

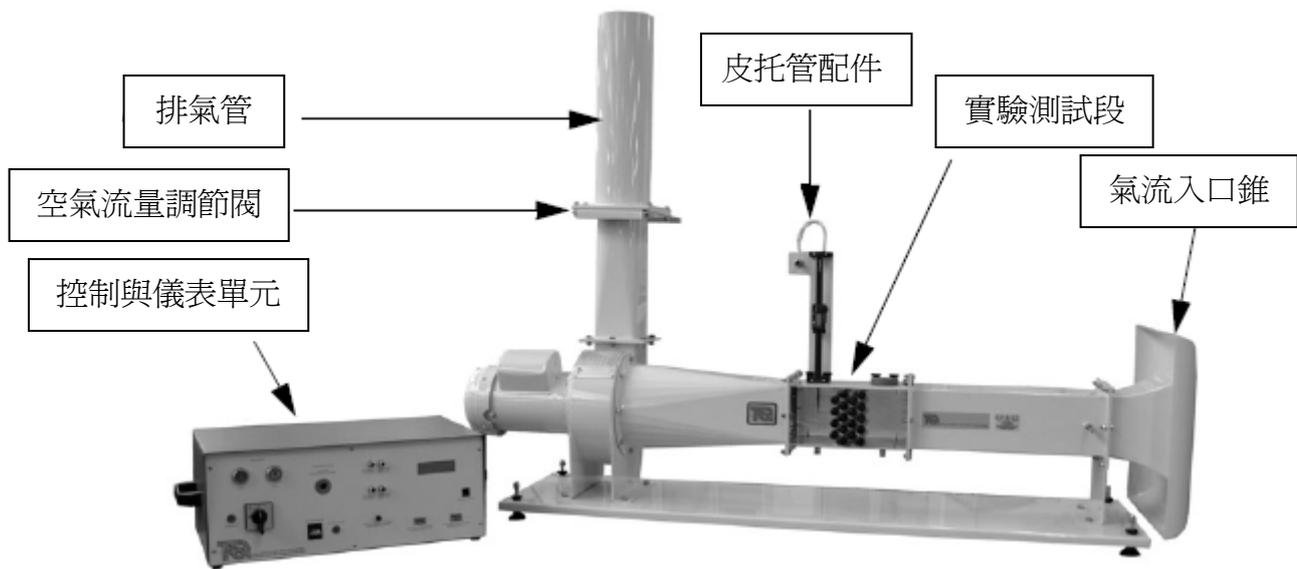
多管交流式熱交換器實驗

一、前言：

現今絕大部分之熱動力系統中，熱交換（熱傳）功能是很主要的，任何做熱動力研究的工程師必須了解熱交換理論，使其能夠在系統中選擇最佳最適當的熱交換器。

有數種常用的熱交換器類型，其中最常見的是再生式熱交換器，具有三種類型，平行流、對立流和交流式。本實驗多管熱交換器採用交流式，來實驗強制對流下的熱交換理論，由皮托管和熱電偶量測由風扇提供的強制對流下熱傳現象。

二、設備介紹：

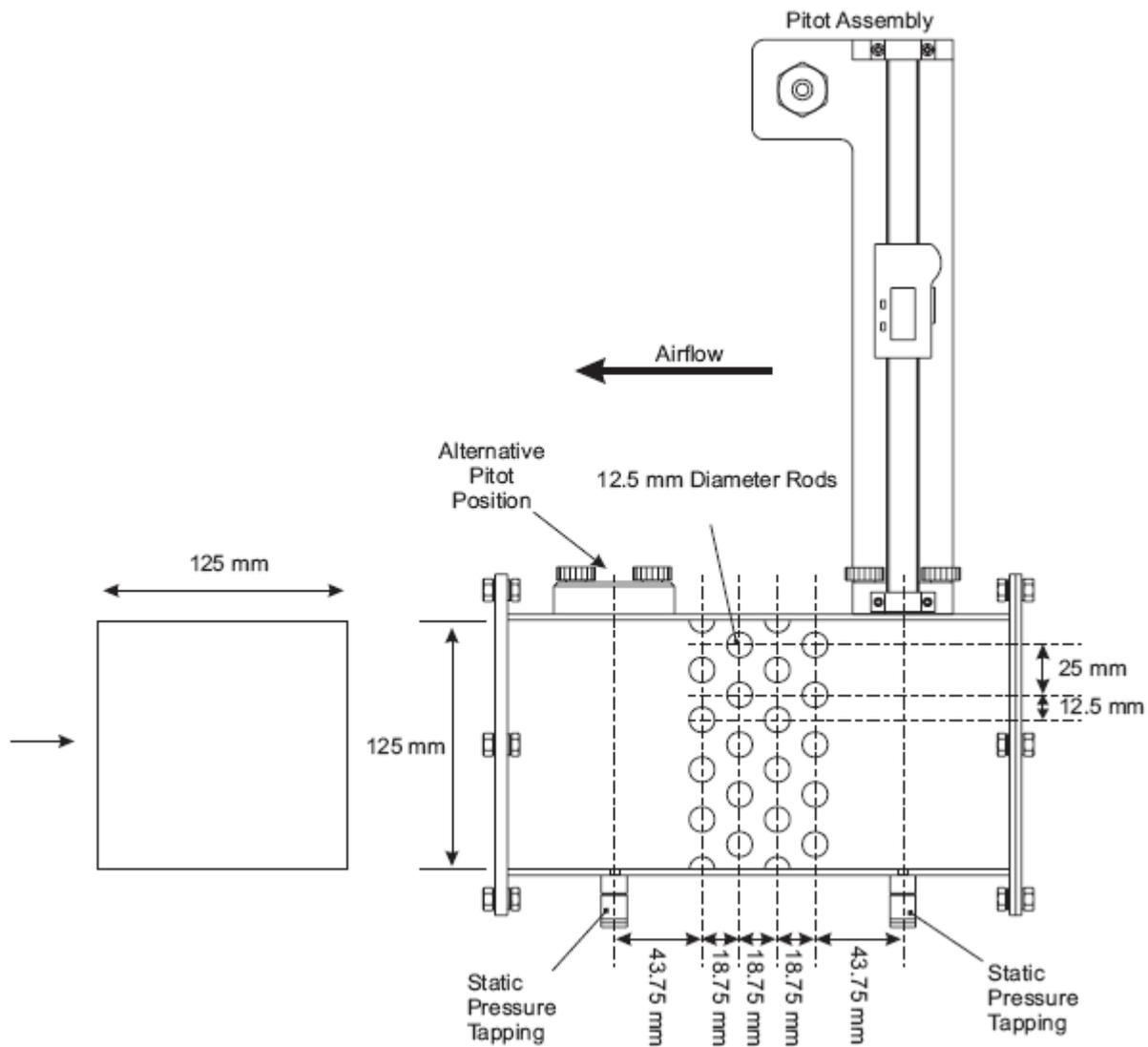


(圖一)

控制與儀表單元包含：

- 電子式風扇的開關控制
- 加熱棒的加熱劃分
- 壓力量測介面
- 熱電偶插口
- 溫度與壓力顯示面版，T1 顯示環境溫度，T2 顯示加熱棒上的熱電偶溫度
- 電路斷電器與主開關

系統外觀詳細規格如下：



(圖二)

三、實驗項目與步驟：

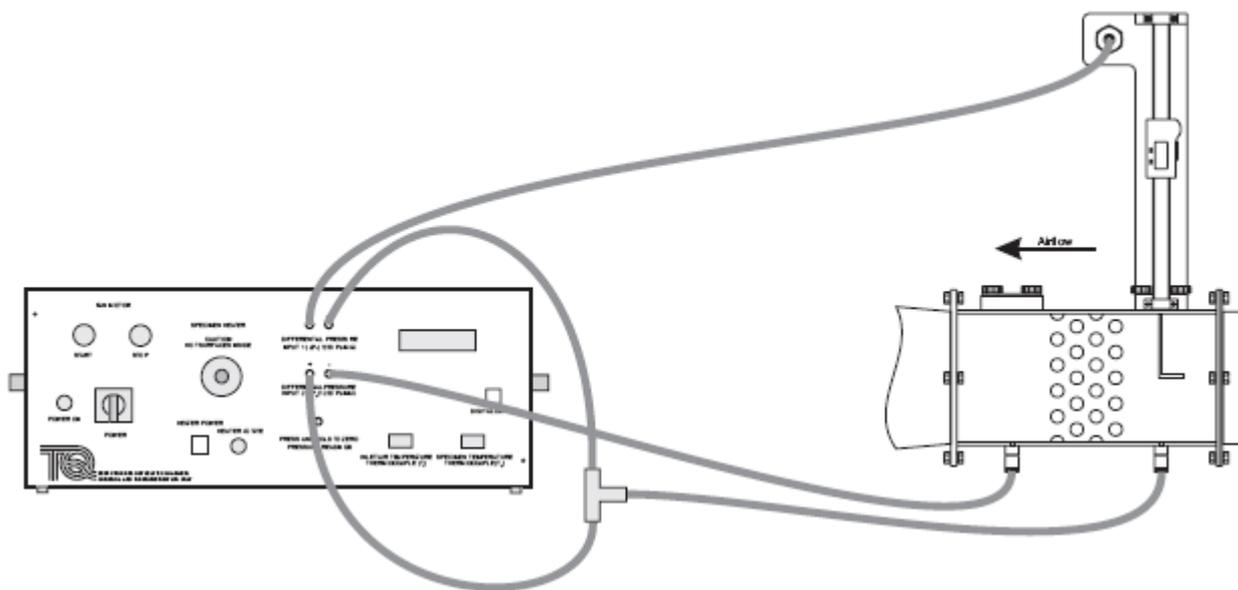
(實驗一) 壓力、速度和空氣流量調節閥校正

目標

- 定由加熱棒造成的壓力損失，並建立壓力降 vs 上游壓力的圖表
- 計算入口速度和流經加熱棒的平均速度

方法一 置入全部鉛棒

1. 在實驗測試段中，置入所有鉛棒（不需要放入加熱棒）
2. 建立（如表一）的表格
3. 置入空氣導管於上游和下游靜壓套口（如圖三）
4. 連接下游靜壓套口於控制儀表單元面版前方的'DIFFERENTIAL PRESSURE INPUT 2'的 '-' 插口上
5. 從上游靜壓導管置入'T'型轉接器
6. 連結其中一端至'DIFFERENTIAL PRESSURE INPUT 2'的 '+' 插口上；另一端至'DIFFERENTIAL PRESSURE INPUT 1'
7. 確認皮托管置於上游位置，並調整位置使其探針位於實驗區段中央
8. 從皮托管連接導管至'DIFFERENTIAL PRESSURE INPUT 1'的 '+' 插口上
9. 開啓控制儀表單元開關，並確認加熱電源開關'Heater Power'是關閉狀態
10. 按住'Press and hold to zero pressure readings'，壓力歸零
11. 空氣流量調節閥校正全開(或指定開度)
12. 開啓風扇
13. 使用表單記錄上游壓力($p_t - p_u$)，即 ΔP_1 ，記錄通過鉛棒的壓力降，即 ΔP_2
14. 重複測試步驟，而空氣流量調節閥以 90%、80%、(或由指定開度起，每次以 10%減少)降至 30%，並記錄
15. 關閉風扇，接著關閉主開關



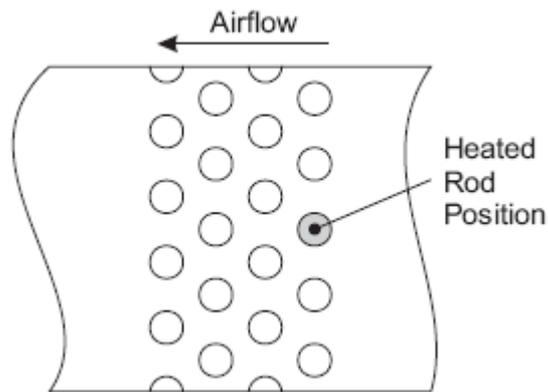
(圖三)

| All Rods/One Rod Barometric Pressure p_A _____ Pa Ambient Air Temperature $T_I =$ ____ | | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|-------------|-----------|
| Air Valve Opening (%) | $P_t - P_u$ ($\Delta P1$) (Pa) | Δp ($\Delta P2$) (Pa) | V_I (m/s) | V (m/s) |
| 100 | | | | |
| 90 | | | | |
| 80 | | | | |
| 70 | | | | |
| 60 | | | | |
| 50 | | | | |
| 40 | | | | |
| 30 | | | | |
| 20 | | | | |
| 10 | | | | |

(表一)

方法二 置入一個鉛棒

1. 移除所有鉛棒
2. 於第一行中心位置，置入一個鉛棒（如圖四）
3. 重複方法一步驟二開始



(圖四)

結果分析

本實驗使用皮托管量測總壓(p_t)和靜壓(p_0, p_u, p_d)，由方程式可以知道速度值

$$p_t - p_0 = \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

其中 p_0 是靜壓， v 是流體速度

針對本實驗，對於上游截面，方程式可以變成

$$p_t - p_u = \frac{\rho V_1^2}{2} \quad (2)$$

其中氣體在大氣壓力(P_A)和溫度(T_1)的密度(ρ)，可以由公式 (3) 得到

$$\rho = \frac{P_A}{RT_1} \quad (3)$$

而氣體常數 (R 是 287 J/kgK)

所以方程式(2)和(3)可以合併成

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_t - P_u)287T_1}{P_A}} \quad (4)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_t - P_d)287T_1}{P_A}} \quad (5)$$

通過管柱堆上游與下游的平均速度。

通過管柱堆的平均流速

計算通過管柱的速度，可以計算這些第一排管柱造成阻礙的截面積，第一排管柱可以視為測量工作區的進氣端

每一管柱是 12.5 mm 直徑，進孔第一排共有 5 個管柱，總共有 62.5 mm ，工作測量區有 125 mm 高，所以管柱形成的障礙面積是工作區的一半，所以通過管柱的平均速度是上游速度的兩倍

$$V = 2V_1 \quad (6)$$

但對單一管柱，障礙面積只有占工作測量區的 $1/10$ ，因此平均速度將是上游速度的 $10/9$

$$V = 1.11V_1 \quad (7)$$

作法

1. 對每一空氣控制閥的位置，使用方程式 4 計算上游的速度 V_1
2. 對每一空氣控制閥的位置，使用方程式 6 或 7，計算通過管柱時的平均速度
3. 針對方法一和方法二，繪製一圖表，x 軸是壓力 $P_t - P_u$ ，y 軸是壓力降
4. 對每一方法，計算曲線的斜率，曲線斜率是壓力和壓力降的關係，此關係是非常有用的，因為在較低的流速時(控制閥在的位置 20%, 10%)，上游的靜壓讀值是不穩定的，所以可以從壓力降計算得到上游的壓力，以完成 20%, 10%上游的壓力結果

問題討論

1. 這是校正空氣流量控制閥的準確方法嗎？
2. 如何使這實驗可以改善精進準確度？

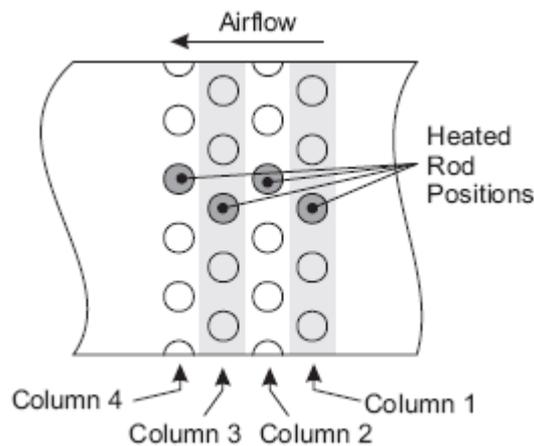
(實驗二) 冷卻率量測

目標

- 決定加熱棒在管柱堆中以及單獨存在時的冷卻率
- 繪製冷卻曲線圖，並使用來找出加熱棒在不同位置下的熱傳係數

方法一 置入全部鉛棒

1. 在實驗測試段中，除了在上游第一行中心位置外，置入所有鉛棒（如圖五）
2. 建立（如表二）的表格
3. 開啓主開關，並在插入加熱棒於加熱室後，開啓加熱電源開關
4. 空氣流量調節閥校正全開(或指定開度)
5. 開啓風扇並記錄環境溫度 T1
6. 從加熱室移除加熱棒，並置入實驗區段，以十秒間隔記錄加熱棒溫度 T2
7. 重複測試步驟，而空氣流量調節閥以 90%、80%、(或由指定開度起，每次以 10%減少)降至 10%，並記錄
8. 置入其他三行任一位置，不要留空（如圖五），重複實驗
9. 關閉風扇及加熱電源，最後是主控制開關



(圖五)

方法二 置入一個鉛棒

1. 建立（如表二）的表格
2. 開啓主開關，並在插入加熱棒於加熱室後，開啓加熱電源開關
3. 移除所有鉛棒，只在第一行中心位置使用一個加熱棒
4. 空氣流量調節閥校正全開(或指定開度)

5. 開啓風扇並記錄環境溫度
6. 從加熱室移除加熱棒，並置入實驗區段，以十秒間隔記錄加熱棒溫度，直到冷卻至環境溫度的 5 度左右
7. 重複測試步驟，而空氣流量調節閥以 90%、80%、(或由指定開度起，每次以 10%減少)降至 10%，並記錄
8. 關閉風扇及加熱電源，最後是主開關

| All Rods Fitted/One Rod Fitted Heated Rod in Column _____ | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Ambient Air Temperature $T_1 =$ ____ Air Valve Position _____ | | | |
| t (seconds) | Heated Rod T_2 (°K) | $T_2 - T_1$ (ΔT) (°K) | $\log_{10}(T_2 - T_1)$ |
| 0 | | | |
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 (1 minute) | | | |
| 70 (1 minute 10) | | | |
| 80 (1 minute 20) | | | |
| 90 (1 minute 30) | | | |
| 100 (1 minute 40) | | | |
| 110 (1 minute 50) | | | |
| 120 (2 minute) | | | |
| 130 (2 minute 10) | | | |
| 140 (2 minute 20) | | | |
| 150 (2 minute 30) | | | |
| Gradient $M =$ Coefficient of heat transfer $\alpha =$ | | | |

(表二)

結果分析

試驗的熱傳係數方程式可以寫成

$$\dot{q} = hA_1(T_2 - T_1) \quad (8)$$

經過一段時間 (dt)，溫度上升(dT)

$$\dot{q}dt = mc dT \quad (9)$$

由方程式 8 和 9，可以得到

$$\frac{-dT}{(T_2 - T_1)} = \frac{hA_1}{mc} dt \quad (10)$$

並整理得到

$$\log_e(T_2 - T_1) - \log_e(T_0 - T_1) = \frac{-hA_1 t}{mc} \quad (\log_e = \ln) \quad (11)$$

其中 T_0 是時間 $t = 0$ 的溫度。

繪製 $\log_e(T_2 - T_1)$ 對時間 t 的關係圖，可以得到一斜率 ($M = -hA_1/mc$) 的直線

在其他變數已知時，可以得到對流熱傳係數 h 值。

實際繪圖時，比較容易繪出 $\log_{10}(T_2 - T_1)$ 對時間 t 的關係圖。因為 $N = 2.3026 \log_{10} N$ ，所以

$$h = -2.3026 \times \frac{mc}{A_1} \times M \quad (12)$$

作法

1. 完成表格二的欄位 $T_2 - T_1$ 和 $\log_{10}(T_2 - T_1)$
2. 繪製 $\log_{10}(T_2 - T_1)$ 垂直軸對時間(秒)水平軸的關係圖，在一張圖表理，可以繪製 4 條曲線，
3. 計算每一條曲線的斜率 M
4. 使用方程式(12)，計算每一結果的熱傳係數 h

問題與討論

1. 何種管柱排列冷卻最快？
2. 何種管柱排列冷卻最慢？