



# 應用類神經網路監控和診斷中央空調系統 Air-conditioning system diagnosis and supervisory based on neural network

計畫編號：NSC 87-2612-E-018-001

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：黃裕煒 彰化師範大學工業教育系

八十六年度及以前的一般國科會專題計畫(不含產學合作研究計畫)亦可選擇適用，惟較特殊的計畫如國科會規劃案等，請先洽得國科會各學術處同意。

## 一、中文摘要

由於製造技術和自動監控系統設備的進步，空調系統的機械損壞比例已經大為降低，尤其是主機的監視和控制成效良好。但是某些大型空調系統係由許多複雜的設備組成(例如醫院)，不僅發生故障的機會多，而且必須盡快排除。但是由於空調系統的運轉狀況有許多變因，而且某些故障會使的感測器量到錯誤的信號，往往需要藉助人員的經驗才能解決。本研究利用類神經網路來推論某些不確定的因素，以幫助找出可能的故障原因，協助維修人員迅速找出故障。

關鍵詞：類神經網路、空調系統、故障診斷

## Abstract

Many papers work on fault detection in air-conditioning systems have used some form of quantitative model. These quantitative models estimate the states of the system based on the correct operation of the plant. In practice, it is often difficult to obtain adequate representations of plant behavior using quantitative models. This search proposes a fault diagnosis method based on neural networks in air-conditioning system. The use of neural networks can take account of faulty plant, sensors and experience. It can easily incorporate what expert knowledge is available about their conditioning systems of faults.

Keywords: Neural network, Air-conditioning, Fault Detection

## 二、緣由與目的

我國冷凍空調工業已具有相當的基礎，市場規模已超過千億台幣。由於培訓體系的不完整，無法提供空調業界充分的優秀人才。不僅設計、製造和安裝的人力缺乏，維修人力亦不足。由於某些場所的大型空調系統由許多複雜的設備組成(例如醫院)，不僅發生故障的機會多，而且必須盡快排除，因此必須派駐空調維修人員。然而隨著國內經濟的快速發展，基層技術員缺乏，造成維修的品質降低。尤其空調故障的判斷需要長時間的訓練和經驗的累積，使的人員的遞補更為困難。

雖然製造技術的進步和自動監控設備的採用，使的空調系統的機械損壞比例已經大為降低。但由於空調系統故障的原因相當多，監控系統的設計多注重在主要設備的保護。但是在實際的運轉下，有許多狀況會影響系統的效率、舒適性和安全。有些故障很容易判斷和清除；有些故障必須綜合多方各種狀況之後，才能找到。由於某些故障的原因不是非常明確，必須從各方的資料來判斷，所以在國外已積極引入人工智慧、模糊理論和專家系統等方法，協助判斷故障的原因。國內目前在這方面的研究極為缺乏，無法滿足空調業界的需求。

為減少空調維修人力的需求問題，本研究將發展「利用類神經網路判斷空調系統之故障」的技術，協助人員找尋故障原因。未來再朝向以維修中心監控遠端空調系統的技術，統一調度維修人員以減少人力的需求。

## 三、中央空調系統的實驗架構

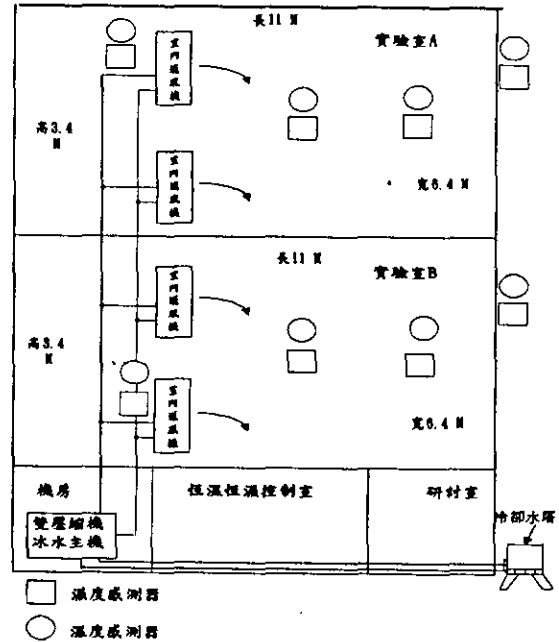
以小型水冷式中央空調系統而言，其

主要的組成系統有冷卻系統、壓縮機系統和冰水系統。其中冷卻系統包括冷卻水塔、冷卻水管路和冷卻水幫浦；壓縮機系統包括壓縮機、冷凝器、蒸發器和冷媒盤管；冰水系統則包括冰水幫浦、冰水管路和送風機。系統之間以管路連接在一起，每一個系統內的組件運轉不正常都有可能影響到其他系統內組件的正常運轉狀況，使的故障原因的研判更加困難。另外，外來的因素也有可能使中央空調系統發生故障，這些因素包括了水、空氣和電源供應。如何從空調系統所呈現的故障現象來找出故障原因，除了需要對整個中央空調系統有全盤的瞭解外，專家的經驗也是相當有助於找出真正原因的好幫手。

本研究所處的實驗室之空調空間機器設備配置圖如圖一所示。

- 1、空調主機是全密閉往復式冰水機 8RT 一台，壓縮機採用雙壓縮機，冰水機組包含壓縮機、冷凝器、冰水器等組合而成，以便調節空調負荷能力。
- 2、A、B 兩實驗室各採用兩台吊掛有殼室內送風機 (Fan Coil Unit, FCU)，其型號為 SINKO TC-800SW，電源為 110V，單相，60HZ；風扇規格為 4P-47W，無加熱加濕設備。
- 3、冷卻水泵：1/2 HP
- 4、冰水泵：1/2 HP
- 5、冷卻水塔：10 RT (冷凝器為冷凍能力的 1.25 倍)
- 6、膨脹水箱：20 公升
- 7、A、B 兩實驗室之長、寬、高分別是 11、6.4、3.4 公尺 = 11m × 6.4m × 3.4m = 70.4m<sup>3</sup>，整個室內負荷估算為 4 RT
- 8、A、B 兩實驗室室內各分別裝設溫度感測器及相對濕度感測器三組，室外各分別裝設溫度感測器及相對濕度感測器一組。

除空調系統外，另外建立一套以類神經網路為核心的監控系統架構，包括感測



圖一 實驗室之空調空間機器設備配置圖

器、通信介面、介面電路、監控軟體和個人電腦。其中感測器裝置於各主要組成組件中，並將量測而得的訊號傳送至中央主控站的位置，以利於故障原因的研判，共十五量測訊號的總表如下所示：

室內溫濕度		送風機		
室內溫度	室內濕度	運轉電壓	運轉電流	風速

冰水側			冷凝側		
流量	入水溫度	出水溫度	流量	冷卻水入水溫度	冷卻水出水溫度

壓縮機			
運轉電壓	運轉電流	高壓側	低壓側

四、應用類神經網路於判斷中央空調系統之故障

#### (一)、類神經網路之架構

類神經網路是一種模仿人類神經功能的計算機結構，其具有平行和分散處理、學習與容錯能力的特色，至今為止，類神經網路在機器的故障與診斷上之應用上已有非常多的研究文章相繼發表，如應用類神經網路在變電所線上診斷判別

故障種類、以類神經網路建構工具機的診斷系統、使用類神經網路偵測感應電動機的初期故障。

類神經網路的學習方法，主要的功用是在訓練網路學習輸入訊息與輸出結果間的關聯，它經由調整網路中連結線的權重達到學習的目的。類神經網路一般可分成監督式與非監督式的學習兩種，本研究採用的類神經網路是屬於監督式的倒傳遞網路 (Back Propagation)，其網路架構如圖二所示

倒傳遞網路的學習演算法步驟如下：

步驟一：決定網路架構的層數以及各層所擁有的神經元數目

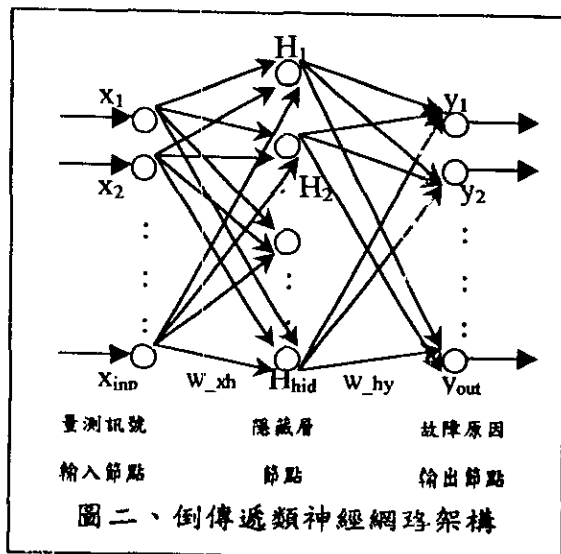
假設網路架構為輸入層、一層隱藏層及輸出層，輸入層的神經元數目是依照感測器的數目而定，假設有有  $x_{inp}$  個；隱藏層的神經元數目有  $hid$  個；輸出層神經元數目是依照故障原因的數目而定，假設有有  $out$  個。

步驟二：設定網路的初始加權值及初始偏權值。

我們設定輸入層與隱藏層間的加權值  $W_{xh}$ 、隱藏層與輸出層間的加權值  $W_{hy}$ 、隱藏層的偏權值  $\theta_{_h}$  及輸出層的偏權值  $\theta_{_y}$  為一隨機分佈亂數值。

步驟三：輸入量測訊號的訓練樣本及故障原因的目標輸出值

輸入各訓練樣本的量測訊號值  $x_1, x_2, \dots$ ,



圖二、倒傳遞類神經網路架構

$x_{inp}$  以及相對應的故障原因的目標輸出值  $T_1, T_2, \dots, T_{out}$ 。目標輸出值的值域在  $[0, 1]$  之間。

步驟四：推論故障原因輸出層的輸出值

$$net_{_h} = \sum W_{_xh} \cdot x_i - \theta_{_h}$$

$$H_i = f(net_{_h}) = \frac{1}{1 + \exp^{-net_{_h}}}$$

(1) 計算隱藏層的輸出值

$x_i$  是輸入層的第  $i$  個神經元的輸入值

$W_{_xh}$  是輸入層第  $i$  個神經元與隱藏層第  $h$  個神經元間的加權值

$\theta_{_h}$  是隱藏層第  $h$  個神經元間的偏權值

$net_{_h}$  是隱藏層第  $h$  個神經元的加權乘積和

$H_h$  是隱藏層第  $h$  個神經元的輸出值

$$net_{_j} = \sum W_{_hy} \cdot H_h - \theta_{_y}$$

$$y_j = f(net_{_j}) = \frac{1}{1 + \exp^{-net_{_j}}}$$

(2) 計算輸出層的輸出值

$H_h$  是隱藏層的第  $h$  個神經元的輸出值

$W_{_hy}$  是隱藏層第  $h$  個神經元與輸出層第  $j$  個神經元間的加權值

$\theta_{_y}$  是輸出層第  $j$  個神經元間的偏權值

$net_{_j}$  是輸出層第  $j$  個神經元的加權乘積和

$y_j$  是輸出層第  $j$  個神經元的推論輸出值

步驟五：計算輸出層與隱藏層的差距量

(1) 計算輸出層的差距量  $\delta_j$

$$\delta_j = y_j (1 - y_j) (T_j - y_j)$$

$T_j$  是輸出層第  $j$  個神經元的目標輸出值

(2) 計算隱藏層的差距量  $\delta_h$

$$\delta_h = H_h (1 - H_h) \left( \sum W_{_hy} \cdot \delta_j \right)$$

步驟六：計算各層之間的加權值修正量與偏權值修正量

(1) 計算輸出層的加權值修正量

$\Delta W_{_hy_{hj}}$  與偏權值修正量  $\Delta \theta_{_y_j}$

$$\Delta W_{_hy_{hj}} = \eta \delta_j H_h$$

$$\Delta \theta_{_y_j} = -\eta \delta_j$$

$\eta$  是表示學習速率 (learning rate)，其目的是為了要控制每次網路加權值的調整幅度。

為了加快網路的收斂速度，可在修正量的公式中加入一個慣性因子  $\alpha$  (momentum),  $0 \leq \alpha < 1$ ，修正公式如下：

$$\Delta W_{_hy_{hj}}^m = \eta \delta_j H_h + \alpha \Delta W_{_hy_{hj}}^{m-1}$$

$$\Delta \theta_{_y_j}^m = -\eta \delta_j + \alpha \Delta \theta_{_y_j}^{m-1}$$

(2) 計算隱藏層有加權值修正量

$\Delta W_{xh_{ih}}$  與偏權值修正量  $\Delta \theta_{h_{ih}}$

$$\Delta W_{xh_{ih}}^m = \eta \delta_{ih} + \alpha \Delta W_{xh_{ih}}^{m-1}$$

$$\Delta \theta_{h_{ih}}^m = -\eta \delta_{ih} + \alpha \Delta \theta_{h_{ih}}^{m-1}$$

步驟七：更新各層之間的加權值與偏權值

(1) 更新輸出層的加權值與偏權值

$$W_{hy_{hj}} = W_{hy_{hj}} + \Delta W_{hy_{hj}}$$

$$\theta_{y_j} = \theta_{y_j} + \Delta \theta_{y_j}$$

(2) 更新隱藏層的加權值與偏權值

$$W_{xh_{ih}} = W_{xh_{ih}} + \Delta W_{xh_{ih}}$$

$$\theta_{h_{ih}} = \theta_{h_{ih}} + \Delta \theta_{h_{ih}}$$

步驟八：重複步驟三至步驟七，直到網路收斂為止。

倒傳遞網路的回想演算法步驟如下：

步驟一：決定網路架構的層數以及各層所擁有的神經元數目。

步驟二：讀入已經訓練好的網路加權值及偏權值。

步驟三：輸入一個測試樣本  $X_1, X_2, \dots, X_{inp}$ ，其包含各個量測訊號值。

步驟四：推論故障原因輸出層的輸出值  $y_1, y_2, \dots, y_{out}$ 。

(二)、訓練資料的蒐集

本研究所使用的訓練資料架構係參考專家經驗以及空調診斷維修書籍，其資料的架構是由一組故障發生時各感測器所量到的訊號值及相對應的故障原因組合而成，如送風機故障停止運轉時，此時所裝置的感測器，其所量測的訊號共有十五種，這十五種量測訊號值與正常狀況運轉時所量到訊號值相互比較，可得到室內溫度及室內濕度量測值偏高，送風機的運轉電流及風速不正常，冰水側與冷凝側的出水溫度偏低。

將所有故障原因發生時其所量測得到的訊號值整理之後，作為倒傳遞網路的訓練範例。故障狀況將依據實際系統的運轉模擬產生，提供類神經網路的學習和測試。

(三)、實驗結果

本研究的倒傳遞網路架構，輸入層的神經元數目共十五個，每一個神經元代表一種感測器，隱藏層的神經元數目設定為

二十個，輸出層部分共三十個神經元，每一個神經元代表一種故障原因。

首先將倒傳遞網路的訓練範例輸入中央空調故障診斷系統，經過五千次的學習循環之後，網路逐漸收斂，各層之間的加權值與偏權值呈現穩定狀態，將各值記錄下來以供網路回想之用。

實驗測試時，將十五個感測器量測值輸入至中央空調故障診斷系統，經過推論運算，系統會將輸出層的各神經元的輸出值互相比較後，列出最大值的前三項，並將此三項故障原因和由輸出值轉化成的可能百分比一起顯示至螢幕中。本系統研判故障原因的成功率達到 98%，每次故障診斷所運算推論的時間約為 2 秒鐘，已能满足空調系統線上故障診斷的需求。

五、結論與建議

由於中央空調系統係由許多複雜的設備組成（例如醫院），不僅發生故障的機會多，而且必須盡快排除，往往需要藉助人員的經驗才能解決，如果能利用類神經網路作為故障診斷系統，以及滿足線上故障診斷的功能的話，不僅能節省維修的人力與時間，更能減少故障時間延長所帶來的損失。本研究將和空調業界合作收集實際空調系統的故障狀況和原因，以建立完整的資料庫。對於未來應用類神經網路監控和診斷中央空調系統的研究建議與方向，本研究提出下列幾點供作參考：

1、限於經費與人力的問題，本研究所裝置的感測器數目有限，對於一些設備如壓縮機內部結構的某些故障問題並無法僅由少數感測器的量測訊號來判別得到，所以用來訓練的範例僅限於本研究所使用的這十五種感測器所能判別的故障原因，至於其他的故障原因可以藉由增加設備內部的感測器數目來提高診斷之範圍與能力。

2、本研究所建構的空調故障診斷系統係採用倒傳遞網路的架構，其網路學習時間需要花費較長的時間，另外對於新的訓練範例的加入需要整個網路重新訓練過。在往後的後續研究中，建議可採取自

適應共振理論 (Adaptive Resonance Theory)，自適應共振理論是一種無監督學習之架構，其特色是可即時、穩定地辨識輸入之範例，在學習的時間上比起倒傳遞網路所花費的時間更少且新範例的加入不需要整個網路重新訓練過。

3、如果故障診斷所需要儲存的資料不多的情況下，可利用單晶片板來代替本研究所使用的個人電腦，如此可減少安裝的空間以及製造的成本，另外也可考慮加入空調主機的微電腦控制單元上，實現線上故障診斷的功能。

#### 六、計畫成果自評

本研究的研究內容與原計畫大致上相符，也能達成原先預期之目標，建立以類神經網路診斷故障原因的方法，並依據離線的資料分析建立系統模型，協助空調系統之維修保養。

本研究的研究成果可以協助空調業界找尋故障的原因，縮短排除故障的時間，尤其在缺乏有經驗的維修人員時，更可以彌補人力訓練的不足。甚至可以減少派員人員，解決部分人力缺乏的困擾。

利用類神經網路作為故障診斷系統是一項新的研究領域，目前已經有應用至相關系統之故障診斷如工業機具、家電用品、電力系統與汽車等。本研究對於利用類神經網路作為中央空調故障診斷系統的研究成果適合在冷凍空調、能源科技和類神經網路相關領域上發表。

擬在後續研究中評估將倒傳遞類神經網路的診斷系統程式以及相關資料製成 IC，以代替本研究所使用的個人電腦，如此可減少安裝的空間以及製造的成本，另外也可考慮加入空調主機的微電腦控制單元上，實現線上故障診斷的功能。如在冷凍空調市場上有其商用化的利基，將考慮申請相關專利。

本計畫完成之後，將提供給彰化師大工教系冷凍空調組學生學習使用，作為空調系統運轉和維修的訓練教材，並將相關技術移轉給空調業者。

參與此研究的研究人員，可藉此學習

到以下之技術：

- 1、以類神經網路診斷故障的理論與技術。
- 2、空調系統的監控技術。
- 3、空調系統運轉與維修的技術。

#### 七、參考文獻

- [1] Dexter, A.L., 1995, "Fuzzy model based fault diagnosis," IEE Proceedings-Control Theory and Applications, Vol:142, Iss:6, p. 545-550, Nov. 1995.
- [2] Dexter, A.L., 1993, "Fault detection in air-conditioning systems using fuzzy models," IEE Colloquium on 'Two Decades of Fuzzy Control-Part 2'(Digest No. 1993/118), p. 2/1-3, 19 May 1993.
- [3] Sampath, M.; Sengupta, R.; Lafortune, S.; Sinnamohideen, K. and Teneketzis, D., 1994, "Failure diagnosis using discrete event models," Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control (Cat. No. 94CH3460-3), p. 3110-16, vol. 3, 14-16 Dec. 1994.
- [4] J. Briou, "Building Control and Management System for Supervision and Remote management of the Environment Telecommunications Equipment", 15 TH International Telecommunications Energy Conference, New York, USA, SEP. 1993.
- [5] Chen-Wei Xu and Yong-Zai Liu, "Fuzzy model identification and self-learning for dynamic system", IEEE Transactions System, Man and Cybernetics, Vol. SMC-7, No. 4, July/August, 1987.
- [6] Usoro P. B., Schick I. C. and Negaahdaripour, "An innovatiuon-based methodology for HVAC system fault detection", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. Vol. 107, December 1985, pp. 284-289
- [7] M. Rokonuzzaman and M. A. Rahman, "Neural Network Based Incipient Fault Detection of Induction Motors", IEEE Faculty of Engineering and Applied Science, 1995.
- [8] 陳基峰, "類神經網路應用於變電所線上故障種類診斷之研究", 成功大學電機工程研究所碩士論文, 民國八十二年六月。
- [9] 李文棋, "應用類神經網路於故障診斷專家系統-以工具機為例", 東海大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十五年六月。