

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱：高效率冷凍系統對變化負載之技術研發-子計畫五：冷凍系統之環控室與測試系統之設計與建立(三)

Design and Set-up the Environment Control Room and Testing System for Refrigeration System

計畫編號：NSC 87-2212-E-009-031

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：曲新生 交通大學機械系 教授

中文摘要

由於環境控制室室內側之流場、溫度場及濃度場的分佈情形，將會直接影響到待測空調機的性能測試之結果。因此，若環境控制室室內側之流場、溫度場及濃度場能分佈的越均勻，則待測空調機所得到的性能測試結果將會更為準確。

關鍵字：環境控制室、流場、溫度場、濃度場

Abstract

The distribution of the flow field, temperature field and concentration field of the inside-room of the environment control room will influence the testing result of the coefficient of performance of air conditioner. It is shown that the more uniformity of distribution of flow field, temperature field and concentration field in the inside-room of the environment control room, the more accurate testing result if coefficient of performance will be obtained.

Keywords: environment control room, flow field, temperature field, concentration field

前言

根據行政院經濟部統計處所出版的工業生產統計月報指出，目前國內冷、暖氣機的銷售量合計約一百萬台以上，且銷售金額全年在240億台幣以上，為世界第三大產量國，但由於未來環保及污染限制條件越來越嚴格，所以未來冷凍空調之研發目標均在開發新冷媒（如HCF不含氯冷媒或混和物）及高操作率效果，高COP值等技術，但如何測定研發技術的成果則便需要建立一測試實驗室，而本計畫為整體計畫中之子計畫，其目標為設計及建立一冷凍系統之環境控制室以及測試技術。

冷凍空調系統之性能測試為提昇設計及製造技術之重要條件，冷凍空調產品效率的高低，唯有透過性能測試實驗室進行檢測，才能確實取得，由於冷凍空調設備性能測試技術牽涉到溫度，濕度，流量（水

流及空氣），噪音等綜合研究，相當複雜，目前先進國家在測試精密與可靠度上，莫不投入大量的人力進行研究發展，而國內冷凍空調性能測試技術的研究，相較之下仍相當缺乏，有待大力提昇。

而且由於環境控制室的室內側之流場，溫度場以及濃度場的分佈情形，將會直接影響到待測空調機的性能測試之結果，因此若環境控制室的室內側之流場，溫度場以及濃度場能分佈的越均勻，則待測空調機所得到的性能測試結果將會更為準確。

因此將建立好的硬體環境控制室，進行一室內側的流場，溫度場以及濃度場的理論模型與軟體分析測試，進而找出其室內側之空調器具的最佳化擺設位置，然後在實地精確的量測每一位置的風速，風量和溫度值，與模擬的數值做一對照性的比較，以期達到更確切的掌握環境控制室室內側之流場，溫度場以及濃度場的分佈情形，以使本環境控制室能符合待測空調機測試場所的規格與標準。

如此建立好的環境控制室便能提供一穩定且可靠的實驗環境來進行冷凍空調機的冷氣能力，冷氣消耗功率，凝結水處理，低溫性能，冷媒洩漏，噪音以及能源效率比值（EER）等試驗，而這些試驗的結果即可提供本整合計畫中各個子計畫的研究改良之依據，如此改良的效率才能大大的提昇。

理論分析

本研究以空氣為工作流體，採用溫度296K時的物理性質，以模擬流場，並解析濃度方程式，以氯氣模擬有毒氣體在固定濃度源發生擴散。為簡化問題，本研究做下列假設：

1. 環境控制室內之流體為不可壓縮之牛頓流體。
2. 流場為三維穩態、等溫、紊流流場。
3. 濃度場不影響流場。
4. 空氣與氯氣混合之動黏滯係數可由化學性質經驗手冊計算求得。

基於上述之假設，本問題之統御方程式如下：

1. 連續方程式：

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

2. 動量方程式：

$$\frac{\partial U_i U_j}{\partial X_j} = -\frac{\partial}{\partial X_i} \left[\frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k \right] + \frac{\partial}{\partial X_j} \left\{ \nu_t \left[\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right] \right\} \quad (2)$$

3. 紊流能量傳輸方程式：

$$\frac{\partial k U_j}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] + \nu_t S_k - \varepsilon \quad (3)$$

4. 紊流能量散逸方程式：

$$\frac{\partial \varepsilon U_j}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

5. 濃度傳輸方程式：

$$\frac{\partial C U_j}{\partial X_j} + \frac{\partial C W_s}{\partial X_s} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\frac{\nu_t}{\sigma} \frac{\partial C}{\partial X_j} \right] \quad (5)$$

$$\text{式中 } S' = 2S_{ij} S_{ij} =$$

$$2 \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right] \right\}^2 = \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial X_j} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_i}{\partial X_i} \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_i} + \rho k \right)$$

$$\sigma_1 = 1.0, \sigma_2 = 1.3, \sigma_3 = 1.0, C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44$$

$$C_2 = 1.92$$

渦流動黏滯係數：

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} = C_\mu \frac{k}{\ell}$$

其中 σ_k 、 σ_ε 、 σ_c 為紊流 Prandtl No.， C_1 、 C_2 為紊流常數， ρ 代表密度， T 為溫度， P 是壓力， g 為負 z 方向的重力加速度值， ν 是運動黏滯係數。

邊界條件

其邊界設定為屋頂有 36 個入口，以均勻流速 $V = 0.35$ (m/sec) 流入室內，其餘各壁面為無滑動邊界 (No-slip conditions)，由此討論純速度場以及濃度場的問題。

如圖 1 所示；在邊界條件中，假設四周牆壁皆設為絕熱，天花板上有 36 個 HEPA 過濾器送風，根據 Nishioka 等人的建議，可得均勻出風流速，所以假設其風速為均勻向下 0.35 m/sec，採垂直紊流，出風口的邊界條件則假定 Mass flow boundary。

出風口：36 個 HEPA 過濾器，長 1.2m，寬 0.6m，高 0.2m，其濾網高 10cm 採多孔性材質模擬，每個過濾器皆相隔 0.2m。

牆壁：皆設為絕熱且邊界無滑移現象。

污染源：置於左側隧道之中央，離地 3m 處，有一個 10cm×10cm 的污染源，不斷以 0.02m/sec 流速，釋放濃度 1800 ppm 氣氣粒子，其濃度為 $\Gamma = \rho D$ ，單位為 kg/m-sec，其中 ρ ：氣氣密度 (kg/m^3)； D ：氣氣擴散係數 (m^2/sec)

高架地板：地板劃分為六個區域，可依其室內氣流流向調整地板孔隙率，高架地板採多孔性材質模擬蜂巢式高架地板。

數值方法

本研究使用國家高速電腦中心計算流體力學的 CFX4.2 電腦程式。首先必須將要模擬的幾何模型、邊界條件的位置和格點的產生，在它的 Main Menu 內部先建立好。另外電腦工作空間大小、流場型態、流體性質、疊代次數、收斂要求、邊界條件的大小乃至數值演算法、插值法等條件都得在其 Command file 裡先予給定，然後才能執行。以下開始討論使用 CFX4.2 的架構並逐一分析。

收斂的判定

CFX4.2 程式上對於收斂與否的取決，是以測定方程式中各個變數的殘差值的大小與殘差值隨疊代次數的變化來做判斷，現以質流量的殘差值 ξ_m (Mass source Residual tolerance) 為例，可做如下定義：

$$\xi_m = \sum_{i=1}^n \left| (\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out})_i \right|$$

其中 n 表示格點的數量， \dot{m}_{in} 表示流入，而

\dot{m}_{out} 表示流出控制體積的質量流率。當各變數的殘差值已經很小，且各殘差值隨疊代次數也無甚變化時，才視為收斂。也就是說模擬時以所有變數的殘差值為判斷收斂的標準。本研究中質流量的殘差值 ξ_m 取 10^{-4} ，疊代 2000 次即可收斂。

格點測試

格點測試的目的在於同一個模擬的空間中，分割不同大小的網格後，能以最少的電腦計算時間，換得最能接受的結果。通常來說網格畫分越細，則所計算出來的值也會越精確，但在有限的電腦資源中如何去取得最佳化，實在是研究之初所必需注意到的。經比較後採用 $65 \times 45 \times 31$ 這組格點，是最符合效益，又不失其準確性的一組格點。

結果與討論

經數值模擬計算，為了討論的便利性，本章將不再以座標來敘述該斷面位置，而以較人性化的方式，以高架地板為基準面，討論環境控制室開啟台數的組合，造成環境控制室的流場與濃度場的影響。

圖 2 是表示，距地板 250cm 處，由第一種排列方式所造成的三場圖，觀察流場，可看出第一、三、五行過濾器開啟後，造成第二、四、六行氣流仍未受黏滯力所帶動，第六行近壁面處有較快的流速，這是由於氣流衝擊地板後，沿著地板以及壁面流動，產生的回流現象；第二、四行上、下側氣流也受此效應作用，但影響不大。觀察紊流動能場，開啟與關閉過濾器之交界處紊流動能較大，這是由於過濾器衝下來高速的氣流和室內較低速的氣流產生交互作用的關係；雖然流速過快的區域，有可能造成紊流；但紊流並不全然因流速過快所造成的，也有可能因氣流的相互擾動，造成流場的不穩定現象。觀察濃度場，污染源在離地板 300 cm 處擴散，而在離地板 250 cm 處，濃度擴散範圍有限，由於第二行氣流停滯，因此有少部份濃度在此堆積。

圖 3 是表示，距地板 250cm 處，由第二種排列方式所造成的三場圖，觀察流場，可看出第一、三、四、六列過濾器開啟後，造成第二、五列氣流仍未受黏滯力所帶動，第二、五列左、右側氣流也受回流現象效應作用，但影響不大。觀察紊流動能場，開啟與關閉過濾器之交界處紊流動能較大，這是由於過濾器衝下來高速的氣流和室內較低速的氣流產生交互作用的關係。觀察濃度場，污染源在離地板 300 cm 處擴散，而在離地板 250 cm 處，濃度擴散範圍有限，這是由於

濃度場主要受流場所支配。

圖 4 是表示，距地板 250cm 處，由第三種排列方式所造成的三場圖，觀察流場，可看出過濾器交錯開啟後，造成未開啟部份氣流仍未受黏滯力所帶動，近壁側氣流也受回流現象效應作用，但影響不大。觀察紊流動能場，開啟與關閉過濾器之交界處紊流動能較大，這是由於過濾器衝下來高速的氣流和室內較低速的氣流產生交互作用的關係；其次，發現紊流動能最小的地方，並非在流速最小的區域，而是在流速最大的區域，這是由於紊流並不全然因流速過快所造成的，也有可能因氣流的相互擾動，造成流場的不穩定現象，而此處流速雖快但均勻，氣流的相互擾動非常小，因而紊流動能小。觀察濃度場，污染源在離地板 300 cm 處擴散，而在離地板 250 cm 處，因過濾器交錯開啟後，流場並非對稱，造成濃度場隨流場產生漂移現象。

圖 5 是表示，距地板 250cm 處，由第四種排列方式所造成的三場圖，觀察流場，可看出周邊過濾器開啟後，造成內部氣流仍未受黏滯力所帶動，中間部份氣流也受回流現象效應作用，但影響不大。觀察紊流動能場，開啟與關閉過濾器之交界處紊流動能反而較小，這是由於周邊開啟的過濾器氣流衝擊地板後，沿著地板往中間部份匯集，產生的巨大回流現象，與停滯氣流作用，產生巨大紊流動量。觀察濃度場，污染源在離地板 300 cm 處擴散，而在離地板 250 cm 處，濃度擴散範圍有限，由於內部氣流停滯，因此有少部份濃度在此堆積。

觀察不同斷面，由這四組過濾器的排列方式所造成的三場圖，可得知第三組排列法最好，不僅流場較均勻，紊流擾動量較小，且污染範圍較小。第一組排列法次好，雖流場較不均勻，紊流擾動量較大，但由於氣簾效應，污染範圍被限制在固定區域。第二組排列法次好，雖流場較均勻，紊流擾動量較小，但污染範圍不會被限制在固定區域。第四組排列法最差，不但流場不均勻，紊流擾動量最大，且由於氣簾效應，中間區域氣流停滯，所以有部份濃度在此堆積，污染範圍被限制在固定區域。

參考文獻

1. Chen, Q., Moser, A. and Suter, P., "A Numerical Study of Indoor Air Quality and Thermal Comfort under Six Kinds of Air Diffusion," ASHRAE Transactions: Research, pp.203-217, 1992.
2. Maldonado, E. B. and Woods, J. E., "A Method to Select Locations for Indoor Air Quality Sampling," Building and Environment, vol.18, no.4, pp.171-180, 1983.

3. Murakami, S. and Kato, S., "New Ventilation Efficiency Scales Based on Spatial Distribution of Contaminant Concentration Aided by Numerical Simulation," pp.309-330, 1992.
4. Nishioka, T. and Xie, G., "Studies on the Flow in a Full Downflow Cleanroom and the Ceiling Chamber Configuration," The Future Practice of Contamination Control, vol.3, no.1, pp 23-28, 1992.
5. 顏登通, 潔淨室設計與管理, 全華出版社, 1996.
6. 胡石政., 周瑞法., "無塵室(clean room)之氣流研究," 中國冷凍空調雜誌, vol.5, pp.87-94, 1994.

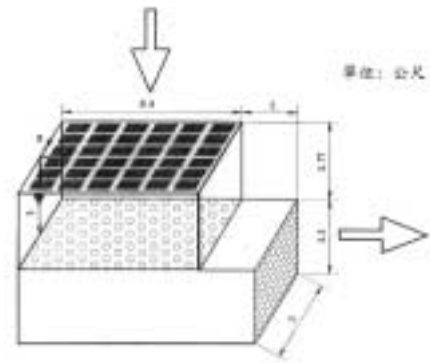


圖 1 原型尺寸全圖

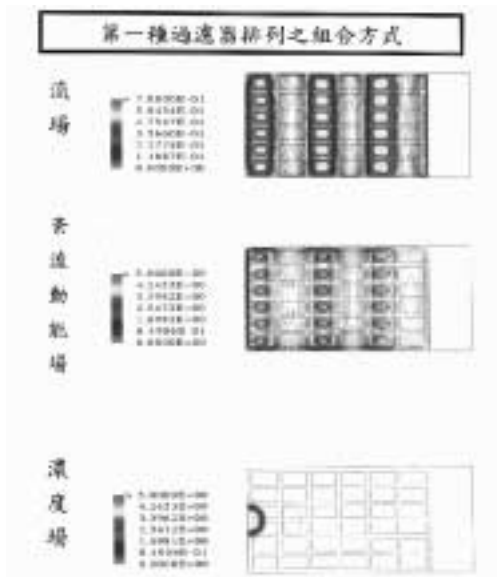


圖 2 CASE1 之流場、紊流動量場、濃度場

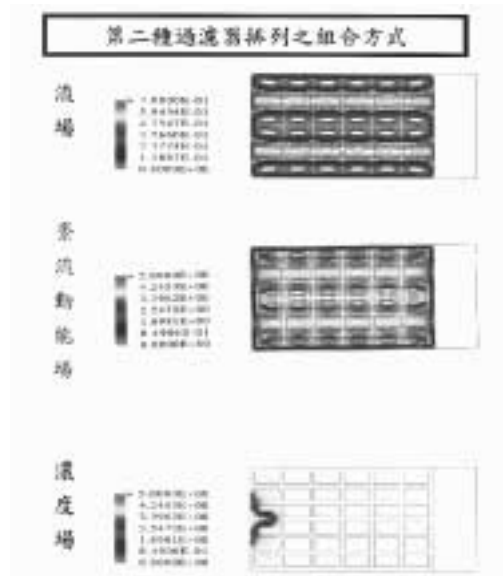


圖 3 CASE2 之流場、紊流動量場、濃度場

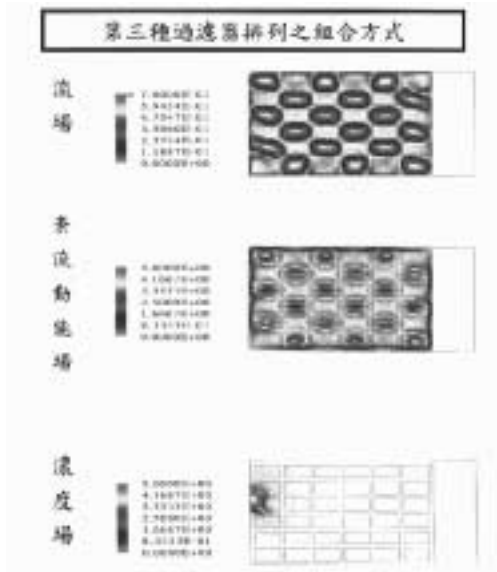


圖 4 CASE3 之流場、紊流動量場、濃度場

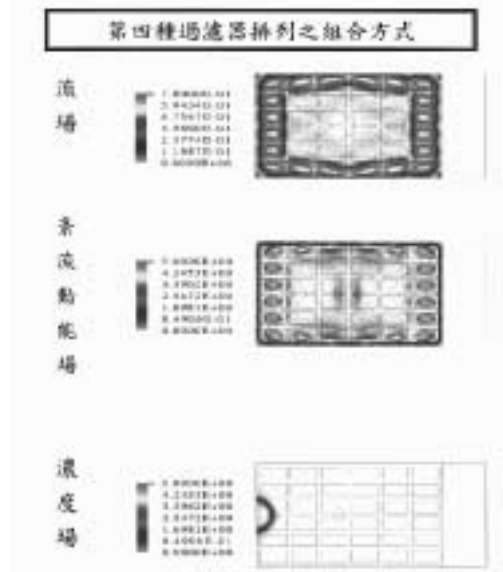


圖 5 CASE4 之流場、紊流動量場、濃度場