

第二章 實驗方法

2-1 簡介

在實驗的第一部分先做可視化的觀察，使用平滑圓形玻璃管和在玻璃管內壁加上一層銅網，了解管內蒸汽冷凝現象和凝結水輸送的情況，並觀察銅網對於凝結水輸送的影響性。玻璃管規格為長 300mm、外徑 6mm、內徑 5mm，銅網為 100 網目、線寬 0.11 mm。實驗第二部分使用的圓形銅管，加工成下列各種型式：(a)平滑管、(b)溝槽管、(c)內壁具銅網之平滑管、(d)內壁具銅網之溝槽管，如圖 2.1 所示。在上述的不同型式的銅管內通入水蒸汽後，使用水套去冷卻管壁，藉由收集凝結水量來比較各種不同形式的溝槽銅管輸送液膜的能力。平滑銅管的規格為長 300mm、外徑 6mm、內徑 5.4mm，溝槽銅管的規格為長 300mm、溝槽底部的壁厚為 0.32mm，溝槽數目 55 個，其形狀為深 0.25mm、寬 0.16mm 的 U 字形。的以上實驗項目中，配置的方位將包括水平與傾斜 15° 兩種。

2-2 實驗設備與步驟

實驗配置如圖 2.2 所示，包括蒸汽產生區、測試管件、水套和負壓區。首先在測試管件的中間放置水套，其他部分覆蓋絕熱棉防止熱量的散失，水套由恆溫循環水槽保持一定的溫度(30°C 或 50°C)和流

動速率(30ml/s)。測試管兩端分別連接供給水蒸汽的燒瓶和具有毛細結構的凝結水收集瓶。燒瓶中裝滿足量的 DI water 放置在加熱包中加熱，等到 DI water 蒸發變成水蒸汽經由矽膠管進入測試管中，等待十分鐘使測試管內的空氣被水蒸汽帶走，之後將測試管尾端與 L 型玻璃管相接，L 型玻璃管的進口處有放置一般聚乙烯毛細結構，並連接測試管的內壁，來幫助凝結水輸送並阻擋蒸汽進入收集瓶中。測試管中的蒸汽被冷卻後凝結，形成低壓區而吸入燒瓶供應的水蒸汽，而燒瓶產生過多的水蒸汽則會經由另一端出口逸出，可以達到自動調節測試管內冷凝程度的功能並保持一端出口壓力為一大氣壓。在打開恆溫水套使水套流動循環後，測試管中間水蒸汽開始冷卻產生凝結水，凝結水受到水蒸汽的推動至毛細結構，再由 L 型玻璃管產生的水頭負壓差 $-\rho gh$ 將凝結水吸入收集瓶中。凝結所產生的低壓會吸引更多的水蒸汽進入至凝結區，因此如果測試管有較佳的毛細力能將冷凝的液體快速帶走，而不會累積在管壁上形成液膜增加冷卻時的熱阻，就會有更多的水蒸汽進入測試管中凝結成水，使得凝結水收集量會上升。最後，等待系統達到穩定後，即收集瓶內的冷凝水量穩定的上升，每 2.5ml 的水量記錄一次時間，觀察不同測試管收集 20ml 水的時間的長短來比較其冷卻能力優劣。收集的水量多，代表凝結水被帶走的速度較快，同時也有更多的水蒸汽進入水套凝結成水，此時收集凝結水所帶走的功率，可由公式計算：

$$Q = \dot{m} h_{fg} \quad (2-1)$$

其中 h_{fg} 為水在 1atm, 100°C 時的汽化潛熱：2257 kJ/kg

2-3 清洗

實驗中所使用的測試管件有玻璃管、銅管和銅網在機械製造過程中，難免會受沾染到油污，銅管內部也容易殘存一些金屬碎屑油污會降低管件的表面張力使傳輸性能降低，而金屬碎屑則會阻塞銅網毛細結構影響凝結水的收集。為了使水和測試管件有良好的潤溼性和表面張力，在實驗測試前我們依照以下的步驟進行清洗工作：

1. 將測試管件浸泡在丙酮溶液中，在超音波震盪儀中放置 10 分鐘，以去除管件中的油脂和油污。
2. 在超音波震盪儀中使用 DI water 將管件清洗 5 分鐘。
3. 將管件放置在磷酸和硝酸的稀釋液中酸洗 2 分鐘，除去管件中殘留的金屬碎屑和氧化層。
4. 在超音波震盪儀中使用 DI water 將管件清洗 5 分鐘。

2-4 負壓區

在熱管或迴路式熱管中工作流體循環的驅動力，主要來自毛細結構所產生之毛細力 ΔP_c ，熱管在穩定的狀況下，毛細結構之蒸發表面上液汽介面所形成的半月形曲(meniscus)，其曲率半徑會隨著輸入熱

量而改變，使毛細結構所產生之毛細力大於工作流體流經整個環路的流動阻力之和。然而隨著輸入熱量的增加，造成工作流體的流量增大，流動阻力上升，當熱通量增大到某一程度時，毛細壓差便不足以克服流動阻力，此時熱管便到達其操作之最大極限，稱之為毛細限制。

在迴路式熱管中，藉由蒸汽室內部毛細結構所提供的毛細力將迴式通道中冷凝產生的液體拉回至蒸發器，完成循環。而此毛細力為毛細結構汽液交界面的壓差可表示為：

$$P_v - P_l = \Delta P_c = \frac{2\sigma \cos\theta}{r_{c,e}} - \frac{2\sigma \cos\theta}{r_{c,c}} = \frac{2\sigma}{r_{c,e}} \quad (2-2)$$

其中 σ 為液體表面張力， θ 為液體與毛細結構的接觸角， $r_{c,e}$ 為蒸發區毛細結構液面的曲率半徑。而在熱管中，蒸汽室加熱區其毛細結構的液面曲率半徑 $r_{c,e}$ 最小，且蒸發端的接觸角 θ 很小，可以近似為 0。而在冷凝區時液面曲率半徑則趨近無限大，因此熱管中最大的毛細壓力可以單獨使用蒸發區毛細結構的曲率半徑來表示。

實驗中為了模擬蒸汽室內毛細結構汽液交界面壓差將凝結水帶動回流的情況，我們在溝槽銅管尾端接上一個 L 型的玻璃管，插入一固定高度水位的連通量筒中，如圖 2.2 所示，等凝結水慢慢的經由 L 型玻璃管往下流至量筒，等到左邊量筒的水位累積至一定的高度後，多餘的凝結水將會流至右邊的收集量筒中，以確保水位面至測試管的高度差 h 保持固定。而在靜止或等速運動之流體其壓力僅與重力方向

有關，此時的壓力水頭可表示為：

$$\Delta P_h = \rho gh \quad (2-3)$$

令水頭壓差 ΔP_h (Eq.2-3) 與毛細結構汽液交界面壓差 ΔP_c (Eq.2-2) 相等，可以得到在相同的壓差下，水頭高度差與蒸發區毛細結構的曲率半徑的關係式：

$$r_{c,e} = \frac{2\sigma}{\rho gh} \quad (2-4)$$

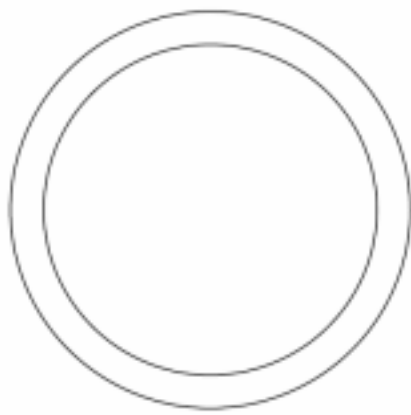
其中水在 20°C 時的表面張力 σ 為 0.0728 N/m，因此在水頭高度差 $h=4\text{cm}$ 時可得 $r_c = 371\mu\text{m}$ ；在水頭高度差 $h=7\text{cm}$ 時可得到 $r_c = 212\mu\text{m}$ 。一般熱管迴路式熱管毛細結構的孔隙半徑均僅數微米至數十微米，遠小於上述的數值。然而當進一步增加 h 以減少 r_c 時，會產過大的負壓，而將測試管中的水蒸汽強制吸引穿越管末端的聚乙烯毛細結構，因此本實驗方法所提供的負壓有其限制。

2-5 毛細結構的壓降

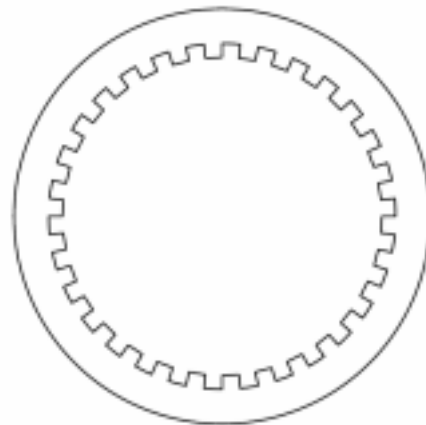
在凝結水收集實驗中，我們在 L 型玻璃管前端使用聚乙烯毛細結構來幫助凝結水的輸送和阻擋水蒸汽的進入，這會在 L 型玻璃管所提供的水頭負壓中造成一些壓力損失，為了修正這個誤差，必須測量出實驗中使用的毛細結構所造成的壓降，為此我們使用 Huba 692 系列

的差壓傳送器(differential pressure transmitter)去量測毛細結構前後端的壓力差，實驗配置如圖 2.3 所示，首先由步進泵(syringe pump)提供穩定速率的水，當水經由管路流過毛細結構，差壓傳送器會將毛細結構前後端的壓力差傳送到壓力顯示器上，之後改變步進泵的流量，可以得到在不同的流量下，毛細結構所造成的壓力損失。圖 2.4 為調整步進泵中水的體積流率從 0.01ml/s 增加至 0.05ml/s 時，所得到的毛細結構前後端的壓力差，其結果隨著水量增大而成線性增加。而在之後凝結水收集實驗中所得到的凝結水收集流量約在 0.02~0.04ml/s 之間，此時所得到對應的毛細結構壓損在 80~180Pa 之間。

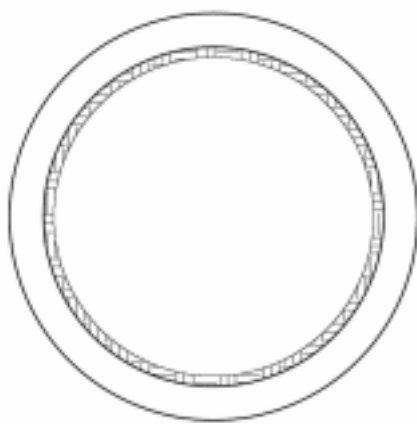




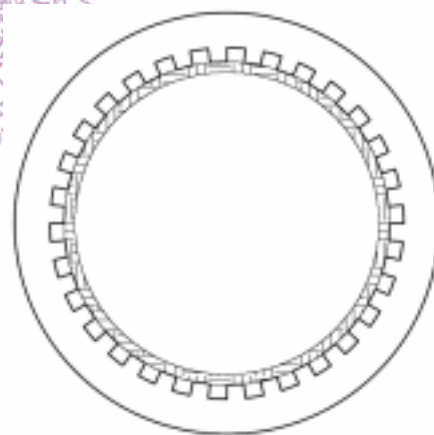
(a)平滑銅管



(b)溝槽銅管



(c)內壁具銅網之
平滑銅管



(d)內壁具銅網之
溝槽銅管

圖 2.1 不同型式銅管的剖面示意圖

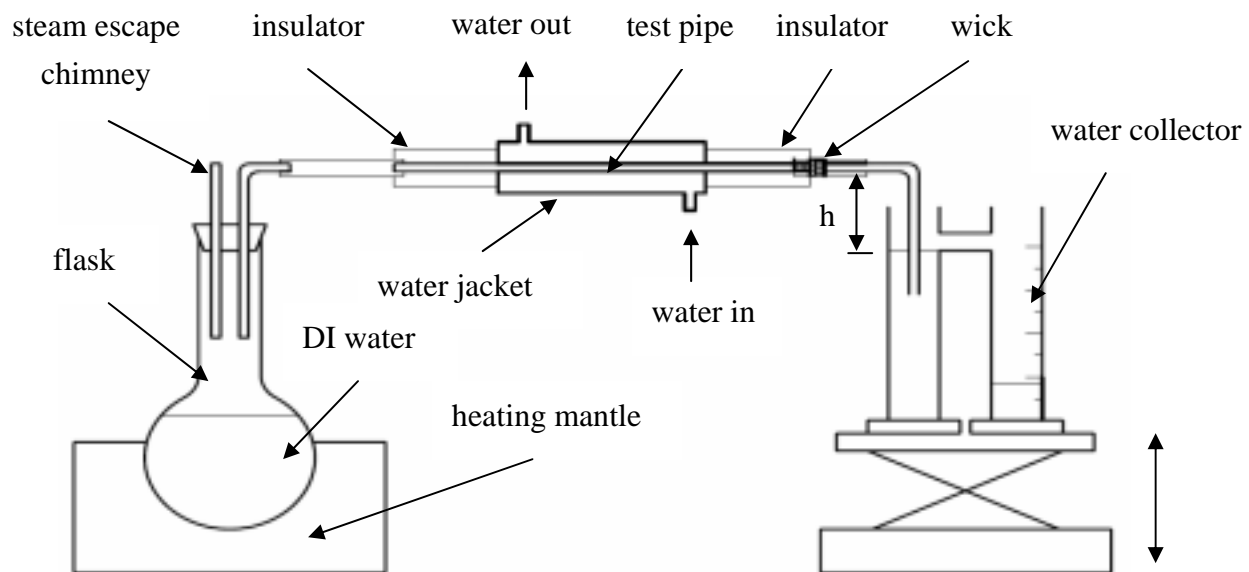


圖 2.2 凝結水收集實驗配置圖

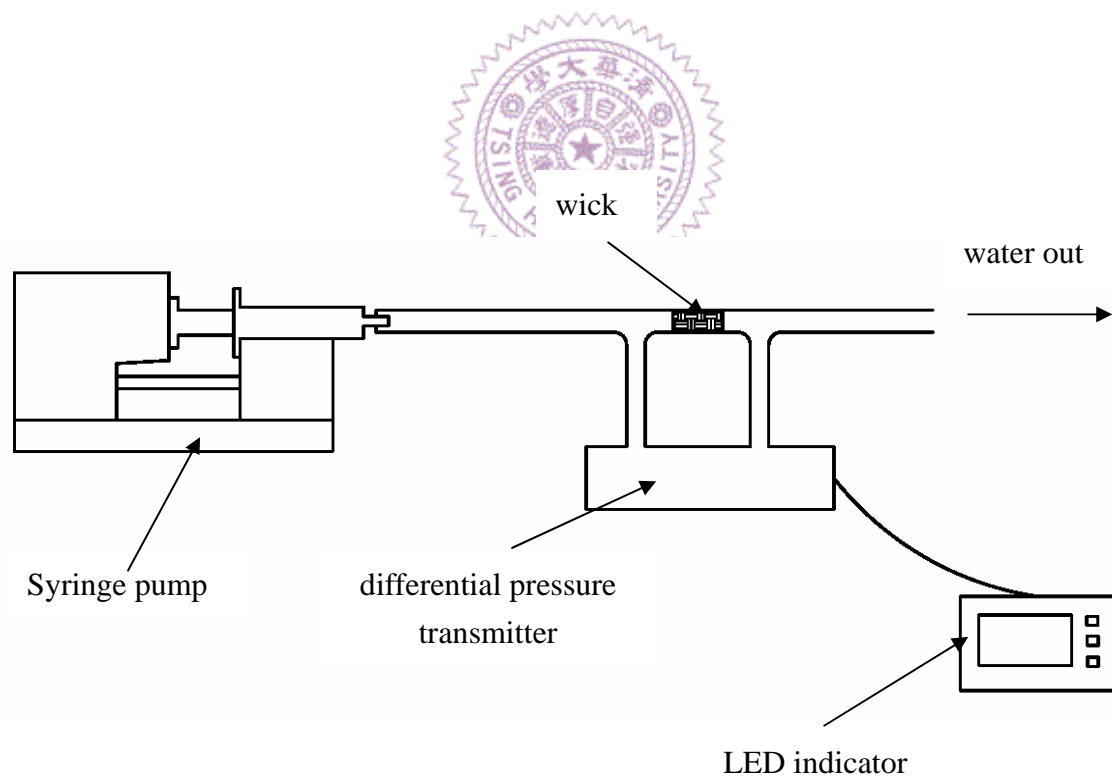


圖 2.3 毛細結構壓降實驗配置圖

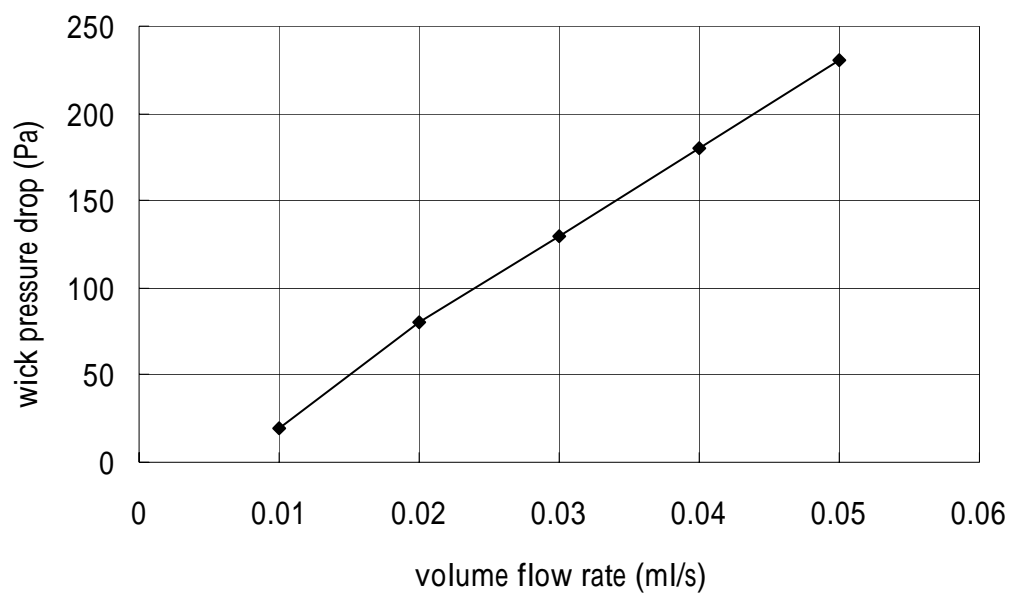


圖 2.4 凝結水收集流量與毛細結構壓降關係圖

