

固體的性質

單元學習內容

- 固體的密度
- 固體的硬度
- 固體的粒徑

固體的一般性質

- 密度 - 實體密度 (true density)
整體密度 (bulk density)
- 硬度 - 莫氏硬標
- 粒徑 - 相當直徑, 算術平均粒徑, 表面積平均粒徑, 體積平均粒徑。

密度

- 定義：單位體積所具有的質量
- 單位： g/cm^3 、 kg/m^3 、 lb/ft^3
- 比重：物質密度與參考物質密度的比值；為一無因次量
- 種類：整體密度及實體密度

粒子密度 (particle density) 與整體密度 (bulk density)

- 粒子密度， ρ_p

$$\rho_p = \frac{\text{固體質量}}{\text{固體體積}} = \frac{W_p}{V_p}$$

- 整體密度， ρ_b

$$\rho_b = \frac{\text{固體質量}}{\text{容器體積}} = \frac{W_p}{V_b}$$

- 容器體積 = 粒子體積 + 空隙體積

整體密度與粒子密度的計算

- 內徑3cm長90cm的銅管內裝滿直徑3cm的鋼球，鋼球的空隙再填充水補充，鋼球比重7.8，求銅管內的整體密度為何？

整體密度與粒子密度的計算解

$$\text{鋼球的體積} = \frac{\pi}{4} \times 3^2 \times 90 = 636 \text{ cm}^3$$

$$\text{鋼球的質量} = 7.8 \times \left(\frac{\pi}{6} \times 3^3 \right) \times \left(\frac{90}{3} \right) = 3308 \text{ g}$$

$$\text{空隙中水的質量} = 1 \times \left[636 - \left(\frac{\pi}{6} \times 3^3 \right) \left(\frac{90}{3} \right) \right] = 212 \text{ g}$$

$$\text{整體密度} = \frac{3308 + 212}{636} = 5.53 \text{ g / cm}^3$$

空隙度 (Voidage)

- 定義：整體體積中所含空隙的體積
- 表示法：

$$\varepsilon = \frac{\text{空隙體積}}{\text{整體體積}} = \frac{\text{整體體積} - \text{粒子體積}}{\text{整體體積}}$$

空隙度計算

- 矽砂的粒子密度為 $2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，將 2600 kg 的矽砂堆積後的體積為 2.0 m^3 ，求其空隙度為何？

空隙度計算解

$$\text{整體體積} = \frac{2.6 \times 10^3}{2} = 1.3 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{空隙度} = \frac{\text{整體體積} - \text{粒子體積}}{\text{整體體積}}$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{1}{1300} - \frac{1}{2600}}{\frac{1}{1300}} = 0.5$$

硬度 (Hardness)

莫氏硬標
(Moh' s scale)

舉例說明：

普通玻璃會割傷磷灰石，但會被長石割傷，因此它的硬度介於 5 與 6 之間。

礦石	莫氏硬標
滑石	1
石膏	2
方解石	3
螢石	4
磷灰石	5
長石	6
石英	7
黃玉	8
金鋼砂或藍寶石	9
金鋼石	10

硬度的說明

- 莫氏指標越大，其硬度越高。
- 將未知硬度固體與標準礦石刮，硬度小的礦石會留下刮痕，硬度大的不會留下刮痕。
- 一般而言：牙齒硬度約3.0，指甲為2.5。

硬度的分類

- 軟質物料：莫氏指標為 1~3
- 中等物料：莫氏指標為 4~6
- 硬質物料：莫氏指標為 7~10

摩擦(Friction)

- 定義：物體在另一物體上滑動所產生的抵抗力。
- 摩擦係數

$$\text{摩擦係數} = \frac{\text{平行於運動方向的摩擦力}}{\text{與摩擦面垂直的力}}$$

比表面積 (Specific surface area)

- 定義：單位質量所具有的表面積
- 表示法：

$$a_v = \frac{\text{物料的表面積}}{\text{物料的質量}}$$

比表面積

■ 球體的比表面積

$$a_v = \frac{\pi D_p^2}{\rho_p \left(\frac{\pi}{6} D_p^3 \right)} = \frac{6}{\rho_p D_p}$$

■ 正方體的比表面積

$$a_v = \frac{6L^2}{\rho_p L^3} = \frac{6}{\rho_p L}$$

粒徑

■ 相當粒徑 (equivalent diameter) D_p :

❖ 已知不規則形狀粒子的體積，利用此體積去做一個球，這個球的直徑就是此粒子的“相當粒徑”。

$$(\text{體積}) V_p = a D_p^3 \quad (\text{表面積}) S_p = b D_p^2$$

粒子形狀	球	立方體
a(體積形狀因子)	$\pi/6$	1
b(面積形狀因子)	$\pi/6$	1

平均粒徑

平均粒徑的表示方法有三種：

- 算術平均粒徑
(arithmetic mean diameter)
- 表面積平均粒徑
(mean surface diameter)
- 體積平均粒徑
(mean volume diameter)

算術平均粒徑

(arithmetic mean diameter)

$$D_a = \frac{\sum N_i D_i}{\sum D_i}$$

- D_i : 某種粒子大小的相當直徑
- N_i : 相當直徑為 D_i 粒子的數目

粒徑分析

較常用的粒徑分析方法有：

- 顯微鏡法
- 篩析法
- 沉降法

顯微鏡法-1

- 細微的粉粒在顯微鏡 (microscope) 下可直接看出每個粒子的大小。
- 為了分析的準確，要求分析的粉粒數目必須夠多；英國國家標準規定，每一次必須測定 625 個粒子。
- 此分析法適用於 $0.8 \sim 150 \mu\text{m}$ 的粒子。

顯微鏡法-2

- 量測方法：通常是固定一個方向，量取粒子在這個方向的最大長度而取其算術平均值為粒子的最大長度。

篩析法-1

器具

- 標準篩盤 (sieve)
- 篩振器 (sieve shaker)
- 篩盤底部是篩網，篩網孔洞的大小有很多種。

篩析法-2

標準篩有許多不同規格：

- 泰勒標準篩

(Tyler standard screens)

- 美國標準篩

- 日本標準篩

泰勒標準篩

網目	孔徑	線徑
65	0.208	0.183
100	0.147	0.107
115	0.124	0.097
170	0.089	0.061
200	0.074	0.053
325	0.043	0.036

篩析法的說明

- 各種標準篩都會規定各篩網的規格，如線徑 (wire diameter) ，孔徑 (opening) ，網目數 (mesh) 等。
- 網目數愈大，孔徑愈小。
- 此法適用於 $40\mu\text{m}$ 以上粒子之大小分析。

篩析的實驗步驟

- 精秤200g的固體物料。
- 以符合規定的毛刷輕刷標準篩，秤取各篩盤的空重，並紀錄。
- 依篩孔大小由上往下疊，最下層放一底盤。
- 將固體物料置於最上層篩盤，加蓋後固定。
- 啟動震盪開關，操作3~5分鐘後停止。
- 取下各篩盤，秤重並紀錄。

篩析結果表示法

- 微分篩析法
- 累積篩析法

微分篩析法

- 假設流在某一篩盤的固體粒子，其直徑等於上一篩盤篩孔直徑的平均值。
- 以留上盤上粒子的重量分率對粒子直徑作圖，繪製頻率曲線，以表示的粒徑分布。

累積篩析法

- 以通過某盤固體的質量分率(即通過率)對該盤篩孔直徑作圖，繪製累積通過率曲線，來表示粒子的粒徑分布。

沉降法(Setting methods)

- 原理：固體顆粒靜止在一體中受重力作用而沉降
- 作用於粒子的力有三種：重力、浮力及阻力
- 粒子達終端速度時，作用於粒子上的合力為零。

終端速度

- 由力平衡知 $F_g = F_B + F_D$
- 當 $Re_p < 2$ 時，由stoke's law 知

$$u_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

史托克定律的計算

- 一塑膠球的比重2.8，於25°C的油中沉降10cm需12sec，已知25°C的油比重為0.9，黏度為0.12Pa-s，求塑膠球的粒徑為多少mm？

史托克定律計算解答

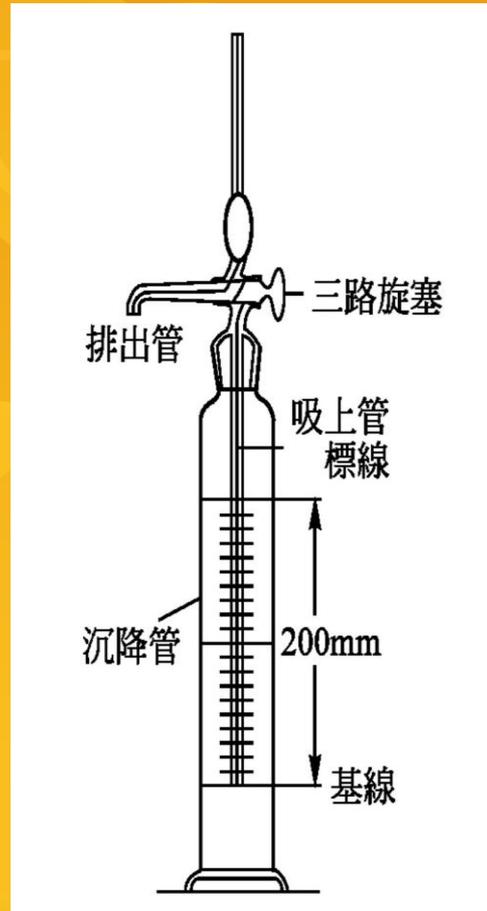
$$\frac{0.10}{12} = \frac{(2.8-0.9) \times 10^3 \times 9.8 \times D_p^2}{18 \times 0.12}$$

$$\therefore D_p = 0.98 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.98 \text{ mm}$$

沉降法的說明

- 終端速度和粒子直徑的平方成正比。(大粒子，沉的快)
- 適用粒徑：1~100 μm
- 缺點：再現性較差。

安德生移液管 (Andreasen pipet)



安德生移液管的操作原理

- 將粉體放在移液管內，加水及分散劑使粉體懸浮分散後靜置。
- 不同的時間有不同的沈降情形；當時間為 t_1 時，若有其中一種一直徑為 D_{p1} 粒子在取樣標線上已不存在，故可知其通過率。

安德生移液管操作

- 將分散媒倒入移液管內，使液體的量比標線刻度小。
- 配2%的待測樣品倒入移液管內加水稀釋至標線。
- 加入六偏磷酸鈉於移液管內，關好旋塞，倒立搖晃數次，使之充分混合。
- 溶液靜止後計時並量取基準線到液面的距離，吸10cc.懸浮液至於蒸發皿內。
- 間隔相同時間等量吸取數次，取樣以不擾動管內其他液體為原則。
- 將蒸發皿烘乾後秤重。

安德生移液管實驗的數據整理

次數	時間 (t)	距離 (h)	h/t	蒸發皿重	皿 + 乾樣品重	乾樣品重	樣品粒徑	R%	D%	ΔD_P	$\Delta D/\Delta D_P$