

第二章 實驗架設與步驟

2.1 實驗量測與架設

本實驗所使用的儀器設備，主要內容包含下列幾項部分：(1)霧化器；(2)熱板系統；(3)溫度量測裝置；(4)環境控制裝置；(5)影像擷取設備，以下分別說明。

(1) 霧化器：

本實驗所使用的霧化器為(TSI Model 3450, Vibrating Orifice Aerosol Generator, VOAG)(如圖 2.1 所示)，其產生液滴的原理為：利用步進馬達帶動針筒幫浦 (syringe pump) 精確的控制液體的流量，因針筒幫浦的推動把工作流體加壓擠出噴頭的圓孔形成液柱，當流體通過圓孔孔隙時，利用壓電環震動使其斷裂形成一顆一顆的液滴，並伴隨著高壓氣體一併從噴頭前端噴出，因為驅動空氣(disperse air)的牽引，帶動液滴群形成錐狀噴霧，利用空氣流量的調整來改變其錐角大小，所產生的液滴直徑與孔徑、液體流量及振動頻率有關，藉由改變不同孔徑的噴頭，以產生不同直徑的單佈性液滴，參考圖 2.3；使用本霧化器的優點有：(1)產生的噴霧液滴接近單佈性，避免直徑差異過大的液滴同時存在，混淆液滴直徑的效應；(2)因為它利用氣流把噴霧帶出，因為驅動空氣的牽引，可以讓液滴在撞擊加熱平板後，把液膜拉的更薄，而驅動空氣亦會把飽和蒸汽帶走，進而降低飽和蒸

汽壓，使得汽化溫度下降，將有助於汽化的發生。

霧化器的振動頻率的關係式如下[23]：

$$f = \frac{6 q_w}{\pi D}$$

其中 f 為振動頻率， q_w 為液體體積流率， D 為液滴直徑。表 2.1 列出本實驗中振動頻率與液體體積流率(q_w) 和液滴直徑 D 的對照表（注意此霧化器作動頻率 1KHz~1MHz）。再根據說明書上的液滴大小與orifice的使用規格(表 2.2)，來選擇orifice的尺寸。本實驗中將展開的噴霧恰好覆蓋熱板全面積，噴頭至熱板距離為 5cm，熱板直徑為 2cm，換算噴霧角度為 22.6° ，如圖 2.2 所示，此時氣體體積流率(q_a) 為 2.5 L/min。實驗中在不同的液體體積流率時，為了維持相同熱板面積冷卻，氣體體積流率(q_a)將維持相同。

(2) 熱板系統：

本實驗的熱板系統配置圖如圖 2.3 所示，作為噴霧冷卻的熱板平面為一紅銅圓柱($\Phi = 20 \text{ mm}$ ， $L = 20 \text{ mm}$)的上表面，選用紅銅係因為傳熱容易且易於加工的特性。紅銅圓柱嵌入在鐵弗龍中空套桶之中，二者之上表面齊高，作為絕熱元件。另外，在紅銅圓柱外圍貼上一層絕熱棉加強絕熱效果，並使溫度分佈接近一維。將一傳統加熱絲之加熱片塗抹導熱膏塞入鋁板之中空區，使加熱能更加均勻的傳散出

去。將固定好之紅銅圓柱與鐵弗龍中空套桶放置在加熱鋁板上面，並於接觸面之紅銅圓柱底面塗上導熱膏，增加導熱效果。在加熱鋁板的另一端先放上一絕熱棉片後再放一木質電木，形成一結構體，最後利用二不鏽鋼片與鎖附螺絲固定在木質電木與鐵弗龍中空套桶之中，以穩固整個結構體，最後將整個結構體周圍在包覆一層絕熱棉。將絕熱效果做到最佳化。在加熱鋁板裝置上完成後，將加熱片的正負極接上電源供應器，提供穩定的直流電壓驅動加熱片產生熱量，藉由電壓的調整可以得到不同的熱通量和表面溫度。本實驗溫度設定在 80°C 、 100°C 及 120°C 。其程序為：調整電源供應器的電壓輸出，以改變紅銅圓柱之上表面溫度，當熱電偶顯示達到一穩定溫度達到 10 分鐘，此溫度作為初始溫度。紅銅圓柱之上表面的分佈是否均勻，乃藉下述的量測作確認。

(3) 溫度量測裝置：

在紅銅圓柱之距離上表面之下方 1mm 處，沿平行上表面方向鑽出兩個直徑為 1.2mm 的長孔道，以各埋設一熱電偶(k-type)，使熱電偶頭的量測點分別位於紅銅圓柱中央及 $1/2$ 半徑處，另在紅銅圓柱的上表面邊緣處與鐵弗龍中空套桶接觸點再埋設一熱電偶。在兩個長孔道中埋入熱電偶（線徑 $50\mu\text{m}$ ，頭部直徑約 $75\mu\text{m}$ ）的方式是將延長線（lead wire）部分置入外徑 1.2mm 的陶瓷棒中，然後利用 OMEGA

高溫黏著劑，固定僅熱電偶頭露出，將熱電偶頭部塗佈少量導熱膏，以減少接觸熱阻，然後埋入孔道之中（如圖 2.4 所示）。

溫度擷取設備包含軟體與硬體部分，軟體選用 sigmaplot 當訊號處理繪圖軟體，硬體部分則使用 k-type 的溫度量測器(OMEGA, Model 650)和溫度記錄器(FLUKE，Model 2645A)。

(4) 環境控制裝置：

首先利用霧化器產生單佈性噴霧 (monodisperse spray)，為了避免溫度及濕度會對實驗結果造成影響，所以在一密閉空間內利用除濕機來作濕度的控制，把實驗環境控制在相對溼度 50% 上下，而溫度控制藉由空調系統而使環境溫度固定在 25°C。壓縮機供氣因內部的除氣槽含有水氣，因此提供的高壓氣體相對濕度應接近飽和，因此當空氣由霧化器出口噴出時，其溫度與室溫同為 25°C，在相對濕度 100% 的條件下，換算成絕對濕度為 0.019 kg H₂O/kg dry air，關於相對濕度換算成絕對濕度，補充如下：

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{\omega P_a}{0.622 P_g}$$

其中 ϕ 為相對濕度， ω 為絕對濕度或比濕 (specific humidity)， P_a 為乾空氣的壓力， P_g 為乾球溫度下之飽和蒸汽壓

當空氣到達板面時，在板溫分別為 80°C、100°C 時，其對應之飽和絕對濕度分別為 0.29、0.622、1.22 kg H₂O/kg dry air，故上

述 25°C 低溫飽和空氣到達高溫板面時，其中 0.019 kg H₂O/kg dry air 之絕對濕度僅相當於極低的相對濕度，因此可以推論驅散空氣內含的水氣量不致對液滴蒸發造成明顯影響。

(5) 影像擷取裝置：

其設備影像擷取是利用 Optem zoom 125 與 Watec wat-902b CCD 共同組立而成的顯微攝影系統，再利用影像擷取卡將數位影像放映到螢幕上面並進行錄影。Watec wat-902b CCD (黑白) 是 40 萬有效實際像素，在普通的 14 吋螢幕下，大約放大倍率為 400 倍左右，可以明顯的看出 μm 等級物體。



2.2 實驗步驟

本實驗主要研究液滴直徑、液體及空氣流量、表面溫度及液滴衝擊表面速度對散熱過程的影響。分暫態與穩態來進行實驗：

(1) 暫態部分：首先利用霧化器產生單佈性噴霧 (mono disperse spray)，為了避免溫度及濕度會對實驗結果造成影響，所以在一密閉空間內利用除濕機來作濕度的控制，把實驗環境控制在相對溼度 50 % 上下，而溫度控制藉由空調系統而使環境溫度固定在 25°C。固定噴霧錐角於 22.6°，且固定氣體流量，控制於液滴出口速度為恆定，實驗在不同液體流量 (5.94~59.4 $\mu\text{l/s}$)、不同初始表面溫度 (80°C、100°C) 與不同液滴直徑 (35~350 μm) 下，其散熱表面造成的溫降情

形，同時觀察噴霧現象、液膜形成、液膜累積。此外，輻射效應因為板溫較低也可以忽略。

(2) 穩態部分：控制環境與實驗參數都與上述暫態相同，而穩態實驗，將找出較佳液滴直徑、氣體流量、液體流量與初始表面溫度的範圍，得到最佳實際散熱量，與理論散熱量比較差異性，進而探討差異原因。而在改變氣體流量時，同時需維持相同的噴霧錐角，須調整噴霧出口到熱板表面的距離，將使衝擊表面速度增加或減低。當衝擊速度增加時，需注意液膜形成、液膜累積情形，若產生溢流現象，將造成無法量測實際散熱量。故在不形成液膜的前提下，找出最佳實際散熱量。

實驗過程中在開始噴霧 10 分鐘後，確認液滴直徑均勻且單佈性分佈良好狀態下，才把單佈性噴霧噴於加熱平板上。實驗中空氣源鋼瓶的出口壓力均維持 5 kg/cm^2 。並記錄熱板表面溫度隨時間的變化情形和液膜產生的情形。如前所述，表面溫度量測是利用兩個埋在上表面下 1mm 處和 1 個紅銅圓柱上表面邊緣的 K-type 熱電偶擷取，並利用溫度記錄器 (FLUKA Mode 2645A, OMEGA Model 650) 來記錄三點的溫度變化值。此外，利用電子顯微系統把整個蒸發的過程拍攝下來，再利用影像擷取卡把資料存入電腦並進行處理，希望可藉由圖像的分析來找出大液滴和小液滴之間蒸發行為的異同，以解釋不同噴霧情況下

的熱傳特性。

由於本實驗所加熱材質是紅銅，紅銅本身就很容易與氧結合行程氧化銅，所以每次開始做實驗和每次做完 3 次數據，將會利用丙酮進行紅銅表面之清洗，使誤差值降低。另外 orifice 則每次更換時，皆須利用酒精清洗保持孔的清潔。

