

國立成功大學土木工程學系

瀝青材料實驗手冊



目 錄

目 錄	1
瀝青實驗室安全守則	1
瀝青材料實驗課程說明	2
共用儀器設備	3
瀝青材料簡介	5
實驗 1. 針入度實驗	7
實驗 2. 延展性實驗	11
實驗 3. 軟化點實驗	15
實驗 4. 閃火點實驗	19
實驗 5. 溶解度實驗	22
實驗 6. 比重實驗	25
實驗 7. 油溶瀝青分餾實驗	28
實驗 8. 薄膜烘箱試驗	32
實驗 9. 馬歇爾配合設計	36
參考文獻	46

瀝青實驗室安全守則

1. 任何人於實驗過程均應以「安全第一」。
2. 實驗室內禁止跑步嬉鬧、進食及從事與實驗無關的活動。
3. 認清並牢記實驗室內最近的滅火器、急救箱及緊急沖洗設備與洗眼器的位置，並熟知使用方法。
4. 設備、儀器使用前，應詳讀操作手冊，並按正常程序操作，用畢務必關上所有開關。
5. 欲插上儀器電源插頭時，需先檢查輸出電壓是否符合儀器電壓量。
6. 實驗室內的儀器設備，未經借用不得攜出。若有損壞，應立即報告助教或保管人。
7. 實驗進行時，若需拿取加熱之試驗物品，必須戴上手套，以防燙傷。
8. 實驗過程中，如直接碰觸甲苯，應立即用清水沖洗，如有不適，應立即告知助教。
9. 實驗完成後，需依規定處理殘餘瀝青以及廢液。
10. 當實驗未結束前，不可離開。
11. 對可安全無需看管之儀器設施連續操作時，均應加上操作中之標示，並應標示如何關機之詳細步驟，及註明緊急狀況之處置措施與聯絡人電話。
12. 食物不得貯存於試樣專用冰箱或恆溫箱。
13. 實驗過程不得穿著過於寬鬆之衣物，亦不得穿著拖鞋。
14. 未列項目，請遵照「國立成功大學土木工程學系場所安全衛生工作守則」之規定。

瀝青材料實驗課程說明

1. 課程名稱：瀝青材料學實驗
2. 學分數：2
3. 課程編號：E6142
4. 授課教師：蕭志銘
5. 課程目標：熟悉許多實驗的方法，從實際動手的實做當中，體會出實做時可能遇到的各種困難，並瞭解各種工程材料的特性，另外是特別要求必需遵守實驗室的安全規則，以確保學生的身體安全。
6. 課程內容概要：
 1. 瀝青材料課程簡介，實驗注意事項說明、分組及試驗報告撰寫方式。
 2. 針入度試驗
 3. 延展性試驗
 4. 軟化點試驗
 5. 閃火點試驗
 6. 溶解度試驗
 7. 比重試驗
 8. 油溶瀝青分餾試驗
 9. 薄膜加熱試驗
7. 成績計算方式：
 1. 期中考 15%
 2. 期末考 15%
 3. 報告 60%
 4. 其他 10%
8. 講義和主要參考資料：
 1. 瀝青混凝土
 2. CNS中國國家標準規範
9. 報告撰寫方式
報告依序為封面、目的、儀器、步驟、注意事項、試驗結果、討論等。
注意：1.每次上課時，繳交上星期之試驗報告。
 - 2.實驗雖為多人同組，但每人均需繳交一份報告。
 - 3.報告抄襲經發現者，一律以零分計算。
 - 4.需於上課前到達實驗室，不可遲到、早退，否則視情況斟酌扣分。

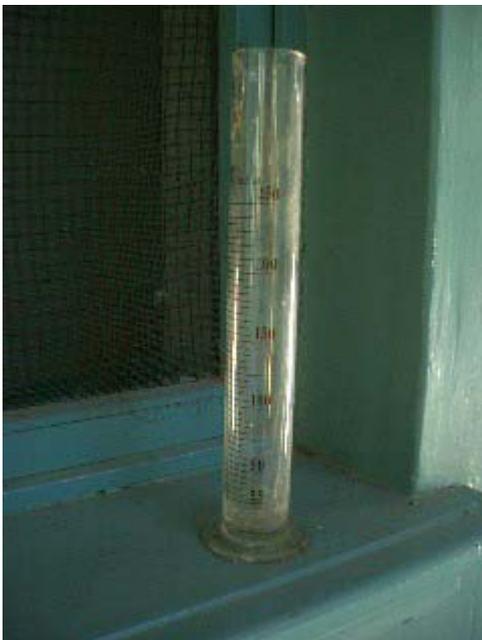
共用儀器設備



燒杯



溫度計



量筒



恆溫冰箱



電子秤



清理台



烘箱

瀝青材料簡介

1. 瀝青材料的定義

廣義的瀝青材料 (Bitumenous Materials) 定義為天然碳氫化合物，或人造碳氫化合物，或此等化合物之非金屬衍生物，或此等之混合物，呈氣體、液體、半固體或固體狀態，而可溶於二硫化碳者 (CS₂)。

再者，瀝青為一複雜之碳氫化合物之膠狀體，此碳氫化合物是以瀝青本質 (Asphaltene) 瀝青脂類 (Asphaltic Resin) 及油職等組成，瀝青是以瀝青脂類做為瀝青防凝劑，油質為媒質之膠狀懸浮物。

2. 瀝青材料分類

瀝青材料由於具有強大的膠結力，快速的黏合力，高度的防水性以及耐久性，因此世界各國都採用於露面之鋪設或處理。瀝青材料通常分有兩類，即瀝青及柏油，其詳細分類示於表一：

表一 瀝青材料之分類

瀝青材料	瀝青	天然瀝青	湖瀝青 - 產於湖底之中	
			岩瀝青 - 含於石質之中	
			山瀝青 - 產於山石孔縫之中，公路工程上不使用	
	石油瀝青	直餾瀝青	直餾瀝青 (之瀝青膏) - 以針入度分等級	
			油溶瀝青	油溶瀝青 - 瀝青膏摻以精煉油
				乳化瀝青 - 瀝青膏摻以水及乳化劑
吹製瀝青 - 以針入度分等級，已不用於路面的黏結料				
柏油	直餾柏油 油溶柏油			

下列為瀝青材料之簡述：

一. 天然瀝青

天然瀝青是天然存在於自然界的一種瀝青，其形成原因為由於地面下之原油滲出地面形成一湖，或滲入石塊之碎粒中或孔隙中，經過日光及風之吹晒作用，而將原油中所含之汽油、煤油、潤滑油等發揮性之油料蒸發而去，所餘者即為天然瀝青。依其生成位置之不同可分為湖瀝青、岩瀝青、山瀝青等等。天然瀝青需要再加以提煉，以除去其餘雜質後才可應用。

二. 石油瀝青

石油瀝青係以重油、或重油與分裂殘渣油為材料，經空氣吹製或高度真空蒸餾而得之產品。目前於道路上所使用之石油瀝青種類有：瀝青膠泥、油溶瀝青及乳化瀝青等等。

(一) 油溶瀝青：

瀝青膏用於路面工程時，須先加熱以成液體，因此需要有特殊的加熱設備。在由原油中提煉各種精煉油後，其所餘的殘渣油中如滲入一定數量的精煉油類，並以機械攪拌均勻，即可得各種不同之液體瀝青材料，此種液體瀝青稱為油溶瀝青。殘渣油內所滲入之各種精煉油的主要目的，在使瀝青材料保持流體狀態，以利路面工程之施工。油溶瀝青在自然氣溫下，俟精煉油類揮發後，所餘瀝青質遂得產生其原有之黏結性、稠度及凝固性。瀝青膏由所滲入之精煉油揮發性之不同而分有速凝油溶瀝青（簡稱 R.C.）、中凝油溶瀝青（簡稱 M.C.）及慢凝油溶瀝青（簡稱 S.C.）三種。

(二) 乳化瀝青：

瀝青膏藉乳化劑之作用，成為極微粒之狀態分散於水中而成為一種如水之液狀者，稱為乳化瀝青。乳化瀝青之種類視施工作用後，瀝青膏與水分分離所需之時間而定；其分離速率與所用之乳化劑種類及數量之多寡有關，乳化劑少者分離凝固較快。而其等級則視黏度之高低而定。乳化瀝青因乾凝時間之長短分快乾、中乾及慢乾三種。此外，乳化瀝青因所用乳化劑之不同，使得瀝青微粒帶有不同電荷。若帶負電荷者，稱為陰離子乳化瀝青；帶正電荷者，稱為陽離子乳化瀝青。

實驗1.針入度實驗

試驗目的：

利用針入度的大小，以表示瀝青材料的軟硬程度及稠度以及瀝青膏之等級分類，作為決定瀝青路面穩定度之一主要因素。

參考資料：

- 1.ASTM D5
- 2.CNS 10090
- 3.AASHTO T49

試驗儀器：

- 1.針入儀
- 2.容器
- 3.標準針
- 4.水槽
- 5.傳遞皿
- 6.恆溫箱

試樣準備：

試樣應先以低溫加熱，使其完全溶解成為液體，加熱之溫度通常不得超過軟化點之溫度 93 ，加熱時也應注意勿使有局部溫度升高的現象。試樣須經充分的攪拌使其均勻且無氣泡的存在後，在倒入容器內，使其深度至少需使標準針灌入試樣後，針頭至容器底部大於 10 公釐以上。在冷卻時容器需加蓋，以防塵埃進入。使用 180 ml 容器者，需靜置於 21 29.5 之室溫內冷卻一小時半至二小時；若使用 90ml 容器者，需冷卻一小時至一小時半。然後與傳遞皿同放入水槽中，180ml 容器者需一小時半至二小時；90ml 容器者需一小時至一小時半。水槽內之水需保持規定的溫度。

試驗步驟：

1. 將盛有試樣之容器與傳遞皿由水槽中取出，並將此容器放入傳遞皿中，皿中須加水槽中的水使其滿過容器。
2. 將此傳遞皿放於針入儀之架上，並調整標準針，使針端與試樣表面接觸 (如圖 1.1) 。



圖 1.1

3. 在標準針上置一規定重量，調整測微錶，記錄其最初讀數（如圖 1.2）。
4. 利用計時器（如圖 1.4）設定秒數，按下開關同時，放下標準針及其上之載重，然後再調整測微錶，且記錄其讀數（如圖 1.3），此次讀數與最初讀數之差，即為所求之針入度。



圖 1.2



圖 1.3



圖 1.4

注意事項：

以三次結果之平均整數值報告之，但其三次結果之間相差最多不可超出下列值：

針入度 (1/10 mm)	0 49	50 149	150 249	250 以上
最大值與最小值之容 許偏差最大值	2	4	6	8

- 如數據間差值超出以上所列者，則以第二個試樣再試驗之。
- 如數據再超出容許的差值，則所有數據均需捨棄，需重新試驗。

針入度試驗

表格：

試驗次數		1	2	3
測微表 讀數	試驗前			
	試驗後			
針入度				
平均針入度				

組別：

姓名：

實驗2.延展性實驗

試驗目的：

用以量度瀝青材料之黏結性與彈性，表示瀝青材料的韌性，亦即其黏結力的大小。通常具有較高延展性者，其黏結力較強，也較易受溫度的影響。

參考資料：

- 1.ASTM D113
- 2.CNS 10091
- 3.AASHTO T51

試驗儀器：

- 1.銅模（如圖 2.1）
- 2.銅板或玻璃板（如圖 2.1）
- 3.軟刀
- 4.恆溫冰箱
- 5.試驗儀



圖 2.1

試驗步驟：

1. 事先將銅模與銅板接觸點、銅模與瀝青接觸面塗上凡士林，使瀝青變硬後可以順利拆掉銅模（如圖 2.2 與 2.3）。



圖 2.2



圖 2.3

2. 將瀝青加熱到適當溫度後，小心的倒入銅模內，須使瀝青表面與銅模成水平，如有溢出之瀝青，則使用加熱刮刀刮除之(如圖 2.4)。



圖 2.4

3. 試樣在恆溫槽內保持 85 分鐘至 95 分鐘後，由槽內取出試樣，移開銅模之邊，再將銅板也移除。拆除過程中，勿使瀝青變形(如圖 2.5)。



圖 2.5

4. 將銅模兩端的孔，各嵌入試驗儀(如圖 2.6)之鉤內，試驗儀內的

水溫須保持試驗時規定的溫度 25.0 ± 0.5 。

5. 以均勻、規定的速率 (每分鐘 $5.0\pm 0.3\text{cm}$) 將試樣拉長至試樣斷裂時為止。其拉斷所須的距離以公分表示, 即為瀝青材料之延展性 (如圖 2.7)。



圖 2.6



圖 2.7

延展性實驗

表格：

試驗次數	1	2	3
延展性(cm)			
平均延展性			

組別：_____

姓名：_____

實驗3.軟化點實驗

試驗目的：

加熱於瀝青材料，則瀝青將因溫度的升高，由固體變為半固體而成液體狀態。軟化點乃表示瀝青材料達到流動時之溫度，因之使用瀝青材料做為路面材料時，需根據其軟化點配合當地最高氣溫以防軟化。不同等級之瀝青材料，其軟化點的溫度也不同。

參考資料：

- 1.ASTM D36
- 2.CNS 2486
- 3.AASHTO T36

試驗儀器：

- 1.銅環、銅環架
- 2.軟刀
- 3.容器
- 4.溫度計
- 5.鋼球
- 6.三角架及石綿網
- 7.加熱器

試驗步驟：

1. 將加熱之銅環，置於塗有甘油、凡士林或水銀之瓷板上，再將熔融冷至 100 之樣品傾入該環內（如圖 3.1），小心勿產生氣泡，放冷使之硬化，以稍熱之小刀切去多出部分，使瀝青與銅環呈現水平狀態（如圖 3.2），再將其放入約 5 之水中，至少 30 分鐘。



圖 3.1

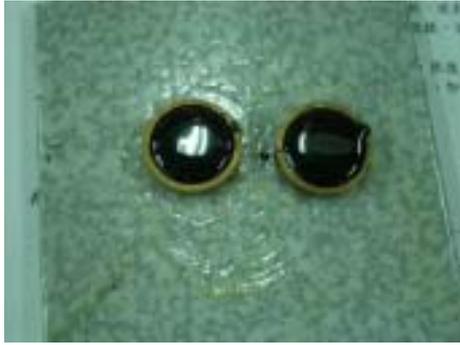


圖 3.2

2. 取出銅環並放置於銅環架上，將全部裝置放在 800ml 之燒杯中，杯中裝 5 之蒸餾水 600ml(如圖 3.3)，軟化點在 80 以上者，改裝 32 之甘油，並將鋼球放置於同環內之樣品中央(如圖 3.4)。



圖 3.3



圖 3.4

3. 利用加熱器，以每分鐘升高 5.0 ± 0.5 之速率加熱，樣品逐漸軟化下降，當其接觸到底板時，所示之溫度即為軟化點(如圖 3.5)。

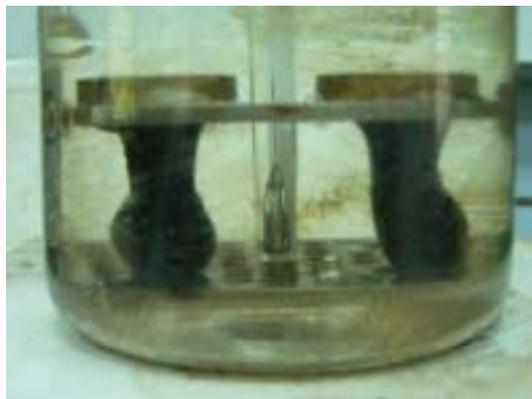


圖 3.5

注意事項：

1. 用新鮮蒸餾水以避免試樣上產生氣泡，以致影響精確度。
2. 加熱溫度須注意為每分鐘升高 5 。
3. 用一張紙以加重或其他方法附著於支架底板，或容器底面上，以避免瀝青材料附著其上，可以節省洗刷的時間及麻煩。

軟化點實驗

表格：

試驗次數	1	2
軟化點		
平均軟化點		

組別：_____

姓名：_____

實驗4.閃火點實驗

試驗目的：

用以檢定瀝青材料施工時之安全加熱溫度，防止發火之危險。

參考資料：

- 1.ASTM D93
- 2.CNS 3775
- 3.AASHTO T48

試驗儀器：

- 1.克氏露口杯
- 2.加熱鈹
- 3.支架
- 4.溫度計
- 5.加熱器
- 6.火焰槍

試驗步驟：

1. 將試樣裝入露口杯中，適當地放在加熱鈹圓孔中，其下由加熱器加熱，須避免火焰由杯緣上生產生溫度不均勻。
2. 溫度計的擺放方法為接觸至底部後，往上提升一些，避免溫度計直接接觸底面，導致所量測之溫度並非瀝青材料實際溫度(裝置如圖 4.1 所示)。



圖 4.1

3. 試樣的加熱速度，每分鐘不得低於 14 ，不得超過 16.7 。當溫度達到可能發生之閃火點前至少 27.8 時，加熱速度不得低於 5 ，不得超過 6 。
4. 調整火焰槍之火焰，使其直徑約為 4mm。
5. 當試樣溫度每升高 2.8 時，即用火焰槍之火焰依一直線橫過杯中中心（如圖 4.2）。



圖 4.2

6. 若在試樣表面發生有青藍色閃光時，此時溫度計之讀數即為閃火點。

注意事項：

1. 選擇須為通風的室內試驗，最好能有一較暗的位置，以便觀察閃火點的火焰。
2. 避免由於呼吸或露口杯的移動，擾亂試樣中所放出的蒸氣。
3. 試驗誤差不超過下表數值。

閃火點或燃燒點	同一試驗者及儀器 每次試驗結果之誤差	不同試驗者及儀器 每次試驗結果之誤差
79.5 288	2.8	5.6
288	5.6	8.4

閃火點實驗

表格：

試驗次數	1	2	3
閃火點			
平均閃火點			

組別：_____

姓名：_____

實驗5.溶解度實驗

試驗目的：

用以決定所含膠合劑之份量及雜質之含量，以為品質擬定之標準。

參考資料：

- 1.ASTM D2042
- 2.CNS 10092
- 3.AASHTO T44

試驗儀器：

- 1.古氏坩堝
- 2.石綿
- 3.燒杯
- 4.乾燥器
- 5.溶劑
- 6.天秤

試驗步驟：

1. 小心取試樣約 2g 置入以秤重之 125ml 錐形瓶，準確秤至 1 持續加入少許的三氯乙烯容器中，連續攪拌，使全部的塊狀物質消失，且無未溶解試樣附著於容器，直至所加入之三氯乙烯或四氯化碳（本實驗考慮安全性，以甲苯代替）總量為 100 為止。以塞子塞住錐形瓶，靜置 15 分鐘以上。
2. 將預先準備之坩堝放置過濾漏斗之橡皮管上，以少量的三氯乙烯濕潤石綿墊（如圖 5.1）。



圖 5.1

3. 將溶液經由石綿墊過濾入吸濾瓶中，視實際狀況決定是否應稍微抽氣（如圖 5.2），雖然不溶物只有少許，仍須盡可能使其停留在裝試樣的容器中，直到容器中的溶液全部流過石綿墊為止。



圖 5.2

4. 將全部不溶物洗入坩堝內，並以溶劑清洗不溶物，直到濾液大體上為無色為止。
5. 然後使用強烈抽氣器以除去殘餘溶劑，從橡皮管中取出坩堝，清洗底部，使其不含可溶物。而後置入烘箱頂層，放入 110 ± 5 烘箱中至少 20 分鐘，再置入乾燥器冷卻 30 ± 5 分鐘，秤重。

注意事項：

1. 瀝青材料須完全溶解於燒杯中之甲苯，燒杯中任何部分，都不許黏附有瀝青試料。
2. 由燒杯將瀝青懸液倒入坩堝中時，需特別小心，不可使懸液溢出。

溶解度實驗

表格：

次 數	1	2	3
燒杯重+瀝青重 A			
燒杯重 B			
瀝青重 A-B=C			
坩堝過濾後重 D			
坩堝重+石綿濾層重 E			
坩堝中不溶物質重 D-E=F			
燒杯重+不溶物質重 G			
燒杯不溶物質重 G-B=H			
不溶物質重 F+H=I			
瀝青含量百分比 $\frac{C-I}{C} \times 100 = J$			
平均瀝青含量百分比			

組別：_____

姓名：_____

實驗6.比重實驗

試驗目的：

其目的為辨別瀝青材料的特性、可用已知體積換算為重量、在鋪面設計中可根據重量換算成體積。本試驗乃利用比重瓶量測在規定溫度時，某一定體積瀝青材料之重量與同溫度、同體積之蒸餾水重量比。

參考資料：

- 1.ASTM D70
- 2.AASHTO T228

試驗儀器：

- 1.比重瓶
- 2.溫度計
- 3.燒杯
- 4.加熱器
- 5.天秤

試驗步驟：

1. 將瀝青於低溫加熱使其完全融化，注意防止因蒸發產生之損失。
2. 比重瓶擦乾後略微加溫，測量比重瓶之重量（如圖 6.1）。



圖 6.1

3. 再將已成流體之瀝青傾入比重瓶中，注意防止瀝青黏著於比重瓶壁上，也不許有氣泡存在。

4. 將比重瓶及其內所含之瀝青靜置於室溫下冷卻至室溫，然後與玻璃塞合秤重量（如圖 6.2）。



圖 6.2

5. 注滿新鮮蒸餾水於比重瓶中，塞緊玻璃塞，浸於燒杯內蒸餾水中，浸泡時間不得少於 30 分鐘。
6. 由燒杯中取出比重瓶，用乾淨的布擦拭乾淨，並秤其重量。

注意事項：

1. 試驗的溫度之界限為 25 ± 0.2 。
2. 秤重的精度需達毫克。

比重實驗

表格：

試驗次數			
比重瓶重	a		
(比重瓶+蒸餾水) 重	b		
(比重瓶+試料) 重	c		
(比重瓶+蒸餾水+試料) 重	d		
比重	$\frac{c-a}{(b-a)-(d-c)}$		
平均比重			

組別：_____

姓名：_____

實驗7.油溶瀝青分餾實驗

試驗目的：

用以檢定油溶瀝青揮發性物料及殘留物兩者之種類與份量。

參考資料：

- 1.ASTM D402
- 2.CNS 2495
- 3.AASHTO T78

試驗儀器：

- 1.蒸餾瓶
- 2.冷凝管
- 3.導管
- 4.瓶罩
- 5.加熱器
- 6.支架
- 7.溫度計
- 8.容器

試驗步驟：

1. 取 200ml 試樣置於蒸餾瓶中（如圖 7.1），若試樣含水量超過 2% 時，需先經過脫水再進行試驗。



圖 7.1

2. 裝置完成後，將試樣直接加熱（如圖 7.2），使於 5 15 分鐘內第一滴蒸餾物由瓶管滴出。溫度計擺放方法為接觸至底部後，往上提升一些，避免直接接觸瓶身，致使溫度不正確。



圖 7.2

3. 冷凝管接法為下方的管口為入水的地方，上方則為出水的地方（如圖 7.3），確保水流經循環後可以降低管內的溫度，使蒸氣凝結。



圖 7.3

4. 分餾速度在溫度 260 以下者，每分鐘 50 70 滴；在溫度 260 316 時，每分鐘 20 70 滴。
5. 按規定溫度記錄分餾物的體積。

注意事項：

1. 在蒸餾過程中，若試樣起泡，此時須降低蒸餾速度，然後再回復原有的蒸餾速度。

2. 若上述方法未能制止試樣起泡,可將火源由蒸餾瓶下中心移於靠近邊緣。
3. 若有水被蒸餾出來時,此水的體積也須記錄。
4. 試驗結果,以在各規定溫度下,各分餾物體積與脫水之試驗體積比,以百分比表示之。

油溶瀝青分餾實驗

表格：

試驗次數				
試料重				
試料比重				
試料體積				
水體積				
無水試料體積				
殘留物在	160			
	175			
	190			
	225			
	260			
	316			
	殘留物 160			
平 均				

組別：_____

姓名：_____

實驗8.薄膜烘箱試驗

試驗目的：

用以檢定瀝青膏加熱廠拌操作時，包裹粒料之瀝青膏薄膜硬化的程度。此硬化趨勢的測定，是以薄膜加熱試驗前後，試料針入度的百分比表示之。

參考資料：

- 1.ASTM D1754
- 2.CNS 10093
- 3.AASHTO T240

試驗儀器：

- 1.滾動薄膜烘箱（如圖 8.1）
- 2.溫度計
- 3.天坪
- 4.容器
- 5.藥刀



圖 8.1

試驗步驟：

1. 按試樣之比重計算 50ml 所須之試料重，精度在 $\pm 0.5g$ 內，並將試料放置於平底皿中（如圖 8.2）。



圖 8.2

2. 調整烘箱，使之處於水平，因此旋轉架也同處於水平狀態。旋轉架轉動時，其與水平面之最大斜度不得超過 3 度（如圖 8.3）。



圖 8.3

3. 當烘箱之溫度達到 163°C 時，迅速將裝有試料之皿端放在旋轉架上，然後將烘箱門關緊，並使旋轉架以每分鐘 6 轉的速度旋轉，此時烘箱之溫度保持在 $163\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
4. 經過 5 小時，將器皿取出並冷卻至室溫，立即稱重達 0.001g 。由此可計算瀝青材料的熱損量。

注意事項：

1. 在盛試料的容器放在旋轉架上，將烘箱門緊閉後，烘箱內的溫度回升至 162°C 時，開始保持箱內的溫度為 $163\pm 1^{\circ}\text{C}$ 五小時，但不得超過五小時十五分鐘。

2. 若不計熱損量時，則試樣在 163 ± 1 的烘箱內五小時後，即可直接傾入 240 立方公分的容器內，以供殘留物的特定試驗。
3. 若須計及熱損量，而其餘試驗不能在同一天完成時，則在殘留物稱過重量後，儲存過夜，而不可放入烘箱內預熱。

薄膜烘箱試驗

表格：

試驗次數			
試樣重+容器重	a		
殘留物重+容器重	b		
容器重	c		
殘留物重	$b-c=d$		
試樣重	$a-c=e$		
殘留物百分比	$(d/e) \times 100$		
平	均		

組別：_____

姓名：_____

實驗9.馬歇爾配合設計

試驗目的：馬歇爾法為第二次世界大戰後，被廣泛應用於某一級配料之熱拌瀝青路面之最佳瀝青含量設計法。為實驗室之設計用，及工地施工品質控制試驗之用。其主要的優點為儀器構造簡單、堅固且攜帶方便。

試驗儀器：

1. 粗骨材搖篩機（如圖 9.1）
2. 細骨材搖篩機（如圖 9.2）
3. 馬歇爾夯打機（如圖 9.3）
4. 馬歇爾試驗儀（如圖 9.4）



圖 9.1



圖 9.2



圖 9.2



圖 9.4

試驗步驟：

試驗步驟 A ~ G 中，A、B 為測試材料性質；C 為試體準備；D 為比重；E 為穩定值與流度值的量測；F 為密度及孔隙分析；G 為分析試驗結果。

Step A：骨材特性評估

- A-1. 決定適用於 HMA 鋪築的骨材，試驗方法包括洛杉磯磨損試驗、硫酸鹽健性試驗、砂當量、有害物質含量、破裂面數、光滑度及扁平顆粒之數量。
- A-2. 骨材級配、比重及吸水率試驗。
- A-3. 調整骨材級配至規範值中間 (根據 0.45 冪次級配曲線)，並與最大密度曲線比較，若太接近則 VMA 可能會過低。因此須調整使其遠離最大密度曲線，特別是 NO.8 篩以使得 VMA 增加。此外亦需考慮 NO.200 篩。
- A-4. 計算一個試體中各篩號所需之量。一個試體骨材重約 1150g，乘上各篩號的停留百分比即為各篩尺寸所需之重量。然後決定通過 NO.200 篩的骨材累積重量。

Step B：瀝青特性評估

- B-1. 根據計畫鋪築地區決定瀝青混凝土種類及等級。
- B-2. 確認規範性質可被接受。
- B-3. 量測瀝青比重，並繪製溫度 - 黏度圖。
- B-4. 依圖表決定拌合及壓實之溫度範圍：
 - 1). 拌合溫度：黏滯度為 170 ± 20 centistokes 所對應之溫度。
 - 2). 壓實溫度：黏滯度為 280 ± 30 centistokes 所對應之溫度。

Step C : 試體準備

- C-1.** 將骨材烘乾並篩分成不同粒徑，準備的量須足夠製作 18 個試體，每個重約 1150g。
- C-2.** 秤出各試體之骨材用量 (18 個試體)，裝於拌合容器內，並加熱至根據 B-4 所求出之溫度，然後拌合。
- C-3.** 先做一個嘗試試體，量測其高度是否符合 Marshall 的要求高度 (2.5-in±0.2-in)，以決定 1150g 之骨材用量是否適當。若高度不符，則以下式修正骨材用量：
- $$Q = \frac{2.50}{h} \times 1150$$
- where Q = weight of aggregate to produce a specimen 2.5-in tall, g.
h = height of trial specimen, inches.
- C-4.** 加熱足量的瀝青以準備 18 個試體。
- C-5.** 根據適當的規範要求，決定每面夯打次數及製作馬歇爾試體之設備要求。
- C-6.** 取出預熱之骨材，並加入適當的瀝青以達到期望的瀝青含量。
- C-7.** 充份拌合瀝青及骨材直至瀝青完全包裹骨材為止。
- C-8.** 將新拌合試體維持在壓實溫度。
- C-9.** 將紙盤放入預熱的 Marshall 模內，檢查溫度，以刮刀稍微修飾試體，並依設定之打擊次數夯打試體之頂面。
- C-10.** 將試體翻轉 180°，依相同打擊次數夯打試體之另一面。
- C-11.** 移除試體上下之濾紙，放置在室溫下。
- C-12.** 量測試體之比重 (bulk specific gravity) 與水中重、SSD 狀態重。詳見 AASHTO T166。。
- C-13.** 依據 AASHTO T209 (ASTM D2041) 量測試體之比重 (Rice specific gravity)。

Step D : 密度與孔隙分析

$$\text{D-1. } VTM = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100$$

where VTM = 空隙率

G_{mb} = bulk specific gravity (from Step C-12)

G_{mm} = Rice specific gravity (from Step C-13)

$$\text{D-2. Density (g/ml) = Bulk Specific Gravity } (G_{mb}) \times \delta_{wo}$$

$$\text{D-3. } VMA = 100 \left[1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}}\right]$$

where VMA = 粒料間空隙體積

G_{sb} = bulk specific gravity of aggregate (from Step A-2)

P_b = asphalt content by weight of total mix.

$$\text{D-4. } VFA = 100 \left(\frac{VMA - VTM}{VMA}\right)$$

where VFA = voids filled with asphalt.

Step E : 馬歇爾穩定值與流度值

E-1. 將試體浸入 140 之水中，使試體浸泡 30~40 分鐘。

E-2. 取出試體擦掉多餘水份後，迅速將試體置於馬歇爾試驗儀器上。

E-3. 將夾頭含試體置於穩定儀上，調整載重錘、流度儀讀數歸零後，開始穩定值及流度值試驗。以 2in./min 的速率施加應力，量取最大應力值與其流度值。整個過程自試體離開水槽至試驗完成時間不得超過一分鐘。

E-4. 重覆 D-2 及 D-3 直至所有試體試驗完成。試驗過程中須隨時檢查：

1. 每個試體之試驗時間須低於 60 秒。
2. 同一含油量三個試體之試驗時間和須相同，且須在 30~40 分鐘之間。

Step F : 試驗結果製成圖表

F-1. 整理試驗結果並列表, 依試體高校正穩定值 (ASTM D1559) 及計算三個試體之平均值。

F-2. 繪圖。

1. 瀝青含量對密度 (單位重) 之關係圖。
2. 瀝青含量對馬歇爾穩定值之關係圖。
3. 瀝青含量對流度值之關係圖。
4. 瀝青含量對孔隙率 (VTM) 之關係圖。
5. 瀝青含量對 VMA 之關係圖。
6. 瀝青含量對 VFA 之關係圖。

F-3. 檢視上述之圖是否有下列趨勢：

1. 穩定值對瀝青含量：
 - a. 穩定值隨瀝青含量增加而上升至一頂點後開始下降。
 - b. 穩定值隨瀝青含量增加而無尖峰出現。此現象常發生在再生瀝青混凝土上。
2. 流度值隨瀝青含量增加而變大。
3. 密度隨瀝青含量增加而上升至一頂點後開始下降。此頂點所對應之瀝青含量通常高於穩定值尖峰點所對應者。
4. 孔隙率隨瀝青含量增加而減小。
5. VMA 隨瀝青含量增加而降低至一最低點後上升。
6. VFA 隨瀝青含量增加而升高。

Step G : 測量最佳瀝青含量

G-1. 決定最佳瀝青含量：

Method 1 : NAPA procedure contained in TAS 14

1. 由瀝青含量對孔隙率圖中, 找出規範規定之空隙率中間值 (通常為 4 %) 所對應之瀝青含量。
2. 由 F-2 所繪之圖中, 查出上述瀝青含量所對應之
 - a. 馬歇爾穩定值
 - b. 流度值

- c. VMA
 - d. VFA
3. 比較上述所查得的值是否合於規範。若合於規範，則此瀝青含量為最佳瀝青含量；若有任一值不符合，則須重新設計。

Method 2 : Asphalt Institute Method in MS - 2

1. 決定
 - a. 最大穩定值對應之瀝青含量。
 - b. 最大單位重對應之瀝青含量。
 - c. 規範空隙率中值 (通常為 4 %) 對應之瀝青含量。
 2. 將上述三瀝青含量平均。
 3. 根據上述平均瀝青含量查下列各值：
 - a. 穩定值
 - b. 流度值
 - c. 孔隙率
 - d. VMA
 4. 比較上述 4 個值是否合於規範要求。
- G-2.** 若所求之值未能符合規範，尚可以其它之考量（如現地之經驗）來決定此混凝土可否用於鋪築。若 VMA 未能符合標準，則須修正骨材級配重新設計。
- G-3.** 試驗室的配比設計可作為 initial job mix formula (JMF) 之基礎。在施工初期，initial JMF 常須作調整。通常試驗室所得之最佳瀝青含油量有過高之虞，故可減少零點幾個百分比以因應現地之用，尤其是 VTM 低之混合料。

馬歇爾規範

不同地方使用馬歇爾配比設計時，其標準之考量不盡相同。然而大部份均考慮下列性質：

1. 最小 VMA
2. 可接受之孔隙率範圍
3. 最小穩定值
4. 最小流度值或範圍
5. 有些地方亦考慮 VFA

Voids in the Mineral Aggregate

1. VMA 指骨材間孔隙體積和。
2. 若 VMA 太小，則混凝土有耐久性問題；若 VMA 過大，則會有穩定性及經濟上的問題。
3. VMA 有兩個構成要件：
 - a. 瀝青所佔之孔隙體積。
 - b. 壓實後可供瀝青受熱膨脹空間的孔隙體積。
4. 瀝青所佔之體積對混凝土之延展性是很關鍵的。
5. 當最大粒徑減小時，最小 VMA 會增加。
6. VMA 必須夠高以確保有足夠之空間因應瀝青增加後的孔隙要求。

Voids in Total Mix (VTM)

1. 在最佳瀝青含量下之密級配 HMA 試體的 VTM 多要求在 3% ~5%。
2. 孔隙率應由壓實達到要求，而非由在孔隙中增加瀝青達到。
3. HMA 鋪面利用內部骨材接觸將載重自表面傳遞到底下各層，並抵抗瀝青流動。因此，假如鋪面達到要求，則在 HMA 層必須發展出高剪力抵抗能力，以抵抗開放交通後可能造成造成車轍及冒油的額外壓實。
4. 密級配鋪面應能有效阻隔空氣與水份的侵入。
5. 若現場孔隙率略高於 3% ~5%，則空氣與水份不易侵入，因骨材與瀝青間之孔隙是各自獨立的，而非相互連接。
6. 低孔隙率可減少瀝青薄膜的老化，也降低水份侵入鋪面內部、滲透瀝青薄膜及剝脫的機率。
7. 現場鋪築的空隙率應略高於 3% ~5%，以確保在開放交通後的壓實作用下，鋪面能保持 3% ~5% 的孔隙率。

Density (密度)

1. 增加密度之方法及可能產生之影響：
 - (a) 壓實。
 - (b) 增加瀝青含量。
 - (c) 增加填充料含量。
 - (d) 任何可以減少孔隙的方法。

上述方法中，(a)可以得到較高剪力強度，然而減少現地孔隙（即 b、c、d 法）將會減少剪力強度，且在高交通量下較易有永久變形。

2. 在混合物中增加瀝青含量以及灰塵量將可以增加密度，但此作法對於績效不一定會有正面的影響。
3. 在馬歇爾配合設計過程中，密度會隨著瀝青含量而改變。最初密度會隨著瀝青含量增加而增加，這是因為熱拌瀝青使得顆粒潤滑，導致在夯實的過程更容易達到緊密的程度。此密度將會到達一尖峰值，然後開始下降，因為此時包裹在顆粒外的瀝青薄膜厚度會增加，反而使顆粒間產生推擠。

Stability (穩定值)

1. 馬歇爾穩定值定義為在 140 ，以 2 inches/min 之速度夯實，試體所能承受的最大荷重。
2. 穩定值高 - 瀝青黏度大、多角性骨材 (內摩擦力大)
3. 一般而言：Higher viscosity → higher stability 。
Angular aggregate → higher stability 。
4. 現場穩定值受下列因素影響：
 - a. 周遭溫度
 - b. 載重形式
 - c. 載重比率
 - d. 胎壓
 - e. 其它混合料性質

然而實驗室穩定值僅考慮其中一種因素，故馬歇爾穩定值與現場穩定值間之相關性不高。

5. 要注意的是，假如現地穩定值有問題，應探討是何種原因所引起的，而不是一味的假設較高的穩定值就能解決。
6. 目前馬歇爾穩定值之主要用途為估計最佳瀝青含量，此外亦有助於評估廠拌 HMA 之一致性。

Flow (流度值)

1. 流度值是在馬歇爾穩定值試驗時一起量測的。其等於試體之垂直變形（從穩定值開始減少時開始計算），以 0.01 in 表示。
2. 根據經驗，高流度值表示混合料有較高的塑性，在交通荷重下易產生永久變

形；低流度值則表示混合料孔隙過高，瀝青含量不足，易形成龜裂、碎裂。

3. 對於重交通量設計 (每面打 75 次)，流度值通常定在 8~16；至於較低交通量之設計 (每面打 50 次)，流度值允許在 20 以上。當流度值 > 20 時，較易產生車轍。

參考文獻

1. 蔡攀鰲(2002), 瀝青混凝土。
2. 蔡攀鰲(2002), 公路工程學。
3. 經濟部中央標準局, 中國國家標準 CNS。
4. AASHTO, Materials.
5. ASTM(2002), Annual Book of ASTM Standard.
6. Atkins, H.N.(1997). Highway Materials, Soils, and Concretes, 3th ED., Prentice-Hall Inc.
7. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy, T.W. (1996). *Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction*, 2nd Ed., NAPA, Lanham, Md.