

空調區間熱模型建模探討 Modelling and Simulation for Space Cooling Load

李靖男¹、林琮閔²
Jing-Nang Lee¹, Chung-Min Lin²

^{1,2} 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系
^{1,2} Department of Refrigeration and Air-Conditioning,
National Chin-Yi University of Technology

¹E-mail : jnl@ncut.edu.tw

²E-mail : sinandtidus@hotmail.com

NSC : 101-2221-E-167-019

摘要

本文針對空調區間之空調負載變化對室內環境的影響進行熱力建模的探討，首先就空調區間進行熱力系統的建模，並透過 MATLAB 應用程式發展出空調區間溫濕度即時顯示系統。就其熱力系統模型，探討空調負載對空調區間溫濕度的影響，就顯熱比變化對室內空調區間溫濕度變化的探討，結果顯示溫度隨著室內顯熱比的增加而升高，然而濕度比則呈降低的趨勢。

關鍵字詞：空調負載、空調區間、溫度、濕度比

The article presents space cooling load for studying temperature and humidity influence of the indoor environment, first of all the pieces of the mold and the analysis of the thermal system simulation of the space cooling load, and through MATLAB application development to real-time simulation of explicit program may make the sensible heat and latent heat of real-time simulation of cooling load change with time intervals of temperature and humidity.

This study through the space thermal system model to explore the effect of the temperature and humidity of the space. The results show the higher temperature, the higher the SHF.

Keywords: Cooling load, Air-conditioning room, Temperature, Humidity Ratio

1. 前言

隨著社會經濟的發展及生活水準要求的提高，在食衣住行方面，如辦公大樓、購物商場、醫院、住家等對空調的要求也越來越高。然而隨著人們對室內空氣品質的要求增加，空調設備的能耗也越來越不能忽視。根據資料顯示[1]，現今建築能耗約佔總能耗 30%，而建築物的能耗中又以佔有率達 65% 的空調耗能為大宗，因此，空調設備的能耗越來越不能忽視。

依據空調系統特性得知空調區間的負載係左右空調系統耗能的因素之一。因此，空調區間的熱力狀態值得進一步分析探討。至於空調區間的空調負載會因日照面積、建材、人員及設備等因素而影響到空調區間的溫度與濕度比。因此，估算空調負載對空調區間溫濕度的影響十分重要。而改變空調區間溫度及濕度比分別為顯熱負載及潛熱負載。

目前計算空調負載的應用程式如 eQUEST、DOE、BLAST 等均屬較複雜的計算軟體，必須輸入甚多的建築物理性質，此舉較耗時難完成。因此，本文探討直接利用溫度及濕度比的長時間監視以獲得空調負載變化，主要利用空調區間進行熱力系統建模的方式，將空調區間視為一熱力系統，探討顯熱負載與潛熱負載進出對於空調區間溫度與濕度比的變化，建立空調區間的數學模型，再利用 MATLAB 應用程式中的 simulink 進行即時顯示的功能，以探討顯熱比變化對空調區間溫濕度的影響。

2. 空調區間熱力模型建構

空調區間的空調負載一般均利用空調系統(如圖 1 所示)送風至空調區間與室內的空調負載進行熱交換，使空間能獲得舒適的環境。

2.1 空調區間熱負載建模

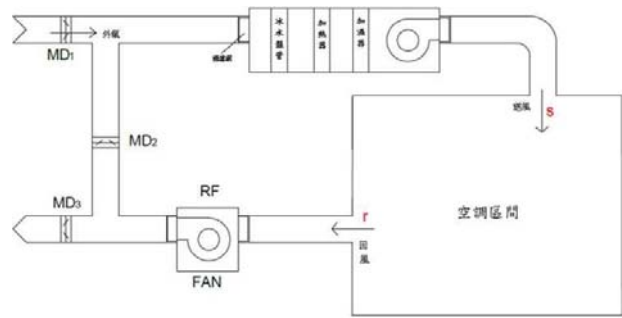


圖 1 空調系統示意圖

根據圖 1 所示的整體空調系統分析得知空調區間的熱力系統可簡化為圖 2 所示，為一固定容積的開放系統。其產生空調負載主要有人員、照明、器具及動力設備等內部負載及外在氣候條件如季節、日射量等等各種不同的因素影響[2-4]。雖然空調負載來源多元化，但為簡化分析起見，以顯熱負載(\dot{Q}_{rs})與潛熱負載(\dot{Q}_n)表示。因此空調區間可視為一非穩流的開放系統，其能量守恆關係式[5]可以式 1 表示：

$$\dot{Q}_{c.v} = \dot{W}_{c.v.} + \sum_{out} \left[\dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right] - \sum_{in} \left[\dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right] + \frac{dE_{c.v.}}{dt} \quad (1)$$

- 其中 $\dot{Q}_{c.v.}$: 系統熱量
- $\dot{W}_{c.v.}$: 系統所做之功
- \dot{m} : 質量流率
- h : 焓值
- gz : 系統的位能
- $\frac{V^2}{2}$: 系統的動能
- $\frac{dE_{c.v.}}{dt}$: 系統內能的變化量

由於動能及位能的變化量可忽略不計，因此，式 1 可簡化為式 2 所示：

$$\dot{Q}_{c.v} = \dot{W}_{c.v.} + \sum_{out} \dot{m}h - \sum_{in} \dot{m}h + \frac{dE_{c.v.}}{dt} \quad (2)$$

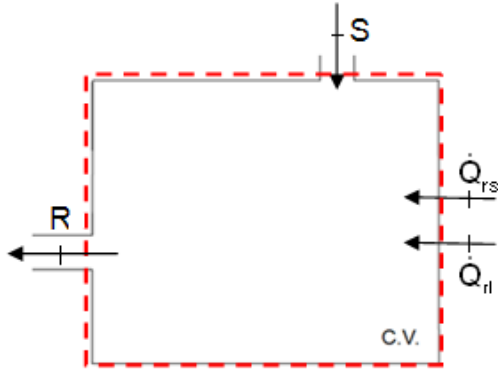


圖 2 空調區間熱力系統示意圖

接下來假設空調區間為非穩流的開放系統且不做功，同時熱空氣視為理想氣體，因此，可忽略潛熱負載的影響[6]，而空調區間的溫度變化可表示為式 3 所示：

$$m_{c.v}c_v \frac{dT_{c.v.}}{dt} = \dot{Q}_{rs} + \dot{m}_a c_p (T_s - T_r) \quad (3)$$

其中 $m_{c.v}$ ：空氣質量

c_v ：空氣定容比熱容

\dot{Q}_{rs} ：顯熱負載

\dot{m}_a ：質量流率

c_p ：空氣定壓比熱容

T_s ：出風溫度

T_r ：回風溫度

$\frac{dT_{c.v.}}{dt}$ ：空調區間溫度變化量

由式 3 得知 $\dot{m}_a c_p (T_s - T_r)$ 為空調系統所進入及排出系統的能量，因此式 3 的能量變化應為系統中各設備造成的能量變化之總和，由於本文尚未探討空調設備對空調區間造成的影響，因此，空調設備未啟動，風機質量流率(\dot{m}_a)為 0。

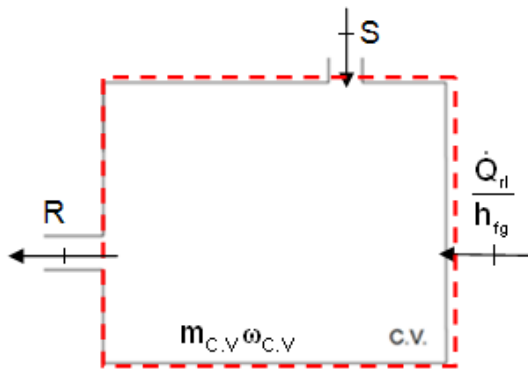


圖 3 空調區間水蒸氣質量變化示意圖

至於空調區間潛熱量的變化可由圖 3 空調區間水蒸氣質量的變化量表示[7]，因空調設備未啟動，風機質量流率(\dot{m}_a)為 0，根據水蒸氣質量不滅的關係式如式 4 所示：

$$m_{c.v} \times \frac{d\omega_{c.v.}}{dt} = \dot{m}_a (\omega_s - \omega_r) \times \frac{\dot{Q}_{rl}}{h_{fg}} \quad (4)$$

其中 h_{fg} ：水的汽化潛熱

\dot{Q}_{rl} ：潛熱負載

ω_s ：送風狀態的濕度比

ω_r ：出風狀態的濕度比

2.3 即時顯示系統建構

本文以 MATLAB 中的 Simulink 實現對動態系統的模擬、分析。由於 Simulink 具有視覺化的開發環境，並提供各種不同的模型子庫，使用者毋需編寫艱澀的電腦語言，能在僅得知數學模型的情形下，利用現有的模型進行整合，達到即時動態模擬的功能[8]。

要使用 Simulink 得出當前空調區間的溫濕度，首先需對式 3 及 4 進行整理並積分，同時忽略空調設備對空調區間的影響，以獲得模擬空調負載對空調區間溫度與濕度的變化量分別如式 5 及 6 所示：

$$\Delta T_{c.v.} = \frac{\dot{Q}_{rs} \times \Delta t}{m_{c.v} c_v} \quad (5)$$

$$\Delta \omega_{c.v.} = \frac{\dot{Q}_{rl} \times \Delta t}{m_{c.v} h_{fg}} \quad (6)$$

將式 5 及 6 再配合室內初始的溫濕度，可得當前空調區間之溫度及濕度比分別如式 7 及 8 所示：

$$T_r = T_i + \frac{\dot{Q}_{rs} \times t}{m_{c.v} c_v} \quad (7)$$

$$\omega_r = \omega_i + \frac{\dot{Q}_{rl} \times t}{m_{c.v} h_{fg}} \quad (8)$$

其中 T_r 為目前空調區間溫度

T_i 為空調區間初始溫度

ω_r 為目前空調區間濕度比

ω_i 為空調區間初始濕度比

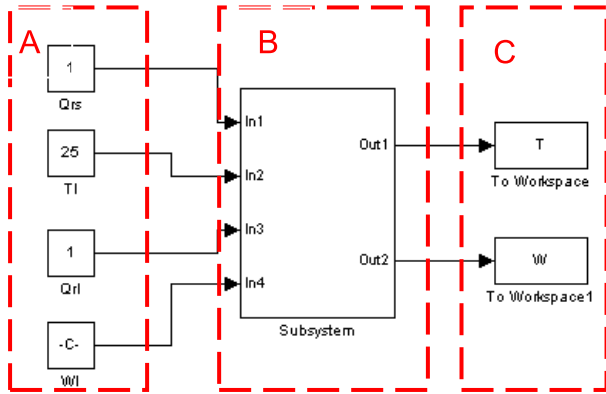


圖 4 即時顯示系統示意圖

本研究建立之顯熱、潛熱負載對空調區間影響模擬程式如圖 4 所示，即時顯示系統計有 A 部分係輸入室內顯熱負載(\dot{Q}_{rs})、室內潛熱負載(\dot{Q}_{rl})、空調區間初始溫度(T_i)與室內初始濕度比(ω_i)，B 部分則為計算負載與空調區間溫濕度的影響，本文空調區間大小設為 $3.1\text{m} \times 2.1\text{m} \times 2\text{m}$ ，計算後將結果輸出至 C 部分。

為簡化程序起見，在內部總熱相同的情況下就不同顯熱與潛熱比例，以式 9 所示之空調區間顯熱比(Sensible Heat Factor)的變化，對空調區間狀態進行分析探討，設計條件如表 1 所示，設計總熱 3kW，初始溫度 25°C ，相對濕度 50% RH，運行 100 秒。

$$\text{SHF} = \frac{\dot{Q}_{rs}}{\dot{Q}_T} = \frac{\dot{Q}_{rs}}{\dot{Q}_{rs} + \dot{Q}_{rl}} \quad (9)$$

其中 \dot{Q}_T 為室內負載總熱

表 1 SHF 負載設定值

SHF	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
顯熱(kW)	0	0.6	1.8	1.2	2.4	3
潛熱(kW)	3	2.4	1.2	1.8	0.6	0

3. 結果與討論

本文探討在具有相同總熱的狀況下，使用即時顯示系統，預測不同的顯熱比對空調區間溫度、濕度比之間的影響。

由圖 5 觀察得知隨著空調負載顯熱比的增加，室內溫度亦隨之升高。當 $\text{SHF}=1$ 時，室內溫度由 25°C 變化至 44.3°C ，而 $\text{SHF}=0.6$ 時，室內溫度由 25°C 變化至 36.58°C ，至於 $\text{SHF}=0$ 時，因其未有顯熱負載，因此，室內溫度維持在 25°C 。

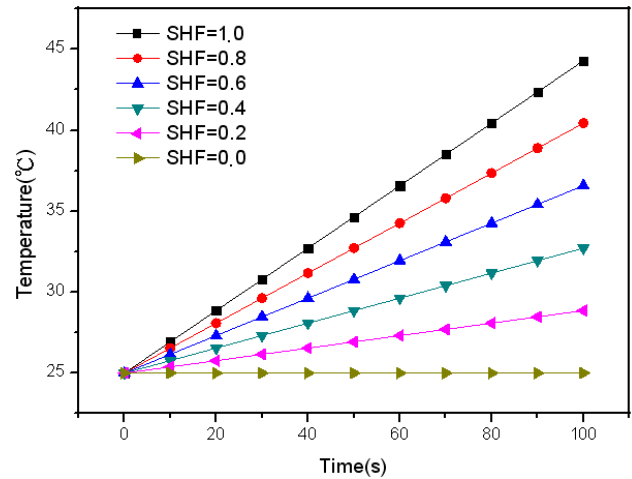


圖 5 SHF 變化對空調區間溫度變化影響

圖 6 顯示出不同的顯熱比在空調區間的溫度變化量，可發現溫度變化量與顯熱比為一正比關係。在空調負載為 3kW 的情況下，顯熱比每上升 0.2，則溫度隨時間的變化量增加 0.039°C 。

隨著顯熱比的增加，其溫度的變化率亦隨之增加， $\text{SHF}=1$ 時，其變化率高達 77%，其次分別為 $\text{SHF}=0.8$ 時的 62% 等等，平均 SHF 每上升 0.2，溫度變化率則上升 15%。

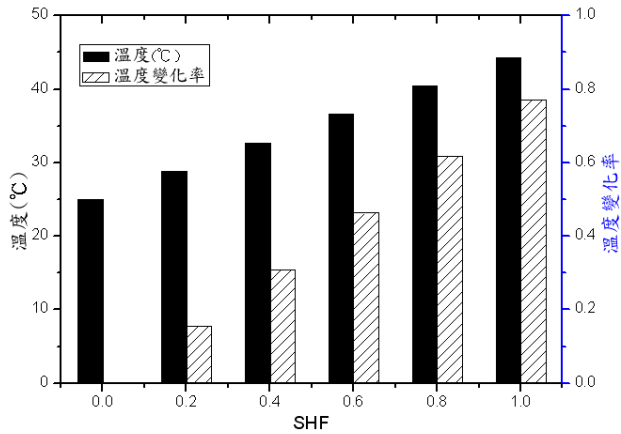


圖 6 顯熱比變化對溫度變化率的影響

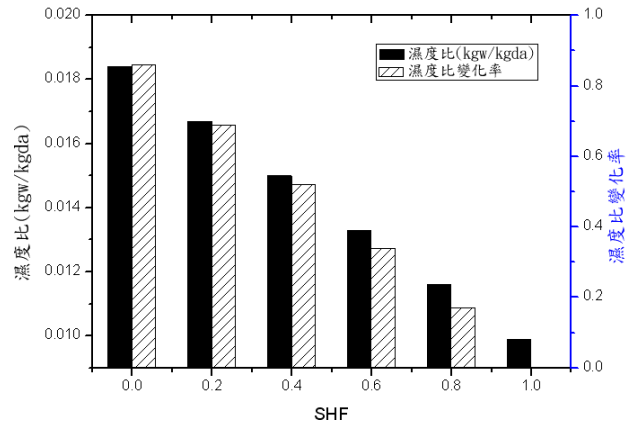


圖 8 顯熱比變化對濕度比變化率的影響

根據式 4 及 9 可知，在相同的內部負載下，顯熱比越低，則表示潛熱負載越大，濕度比的變化量也越大。實際由圖 7 的結果可得知，室內總負載 3kW 的情況下，在 SHF=1 時，其濕度比恆為 0.00988 kgw/kgda，隨著顯熱比降低，則濕度比上升速度增大，在 SHF=0 時，濕度比增加至 0.01838kgw/kgda。

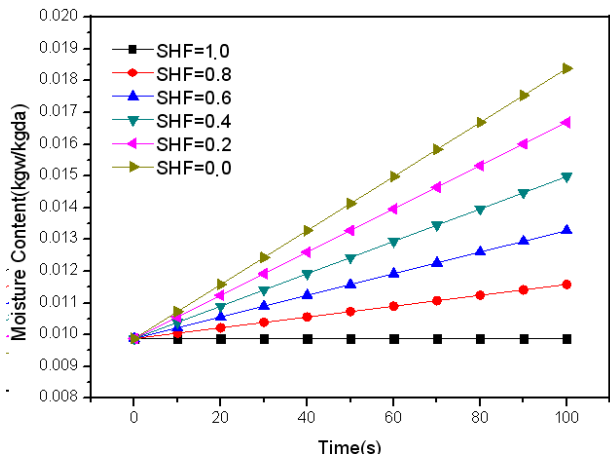


圖 7 顯熱比變化對空調區間濕度比變化圖

圖 8 表示在總熱相同的情況下，顯熱比變化對空調區間濕度比變化量的影響。發現濕度比的變化量與顯熱比呈反比關係，顯熱比每增加 0.2，則濕度比隨時間的變化率減少 17%。

圖 9 係明確表示空氣在顯熱比變化對室內狀態變化過程，呈現在濕空氣線圖(Psychrometric Chart)上，藉此觀察室內空氣變化的現象。

當 SHF 為 0 時，則空調負載為純潛熱負載，空氣僅增加濕度；SHF 若為 1，則空調負載為純顯熱負載，空調區間空氣狀態僅進行溫度變化。因此，即使空調負載的總熱相同，但顯熱比不同，則空調區間狀態變化的趨勢也會截然不同，因此在預測空調負載對於空調區間的影響，除了負載總熱外，勢必需考慮顯熱比對室內空調區間造成的影響。

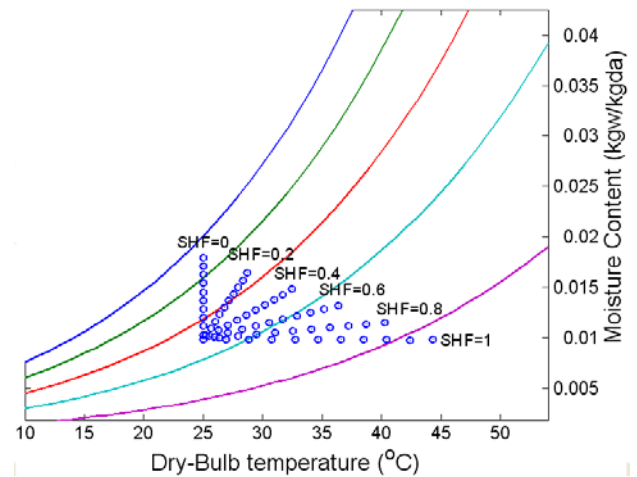


圖 9 不同顯熱比空氣變化過程圖

4. 結論

本文藉由熱力系統分析得到空調區間的數學模型，從中探討顯熱負載及潛熱負載對空調區間溫濕度的變化，其次利用工程軟體 MATLAB 建立空調區間溫濕度即時顯示系統以預測負載變化對空調區間的影響。

現階段所完成的即時顯示系統，能夠依據顯熱比變化，預測空調區間中空氣溫度及濕度的變化。未來建立空調設備數學模型，模擬空調設備對空調區間的變化，再輔以控制法則及節能方法，可作為空調系統節能的依據。

5. 誌謝

本文感謝國科會 NSC 101-2221-E-167-019 計畫之經費支持。

6. 參考文獻

1. 李靖男、林弘仁，"空調系統節能案例探討"，*化工技術*，145 期，pp.159-165 2005
2. J. M. Counsell, etc. "Controllability of buildings: A multi-input multi-output stability assessment method for buildings with slow acting heating systems," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 19, pp. 1185-1200, 2011.
3. P. Riederer, etc. "Room thermal modelling adapted to the test of HVAC control systems," *Building and Environment*, vol. 37, pp. 777-790, 2002.
4. Peng and A. H. C. V. Paassen, "A state space model for predicting and controlling the temperature responses of indoor air zones," *Energy and Buildings*, vol. 28, pp. 197-203, 1998.
5. M.A. Boles, etc. "Thermodynamics an engineering approach," McGraw-Hill, New York, 2006.
6. M. Tashtoush, etc. "Dynamic model of an HVAC system for control analysis," *Energy*, vol. 30, pp. 1729-1745, 2005.
7. M. Asahara, etc. "Physical Model of an Air Conditioned Space for Control Analysis," *ASHRAE Trans*, vol. 106 part2, 2000.
8. 王翠華 等，"基於 simulink/matlab 環境下空調房間仿真模型的建立"，*大連水產學苑學報*，20 期，2005.
9. Li Zheng, etc. "A DDC-based capacity controller of a direct expansion (DX) air conditioning (A/C) unit for simultaneous indoor air temperature and humidity control – Part I: Control algorithms and preliminary controllability tests,"

International Journal of Refrigeration, vol. 30, pp. 113-123, 2007.