度 = 4 : 1

Ans :

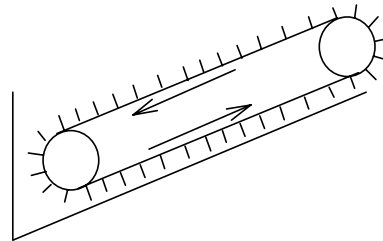
機械分級機——→ 主要部分有沉澱池為一斜置的槽身，攪動設置，及粗砂運出機械。



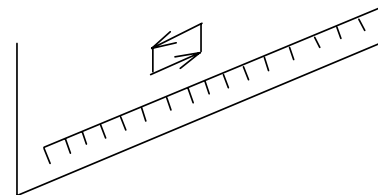
可分四帶：A·不活動砂底
B·粗砂
C·流砂（沉浮柱、阻礙沉降）
D·餵入流動之礦漿

將粗砂運置槽頂，依機械方法不同可分四種：
調整：1. 開門高度(池面積) 2. 螺旋轉速 3. 進水量

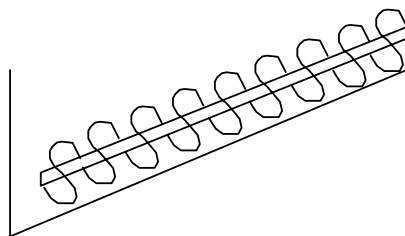
(1) 無極帶分級機



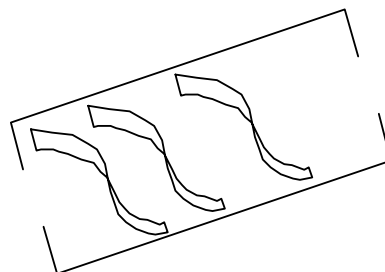
(2) 耙式分級機



(3) 螺旋分級機



(4) 轉筒螺旋分級機

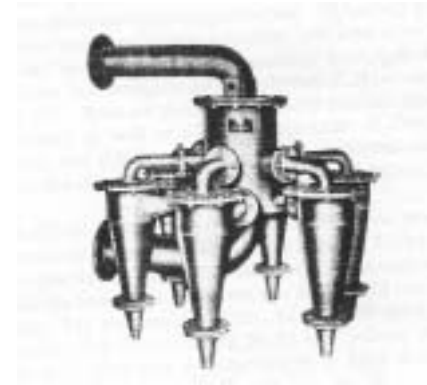
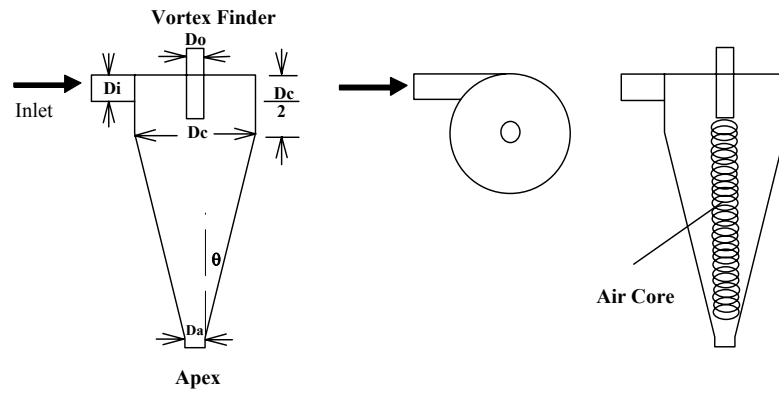


渦錐 (Cyclone)：利用離心力加速 (離心力沉降) 礦粒沉降的連續操作之分級裝置。為目前最有效的細粉分級裝置。

型式：

- (一) 乾式：分級，集塵 (公害處裡)
- (二) 濕式：分級，比重選礦，濃縮

濕式渦錐的構造



一般濕式渦錐採用之尺寸

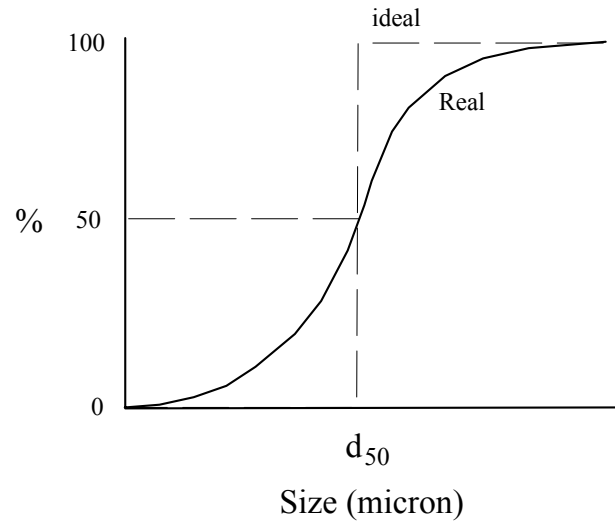
$$D_o = \frac{D_c}{5}$$

$$D_i = \frac{D_c}{7}$$

$$D_a = \frac{D_c}{8}$$

$$\theta < 20^\circ$$

D_c愈小分離粒度愈細



d_{50} 代表分離粒度的直徑

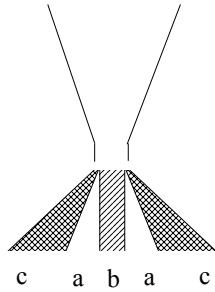
進粒中某一粒度量度的50%由Apex排出，其餘由Vortex Finder排出，此一粒度稱為 d_{50} 。

此一粒度礦粒由Apex or Vortex Finder排出之機率各一半。

d_{50} 的調整方式：

1. Feed之濃度
2. 進入量之壓力
3. O/F口徑
4. U/F口徑
5. 錐直徑

spigot的大小影響：



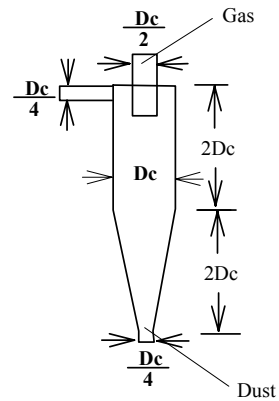
- a. 正確操作
- b. spigot太小(繩，條狀)融溶用
- c. 礦漿太稀(spigot太大)

濕渦錐的優點：

1. 離心力可用人力方法增大，增加沉降速度可達1000倍。
2. 礦漿在機內停留時間短，機身小，地位較省。
3. 分級可較細(10 μ m以下亦可辦到)。
4. 排砂的濃度可較大。
5. 停開車方便，操作很快達到正常。
6. 無運動部分，操作簡單，修改方便。

缺點：

1. 需加砂泵，以加壓給礦。
2. 粗砂因為速流動易損機件，需用橡皮襯或陶瓷襯以增加壽命。



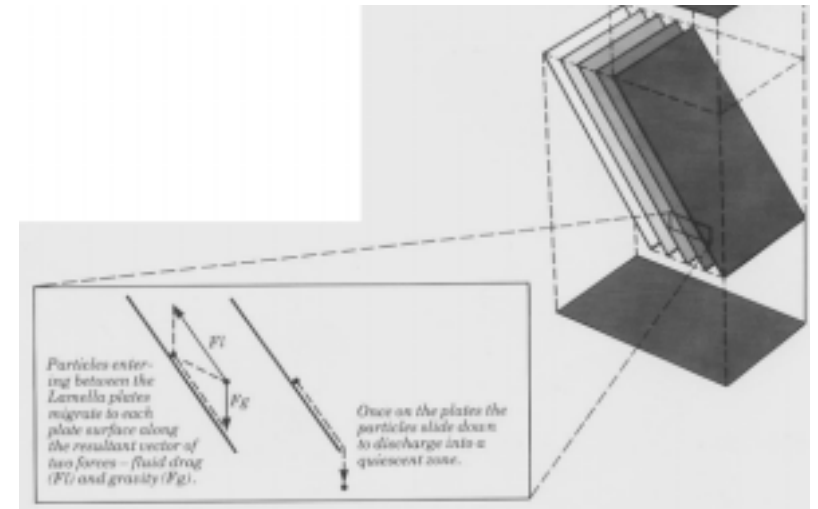
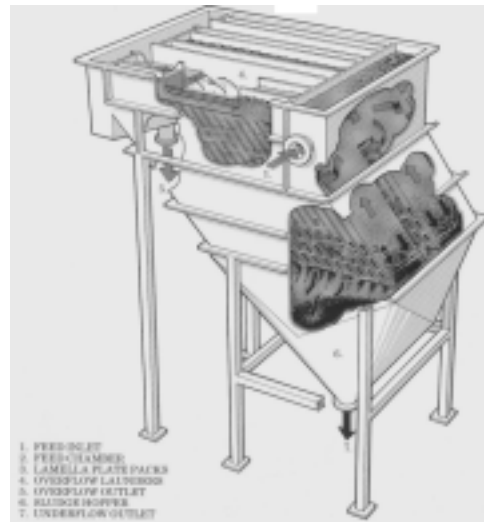
乾式渦錐

濃集機(Thickeners)

懸浮在水中的固體顆粒因重力作用而沉降，使懸浮液分為澄清液和高濃度的礦漿，此過程稱之為沉澱濃縮過程。若礦粒太小呈半膠狀體或膠狀體，則礦粒可能完全不沉降；或因細小礦粒帶有電荷相互排斥而無法沉降。因此需要設法中和，使互相凝聚變大而沉降。方法為加入一種電解質或加入一種帶有相反電荷之膠體。一般使電解質有：石灰、明礬(Alum)、硫酸鉛、硫酸低鐵、硫酸及鹼性處理之澱粉等。



斜板式濃集機(Lamella)



碎磨礦(Comminution)

打碎 Crushing → 壓力，衝擊力

細磨 Grinding → 剪力，磨擦力

主要目的：將有價礦物與脈石解離，以便富集。

碎礦機可分為：

1. 粗碎 (Primary Crushing) 100cm-10cm
2. 中碎 (Secondary Crushing) 10cm-1cm
3. 細碎 (磨礦)Grinding

粗磨 10mm-1mm

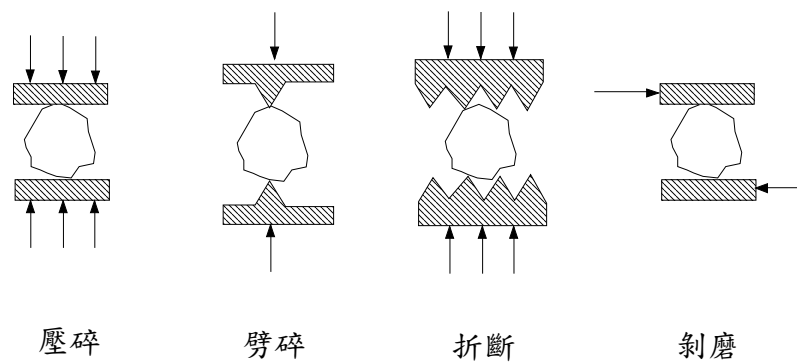
中磨 1mm-0.1mm

細磨 100 μ m-10 μ m

超細磨 10 μ m-1 μ m

需要分階段來碎磨的原因：

1. 機器本身強度受限
2. 機器本身性能限制
3. 受咬角限制
4. 各種粒度最有效的加力方式不同
5. 防止過磨(超細)



礦石破碎施力的方式

使物體破碎所需之力：

1. 壓力(Compression)
2. 彎曲力(Bending)
3. 剪力(shearing)
4. 衝擊力(Impact)
5. 扭力(Torsion)
6. 切斷力(Cutting)
7. 剝削(磨)力(abrasion)

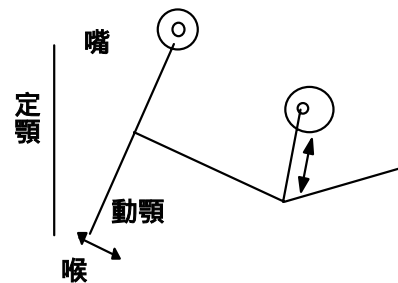
一部機器無法同時產生各種形式之力故需分階段進行碎磨。

各類碎礦機械，就機械構造分類：

1. 粗碎機：顎式碎礦機(Jaw Crusher)
 偏心碎礦機(Gyratory Crusher)
2. 中碎機：錐形碎礦機(Cone Crusher)
 轉輪碎礦機(Rolls Crusher)
 衝擊碎礦機(Impact Crusher)
3. 細碎機：轉盤衝擊碎礦機(Vertical Spindle Impact Crusher)

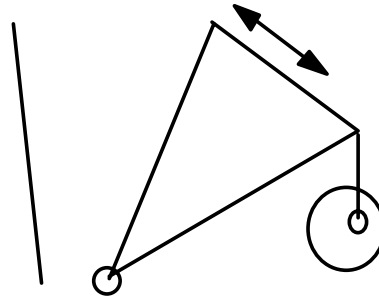
顎式碎礦機有四種型式：

(1) 柏克(Blake)型：動顎之軸在上方

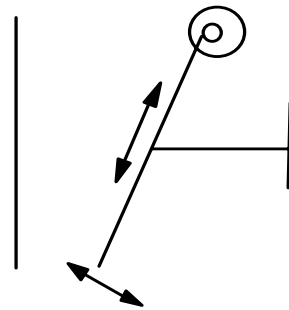


顎式碎礦機

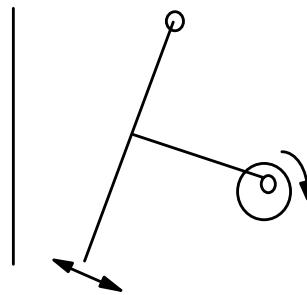
(2)道奇(Dodge)型：動顎之軸在下方



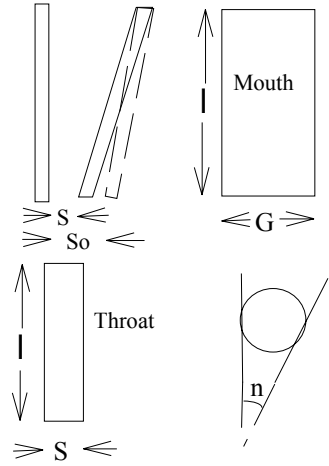
(3)單橫聯桿型(Single Toggle Type)：動顎掛在有偏心之轉軸，且只用一個橫聯桿



(4)直聯桿平放型(Horizontal Pitman Type)：直聯桿在動顎之下直接帶動



顎式碎礦機的規格：



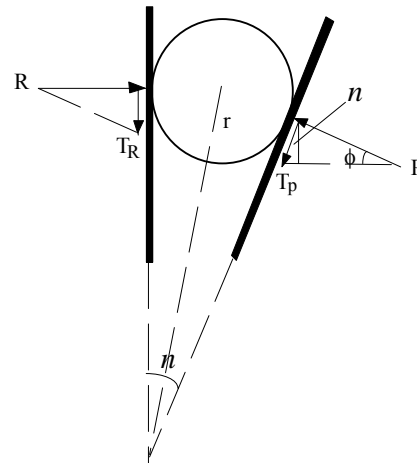
規格：G×L(以吋表之)

S=閉口間隙(Close Set)

So=開口間隙(Open Set)

So - S = W (衝程Throw)

n=咬角(Nip Angle)



當力系統成平衡時：

$$\Sigma H=0$$

$$R - T_p \sin n - P \cos n = 0 \text{ -----(1)}$$

$$\Sigma V=0$$

$$T_R + T_P \cos n - P \sin n = 0 \quad \text{----(2)}$$

$\Sigma M = 0$ (不通過中心的力)(力矩)

凡力通過中心則沒有moment, R、P通過中心點、無力矩

$$\text{所以 } T_R r - T_P r = 0 \quad \text{所以 } T_R r = T_P r \text{ -----(3)}$$

$$\text{由(3) } T_R r = T_P r \quad \text{所以 } T_R = T_P \text{ -----(4)}$$

$$\text{因為 } T_P = \mu P \quad T_R = \mu R \quad (\mu = \text{摩擦係數}) \text{ -----(5)}$$

$$\text{由(4)(5)則 } \mu P = \mu R$$

$$\text{所以 } P = R$$

$$\text{由(2) } T_R = P \sin n - T_P \cos n$$

$$(5) T_R = P \sin n - \mu P \cos n \text{ -----(6)}$$

$$\text{由(1) } R = P \cos n + T_P \sin n$$

$$(5) R = P \cos n + \mu P \sin n \text{ -----(7)}$$

$$\text{由(6)(7)及(5)因為 } \frac{T_R}{R} = \mu$$

$$\text{所以 } \frac{T_R}{R} = \frac{P \sin n - \mu P \cos n}{\mu P \sin n + P \cos n}$$

$$\mu = \frac{\sin n - \mu \cos n}{\mu \sin n + \cos n}$$

$$\text{所以 } \sin n - \mu \cos n = \mu^2 \sin n + \mu \cos n$$

$$\text{所以 } -2\mu \cos n = \mu^2 \sin n - \sin n$$

$$-2\mu \cos n = \sin n (\mu^2 - 1)$$

所以
$$\frac{\sin n}{\cos n} = \frac{-2\mu}{\mu^2 - 1}$$

所以
$$\tan n = \frac{-2\mu}{\mu^2 - 1}$$

礦石與鋼鐵間 $\mu=0.3$

所以 $n=33^\circ 24'$ (理論上最大咬角值)

若大於此角度則礦石咬不住。

磨擦角 ϕ 所以
$$\tan \phi = \frac{T_P}{P} = \frac{T_R}{R} = \mu$$

因為
$$\tan n = \frac{-2\mu}{\mu^2 - 1} \quad \mu = \tan \phi$$

所以
$$\tan n = \frac{-2 \tan \phi}{\tan^2 \phi - 1} = \tan 2\phi$$

所以 $n=2\phi$ (剛好咬著不會跳出)

所以 $n=2\phi$ 剛好咬著不會跳出 $n>2\phi$ 咬不住 $n<2\phi$ 咬得更緊

碎礦比(Reduction Ratio)(減縮比)

$$R.R = \frac{\text{礦顆粒之最大顆粒大小}}{\text{出礦顆粒之最大顆粒大小}}$$

極限碎礦比(Limiting R.R)

$$= \frac{\text{礦最大顆粒的厚度}}{\text{出礦最大顆粒的厚度}}$$

$$80\% R.R = \frac{\text{能通過給礦80\%重量的篩孔徑}}{\text{能通過出礦80\%重量的篩孔徑}}$$

顎式碎礦機之碎礦比為4~6，一般為4

100cm礦石→10cm經Jaw Crusher碎礦

$$\frac{100}{4} = 25cm$$

$$\frac{25}{4} = 6.25cm$$

(符合要求)

顎式碎礦機之碎礦能力(Capacity)

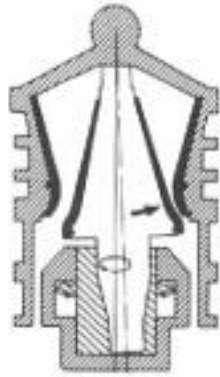
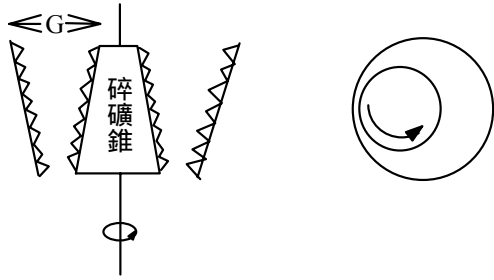
$$T = 0.6lS_0 \text{ (經驗公式)}$$

l=碎礦機之寬度，吋。

S₀=碎礦機之開口間隙，吋

進料法：1. 自由進礦， 2. 充塞給礦

偏心碎礦機 (Gyratory Crusher).



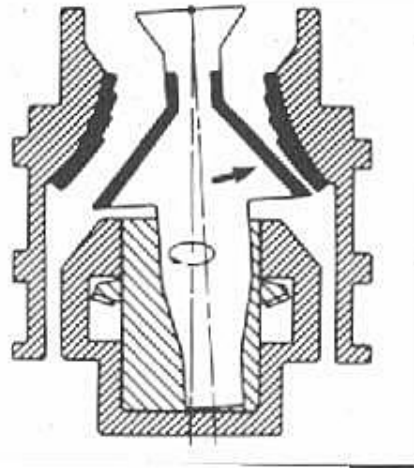
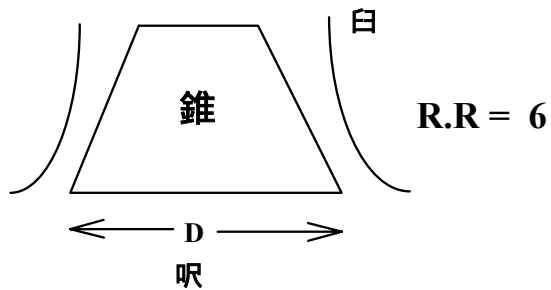
規格→ G×L(圓周長)

R.R 為4~6

能力 $T = 0.75S_0(1 - \pi G)$

(經驗公式)

中碎Cone Crusher (錐型碎礦機)



1. 白與錐約有1/4長平行長度約為喉之23倍，其喉比偏心要長，所以不致有過粗排礦。

2. C.C之RPM比G.C快 (C.C=250 RPM G.C=150RPM)故排礦不致過粗。

3. 每一顆粒在平行部分均經過多次壓碎，故排礦較細，而接近閉口間隙大小。

顎式碎礦機與偏心碎礦機之比較

1.機械構造：

顎式機構造簡單，形狀方形，高度較小，用連桿傳動。

偏心機為圓形，構造較複雜，機身較高。

調整方面：二種對排礦開口均易調整，而動程之調整，顎式機比較容易。

機械設備費用：不計基礎及房屋建築，相同的碎礦能力，顎形機比較貴。一般而言，偏心機僅為顎形機30%至70%之費用。

修理方面：偏心機較複雜，故較困難。

2.碎礦作用：

顎式機藉飛輪存儲能力，全部碎礦面僅一半的時間工作，因其為不連續工作，故用力不均勻，動力較貴，原動力亦需較大，往復動作發生震動，故基礎需較堅固。

偏心機為連續工作者，可視為一半的碎礦面，全部時間在工作。若處理量相同，顎式機需要之動力，約為偏心機的1.5~3倍。

碎礦管理方面，顎式機給礦須均勻，即所謂節制給礦(Free Feed)，較費人工。偏心機可充塞給礦(Choke Feed)，管理較易。

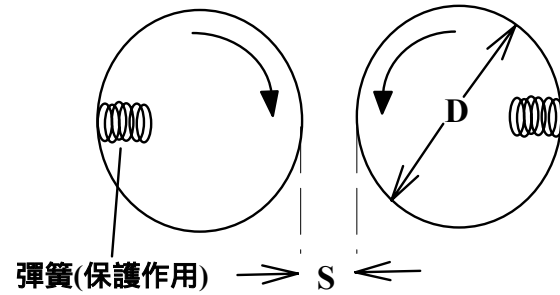
3.礦石性質：

顎式機張口為方形，適合處理方塊礦，其產品易成板狀或扁平狀。偏心機張口為扁長，故適合處理板狀或片狀礦，產品多成方塊狀。

顎式機碎礦能力強，適合處理韌硬的礦石，又濕礦或含泥礦亦可處理。偏心機如遇濕礦或含泥礦，則能力減低。

張口大小相同則顎式機之能力較小，故給礦的礦徑大，而處理量不多者，可採用顎式機，反之若礦石不大，但量多者，宜採用偏心機。

轉輪碎礦機(Rolls Crusher)

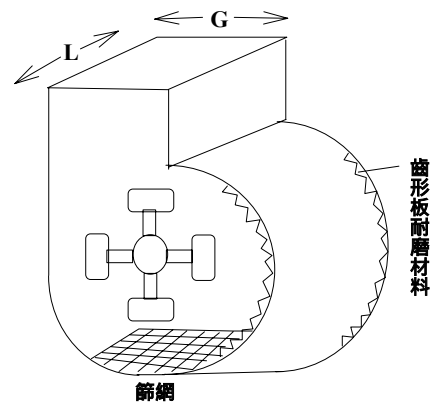


規格:D×W (輪直徑×寬)

此種機件用於

- (1) 中小規模碎礦廠。
- (2) 中硬度礦石。
- (3) 乾濕式碎礦均可，但一般為乾式。
- (4) 產品粉末較少，極適合作重力選礦。

鉗碎礦機(Hammer Mill)



規格：G×L(進口大小)

1. 應用廣泛。
2. 很多改良型，可用於中軟硬度的固體。
3. 粉碎產品粒度可至200Mesh以下。
4. 硬度太大的固體不適用。
5. 很短的時間產生很大力量，使破碎物體在未變形前已被打碎，故適用在較軟的物體。

磨礦(Grinding)

重力選礦：20~30mesh

浮選：100~200mesh

碎礦所用以粉碎礦石的力量有四種：

1. 摩擦
2. 壓力
3. 在碎礦台上打碎
4. 在空中打碎

轉磨機(Tumbling Mill)：目前使用最廣

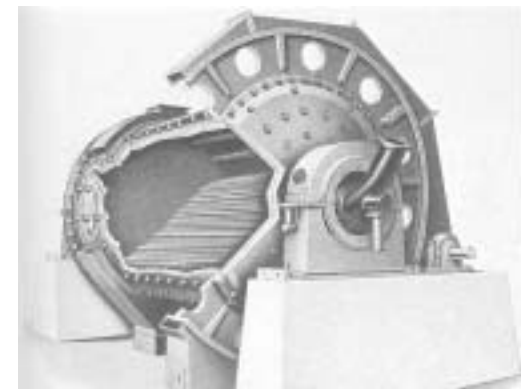
磨體	球	耐磨合金鋼 卵石 ZrO ₂ 、Al ₂ O ₃
	棒	耐磨合金鋼

種類：

1. 球磨機(Ball Mill)
2. 棒磨機(Rod Mill)
3. 卵石磨機(Pebble Mill)
4. 自體磨機(Autogenous Mill)

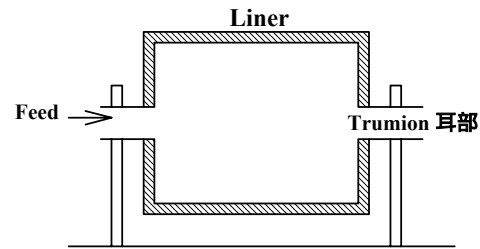


實驗型球磨機



棒磨機

襯板一般為凹凸不平的，目的在幫助磨體(如鋼球)之提升以增加打擊力量。



襯板(Liner)的形式：

1. 楔式襯板
2. 波式襯板
3. 嵌入式襯板
4. 平滑式襯板

轉磨機之分類：

(1)依外殼形狀之不同分類

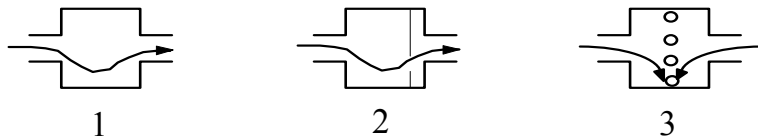
1. 短筒磨機(Cylindrical Mill)：長度與直徑相等至小於直徑二倍，用者多，不易過磨。
2. 管形磨機(長筒磨機)(Tube Mill)：長度等於或大於直徑二倍。
3. 錐形磨機(Conical Mill)
4. 多節磨機(Compartmented Mill)

(2)依磨體材料及形狀不同分類：

1. 球磨機(Ball Mill)
2. 棒磨機(Rod Mill)
3. 卵石磨機(Pebble Mill)
4. 自體磨機(Autogenous Mill)

(3)礦石經研磨後洩礦方法(Method Of Discharge)不同分類：

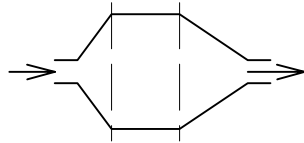
1. 中洩法或耳部溢流法(Centre Discharge)
2. 篩洩法(Grate Discharge)
3. 筒篩法(Peripheral Discharge)



(4)磨礦時加水與否分類：

1. 濕磨
2. 乾磨

錐形磨機



優點：

1. 容積最大。
2. 當錐形磨機轉動時，大球易集中於筒部，而小球集中於排礦錐部，筒部的落差較大衝擊力較大，小球則在錐部。筒部粗礦多，需較大的力破碎之，小球則在錐部細磨，磨機效率提高。
3. 錐形構造使機身堅固。
4. 因重量少，故省動力，球及襯板重量小，消耗也少，成本低。

缺點：

1. 需三種不同的襯板。
2. 只能作球磨機。

球磨機與棒磨機的比較：

1. 棒磨機的給礦可較粗。
2. 棒磨機磨礦時為線的接觸，當礦石大小不均時，可將大顆粒磨細，而細礦則否，故產品顆粒較均勻，不易過磨。
3. 球磨機為點的接觸，不論礦粒粗細，被打擊即成粉末，易過磨。
4. 棒磨機對於細磨不如球磨機，棒磨機的研磨面，遠不如球磨機多，棒磨機內如細礦多時則效率差，棒磨機的產品適合在10Mesh左右。
5. 棒磨機不能負擔較大的循環負荷(Circulating Load)，更須時常停車加入新棒及剔除已磨損之舊棒，操作較煩瑣。

臨界轉速(Critical Speed)：離心力等於重力
 超過臨界速度，球貼的更緊。小於臨界速度，球便下落。

$$C = W$$

$$\therefore C = \frac{mv^2}{r} \quad W = mg$$

$$\therefore \frac{mv^2}{r} = mg$$

$$\text{又 } v = \frac{2\pi r N_k}{60} = \text{圓周速度} \quad N_k = \text{臨界轉速}$$

$$\therefore \frac{m \left(\frac{2\pi r N_k}{60} \right)^2}{r} = mg \quad g = 32.2 \quad ft / sec^2$$

$$\therefore N_k = \frac{54.2}{\sqrt{r}} \quad N_k = \frac{76.7}{\sqrt{D}}$$

r = 筒內壁半徑(ft) D = 筒內壁直徑(ft)

若將磨體直徑考慮則（公制） $N_k = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$ D, d 均為公尺

$$N = N_k \cdot \beta \quad N: \text{實際速度(r.p.m)} \quad \beta: \text{百分率}$$

$\beta = 0.4 \sim 0.6$ 則給礦小，磨的較細，慢轉速(Cascading Motion)

$\beta = 0.6 \sim 0.8$ 則給礦大，正常轉速(Cataracting Speed)

例：某球磨機直徑為6呎，當轉速為32，25及16RPM時，其球的運動狀況以圖表之，並說明為何？如礦石大小為2cm且相當堅硬，應採用何種速度為宜？

轉磨機操作：

1. 給礦大小：儘可能將給礦礦粒度降低，效能才能發揮。
2. 給礦量：過多無從發揮粉碎力，過少浪費磨體
3. 礦漿濃度：濃度高磨礦效率好，減少磨體之消耗，但排礦能力降低，易產生過磨現象。濃度低磨礦效率下降，且磨耗磨體級襯板。
故粗給礦(+13mm以上)含水25~35%
細給礦(+13mm以上)含水30~50%
4. 磨體充填量：以機械靜止時，磨體堆積面以不超過機體之中心線為原則，一般為30%~50%為重。
5. 乾、溼磨

開路及閉路磨礦系統：

一.開路系統(Open Circuit Commination)：單次經過碎磨，即可獲得所要粒度的產物之操作系統。

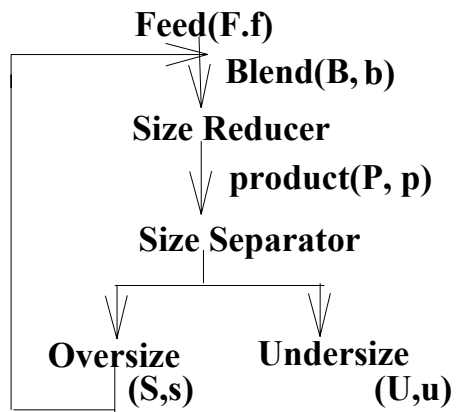
給礦→碎或磨礦→產物

優點為簡單，但產能低且易產生大量超細之產物，故此系統只適合於粗礦之操作。

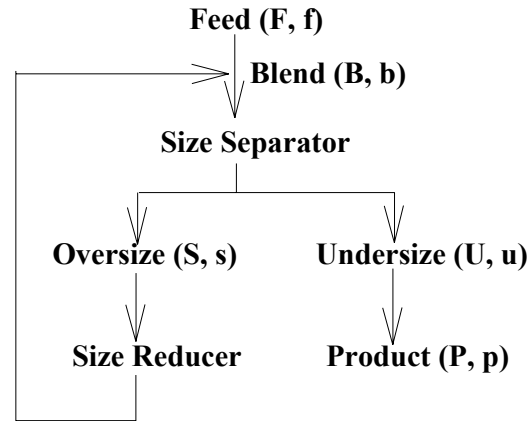
二.閉路系統(Closed Circuit Commination)

在開路系統中引進分粒度設備，以免產生超磨，同時因將以達到所需粒度者排出，而粗礦有較多機會破碎，產能較高。

可以分正循環及逆循環二類：



(正循環)



(逆循環)

此二循環適用於中、細碎或研磨，其中正循環被採用於一般從爆炸後之礦石，所要粒度之細礦石較少。而逆循環適用於原礦中已含有相當量的較細礦石。

由以上流程，可得循環負荷比。

噸數平衡：

$$B = F + S = P \quad P = S + U$$

品質平衡：

$$Bb = Ff + Ss \quad Pp = Ss + Uu$$

循環負荷比：Lc

$$Lc = \frac{S}{F} = \frac{\text{回礦量}}{\text{新給礦量}} = \frac{f - b}{b - s} = \frac{u - p}{p - s}$$

循環負荷：

$$S = \left(\frac{f - b}{b - s} \right) F \quad S = \left(\frac{u - p}{p - s} \right) F$$

$$B = S + F$$

$$Bb = Ss + Ff$$

$$\frac{- Bb = Ss + Fb}{F(f - b) = S(b - s)}$$

F=給礦重量
 S=循環不負荷之重量
 P=破碎機排出之量
 B=混合之重量

f=給礦中細於所要粒度之%
 s=循環中細於所要粒度之%
 b=混合料中細於所要粒度之%
 p=破碎後排礦中細於所要粒度之%

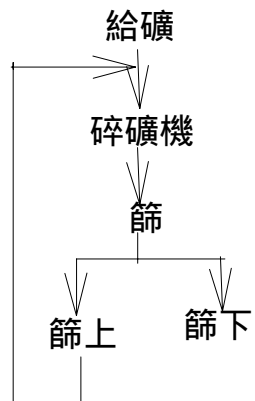
循環負荷量(S)之計算

$$S = \frac{(1-R)(1-f)F}{R(1-s)}$$

R=破碎機給礦中，粗於所要求粒度之礦石經破碎後減少之部分佔未破碎前之百分率。
 原礦中大於某粒度之物佔x%
 碎礦後大於某粒度之物佔y%

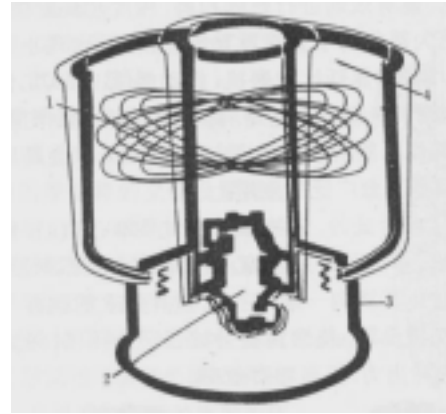
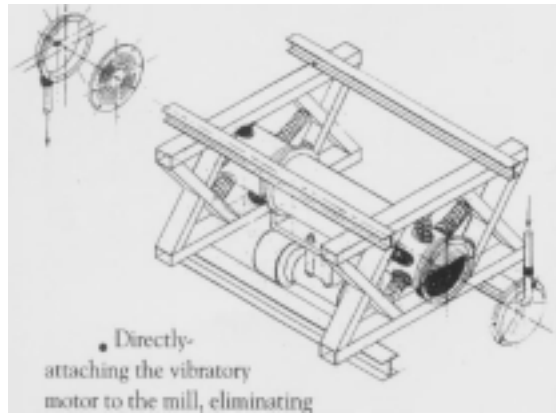
$$\frac{X-y}{X} \times 100\% = \text{減少之部分。}$$

例：某中碎系統(給礦100噸/hr)及各部分產品之粒度分佈如下圖，求循環負荷比,循環負荷,篩回收效率

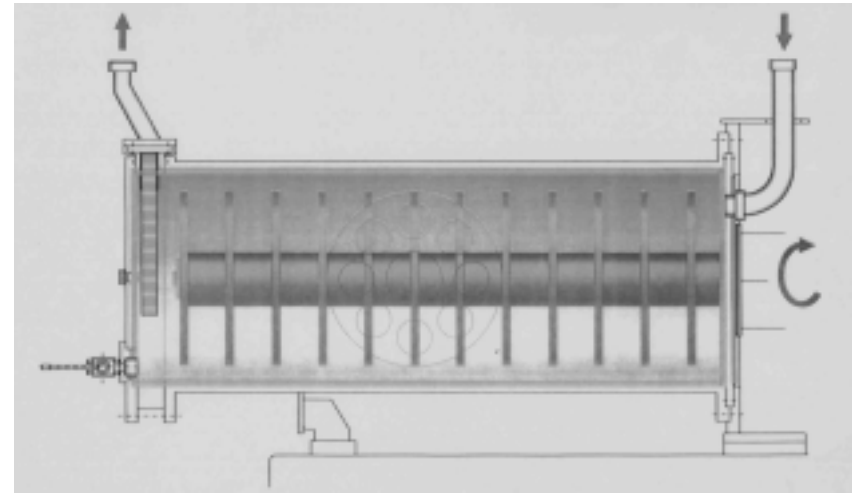
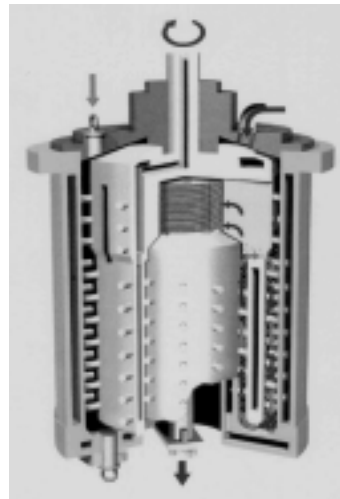
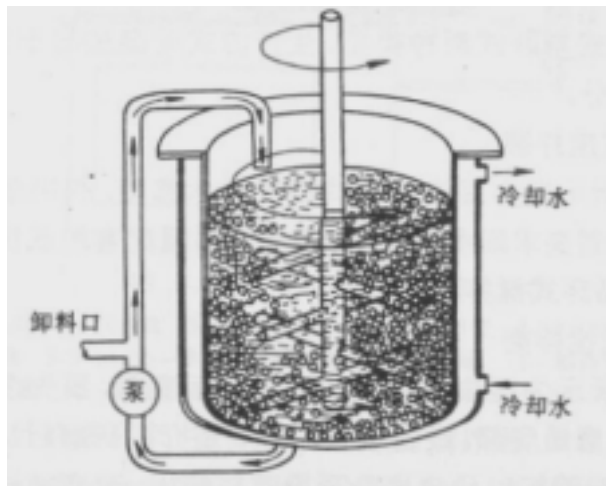


粒度(cm)	粒度分佈 (wt%)			
	給礦	碎礦機產物	篩上	篩下
+2	50	10	20	
-2 x 1	30	20	40	
-1 x 0.5	15	20	25	5
-0.5 x 0.2	3	25	7	50
-0.2 x 0	2	25	8	45

震動研磨機 (Vibrokinetic Energy Grinding Mill)



攪拌研磨機 (Agitated Mill)



Drais Perl Mill

重液選礦法 (Heavy Medium Separation)

一，重力選礦概述：

利用不同礦物比重差異的物理性質，將有價礦物富集的方法，稱為重力選礦法或比重選礦法 (Gravity Concentration)，例如利用方鉛礦與石英的比重不同，將兩者分離成為富集方鉛礦與富集石英。

重力選礦可在空氣中或在液體中進行，尤其是水中最為適宜。

絕對法 (Absolute Process)

僅利用不同礦物本身所具比重的差異，將輕於重液的礦物浮起，而重於重液的礦物下沉，分離成不同比重的礦物群，如此僅使用重液浮力的選礦法稱之。

相對法 (Relative Process) 也名多種力量法 (Multiforce Process)

另外不僅以礦物的比重差異為主要分離依據，且就其礦粒大小、礦粒形狀之不同，在流體中之流動以及摩擦阻力所產生之影響為輔助因素，使其分離富集的方法，因匯集幾種影響因素的力量達到選礦目的。

此類選礦方法都在水流中進行，所以又稱為水流選礦法 (Water Current Concentration)。所應用之水流方向可分為垂直水流與水平傾斜流兩種。

垂直流選礦法 (Vertical Current Concentration) 係利用昇流或降流水流選礦的方法，如波震機 (Jig) 所採用之原理。

平流選礦法 (Horizontal Current Concentration) 利用與分離面 (Separating Surface) 平行的水流選礦的方法，如洗桌 (Shaking Table) 選礦法以及螺旋運動的水流如螺旋選礦法 (Spiral Concentration)。

二、重液選礦：

若是有價礦物與脈石之比重不同，選用介於此兩種比重中間的重液，將礦石投入此重液中，比重大者下沉，比重小者上浮。

分離主要由礦石之比重差與所選用之重液之不同而達成，不受礦粒大小與形狀之影響，所以它的分離精確性很高，而且可分離比重相差很小之礦物。

選別是按阿基米德浮力原理進行，完全屬於靜力作用過程。流體的運動和顆粒的沉降不再是分層的主要作用因素，而介質本身的性質則是影響選別的重要因素。

雖然在理論上分離之礦石粒度不受限制，但是當粒度過小之礦粒，在重液中之沉降速度變小，或受重液黏性之影響，實際上無法達到分離之目的。因此此種選礦法除受到礦物之比重差與重液之比重外，處理之礦石粒度與重液之黏性也是重要的因素。

一般重力方式處理之粒度下限為2-3mm，常用之上限為30-50mm，大者可達100mm以上，而離心式重液選礦則可處理下限0.5mm，上限為20mm左右之礦粒。

礦石之比重大都大於水，因此選用之液體都大於水的重液，所以稱為重液選礦法 (Heavy Medium Separation)。其產品為浮起或下沉，故又稱為浮沉選礦法 (Sink and Float Process)。

此選礦法在很早以前就被提出，只有使用真比重液在實驗室進行礦物學的研究，例如比重曲線或單離粒度等，一直至近代擬重液實用化以後，才應用於選煤廠或一些選礦廠去除粗粒廢石之實際操作。

三。重液性質：

所使用之重液有兩種：真重液 (True Liquid)與擬重液 (Heavy Liquid)。

真重液為真正之溶液，有可能是各種可溶性大的鹽類所溶成的溶液，例如氯化鋅溶液、氯化鈣溶液，有可能是高比重之有機溶液，例如四氯化碳、四溴乙烷等，常用之重液藥劑列如表所示

常用之重液藥劑有下列諸種：

藥劑名稱	化學式	比重 Kg/L	配製溶液之最大比重 Kg/L
氯化鈉 (鹽) Rock Salt	NaCl	2.1—2.2	1.17
氯化鈣 Calcium Chloride	CaCl ₂	2.15	1.30
三氯化乙稀 Trichloroethylene (Ethylene Trichloride)	ClCH:CCl ₂	1.47	1.47
四氯化碳 Carbon Tetrachloride	CCl ₄	1.59	1.59
五氯化乙烷 Pentachloroethane (Pentalin)	CHCl ₂ :CCl ₃	1.68	1.68
氯化鋅 Zinc Chloride	ZnCl ₂	2.91	2.07
二溴代乙炔 Acetylene Dibromide (Dibromoethylene)	CH ₂ :CBr ₂	2.17	2.17
四溴乙烷 Tetrabromoethane	CH ₂ CBr ₄	2.94	2.94
二溴化甲烷 Methylene Bromide	CH ₂ Br ₂	2.97	2.96
三溴甲烷 (溴仿) Bromoform	CHBr ₃	2.89	2.89
二溴化錫 Stannic Bromide	SnBr ₂	3.34	3.34
碘化鈣汞 Calcium Mercury Iodide	CaHgI ₄	3.10	3.10
二碘化甲烷 Methylene Iodide (Diiodomethane)	CH ₂ I ₂	3.33	1.42
碘化鋇汞 Barium Mercury Iodide	BaHgI ₄	3.65	3.65
磺酸胺和氧化鉛混合物 Pb Aminosulpho Acid	NH ₂ (SO ₃ H) + PbO	4.00	4.00
卡里時溶液 Clerici Solution	+CH ₂ (COOTl) ₂ + HCOOTl	4.06	4.40

常用之介質如下表：

介質名稱	比重	配成重液最大比重	硬度(摩氏)
酸性岩石 (砂、岩石、燧石)	2.60	1.58	5 ~7
碱性岩石 (玄武岩)	3.00	1.64	5 ~7
重晶石 (Barite)	4.48	2.05	3 ~3.5
黃鐵礦 (Pyrite)	5 ~5.2	2.38	6 ~6.5
磁鐵礦 (Magnetite)	5 ~5.2	2.38	5.5~6.5
方鉛礦 (Galena)	7 ~7.6	2.75	2.5~2.75
細磨矽鐵 (Ferrosilicon Si:12~15%)	6.7	3.20	7.3~7.6
粉狀矽鐵	6.7	3.80	4.2~7.6

此類重液可保持長時間的物理穩定性，但由於價格貴，操作損失無法全部回收，使操作的成本提高，而且有腐蝕性與毒性，因此很少在大量生產操作中使用，僅用在實驗室之研究工作中。

擬重液為一種懸浮液 (Water Suspension)，係由水與懸浮於其中之微細固粒為介質 (Medium Solid) 所構成，由於介質懸浮於水中之穩定性不易保持，須設計適當之裝置使其保持懸浮狀態，以利浮物與沉物之分離，其作用殆與真重液無異。

所用介質之價格較便宜，可以回收再使用，無毒性與腐蝕性，而且可調配廣泛之比重液 (1.58-3.80) 之優點，實際應用於工業操作上。

擬重液常使用之介質列如表所示，選用介質應考慮之因素首先要有足夠的比重，以便在適當之容積濃度下 (一般為25%左右) 調製成比重合乎要求之擬重液，其次為便於回收，能夠用簡單的磁選、浮選或分級將隨產物排出之介質回收再使用。另外還要注意來源廣泛、價格便宜、不污染精礦。

應用最多的介質為粒度從-150 含95%至40 含95%的矽鐵(Ferrosilicon)。這是一種專門冶煉成的矽-鐵合金。因其硬度大、耐磨、帶強磁性，容易用磁選回收。

矽鐵中含Si小於13%時，韌性增加，給碎磨設備帶來困難，而且在水中易於氧化。當含Si超過18%時，磁性減弱，不便回收。故以含Si 13-18%，含Fe 82-87%的矽鐵最適合使用。

冶煉成塊狀的矽鐵需經碎磨後使用。另有一種用噴霧法製成的矽鐵，可直接形成細小的球形顆粒，在高濃度下擬重液的粘度仍較小，便於使用，但製造困難。採用矽鐵存在的問題主要是價格較高，對於塊狀矽鐵製備又較麻煩。

當以方鉛礦(7.5)、磁鐵礦(5.2)、黃鐵礦(5.0)和毒砂(砷黃鐵礦, 6.1)作加重質時，一般取這些礦物的精礦直接使用。方鉛礦硬度小(2.5)，易泥化；磁鐵礦和黃鐵礦密度小，難以配成高比重懸浮液，毒砂雖然有相當高的密度，但有毒性(含砷)。這些是它們的缺點。但在以其精礦作加重質時，無需特殊的製備過程，可以就地取材，而且一般來說價格較低，多數情況又可節省淨化回收工作量，故在條件許可時仍多樂於採用。

受加重質比重的限制，擬重液難以配成很高的比重，通常只能配製比輕礦物比重略高一些。故重液選礦不能用來獲得高品位的最終精礦，而只能除去比重低的解離脈石或採礦過程中混入的圍岩，作為預先選別作業使用。

重液選礦最適合處理有價礦物為集合體的金屬礦石，如鉛鋅礦、銅硫礦等。這類礦石在中碎以後即可有大量解離脈石產出，用重液選礦法將其除去，使之不再進入磨礦和分選作業，可以大大降低每噸原礦的生產成本，並在實際上提高了選廠主要分選的處理能力。

某些難以進行細磨分選的氧化鉛鋅礦石，經過這樣的富集，有時亦可達到冶煉的最低品位要求。重液選礦法還用於處理採出的鐵礦石和錳礦石，從中除去混入的圍岩，恢復地質品位。此外，重液選礦法在處理低品位的稀有金屬礦石、非金屬礦石，甚至在清理城市垃圾中亦均有所應用。

擬重液的性質與顆粒在其中的運動

擬重液與均質真重液不同，它的比重和粘性可以隨加重質的性質和含量不同而變化。此外，擬重液在靜置時容易發生沉澱，因此還有一個保持穩定性的問題。擬重液的比重、粘度和穩定性三方面性質是互有關聯的。其中比重是決定分離的關鍵性因素，但是對實際的分離和穩定性均有影響的卻是擬重液的粘性。

一、擬重液的粘度

擬重液的粘性包括了因固-液界面增大和顆粒間摩擦、碰撞所引起的流動切應力，外觀看來即表現為粘性增強。因其與均質介質粘性形成的原因不完全相同，故所測得的粘度被稱作視粘度。

當加重質顆粒的粒度和形狀差別不大時，擬重液的視粘度隨容積濃度的增加而增加，與顆粒的密度基本無關。

視粘度隨容積濃度的變化並非呈單一直線關係。在低濃度時，粘度增加緩慢，並接近於直線關係。在中間段，視粘度呈曲線關係增長，到較高濃度時，又呈直線關係迅速增大。對此可以大致從擬重液的粘度構成上解釋。當固體濃度很低時，顆粒間很少直接接觸，只是因固-液界面增大而使內摩擦力略有增加。其增加值與顆粒體積含量大致成正比。以後隨著容積濃度增大，顆粒間直接摩擦、碰撞就不可避免。這種新增加的摩擦阻力開始時屬於粘性切應力，以後濃度再增大又過渡為慣性切應力。於是視粘度即隨容積濃度的增加呈曲線關係增加。

但是在容積濃度增加到相當高的數值以後，在多數擬重液內部出現一種新的流變阻力因素，這就是擬重液發生了結構化。其表現形式是懸浮質顆粒因直接接觸而互相連結起來，形成一種空間網狀結構物，對擬重液的流動變形顯示出更大的阻力，於是視粘度隨容積濃度的增大而急劇增大。

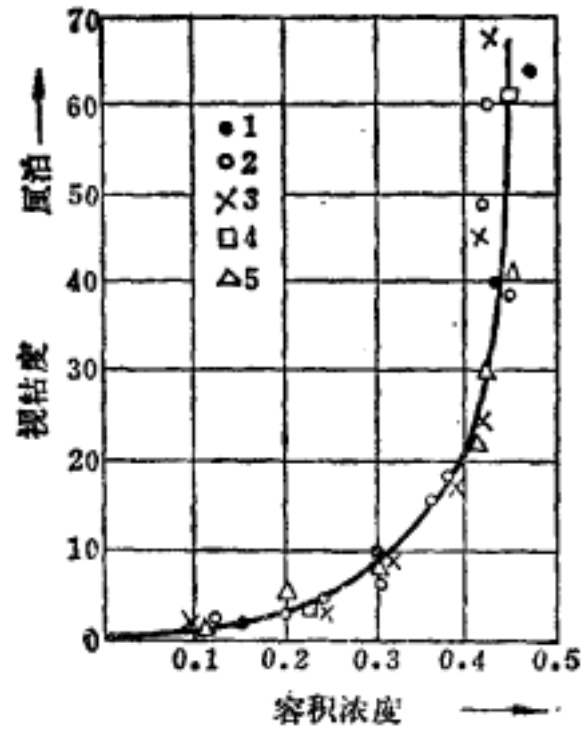


图 7-1 悬浮液的视粘度随固体颗粒
(0.074~0.037毫米) 容积浓度的变化关系
1—石英; 2—磁铁矿; 3—硅铁; 4—方铅矿; 5—铅粉

有兩種類型的結構化，一種是在微細的懸浮質表面水化膜間廣泛的直接粘結形成的結構化。例如某些乳濁液、糊狀物等屬於此類。另一種型式結構化多出現在懸浮質形狀不規則且帶有疏水性的懸浮液內。此時固體顆粒為了降低它們的表面自由能，而通過尖稜、邊角等處自發地連結起來，形成一種整體的或局部的空間結構物，如圖所示。

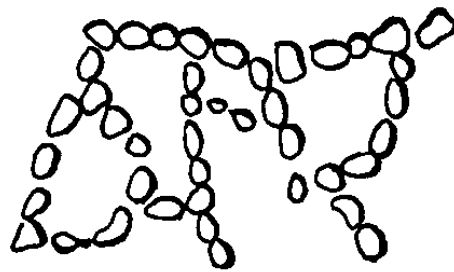


图 7-2 悬浮液结构化示意图

在這種網狀結構物中間包裹的水分子同時也失去了流動性，於是整個懸浮液具有了某種機械強度，流動性急劇地降低，視粘度也就變得非常大，某些流動性很差的礦漿屬於這種類型。

作分選介質使用的擬重液常常帶有結構化特徵。此外，微細的礦泥在水中也常形成結構化的懸浮液。某些帶有剩磁的懸浮質（如矽鐵、磁鐵礦等）發生的磁團聚，也可歸並到這種類型中來。

二、擬重液的密度

水-固懸浮液的物理密度即是單位體積內水與加重質的質量之和。擬重液的最大密度由加重質密度和允許的最大溶合濃度共同決定。一般採用磨碎（有稜角）的加重質容積濃度約在17-35%範圍內，大部分在25%左右。而採用近於球形的加重質顆粒時，容積濃度可達43-48%。它們相應的重量濃度為50-60%及85-90%。矽鐵加重質的重量濃度達90%時，可以得到最大的擬重液密度為3.8克/厘米³。按既定的擬重液密度配製一定體積的擬重液，需要的加重質質量由下式計算

擬重液密度之計算：

$$M = \frac{V_{su} \delta_{hm} (\rho_{su} - \rho)}{\delta_{hm} - \rho}$$

M = 加重質質量，千克

V_{su} = 擬重液的體積，升

δ_{hm} ρ = 加重質及分散介質密度，克/厘米³

ρ_{su} = 擬重液密度，克/厘米³

擬重液比重之計算：

$$\rho_s = \frac{100\rho}{W + (100 - W)\rho}$$

ρ_s = 擬重液比重

ρ = 重液材料比重

W = 擬重液100克中重液材料之重量

三、擬重液的穩定性

擬重液中的加重質顆粒始終有向下沉降的趨勢，使上下層的密度發生變化。因此擬重液的性質是不穩定的，所謂穩定性只是相對地說擬重液維持自身密度不變的一種性能。

提高擬重液的穩定性恰好與降低粘度的因素相反。加重質顆粒愈細，形狀愈不規則，容積濃度愈大以及含泥量愈多，則擬重液的穩定性愈高。生產中為了達到足夠高的容積濃度以提高穩定性，可以採用不同密度的加重質配合使用。在加重質粒度較粗時（例如大於0.1-0.2mm），亦可加入1-3%泥質物料，如粘土，膨潤土等來提高穩定性。同時加入適當的膠溶性藥劑，以防止形成結構化。

在生產中經常是採用機械攪拌或使擬重液處於流動狀態來維持上下層密度。機械攪拌的強度當然不能太大，否則會破壞分層。擬重液的流動可以採用水平的、垂直的以及回轉的方式，但經常是這些方式聯合應用。

重液選礦機 (HMS, Heavy Medium Separator)

可分重力式 (Gravitational) 與離心式 (Centrifugal) 二種：

A、重力式HMS

1 Wemco Cone Separator (Wemco 錐形選礦機)

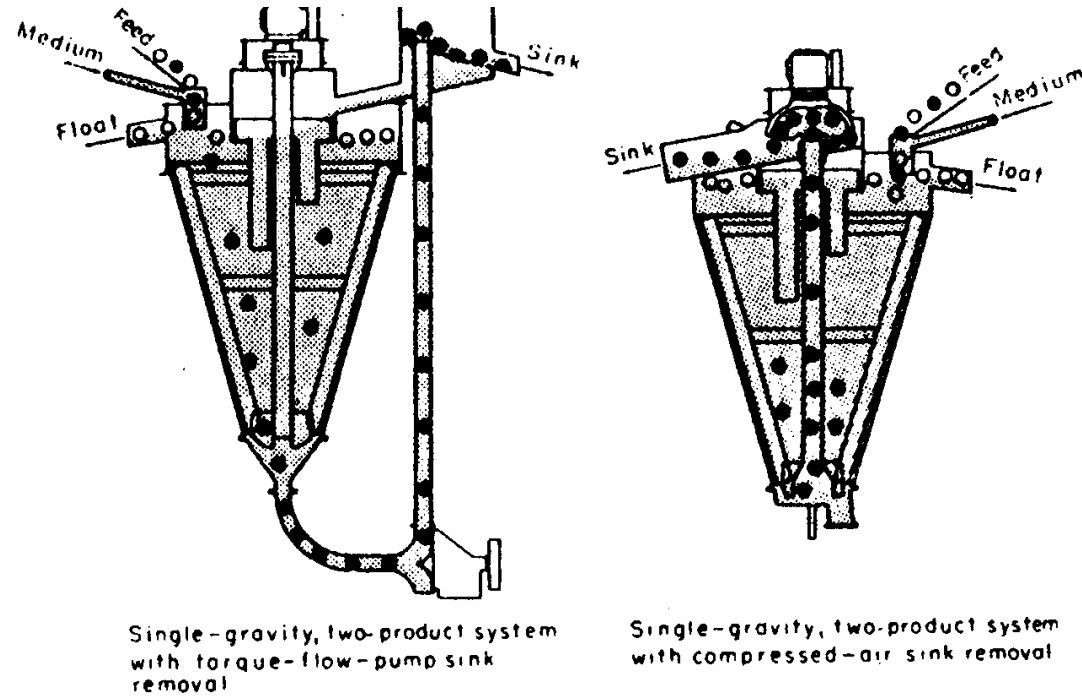


FIG. 6—2 Wemco cone separator.

2 Drum Separator (鼓型選礦機)

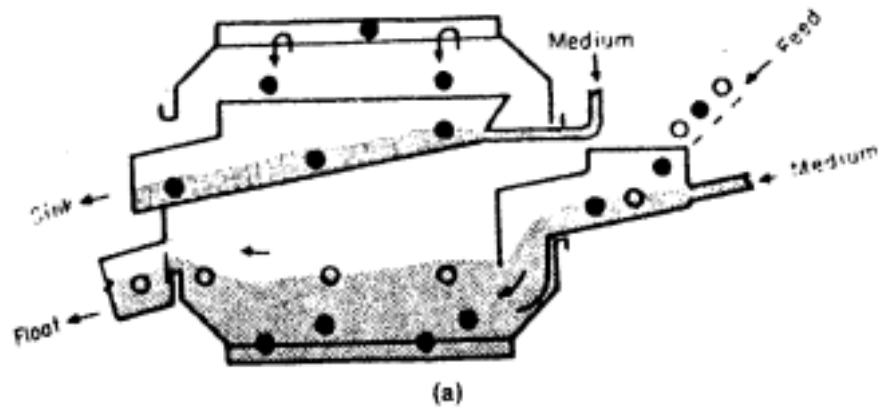


FIG.6—3 Drum separator: (a) side view, (b) end view

3 Dredge Bath

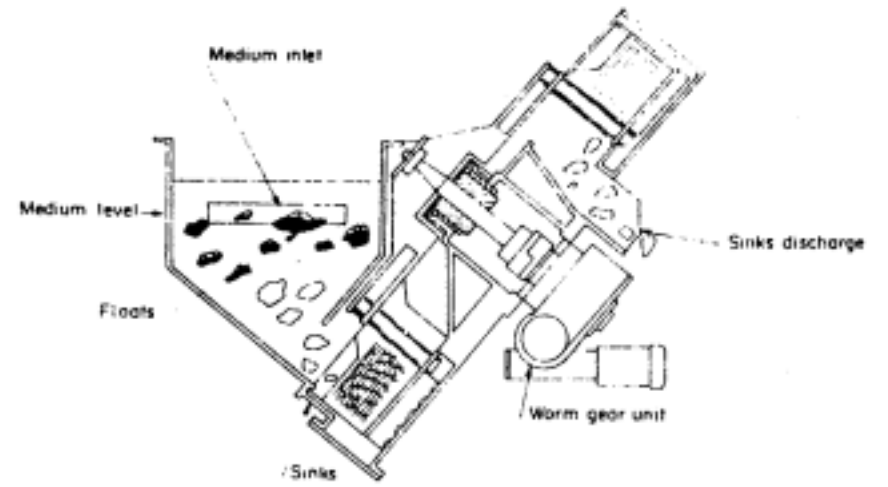


FIG.6—4 Dredge bath.

4 Norwalt Washer

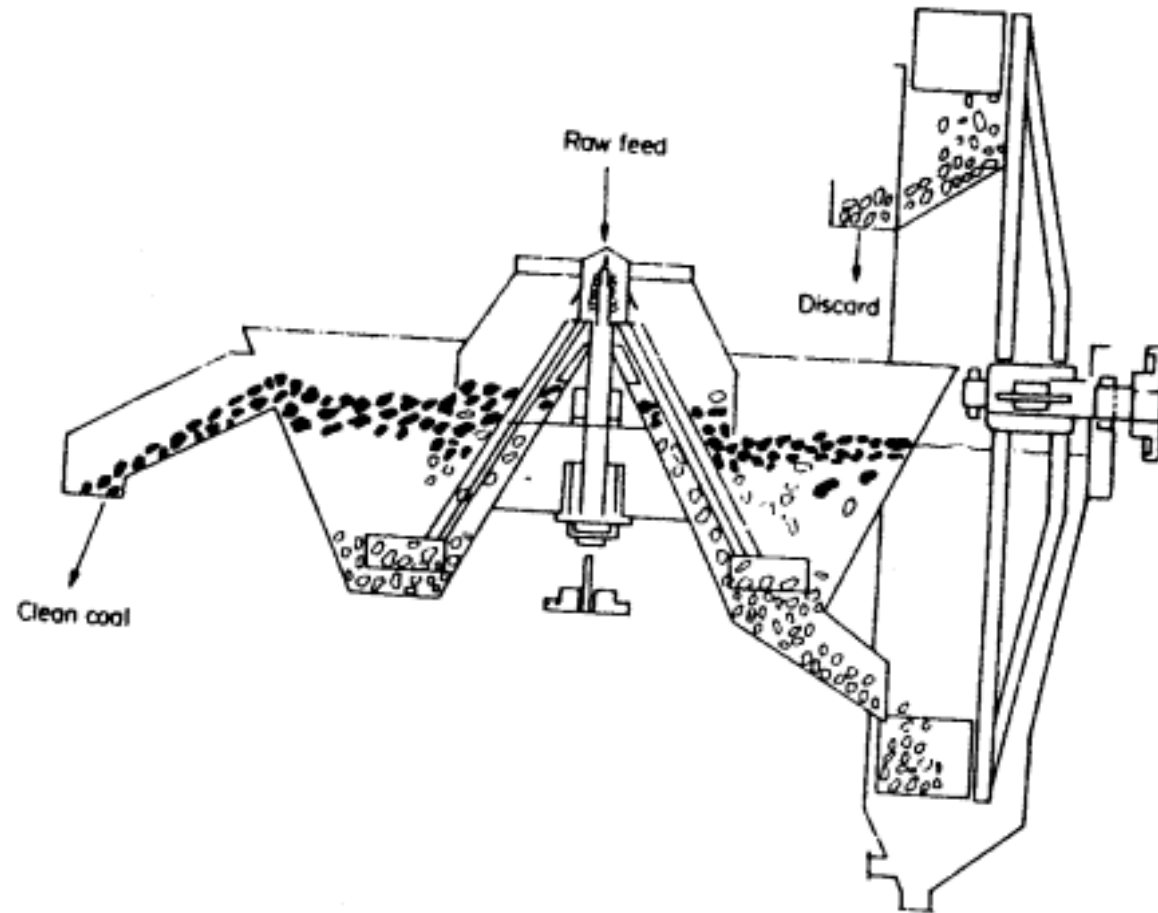
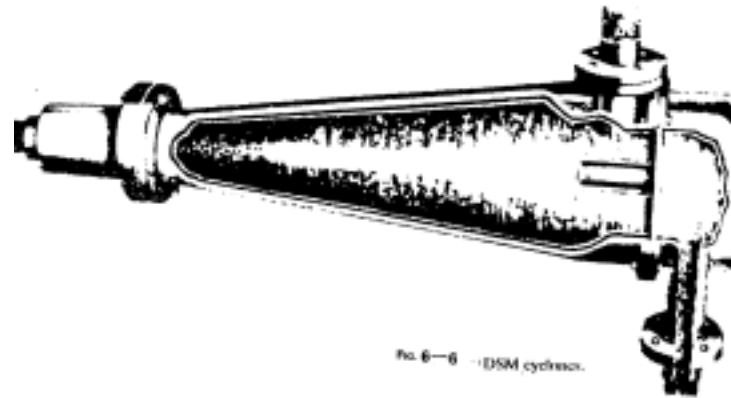


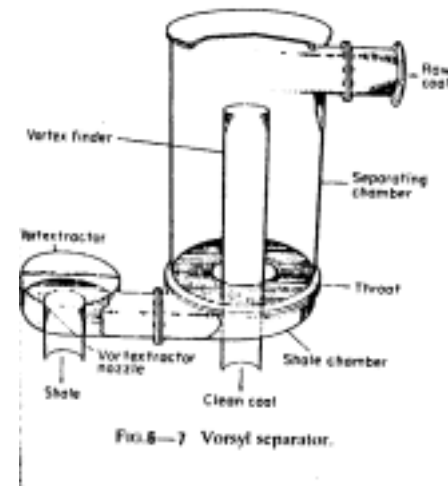
FIG. 6-5 Norwalt bath.

B、離心式HMS

1. DMS cyclone (DMS渦錐)



2. Vorsyl Separator



3. Dyna Whirlpool Separator

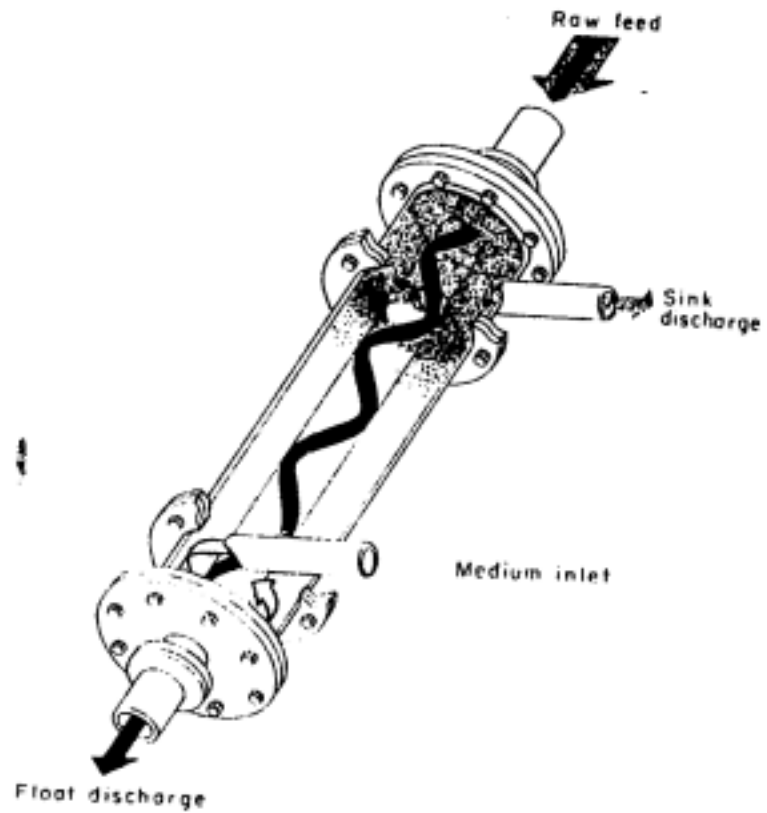


FIG. 6-8 - Dyna Whirlpool separator.

4. Arcodems Separator

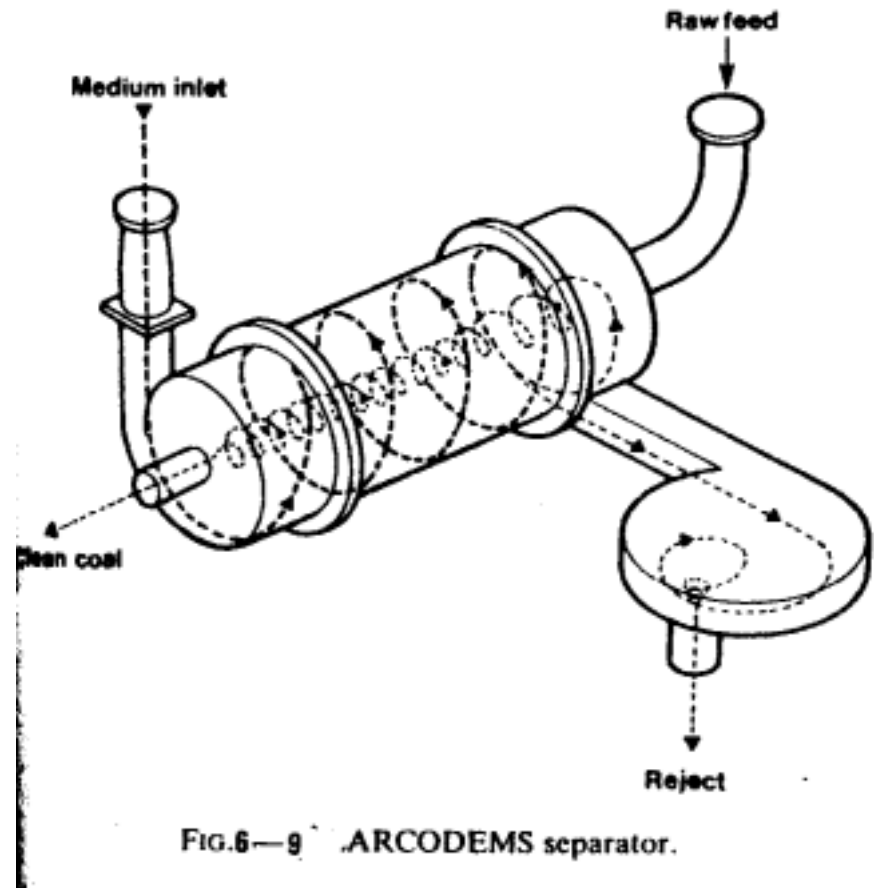


FIG. 6-9 - ARCODEMS separator.

5. Tri-Flo Separator

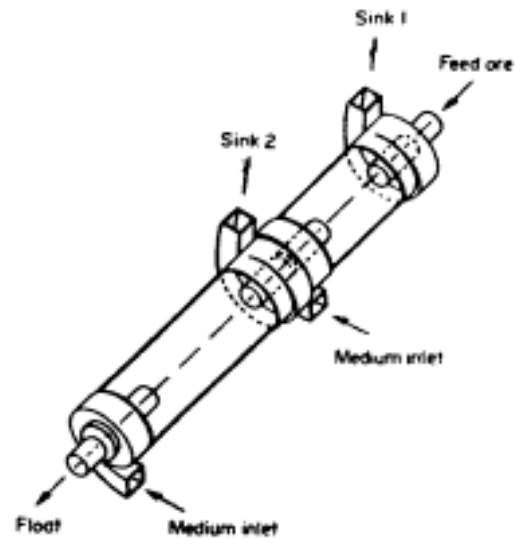


FIG. 6—10 Tri-Flo separator.

浮沉法實際應用時。其主要操作如下：

- (1) 原砂過篩及水洗，以除去粉末。
- (2) 流出原砂之水份。
- (3) 將原砂給入分離機 (Separating Vessel)。比重大者下沉，輕者上浮。
- (4) 將浮及沉產品，分別取出，並使介質流出。
- (5) 用水洗去除產品上附著之介質。
- (6) 循環流出之介質，再入分離機
- (7) 水洗所得之介質，經淨化手續，除去雜質。
- (8) 濃集淨化後之介質，至所需之比重，再入分離機使用。

圖八十四 重液選礦流程圖（使用有磁性的介質）



平流選礦或薄水層選礦
(Horizontal Current Concentration or Flowing-Film Concentration)

在微坡度之傾斜面(分離面)上，若置有兩種比重不同之礦粒，藉重力沿斜面向下流的水層，礦粒會因比重之差異而使礦粒產生不同的運動，將比重小的礦粒推行距離較比重大的礦粒更遠，利用這種差異進行礦物富集的方法稱為平流選礦或薄水層選礦。

在自然界，河川的水流沖走礦石粒，輾轉運送研磨成細砂狀，而重礦物沉積，或流至海灘上經波浪反覆沖刷，捲走輕質砂粒殘留重質砂粒，造成金、錫、重砂等沖積礦床(Placer Mineral Deposit)，這些均為平流選礦之自然例。

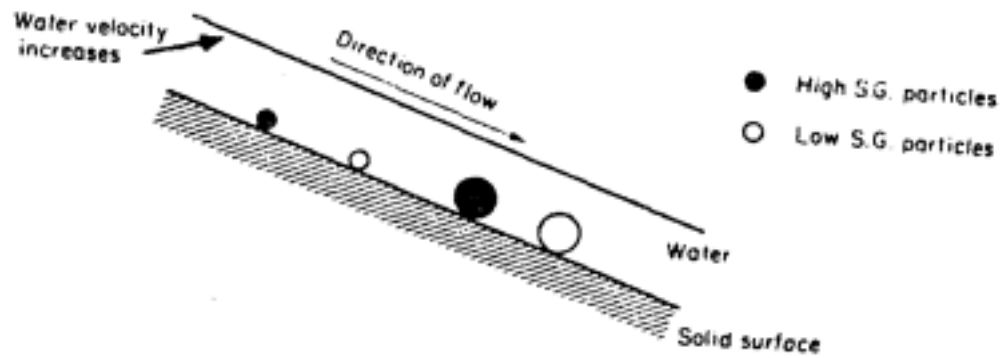


FIG. 8-1 . Action in a flowing film.

依薄水層選礦之原理可分為薄流槽選礦與搖動薄水層選礦兩種。

薄流槽選礦：

薄流槽選礦之水層較厚，因礦物比重與粒徑不同，致沉降至槽底時間先後不同。沉至槽底者摩擦力較大，且近槽底之水流速較小，水之推力也小，因此形成輕礦物在平流之上層，流速快；重礦物在下層流速慢之狀態。在斜槽之末端用一隔板分離在平流底部之重礦物而得到富集之方式稱為不沉著運送 (Nondeposit Transport)。有

尖縮溜槽 (Pinched Sluice)

圓錐溜槽 (Reicherd Cone Concentrator)

螺紋選礦機 (Humphreys Spiral Concentrator)

在槽底置阻砂條 (Riffle) 或鋪上毛毯作成粗糙面(Rough Surface)，以沉積較重之礦物，採取間斷式操作稱為沉著運送 (Dedposite Transport)，有溜洗槽(Trough Washer or Sluice)等。

搖動薄水層選礦：

搖動薄水層選礦為上述薄水層選礦原理，再加上在分離面與水流方向近乎垂直之搖動，使重礦物與輕礦物之排礦處不同。雖然所用水流層較薄，但其薄層選礦原理仍然支配著不同礦物之不同運動情形。重礦物靠近分離面摩擦力大、流速慢，受到橫向之搖動力亦大，因此輕重礦物在分離面之運動方向產生差異而分別由不同處排出。此類選礦機有：

搖洗桌 (Shaking Table)

帶選機(Vanner)

轉動圓洗桌 (Revolving Round Table)

Bartle-Mozley Concentrator 等。

薄水層選礦所能處理之礦粒粒度要較波震機為細，以砂粒狀大小最為適宜，因水層薄、推力小，粗大粒不易推動，礦粒太細小不易沉降亦難處理。

一般以 4mm~200 篩目(74 m)為可處理範圍, 1.5mm ~0.5mm 左右為最有效之處理粒徑，若是重礦物之比重與輕礦物之比重差異大，則其粒徑在 200 目尚可有效分選。如煤礦之比重差異小者，僅能就 10mm 以上粒徑才能獲有效之重力分選。

礦物間比重之差異及礦粒之粗細，對重力選礦之難易有重大的關係。礦物間比重相差大及粒度較粗的，均比較容易選。

選礦準據 (Concentration Criterion) 即比重較大的礦物之比重(P_1)與比重較小的礦物之比重(P_2)各減去 1 以後的比 ($C = \frac{P_1 - 1}{P_2 - 1}$)，可以

用作權衡這兩種礦物在重力選礦時的難易。

下表為不同的選礦準據應用水選時可以分離的粒度。

選礦準據 (C) 彼此可以分離的粒度

負值及>2.50	粒度 200 篩目時，尚易分離富集
2.50~1.75	粒度粗於 65 或 100 篩目始可以分離富
1.75~1.50	粒度粗於 10 篩目尚可分離富集，但有時困難。
1.50~1.25	粒度 1/4 吋尚可分離富集，但有時困難。
<1.25	相對重力法不能應用，須用絕對重力選礦法始能分離富集。

例如石英(P=2.7)與黃鐵礦(P=5.0)，這兩者的選礦準據 $C=5.0-1/2.7-1=2.35$ ，故在 65 篩目之細度，仍可以用重力選礦法將之分離。而黃鐵礦與方鉛礦 (P= 7.5) 則 $C=7.5-1/5.0-1=1.52$ ，則須在 10 篩目左右始能分離。自然金(P=19.0)之易於淘洗，因其與脈石 (大部份為石英砂, P=2.7) 比重相差很多，其選礦準據 $C=19.0-1/2.7-1=10.6$ 甚大，故易於用水淘洗；自然金與黃鐵礦之選礦準據 $C=19.0-1/5.0-1= 4.5$ 亦大，故砂金雖細淘洗也不難。

一、平流選礦機：

尖縮溜槽 (Pinched Sluices)

尖縮溜槽是給礦端寬，排礦端窄之木製溜槽，其構造如圖所示。構造很簡單，兩側壁向內成 $1/10$ 左右之角度尖縮，槽底是一光滑平面，適宜長度在 1~1.2m 置於水平傾角 $16^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，當 50~65%之礦漿從溜槽寬的一端給入，流向尖縮的排礦端過程中進行輕重礦物之分層作用，由於側壁收縮，使水流厚度不斷增大，到排礦口時，水流會成一扇形面流出。在水流上層的輕礦物沖出較遠，而在水流下層的重礦物則以近於垂直流下。

應用截取器 (splitters) 將扇面分割，即可得重礦物、中礦物與輕礦產物。可將幾個溜槽聯在一起使用，重覆富集，處理量可達 $8 \text{ t/m}^2\cdot\text{h}$ ，每噸原礦之用水量僅要 $1\sim 1.2\text{m}^3$ ，因此廣泛的應用於錫、重砂等粗選操作。

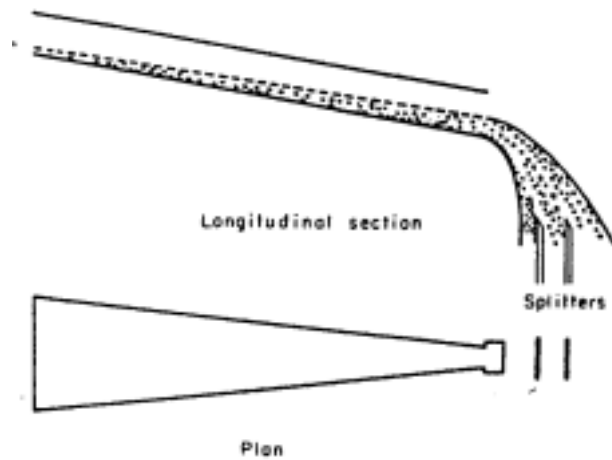
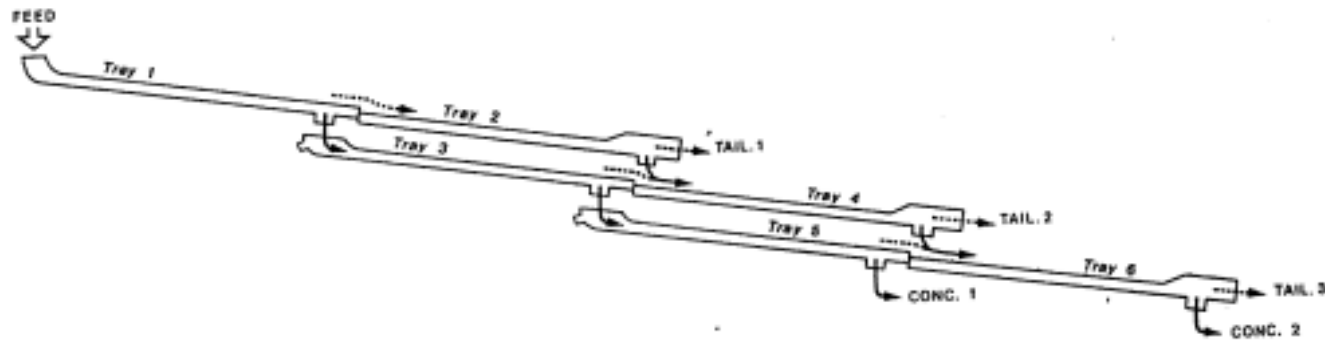


FIG. 8-2 Pinched sluice.



Figure 8-3 (a) Pinched sluice rig (flow direction up the page).
(b) Schematic circuit arrangement. (Courtesy Readings of Linnæus Poly Lab.)



圓錐選礦機 (Reichert Cone or Cone Concentrator)

係由尖縮溜槽演變而來，將尖縮溜槽之給礦端與給礦端，排礦端與排礦端並排，並去掉側壁，自然形成一倒置之錐面，即為圓錐選礦機的分選錐，因此分選原理完全相同。

由於消除側壁對對流層之阻礙，可得較佳之分選效果並增大處理量。每一單層圓錐選礦機之分選錐直徑約 2m，分選帶長 75~85cm，錐面坡度 17°，在分選錐面上方置一正面圓錐，其目的是將給礦器之環狀縫隙流出之礦漿均勻地分配到分選錐面上，稱為分配圓錐。在分選錐面之中心部份有環狀開口收集重礦物，流經下一組分配圓錐、分選錐面再進行精選，而輕礦物由中心管道排出，結構如圖所示。由一組分配圓錐與分選錐構成一層，目前大多使用多層配置之圓錐選礦機，能在一機分段使用下，同時完成粗、精、掃選操作，為提高處理量，也有將兩個分選錐重疊起來成為雙層圓錐選礦機，如圖所示之第一層所示。

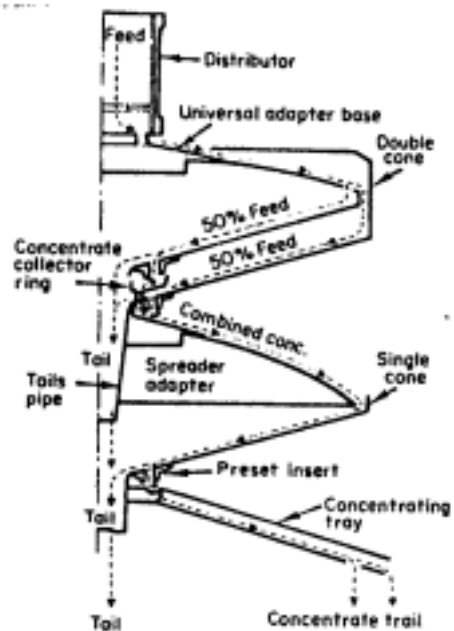
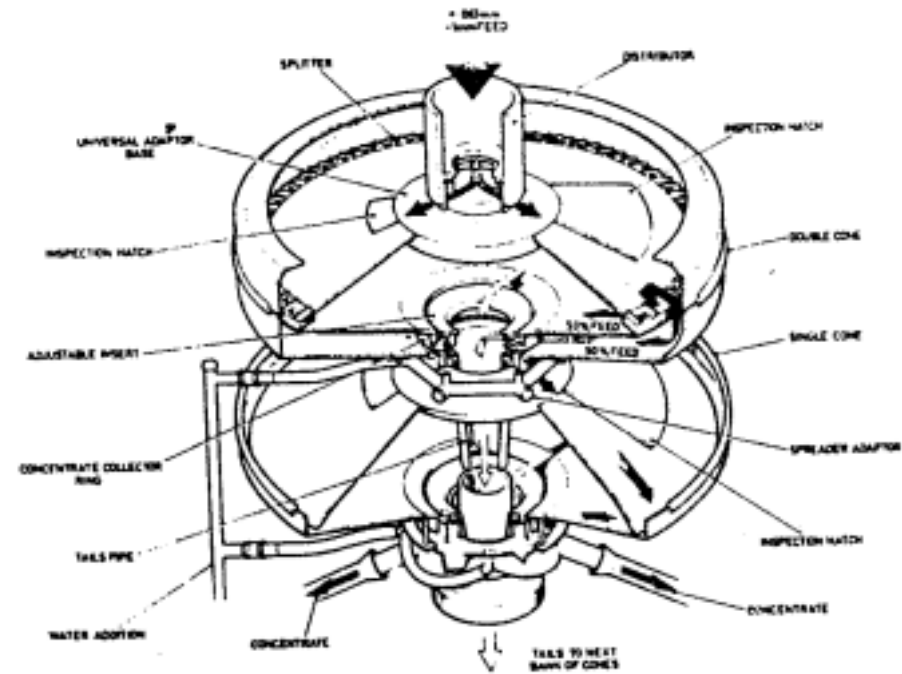


FIG. 8-4 Cross-section through Reichert cone concentrator system.



螺紋選礦機 (Spiral Concentrator)

螺紋選礦機主要由 3~6 節沿直軸旋繞之螺紋槽，給水設備與精礦截取器所構成。礦漿由頂端給入，沿著螺紋槽面向下運動時，礦粒受到重力、離心力、摩擦力及水流沖力的作用，使礦粒沿螺紋面順著水流運動，同時也產生與水流垂直之橫向運動。因此比重、粒度和形狀不同的礦粒會朝向不同方向運動，這時比重大的礦粒處於下層，比重小的處於上層。而上層的輕礦粒會以很快的速度，沿螺紋槽向下運動產生較大之離心力，因此輕礦粒橫向移往槽的外側。重礦粒因受槽底磨擦力的作用，沿槽面向下運動之速度小，所受離心力也小，而被推向槽的內側。同樣道理，粒度大的礦粒往槽外側，粒度小、往內側。如此可將不同比重、粒度的礦粒分層，將沿槽內側流動的礦粒，用截取器取下成為精礦（重礦），沿槽外側的輕礦粒則由槽之下端排出。

此機給礦最大礦粒為 10 Mesh (2mm)，洗煤粒度可大至 1/4 in，此機設備簡單、佔地小，且無可動部份易於保養，主要用於處理錫礦、重砂礦，也用於洗煤，回收浮選尾礦中有用金屬礦物。每具每小時之處理量為 0.1~1.5 噸，視礦粒大小與需要富集之條件而異。

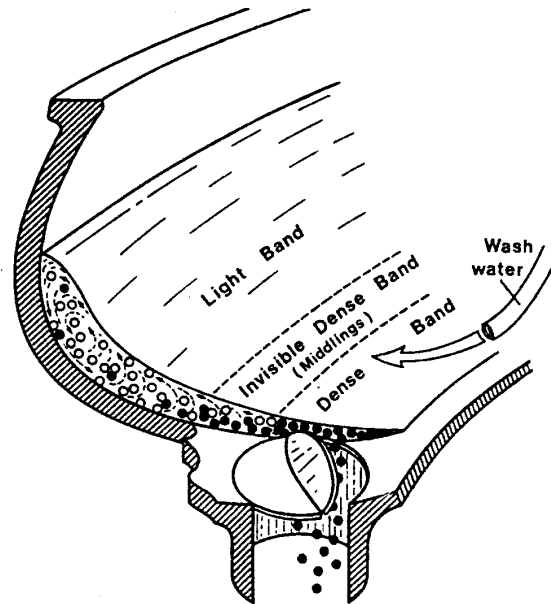


Figure 8-6 How the outward water flow effects segregation in a spiral.

二·搖動薄層選礦機

1·搖洗桌 (Shaking Table)

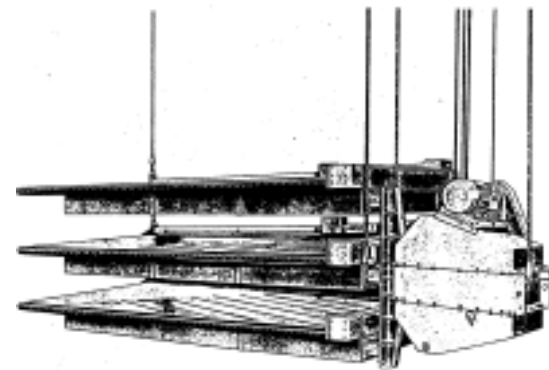
在浮選法出現以前，搖洗桌選礦方法應用於分選細礦粒為最成功、最廣泛的方法。它目前不僅是一種有效的分選方法，更可與其他選礦方法配合組成有效之選礦流程。

搖洗桌是由一長方形桌面，桌面微向尾礦側（橫面）傾斜，其坡度約 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，坡度可以調整，在桌面上釘有阻砂條(Riffle Cleat)，並由相連接之驅動部份 (Head Motion) 使沿縱向作緩進急回之不對稱往復運動。礦漿由橫向傾斜桌面之上方靠近驅動部份側給入。礦漿沿傾斜方向成薄層水流，在桌面上進行不同比重礦粒之薄層水流之分層，阻砂條之阻擋以及縱向搖動之綜合作用，使不同比重的礦粒在桌面上呈扇形分布，因此使輕重礦粒之排礦位置不同。輕而大之礦粒受水流之影響大，受搖動的影響小，沿接近桌面傾斜之水流方向排出。重而小之礦粒受搖動之影響大，水流之影響小，沿桌面縱向運動，由連接驅動部份之反對邊排出。

搖洗桌選礦之原理：

1. 桌面搖動的作用
2. 洗水水流的作用
3. 木條的作用
4. 淨選面

洗桌是對細礦粒重力選礦的重要設備，廣泛地應用於選礦流程。但洗桌有處理能力低、佔地面積大等缺點。為處理某一定量，遂有多層化之趨勢，而製造出多層洗桌。



2. 帶選機 (Vanner)

本機係利用具有些微傾斜角之無極帶作為分離面，由上端給水給入礦粒，而無極帶以緩慢的速度往上端移動，利用薄水層原理讓輕礦粒隨水流往下端流動，重礦被無極帶移往上端排出。另外加機械力震動無極帶協助分離面上礦粒之鬆散分層，增進分選效果。其震動型式有

側動型 (Side shake)，作水平面的震動，其震動方向與帶行之方向垂直

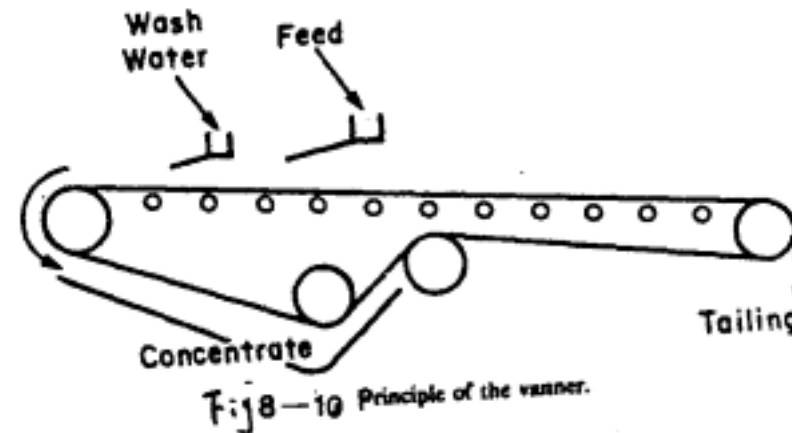
端動型 (end shake)，震動方向與帶行方向平行

波動型 (Tipping Motion) 與帶行方向垂直

迴旋型 (Gyrating) 帶面作迴旋運動

其中側動型的用的較多。

一般使用無極帶寬 4~6 in，帶速 30-150 in/min，震數約 120-240v.p.m，震幅在 3/4-1 又 1/4 in 之間，主要用於 100 mesh 以下之錫、金等礦物分選。

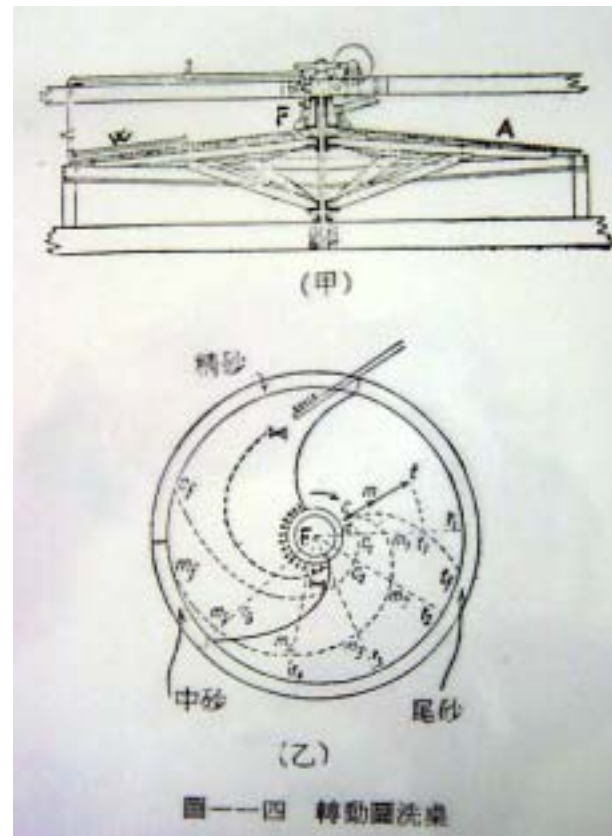


3. 轉動圓洗桌 (Round Table)

轉動圓洗桌為直徑 10~30 ft 之錐形桌面，坡度在 1 又 1/4~1 又 1/2 in/ft，以中心軸支持，並由齒輪帶動作 1/3~1rpm 之旋轉，給礦槽在桌面中心。

礦砂與水經給礦槽加入錐形桌面，依薄水層選礦原理，輕而粗之礦粒 (t) 流下速度最快，因桌面之旋轉其行程如 t_1, t_2, \dots, t_f 所示，中礦 (m)，精礦 (C) 也分別如 m_1, m_2, \dots, m_f ，以及 C_1, C_2, \dots, C_f ，所示，可由桌面四周不同位置分別收集各種產物。

為節省佔地面積，增加處理量有多層圓洗桌之設計，有多至 20 層者，可處理 10~200 Mesh 之礦粒。

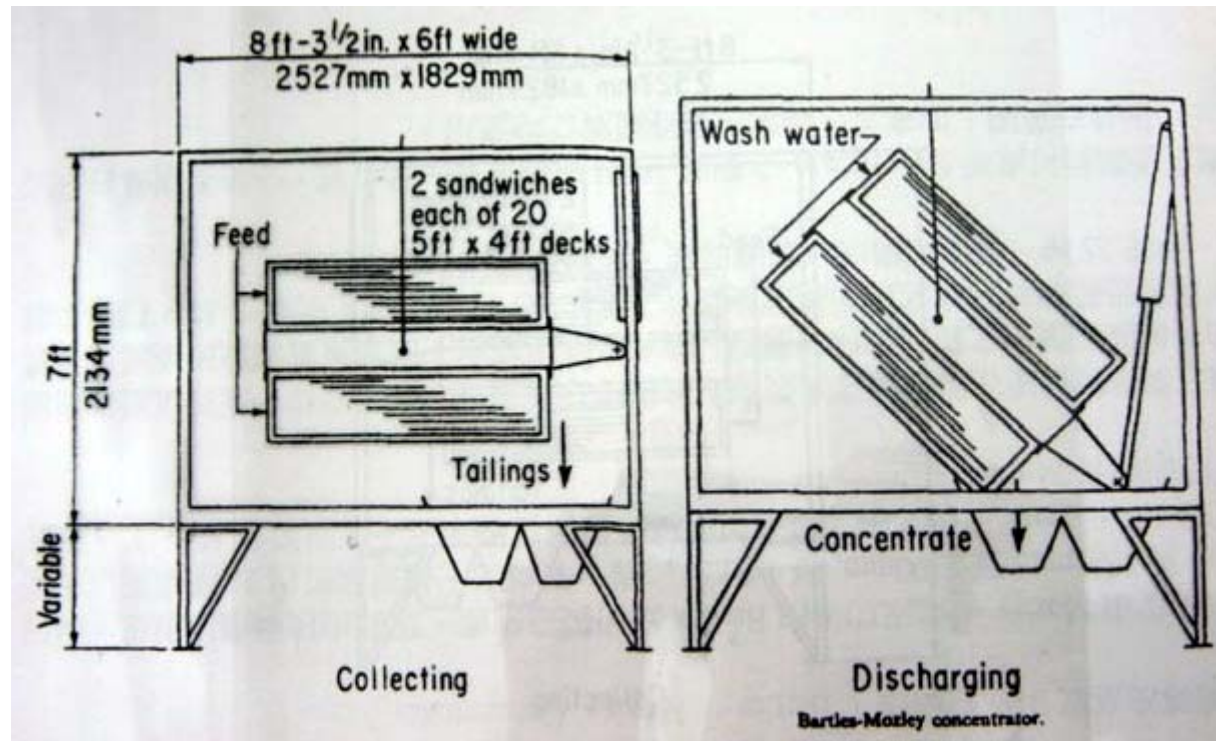


4. 翻轉洗桌或 B-M 選礦機 (Bartles - Mozley Concentrator)

在 1967 年由 Mozley 研究成功，由 Bartles 公司製造生產。床面由玻璃纖維製成，輕而堅固。長 1525mm，寬 1200mm，厚 1.5mm，為一層桌面。每組架框內 20 層桌面以床面間距為 12.5mm 成組，由二組架用鋼絲繩懸掛在機架上，床面傾角 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ ，因此床面總面積有 74m。

此機之構造特徵是在兩組架之間裝有迴旋的不平衡重垂，使組架作平衡於桌面之迴旋運動，促使礦漿中之輕礦粒保持懸浮，隨水流排出桌面，而殘留重礦粒於桌面上。其操作過程是給礦於迴旋之桌面經迴旋搖洗 10~35 分鐘，停止給礦 5 秒，翻轉桌面 45° ，沖洗 25 秒，復原而構成一選礦周期，此操作採用自動進行方式。

此機之優點為可處理 5~100 μm 之細泥，而且處理量大，又省電，佔地面積每台只佔 4.5m。因此在英國、加拿大、馬來西亞等國廣泛地應用。



直流選礦（波震選礦）法 (Vertical Current Concentration)

利用垂直（波震）運動的水流（或空氣流）將比重不同之礦石分層，使比重大的礦石在下層、比重小的礦石在上層，而分別取出重礦物層與輕礦物層之選礦法，為重力選礦的主要方法之一，是由波震機（Jig）來執行分選。

波震機之主要部份為一固定水槽（Hutch or Tank），水槽被隔板區分為兩部份，右邊為波震選礦室（Jigging Compartment），內裝有篩網（Screen），可讓水流通過；左邊為隔膜室或活塞室（Diaphragm or plunger Compartment），由偏心輪（Eccentric）帶動隔膜或活塞上下運動，每分鐘 100~300 周期（Cycles），使水槽內的水流產生昇流（Upward Current）與降流（Downward Current）使水流產生交變運動，在此水流作用下，波震選礦室之礦石，受到一而再之鬆散昇流與差異沉降運動而按比重分層，原礦由另一端不斷地給入，經波震選礦室之分層而由另一端分別排出精礦與尾礦，構成波震選礦。

波震選礦是一種古老的選礦方法，在浮選法還沒有被大量應用之前，是主要用來處理低品位複雜礦（Complex Ore）的選礦方法，

它具有大處理量、機械構造簡單、操作維護方便以及可分選粒徑範圍廣擴，從幾百 mm 到 0.1mm 左右，因此到現在，仍然是煤礦、錫礦、鎢礦、金礦、重晶石以及鐵礦等主要的重力選礦方法。也有應用在磨礦之前預先把粗粒之重礦物分選出來以免在磨礦時過磨而造成細粒的損失。

波震機種類：

直流之流體有可能是水，也有可能是空氣，但由於水之非壓縮性波震確實，因此以下所述皆以水流體為主。

垂直波震水流之產生可由篩網之上下運動，是為動篩波震機（Moveable Screen Jig），此類波震機目前僅使用在小型的實驗室。由外力之作用使水流產生波震運動，篩面固定不動，是為定篩波震機（Fixed Screen Jig）

作用於此定篩波震機之外力方式有：

- a · 活塞方式（Plunger piston）
- b · 隔膜方式（Diaphragm）
- c · 壓氣方式（Compressed Air）
- d · 壓力水方式（Hydraulic Water）

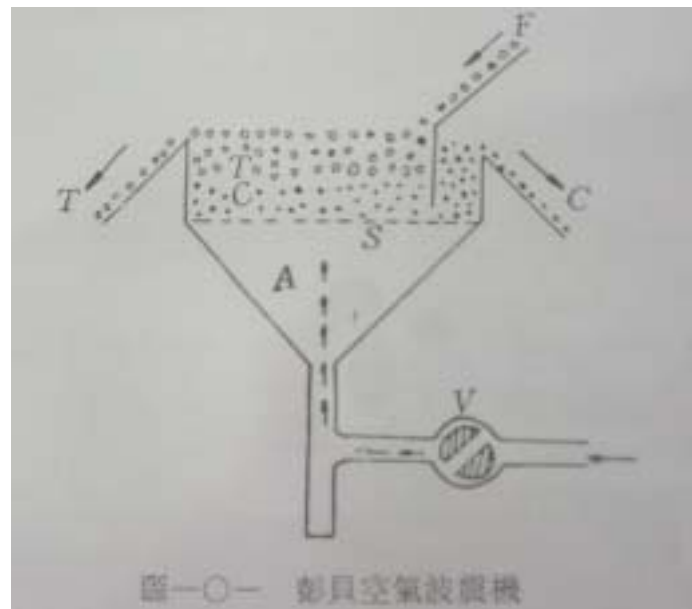
精礦之出排出方式可分為由篩上排礦(Over the Screen)與篩下排礦(Through the Screen)兩種。

空氣波震機

空氣亦像水一樣可用以選礦。空氣選礦的優點為：空氣到處有，不虞缺乏。尤其乾燥地區，水甚難得；空氣不會凍結；亦無化學作用；選得的產品無須脫水或乾燥即可運出。細粒礦在空氣中較易沉降，粉末收回較易，損失較少。空氣較輕。氣流速度可較大，震動頻率亦可較快。故用空氣選礦的機械能力亦大。

但用水選礦的優點：水較重，黏度亦較大，故分離效率高。因水較重，故粗細的礦粒均可處理，而空氣最適於 2 公釐以下的細粒礦。水選時給礦無須乾燥，而且不均勻的給礦亦可以富集。水可以除泥，溶解鹽類。操作時無塵土飛揚之弊。水有不可壓縮性，故衝程較積極。

空氣選礦實不若水選之有利，僅適用於水源缺乏的地區，及用於特殊的礦物。目前煤礦。滑石與長石等石礦，鐵鎢錳礦等磁性礦物之選礦有用之者。



波震選礦原理：

波震選礦法已實施有 1000 年以上的歷史，卻還沒有一個完整的理論來說明它的有效分離原理，這是因為在波震機裡所產生的現象複雜、不易掌握而且操作條件之變數也多。曾有許多學者提出不同理論，不是實驗確認不足就是實驗條件太理想化，其結果僅能符合部份特殊情況而已。

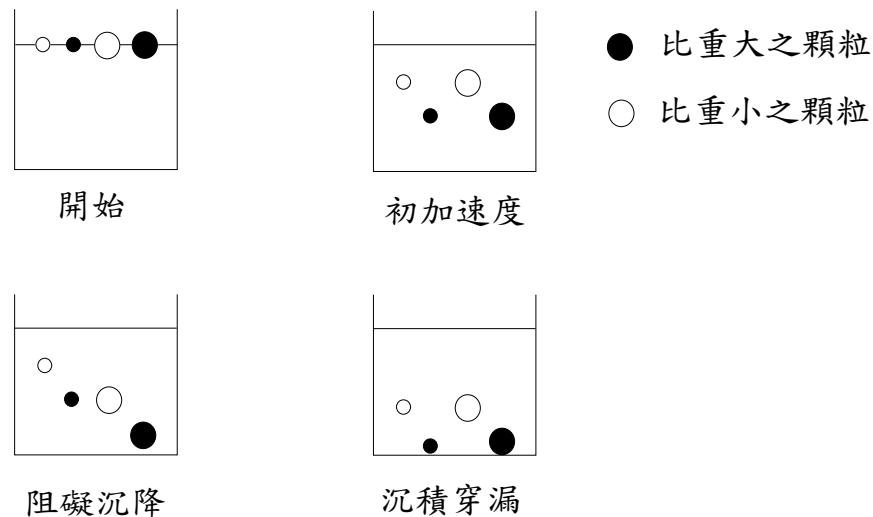
在 Gaudin 的著書中將過去的一些觀點再加上他的理論而提出波震選礦應包括

初加速度(Initial Acceleration)：礦粒從靜止狀態開始沉降時最初的加速度，比重不同的礦物初加速度不同。初加速度與徑度無關。

阻礙沉降(Hindered Settling)：波震機選礦室內礦粒擁擠，沉降為阻礙沉降。

沉積穿漏(Consolidation Trickling)：波震機於靜止或吸程時，大礦粒受其他礦粒之阻止不能再落下；但小礦粒可由大礦粒間隙穿過而繼續下落。

三因素之學說。這很顯然地是從單礦粒在波震機中之沉降舉動為考慮之依據。



影響波震選礦的因素

影響波震選礦的因素，包括衝程、衝次、給礦水及篩下補加水的影響；墊床及人工墊床的組成、篩板落差的作用，給礦性質、單位生產率等問題。

一、衝程、衝次

波震機的衝程、衝次組合直接影響墊床的鬆散度和鬆散方式，一般墊床的鬆散形式為墊床在初期上升水流推動下，上部輕礦物及細顆粒首先升起，隨後再迅速增大的水流作用下，墊床被抬起，在墊床的底部留有較多粗而重的顆粒（特別是鋪有人工床石時），此處的鬆散度增加有限，成為決定顆粒向底部穿透的關鍵部位。

墊床的性質不同，衝程、衝次的適宜組合值亦不同，理論和實際均表明有以下關係。

1. 墊床厚、給礦量大，相應的需有較大衝程。隨著衝程的增大，為使墊床有足夠的擴展時間，衝次要相應地減小。
2. 給礦粒度粗或礦石密度大，則舉升墊床所需的上升水速亦大，此時亦需有較大衝程。

二、給礦水和篩下補水

進入波震機的水來自兩方面，一是隨礦石進入的給礦水，二是從篩下連續或間斷補加的篩下水。這兩部分水最後通過尾礦堰板和底部精礦管排出，構成波震機的總耗水量。

給礦水不宜過大，按濃度計算一般不超過 20-25%。篩下水可補充調整墊床的鬆散度。處理窄級別原料時，可以適當增大篩下水，以提高分層速度。處理寬級別原料應減少篩下水，以加強吸入作用。篩下水量大有助於提高精礦品質，但尾礦中金屬損失增加。

波震機的總耗水量隨給礦粒度、密度、墊床厚度及精礦排出方式不同而不同，波動範圍很大，一般在 $3.5-8 \text{ m}^3$ /噸礦石之間。

三、墊床厚度和人工墊床

墊床厚度與處理的礦石性質有關。處理礦物比重差大的原料可採用薄的墊床，以加速分層。而在處理比重差小的原料時，或在要求得到高品位精礦的情況下，墊床可厚些。一般來說厚的墊床工作穩定，便於操作，但因鬆散所用時間較長，設備處理量將被降低。

墊床的總厚度習慣上用篩面至尾礦堰高度計算。改變堰板高度，墊床厚度亦隨之改變。在用隔膜波震機處理粗粒原料時，墊床總厚度應不小於給礦中最大顆粒直徑的5-10倍，一般在120-300mm之間。

處理細粒原料時採用人工墊床（又稱床底砂）進行透篩排料。人工墊床在水流上升階段同樣應當懸浮起來。但其鬆散度不要與上部礦石層有較大差別。在水流下降階段，人工墊床很快變得緊密，控制著重產物的排出速度和品位。

人工墊床的選擇：

1. 人工床石的粒度應達到給入礦石最大粒度的3-6倍以上，並比篩孔徑大1.5-2倍，而比重則以接近或略小於重礦物的比重為宜。這樣的床石能夠始終保持在墊床的底部，並有適當的空隙允許重礦物細顆粒通過。生產中為了便於獲得這種床石，常常即選用原礦中的重礦物粗顆粒使用。有時亦採用耐磨耗的鑄鐵球、磁鐵礦等材料。
2. 人工床石的鋪置厚度影響於精礦的產率和品位。在處理易選礦石時，人工墊床可薄些；處理低品位礦石時，則應厚些。

四、篩板落差

相鄰兩個波震室篩板的高差稱作落差。落差有助於推動墊床顆粒的縱向運動，影響於設備處理能力和產物品位。處理礦物比重差大的原料，落差可大些；處理難選的或細粒級原料落差應小些。

五、給礦礦石性質和單位生產率

為了獲得最佳的生產指標，給礦的粒度組成、比重組成和給礦濃度應盡量保持穩定少變，特別是給礦量更不要波動太大。可以採用不同的條件組合（衝程、衝次、墊床厚度和篩下水量）而獲得同樣的最佳選別指標。

現代的波震機操作自動控制原理，是在給礦量增大時，能夠相應的加大衝程，提高墊床鬆散度，以獲得適當量的精礦產率。

磁力分選(Magnetic Separation)

在眾多的礦物中，有些礦物具有被磁鐵吸引的性質(即是具有磁性)，其被吸引之強度是受到礦物本身的性質、磁鐵的強度以及兩者相距之距離所支配。用礦物磁性之有無而分選礦物之方法稱為磁力選礦法(Magnetic Separation)。

磁選主要用來分選或精選磁鐵礦、磁硫鐵礦以及鈦鐵礦等強磁性礦物也可用強磁磁選機分選含鎳礦物、氧化錳礦等。工業礦物中所含少量鐵礦物或含鐵礦物之去除也是磁選的主要應用之一。目前其用途更擴大到污水淨化、煙塵以及廢氣淨化等防污染方面。另外由於強磁磁選機之不斷開發，將來有可能利用反磁性物之性質進行磁選分離。

反磁性物 (Diamagnetic Substance) 如金屬鈹，即為磁鐵所拒。換言之，反磁性物將沿磁力線方向，被排斥至磁場強度較小的地方。

順磁性物 (Paramagnetic Substance) 則為磁鐵所吸，即將被吸引至磁場強度較大的地方。

強磁性 (Ferromagnetic) 礦物: 磁鐵礦 (Fe_3O_4)、鈦鐵礦 (FeTiO_3) 等磁性較強的礦物，稱之。

弱磁性 (Weakly Magnetic) 礦物: 赤鐵礦 (Fe_2O_3)，菱鐵礦 (FeCO_3) 及許多含鐵、錳、鎢、鉻等的礦物。

非磁性 (Nonmagnetic) 礦物: 而脈石如石英、石灰石等的磁性非常微弱，乃稱之

下表為各種礦物的磁性吸引力，在粒度及其他條件均相同的情形下。以鐵為 100 的相對吸引力。

磁選原理：

磁性別	礦物及成份	相對吸引力
強磁性	鐵 Fe	100.00
	磁鐵礦 Fe_3O_4	40.18
	鉍鐵礦 (Zn, Mn, Fe) Fe_3O_4	35.38
	鈦鐵礦 $FeTiO_3$	24.70
弱磁性	磁硫鐵礦 Fe_3S_4	6.69
弱磁性	菱鐵礦 $FeCO_3$	1.82
	赤鐵礦 Fe_2O_3	1.32
	鈷石 $ZrSiO_4$	1.01
	褐鐵礦 $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	0.84
	剛玉 Al_2O_3	0.83
弱磁性	軟錳礦 MnO_2	0.71
	水錳礦 $MnO(OH)$	0.52
	石榴子石 (Ca, Fe, Mg, Mn) ₃ (Al, Fe, Cr) ₂ $(SiO_3)_3$	0.40
非磁性	石英 SiO_2	0.37
	金紅石 TiO_2	0.37
	黃鐵礦 FeS_2	0.23
	閃鋅礦 ZnS	0.23
	白雲石 $CaCO_3, MgCO_3$	0.22
	磷灰石 $Ca_{10}F_2(PO_4)_6$	0.21
	硅鋅礦 Zn_2SiO_4	0.21
	滑石 $H_2Mg_3(SiO_4)_4$	0.15
	硫砷鐵礦 (毒砂) $FeAsS$	0.15
	黃銅礦 $CuFeS_2$	0.14
	石膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0.12
	螢石 CaF_2	0.11
	紅鋅礦 ZnO	0.10
	正長石 $KAlSiO_3$	0.05
	方解石 $CaCO_3$	0.03

1. 磁極強度是以磁束密度(B)來表示，磁極愈強愈容易將礦粒吸引。在磁選機所使用的磁極有永久磁鐵與電磁極兩種。若使用永久磁鐵當磁極則其殘留磁(J)強度即為磁極強度。若使用電磁極，則磁極強度可由 $H=4\pi n(i/10)$ 之公式 (i 為導入線圈之電流強度, n 為每公分之線圈數) 以及鐵心被磁化強度成(J)與磁極間隔等可求得。
2. 礦物之磁性強度可由殘留磁(J)與帶磁率(K)來決定。礦物磁性愈強愈容易被磁極所吸引。同一磁性之礦物其粒度越大感應所生成之磁距也越大 ($M=JV$), 越容易被吸引，但其粒度卻與重量有關，因此粒度也不能大過作用它的磁力。在實際的操作上，以 1-5mm 左右之礦粒大小為最適宜。
3. 礦粒被磁極吸引的作用力是依 *Coulumb's Law*，礦粒與磁極間之距離平方成反比，磁極強度與礦粒磁化強度之相乘積成正比。也即磁極磁性越強或距離越近，可得越大之作用力。若所使用的為兩平極 (Flat Pole)，兩極間各處磁力強度均勻，在兩磁極間之礦粒不易移動，因此要使礦粒吸引至磁極，必須考慮磁極之強度要產生差異，將其中一極之形狀改成尖狀極 (V- Shaped Pole)，則靠尖狀處之磁力較強，成為一極集中磁場。另外也可在一極上夾入無磁性之材料，相間疊作成層狀極也能集中磁力，此型多用於轉輪磁極。

磁極作用之力

依庫倫定律 (Coulumb's Law) 磁性程度為 m_1 及 m_2 之二磁極，放置於真空中，相距 d 公厘，其相互作用之力為：

$$F = \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

二相等且相同之磁極。放置於真空中，相距為一公厘。如其作用之力為一達因 (Dyne) 時，則該磁極之強度為一單位磁極強度 (Unit Pole Strength)。作用之力，二磁極之極性相同時互拒，相異時互吸。

在其他媒質中。磁極作用之力與在真空中作用時並不一致。此時庫倫定律之公式應為：

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

式中 μ 為該媒質之導磁係數 (Magnetic Permeability)。故在真空中 μ 為 1，在一般物質中，其值常不變，反磁性物 μ 略小於 1，順磁性物則略大於 1，但在強磁性物質中，則 μ 之值可以極大，且其值隨磁場強度而變。又強磁性物質之導磁係數，在不同溼度時，其值常有顯著之差異。

電磁場及感應磁性 (Induced Magnetism) :

當電流在一導體上流動時，導體之四週發生磁性現象，此磁場稱電磁場，此導體可為直線、環形或線圈。電流活動之方向與電磁場之方向之關係，可用右手螺形法則決定。電磁場之強度可用適當公式求出。

物體置於一磁場中，因感應作用而生磁性現象，是為感應磁性感應磁力與外來磁力之比，為感磁係數 (Magnetic Susceptibility)。

$$K = \frac{I}{H}$$

式中 I 為感應磁力，H 為外來磁力，K 為感磁係數。

順磁性物，K 為正數；反之，反磁性物 K 為負數

物質的感磁係數與導磁係數均可用實驗測定，或測定其中之一的數值，求出另一的數值。物質由此項性質，對磁力選礦至為重要。

磁選機

磁鐵有永久磁鐵 (Permanent Magnet) 及電磁鐵 (ElectroMagnet)。

永久磁鐵多為簡單磁選之用，如用馬蹄鐵吸出磁鐵礦或鐵件、鐵屑等，即為最簡單之磁選。工業上則多用電磁鐵，因其可得較強之磁力，且磁場強度可以調節。

磁場有兩極 (Pole)，極的形狀不同，則磁場強弱之分佈亦不同

兩尖極 (Two Point Poles)

在靠兩尖極部份磁力較強，中間則磁力分佈平均，靠近兩極端磁力線均有集中情形。

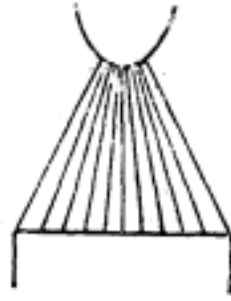


兩平極 (Two Flat Poles)，兩極間各處磁力強度大致平均，即磁力線分佈各處略近均勻也。

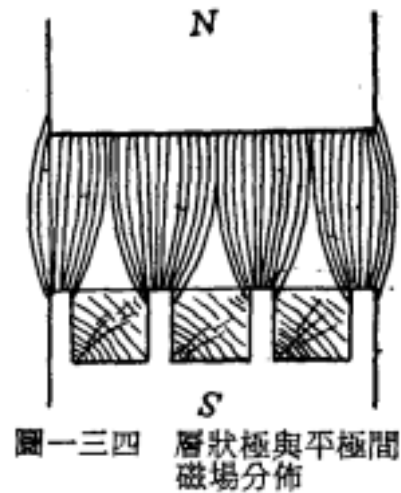


一平極與一斜角 (One Flat and One Beveled Pole)，即靠近斜角極附近磁力較強，即僅此極有磁力線集中。前已述及順磁性礦物將被吸

引至磁力較強之處，故設計選礦機自以此型式為佳。其只一極有集中磁力場（Converge Magnetic Field），能使磁性礦物吸引至斜角極。



亦有一極用層狀極（Laminated Pole）者。即鐵板與無磁性物製成之板（如鋅板或木板）相間疊合而成，層狀極亦能發生集中磁力場，多用於圓形轉輪磁極。



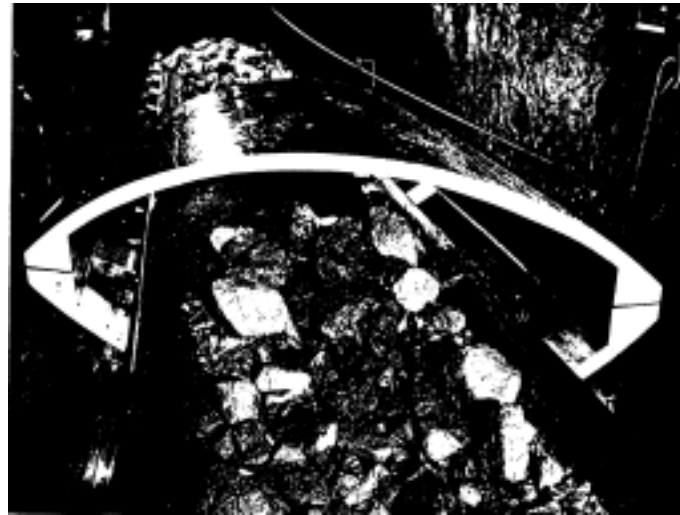
磁選機的種類甚多，茲述常用的數種如下：

懸掛磁鐵 (Hanging Magnet) 或 (Guard Magnet)

為電磁鐵，常置於運礦輸送帶之上，以吸去鐵器，使不致落入碎礦機中，碎礦工場多用之亦用於廢鐵處理場，以吸取及運送廢鐵。



FIG. 2.1. Conveyor guard magnet.



磁選輪 (磁選皮帶輪 Magnetic Pulley)

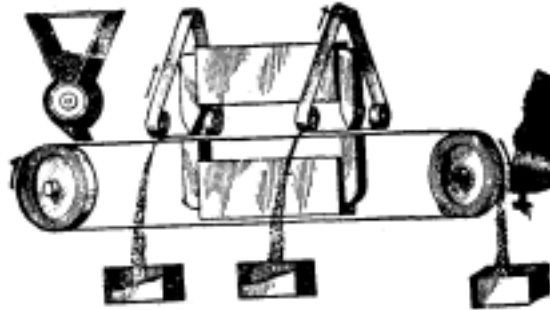
為內有磁鐵之皮帶輪，輸送帶上倘有磁性物，則附著輸送帶，隨帶移至皮帶輪之下方磁力較弱的地方掉下。非磁性物，則不受磁力之作用，在皮帶輪前方落下。磁選輪多用於碎礦機前之給礦輸送帶。除去鐵件，保護碎礦機械。



圖一三五 磁選輪

十字帶磁選機 (Cross-belt Magnetic Separator 或交叉皮帶磁選機 Witherill-Rowand Separator)

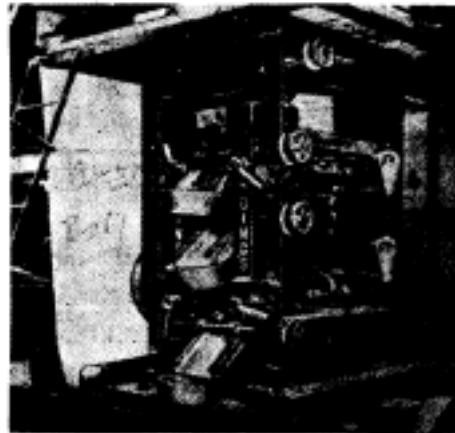
主要構造為運礦輸送帶將薄層給礦帶進兩個併列的馬蹄形電磁鐵 (Horse-shoe Electromagnet)，磁鐵之上部呈角尖形極 (Beveled pole)。下部為平面極 (Flat Pole)，因此角尖極之磁力較強成聚集磁場 (Converge Magnetic Field)。角尖形極下有交叉皮帶 (Cross-belt)，與運礦輸送帶垂直。磁性礦物受角尖磁極之吸引，跳上之交叉皮帶之下面，因交叉皮帶之運動，帶至磁場以外時落入精砂槽。無磁性之礦物不受磁極之吸引，仍留運礦輸送帶上，運至排礦端落入尾砂槽中。



圖一三七 十字帶磁選機

感應轉輪磁選機 (Induced-roll Separator)

有電磁鐵及磁路導體 (Bridge Bar or Iron Keeper)，並在兩磁極間有感應轉輪 (Induced Roll) 一個。此外尚有轉及輔助磁極 (Auxiliary Pole) 則係選弱磁性礦物時，為預先除去強磁性物如鐵屑及磁鐵礦等之用。



圖一三八 感應轉輪磁選機

感應轉輪乃鐵片及無磁性物片 (如鋅片) 相間置放組成。所以靠強磁極之鐵片，產生強烈聚集磁場，因而吸引磁性礦粒，隨輪轉動，至磁

場減弱處始行落下。而無磁性或磁性較弱之脈石，則不受影響。先行落下，因此可將磁性礦物精砂及非極性礦物尾砂分離。

此機適於處理乾的粗粒礦砂，顆粒大小最好均勻，磁性較微之礦物亦能處理。

靜電選礦及高壓電力選礦

靜電選礦 (Electrostatic Separation) 高壓電力選礦 (High Tension Separation)，均利用礦物電導性 (Electric Conductivity) 的不同、介電常數 (Dielectric constant) 的不同、及物體帶同性電荷者相拒，帶異性電荷者相吸的道理而選礦。

礦物之電導性常因含雜質而不同，多數礦物加熱後會增加電導性濕度的影響亦大，礦物吸收水份後電導性亦增加。雖然如此，礦物大致可分為導體及非導體，常見礦物之區分如下表：

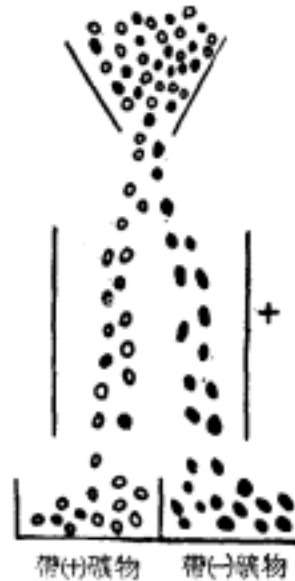
導體 (Conductor)			非導體 (Non-Conductor)		
磁鐵礦	黃鐵礦	黃銅礦	獨居石	雲母	石膏
鈦鐵礦	砂金	閃鋅礦	石榴子石	蛭石	長石
鎢鈦鐵礦	方鉛礦	石墨	菱鐵礦	重晶石	方解石
赤鐵礦	錫石	普通輝石	綠簾石	鋼玉	石英
鋅鐵礦	輝鉬礦		角閃石	金剛石	硫黃
鉻鐵礦	金紅石		磷灰石	氟石	

靜電選礦係利用礦物所帶電荷。此電荷可為加熱所產生，或為磨擦所產生。或為原有的。靜電選礦對礦物不加電流或加極小量之電流。

靜電選礦機主要有板式及筒式兩種。

板式 (Plate Type) 靜電選礦機

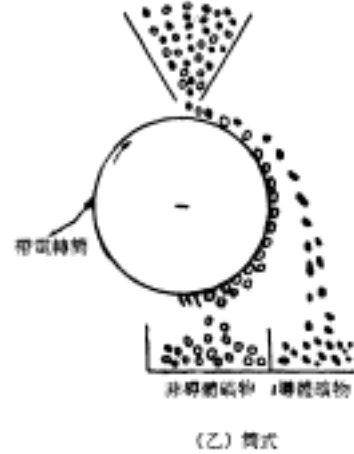
帶電荷之礦物在分別帶正電荷及負電荷兩極板之間落下，由於同性電荷者相拒，異性電荷相吸，使帶不同電荷之礦物分開。



(甲) 板式

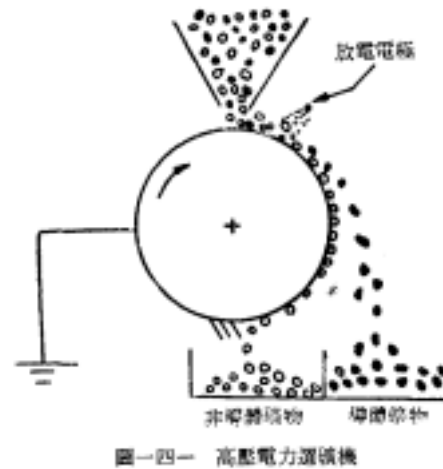
筒式靜電選礦機

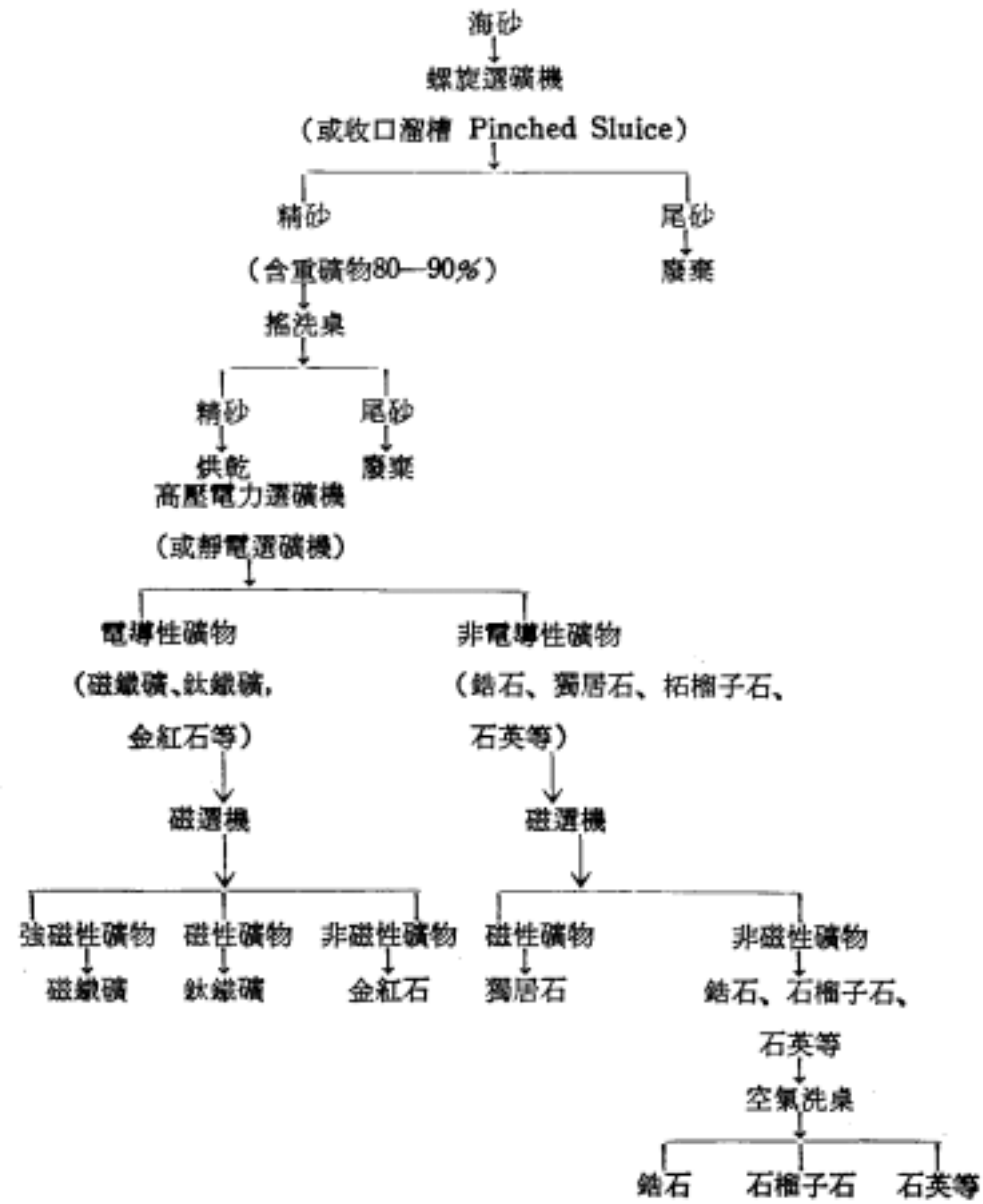
給礦接觸帶電轉筒 (Electrified Roll) 後，電導性礦物即由轉筒傳得相同的電荷，整個礦粒所帶的電荷與轉筒者相同，因此被排斥，乃落導體礦物槽中。非電導性礦物則只與筒接觸的部份才帶與筒相同的電荷，其他部份由於誘導作用 (Induction)，皆帶與筒相異的電荷，因此非電導性礦物礦粒整體而言。不但無相拒作用，且有相吸之力，乃落入非導體礦物槽中。有在轉筒的前方另置一固定筒，並使帶與轉筒相異的電荷，以吸引電導性礦物，增大其行程者，此為雙筒 (Double Roll) 靜電選礦機。亦有在轉筒前置電極使轉筒生誘導電者。



高壓電力選礦機 (High Tension Separator)

在帶電筒前方置放放電電極，其電壓一般用一萬六仟至三萬伏特，亦可高至四萬伏特。給礦接受放電而帶電荷，乃為帶異電荷之轉筒所吸引。電導性礦物接觸轉筒後，即中和，隨又帶與轉筒相同的電荷，因此不但不為轉筒所吸引，而且被排斥落下。非電導性礦物則只有接觸到轉筒的部份。其電荷才被中和及帶與轉筒相同的電荷，大部份未接觸到轉筒的部份仍帶異性電荷，故為轉筒所吸引，跟著轉筒旋轉，直至轉筒後方被刷子刷下。高壓電力選礦機因處理能力較大，操作較易，較靜電選礦機之用途為廣。高壓電力選礦機（或靜電選礦機）。常與磁選機併用，以分選金屬氧化礦物，因此類礦物比重相差不多。難用重力法分選，而優先浮選控制亦較難也。



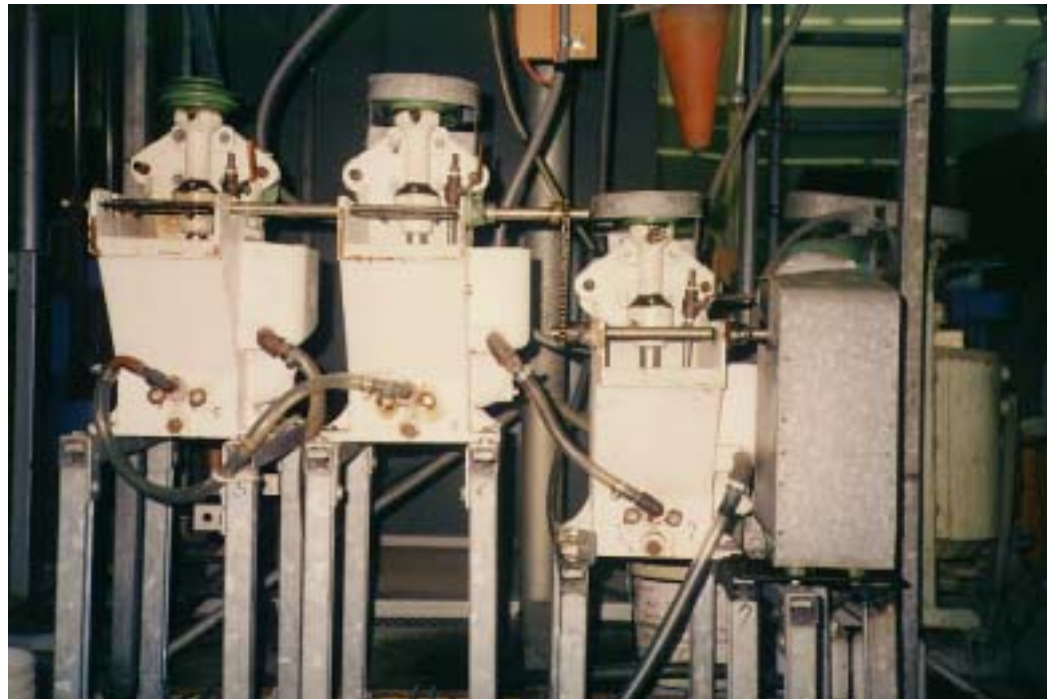


浮選 (Froth Flotation)

浮選為一種最重要的分選方法，於 1906 年被申請專利。主要根據礦物表面物理化學性質不同，以達到分選的目的。最早被用來處理硫化礦物，而近年來已廣為應用於氧化礦物、非金屬礦物、或廢水處理等方面。礦物的可浮性與其對水的親和力大小有關。如果與水的親和力大，則礦物容易為水所潤濕，因此難附著在氣泡上。相反的，礦物表面與水的親和力小，亦即表面為疏水性(hydrophobic)，易與氣泡黏結，因而造成上浮。此等因礦物表面性質而造成顆粒上浮的難易稱之為可浮性 (floatability)。大部分的礦物均為親水性(hydrophilic)，僅少部分的礦物如：石墨、硫磺、輝鉬礦、金剛石、滑石、煤等為天然浮起性礦物。浮選即為利用礦物表面性質與氣泡黏附之差異性而達到分選的目的。



Denver Sub-A 型浮選機



連續式實驗型浮選機

浮選的藥劑

浮選的藥劑依其功能可分為：

起泡劑(Frother)

起泡劑通常為有機物，其功用是提高氣泡的穩定性與壽命，使氣泡升至礦漿表面時不會立即破滅。常用的起泡劑有松節油、戊醇、甲酚等。

捕集劑(Collector)

捕集劑通常亦為異極性之有機物，其分子有極性基與非極性基，極性基與礦物發生作用，非極性基則為疏水性，因而提高礦物表面疏水性，使欲上浮的礦粒易附著於氣泡上。一般常用者為化學捕集劑，如陰離子捕集劑包括脂肪酸、皂類、黃酸鹽等。陽離子捕集劑包括有胺類等。

調整劑(Modifier)

調整劑的作用是促進(活性)或消除(抑制)某捕集劑對某礦物的作用，其包括有活性劑、抑制劑、清潔劑、硫化劑、pH 調整劑等。

浮選的流程

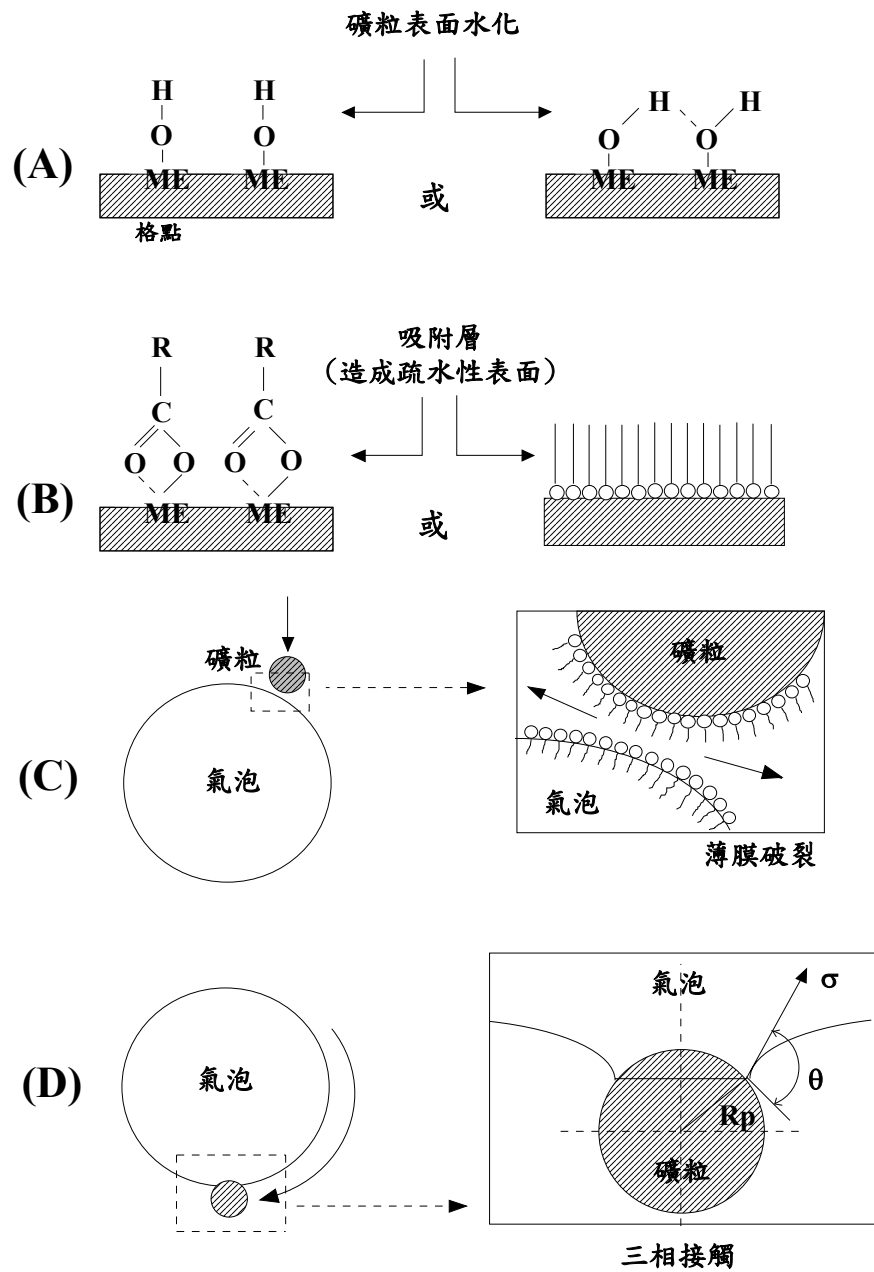
浮選的過程可以分為以下四個步驟：

- A. 餵礦
 1. 礦漿的餵入
 2. 氣泡的餵入
- B. 礦粒與氣泡的沾附(attachment)
 1. 礦粒與氣泡的碰撞(collision)
 2. 礦粒黏結(adhesion)至氣泡上
 3. 礦粒由氣泡上脫附(detachment)
- C. 礦漿與泡沫間的運搬作用
 1. 將負載有礦粒的氣泡運搬至氣泡層

2. 直接夾帶礦粒進入氣泡層
 3. 部分礦粒因氣泡破裂返回礦漿中
- D. 移出浮選的產品
1. 移出精礦
 2. 移出尾礦

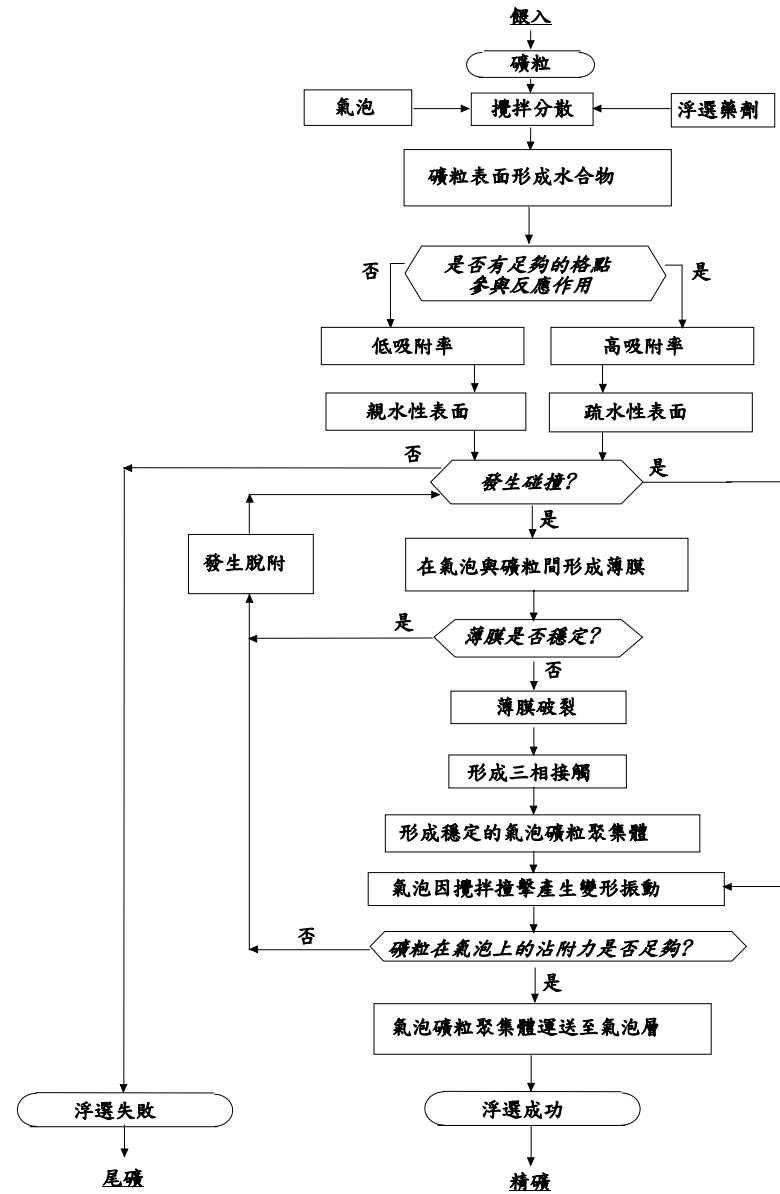
浮選的機制

浮選為固(礦粒)、液(溶液)、氣(氣泡)三相界面之間的關係。首先在浮選槽中加入礦粒及水形成礦漿。礦粒的表面有效的陽離子格點(site)在水中遇水水化產生水合物。這些水合物的多寡與主控的 pH 值有密切的關係。當捕集劑加入後，捕集劑的極性基會吸附在礦粒表面水合物上，而另一端疏水性的非極性基則朝向外側。吸附的種類有物理性吸附及化學性吸附二種，物理性吸附為正負離子以凡得瓦爾力吸引，而化學性吸附則以共價鍵形成化合物。礦粒表面如有足夠的格點並吸附有足夠的捕集劑，會使得礦粒表面形成疏水性。礦粒因攪拌作用而游走浮選槽內，須與氣泡碰撞而產生黏結。若未產生碰撞，則不可能有成功的浮選。當礦粒與氣泡互相接近時，會將二者之間的液體排出而形成一個液體薄膜。此薄膜若是穩定不破，則礦粒無法沾附在氣泡表面。形成疏水性之礦粒有助於造成薄膜的不穩定而破損，礦粒因而沾附在氣泡上，並形成穩定的三相平衡。此時氣泡負載著礦粒上浮而達到浮選分離的目的。在上浮的過程中，如遇過大攪拌渦流所產生的離心力、減切力或因較大礦粒撞擊氣泡使氣泡產生劇烈的變形震動等，仍會造成礦粒脫附掉離。



礦粒與氣泡黏結的過程:

- (A) 在礦粒表面形成水合物
- (B) 吸附捕集劑並形成疏水性表面
- (C) 碰撞發生並破壞薄膜
- (D) 形成三相接觸



浮選機制流程圖