

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 空調主機用電卸載之節能與舒適度控制之研究(III)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-018-004-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立彰化師範大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：黃裕煒

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92年10月13日

## 一、中文摘要

本計劃以彰化地區夏季空氣狀況，對傳統空調系統用電最大之冰水主機規劃自我學習之電力卸載流程，提昇空調用電之效率與減低夏季尖峰用電。同時以舒適度曲線評估舒適度，引入灰色預測與模糊控制的理論方法，對室內送風機作控制，研究室內舒適度之趨勢與省能效果；並且分析不同干擾對灰預測模糊控制器在可變風量空調控制的運轉結果之影響。實驗結果證明本文提出之方法可以達到節約能源與維持舒適度的目的。

**關鍵詞：**直接負載控制，尖峰負載，空調舒適，灰預測模糊控制

## Abstract

The first thing for saving energy in air-conditioning (AC) system is to analyze the thermal load in the thermal space. The temperature change of the thermal space being heated or cooled reflects the alteration of the Enthalpy of the air. The proposed method estimates the enthalpy variation of air in the thermal space. The fan coil is controlled by using Gray Prediction with Fuzzy Control method for energy saving and human comfort. Experiments confirm the proposed method that save energy and maintain a comfortable space. Energy saving is outstanding due to most energy is used to remove sensible heat to maintain a comfortable space.

Among the superior central air-conditioning systems, the part to consume the most power is the cooled water producing system. The direct load control of HVAC system will plan the self-regulating on/off control loop to improve the power efficiency during each summer.

**Keywords:** direct load control, peak load, thermal comfort, Gray Prediction with Fuzzy Control

## 二、緣由與目的

近年來台灣地區用電量與日俱增，年年夏季尖峰用電迭創新高。用電的增加以消費性空調用電為主，夏季電力日負載曲線變化很大，尤其在下午 2 點出現日最高氣溫時，正是尖峰負載的發生時間，足見空調用電影響夏季尖峰負載之大，形成電力開發的壓力，更是夏季限電的危機因子。根據台灣電力公司的統計資料分析，最近五年內，夏季空調用電均佔系統尖峰用電約 30% 以上，民國八十九年夏季尖峰負載達 25845MW，約有 7518MW 為空調用電。

台電為抑制尖峰用電制定電費優待辦法獎勵大型空調系統每小時卸載 15 分鐘，或在用戶端裝設遙控設備，直接控制負載，以減少空調用電，是抑制尖峰負載最直接、有效的方法。雖然達到抑制尖峰負荷的目的，用戶卻常抱怨空間太熱與不舒適，以致減低用戶配合的意願。用戶裝設空調的主要目的在維持空間的舒適條件，因此為抑制尖峰負載，希望用戶共體時艱，實際上有困難。

如何能兼顧抑制尖峰負載與用戶舒適度的平衡點，實有研究的必要。

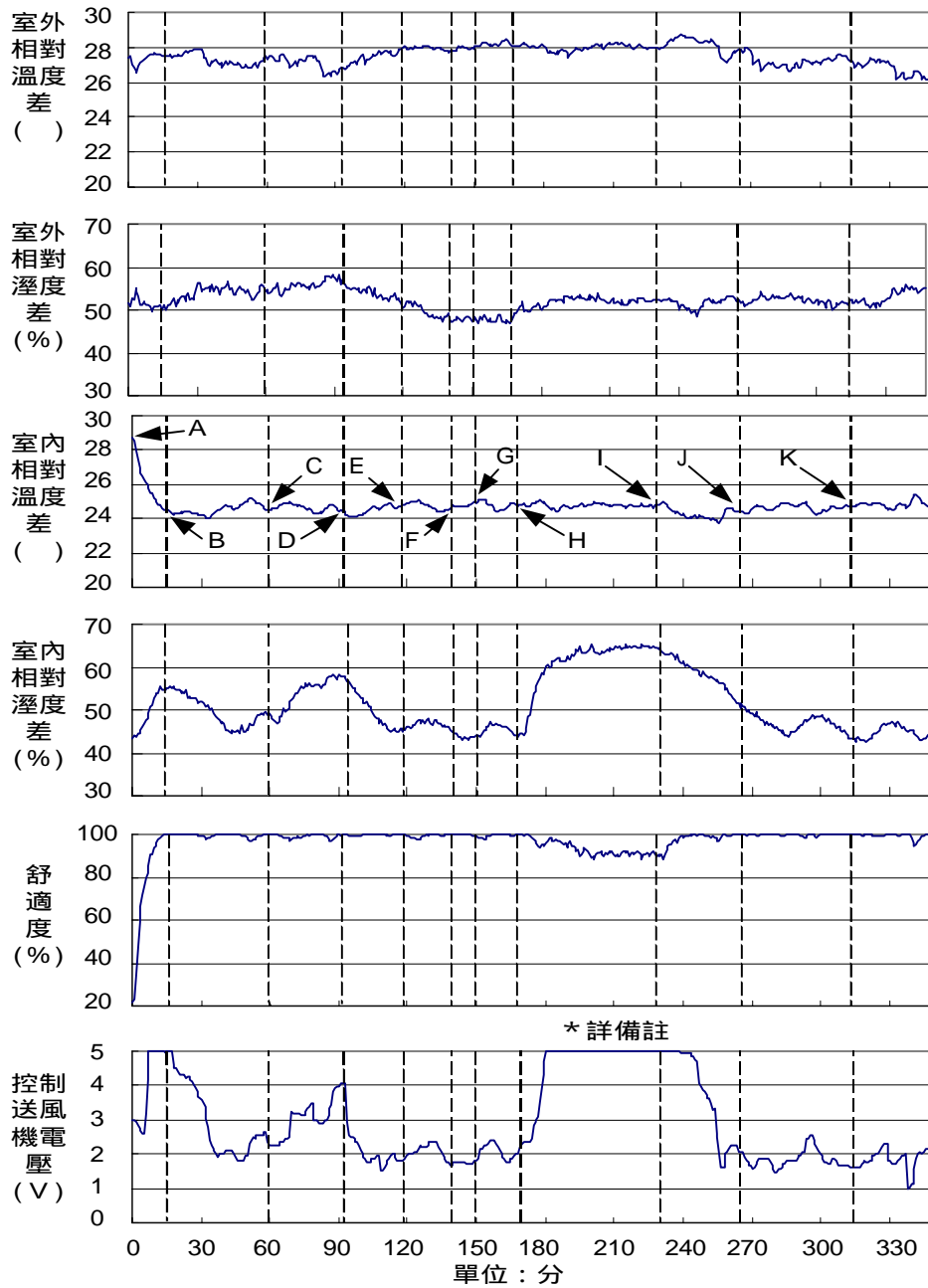
所謂舒適空調就是對空氣做處理，同時控制其乾球溫度、相對濕度，期望能達到空調空間內舒適的要求。本計劃以 ANSI/ASHRAE 55-1992 及 ASHRAE RP-884 所公佈之夏季人體舒適圖和有效溫度曲線圖作為判斷舒適度的依據。空調空間為非線性、時變 (Nonlinear & Time Variance) 的特性，很難使用線性化的特例來處理這種複雜的特性，不過負載預估是空調控制最重要的步驟。事實上，由任何觀點來看空調控制的問題均不離維持空間合理的舒適度及節省能源耗用兩大重點，當然控制器的可靠性同樣重要。這種典型的非線性控制系統，不論時間延遲、長時效應或擾動的互相干擾等問題，均非傳統 ON/OFF 控制及 PID 控制能作有效處理。因此本計劃採用灰預測模糊控制器 (Gray Prediction with Fuzzy Control, GPFC)，根據室內舒適度控制條件做熱負荷預測並配合室外溫、溼度作擾動預測，獲得良好的控制結果。

根據上述相關研究背景，本計劃以彰化地區夏季空氣狀況，對傳統空調系統用電最大之冰水主機規劃自我學習之電力卸載流程，提昇空調用電之效率與減低夏季尖峰用電。同時以舒適度曲線評估舒適度，引入灰色預測與模糊控制的理論方法，對室內送風機作控制，研究室內舒適度之趨勢與省能效果；並且分析不同干擾對灰預測模糊控制器在可變風量空調控制的運轉結果之影響。

本計劃針對送風機直接影響空調舒適度部分的控制做研究，提出中央空調舒適及省能控制方法和概念，可供空調設計人員做全系統省能設計參考。其實有良好的舒適控制，不但可達到安裝空調的舒適目的，更可設計較小安全係數的空調系統，達到節約能源的目標。

### 三、結果與討論

#### 3.1 灰預測模糊控制器控制特性



備註：灰預測模糊控制器(GPFC)輸出電壓信號為0~5V，以控制送風機電壓在110V之內。

圖 1 灰預測模糊控制器特性分析曲線

本計劃所設計中央空調控制系統不論是在室內熱負荷預測或室外天候擾動干擾等控制特性均有良好之表現。根據民國 90 年 04 月 25 日有關之控制器特性實驗，如圖 1 所示。計有 A - K 等十一個狀況，可以觀察此控制器在控制可變風量送風機時，確實能做出適切的反應，以消除室內熱負荷改變或室外天候變動等影響因素之干擾。以下則針對 A - K 等十一個狀況，其分別受到哪些因素之影響所致作分析。

狀況 A：室內空間起始條件為過熱且相對濕度較高，控制器起始送風量為送風機

一半風量，控制器偵測到室內溫溼度過高，送風機所送之風量不足，遂開始增大送風機風量，但因為室內溫度仍過高，控制器遂指示送風量提升到最大值，直到室內溫度變項達到接近設定值。狀況 A 的主控變項為室內溫度。

狀況 B：當空調空間在經過控制系統處理後，已達到穩定狀態，空間舒適度維持在接近 100% 附近，此時控制器則根據室內微量變動的熱負荷，隨時調整送風量以維持空間舒適。狀況 B 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

狀況 C：此狀況為實驗者刻意打開窗戶引進外氣，觀察控制器面對干擾時之適應性，當空調空間有外氣進入時，室內舒適條件開始變差，室內溫度逐漸升高，控制系統希望處理空間舒適度以維持在接近 100% 附近，但因為外氣仍持續進入，控制器遂加大送風機送風量以抑制室內溫度的上升，外氣引進時間為 30 分鐘。狀況 C 的主控變項為室內溫度與室外溫度。

狀況 D：外氣引進干擾已經結束，空調空間經控制系統處理後，控制器逐漸修正前一狀況所加大的送風量，以維持空間舒適度在接近 100% 附近，主要根據室內逐漸減少之變動熱負荷，配合修正送風量以維持空間舒適。狀況 D 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

狀況 E：空調空間在經過控制系統處理後，已無較大變動因素，空間舒適度穩定地維持在接近 100% 附近，此時控制器已完全掌握空調空間的熱負載狀況。狀況 E 的主控變項為室內溫度與相對濕度。在此狀況中室內溫度變化與相對濕度變化呈現出最小焓值估算器(LEE)的最佳省能設定特性，即室內濕度降低時，室內溫度便會自動調高，以維持最佳省能設定。

狀況 F：在此狀況中室內溫度與相對濕度之變化仍呈現出最小焓值估算器(LEE)最佳省能設定的特性。此時室外天氣雖然已經開始變化，但室內溫度未受到室外天氣影響，空間舒適度仍穩定地維持在接近 100% 附近，但控制器已配合室外溫度，逐漸修正控制信號。狀況 F 的主控變項仍為室內溫度與相對濕度。

狀況 G：此時室外的天氣狀況已經開始影響到室內溫、濕度條件，控制器已預測到天氣的變化，逐漸修正加大送風機控制信號，增加送風量。狀況 G 的主控變項為室內溫度、相對濕度與室外溫度。

狀況 H：此狀況為實驗者進行持續性引進大量外氣，觀察控制器面對大干擾時之適應性與失控之情形，當空調空間進入大量外氣後，空調空間室內舒適條件急遽變差，室內溫度逐漸升高，逐漸修正加大送風機控制信號，增加送風量，以抑制室內溫度升高，但是由於外氣仍持續大量引進，雖送風機送風量已達到最大值，仍無法抑制外氣所引起之室內溫溼度上升，此時空調空間內之溫濕度條件如同定風量系統一般，變動頗大。狀況 H 的主控變項為室內溫度與室外溫度。

狀況 I：結束長達 60 分鐘之大量外氣引進干擾過程後，在最大送風量處理下，空調空間仍因干擾所產生之室內溫度上升，無法立即改善不良的舒適度條

件，因此控制器仍以最大控制信號輸出，一直到逐漸消除室內濕度過高的現象後，再根據室內變動的熱負荷，逐漸調整送風量，以維持空間舒適度在接近 100% 附近。狀況 I 的主控變項為室內相對濕度。

狀況 J：在此狀況中空調空間舒適度已穩定維持在接近 100% 附近。此時室外溫度開始降低，控制器配合逐漸減少送風機風量。狀況 J 的主控變項為室內、外溫度。

狀況 K：在此狀況中空調空間舒適度已穩定維持在接近 100% 附近，因無較大變動因素產生，控制器則依照最小焓值估算器(LEE)最佳省能設定指示，穩定地運轉。狀況 K 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

### 3.2 灰預測模糊控制器(GPFC)與溫控開關(中速)之省能分析

就電力耗用情形來看，如圖 2，採用灰預測模糊控制器的總耗用電力為 20KWH，較採用溫控開關(中速)的總耗用電力 76KWH 節省電力 56KWH，約 73.68%；平均舒適度也高出 28.09%。實驗結果顯示，採用灰預測模糊控制器控制空調空間，不但舒適度控制穩定且更加省能。經由空氣線圖的特性分析，發現灰預測模糊控制器大多將能量消耗在降低溫度的顯熱，雖然濕度高一些(60%以下)，但不影響舒適度；溫控開關(中速)將能量消耗在降低溫度的顯熱和降低溼度的潛熱，雖然溼度低，但卻耗費大量的能源。

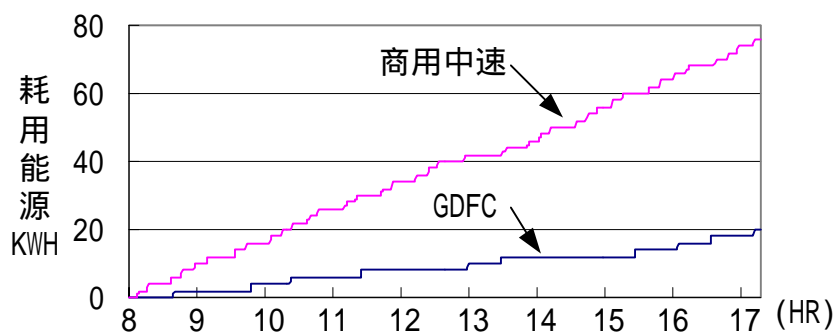


圖 2 商用中速溫控開關與灰預測模糊控制器  
耗用能量趨勢

### 3.3 灰預測模糊控制器在主機卸載時間與舒適度分析

由於空調環境系統空間的模式通常具有高度非線性、高擾動性、未確定性及時變等特性，深受室外天氣變化及室內各種變動的熱源影響，因此，傳統 ON/OFF 溫控開關無法依室內實際熱負荷情況作有效處理。反觀由灰預測模糊控制器所控制之平均舒適度高達 99.26%。實驗結果顯示，採用灰預測模糊控制器 (GPFC) 較採用溫控開關(中速)控制器的空調空間，舒適度控制較穩定。

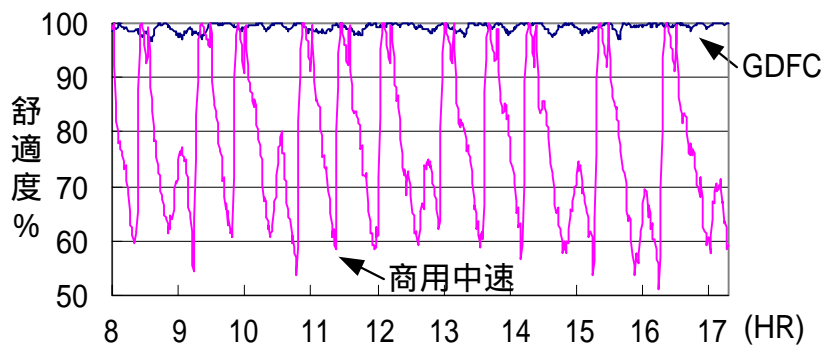


圖 3 舒適度趨勢

#### 四、結論

本計畫採用灰預測模糊控制器的空調空間，舒適度控制極穩定，平均舒適度高達 99.26%。就電力耗用情形來看，採用灰預測模糊控制器較採用溫控開關節省電力可達 56KWH，約 73.68%，省能情況令人滿意。將可以達成省能與舒適度維持的雙重目的。

#### 五、參考文獻

1. 程順德,姚立德,張文奇,顏榮良,陸台根,林哲雄, "離心式中央空調主機降載控制之研究", 八十八年節約能源論文專輯,民 88 年 5 月,頁 176-187。
2. 朱記民,吳志宏,黃裕煒,林志仰,鐘太郎, "應用模糊控制在冬季舒適空調省能之研究", 八十九年節約能源論文專輯,民 89 年 5 月,頁 123-134。
3. 工研院能資所徐瑞鐘等七十人, "冷凍空調技術研究發展計劃", 能源領域重要計劃成效發表研討會,民 84 年 4 月,頁 1-32。
4. 鐘太郎,朱記民,黃裕煒, "達成中央空調舒適度與省能控制之研究", 台電工程月刊第 615 期,民 88 年 11 月,頁 58-73。
5. 姚立德,王文博,林哲雄,顏榮良,張文奇, "中、永和地區實施無線電直接控制空調負載之控制策略與成效", 台電工程月刊,民 86 年 9 月,頁 84-93。
6. 藍宏智,黃裕煒,朱記民,鐘太郎, "抑制都市氣溫上升以減低夏季尖峰用電之探討", 九十年節約能源論文專輯,頁 114-122, 民 90 年 05 月。
7. ASHRAE 1992 ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, *Thermal environment conditions for human occupancy*. Atlanta American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc..
8. Hassani V., P. L. Miller, 1998, "Thermal Comfort and Cold Air

- Distribution", ASHRAE Transactions 104, pp. 1763-1772.
9. ASHRAE 1993, 1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals, chap. 8, Atlanta American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
  10. M.W. Gustafson, J.S. Baylor, Gary Epstein, "Estimating Air Conditioning Load Control Effectiveness Using an Engineering Model", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp. 972-978.
  11. S. Kajl, P. Malinowsk, E. Czogala and M. Balazinski, "Prediction of Building Thermal Performance Using Fuzzy Decision Support System", IEEE, 1995, pp. 225-232.
  12. G.S. Virk, D.L. Loveday and J.Y.M. Cheung, "Model-Based Control for BEMS", IEE, 1994, pp.901-905.
  13. A.S. Betzaida and V.R. Miguel, "Design of a Nonlinear HVAC control system with thermal load Estimation", IEEE, 1995, pp. 33-39.
  14. R.J. de Dear and G.S. Brager, "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference (RP-884)", ASHRAE Transactions 104, 1998, pp. 145-167.