

# 應用類神經網路於抽水站操作支援之研究

張凱堯/台北市政府工務局養護工程處雨水下水道工程科下水道勘測工務所主任

程培嘉/台北市政府工務局養護工程處養護工程隊副隊長

羅俊昇/台北市政府工務局養護工程處處長

## 一、前言

近幾年來，世界各國由於都市的發展使降雨集水時間縮短、逕流係數增加，再加上氣候環境變遷，原有排水防洪設施之保護標準皆降低，加上民眾對於防止水患意識提高而期望防洪設計及操作標準提升，因而發展準確而有效率的防洪排水操作機制有其必要性及急迫性。台北市地勢本屬低窪，又因淡水河出海口附近之關渡隘口河槽狹窄，往往造成每年夏、秋兩季暴雨或颱風來襲，市區排水於河川外水位到達一定高程後即無法順利地由重力自然的宣洩，故抽水站即扮演市區排水系統最下游動力將內水排放至河川的重責大任。如抽水站因抽水機組故障或抽水操作不當以致無法發揮其設計抽水功能，無法排除市區降雨逕流量，將導致市區局部地區淹水，造成民怨及民眾財產損失。是以除提昇抽水站規劃設計標準外，如何進行抽水站最佳排水操作係市區排水效能的關鍵所在。目前抽水站抽水機組之操作雖已有相關操作規則，但由於操作規則規劃設計時水文資料的欠缺及大量的不確定性或各工程變數等因素，以致操作規則於實際操作時難以達至較有效率的抽水操作，而必需由操作人員視實際降雨狀況及前池水位變化等加以調整抽水機組啓閉，因而研擬一套抽水站更佳的操作模式有其必要性。

為解決使用傳統抽水站操作規則準確設定不易、型態固定且需現場人為經驗彈性判斷的缺點，本研究以歷史颱風暴雨事件之水文資料及抽水站閘門、抽水機組操作效率較佳的操作記錄，以人類經驗法則的學習及判斷方式，

利用包含一個輸入層、一個隱藏層及一個輸出層的模糊反傳遞類神經網路，藉網路學習階段將輸入的資料依資料點的相似程度自動予以分類，架構出以規則庫為基礎的類神經網路。在網路輸出方面則應用模糊控制的方法，將輸入值與網路訓練所得的規則庫比較，依不同的相似程度予以量化，並以模糊權重的方式求得網路輸出值。本網路會隨著歷史資料的增加自動地增加規則數，增加推估的能力。本研究將發展一模糊類神經網路應用於防洪抽水站抽水機組操作，以有效提供操作者進行現場正確而有效率的操作建議。

## 二、類神經網路模式

類神經網路乃源於模擬人類大腦之思考模式，其使用大量且簡單的人工神經元來模仿生物神經網路的能力，它從外界環境或其它神經元取得所需之資訊，運用有效率的方式將資料分類與儲存，使龐大的資料系統化，故類神經網路可以說是一種計算系統，其優點在於具有強大之平行演算能力、高度的容錯能力以及優越的非線性映射能力，並可藉由過去之經驗及資料學習、網路具高度穩定性與可塑性、執行時間短等優點。

類神經網路發展至今已有多種不同的形式用以解決不同的問題，常見的有倒傳遞類神經網路(BPN)、反傳遞類神經網路(CPN)、回饋式類神經網路(RNN)及其他結合了模糊理論之模糊類神經網路。而雖然類神經網路種類眾多，但基本之架構卻差異不大，若單以架構來做區分，則可分為前向式(Feedforward)架構及回饋式(Feedback)架構兩大類。

### (1) 前向式類神經網路

前向式類神經網路其架構為神經元分層排列，形成輸入層、隱藏層(可若干層)、輸出層。而每一層只接受前一層的輸出作輸入者，稱為前向式架構如圖 1 所示。常見的前向式架構有倒傳遞類神經網路(BPN)、反傳遞類神經網路(CPN)、自組織映射圖(SOM)及輻狀基底函數網路(RBF)等。

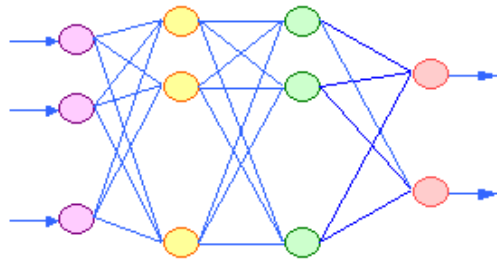


圖 1. 四層之前向式類神經網路架構

### (2) 回饋式類神經網路

回饋式類神經網路其架構為從輸出層或隱藏層回饋到輸入層，或者層內各處理單元間有連結者，或者神經元不分層排列，只有一層，各神經元均可相互連結者，稱之為回饋式架構，如圖 2 所示；簡單來說，在網路的傳遞上，只要有一條以上的鍵結不是往前傳遞者，皆可稱之為回饋式架構。

## 三、模式研選

由於抽水站操作與水文、水理及其它設備

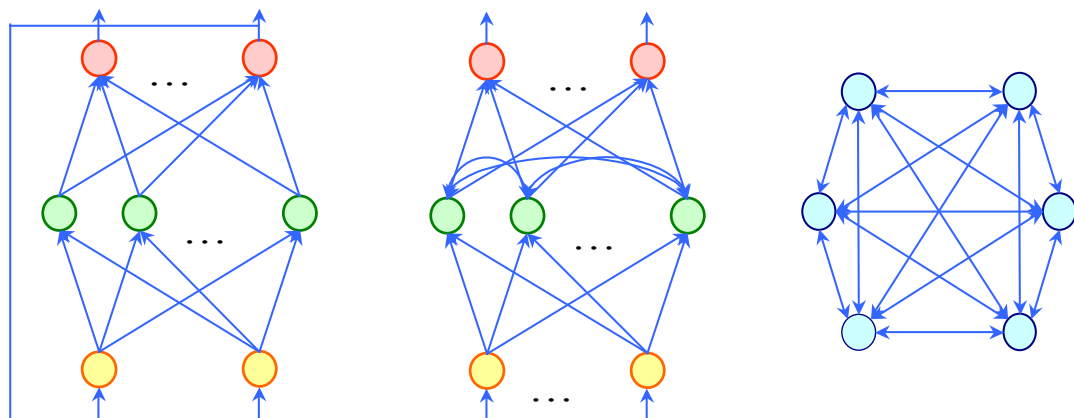


圖 2. 回饋式類神經網路架構

操作間的複雜函數對應無法由定率方式確實得到其輸入及輸出的對應函數關係。替代的方案為建構適當的映射規則庫，並能了解其操作的適切性。本研究以規則庫控制(Rule Base Control)為基礎，結合模糊控制(Fuzzy Control)及反傳遞類神經網路(CPN)，以自我學習的方式，架構適宜的映射關係。

反傳遞網路(Counterpropagation Network, CPN)係由 R. Hecht-Nielsen 於 1987 年提出[7]，網路分為兩個主要部份，第一部份對輸入的資料進行分類，第二部份則是分類之輸入-輸出對照表(look-up table)，其理論及網路形式簡單說明如下，詳細的理論介紹可參閱張斐章&張麗秋(2005)。

模糊類神經網路則在 1992 年由 Nie & Linkens 兩位提出，於 1994 年 Nie & Linkens 進而提出反傳遞模糊類神經網路[2]，該方式利用人類經驗法則的學習及判斷方式，建構包含一個輸入層、一個隱藏層及一個輸出層的反傳遞網路，在網路學習階段將輸入的資料依資料點的相似程度自動予以分類，架構出一規則庫形式(IF-THEN)之類神經網路；在網路輸出方面則應用模糊控制的方法，將輸入值與網路訓練所得的規則庫比較，依不同的相似程度予以量化，並以模糊權重的方式求得網路輸出值；模式隨著歷史資料的增加，可以自動地增

加規則數，增加推估的能力。

反傳遞類神經網路(CPN)具備網路平行架構在分類的優越效果及非線性函數的良好模擬效率，使得此網路模式應用於圖形分類、函數近、統計分析及資料比對等均有不錯的效果。CPN 網路主要由架構中的輸入層、隱藏層(又稱為 Kohonen 層)及輸出層(又稱為 Grossberg 層)之節點結合而成的類神經網路，其結構示如圖 3：

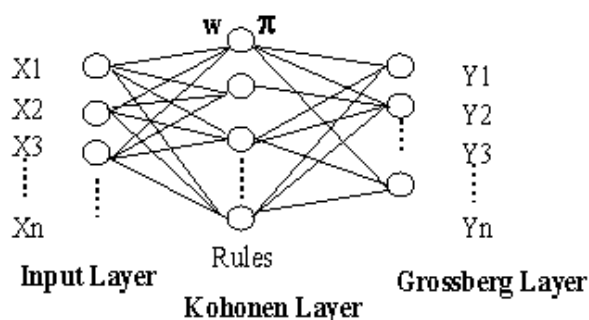


圖 3. 反傳遞類神經網路架構圖

網路輸入值(X)經由一個邏輯判斷而產生輸出值(Y)，該邏輯判斷就稱之為一個規則，而 CPN 網路如同由很多的 If-Then 規則組合而成，Kohonen 層中各節點與輸入層間的鍵結  $w$  有如規則控制中的 IF 敘述部份，而各節點與 Grossberg 層的鍵結  $\pi$  則有如規則控制的 Then 敘述部份，因此每個節點與輸入層及 Grossberg 層間的鍵結關係可視為一完整的 IF X is  $w$ , Then Y is  $\pi$  的規則敘述，所以 CPN 網路基本上就是由許多規則集合而成的規則庫。

由許多經驗得知，在規則庫選用規則時，以最接近輸入條件的方式選取，易因非此即彼的邏輯判斷，在輸入條件介於各規則的交界處造成誤判或產生誤差，因此一般在規則庫的應用方面，以模糊控制(Fuzzy Control)的方式較為適當。

而在實際應用中，預測階段輸入的  $x(t)$  值，可能因各規則單元的中心點的距離均大於間隔寬  $\Delta$ ，而發生找不到規則單元套配的情形，其原因可能是提供訓練網路的歷史資料缺

乏該輸入值的分類，或者是架構網路的  $\Delta$  值太小，以至於無法有效地將資料做適當的類別。而其解決方法除儘量將模式中的  $\Delta$  值訓練的大小適中，使模式具有適宜的分類能力外，依前人之研究經驗[11]可以等倍率地放大原來套配間隔  $\Delta$  的寬度，以增加套配規則單元的機會，本研究乃以上述改善方式架構之修正型模糊 CPN 類神經網路模式進行研究。

#### 四、抽水站操作機制

##### (1) 操作目標

在外水位高於內水位，區域排水無法以動力方式排除時，利用抽水站機械動力有效排除內水，並儘可能在洪峰來臨前先行抽水，降低排水系統水位，增加系統蓄水功能及加速雨水之宣洩，以減低集水區內積水之機率。

##### (2) 操作水位

最高水位：抽水站內水位容許最高水位，超過可能造成低窪地積水。

起抽水位：抽水機啟動水位。抽水機係逐台開啓，當開啓機組無法有效壓制水位至起抽水位下時，且水位持續上漲即增開一部抽水機組。而抽水機之關閉則亦逐台關閉。

警戒水位：抽水機組暖機待命水位。

最低水位：抽水機組可抽水之最低水位，低於此水位抽水機組必需停機，否則可能受損。

##### (3) 操作機制(操作流程詳圖4)

平時操作：

河川水位因漲潮而逐漸上昇，若河水漲至相當高程，有湧入堤內之虞，立即關閉重力閘門。重力閘門關閉後，市區排水無法排放至河川，前池水位逐漸上昇，當漲至警戒水位，即開始暖機，若持續漲至起抽水位，立即開啓抽水機抽水。河川水位因退潮而逐漸下降，若河川水位低於前池水位時，立即開啓重力閘門。

豪雨期間操作：

若逢退潮，河川水位低於前池水位，開啓重力閘門。若逢漲潮，且達前池警戒水位時，開啓抽水機先行暖機，俟前池水位漲至起抽水位時，進行抽水，同時視內外水位情況關閉重力閘門。

颱風期間操作：

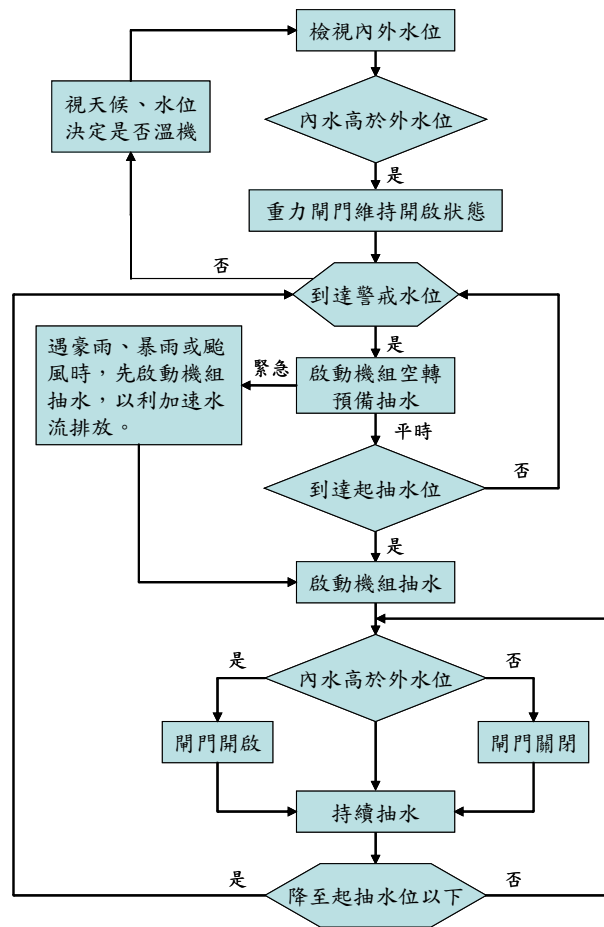


圖 4 抽水站操作流程圖

河川水位高漲又適逢漲潮，河川長時間處於高水位，應保持關閉重力閘門進行抽水，俟河川水位低於前池水位，立即開啓重力閘門，加速排除市區積水。當河川水位低於前池水位，除開啓重力閘門排水外，若前池水位仍在起抽水位以上，應同時保持抽水機繼續抽水。

##### (4) 抽水站操作影響因子評析

降雨逕流量造成的水位變化為決定抽水機組操作最重要因子，但降雨變化與抽水站前池之逕流量變化或水位變化有複雜的必然關係，而抽水站的操作原則一般都以前池水位變化做為依據，因此，前數時刻降雨狀況和前池水位變化及未來時刻降雨或前池水位預測皆為影響抽水機組操作之重要因子。重力閘門之操作在於外水位高於前池水位時，即關閉閘門



，俟前池水位上升至起抽水位，立即開啓抽水機抽水；當外水位低於前池水位時，即開啓重力閘門，惟若當外水位低於前池水位，除開啓重力閘門排水外，若前池水位仍在起抽水位以上，應同時保持抽水機繼續抽水。因而閘門啓閉與抽水機組操作、內水位變化、內外水位相對關係有相當之關連性。

另一般抽水機允許運轉變化範圍採用設計全揚程之上下+15%至-30%。並依抽水機特性曲線決定抽水機效率。抽水揚程(與內外水位差相關)影響抽水機操作性能，如內外水位差加大，則將使抽水機組操作性能降低，造成高揚程低抽水流量。

綜上說明，抽水站之操作判斷，應該考慮包括降雨量、重力閘門啓閉、水位變化速率、進流量及抽水揚程等因素以決定操作方式，若操作得當，不必達到起抽水站，在洪峰來臨前得以先抽水，如此可降低雨水下水道內之水位，增加下水道蓄水功能及加速雨水之宣洩，以減低集水區內積水之機率。

## 五、研究區域－玉成抽水站

玉成抽水站系統現況集水範圍包括辛亥路以北，基隆路及光復南路以東，向陽路以西和基隆河以南所圍地區，集水總面積計1644.93公頃，地理位置詳圖5所示。本抽水站於民國76年完工，現裝置有7部26.3cms共計抽水量184.1cms抽水機組，抽水站航照圖及設施剖面如圖6及圖7所示。起抽水位高程2.4m，設計外水位採基隆河10年頻率之洪水位EL.7.62m（員山子分洪前），現有抽水量僅能抽排集水區42.5mm/hr降雨逕流。依排水主幹線集水區域劃分，本抽水站系統可概略分為松隆路幹線系統、中坡北路幹線系統及南港路幹線系統等三大次排水系統。

玉成抽水站現行抽水站操作係重力閘門平常保持全開，排水由重力閘門排放至河川，河川水位有上漲之趨勢，且達抽水站前池警戒水位時，開啓抽水機組先行暖機，迨水位上漲至起抽水位時，立即進行抽水，而抽水機係逐台開啓，當已開啓機組無法有效壓制水位至起

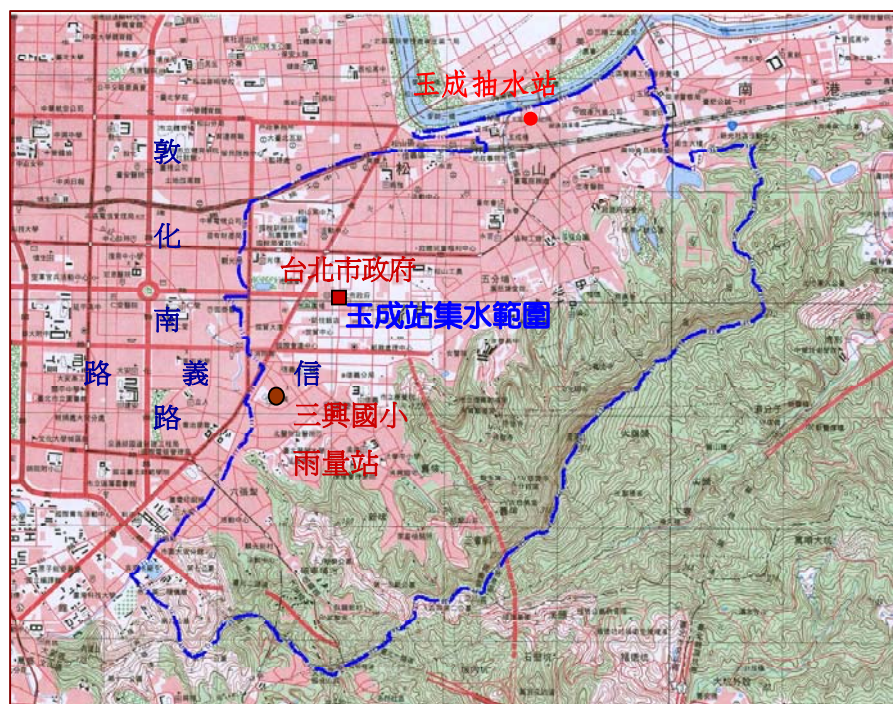


圖 5 玉成抽水站位置圖

抽水水位下時，即增開一部抽水機組。而抽水機之關閉則亦逐台關閉，同時關閉重力閘門；而當河川水位下降且低於前池水位時，再開 啓重力閘門。

## 六、水文與抽水站操作資料蒐集

台灣地區都市雨水下水道系統建設針對都市下水道排水系統進行水理監測並不多，因此從事台灣地區之下水道系統水理研究往往缺乏實測資料進行研究驗證，台北市政府工務局養護工程處，有鑑於下水道系統即時水位監測對於都市防洪預警系統的建立及對於未來



圖 6 玉成抽水站航照圖

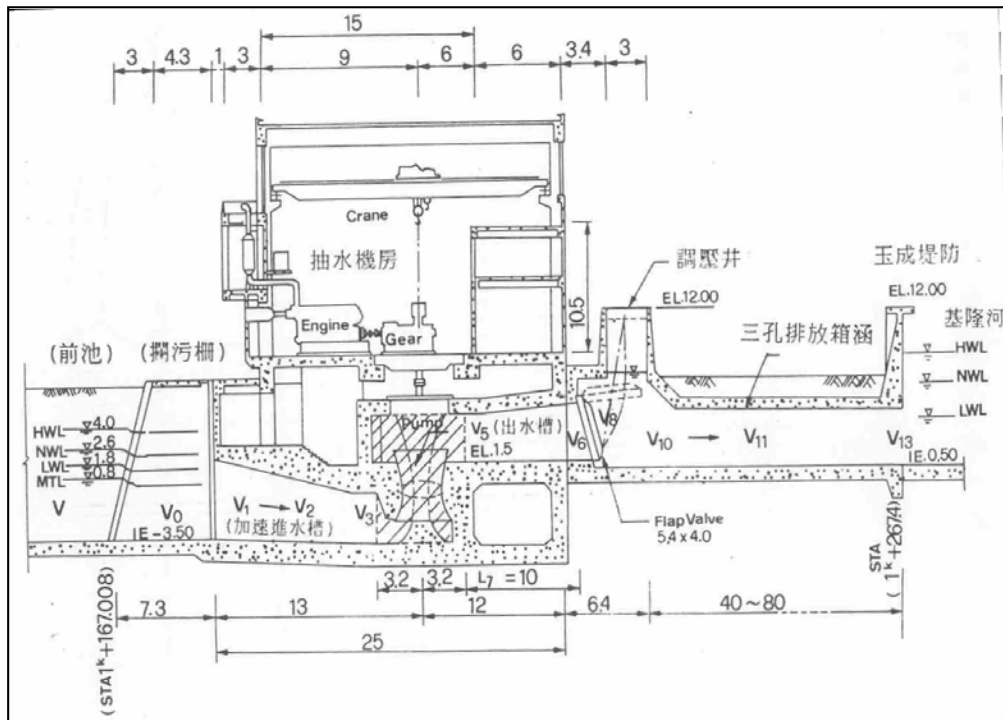


圖 7 玉成抽水站設施剖面圖



下水道系統之管理維護有極大幫助，近年來，即針對易積淹水地點設置水位監測系統，目前玉成抽水站集水區建置11處水位監測站，相關位置詳圖8。

養工處水位、雨量資料庫採用Oracle8i

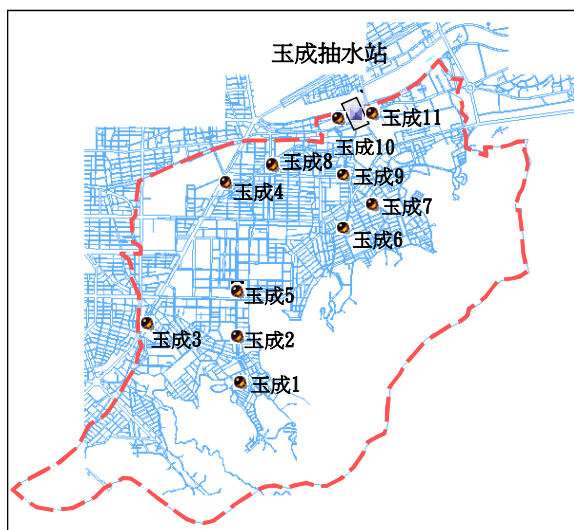


圖 8 玉成抽水站集水區水位監測站位置

Enterprise Edition網路運算資料庫，提供了有效、可靠和安全的資料管理功能。目前水位、雨量記錄資料庫配置分為「臨時資料庫」、「常時資料庫」及「暴雨事件資料庫」三種。「臨時資料庫」記錄系統即時接收到的水位、雨量資訊，每一小時更新一次並將該小時內之累積水位、雨量值記錄於「常時資料庫」中；「常時資料庫」固定每一小時記錄一次水位及雨量資訊，每個月份的資料記錄為一個資料表，資料表的名稱以年份及月份組合而成；而「暴雨事件資料庫」則記錄當雨量記錄於短時間內急速升高時的水位及雨量記錄，記錄時距1分鐘，持續記錄至水位記錄低於判別值，而且不再變化為止。而抽水站抽水機組及閘門操作即時資訊亦由操作事件發生時進行即時記錄於養工處監測資料庫。

玉成抽水站操作預測模式所需之訓練、驗證及測試水位監測資料，採用「台北市排水系統調查檢討及資料建檔－雨水下水道水位監

測系統規劃建置」案於2002年至目前之雨水下水道系統之實測資料，降雨資料採用台北市政府工務局養護工程處所屬玉成抽水站集水區內的三興國小雨量站(位置示如圖5)降雨記錄，抽水站操作資訊採用養工處雨量水位資訊系統之抽水站即時資料庫之操作記錄。

本研究以2002年三場暴雨事件及2004年海馬颱風每5分鐘一筆共2244筆資料架構規則基底，利用建構好的網路推估2003年梵高颱風及杜鵑颱風共928筆資料進行模式驗證(Validation)，並以推估2005年7月海棠颱風共3588筆抽水站抽水機組操作進行測試(Testing)，詳如表1。

表1 玉成抽水站颱風事件資料之時間與資料選取

	起始時間	事件名稱	資料筆數 (min)
訓練	2002/12/21 上午 02:34 時	暴雨事件	451
	2002/12/25 下午 05:59 時	暴雨事件	162
	2002/12/26 上午 05:27 時	暴雨事件	349
驗證	2004/9/10 下午 04:39 時	海馬颱風	1282
	2003/8/19 下午 05:32 時	梵高颱風	388
測試	2003/9/1 下午 09:53 時	杜鵑颱風	540
	2005/7/17 上午 03:21 時	海棠颱風	3588

## 七、網路模式架構

本研究評析抽水站操作影響因子，並依目前可蒐集之影響因子的操作實測記錄資料，進行抽水站操作研析，並以玉成抽水站集水區為例，將颱風事件影響抽水站操作之影響因子，包括降雨量、前池水位、重力排水閘門啓閉及抽水機組操作歷史記錄建構一個輸入層具有6個輸入，輸出層具有1個輸出的CPN模糊類神經網路如圖9。

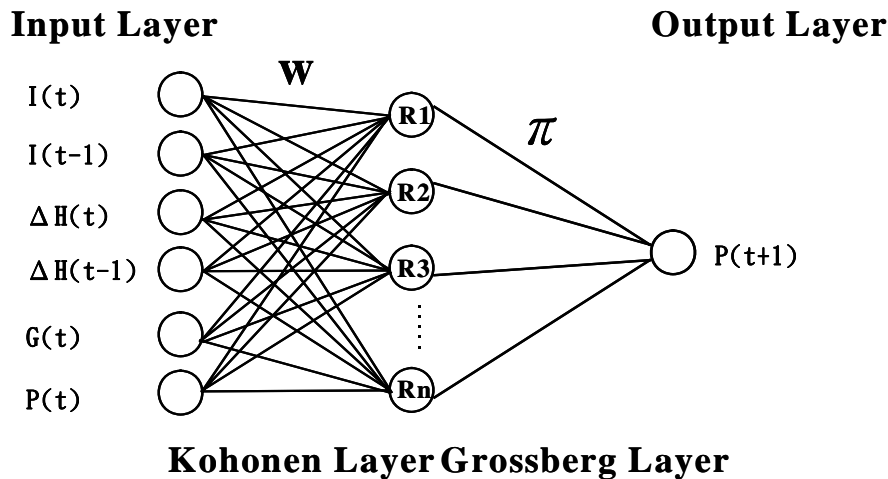


圖 9 抽水站機組操作的 CFNN 類神經網路

在網路的輸入項部分，以考慮相關雨量站與自身水位站水位差預測模式之用，依資料輸入類型大致分為兩類，一為不同時距的累積雨量(如：5分鐘累積雨量、10分鐘累積雨量)，另一為自身不同時距水位差(如：該時刻與五分鐘前之水位差、該時刻與十分鐘前之水位差)。由於防洪排水抽水機組啓閉次數過於頻繁易造成機組損壞，故一般規範操作均設定要求每小時內最多12次之啓閉限制，在上述要求下，本研究設定輸入及輸出資訊均以5分鐘為單位時距來進行分析。模式之網路架構，均以數時刻之累積雨量及自身水位站前數時刻之水位差為輸入，雨量與水位差資料輸入網路時，均先將資料正規化，使其範圍介於0到1之間。輸入層包括前二時刻的降雨量 $I(t)$ 、 $I(t-1)$ ，前二時刻的前池水位差 $\Delta H(t)$ 、 $\Delta H(t-1)$ ，前一時刻的閘門關閉數 $G(t)$ 及前一時刻的抽水機組開啓數 $P(t)$ ，而輸出層則為下一時刻的抽水機組開啓數 $P(t+1)$ 。也就是以累積雨量為前1~5分鐘、前6~10分鐘，該時刻與前5分鐘水位差、前5分鐘與前10分鐘水位差、該時刻閘門關閉數及抽水機組開啓數為輸入值；輸出值為未來5分鐘抽水機組開啓數； $W$ 與 $\Pi$ 分別表示連結輸入層與隱藏層、隱藏層與輸出層神經元間之權重。

## 八、模式參數設定與校驗證

模式參數設定Kohonen層及Grossberg層學習速率 $\alpha$ 、 $\beta$ 值(其值介於0至1之間)， $\Delta$ 值則以訓練範例之全部訓練點架構模式，再以原訓練範例作推估測試；模式之訓練設定 $\alpha=0.5$ ， $\beta=0.5$ ，容忍度=0.0001，放大率=2， $\Delta$ 值從0.01開始，每次增加0.01，逐漸增加其值到0.3，並選取MSE值小且網路模式所需規則數相對較少的 $\Delta$ 值。

模式推估值與推估真值的誤差以MSE(Mean Square Error)值做為評比的標準，MSE值愈小表示預測值的準確性愈高，MSE表示如下式：

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^N (P_{sim}(t) - P_{obs}(t))^2}{N}$$



## 九、結果與分析

本研究建構一個輸入層具有前二時刻的降雨量  $I(t)$ 、 $I(t-1)$ ，前二時刻的前池水位差  $\Delta H(t)$ 、 $\Delta H(t-1)$ ，前一時刻的閘門關閉數  $G(t)$  及前一時刻的抽水機組開啓數  $P(t)$  等的 6 個輸入變數，而輸出層則為下一時刻的抽水機組開啓數  $P(t+1)$  的模糊類神經網路(CFNN)。經利用試誤法研析後決定  $\Delta$  值等於 0.03 時可得最佳之驗證及測試結果，如圖 10 所示。本研究取  $\Delta=0.03$  時，規則單元數為 466 個，訓練階段 MSE 值為 0.0224，驗證階段 MSE 值為 0.2552，預測階段 MSE 值為 0.1449，並以此訓練網路建構預測模式。

圖 11 為訓練階段推估開啓抽水機組與實際記錄之比較，由圖可知估推與實際相當吻合，而就各階段抽水機實際開啓數與推估數之誤差進行比較分析，訓練階段各種抽水機操作

組合，準確率都高達 83%至 100%，除少數操作機組因急遽由未啓動狀態下立即開啓多部機組及已多部機組開啓運作下立即關閉情況下，在變化的第一時刻有預測誤差多至 5、6 部外，操作預測誤差都在多於或少於一部機組。

圖 12 為測試階段推估開啓抽水機組與實際記錄之比較，其結果顯示，各階段抽水機組開啓數推估與實際記錄數相當吻合，模式預測的準確性相當高，而就測試階段之實際觀測記錄與網路模式之抽水機組開啓數預測結果進行比對分析，預測之正確性在預測階段對不同之操作組數推估正確率均高於 95%以上，操作機組數預測誤差都在也都在一部機組以內，此結果表示本網路模式有相當之準確性。

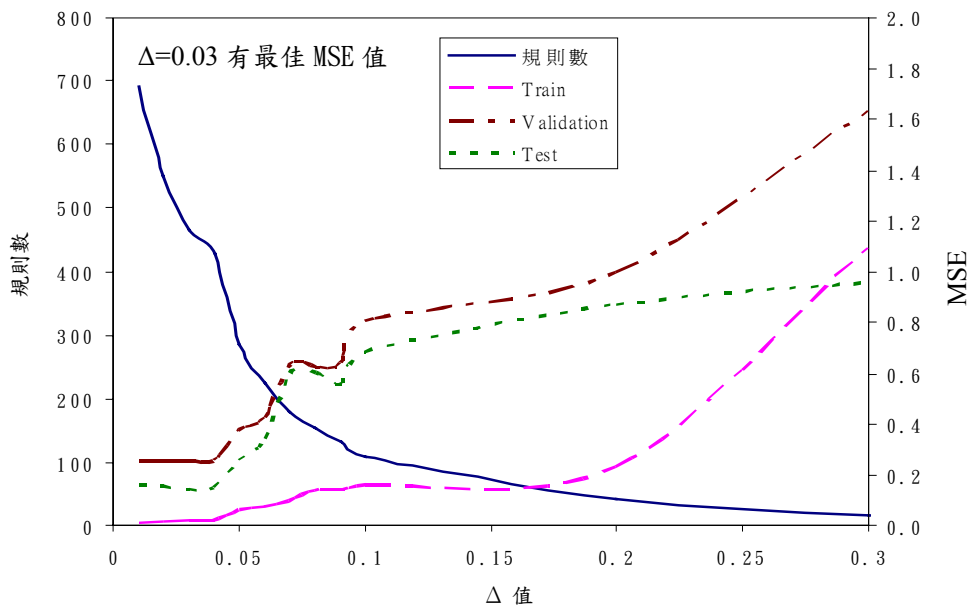


圖 10  $\Delta$  值對網路模式訓練之影響比較

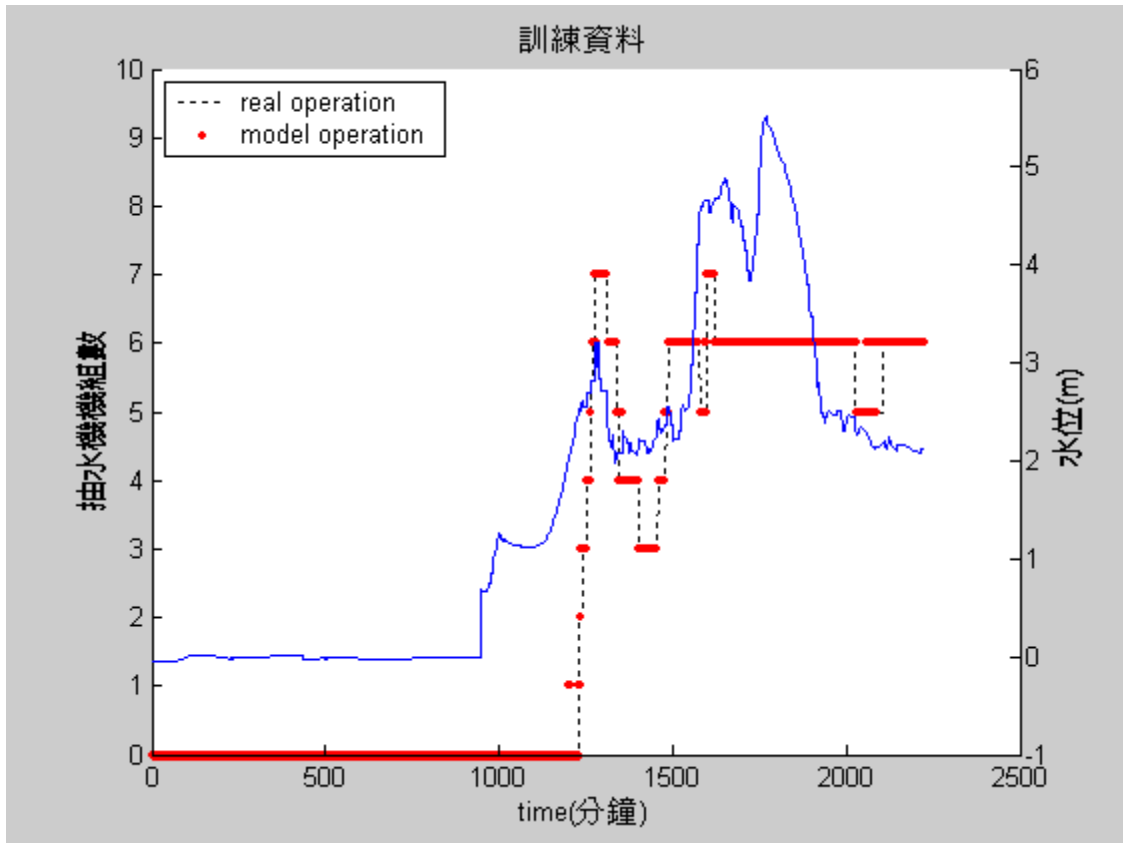


圖 11 訓練階段推估開啓抽水機組數與實際記錄比較圖

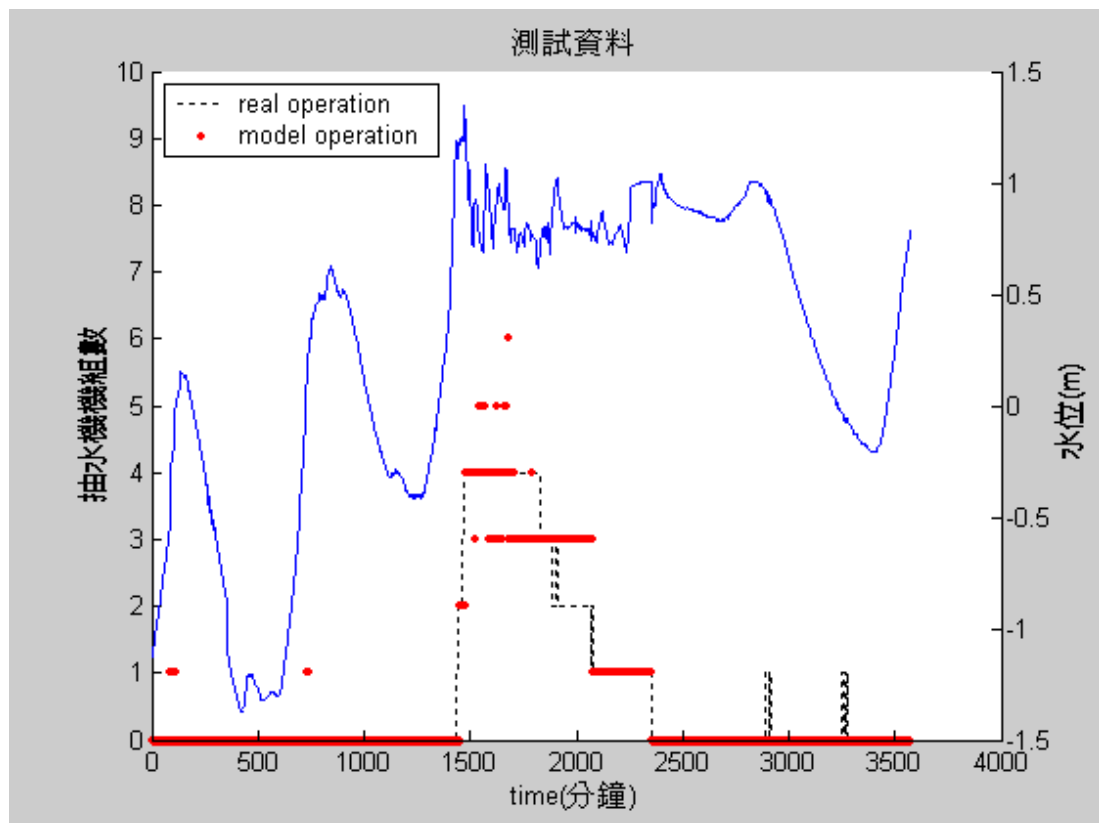


圖 12 測試階段推估開啓抽水機組數與實際記錄比較圖

## 十、結論與建議

防洪抽水站操作若能有一可靠之模式用以準確預測未來時刻之抽水操作，將可提供抽水站操作人員即時且具實用性的資訊，然而許多物理性概念模式，存在著許多假設條件及範圍限制，且需要收集地文及水文等參數，不易直接引用於複雜的自然環境中，因此仍無法建立可靠之防洪抽水站抽水機組操作模式以供利用。本研究利用 CFNN 網路具有學習能力佳、基本架構簡單、易於擴充及分類效果強的優點，將各種不同類型的降雨及抽水機操作資訊分別記錄成不同的規則單元，建立 CFNN 模式的規則庫，使 CFNN 模式擁有強大準確的推估能力。

在一般規範對防洪抽水機組操作要求每小時內最多不超過過 12 次之啓閉限制下，本研究設定輸入及輸出資訊均以 5 分鐘為單位時距，並以前二時刻的降雨量  $I(t)$ 、 $I(t-1)$ ，前二時刻的前池水位差  $\Delta H(t)$ 、 $\Delta H(t-1)$ ，前一時刻的閘門關閉數  $G(t)$  及前一時刻的抽水機組開啓數  $P(t)$  等 6 個變數為輸入層，下一時刻的抽水機組開啓數  $P(t+1)$  為輸出層建構 CFNN 模式進行抽水站抽水機組開啓數推估；以 4 場颱風暴雨事件共 2244 筆資料進行模式訓練，推求 3 場颱風暴雨事件抽水站抽水機組操作，完成訓練的網路的分類。結果顯示此網路模式應用於提供抽水站抽水機組啓閉推估的工作上面，亦有相當良好的表現，可供做為實際抽水站操作重要的參考。

但是 CFNN 模式的規則庫中規則單元的多寡，對於預測的準確性影響極大，若將規則分類得太細，雖然可能具有較小的 MSE 值，但是亦會造成分類過細，使得各規則間常會產生相互類似的情況，同時產生在預測階段輸入值套配到過多類別的規則單元的情形，影響模式準確度。為有效簡化模式的複雜性，達到更有效率的預測，未來 CFNN 可研究在輸入層與隱藏層間以聚類方法進行分類，藉由聚類以少數

規則即可代表輸入 - 輸出範例的特性，適當地建立模糊規則庫。

另抽水站操作除與降雨量、前池水位、閘門啓閉有相關之外，亦受限於操作規則及抽水機組機械必須避免過度頻繁操作之限制及內外水位差改變所造成的抽水效率變化。由於目前模式係利用以往操作記錄進行訓練，然這些操作雖為現場安全之實務操作，但是否為最佳之操作，仍有再討論之必要，本模式或可提供有經驗者之操作推估供後續操作之參考，然而後續應將其它相關因素加以考量，將各影響操作之限制條件納入研析，建立限制規則庫並進行抽水站操作最佳化之研究。

## 參考文獻

- (1) Chang, F. J. and Y. C. Chen, 2001, "A counterpropagation fuzzy - neural network modeling approach to real-time streamflow prediction", *Journal of Hydrology*, 245: 153-164
- (2) Junhong Nie and D.A. Linkens, 1994, "Fast self-learning multivariable fuzzy controllers constructed from a modified CPN network", *International Journal of control*, Vol.60, No.3, pp.369-393.
- (3) Junhong Nie, 1997, "Nonlinear time-series forecasting: A fuzzy-neural approach" *Neurocomputing* 16, ELSEVIER, pp.63-76, June.
- (4) Junhong Nie and D.A. Linkens, 1995, Fuzzy-Neural Control: Principles, Algorithms and Applications, Prentice-Hall, London.
- (5) Jürgen Rahmel, 1996, "SplitNet: Learning of tree structured kohonen chains", *IEEE*,

- pp.1221-1226.
- (6) Kohonen, T, 1998, Self-organization and associative memory, 2nd edition, Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- (7) R. Hecht-Nielsen, 1987, "Counterpropagation network", *Applied Optics*. 26, pp.4979-4984.
- (8) R. Hecht-Nielsen, 1990, "Applications of counterpropagation network", *Neural Networks* 1, pp.131-139.
- (9) Nikolaos Vassilas, Patrick Thiran and Paolo Ienne, 1996, "On modifications of kohonen's feature map algorithm for an efficient parallel implementation", *IEEE*, pp.932-937.
- (10) 張斐章、黃源義、梁晉銘，1993，模糊推論模式之建立及其應用於水文系統之研究，*中國農業工程學報*，第 39 卷，第 1 期，pp.71-83。
- (11) 張斐章、胡湘帆、黃源義，1998，反傳遞模糊類神經網路於流量推估之應用，*中國農業工程學報*，第 44 卷，第 2 期，pp.26-38。
- (12) 張麗秋、張斐章，1999，智慧型水庫即時操作控制系統，*中國農業工程學報*，第 45 卷，第 4 期，pp.18-30。
- (13) 張斐章、張麗秋，2005，*類神經網路*，東華書局。
- (14) 簡錕彪，「台北市防洪抽水站現況評估與聯合運轉可行性之探討」國立臺灣海洋大學碩士論文，民國 92 年 6 月。
- (15) 抽水站人員操作維護訓練講習講義，台北市政府工務局養護工程處，民國 87 年。
- (16) 台北市雨水下水道規劃手冊，台北市政府工務局新建工程處，民國 78 年。
- (17) 蘇宗智，1974，*防洪幫浦設計之研究*，台北市政府工務局養護工程處。
- (18) *抽水站作業管理維護手冊*，台北市政府工務局養護工程處，民國 93 年。