

砂模鑄造能力本位訓練教材 鑄砂特性及試驗

編號：PMF-SMC0303

編著者：張晉昌

審稿者：林基、吳丞恭

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PMF-SMC0303 學習指引

在你學習本單元之前，你應該先認識鑄砂種類及學會調配濕模砂，學習的先後關係，可參考背面的砂模鑄造職類之能力目錄。假如你認為自己可以的話，請翻開第 1 頁開始學習。假如你認為自己還不熟悉，請將本教材放回原位，並先取出編號 PMF-SMC0301 及 PMF-SMC0302 教材依序學習，或請教你的老師。

引言

鑄砂又稱為模砂(molding sand)，係鑄造工廠所使用的兩種主要材料之一，另一種為鑄件材料。鑄砂的主要目的係用於製作砂模，而砂模則係鑄造工廠用來生產鑄件的必備模具，且每一組砂模只能澆鑄高溫金屬液一次（不論成功或失敗）。因此，砂模的需求量非常大，係各種鑄模(mold)中使用量最多的一種，尤其砂模鑄造廠，在生產鑄件前，必須先製作一大批砂模備用，相對的，鑄砂的使用量及使用頻率也就非常多且頻繁。

鑄砂的種類非常多，每一種不同的鑄砂皆由不同成分的原料配合混練而成，不管是新調配的鑄砂或是回收舊砂再生使用，目的皆是為了生產成功可用的鑄件。因此，為了獲得高品質且品質穩定的鑄件成品，深入瞭解鑄砂的特性，以便調配適當的鑄砂材料，便顯得非常重要；再者，欲瞭解鑄砂的特性，則需依鑄砂試驗標準進行系列的或個別的鑄砂性質測試，其中每一種鑄砂特性測試所需的儀器設備、材料，測試原理及目的，測試方法或程序等，都是欲獲得正確可靠的測試結果之前，應先熟悉及瞭解的知識與技術。本單元教材將讓你學會鑄砂應具備的特性，及各種鑄砂特性的試驗方法與要領。

定義

A F S：係美國鑄造學會（American Foundrymen's Society）的英文簡稱。

壓縮比：係鑄砂在搗實作用下，由鬆散鑄砂高度減少的百分比值。壓縮比（Compactability, CB 值）大小直接影響鑄砂的造模表現，且可反應鑄砂的成熟度（Degree of temper）。

全黏土量：係鑄砂中所含的總黏土量，即 AFS 黏土含量（AFS clay）的百分比值。AFS 黏土係指鑄砂中直徑小於 20μ （ $20\times 10^{-6}\text{m}$ 或 0.02mm ）的所有微粒粉末，包括部分非黏土之添加劑，如糊精、煤粉等。

活性黏土量：在回收砂中，因部分黏土受高溫影響而被燒死（dead-burned），失去黏結作用；其他的黏土尚未失去功能，仍保有黏結特性，此即為活性黏土（Active clay）。

透氣度：亦即透氣性（Permeability），係在 $1\text{gm}/\text{cm}^2$ 的壓力下，每分鐘通過斷面積 $1\text{cm}^2 \times 1\text{cm}$ 高之鑄砂試片的空氣體積量（ cm^3 或 cc）。AFS 鑄砂透氣度係已知 2000cc 空氣量在 10cm 水柱高的壓力下，通過 AFS 標準鑄砂試片（2 吋直徑 \times 2 吋高）的速率。

燒灼減量：鑄砂中的有機黏結劑或添加劑中的樹脂、煤粉、木屑粉、糊精等有機物質在高溫時被燒毀或燒失的比值，稱為燒灼減量（Loss on Ignition, LOI）。

學習目標

- 一、在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出鑄砂特性，鑄砂取樣及製作標準砂試片，測試鑄砂壓縮比（CB 值）。
- 二、給你一些濕模砂材料，在無人幫助的情況下，你能依測試程序要領，正確地完成鑄砂水分（Moisture）及全黏土（AFS clay）含量的測試工作。
- 三、給你一些乾的砂砂，在無人協助情況下，你能依粒度分析要領，正確地完成鑄砂粒度指數（AFS GFN）的分析工作。
- 四、給你一些鑄砂材料，在無人協助情況下，你能依測試程序要領，正確地完成鑄砂透氣度（Permeability）及強度（Strength）的測試工作。
- 五、給你一個濕砂模，在無人幫助的情形下，你能依測試程序要領，正確地完成砂模模面硬度（Mold surface hardness）的測試工作。
- 六、給你一些鑄砂材料，在無人幫助的情況下，你能依測試要領，正確地完成鑄砂的造模性（Moldability）及活性黏土（Active clay）含量的測試工作。
- 七、給你一些鑄砂材料，在無人協助情況下，你能依測試程序，正確地完成鑄砂的燒灼減量（LOI）及揮發物（Volatile materials）含量的測試工作。

假如你認為能夠勝任以上學習目標的能力，請翻至第 57 頁做學後評量。假如你需要更多學習的話，請翻到下一頁。

學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及實際操作，你對於鑄砂特性及試驗的認識及學習，可以由下列二條途徑中選擇一途徑去學習。

一、閱讀本教材之第 5 頁至第 67 頁。

二、閱讀下列參考書籍：

(一)金屬工業發展中心，鑄砂測試儀器操作作業標準，高雄：金屬工業發展中心，1990 年，3~29 頁。

(二)張晉昌，鑄砂學，台北：全華科技圖書公司，1999 年，33~47 頁。

(三)American Foundrymen's Society, AFS mold and core test handbook, 1989, pp.3-1~17-10。

本教材的第一個學習目標是

在不參考任何書籍及資料下，你能夠正確地說出鑄砂特性，鑄砂取樣及製作標準砂試片，測試鑄砂壓縮比（CB 值）。

假如你認為能勝任上述目標之要求，請翻至第 16 頁做學習評量，如你需要多學習一些的話，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

壹、鑄砂的特性

鑄砂的主要用途是製造砂模，而砂模的優劣影響鑄件品質至鉅，因此，爲了獲得無瑕疵的鑄件及便於造模，鑄砂應具備下列特性：

一、強度

鑄砂係由毫無黏性的基砂與黏結劑等調製而成，混練後，必須具有相當的強度，亦即黏結性或可塑性，以利於造模，並可避免砂模在翻轉、搬運或澆鑄高溫高壓的金屬液時破損，故強度是鑄砂應具備的最基本特性之一，其中應括下列三種強度：

- (一)濕砂強度 (green strength)：造模作業大都是在濕砂狀態下進行，因此，鑄砂需具有相當的濕砂強度，以便於造模時翻轉、起模、搬運。
- (二)乾砂強度 (dry strength)：當高溫金屬液澆入鑄模時，砂模內壁的鑄砂受高熱影響，鑄砂中的水分迅速變成水蒸汽等瓦斯氣體 (gas) 而消失，形成表面乾砂模。因此，鑄砂需具備相當的乾砂強度，以抵抗金屬液的沖蝕及壓力。
- (三)高溫強度 (hot strength)：在水分被蒸發後，鑄砂在 100°C 以上必須具備相當的高溫強度，以防止因熔融金屬的靜壓力而導致砂模膨脹，或因高溫液態金屬流動而產生沖蝕或熱裂。

二、透氣性

鑄砂內含有水分且模穴內亦爲潮濕狀態，澆鑄時砂模受熱，會產生大量的水汽及其他氣體，因此，砂模必須具有適當的透氣性，以便氣體逸出模外，否則鑄件將會產生氣孔瑕疵。

三、耐火性 (refractoriness)

鑄造係將高溫熔融金屬液澆入鑄模內形成鑄件，如鐵系合金，其澆鑄溫度通常在 1300~1650°C 的高溫下進行，因此鑄砂需具有較高的耐火性。至於鋁合金，澆鑄溫度較低，約爲 670~740°C，則鑄砂的耐火度可不必要求太高。

四、流動性 (flowability)

鑄砂混合調配妥當後，應具備良好的流動性，以便於造模作業。

五、崩散性 (collapsibility)

鑄砂受熱後，水分消失，會變成堅硬的砂塊，鑄砂本身應具備相當的崩散性，於鑄件凝固收縮後，使鑄模破裂而易於清砂。如濕砂模崩散性較 CO₂ 砂模爲佳。

六、熱穩定性 (thermal stability)

砂模受熱後，其內壁會立即膨脹，若鑄砂的熱穩定性不佳，則模穴容易破裂、變形，鑄件易產生結疤等現象。

七、可回收性 (is reusable)

鑄造工作因鑄砂的可反覆使用，使其甚具經濟性，故在調配選用不同的鑄砂時，應考慮其回收性，且鑄砂的再生應簡便，以免增加成本。如 CO₂ 砂、自硬性砂，回收性較濕模砂差，且需使用砂回收設備，費用較高。

以上所述為鑄砂應具備的主要特性，其中前三項，即強度、通氣性、耐火性為各種鑄砂的共同特性，其餘性質則視鑄造條件不同再行斟酌。例如殼模法，雖然殼模砂回收不易，但因鑄件精密度高、表面光潔，仍然為汽車零件業等樂於採用。再則，鑄砂除了應具備上述的特性外，理想的鑄砂，尚應具有容易混練、易於控制，可使鑄件表面光潔等性質。

為了獲得最佳的鑄造成品，對於鑄造廠內使用量最多、反覆使用頻率最高的鑄砂，應特別小心加以控制及定時定點取樣試驗。各種不同合金的鑄件應選用及調配不同的鑄砂，其適當的特性與成份可參考表 1 所示。

表1 適用於各種鑄件之鑄砂特性與成份參考值

鑄砂特性或成份 鑄件及鑄模	濕態壓縮強度 (psi)	乾態壓縮強度 (psi)	透氣度	模面 硬度	水分 (%)	砂試片 重(g)	火山 黏土 (%)	基砂粒 度指數 (AFS GFN)
鋁合金 (小型鑄件)	5-8	—	<30	70	3.0-3.5	—	5.0	90-180
鋁合金 (中大型鑄件)	7-10	—	40-80	75-80	3.0-3.5	—	5.0	90-180
銅合金 (中型, 地面模)	11-13	70-90	50-60	80-85	3.5	165-170	6.0	60-65
灰鑄鐵 (輕型, 擠壓模)	12-16	100-115	40-50	75-80	3.0-3.2	157-162	4.5	≥90
灰鑄鐵 (中型鑄件)	10-13	130-135	40-50	80-85	3.0-3.5	165-170	5.0	55-60
灰鑄鐵 (中大型, 表面乾模)	8-10	180-240	60-70	80-85	3.5-4.0	165-170	5.0	60-80
灰鑄鐵 (中大型, 乾砂模)	9-11	165-175	45-60	80	4.0	170-175	10.0	60
球墨鑄鐵 (小型, 擠壓模)	12-16	100-115	40-50	75-80	3.0	156-160	4.5	≥90
球墨鑄鐵 (中型鑄件)	14-16	80-85	60-70	80-85	3.5	165-170	6.0	60-65
球墨鑄鐵 (中大型, 表面乾模)	8-10	180-240	60-70	80-85	3.5-4.0	165-170	5.0	60-80
鑄鋼 (小型, 檯面造模)	8-11	80-100	40-60	75-80	3.0-3.5	165-168	5.0	60-90
鑄鋼 (小型, 擠壓造模)	10-14	90-100	85-90	85	3.5	160-165	5.8	60-65
鑄鋼 (中型, 地面造模)	11-13	70-90	50-60	80-85	3.5	165-170	6.0	60-65

說明：

- 1.資料整理自 C.A. Sanders : Foundry Sand Practice, 6th ed. pp.54~313。
- 2.壓縮強度 $1\text{psi} = 0.069\text{kg/cm}^2 = 6.9 \times 10^{-3}\text{N/mm}^2 (\text{MP}_a) = 6.9\text{KP}_a$
- 3.中大型採乾砂模之鑄砂特性或成份適用灰鑄鐵、球墨鑄鐵及鑄鋼，其中10%火山黏土 (Bentonite) 包含8%的耐火黏土 (Fireclay)。

貳、鑄砂的取樣與測試

鑄件的成敗與砂模有很密切的關係，而鑄砂（molding sand）的成分與性質直接影響砂模的品質，故穩定鑄砂性質是砂模鑄造廠內非常重要的日常工作。控制鑄砂性質最客觀的方式，就是採用各種標準化測試儀器，定時、定點取樣進行鑄砂性質測試，且逐日、逐次記錄並做統計分析，以便選取適當的鑄砂成分或用量，設計合適的混練及造模條件，且可做為澆鑄及日後鑄件瑕疵分析的追蹤參考依據。

一、鑄砂樣本準備及取樣

所有的鑄砂性質測試，都需事先選取鑄砂樣本，即所謂取樣（sampling），取樣不客觀，則測試結果亦不可靠，因此，取樣必須謹慎、客觀且合理，使測試結果能代表全部鑄砂的性質。

再者，除了取樣外，鑄砂強度及透氣性的試驗，必須先製作鑄砂試片（sand specimen），因為此兩種性質取決於搗實的程度，故需小心製作標準砂試片，期能代表鑄砂的真實性質。

鑄砂樣本數量的多寡也是取樣時，另一項必須注意的因素，由於每一種不同參數的鑄砂進行每一項性質測試，均需試驗至少三次，而每一次測試的誤差值應控制在 10% 範圍內，以求取平均值，否則應捨棄重做；且相同參數的鑄砂可能需進行兩項以上的性質測試，故同一種鑄砂樣本有時需準備一項試驗時鑄砂基本需求量的數十倍以上。因此，寧可準備充分的鑄砂樣本備用，以免砂樣不足重新取樣，影響實驗結果的正確性與客觀性。一般除了造模用砂外，實驗室用鑄砂樣本可用 3~5 公升（ℓ）的有蓋塑膠桶密閉盛裝（編號），避免水分蒸發，影響其他鑄砂性質。

(一)新調配的鑄砂樣本：因應新訂單的需求或欲改變原有的鑄砂成分，可先在實驗室調配新處方，依砂模所需的性質，配製適當的鑄砂成分與含量，選用合乎現場生產需求的混練條件（含混砂機型、混練時間等），混練完成之鑄砂放在密閉容器內備用，圖 1 及圖 2 為兩種實驗用混砂設備。

(二)回收砂或系統砂取樣：應每天或隔天，定時（如上下午各一次，開工後一小時）、定點（造模區或造模線上各角落）各取適量鑄砂樣本，用密閉容器編號、記錄備用。其中，手工造模區應從砂堆表面下方約 20 公分處選取，且應在同一砂堆不同角落各取一部分，混合後用八目砂篩去除砂中鐵屑雜物；而機械造模用砂，應在混砂機與造模機間的輸送帶上或運砂車內取樣，且應多取幾處混合備用。

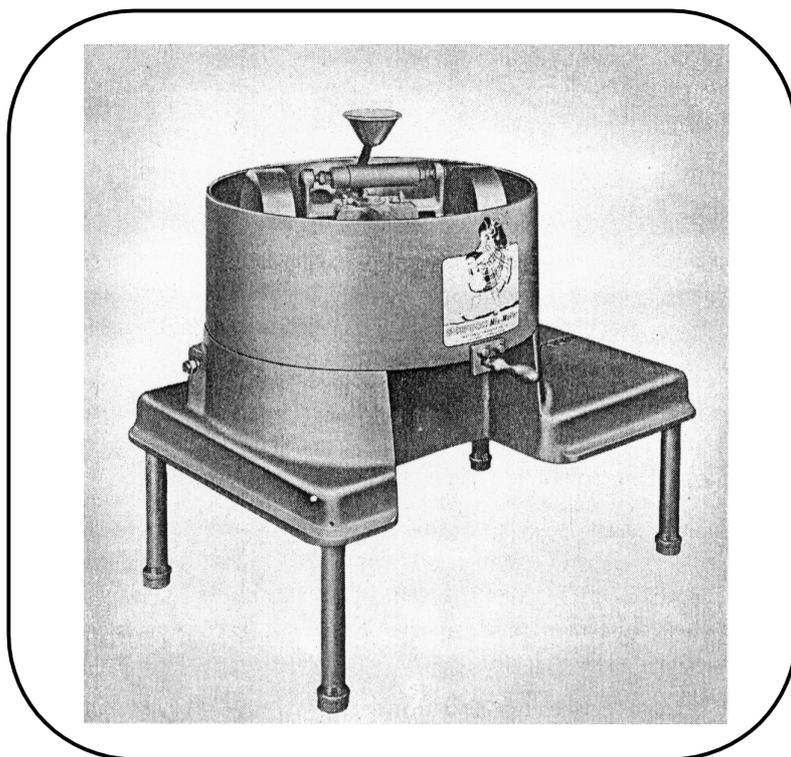


圖 1 實驗室用辛普森型混砂機



圖 2 實驗室用 B&P 快速混練機

二、鑄砂特性測試

本單元主要根據美國鑄造學會（AFS）之標準，按鑄砂的重要特性及一般鑄造廠的需求，依序介紹鑄砂的壓縮比、水分、全黏土、粒度指數、透氣度、強度、表面硬度、造模性、活性黏土及燒灼減量、揮發物等特性或含量的測試。其中，透氣度及強度測試需先製作鑄砂標準試片；表面硬度測試則應先製作砂模以利試驗工作；其餘各種測試都只要秤取鑄砂樣本即可進行，但部分項目測試前需先將砂樣本烘乾。

每一項性質或含量測試，都依測試用儀器及材料、測試原理或目的、測試程序等詳加介紹說明如后。

參、鑄砂試片（Sand specimen）製作

一、儀器及材料

- (一)搗砂機（sand rammer）一台，含試片管一個、試片座一個、清潔試片管用羊毛刷一支、試片頂出桿一支，如圖 3 所示。
- (二)鑄砂漏斗一台，含四目砂篩，如圖 4 所示，試片管一個。
- (三)電子天平一台，如圖 5 所示。
- (四)各種實驗用鑄砂樣本若干（各用有蓋密閉桶盛裝、編號備用）。

二、製作目的

依標準製作程序，製作 AFS 標準砂試片，直徑 2 吋（50.8mm），高度 $2 \pm 1/32$ 吋（ $50.8 \pm 0.8\text{mm}$ ），以便作為測試鑄砂的透氣性、強度等性質時使用。

三、製作程序

- (一)清潔試片管內壁後，套上試片座，並安置於鑄砂漏斗下方。
- (二)取適量鑄砂樣本，經四目網篩及漏斗，填入試片管。
- (三)將試片管及試片座同時移置搗砂機中央固定孔座上（先將錘桿抬高），如圖 6 所示。
- (四)手搖凸輪把手，利用標準錘（ $14 \pm 0.051\text{b}$ 或 6.35kg ）從固定高度自由落下打擊錘桿（打擊重力 $17.5 \pm 0.051\text{b}$ 或 $7940 \pm 22.7\text{g}$ ），搗實鑄砂。
- (五)連續搗實三次，使錘桿頂端剛好在搗砂機正上方的三線刻度內，則砂試片高度即達標準尺寸公差範圍（ $2 \pm 1/32$ 吋）內。
- (六)取出試片管，移開試片座，此時砂試片仍在管中，可立即進行透氣性測試；若欲進行鑄砂強度測試，則應利用頂出桿推出試片，才可進行測試。
- (七)為便於製作標準試片，可在第一次完成合格試片時，秤量試片重量，並據以秤取適量鑄砂製作試片。標準鑄砂試片重量約為 155~175g。

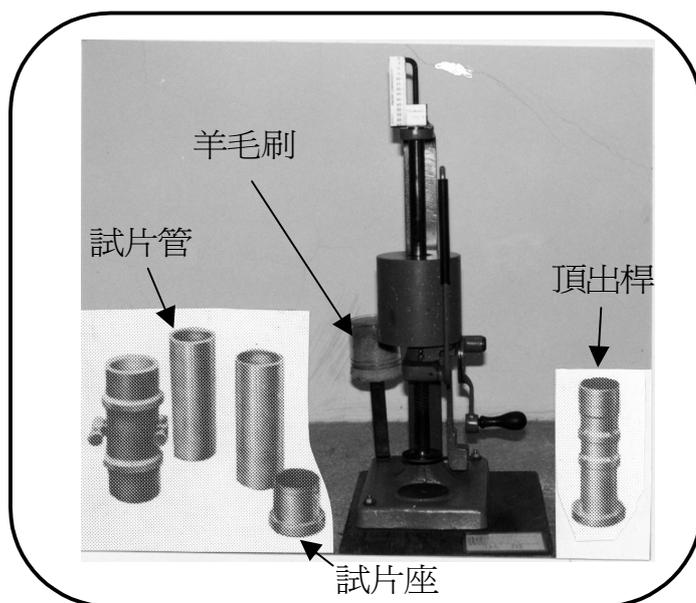


圖3 搗砂機及附件



圖4 鑄砂漏斗

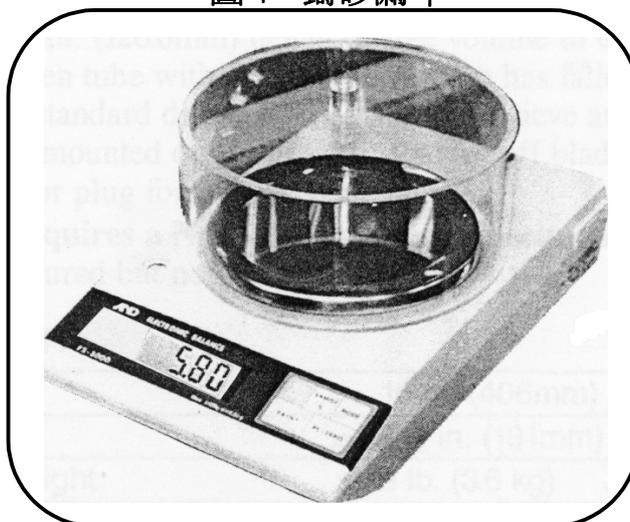


圖5 電子天平



圖 6 抬高錘桿，將試片管安置固定孔座上

四、注意事項

- (一)裝填鑄砂於試片筒時，不可擠壓。
- (二)錘擊三次後，若錘桿頂端不在三線刻度 ($2 \pm 1/32$ 吋) 範圍內，應廢棄重做，並酌量增減鑄砂填充量。
- (三)廢棄或試驗過之鑄砂，應裝於另外之桶中，並於試驗完畢時，送回各該類砂堆。
- (四)任何鑄砂試驗，每一次試驗結束，應將試驗過之鑄砂“徹底”清除；並將機具擦拭乾淨回復原狀，才可進行下一次試驗。

肆、鑄砂壓縮比（CB 值）測試

一、測試儀器及材料

- (一)搗砂機一台附壓縮比標尺（刻度0~65）一支，如圖7所示。
- (二)含四目篩網之鑄砂漏斗，如圖4所示，含鑄砂試片管一支及刮尺一片。
- (三)鑄砂樣本及水各若干。

二、測試原理及目的

壓縮比測試係在搗實作用下，由鬆散鑄砂高度減少的百分比值而定，其值的大小直接影響鑄砂的造模表現，且可反應鑄砂的成熟度（degree of temper）。測試鑄砂的壓縮比可作為調整水分含量，及添加有效的黏土含量、混練、造模及鑄底分析的參考。水分含量越少，壓縮比越低，鑄砂的流動性佳，當鑄砂在成熟點時，壓縮比約為45%，高壓機械造模用鑄砂的壓縮比介於36~42%。

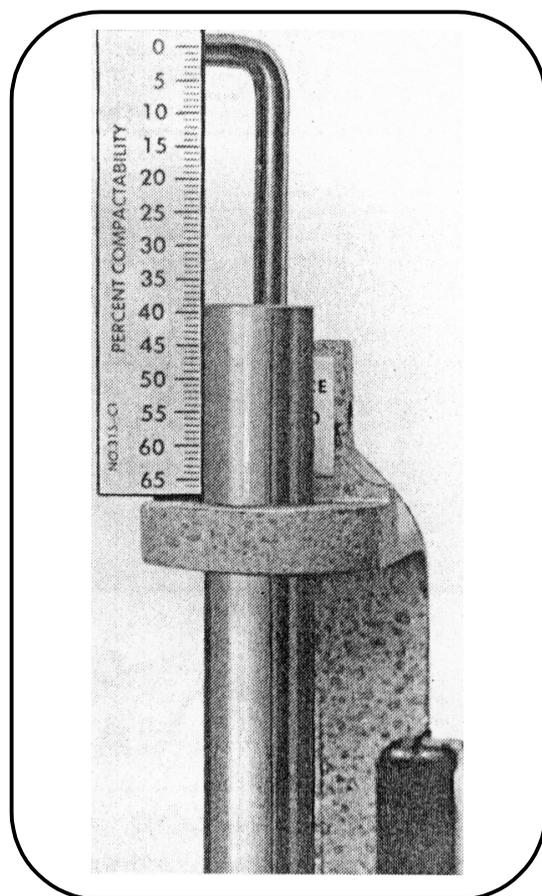


圖7 搗砂機上方附件——壓縮比標尺

三、測試程序

- (一)將鑄砂試片管擦拭乾淨，放置鑄砂漏斗下方試片座上。
- (二)取砂樣由上方之四目砂篩經漏斗自然填入試片管，用刮尺刮平試片管上方之砂面。
- (三)將試片管連底座一起移置搗砂機固定座上，用 6.35kg (14 磅) 之標準錘搗實三次。
- (四)由搗砂機錘桿頂端比對壓縮比標尺上之刻度,直接判讀鑄砂壓縮比的大小。其值係砂試片高度減少量除以試片管高度的比值，由下列公式計算。
- (五)鑄砂壓縮比公式：

$$\text{壓縮比 (CB, \%)} = \frac{\text{試片管高度} - \text{搗砂後試片高度}}{\text{試片管高度}} \times 100$$

學習評量一

請不要參閱資料或書籍，在下列各題寫出正確的答案。

一、是非題（40%）

- 1.乾砂模鑄造時，可不必考慮其透氣性。
- 2.鋼鐵鑄造採用之鑄砂的耐火性較非鐵合金所採用之鑄砂要求更高。
- 3.鑄砂試驗時，每一種材料只要測試一次即可。
- 4.AFS 標準砂試片的尺寸為 2" ϕ × 2"H。
- 5.製作鑄砂試片時，試片管應填滿鑄砂並刮平。
- 6.測試鑄砂壓縮比時，試片管應填滿鑄砂並刮平。
- 7.鑄砂水分含量較少時，其壓縮比亦較小，但流動性較佳。
- 8.鑄砂壓縮比值係砂試片高度減少量與試片管高度的比值。
- 9.製作鑄砂試片前，裝填鑄砂於試片管時，應用手擠壓以求密實。
- 10.鑄砂試片製作時，搗砂機的錘桿頂端應在三線刻度內，必要時，搗實的次數應酌予減少或增加。

二、選擇題（30%）

- 1.下列何者是鑄砂必備的三種主要特性？ (1)強度、耐火性、回收性 (2)透氣性、崩散性、強度 (3)耐火性、強度、透氣性 (4)以上皆是。
- 2.下列何種鑄砂特性試驗前需先製作砂試片？ (1)透氣性 (2)全黏土含量 (3)水分 (4)粒度。
- 3.鑄砂試片製作前，填入試片管的鑄砂應經過幾目篩網？ (1)2 目 (2)4 目 (3)6 目 (4)8 目。
- 4.高壓機械造模之鑄砂壓縮比為 (1)12~24% (2)24~36% (3)36~42% (4)42~56%。
- 5.下列何種試驗需先將砂試片用推桿推出後才可進行測試？ (1)透氣性 (2)造模性 (3)耐火性 (4)強度。

三、簡答題（30%）

- 1.試列舉鑄砂應具備的六種特性。
- 2.鑄砂試片製作的主要程序為何？
- 3.鑄砂壓縮比的公式為何？

筆記欄

學習評量一答案

你的答案應該包括下列要點：

一、是非題

1. (×) 濕砂模、乾砂模均需考慮透氣性，以防鑄件產生氣孔鑄疵。
2. (○)
3. (×) 至少應測試三次以上，以便求取平均值。
4. (○)
5. (×) 應稱取適當重量（約 160g）的鑄砂，且經三次錘擊後，高度在三線刻度內。
6. (○)
7. (○)
8. (○)
9. (×) 不可擠壓，以求客觀數據。
10. (×) 搗實三次，且錘桿頂端應在三線刻度內才可。

二、選擇題

1. (3)
2. (1)
3. (2)
4. (3)
5. (4)

三、簡答題

1. 強度、透氣性、耐火性、崩散性、熱穩定性、可回收性、流動性等。
2. (1) 用四目網篩及漏斗填適量鑄砂入試片管。
(2) 將試片管及試片座同時移置搗砂機固定孔座上。
(3) 手搖凸輪把手，使標準錘從固定高度自由落下，打擊錘桿，搗實鑄砂。
(4) 連續搗實三次，若錘桿頂端剛好在三線刻度內，即為合格的砂試片，否則應增減砂量重新製作。

$$3. \text{壓縮比 (CB, \%)} = \frac{\text{試片管高度} - \text{搗砂後試片高度}}{\text{試片管高度}} \times 100$$

假如你的答案與上述之重點相同，請翻到下一頁，假如你的答案不與上述之重點相同，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 5 頁重新閱讀，以便發現你的錯誤之處，並將第 16 頁上的錯誤改正，然後翻到第 19 頁。

太棒了！你已通過了學習評量一，如今你已能正確地說出鑄砂特性、鑄砂取樣、製作標準砂試片及測試鑄砂壓縮比。本教材的第二部份是要你能夠正確地完成鑄砂水分（Moisture）及全黏土（AFS clay）含量的測試工作。

本教材的第二個學習目標是

給你一些濕模砂材料，在無人幫助的情況下，你能依測試程序要領，正確地完成鑄砂水分（Moisture）及全黏土（AFS clay）含量的測試工作。

壹、鑄砂水分 (Moisture) 含量測試

一、測試用儀器及材料

- (一)水分含量測試器一台，如圖 8 所示，含砂盤（底層為 500 目之金屬網布）一個、溫度計（200℃）一支、特殊夾子一支、乾毛刷一支。
- (二)電子天平一台。
- (三)濕模砂樣本各 150 公克（50g×3 次）以上。



圖 8 水分含量測試器及附件

二、測試目的

測定濕模砂中的含水量，以作為配砂、造模及鑄件瑕疵分析的參考。水分可讓濕模砂中的黏土發揮黏結的功能，黏土中水分含量增加，鑄砂強度亦隨之增加，水分達到成熟點時，鑄砂強度最高；但當水分超過成熟點時，鑄砂強度反而降低。

三、測試程序

- (一)秤取 50g 的濕模砂樣本，使其均勻散佈在試驗砂盤內。
- (二)將砂盤安置在測試器下方彈簧夾具內。
- (三)開啓電源，並將溫度調整鈕轉至適當位置，開始加熱烘乾，並觀察溫度計之變化。

- (四)當溫度升至 105~110°C時，維持烘烤 15 分鐘後，將溫度調整鈕轉至“0”刻度，亦即送風冷卻而不再加熱。
- (五)用特殊夾子取出砂盤，再次秤量已「完全乾燥」的鑄砂重量。
- (六)依下列公式計算水分含量。若鑄砂樣本重量剛好 50g，則減少之重量大小乘以 2，即為濕模砂含水量的百分比。
- (七)鑄砂水分含量公式：

$$\text{鑄砂水分含量 (\%)} = \frac{\text{濕模砂樣本重量} - \text{烘乾後之砂重}}{\text{濕模砂樣本重量}} \times 100$$

範例：若鑄砂樣本重 50g，烘乾後之砂重為 47.6g，則該濕模砂含水量為何？

$$\begin{aligned} \text{解：鑄砂含水量} &= (50 - 47.6) \div 50 \times 100 \\ &= 2.4 \times 2 \\ &= 4.8 (\%) \end{aligned}$$

四、注意事項

- (一)溫度調整鈕有 0、1/4、1/2、1 四種刻度，0 代表只送風不加熱，1/4~1 代表加熱溫度由低到高。
- (二)試驗前應先將溫度計裝入測試器旁固定孔中，以便控制溫度，全部試驗完畢後，應拆下收好，以免遭受無意之破壞。
- (三)取出砂盤時應使用特殊夾子，以免高溫之砂盤燙傷手指。如圖 9。



圖 9 用特殊夾子取出砂盤

(四)砂樣烘烤應完全乾燥才可，若取出時發現並未完全乾燥，應再次放入烘烤，以求得正確數據。

(五)同一種砂應試驗三次，求其平均值，以代表其實際含水量。

貳、鑄砂全黏土（AFS clay）含量測試

一、測試用儀器及材料

(一)旋轉洗砂機一台，如圖 10 所示，含洗砂瓶四只、瓶蓋八個；或電動快速攪拌器一台，如圖 11 所示，含洗砂瓶一只。另備虹吸管一支、定時器一個。

(二)電子天平一台。

(三)焦磷酸化四鈉（ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ）一瓶（結晶狀、調製洗砂藥劑用）；蒸餾水一桶；已烘乾之鑄砂樣本各 200 公克（ $50\text{g}\times 4$ 瓶）以上。

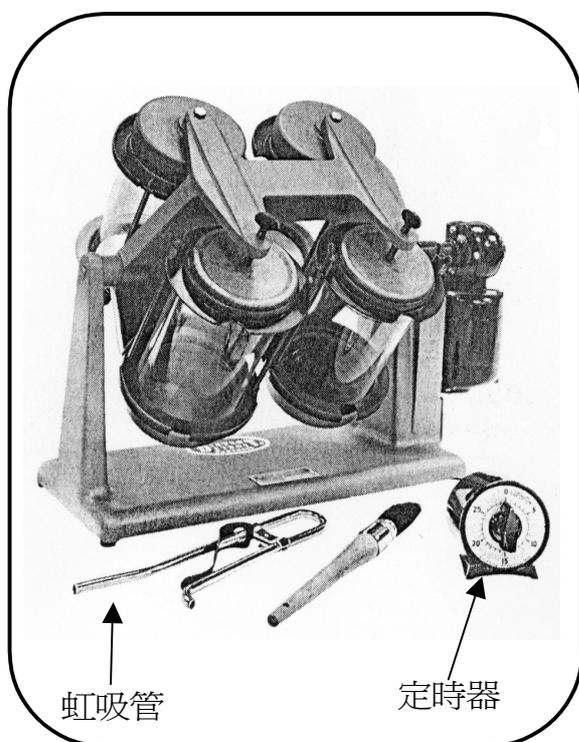


圖 10 全黏土含量測試用旋轉洗砂機



圖 11 全黏土含量測試用電動快速攪拌器

二、測試目的

測試濕模砂中所含的總黏土量，即 AFS 黏土含量的百分比，作為選砂、配砂及鑄件瑕疵分析的參考。AFS 黏土係指鑄砂中含有直徑小於 20μ ($20\times 10^{-6}\text{m}$ 或 0.02mm) 的所有微粒粉末；因此，全黏土含量中包括部分非黏土之添加劑，如糊精、煤粉等。

三、測試程序

- (一)調配洗砂藥劑：秤取 15g 焦磷酸化四鈉，使其溶入 1000cc 蒸餾水，快速攪拌 15 分鐘，稀釋得到 1.5% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 水溶液。
- (二)將濕模砂烘乾（105~110°C，15 分鐘），秤取 50g 乾模砂，放置洗砂瓶內。
- (三)在洗砂瓶中加入 25cc 的 1.5% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 水溶液及 475cc 蒸餾水；若鑄砂中含有穀粉（尤其是糊精），初次洗砂時不可添加蒸餾水。
- (四)安置洗砂瓶。若旋轉洗砂機只裝置兩瓶時，應安置在對角位置，以取得動態平衡。如圖 12 所示。



圖 12 洗砂瓶應裝置在對角線位置

- (五)開啓電源，使旋轉洗砂機轉動一小時，或用快速攪拌器攪動 5 分鐘以上，取下洗砂瓶，添加蒸餾水至 6 吋（150mm）高之刻度，以玻璃棒攪拌均勻，然後靜置 10 分鐘。
- (六)用虹吸管將洗砂瓶內之水吸出，留下至少 1 吋（25mm）的水及砂在瓶底，然後再加水至 6 吋（150mm）高，靜置 10 分鐘後吸出瓶內之水。
- (七)重複上述第(六)步驟數次，但第三次以後靜置時間為 5 分鐘，直到 5 分鐘末，在水面下 5 吋（125mm）範圍內之水清澈為止。
- (八)用水將洗砂瓶底已洗清之鑄砂沖流在砂盤內，烘乾後秤其重量。

(九)依下列公式計算鑄砂中之全黏土含量 (AFS clay)。若乾模砂樣本重量剛好 50g，則洗砂且烘乾後減少之重量大小乘以 2，即為濕模砂 AFS 全黏土含量的百分比大小。

(十)鑄砂全黏土含量公式：

$$\text{AFS 全黏土含量 (\%)} = \frac{\text{乾砂樣本重量} - \text{洗砂後乾砂重量}}{\text{乾態鑄砂樣本重量}} \times 100$$

範例：若烘乾後，鑄砂樣本重量 50g，洗砂且烘乾後之鑄砂重量為 46.15g，則該濕模砂的 AFS 全黏土含量為若干？

$$\begin{aligned} \text{解：鑄砂的 AFS 全黏土含量 (\%)} &= (50 - 46.15) \div 50 \times 100 \\ &= 3.85 \times 2 \\ &= 7.7 (\%) \end{aligned}$$

四、注意事項

- (一)鑄砂樣本必須在 105~110°C 溫度下烘烤大約 15 分鐘，直到完全乾燥才可以用來做試驗。
- (二)以前採用之洗砂藥劑為 1~3% 的苛性鈉 (NaOH) 水溶液，AFS 鑄砂試驗手冊建議改用 1.5% 的 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ，以免產生膠凝 (gelling) 現象。
- (三)洗砂瓶裝於旋轉架時，必須裝牢，以免發生危險。
- (四)使用虹吸管時，應先將管內充滿水，才能將濁水吸出。
- (五)黏附在瓶口及瓶蓋上的砂不可用手或其他器具去清理，以免砂散失而影響準確性 (可用水小心沖洗搜集在瓶內，集中處理)。

學習評量二

請在 60 分鐘內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照鑄砂全黏土含量（AFS clay）測試方法及正確程序，分析經過水分（Moisture）測試之濕模砂的全黏土含量。

材料：

- 一、已烘乾或經水分含量測試過之濕模砂 200 公克以上。
- 二、焦磷酸化四鈉（ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ）15 公克，或 1.5% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 水溶液 100cc。
- 三、蒸餾水（6 公升裝）一桶。

自我評量表：通過者打（√），不通過者打（×）

- 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- 3.時間：是否依規定在 60 分鐘內完成。
- 4.結果
- (1)四個洗砂瓶所測得之全黏土含量誤差均在 10%範圍內。
- (2)全黏土含量平均值與其他同學測得結果，或老師提供之資料的誤差值在 10%範圍內。

評分標準：你必須達到每個項目都是（√），才算合格。如果有一個（×）代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下一個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續下個學習目標；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

恭禧你！現在你已能在規定的時間內，正確地完成鑄砂水分及全黏土（AFS clay）含量的測試工作。接下來，你可開始學習本單元的第三部份教材了，你將學習如何正確地完成鑄砂粒度指數的分析工作。

本教材的第三個學習目標是

給你一些乾砂，在無人協助情況下，你能依粒度分析要領，正確地完成鑄砂粒度指數（AFS GFN）的分析工作。

鑄砂粒度指數 (AFS GFN) 分析

一、測試用儀器及材料

(一) 電動搖震篩砂機一台，如圖 13 所示，包含標準砂篩一組共十一個，篩號 6，12，20，30，40，50，70，100，140，200 及 270 各一個，另加一底盤及上蓋。(不同廠牌或不同時出廠之篩砂機，標準篩使用的號數可能不一樣，但並不影響結果)。

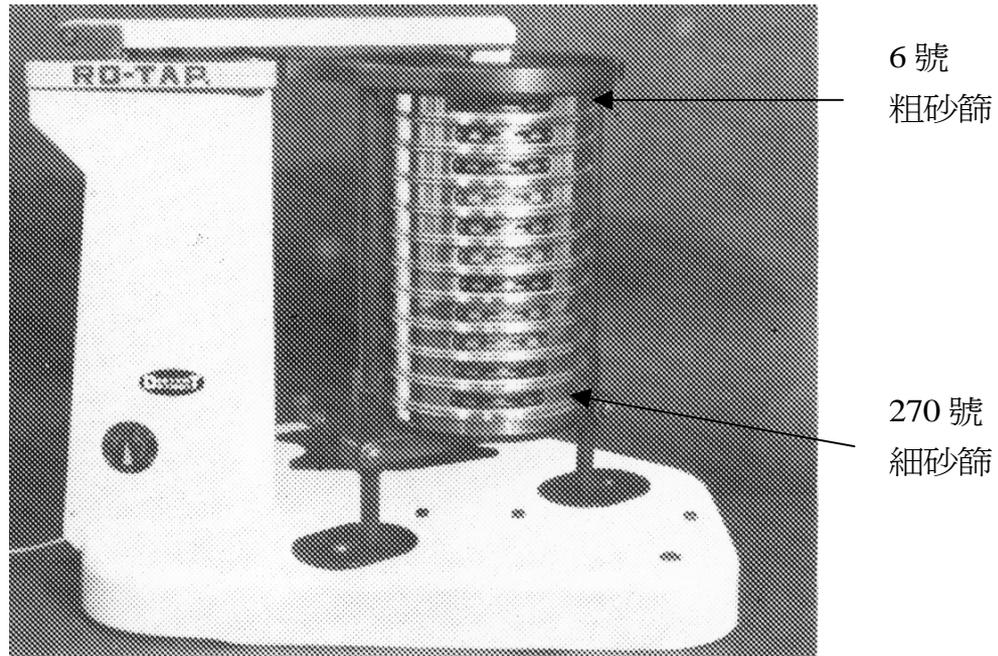


圖 13 粒度分析用電動搖震篩砂機

(二) 電子天平一台。

(三) 乾毛刷一支、舊報紙一張、B4 白紙十二張 (註明篩號及底盤)。

(四) 測試用基砂樣本，或全黏土含量測試後經烘乾之鑄砂樣本，各 150 公克 (50g×3 次) 以上。

二、測試目的

測定鑄砂粒度指數 (Grain fineness number, GFN) 及鑄砂粒度分佈 (Grain distribution)，作為選砂、配料及鑄件瑕疵分析的參考。鑄砂粒度號數大小會影響砂模透氣度及鑄件表面光度，粒度號數越大，透氣性越佳，但鑄件表面越粗糙，粒度指數依 AFS 標準計算；而粒度分佈會影響鑄砂的充填比，測試後一個篩網上殘留砂的重量百分比超過 10% 時稱為一峰 (1 screen)，具有良好充填比的鑄砂為四峰砂。

三、測試程序

- (一)清理篩網且依篩號大小由下往上依序疊放在篩砂機上。先安置底盤，然後放置 270 目之網篩（篩孔最小者），再依序向上擺放篩號 200，140，……等各號網篩。
- (二)秤取 $50\text{g} \pm 5\text{g}$ 之基砂或乾模砂樣本倒入最上層之 6 目篩網內，加上蓋子，扣緊篩網固定螺絲，並將錘桿轉回置放在蓋子上方，如圖 14 所示。



圖 14 扣緊篩網及轉回錘桿後才可啓動電源

- (三)調整定時器，啓動電源，使篩砂機搖震 15 分鐘。
- (四)時間終了，移開錘桿及固定螺絲，依次由上而下取出網篩，將篩網內殘留之砂粒倒在已編號之白紙上（最下方應鋪一張舊報紙）。
- (五)依序秤量及記錄各篩號上殘留之砂重，取小數兩位，扣除紙重後逐一記錄之。

四、鑄砂粒度指數（AFS GFN）計算及粒度分佈研判

- (一)如表 2 所示，將每一篩號上之砂重乘以 2，得到殘留砂的百分比。

表 2 鑄砂粒度分析計算範例

US 篩號	50g 砂樣殘留各網篩上		乘數	乘積
	gm	%		
6	—	—	3	—
12	—	—	5	—
20	—	—	10	—
30	0.40	0.80	20	16.0
40	2.55	5.10	30	153.0
50	8.15	<u>16.30</u>	40	652.0
70	17.10	<u>34.20</u>	50	1710.0
100	12.35	<u>24.70</u>	70	1729.0
140	6.20	<u>12.40</u>	100	1240.0
200	2.15	4.30	140	602.0
270	—	—	200	—
底盤	0.50	1.00	300	300.0
合計	49.40	98.80	—	6402.0

$$\text{AFS 粒度指數 (GFN)} = \frac{\text{乘積總和}}{\text{殘留砂百分比總和}} = \frac{6402}{98.8} = 64.8$$

(二)將各篩號之殘留砂百分比乘以規定的乘數（以上一層篩號為原則，代表過篩之極限），分別得到一乘積。

(三)將各篩號所得之乘積累加得到「乘積總和」，然後除以「殘留砂百分比總和」，所得的商即為 AFS 粒度指數。

(四)表 2 之鑄砂粒度指數 AFS GFN = 64.8；粒度分佈係為四峰砂。

五、注意事項

(一)砂篩疊放必須按粗細或號數大小順序，切不可顛倒或擺錯，以免前功盡棄或影響準確性。

(二)將篩網內的砂取出時應特別小心，不可失落砂粒影響結果；亦不能用金屬刷清除篩孔內殘留的砂粒，如此將損傷網線。

(三)若欲集中稱取各砂篩內的砂粒重量時，記得應在紙上編號，以免記錄錯誤或混淆不清，影響分析結果及正確性。

學習評量三

請在 60 分鐘內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照鑄砂粒度指數（AFS GFN）分析方法及正確的測試程序，分析所提供的新矽砂或經全黏土含量測試過且已烘乾之鑄砂的粒度指數，並分析其粒度分佈情形。

材料：

- 一、乾矽砂或經全黏土含量測試且已烘乾之鑄砂 150 公克以上。
- 二、舊報紙一大張、B4 白紙十二張。
- 三、簽字筆或奇異筆一支。

自我評量表：通過者打（√），不通過者打（×）

- 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- 3.時間：是否依規定在 60 分鐘內完成。
- 4.結果
- (1)三次測試分析所得之粒度指數誤差均在 10%範圍內，且粒度分佈之結果均相同。
- (2)粒度指數平均值與其他同學分析結果，或老師提供之資料的誤差在 10%範圍內，且粒度分佈之結果均相同。

評分標準：你必須達到每個項目都是（√），才算合格。如果有一個（×）代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下一個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續下一個學習目標；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

好極了！如今你已能依粒度分析要領，正確地完成鑄砂粒度指數（AFS GFN）的分析工作。本教材的第四部份是要你能依測試程序要領，正確地完成鑄砂透氣度及強度的測試工作。

本教材的第四個學習目標是

給你一些鑄砂材料，在無人協助情況下，你能依測試程序要領，正確地完成鑄砂透氣度（Permeability）及強度（Strength）的測試工作。

壹、鑄砂透氣度 (Permeability) 測試

一、測試用儀器及材料

- (一)浮筒型透氣度測試器 (Drum type permimeter) 一台，含 2000cc 浮筒一個，如圖 15 所示；或電動式透氣度測試器 (Electric permimeter) 一台，含直徑 1.5mm 及 0.5mm 之大小孔板 (orifice) 各一個，如圖 16 所示。
- (二)搗砂器一台及試片管一個。
- (三)鑄砂樣本一桶，標準鑄砂試片 (含試片管) 各製三個以上。



圖 15 浮筒型鑄砂透氣度測試器

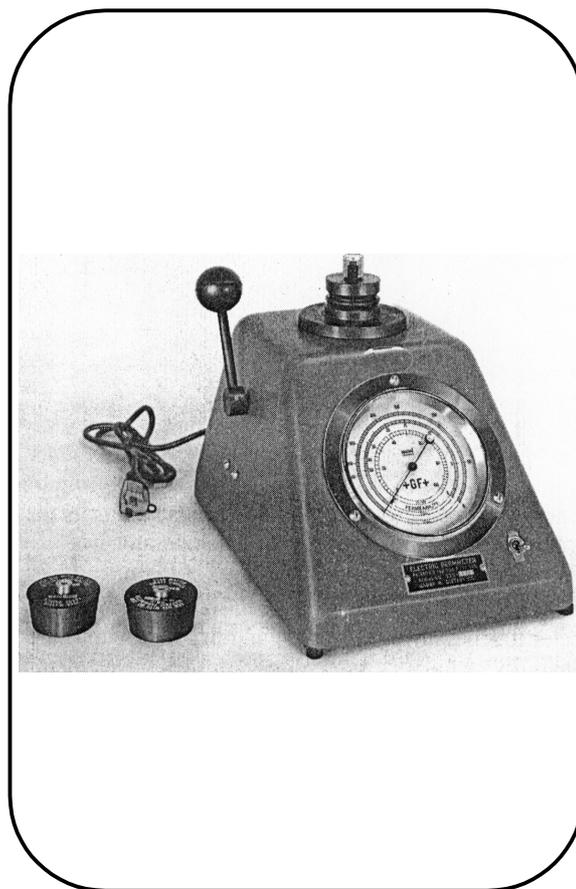


圖 16 電動式鑄砂透氣度測試器

二、測試目的

測試鑄砂的透氣度，可作為調砂、造模及鑄件瑕疵分析的參考。透氣度大小會影響鑄件的成敗，透氣度太高，金屬液容易造成穿透瑕疵；透氣度太低，則鑄件易形成氣孔或滯流等鑄疵。

三、碼錶計時法測試程序 (採用浮筒型，如圖 15)

- (一)先將測試器右側把手推至最遠位置，關閉通氣孔道。

- (二)於主體水槽中加水至所需水位高度。
- (三)將浮筒拉高，使其浮於“X” 刻度位置（浮筒“X” 記號上方，由下往上依序刻劃 0~2000 之刻度，代表浮筒內之空氣量 cm^3 或 cc 數）。
- (四)將搗實完成之標準鑄砂試片連同試片管安置在試片座上（試片管中空端朝下）。
- (五)輕拉把手向內，讓浮筒中之空氣穿過鑄砂試片，當浮筒緩慢降至“0” 刻度時，開始用碼錶計時，直到刻度“2000”，完成計時（以秒計）。
- (六)重複上述步驟，求取三次測試之平均秒數。
- (七)依下一節之公式，計算鑄砂的透氣度。

四、鑄砂透氣度計算法

(一)何謂透氣度？

透氣度的定義是在 $1\text{gm}/\text{cm}^2$ 的壓力下，每分鐘通過面積 $1\text{cm}^2 \times 1\text{cm}$ 高之鑄砂試片的空氣體積量（ cm^3 或 cc）。

(二)AFS 鑄砂透氣度的意義：

AFS 鑄砂透氣度是已知空氣量（2000cc）在 10cm 水柱高（因標準浮筒重量而形成）的壓力下通過 AFS 標準鑄砂試片（2 吋直徑 \times 2 吋高）的速率。

(三)故透氣度計算公式如下：

$$P = \frac{V \times h}{p \times A \times t} \text{ 或 } P = \frac{50.12}{t_1} = \frac{3007.2}{t_1}$$

式中 P=AFS 鑄砂透氣度（單位可以 cc/min 表示）

V=空氣量， 2000cm^3 或 2000cc

h=試片高度，5.08cm（2 吋）

p=氣壓，10cm 水柱高或 $10\text{g}/\text{cm}^2$

A=試片斷面積， 20.27cm^2 （ 3.14in^2 ）

t=通氣時間， t_1 =時間（分）， t_2 =時間（秒）

五、孔板法測試原理及程序：（採用電動式，如圖 16）

電動式透氣度測試器係以高速吹風機送出固定壓力（10cm 水柱高或 $10\text{g}/\text{cm}^2$ ）的空氣，使其經過一孔板後，透過標準試片管中之鑄砂試片，則風壓之高低即代表鑄砂透氣度之大小，壓力越高代表透氣度越差（小），由儀器指針即可直接判讀鑄砂透氣度的大小。其測試程序如下：

- (一)選擇孔板大小：放鬆孔板蓋，左右滑動孔板，看到“S” 記號代表小孔，“L” 記號代表大孔，選定後旋緊孔板蓋。直徑 0.5mm 之小孔板適用於透氣度較差者（49c.c/min 以下）；直徑 1.5mm 之大孔板適用於透氣度較佳者（36c.c/min 以上），一般以透氣度 50 為選用依據。

- (二)確認風壓：將把手推到最後（遠）方，打開電源且調整變阻器旋鈕（機座右下），使白色記號朝正上方；在馬達運轉中，小心旋轉壓力調整螺桿（機座後上方），直到指針指在面盤內圈刻度 100（代表 100mm 水柱高之壓力）。此時，變阻器旋鈕左右各轉動 30° 亦不會明顯影響壓力讀數。
- (三)將標準鑄砂試片連同試片管安置在試片座上，管之中空端朝下。
- (四)向內輕拉把手，扣緊試片管且讓空氣穿透鑄砂試片。
- (五)讀取測試器指針所指的適當刻度，記錄透氣度讀數：小孔板應讀取中圈刻度（透氣度 50 以下），大孔板則讀取最外圈刻度（50 以上）。

範例：採用浮筒型透氣度測試器試驗某鑄砂試片，若三個砂試片試驗過程中之碼錶針時分別為 1 分 06 秒，58 秒及 1 分 02 秒，則此鑄砂之 AFS 透氣度為若干？

$$\text{解：(一)AFS 透氣度 } P = \frac{V \times h}{p \times A \times t} = \frac{3007.2}{t \text{ (秒)}}$$

$$\therefore P_1 = \frac{3007.2}{66} \approx 46$$

$$P_2 = \frac{3007.2}{58} \approx 52$$

$$P_3 = \frac{3007.2}{62} \approx 49$$

$$\text{故 } P = (P_1 + P_2 + P_3) \div 3 = 49$$

$$\text{(二)} \therefore t = (t_1 + t_2 + t_3) \div 3 = (66 + 58 + 62) \div 3 = 62 \text{ (秒)}$$

$$\therefore P = \frac{3007.2}{t} = \frac{3007.2}{62} = 49$$

答：此種鑄砂之 AFS 透氣度為 49 (cc/min)

六、注意事項

- (一)透氣度試驗機應保持水平，以利試驗工作進行。
- (二)孔板應保持清潔，有阻塞現象時可用木質針條清除，避免使用金屬針，以防擴大孔徑，影響準確性。
- (三)試驗完畢應放掉水槽中的水，並將水槽及浮筒內部擦拭乾淨，以免生銹堵塞孔道。

貳、鑄砂強度（Strength）測試

一、測試用儀器及材料

- (一)擺錘型鑄砂強度試驗機一台及抗壓、抗剪或抗拉用試片座等附件，如圖 17 所示。
- (二)搗砂機一台及試片管、頂出桿等附件，如圖 3 所示。
- (三)鑄砂樣本及標準鑄砂試片各三個以上。

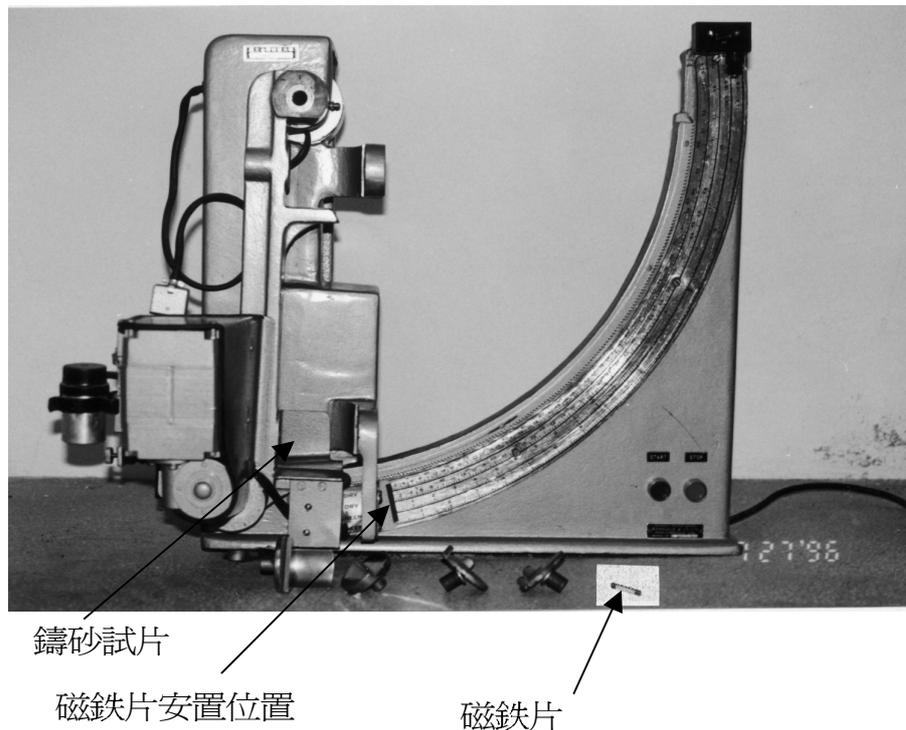


圖 17 鑄砂抗壓、抗剪及抗拉強度試驗機

二、測試目的

測定鑄砂的濕態、乾態抗壓強度，濕態、乾態抗剪強度，或乾態抗拉強度，作為調砂、造模及鑄疵分析的參考。乾態抗壓強度與乾態抗剪強度的比值可作為鑄砂混練效率的指標。

三、測試程序

- (一)調整強度試驗機水平；安置磁鐵片在標尺上緊靠擺錘懸臂前端。
- (二)選取適當的試片座及壓縮頭（抗壓或抗剪用），並安置在試驗機上。
- (三)將預先搗實完成的標準鑄砂試片安置在試片座及壓縮頭之間。

- (四)啓動馬達，將鑄砂試片沿圓弧方向往上推進，由擺錘之荷重，沿試片之軸向施加漸增壓力，其增加率為 $30 \pm 5 \text{psi/min}$ ($206.8 \pm 34.5 \text{KPa}/\text{min}$)，直到鑄砂試片破裂，馬達自動逆向退回。
- (五)讀取並記錄適當的鑄砂強度（濕態、乾態，抗壓或抗剪）。磁鐵片停留於破裂時之位置，其下方之標尺刻度即代表該試片之強度。
- (六)清除破壞之砂料，並按步驟(一)至(五)連續試驗三次，求其平均數，若某次試驗結果誤差在平均值 10%以上時，該次試驗應廢棄，重新再做一次。

四、測試範圍

濕態抗壓強度為 0-18psi ($1.26 \text{kg}/\text{cm}^2$, 124KPa)，乾態抗壓強度為 0-94psi ($6.60 \text{kg}/\text{cm}^2$, 648KPa)，濕態抗剪強度 0-15psi ($1.05 \text{kg}/\text{cm}^2$, 103KPa)，乾態抗剪強度 0-73psi ($5.13 \text{kg}/\text{cm}^2$, 503KPa)。

五、注意事項

- (一)試驗機上之標尺，由上而下依次有乾態抗壓 (Dry Comp.)、乾態抗剪 (Dry Shear)、濕態抗壓 (Green Comp.) 及濕態抗剪 (Green Shear) 強度等四種刻度，測試時應讀取合適之標尺刻度。
- (二)乾態鑄砂強度測試，應先將鑄砂試片在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 的爐溫下烘乾 2 小時，待冷至室溫後，才可取來做測試。
- (三)乾態抗拉強度測試，應先搗製“∞”型鑄砂試片，烘乾後安置在抗拉強度附件上，如圖 18 所示，再依上述程序進行測試，但應讀取“乾態抗剪強度”刻度值，然後乘以 5 倍，即得乾態抗拉強度。

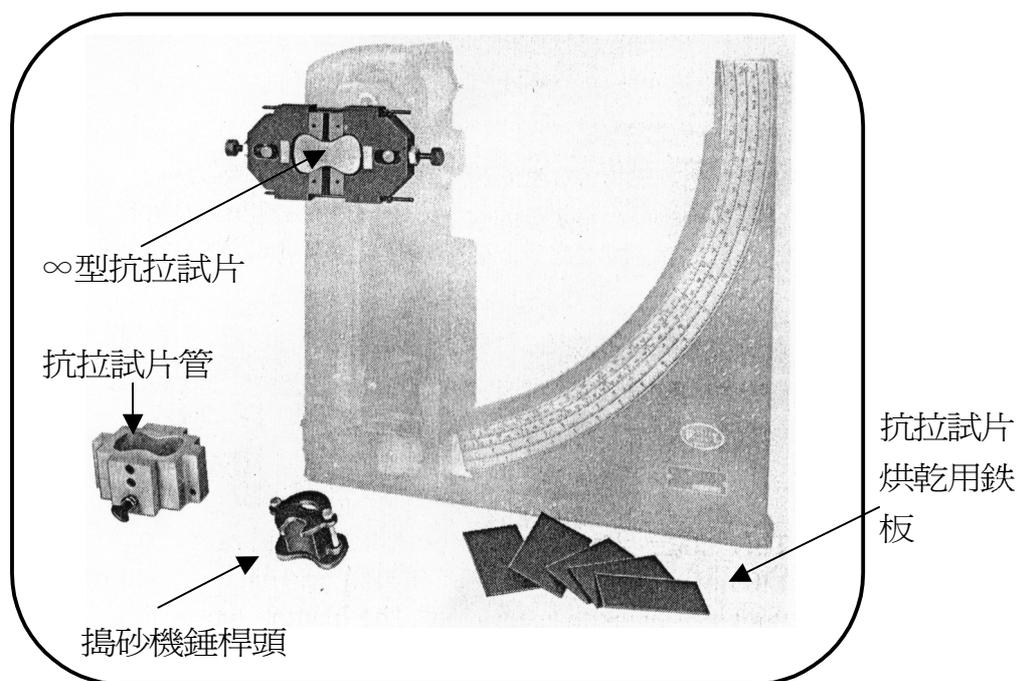


圖 18 鑄砂乾態抗拉強度試驗裝置

學習評量四

請在 60 分鐘內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照鑄砂透氣度及強度測試方法及要領，測試分析所提供之濕模砂的透氣度及其抗壓強度、抗剪強度。

材料：

- 一、濕模砂樣本一桶（五公升裝，加蓋）。
- 二、自來水一桶（二公升裝）。

自我評量表：通過者打（√），不通過者打（×）

- 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- 3.時間：是否依規定在 60 分鐘內完成。
- 4.結果：
- (1)三次測試所得之透氣度、抗壓強度或抗剪強度的誤差均在 10%範圍內。
- (2)鑄砂透氣度、抗壓強度或抗剪強度之平均值與其他同學測得之結果，或老師提供之資料的誤差均在 10%範圍內。

評分標準：你必須達到每個項目都是（√），才算合格。如果有一個（×）代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下一個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續下一個學習目標；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

耶！過關了！現在你已能依測試程序要領，正確地完成鑄砂透氣度（Permeability）及強度的測試工作。接下來，你可以開始學習本教材的第五部份了，你將學習依測試程序要領，正確地完成濕砂模模面硬度的測試工作。

本教材的第五個學習目標是

給你一個濕砂模，在無人幫助的情形下，你能依測試程序要領，正確地完成砂模模面硬度（Mold surface hardness）的測試工作。

濕砂模模面硬度（Mold surface hardness）測試

一、測試用儀器及材料

(一)濕砂模硬度測試計一個。硬度計有兩種型式：

1.B 型硬度計：如圖 19 所示，底部有半徑 0.500 吋（12.70mm）的可彈動壓痕球，凸出基準面 0.100 吋（2.54mm），測試硬度範圍 0~100，彈簧強度可在 980g 之荷重下，移動壓痕球 0.100 吋，而達最大刻度值 100。

2.C 型硬度計：如圖 20，具圓錐形壓痕器，測試範圍 65~100，彈簧強度可在 1500g 荷重下達最大刻度值 100。硬度 85 以上，宜選用 C 型。

(二)各式濕砂模（含手工造模及機械造模）



圖 19 “B 型” 濕砂模硬度計及其底部壓痕球



圖 20 “C 型” 濕砂模硬度計

二、測試原理及目的

模面硬度代表砂模表面對負有荷重之壓痕球(或圓錐體)壓陷的抵抗能力。以 B 型為例，測試時，若壓痕達 0.100 吋深，即壓痕球完全陷入砂模內，則硬度值為 0，表示砂模極軟；反之，若無凹痕產生，則硬度值為 100，表示砂模極硬。亦即壓痕球每陷入 0.001 吋(凸出量的百分之一)深，則硬度計指針前進一格，代表增加硬度值為 1，如圖 21 所示。測定砂模硬度值，可作為調砂、造模、澆鑄及鑄疵分析的參考。

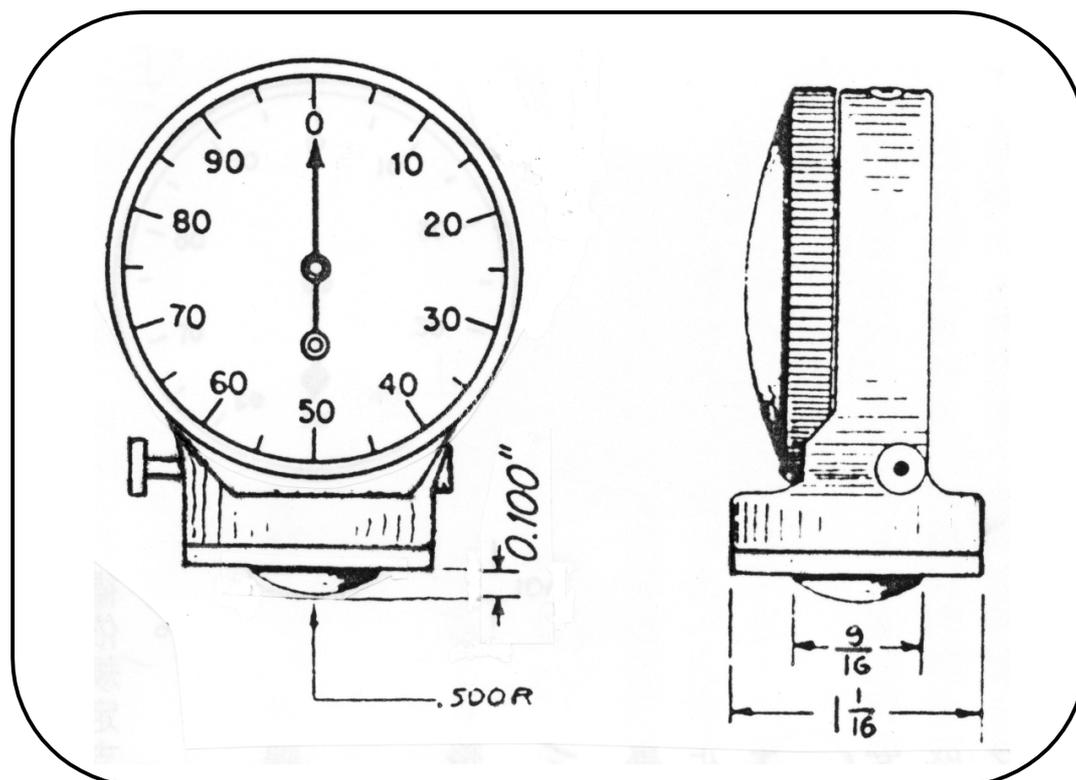


圖 21 濕砂模硬度計底部壓痕球示意圖

三、測試程序

- (一)輕壓硬度計左右兩側按鈕，將指針歸零(必要時旋轉盤面透明蓋)。
- (二)用手掌虎口握住硬度計，輕壓按鈕，同時將硬度計垂直壓在砂模表面，使壓痕球(或圓錐體)陷入砂模內，直到底部基準平面與砂模表面平齊為止，如圖 22 所示；鬆開按鈕，使指針停留在當時之硬度值，然後移開硬度計。
- (三)讀取並記錄硬度值後，依上述步驟，在同一砂模表面不同位置測試三點，所得之平均值即代表該濕砂模之模面硬度值。



圖 22 濕砂模模面硬度測試情形

四、注意事項

- (一)砂模硬度計使用後應將指針歸零（按下按鈕），以免彈簧長久受壓，產生彈性疲勞。
- (二)硬度測試的位置應距模穴及砂箱各約 1 吋以上的距離，以免影響模穴的尺寸及測試結果的準確性；且至少應測試三處以上，以求取客觀的數據。模穴內應避免測試，否則將破壞鑄件表面。
- (三)試驗完畢後，應將硬度計上所黏附之鑄砂清除乾淨，以延長使用壽命。

學習評量五

請在 10 分鐘內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照砂模模面硬度測試方法及要領，測試已完成之濕砂模的模面硬度。

材料：

- 一、手工造模之濕砂模（同人同材料造模）三組以上（不合模）。
- 二、機械造模之濕砂模（同人同材料同機械造模）三組以上（不合模）。

自我評量表：通過者打（√），不通過者打（×）

- 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- 3.時間：是否依規定在 10 分鐘內完成。
- 4.結果：
 - (1)每一砂模採三點測試所得平均硬度，手工砂模或機械砂模彼此間之誤差在 10%範圍內。
 - (2)手工砂模或機械砂模之模面硬度與其他同學或老師測得之結果的誤差均在 10%範圍內。

評分標準：你必須達到每個項目都是（√），才算合格。如果有一個（×）代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下一個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續下一個學習目標；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

太棒了！你已學會依測試程序要領，正確地完成濕砂模模面硬度的測試工作。如今你已可以準備開始學習本單元的第六部份教材，即鑄砂的造模性及活性黏土含量的測試工作。

本教材的第六個學習目標是

給你一些鑄砂材料，在無人幫助的情況下，你能依測試要領，正確地完成鑄砂的造模性（**Moldability**）及活性黏土（**Active clay**）含量的測試工作。

假如你認為能勝任上述目標之要求，請翻到第 49 頁做學習評量，假如你需要多學習點，請翻到下一頁或閱讀參考書籍。

壹、鑄砂造模性 (Moldability) 測試

一、測試用儀器及材料

- (一)造模性測試機一台，附自動斷電定時器及可轉動的圓筒狀八目網篩，直徑 7 吋 (177.8mm)，馬達轉速 57rpm，如圖 23 所示。
- (二)集砂盤一個、取砂杓子一個、乾毛刷一支。
- (三)電子天平一台。
- (四)鑄砂樣本各 600 公克 (200g×3 次) 以上。

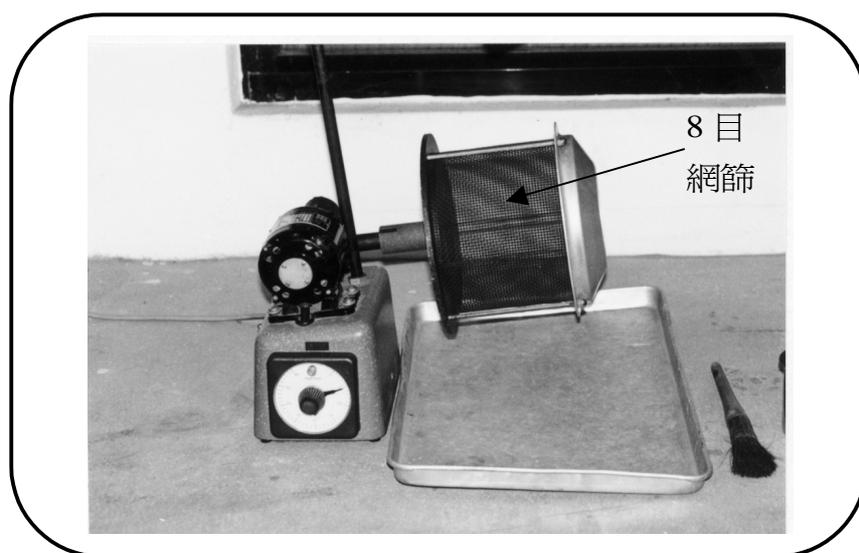


圖 23 鑄砂造模性測試機

二、測試原理及目的

造模性測試係檢驗鑄砂顆粒間黏結的情形，其指數大小代表鑄砂流入砂箱及環繞模型四周的能力。造模性指數相當於被篩落鑄砂佔原來鑄砂樣本的百分比值，一般以指數表示而不用百分比，指數 100 表示係完全乾燥的鑄砂，故最佳造模性應小於 100。造模性大小深受鑄砂含水量、黏土含量及鑄砂存放時間的影響，測試造模性可間接測試水分與黏土的比值，水分低時，鑄砂黏結性低，流動性良好，造模性指數高，強度高而脆；反之，水分高時，黏結性增加，脆性減低，強度低，造模性不良。一般灰鑄鐵用鑄砂最佳造模性指數介於 65~80，鑄鋼用鑄砂則介於 40~65。

三、測試程序

- (一)將集砂盤清潔後安置在轉動篩網下方，以便收集篩落的鑄砂。
- (二)用粗篩 (3~4 目) 選取砂樣，秤取 200 公克。
- (三)將砂樣倒入篩網內，使其旋轉 10 秒鐘。
- (四)收集篩落之鑄砂，秤其重量。

(五)依下列公式計算造模性指數。若砂樣剛好 200g，則篩落鑄砂重量除以 2g，即為造模性指數。

(六)鑄砂造模性指數公式：

$$\text{鑄砂造模性指數} = \frac{\text{篩落的鑄砂重量}}{\text{原來鑄砂樣本重量}} \times 100$$

範例：稱取 200 公克的鑄砂樣本倒入造模性測試機之篩網轉筒內，定時旋轉 10 秒鐘，若篩落在砂盤內之鑄砂重量為 152 公克，則此鑄砂之造模性指數為若干？

解法：(一)鑄砂造模性指數 = $\frac{152\text{g}}{200\text{g}} \times 100 = 76$

(二)鑄砂造模性指數 = $152\text{g} \div 2\text{g} = 76$

貳、鑄砂活性黏土 (Active clay or live clay) 含量測試

一、測試用儀器及材料

(一)亞甲基藍黏土測試器 (Methylene blue clay tester) 一組，含兩個 250ml 的不銹鋼燒杯、50ml 滴定量管一支、快速攪拌器 (1500rpm) 一個、茶色玻璃瓶 (盛裝亞甲基藍溶液用) 一個及溶液回流瓶一個，如圖 24。

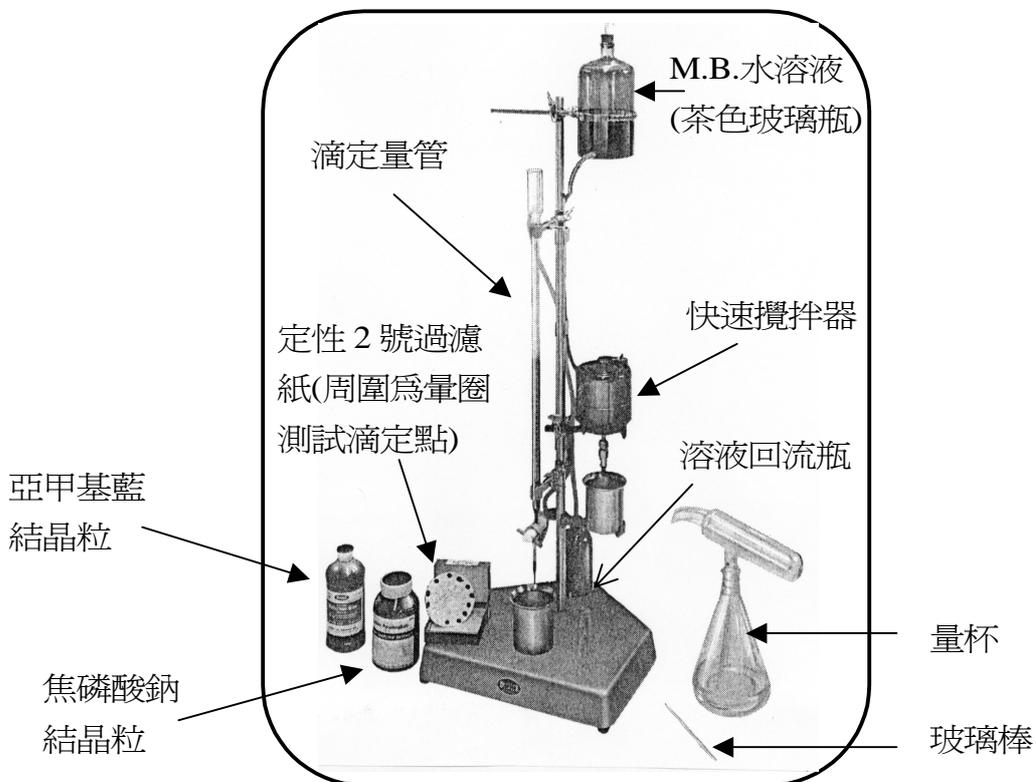


圖 24 亞甲基藍活性黏土含量測試器

- (二)超音波洗砂器 (Ultrasonic scrubber) 一台，如圖 25 所示。
- (三)電子天平一台、玻璃棒一支、50ml、500ml、1000ml 量杯一組。
- (四)亞甲基藍 (Methylene Blue, M.B.) 結晶粒或水溶液一瓶，焦磷酸化四鈉 (Tetrasodium Pyrophosphate, TSPP) 結晶粒或水溶液一瓶，蒸餾水一桶，定性 2 號過濾紙 (Whatman NO.50) 一盒。
- (五)混練後之新砂兩種 (含黏土各 3% 及 12%，測試活性黏土標準化檢量線用)，澆鑄後之回收砂樣本。

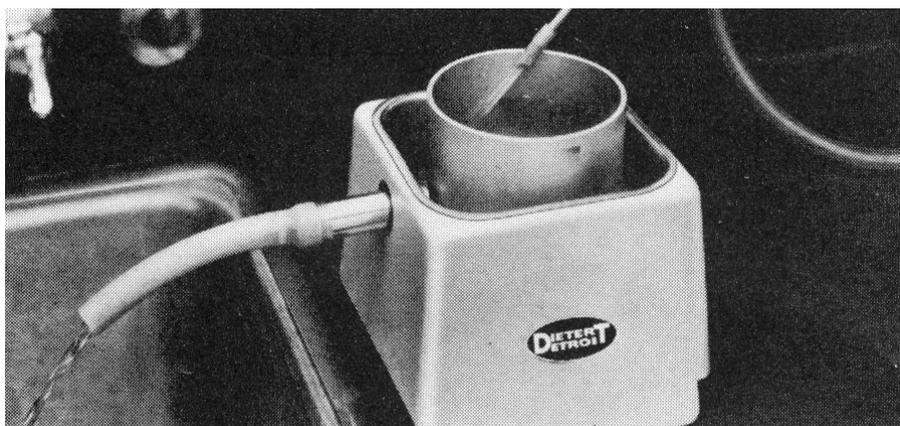


圖 25 超音波洗砂器

二、測試原理及目的

在回收砂中，因部分黏土受高溫影響被燒死 (dead-burned)，失去黏結作用；其他的黏土尚未失去功能，仍保有黏結特性，此即為活性黏土。亞甲基藍滴定試驗係依取代黏土中可交換的離子數所需要的亞甲基藍水溶液數量 (以 ml 計) 之多寡，以求活性黏土的含量，作為鑄砂再生、配砂、澆鑄及鑄疵分析的參考。

三、測試程序

- (一)調製亞甲基藍 (M.B.) 水溶液：秤取 3.739g 之亞甲基藍結晶粒，加入 1000cc 蒸餾水的燒杯中，快速攪拌 30 分鐘 (1500rpm)，倒入茶色玻璃瓶內靜置 24 小時備用。
- (二)調製焦磷酸鈉 (TSPP) 水溶液：秤取 10g 之焦磷酸鈉結晶粒，加入 500cc 蒸餾水的燒杯中，快速攪拌 15 分鐘，稀釋成 2% TSPP 水溶液。
- (三)取 10~15g 的鑄砂樣本，利用水分測定器乾燥 2~3 分鐘。
- (四)秤取 5g 的乾砂樣本，放入 250ml 的不銹鋼燒杯內。
- (五)量 50cc 的 2% TSPP 水溶液，倒入不銹鋼杯內，用超音波洗砂器攪拌 5 分鐘，使黏土確實溶散於水溶液中。

- (六)亞甲基藍滴定裝置的 50ml 量管中，注滿亞甲基藍 (M.B.) 水溶液 (直到溢流口)，然後將不銹鋼杯移至量管下方，注入預估亞甲基藍 (M.B.) 水溶液需要量的 80~90% 於不銹鋼杯內。
- (七)用快速攪拌器 (1500rpm) 攪拌 2 分鐘。
- (八)用玻璃棒取一滴懸浮液，滴在定性 2 號過濾紙外圍，觀查在深藍色圓點的四周是否有暈圈產生 (過濾紙可放在另一空杯或舊報紙上測試)。標準暈圈可參考圖 26 所示。

	<p>滴定開始 (start)</p> <p>測試暈圈時，應控制在 4~5 點 (次) 滴定即可達到良好暈圈 (good halo) 為原則。</p>
	<p>無暈圈 (no halo)</p> <p>每次添加 1ml. M.B.水溶液，攪拌 2 分鐘後滴定測試，直到暈圈出現。</p>
	<p>弱暈圈 (weak halo)</p> <p>不增加 M.B.水溶液，攪拌 2 分鐘後測試，若暈圈消失，則再添加 1ml M.B.水溶液，攪拌後再測試。</p>
	<p>良好暈圈 (good halo)</p> <p>暈圈持續出現兩次，測試完成，記錄 M.B.水溶液總毫升量 (ml.)</p>
	<p>過量滴定 (over titration)</p> <p>添加太多 M.B.水溶液。若第一滴即出現此暈圈，應重做滴定測試。</p>

圖 26 亞甲基藍 (M.B.) 滴定試驗時之暈圈參照圖

- (九)無暈圈或暈圈小而弱時，應再加亞甲基藍水溶液，每次 1ml 及攪拌 2 分鐘，按順序滴在過濾紙周圍，並在旁邊註明毫升 (ml) 數。
- (十)當良好暈圈 (約 1.5~2.0mm 寬，均勻環繞在深藍點四周) 出現時，應再次確認，看看是否全部的黏土均與亞甲基藍溶液完全接觸反應。亦即不增加水溶液，繼續再攪拌 2 分鐘，檢查暈圈是否持續存在。
- (十一)若暈圈不再出現，則應按上述步驟(九)及(十)，繼續進行測試。
- (十二)如果暈圈可持續出現兩次，則測試完成，記錄直到最後一次亞甲基藍 (M.B.) 水溶液需求量的總毫升數，再對照圖 27 所示之活性黏土標準化檢量線，即可求得回收之鑄砂的活性黏土含量。

四、活性黏土檢量線繪製

測試活性黏土含量之前，應先調配合乾燥之新黏土量 3% 及 12% 之新砂各 100g，依上述程序取樣進行滴定試驗，記錄兩者所需的亞甲基藍水溶液毫升數，然後繪製 XY 座標檢量線，如圖 27 之範例，以備對照使用。

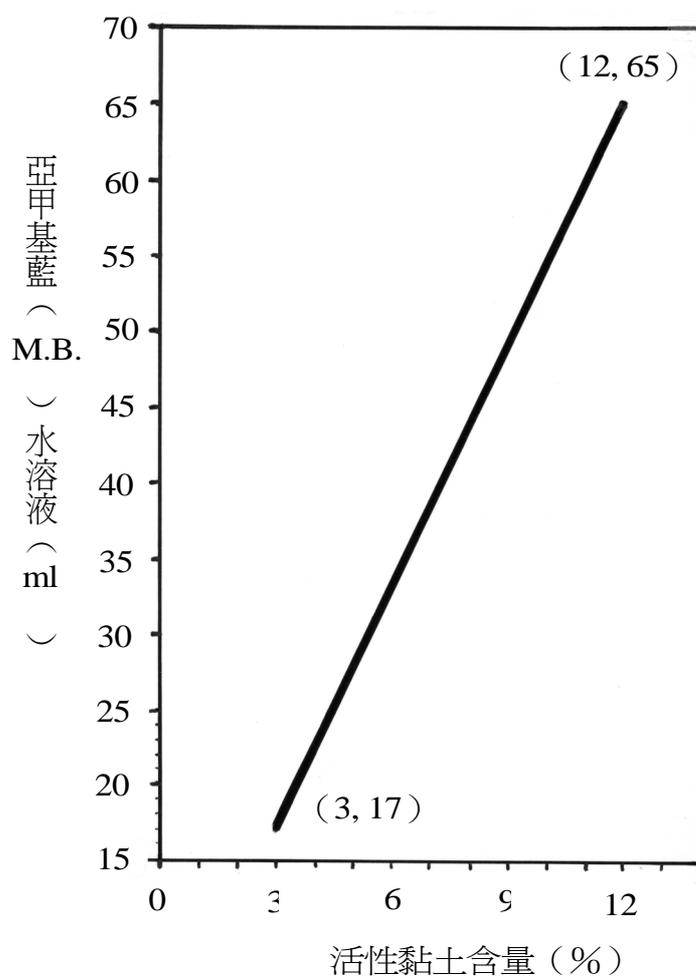


圖 27 鑄砂活性黏土標準化檢量線範例

學習評量六

請在 30 分鐘內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照鑄砂活性黏土 (Active clay) 含量的測試方法及要領，分析所提供之回收砂的活性黏土含量。

材料：

- 一、亞甲基藍 (M.B.) 水溶液 1000cc；或亞甲基藍結晶粒 3.739 公克，蒸餾水 1000cc，先調配亞甲基藍水溶液備用。
- 二、焦磷酸鈉 (TSPP) 水溶液 500cc；或焦磷酸鈉結晶粒 10 公克，蒸餾水 500cc，先調製 TSPP 水溶液備用。
- 三、烘乾之回收砂 15 公克以上。
- 四、定性 2 號過濾紙一張以上。

自我評量表：通過者打 (✓)，不通過者打 (×)

- () 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- () 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- () 3.時間：是否依規定在 30 分鐘內完成。
- 4.結果：
- () (1)測試三次活性黏土含量，所消耗之亞甲基藍水溶液之毫升數的誤差值均在 10%範圍內。
- () (2)測得之回收砂活性黏土含量與其他同學測得結果或老師提供之資料的誤差在 10%範圍內。

評分標準：你必須達到每個項目都是 (✓)，才算合格。如果有一個 (×) 代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下一個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續下一個學習目標；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

恭禧你！現在你已能依測試要領，正確地完成鑄砂的造模性（**Moldability**）及活性黏土（**Active clay**）含量的測試工作。本教材的最後一部份是要你能依測試程序，正確地完成鑄砂的燒灼減量（**LOI**）及揮發物含量的測試工作。

本教材的第七個學習目標是

給你一些鑄砂材料，在無人協助情況下，你能依測試程序，正確地完成鑄砂的燒灼減量（**LOI**）及揮發物（**Volatile**）含量的測試工作。

壹、鑄砂燒灼減量 (LOI) 測試

一、測試用儀器及材料

- (一) 高溫加熱爐一台，溫度範圍 250~2000°F (121~1093°C)，如圖 28 所示)
- (二) 無蓋陶瓷坩堝一組，每個坩堝容量 50g 鑄砂；不銹鋼夾一支，如圖 28 下方所示。
- (三) 電子天平一台；乾燥皿一個。
- (四) 各種鑄砂樣本，每種至少 75g (25g×3)。

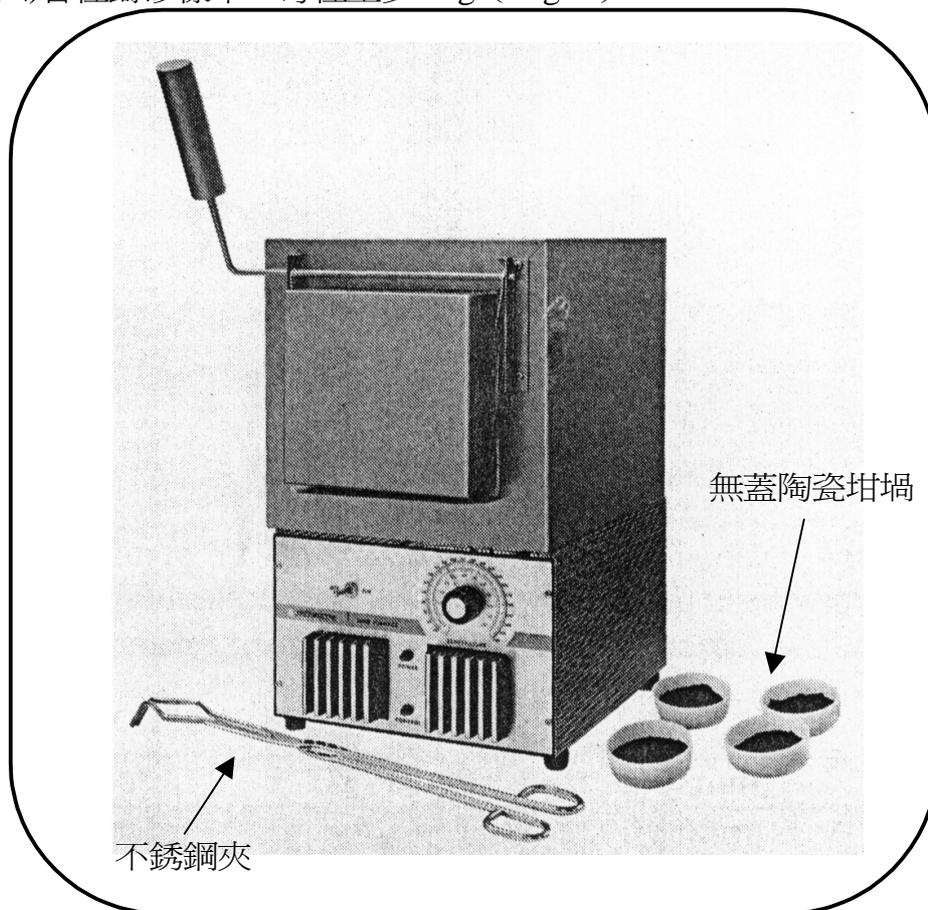


圖 28 鑄砂燒灼減量測試用高溫爐及無蓋坩堝、鋼夾

二、測試原理及目的

由於鑄砂的有機黏結劑及添加劑中的煤粉、木屑粉、糊精等有機物質在高溫時會被燒毀或燒失，因此，LOI 試驗是鑄砂、系統砂或回收砂具有多少有機物質含量的有效測試法，尤其適用於化學黏結性砂模，包括氣硬性、熱硬性及自硬性砂模的鑄砂及其回收砂的測試，係用於量測殘留黏結劑量的唯一最方便的方法。可作為舊砂回收、配砂、混練、澆鑄及鑄疵分析的參考。

三、測試程序

- (一)將陶瓷坩堝安置於高溫爐內加熱，溫度設定 1800°F (982°C)，連續加熱 2 小時，以燒除坩堝內之濕氣、滲碳及各種雜質，取出冷卻至稍高於室溫後，放置在乾燥皿內備用。
- (二)秤量坩堝的重量 (W_1) 至小數第四位，編號、記錄每一坩堝重量。
- (三)秤取 25g 經 220~230°F (105~110°C)，1 小時烘乾之鑄砂樣本，放入坩堝內，再秤量坩堝及鑄砂樣本之重量 (W_2) 至小數第四位，並依原編號依序記錄之。
- (四)將坩堝及鑄砂放入高溫爐內加熱，溫度設定 1800°F (982°C)，加熱 2 小時。
- (五)取出坩堝，待冷卻至常溫，秤量坩堝及鑄砂樣本之重量 (W_3) 至小數第四位，並依原編號依序記錄。
- (六)依下列公式，計算鑄砂燒灼減量 (LOI) 值，三個鑄砂樣本的平均 LOI 值取至小數第二位。
- (七)LOI 計算公式：

$$\text{LOI} (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

式中， W_1 ……為坩堝重量

W_2 ……為高溫加熱前坩堝及鑄砂之總重量

W_3 ……為高溫加熱後坩堝及鑄砂之總重量

範例：若經高溫加熱之坩堝 A 重量為 98.5624g，B 為 102.1386g，C 為 100.2548g；加入鑄砂樣本後之坩堝 A 重量為 123.2412g，B 為 127.6133g，C 為 125.0846g；經 2 小時 1800°F (982°C) 的加熱後，坩堝 A 重量為 121.6538g，B 為 125.7326g，C 為 123.2854g，則知此鑄砂的 LOI 值為若干？

$$\text{解：} \therefore \text{LOI} (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$\therefore \text{坩堝 A 之 LOI}_1 = \frac{123.2412 - 121.6538}{123.2412 - 98.5624} \times 100 = \frac{1.5874}{24.6788} \times 100 = 6.43 (\%)$$

$$\text{坩堝 B 之 LOI}_2 = \frac{127.6133 - 125.7326}{127.6133 - 102.1386} \times 100 = \frac{1.8807}{25.4747} \times 100 = 7.38 (\%)$$

$$\text{坩堝 C 之 LOI}_3 = \frac{125.0846 - 123.2854}{125.0846 - 100.2548} \times 100 = \frac{1.7992}{24.8298} \times 100 = 7.25 (\%)$$

$$\begin{aligned}\text{故鑄砂之 LOI} &= \frac{\text{LOI}_1 + \text{LOI}_2 + \text{LOI}_3}{3} \times 100 \\ &= \frac{6.43 + 7.38 + 7.25}{3} \times 100 = 7.02 (\%) \end{aligned}$$

貳、鑄砂揮發物 (Volatile materials) 含量測試

一、測試用儀器及材料

- (一) 高溫加熱爐一台，溫度範圍 250~2000°F (121~1093°C)，同 LOI 測試用高溫爐，如圖 28 所示。
- (二) 含蓋陶瓷坩堝一組，每個坩堝容量 50g 鑄砂，如圖 29 所示。
- (三) 耐熱磚製坩堝座架一組，不銹鋼夾一支，如圖 29 所示。
- (四) 電子天平一台，乾燥冊一個。
- (五) 各種鑄砂樣本，每種至少 150g (50g×3)。

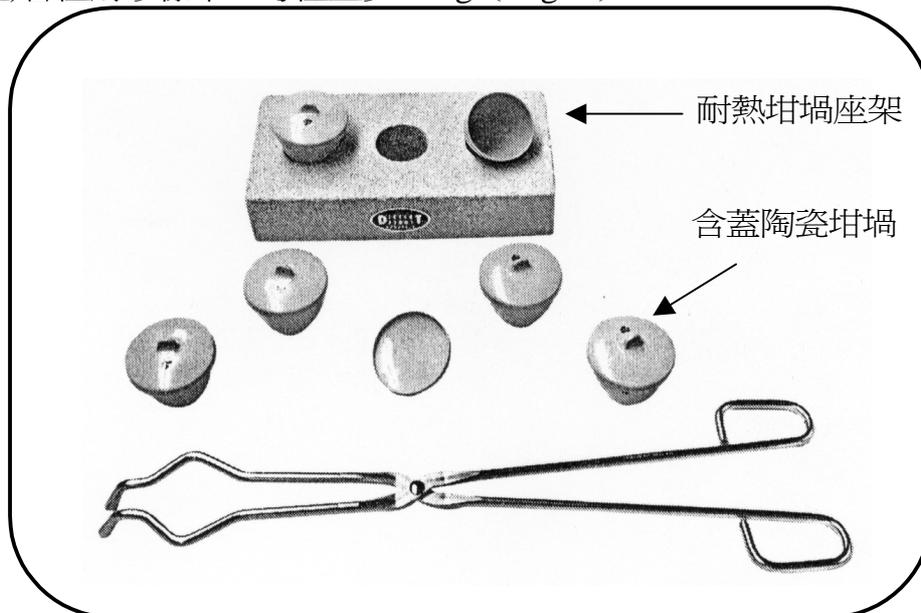


圖 29 鑄砂揮發物含量測試用含蓋坩堝及座架

二、測試原理及目的

系統砂中的揮發物含量對於鑄件表面光度等品質具有重大影響，再則，揮發物含量的百分比可提供含非焦炭有機添加劑之系統砂非常有用的意義，此種試驗直接關係到鑄件的清砂難易問題，可作為調砂、配砂、清砂及鑄疵分析之參考。典型的鑄砂添加劑～煤粉，在可獲致良好的清砂情況下，對灰鑄鐵件而言，其 900°F (482°C) 的揮發物含量為 1.2~1.5%；對可鍛鑄鐵件而言，則為 0.8~1.3%；對黃銅件而言，則為 0.4~0.6%。至於 1200°F (649°C) 的揮發物

測試必須小心執行，其測試值一般小於 2.0%，且變化量應小於 0.1%。

三、1200°F (649°C) 揮發物含量之測試程序

- (一)預熱新坩堝及蓋子：將其安置於高溫爐內加熱，溫度設定為 1800°F(982°C)，連續加熱 2 小時，取出放在耐熱磚坩堝架上冷卻至稍高於室溫後，放在乾燥皿內備用。
- (二)乾燥鑄砂樣本：將其放在爐內 220~230°F (105~110°C) 烘乾 15 分鐘至 1 小時，直至重量穩定為止，放在乾燥皿內備用。
- (三)將坩堝含蓋放入爐中，溫度設定為 1200±10°F (649±5.5°C)，至少 10 分鐘，然後移出含蓋坩堝放在耐熱磚座架上冷卻 15 分鐘，仍具溫熱時，移至天平秤重，編號並記錄每一坩堝重量 (W_1) 至小數第四位。
- (四)稱取 50g 之鑄砂樣本放入坩堝中，加蓋後秤量坩堝含蓋及鑄砂之總重量 (W_2) 至小數第四位，並依原編號記錄之。
- (五)將坩堝含砂及蓋放入爐中，當爐溫升至 1200°F (649°C) 時，連續加熱 1 小時，然後移出放在耐熱磚座架上冷卻 15 分鐘。(特別注意：絕不可移動蓋子，直至秤重結束。)
- (六)仍溫熱時，移至天平秤量坩堝含蓋及鑄砂之總重量 (W_3)，並按原編號依序記錄至小數第四位。
- (七)依下列公式計算鑄砂揮發物百分比。
- (八)鑄砂 1200°F (649°C) 揮發物含量計算公式：

$$\text{揮發物 (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

式中， W_1 ……代表坩堝含蓋之重量

W_2 ……代表坩堝含蓋及鑄砂樣本之總重量 (加熱前)

W_3 ……代表 1200°F (649°C) 加熱 1 小時後，坩堝含蓋及鑄砂樣本之總重量

範例：測試鑄砂之揮發物含量時，若稱取 A 組坩堝及蓋之重量為 150.4326g，B 組為 149.5732g，C 組為 151.2438g；填入鑄砂樣本後，A 組總重為 200.2186g，B 組為 199.8756g，C 組為 200.8934g；經經 1200°F（649°C）加熱 1 小時後之總重，A 組為 199.6143g，B 組為 199.2612g，C 組為 200.2810g，則可求得此種鑄砂之 1200°F（649°C）揮發物百分比為何？

$$\text{解：揮發物（\%）} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$\text{A 組揮發物} = \frac{200.2186 - 199.6143}{200.2186 - 150.4326} \times 100 = \frac{0.6043}{49.7860} \times 100 = 1.21 (\%)$$

$$\text{B 組揮發物} = \frac{199.8756 - 199.2612}{199.8756 - 149.5732} \times 100 = \frac{0.6144}{50.3024} \times 100 = 1.22 (\%)$$

$$\text{C 組揮發物} = \frac{200.8934 - 200.2810}{200.8934 - 151.2438} \times 100 = \frac{0.6124}{49.6496} \times 100 = 1.23 (\%)$$

$$\therefore \text{鑄砂在 } 1200^\circ\text{F (649}^\circ\text{C)} \text{ 的揮發物含量} = \frac{1.21 + 1.22 + 1.23}{3} = 1.22 (\%)$$

學習評量七

請在 2 小時內完成以下指示的工作，並依據自我評量表，檢查自己的工作成果。

工作指示

請你依照鑄砂燒灼減量 (LOI) 的測試方法及程序要領，分析所提供之鑄砂的 LOI 值。

材料：

- 一、經 220~230°F (105~110°C) 連續 1 小時烘乾之自硬性砂模~呔喃模鑄砂 100 公克以上。
- 二、經 1800°F (982°C) 連續 2 小時高溫加熱之無蓋坩堝一組 4 個。

自我評量表：通過者打 (✓)，不通過者打 (×)

- () 1.安全習慣：工作中有無因不當操作而受傷。
- () 2.工具使用規則：儀器設備及工具有無因不當操作而損壞。
- () 3.時間：是否依規定在 2 小時內完成。
- 4.結果：
 - () (1)四個坩堝所測得之 LOI 值的誤差均在 10%範圍內。
 - () (2)分析所得之 LOI 平均值與其他同學測得結果或老師提供之資料的誤差在 10%範圍內。

評分標準：你必須達到每個項目都是 (✓)，才算合格。如果有一個 (×) 代表不合格。那麼請你繼續練習，直到合格才繼續進行下個學習目標。

假如你能夠熟練上列工作的話，請翻到下一頁繼續做學後評量；如果你不能勝任的話，那麼請你繼續練習，直到完全熟練為止，然後翻到下一頁。

學後評量

一、筆試：請不要參閱資料或書籍，寫出下列各題的正確答案。

(一)是非題 (30%)

- () 1.鑄砂壓縮比 (CB 值) 係鑄砂試片搗實三次時，高度減少量與試片管高度的比值。
- () 2.製作鑄砂試片時，試片管應填滿鑄砂並刮平。
- () 3.鑄砂全黏土含量中，包含微粒的煤粉、糊精等成分。
- () 4.鑄砂全黏土含量試驗前及試驗後，均應將鑄砂材料於 105~110°C 完全烘乾。
- () 5.鑄砂粒度指數分析試驗時，大號數的粗網篩應安置在上方。
- () 6.浮筒型鑄砂透氣度試驗機，其浮筒內空氣容量為 2000cc。
- () 7.B 型砂模硬度計的測試範圍是 65~100，適用於硬度 85 以上之砂模測試。
- () 8.鑄砂造模性指數愈高，流動性愈好，故最佳的鑄砂造模性指數為 100。
- () 9.測試鑄砂全黏土含量及活性黏土含量時，均應使用焦磷酸化四鈉水溶液洗砂。
- () 10.測試鑄砂燒灼減量 (LOI) 及揮發物含量所使用的坩堝，均應先經 1800°F (982°C) 連續 2 小時的高溫加熱，除去濕氣及雜質後冷卻備用。

(二)選擇題 (30%)

- () 1.下列何種鑄砂特性試驗前，需先製作標準鑄砂試片？ (1)水分 (2)強度 (3)硬度 (4)造模性。
- () 2.鑄砂水分含量試驗時，烘乾的溫度為 (1)105~110°C (2)210~215°C (3)510~525°C (4)1050~1100°C。
- () 3.下列何者具有良好的鑄砂充填比？ (1)二峰砂 (2)三峰砂 (3)四峰砂 (4)五峰砂。
- () 4.鑄鋼用鑄砂的造模性指數一般介於 (1)86-100 (2)76-85 (3)66-75 (4)40-65。
- () 5.鑄砂乾態抗拉強度試驗時，應讀取下列那一種強度之刻度值再乘以五倍？ (1)乾態抗壓 (2)乾態抗剪 (3)濕態抗壓 (4)濕態抗剪。
- () 6.高壓機械造模用鑄砂的壓縮比介於 (1)15~35 (2)36~42 (3)43~60 (4)以上皆是。
- () 7.下列那一種試驗係在於測試鑄砂的活性黏土含量 (1)亞甲基藍滴定試驗 (2)洗砂瓶試驗 (3)篩砂機試驗 (4)以上皆是。

- () 8. 試驗鑄砂活性黏土量時，應將亞甲基藍水溶液滴在下列那一種過濾紙上，以便觀察是否有暈圈產生 (1) 定性 4 號 (2) 定性 3 號 (3) 定性 2 號 (4) 定性 1 號。
- () 9. 鑄砂燒灼減量測試時，下列何種物質會在 1800°F (982°C) 2 小時的高溫加熱時燒毀或燒失？ (1) 有機物 (2) 無機物 (3) 矽砂 (4) 以上皆是。
- () 10. 需要在加蓋坩堝內高溫加熱的鑄砂試驗為 (1) 水分含量 (2) 活性黏土量 (3) 燒灼減量 (4) 揮發物含量。

二、實作測驗（40%）

請你到工具室管理員處領取鑄砂試驗所需之試驗用具，且到濕模砂堆選取鑄砂樣本一桶，然後依下列之工作指示進行鑄砂試驗。在工作之前，請你先填好工作計畫，並送給老師認可。

工作指示

- (一)請你依照鑄砂水分、全黏土含量測試的程序及要領進行鑄砂試驗，並將最後所得之乾砂，分析其粒度指數及粒度分佈情形。
- (二)請你依照標準鑄砂試片製作程序及要領完成砂試片製作，並測試鑄砂的濕態抗壓強度及抗剪強度。

我的工作計畫

工作名稱：_____

工作開始日期：_____ 完成日期：_____

工作時間：_____小時 教師認可：_____

我完成上列工作時所需用之工具及機器

1 _____ 3 _____ 5 _____

2 _____ 4 _____ 6 _____

我所需要的材料及消耗品

名稱	說明	規格	數量	估價

學生自我評量

一、我對自己的學後評量之評分

(一)筆試：是非與選擇每題 3%，共 60%，總得分_____分

(二)實作：自我評量 40%，總得分_____分

自我評量表：請在下列之評分內容，通過者打（√）

操作項目	評分內容	得分
1. 粒度分析 (每項 5%)	() 1. 水分含量測試是否正確。 () 2. 全黏土含量測試是否正確。 () 3. 粒度指數計算是否正確。 () 4. 粒度分佈之分析是否正確。	
2. 強度試驗 (每項 10%)	() 1. 鑄砂濕態抗壓強度試驗是否正確。 () 2. 鑄砂濕態抗剪強度試驗是否正確。	
總得分	/40	

A=90 分以上

B=80 分以上

C=70 分以上

D=60 分以上

E=60 分以下

學後評量評分=筆試+實作=_____分，屬於_____等

二、我的工作計畫得分_____分，屬於_____等。

依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣 10 分。

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> 是否細心周詳的填列工具設備 | <input type="radio"/> 是否細心周詳的計畫作程序 |
| <input type="radio"/> 是否重視安全事項並適時提示 | <input type="radio"/> 是否再作檢討以求更好方法 |
| <input type="radio"/> 書寫是否清晰整齊 | <input type="radio"/> 老師是否做很多改正 |

三、安全習慣得分_____分，屬於_____等。

依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣 10 分。

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="radio"/> 是否戴安全帽、安全眼鏡 | <input type="radio"/> 是否遵守機器操作規則 |
| <input type="radio"/> 是否遵守工具使用規則 | <input type="radio"/> 是否注意操作過程各項安全事項 |
| <input type="radio"/> 是否有工具脫落或損壞之情形 | <input type="radio"/> 是否有材料脫落或損壞之情形 |

四、敬業精神與學習態度得分_____分，屬於_____等。

依照下列各項自我考量，有一項缺失即扣 10 分。

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> 工具排放是否整齊 | <input type="radio"/> 工作環境是否清潔 |
| <input type="radio"/> 操作時是否與他人閒聊 | <input type="radio"/> 工作態度是否積極而有耐心 |
| <input type="radio"/> 是否虛心接受老師指導 | <input type="radio"/> 是否常主動向老師請教問題 |

教師評量

一、學後評量評分

(一)筆試得分_____

(二)實作得分_____

實作評量項目：請在下表評分內容，通過者打(✓)

操作項目	評分內容	得分
1.粒度分析 (每項 5%)	() 1.水分含量測試是否正確。 () 2.全黏土含量測試是否正確。 () 3.粒度指數計算是否正確。 () 4.粒度分佈之分析是否正確。	
2.強度試驗 (每項 10%)	() 1.鑄砂濕態抗壓強度試驗是否正確。 () 2.鑄砂濕態抗剪強度試驗是否正確。	
總得分	/40	

A=90 分以上

B=80 分以上

C=70 分以上

D=60 分以上

E=60 分以下

學後評量評分=筆試+實作=_____分，屬於_____等

二、工作計畫評分

工作計畫評量表

工作計畫評量項目	分 數					
	優	良	中	可	差	劣
	10	8	6	4	2	0
1.使用材料及消耗品記錄清楚	<input type="checkbox"/>					
2.使用機器及工具之準備	<input type="checkbox"/>					
3.工作次序之前後安排	<input type="checkbox"/>					
4.工作時間長短適宜	<input type="checkbox"/>					
5.未遺漏工作細節	<input type="checkbox"/>					
6.機器使用注意事項	<input type="checkbox"/>					
7.工具使用注意事項	<input type="checkbox"/>					
8.工作安全事項	<input type="checkbox"/>					
9.工作前後檢討改進	<input type="checkbox"/>					
10.工作計畫書寫清晰整齊	<input type="checkbox"/>					
實 得 總 分						

A=90 分以上

B=80 分以上

C=70 分以上

D=60 分以上

E=60 分以下

工作計畫得分_____分，屬於_____等

三、安全習慣評分

安全習慣評量表

安全習慣評量項目	是	否
1.使用合於規定的工具，不任意替代	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.工具及材料置於正確位置並擺放整齊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.依規定佩戴個人安全器具	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.起動機器前檢查防護及運轉部位，異常立即反應	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.獨立操作機器，集中精神，不玩笑嬉鬧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.機器運轉時不擅離工作崗位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.不以任何物品或肢體接觸運轉中的機件	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.工作環境周圍保持整齊、清潔、光線足夠	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.鑄砂試驗完畢均能清除並妥當放置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.依規定清潔及保養機器設備	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
實 得 總 分		

※每一項為“是”者得10分，“否”者得0分

A=90分以上 B=80分以上 C=70分以上

D=60分以上 E=60分以下

安全習慣得分_____分，屬於_____等

四、學習態度評分

學習態度評量表

學習態度評量項目	分數					
	優	良	中	可	差	劣
	10	8	6	4	2	0
1.言行舉止合宜，服裝儀容整齊	<input type="checkbox"/>					
2.準時上、下課，不遲到早退	<input type="checkbox"/>					
3.守秩序，不喧嘩吵鬧	<input type="checkbox"/>					
4.服從教師指導，進行學習	<input type="checkbox"/>					
5.上課專心認真	<input type="checkbox"/>					
6.愛惜教材教具及設備	<input type="checkbox"/>					
7.有疑問時主動要求協助	<input type="checkbox"/>					
8.閱讀教材外的講義及參考資料	<input type="checkbox"/>					
9.參與班級教學的討論活動	<input type="checkbox"/>					
10.將學習內容與工廠環境配合	<input type="checkbox"/>					
實 得 總 分						

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以下

學習態度得分_____分，屬於_____等

五、總評量表

評分項目	單項得分	單項等第	比率(%)	單項分數	總分	等第	
1.學後評量 (筆試+實作)			70%			<input type="checkbox"/> A	
2.工作計畫			10%			<input type="checkbox"/> B	
3.安全習慣			10%			<input type="checkbox"/> C	
4.學習態度			10%			<input type="checkbox"/> D	
總評						<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
備註							

參考文獻

- 一、金屬工業發展中心，鑄砂測試儀器操作作業標準，高雄：金屬工業發展中心，1990年，3~29頁。
- 二、張晉昌，鑄砂學，台北：全華科技圖書公司，1999年，33~47頁。
- 三、楊國清、顏輝興、楊國和、邱紹成，鑄砂實驗室簡介，新竹：工業技術研究院工業材料研究所，1984年，1~10頁。
- 四、AFS, AFS mold and core test handbook, American Foundrymen's Society, Inc. 1982, pp.3-1~17-10。
- 五、Dietert. Laboratory equipment for control of casting quality, George Fischer Foundry Systems, Inc. Catalog 123 (1986), pp.13~67。
- 六、C.A. Sanders, Foundry sand practice, Skokie, IL: American Colloid Company, 1973。