

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文

倒傳遞類神經網路於淨水混凝自動加藥前饋
控制應用之研究-模廠試驗

Automatic Coagulant Dosing System by Back
Propagation Artificial Neural Network (BPANN) in Water
Treatment Plant Operation

研究生：陳大為

指導教授：黃志彬教授

中華民國 101 年 2 月

倒傳遞類神經網路於淨水混凝自動加藥前饋控制
應用之研究-模廠試驗

Automatic Coagulant Dosing System by Back Propagation Artificial
Neural Network (BPANN) in Water Treatment Plant Operation

研究生：陳大為

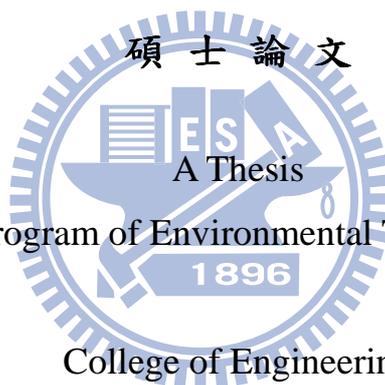
Student : Tawei Chen

指導教授：黃志彬

Advisor : Chihpin Huang

國立交通大學

工學院永續環境科技學程



Submitted to Degree Program of Environmental Technology for Sustainability

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Environmental Technology for Sustainability

February 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 2 月

倒傳遞類神經網路於淨水混凝自動加藥前饋控制

應用之研究-模廠試驗

研究生：陳大為

指導教授：黃志彬教授

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

摘要

混凝為傳統淨水場之主要處理單元，混凝加藥量多由操作人員透過瓶杯試驗及個人現場操作經驗決定，往往無法即時調整準確之混凝劑量，造成混沉效能不彰。本研究主要以實驗室瓶杯試驗建置不同水質參數與最適加藥量之數據庫，藉此建立倒傳遞類神經網路(back propagation artificial neural network, BPANN)預測混凝劑量之最佳模式，再以具傳統處理單元之模廠處理天然濁水及人工高濁水，進行 BPANN 前饋自動加藥控制系統效益驗證。

研究結果顯示，使用實驗室瓶杯試驗 114 筆數據作為 BPANN 之訓練、驗證及測試資料，在 LM 演算法、隱藏層 1 層及早停止學習原則參數組合下，以原水濁度、pH、溫度及鹼度構成不同輸入參數組合所建立之三組 BPANN 模式，其測試相關係數(r)均可達 0.93 以上。在模廠試驗中，當天然原水濁度在 100 NTU 以下或人工高濁水濁度在 1,000 NTU 左右時，測試三組建立之 BPANN 模式，僅有水質輸入參數為原水濁度、pH 二項所建立之 BPANN 模式，可即時準確反應模廠原水水質所需之混凝劑量，處理水質亦符合實場內控出水水質標準。

關鍵字：水處理、混凝、類神經網路、自動加藥

Automatic Coagulant Dosing System by Back Propagation Artificial Neural Network (BPANN) in Water Treatment Plant Operation

Student: Tawei Chen

Advisors: Chihpin Huang

Degree Program of Environmental Technology for Sustainability

College of Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Coagulation is an essential unit in a conventional water treatment plant (WTP), of which the dosage is generally determined by jar tests and the experiences of the operators. Such an operation often results in inaccurate dosing and poor performance. In this study, back propagation artificial neural network (BPANN) was applied in the prediction of coagulant dosage. The best model of BPANN was first established from the data base containing various parameters of water quality and the corresponding optimum dosage generated from the lab-scale jar tests. The efficiency of the automatic feed-forward dosing system by BPANN was verified by a pilot-plant with conventional water treatment units targeting natural water and synthetic high turbidity water.

Results of 114 jar tests were used to train, validate and test the BPANN. When the combination of LM calculation and one hidden-layer were set in the principal of early stop, all the relative coefficients (r) of prediction for various BPANN patterns edited by inputting different combinations of turbidity, pH, temperature and alkalinity of raw water exceeded 0.93. In the pilot study for the coagulations of natural water of below 100 NTU and synthetic turbidity water of around 1000 NTU, only the BPANN automatic dosing system validated by two parameters, namely, turbidity and pH, made

a real-time response to predict the correct dosage for coagulation and meet the water quality standard of the WTP.

Keywords: water treatment, coagulation, artificial neural network, automatic dosing



致謝

碩士學位對一個大學聯考連續二年都名落孫山的人來說，是一個那麼遙不可及的夢想，更遑論是國立大學，不過人就是因為有夢想，才会有繼續前進的動力。在職的求學過程是辛苦充實的，因此結果更為滿足愉悅，一路上要特別感謝黃志彬 教授和袁如馨 教授在學業及工作上的細心協助指導，使學生在待人處事時，思路邏輯更加清晰明確。承蒙工研院周珊珊 組長撥冗參加論文口試，提供寶貴的意見及建議，在此一併致上最誠摯的謝意。

人的一生中能得多少貴人的幫助，我真的非常幸運，得到許許多多的人對我協助。感謝出社會第一份工作就遇到的上境盧梅芳 副總、美娟 經理及一起來交大打拼的裕君、宜蘭大學的張章堂 教授、歐榮的胡念英 主任，您們在我準備研究所考試時給我莫大的幫助；感謝黃志彬 教授和袁如馨 教授，您們有如嚴父慈母般的提攜；感謝怡珍在工作及學業上無微不至的照顧；感謝自來水公司新竹第二淨水場全體同仁，在我實驗期間提供的協助；最後就是要感謝實驗室工作的伙伴們，阿甘學長、世如學長、涑達工程的大哥們、志麟、靖宜、文彬、育俊、雅茹，以及一群開朗、活潑、向上的實驗室小朋友們，因為有你們所有人，才能造就我的人生。

此時最欣喜的，莫過於我的家人，父親對我的期許甚深，但我一直不肯上進，我知道您仍不忍苛責，默默支持著我，您們永遠是我最大的支柱，由衷的感謝您們。

陳大為 謹誌於
國立交通大學
中華民國101年2月

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
致謝.....	IV
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
第一章 前言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 淨水場混凝加藥現況.....	3
2.2 混凝加藥監控模式.....	4
2.3 混凝操作回饋控制之監測技術.....	6
2.3.1 流導電流監測技術(SCD).....	6
2.3.2 光纖膠羽監測技術(PDA).....	7
2.3.3 顯示式膠凝監測技術(FCD).....	7
2.3.4 膠羽影像色彩分析技術(FICA).....	8
2.3.5 懸液濁度監測技術(NTMS).....	8
2.4 混凝操作前饋控制模式.....	9
2.4.1 經驗數學模組.....	9
2.4.2 類神經網路模式.....	10

2.4.3 倒傳遞類神經網路應用於淨水混凝加藥之相關研究	18
第三章 實驗設備與方法.....	20
3.1 研究架構	20
3.2 新竹第二淨水場基本資料及混凝操作參數.....	21
3.3 原水水質分析	22
3.4 實驗室瓶杯試驗	22
3.5 倒傳遞類神經網路模式建立	23
3.6 模廠試驗	25
3.6.1 模廠處理流程.....	25
3.6.2 模廠槽體規格及操作參數.....	27
3.6.3 模廠自動監控系統.....	29
3.6.4 模廠試驗流程.....	32
第四章 結果與討論.....	35
4.1 實驗室瓶杯試驗數據庫建立	35
4.2 倒傳遞類神經網路模式建立	37
4.2.1 隱藏層設定.....	38
4.2.2 學習速率設定.....	38
4.2.3 學習法則設定.....	38
4.2.4 隱藏層神經元數目測試.....	39
4.3 倒傳遞類神經網路模式模廠驗證	42
4.3.1 與實場平行混凝加藥對照測試.....	42
4.3.2 倒傳遞類神經網路輸入參數篩選測試.....	43
4.3.3 倒傳遞類神經網路模式連續操作驗證.....	47
4.3.4 人工高濁度原水混凝自動加藥前饋控制測試	48
第五章 結論與建議.....	52

5.1 結論	52
5.2 建議	52
參考文獻	54
附錄	57



表目錄

表 2-1 混凝監測技術之適用性及優缺點比較	8
表 3-1 新竹第二淨水場基本資料及混凝操作參數	22
表 3-2 模廠槽體規格及操作參數.....	28
表 3-3 模廠混凝加藥蠕動泵浦校正紀錄	30
表 3-4 模廠槽體停留時間追蹤劑測試結果	33
表 4-1 含廢水迴流及不含迴流水樣水質物化特性	36
表 4-2 含廢水迴流及不含迴流水樣混凝最適劑量評估	36
表 4-3 瓶杯試驗及 BPANN 模式訓練驗證測試階段各項水質數據分布	38
表 4-4 不同輸入參數之 BPANN 模式隱藏層神經元數測試結果.....	41
表 4-5 與實場平行混凝加藥對照測試結果	43

圖目錄

圖 2-1 混凝加藥監控方法.....	5
圖 2-2 倒傳遞類神經網路架構.....	12
圖 3-1 研究架構.....	21
圖 3-2 方形槽體中平板式攪拌器之 G 值與轉速(rpm)對照	23
圖 3-3 模廠外觀.....	26
圖 3-4 模廠內部.....	26
圖 3-5 原水槽及原水採樣槽.....	26
圖 3-6 快混槽及慢混槽.....	26
圖 3-7 沉澱槽.....	27
圖 3-8 重力式快濾槽.....	27
圖 3-9 模廠處理流程.....	25
圖 3-10 模廠圖控程式主控畫面.....	31
圖 4-1 BPANN 模式模廠測試(4 個輸入參數：濁度、pH、溫度、鹼度).....	45
圖 4-2 BPANN 模式模廠測試(3 個輸入參數：濁度、pH、溫度).....	45
圖 4-3 BPANN 模式模廠測試(2 個輸入參數：濁度、pH).....	45
圖 4-4 BPANN 模式電腦模擬結果(4 個輸入參數：濁度、pH、溫度、鹼度)....	46
圖 4-5 BPANN 模式電腦模擬結果(3 個輸入參數：濁度、pH、溫度).....	46
圖 4-6 BPANN 模式模廠連續操作結果(2 個輸入參數：濁度、pH).....	47
圖 4-7 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量).....	50

圖 4-8 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量
再增加 50%).....50

圖 4-9 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量
再減少 50%).....51



第一章 前言

1.1 研究背景

隨著台灣經濟迅速發展，自來水已是社會民生及經濟活動不可或缺的必需品，除了要求充足的供水量外，供水品質更是衡量國民生活品質的重要指標之一。有鑑於台灣降雨期間多集中在夏季，尤其當颱風季節時帶來的豪雨，河水中的土砂經雨水沖刷及擾動，使得水中濁度急劇升高，因此，使用地表水為原水之淨水場因原水濁度的高低變化影響，導致混凝加藥操作困難進而影響供水品質，實有必要建立即時準確的混凝加藥控制模式，以提升淨水場操作效能。

混凝(coagulation)及膠凝(flocculation)為淨水場主要處理單元，亦是沉澱及過濾單元前必要之處理程序，其處理成效直接影響後續沉澱及過濾單元之操作負荷。目前淨水場通常使用硫酸鋁(Alum)及多元氯化鋁(polyaluminum chloride, PACl)作為混凝劑，混凝加藥量大多採用不定期的瓶杯試驗(jar test)或以該淨水場進流水質與操作經驗，搭配瓶杯試驗加藥量曲線來決定混凝加藥量^(Shih and Chiang, 1997)，但在原水水質變化大時，往往無法於短時間內因應水質作最佳加藥量的調整，因此淨水場操作人員常利用過量加藥的方式，使混凝機制達到沉澱絆除之效果淨化水質，此作法雖可有效淨化水質，但此法會增加污泥量，也會使得加藥成本上升，更重要的是水中會殘餘大量的混凝劑。

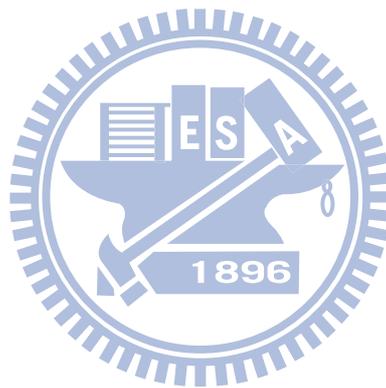
自來水處理系統為一非線性之複雜系統，各單元之反應機制目前尚無法完全掌握，尤其影響混凝加藥量之參數繁多，傳統以數學模式及經驗法則決定混凝加藥量，無法即時準確的以自動控制方式調整混凝劑量，因此以人工智慧(artificial intelligence)預測混凝加藥量為發展趨勢，例如模糊理論、類神經網路等。國內研究顯示，應用倒傳遞類神經網路模式(backpropagation artificial neural network, BPANN)，可得到良好之混凝加藥量預測結果^(陳，1998；吳，2009)，但目前研究僅在於電腦模式模擬階段，尚未將 BPANN 模式應用於實際原水之混凝加藥預測及處理，對於 BPANN 模式之實際應用性尚待進一步研究。本研究欲探討 BPANN 模式所預測的混

凝加藥量實際應用於模廠之處理成效，以及與自動控制系統連結使用之可行性，期能藉由自動化監控系統，輔助淨水場操作效能的提升。

1.2 研究目的

本研究先以實驗室原水水質與最適凝加藥量瓶杯試驗結果，建立 BPANN 模式以預測凝加藥量，再以 100 CMD 級模廠進行凝加藥自動控制測試及驗證，以瞭解 BPANN 應用在淨水場最佳化操作之 BPANN 網路訓練參數及模廠水質輸入參數。其研究目的如下：

- (1) 藉由實驗室電腦模式模擬，找出建立 BPANN 模式最適之網路訓練參數。
- (2) 以模廠測試及驗證，得到 BPANN 模式於模廠應用之最適水質輸入參數。



第二章 文獻回顧

2.1 淨水場混凝加藥現況

台灣目前共有四個自來水事業單位，分別為台灣自來水公司、台北自來水事業處、金門縣自來水廠及連江縣自來水廠，其中以台灣自來水公司及台北自來水事業處供水量及供水人口所占比例最多，經濟部水利署(2011)公務報表統計台灣自來水公司總供水量約為 850 萬 CMD，供水人口約 1,700 萬人；台北自來水事業處總供水量約為 230 萬 CMD，供水人口約 380 萬人。台灣自來水公司在『淨水場』規模等級(包含淨水場、給水廠等，不包含抽水站、深井等)以上之淨水場共計 345 座，出水量大於 10 萬 CMD 之大型水場共 17 座；台北自來水事業處淨水場共計 5 座，出水量大於 10 萬 CMD 之大型水場共 3 座，統計 20 座大型淨水場(出水量 > 10 萬 CMD)其淨水程序均以混凝、沉澱、過濾、消毒為主要處理單元^(黃, 2010)。

對國內淨水場而言，混凝一直是淨水場主要處理單元之一，亦是沉澱及過濾單元前必要之處理程序，其處理成效直接影響後續沉澱及過濾單元之操作負荷。混凝主要可分為三個階段，當混凝劑注入原水後即發生一連串水解反應，形成帶有正電荷之水解物種，接著藉由快混階段快速攪拌使混凝劑均勻分散至顆粒表面進行去穩反應，最後，去穩顆粒再於慢混階段碰撞聚集形成膠羽(floc)。影響混凝作用之因素包括原水之 pH 值、鹼度、濁度、水溫、水中粒子、混凝劑種類及劑量、攪拌強度及時間等^(高, 1990; Yoshihiko et al., 1998)。現階段國內使用地表水為原水之淨水場，其混凝加藥控制方式，主要由操作人員觀察原水濁度及沉澱出水濁度變化，以經驗調整混凝加藥量為主，再以瓶杯試驗曲線輔助混凝加藥量之決定^(洪, 1993)，然以經驗法則決定混凝加藥量之方式，除受限於操作人員之經驗、能力及素質等人為因素影響，在原水水質驟變時，操作人員往往無法即時迅速準確地調整至最適混凝劑量，必須要多次嘗試進行調整，方可符合處理水質要求規範。雖然混凝程序可使用瓶杯試驗作為決定操控程序之試驗方法來決定最適混凝劑量，但是瓶杯試驗仍是屬於批次之資

訊，無法反應至控制系統作線上即時控制，且瓶杯試驗所需時間較長，亦無法提供操作所需之即時訊息，因此許多研究紛紛發展混凝加藥監控技術^(徐，1992；甘，1997；吳，2008)，以提升淨水處理單元操作效能。

2.2 混凝加藥監控模式

一般而言，在處理原水時加入適當劑量的混凝劑及適當的攪拌即可形成膠羽，藉由沉澱池作用去除水中顆粒，達到淨化水質之目的，但混凝加藥為一非線性之複雜系統，至目前為止，尚未有一個確定的法則，可以準確的計算混凝劑的加藥量，因此混凝加藥監控主要目的是藉由調整混凝劑之加藥量使混凝效果最佳化。一般常見的控制方法如圖 2-1(a~c)，包括前饋控制、藥後及混後回饋控制及沉濾後回饋控制等，前饋控制是利用經驗數學模式或人工智慧模式(如類神經網路)計算或預測混凝劑量，控制混凝劑加藥機調整至所需劑量；藥後及混後回饋控制是利用混凝監測技術判斷混凝成效，以提供混凝程序自動控制所需資訊；沉濾後回饋控制多是利用線上濁度計，以沉澱及過濾出水濁度作為混凝加藥調整之判斷邏輯。茲將用於混凝操作回饋控制之監測技術及混凝操作前饋控制模式說明於 2.3 及 2.4 節。

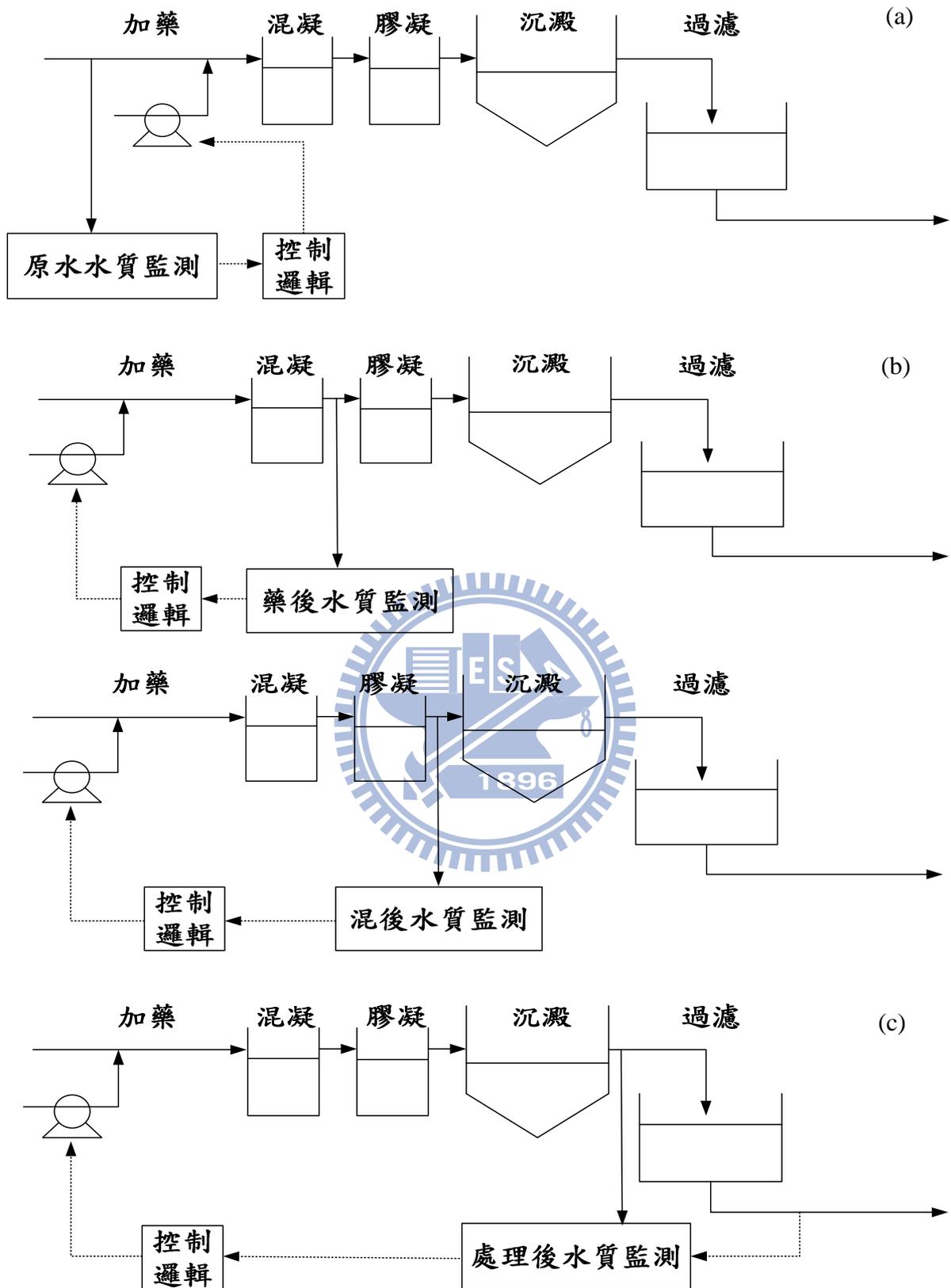


圖 2-1 混凝加藥監控方法(a)前饋控制(b)藥後及混後回饋控制(c)沉濾後回饋控制

2.3 混凝操作回饋控制之監測技術

傳統上，淨水場對混凝程序的監測系統主要是利用線上濁度計，一般利用可見光為光源，在光源 90 度的位置偵測散射光之強度，當懸浮微粒的數量越多，則散射光強度亦越強，即濁度越高。但濁度計並無法提供膠羽外觀等資訊，若需要進一步瞭解膠羽長成的情形，還是必須倚賴精密的粒徑分析儀器。另一方面，淨水場之即時監測多使用電極或探棒式的接觸型濁度計，設置於淨水場水流多變的環境下容易損壞，以及產生監測數據誤差，影響混凝監控之成效。

實際上，監測混凝效果亦常量測水中顆粒表面之界達電位，但界達電位與瓶杯試驗一樣皆為不連續採樣的測量方法，其所得之數據適用於過去水質，並不一定適用於當下入流之原水。當原水為高濁度時，界達電位的測量困難度變高，且該試驗對水溫及導電度的變化相當敏感，因此很難獲得確切的顆粒表面電荷值。國內針對混凝單元操作監測技術之應用一直相當缺乏，現階段因應混凝過程之顆粒特性所開發之混凝操作監測技術包括流導電流偵測(streaming current detector, SCD)、光纖膠羽偵測技術(photometric dispersion analyzer, PDA)、顯示式膠凝控制技術(flocculation control derive, FCD)、膠羽影像色彩分析技術(floc image colorimetric analysis, FICA)及懸浮濁度偵測技術(nephelometric turbidimeter monitoring system, NTMS)等^(Dentel and Kingery, 1989; Gregory and Nelson, 1984; 宋, 2002; 吳, 2008; Cheng et al., 2008)，但對於各技術應用於淨水場連續操作系統，仍有部分問題尚待克服。整理各技術之適用性及優缺點如表 2-1，以及原理及應用成果分述如下：

2.3.1 流導電流監測技術(SCD)

SCD 乃是偵測水中懸浮顆粒的表面電性，而此表面電性可作為混凝效果的一個指標，因此可用來判斷混凝劑量是否足夠^(Dentel and Kingery, 1989)。同時 SCD 可將偵測訊號傳至加藥機，控制混凝的加藥量，以達最佳加藥量的控制。

早期已有研究利用批次實驗求得各實驗參數與 SCD 讀值間的關係^(徐, 1992)，並進一步應用於豐原第一淨水場，SCD 確實可提供類似界達電位的訊息，且因為 SCD 對樣品之檢測為連續性，可即時反應流導電流值提供水場人員作為加藥量調整之依

據，有連續操控性佳、反應時間短等優點，但應用 SCD 於自動加藥監控仍有些問題需要解決^(黃, 1998)。

2.3.2 光纖膠羽監測技術(PDA)

PDA 為光線照射懸浮性固體溶液時，平均穿透光強度變化，是由於水樣中顆粒總數的隨機變化所造成。其假設顆粒數目的變化符合卜瓦松分佈 (Poisson-distribution)，則光強度變化的均方根值 (root mean square, RMS) 與顆粒散射係數和顆粒濃度的根號值有關。對於單一分散相的懸浮溶液而言，結合 RMS 值和濁度值可簡單地推導出顆粒數目和大小，這種關係適用於廣泛的濃度範圍，且不需要事先知道顆粒的光學性質，並由此原理發展出 PDA^(Gregory and Nelson, 1984; Gregory 1985)。

PDA 系統在實場應用之案例上，先以 PDA 進行批次實驗，改變不同濁度、pH 值及快混強度的實驗條件，觀察 PDA 輸出值、殘餘濁度、膠羽生成大小及沉降速度的關係，證明在 PDA 輸出值達最高值時其加藥量可作為最佳加藥量，在小型模廠之連續流試驗中，PDA 呈現之輸出值亦相當穩定，且能有效地顯示最佳加藥量，但 PDA 輸出值會受會受顆粒濃度及大小影響^(甘, 1997)。

2.3.3 顯示式膠凝監測技術(FCD)

FCD 為利用膠羽計算機定時採集和定量分析膠羽圖像，計算出膠羽之等效直徑。FCD 應用於上海航頭水庫，將傳感頭置於絮凝池中，每 5 秒讀取一圖像，並利用計算機計算出每個膠羽的等效直徑，之後再利用等效直徑的實測值與設定值之差，經 PID 運算後，加以控制混凝劑之加藥量，此方法其計算值能有效地控制混凝劑的加藥量，並將沉澱水的濁度穩定在一範圍內，達到保證水質及降低成本之目的，但所需計算之遲滯時間較長，約為 10~20 分鐘^(宋, 2002)。

2.3.4 膠羽影像色彩分析技術(FICA)

FICA 為依據光散射之原理，當水中懸浮微粒濃度越高，則散射光強度越強，即水越混濁。另一方面，不同的懸浮微粒或膠羽吸光或是散射光之波長不同，因此顯現出不同顏色。FICA 監測高嶺土模擬水樣之混凝研究中，以多元氯化鋁作為混凝劑進行瓶杯試驗，過程中擷取光學影像，可得到混凝過程中各階段及混凝效果好壞所呈現之光學影像 (吳, 2008)。但 FICA 影像解析度較低，且目前仍處於批次試驗階段，對於連續處理之混凝加藥量判斷邏輯，尚須進一步研究驗證。

2.3.5 懸液濁度監測技術(NTMS)

NTMS 同樣為偵測光散射，所獲得的濁度值會被資料存取單元紀錄並上傳至電腦，當光照射到越大的濁度顆粒，所散射的光越強，所得到的濁度值也就越大 (Cheng et al., 2008)。因此，可利用此特性即時監測顆粒聚集的狀態，但仍有儀器需時常校正的問題尚待克服。

表 2-1 混凝監測技術之適用性及優缺點比較

項目 \ 監測技術	流導電流監測技術 (SCD)	光纖膠羽監測技術 (PDA)	顯示式膠凝監測技術 (FCD)	膠羽影像色彩分析 (FICA)	懸液濁度監測技術 (NTMS)
偵測方式	顆粒表面電性	膠羽大小	膠羽大小	懸浮液色彩及膠羽大小	懸浮液濁度變化標準偏差
濁度適用範圍	不適用高濁度	適用範圍廣	適用範圍廣	適用範圍廣	適用範圍廣
pH 值	會影響	不影響	不影響	不影響	不影響
色度物質	會影響	不影響	不影響	不影響	不影響
離子強度	會影響	不影響	不影響	不影響	不影響
參數值的決定	難	易	難	易	易
遲滯時間	短	短	較長	短	短
原水適用種類	地表水	地表水	水庫水及地表水	地表水	地表水
優點	連續即時偵測之操控性佳	技術成熟	可直接觀察膠羽大小	可直接觀察膠羽大小	系統設置簡易
缺點	易受水質變化影響	會受顆粒濃度及大小影響	偵測時間長	影像解析度較低	儀器需時常校正

現階段發展的混凝操作回饋控制之監測技術仍未臻成熟，許多問題尚待克服，例如原水水質改變時，監測儀器訊號之判斷邏輯應用，以及如何減少分析時間，即時取得混凝成效資訊等問題，使得現階段的混凝操作監測技術仍無法實際應用於實場之混凝加藥監控。

2.4 混凝操作前饋控制模式

混凝加藥前饋控制模式的建置須先建立水質參數與加藥量之間的關係模組，至於使用的方法可能要依據各個淨水場的情況或成本考量來決定。經驗數學模組和類神經網路系統則被用來評估加藥量的預測能力，利用水質參數去建立一套數學模式來決定需要的加藥量，由於類神經網路能解決動態非線性問題，與其他有預測能力工具比起來，更有利於監測資料的分析及預測。

2.4.1 經驗數學模組

經驗數學模組主要根據數個水質參數去建立一套公式，來預估最適加藥量，此模組可包含較多的參數。早期國外以兩套根據多項式的模組，用於法國 Clairfont 水廠中以決定加藥速率，其中一個模組由四個參數組成(濁度、電阻率、溫度、有機物)用於低濁水(<20 NTU)，另一個模組再多加一個濁度與膠體關係參數以用於高濁水之加藥量預測^(Bazer-Bachi et al., 1990)。另外，也有研究發展出根據鈣離子、碳酸根離子、硫酸根離子濃度、腐植酸、濁度、溫度和 pH 值的模組^(Girou et al., 1992)。國內早期研究曾利用前饋及回饋之方式，將原水濁度及 pH 值作為前饋參數，利用數學模組，計算出回饋之理想混凝之 pH 值及流導電流值，利用此四項參數控制操作條件，經三次高濁水之驗證下，其水質控制較以往進步，且藥品費約節省 12%，然而，此模組參數容易受外界條件改變而產生變動，原因包括(1)某些水質參數在原水中可能變動不大、(2)某些水質參數可能對於加藥量的影響較大及(3)分析上的困難或成本問題^(江, 1997)。

歸納經驗數學模組應用於混凝加藥前饋控制可能受限之問題：

(1) 可能影響計算結果之參數繁多，並且易受外界條件改變而產生變動。

- (2) 由於影響計算結果之參數繁多，淨水場受限於既有之線上水質量測儀器，無法取得每一項參數之線上數據，影響混凝加藥自動控制系統之建立。

2.4.2 類神經網路模式

類神經網路(artificial neural network, ANN)為人工神經網路，是一種包括軟體與硬體之計算系統，其使用大量簡單之相連人工神經元來模仿生物神經網路之能力。人工神經元是生物神經元之簡單模擬，其從外界環境或其他人工神經元取得資訊，加以簡單計算並輸出其結果到外界環境或其他人工神經元^(蔡, 1999)。

類神經網路為人工智慧之發展，因此具備人工智慧之特質，然人工智慧應具備之特質為類似人腦具有下述能力，但超越人腦之處理速率^(蔡, 1995)：

- (1) 具有高速連結的網路(highly interconnected network)
- (2) 健全性(robustness)
- (3) 容錯(fault tolerant)能力
- (4) 能夠平行且分散式地處理多項訊息
- (5) 能夠處理模糊(fuzzy)、有機率性的(probabilistic)、吵雜的(noisy)、矛盾的(inconsistent)資訊
- (6) 能夠隨環境變遷而調整自己，具有學習能力
- (7) 歸納推廣(generalization)的能力
- (8) 對外界刺激的接收和解釋是以一種整體性方式來考量

一、類神經網路學習方式

類神經網路學習方式基本上可分為監督式學習(supervised learning)、非監督式學習(unsupervised learning)及聯想式學習(associate learning)等三類^(蔡, 1999)。

監督式學習是指從問題領域中取得訓練範例，此訓練範例中包含輸入向量與目標輸出向量，從中學習輸入向量與目標輸出向量內在對應規則，並不斷的修改網路加權值，直到收斂為止，此類型的網路學習因有標準答案，因此能判斷輸出是正確

或不正確。監督學習網路較具代表性的有倒傳遞網路(backpropagation network)、機率神經網路(probabilistic neural network)與反傳遞網路(counter-propagation network)。

非監督式學習是指從問題領域中取得訓練範例，此訓練範例僅包含輸入向量但無目標輸出向量，透過已知的輸入資料從中學習訓練範例的內在集群規則，藉以推論新的輸入與哪些訓練範例屬於同一集群的預測或聚類。非監督式學習網路較具代表性的有自組織映射圖網路(self-organizing map network)與自適應共振理論網路(adaptive resonance theory network)。

聯想式學習是指從問題領域中取得只有狀態變數值的訓練範例，並從中學習範例的內在記憶規則，以應用在只有不完整的狀態變數值，而須推論其完整狀態變數值的新應用案例。聯想式學習網路較具代表性的有霍普菲爾網路(Hopfield neural network)與雙向聯想記憶網路(bi-directional associative memory network)。

二、倒傳遞類神經網路

倒傳遞類神經網路(BPANN)是監督式學習中最为典型之網路模式，並且是被應用最廣及最成功之模式。此模式最早在1974年 Werbos 的博士論文中被提出，許多研究者根據此模式發展出相關模式。倒傳遞神經網路的基本原理則是利用最陡坡降法(gradient steepest descent method)為收斂機制，調整網路神經元之連結權重及其閾值，直到網路收斂至某一程度，同時倒傳遞網路因增加了隱藏層的學習，使得網路可表現輸入處理資料間的交互影響。

1.倒傳遞類神經網路特性

BPANN 雖然是目前類神經網路學習模式中最具代表性且應用最普遍的模式，但其應用時也可能遭遇問題，在使用 BPANN 前，應先瞭解其特性，其在使用上之優缺點分列如下^(黃, 2002)：

倒傳遞類神經網路使用上之優點：

- (1) 多層網路具有執行任何線性或非線性計算的能力，並能夠逼近任何有理函數，可處理複雜的樣本變數問題與高度非線性的函數問題。

(2) 輸出值可為連續值與二元值，適用於分類問題、預測問題、樣本辨識、雜訊過濾等問題，應用範圍最廣。

(3) 當網路前饋時，其回想速度快速。

倒傳遞類神經網路使用上之缺點：

(1) 由於在多層網路中使用非線性轉換函數，引入了許多局部極小值於誤差曲面內，當誤差函數於誤差曲面上執行梯度下降時，網路的解答有可能陷入這些局部極小值中。

(2) 網路架構之選取尚無系統化的方法可供依循。

(3) 當網路進行訓練時，收斂速度慢。

2.倒傳遞類神經網路架構

BPANN 屬於前授型網路架構，通常包含輸入層、隱藏層及輸出層三個層次，圖 2-2 所示為具有一層隱藏層之倒傳遞網路架構，各層次說明如下：

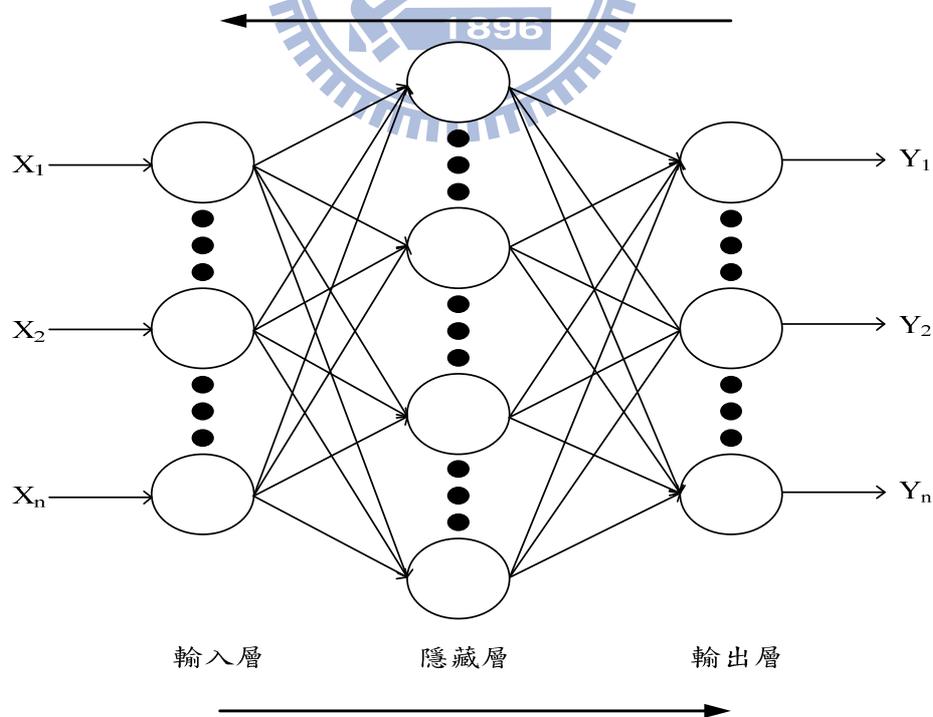


圖 2-2 倒傳遞類神經網路架構

- (1) 輸入層：使用線性轉換函數，用以表現目標系統之輸入變數，其神經元數目由輸入參數數目決定。
- (2) 隱藏層：使用非線性轉換函數，用以表現目標系統輸入變數與輸出變數間之相互關係，其層數與神經元數目，通常需經由試誤法計算網路誤差而決定。
- (3) 輸出層：使用非線性轉換函數，用以表現目標系統之輸出變數，其神經元數目由輸出參數數目決定。

其中轉換函數(transfer function)其功能在於限制人工神經元的輸出值在某一範圍之內，轉換函數約有下列三種型態^(羅，2001)：

- (1) 雙彎曲轉移函數(sigmoid function)

其值域在 $[0, 1]$ 之間，其數學式如下：

$$\frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1)$$

- (2) 正切雙彎曲轉移函數(hyperbolic tangent function)

其值域在 $[-1, 1]$ 之間，其數學式如下：

$$\frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2)$$

- (3) 線性轉移函數(linear transfer function)

$$\begin{aligned} &1, X \geq 0 \\ &0, X < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

3.倒傳遞類神經網路演算法

BPANN 之演算法包括學習(learning)與回想(recalling)兩部分，其中學習的過程包括了正向與反向兩方向之傳遞，不過同一時間網路僅會進行一個方向傳遞之演算。其中正向傳遞就是訊號由輸入層進入隱藏層，最後輸出層會產生一輸出值，當此正向傳遞之推算輸出值與目標輸出值相差太大時，網路即進行反向傳遞，此過程為將推算輸出值與目標輸出值代入誤差函數，透過最陡坡降法得到加權值修正量，而此反向傳遞得到之加權值修正量，將用於輸出層-隱藏層與隱藏層-輸入層間的連結加權值修正，如此反復地進行正向與反向傳遞演算，最終會產生一組最佳連結加權值，並使網路達到收斂之目的。最後，網路的回想過程僅利用最佳加權值透過正向傳遞產生輸出值。茲將一個具有單層隱藏層的 BPANN 演算法步驟分述如下：

學習演算法

- (1) 設定網路層數與各層間神經元數目。
- (2) 以均佈隨機變數給定隱藏層與輸出層之初始網路連結加權值 W 以及初始偏權值 θ 。
- (3) 輸入訓練範例之輸入值 X 與目標輸出值 T 。
- (4) 計算網路之推算輸出值

(i) 隱藏層輸出值 H

$$net_k = \sum W_{ik} X_i - \theta_i \quad (4)$$

$$H_k = f(net_k) \quad (5)$$

θ_i ：隱藏層第 k 個神經元之偏權值

net_k ：隱藏層第 k 個神經元之輸入值加權值乘積和

H_k ：隱藏層第 k 個神經元之輸出值

(ii) 隱藏層輸出值 Y

$$net_j = \sum W_{kj} H_k - \theta_j \quad (6)$$

$$Y_j = f(net_j) \quad (7)$$

θ_j ：輸出層第 j 個神經元之偏權值

net_j ：輸出層第 j 個神經元之輸出值加權值乘積和

Y_j ：輸出層第 j 個神經元之推算輸出值

(5) 計算誤差函數值

由網路正向傳遞計算所得之推算輸出值與目標輸出值間會有一誤差存在，此時需建立一誤差函數來代表網路之誤差程度，誤差函數由目標輸出值與網路輸出值組成，可表示為：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (8)$$

E ：誤差函數

T_j ：第 j 個輸出層之目標輸出值

Y_j ：第 j 個輸出層之推算輸出值

當 E 值小於某指定之容忍誤差值(tolerance)時，則網路停止學習，否則反向倒傳遞網路則啟動，繼續進行下述步驟。

(6) 計算各層間的連結加權值修正量及偏權值修正量

由於監督式學習之目的在於使上述誤差函數值達最小，因此將誤差函數傳回網路中，利用最陡坡降法沿誤差函數梯度遞減方向，調整各層間網路連結加權值與偏權值，以期獲得最小之網路誤差，其演算方式如下：

(i) 隱藏層與輸出層之間的調整

$$\Delta W_{kj}(n) = -\eta \times \frac{\partial E}{\partial W_{kj}} \quad (9)$$

$$\Delta \theta_j(n) = -\eta \times \frac{\partial E}{\partial \theta_j} \quad (10)$$

ΔW_{kj} ：隱藏層第 k 個神經元與輸出層第 j 個神經元之加權值修正量

$\Delta \theta_j$ ：輸出層第 j 個神經元之偏權值修正量

η ：學習速率(learning rate)，控制連結加權值修正量每次調整之幅度

(ii) 輸入層與隱藏層之間的調整

$$\Delta W_{ik}(n) = -\eta \times \frac{\partial E}{\partial W_{ik}} \quad (11)$$

$$\Delta \theta_k(n) = -\eta \times \frac{\partial E}{\partial \theta_k} \quad (12)$$

ΔW_{ik} ：輸入層第 i 個神經元與隱藏層第 k 個神經元之加權值修正量

$\Delta \theta_k$ ：隱藏層第 k 個神經元之偏權值修正量

(7) 更新各層間的連結加權值與偏權值

(i) 隱藏層與輸出層之間的更新

$$W_{kj} = W_{kj} + \Delta W_{kj} \quad (13)$$

$$\theta_j = \theta_j + \Delta \theta_j \quad (14)$$

(ii) 輸入層與隱藏層之間的更新

$$W_{ik} = W_{ik} + \Delta W_{ik} \quad (15)$$

$$\theta_k = \theta_k + \Delta \theta_k \quad (16)$$

(8) 重複步驟(3)至步驟(7)，直到網路收斂

前述網路學習過程通常以一次一個訓練範例進行，直到學完所有訓練範例，稱為一個學習循環(learning cycle)，通常必須重複執行數個學習循環，直到網路收斂為止。

回想演算法

回想演算法中不再進行網路連結加權值與偏權值之調整，僅利用輸入值輸入已建立完成之網路結構進行演算，進而推算出未知的輸出值。網路回想演算法步驟說明如下：

- (1) 設定已建立完成之網路層數與各層之神經元數目
- (2) 宣告各層間之網路連結加權值與偏權值
- (3) 輸入待推算範例並藉由網路運算過程輸出所需之輸出值

2.4.3 倒傳遞類神經網路應用於淨水混凝加藥之相關研究

在水處理領域上，BPANN 系統可根據輸入的水質參數來預測混凝加藥量，不同於經驗數學模組，因為使用者不需發展一套特定的演算法，取而代之的是根據先前得到的結果和主要的水質參數去訓練這套系統，這套系統不需去決定理論與經驗上對於影響因子與結果重要性的關係。然而，為了使 BPANN 能準確及快速的運算，BPANN 應用於水處理上還是必須先決定影響較大的水質參數。BPANN 系統主要是由很多處理單元所構成，每個處理單元對於輸入的信號進行加權的運算，輸出結果再成為下一個運算單元的輸入信號，這些高連結性的運算單元就構成類神經網路，當處理系統遭遇不同的環境，BPANN 會藉由調整權重去適應並學習 (Zupan and Gasteiger, 1991; Sperring et al., 1992; Spining et al., 1994)。

BPANN 已被證實可用於決定淨水場原水混凝最適加藥量 (Mirsepassi et al., 1995)。另外，不同於經驗公式，BPANN 不需建立一個適合實驗數據的數學式子，或者是在每個參數之間假設理論上理想的關係。根據水質參數的不同，來決定使用何種混凝劑與加藥量，因此，要決定應用何種系統來預測最適加藥量，也是要根據此地域的水質參數。

應用 BPANN 於淨水場混凝加藥系統已有相當多的研究報告，研究方向多朝以不同輸入參數，再以試誤法決定 BPANN 模式最適之訓練參數，以提升 BPANN 模式預測之準確性，由於訓練參數(如隱藏層神經元數目)可能隨問題的形式或訓練資料筆數的多寡不同，使得訓練參數均需在 BPANN 模式建立時以試誤法決定。相關研究概略以不同輸入參數區分為僅有原水之水質參數，以及包含原水及處理水之水質參數兩大類。僅有原水水質參數之相關研究，白氏等人以原水濁度、色度、溫度、流量、pH 值為輸入層，混凝劑加藥量為輸出層，處理松花江之原水，發現網路預測經學習後平均相對誤差由學習前的 5.9% 下降至 3.5%；而準確度由學習前的 85.7% 提高至 96.4%，因此，經過學習之資料庫，其預測加藥量與實際加藥量的數值相當接近，用來預測混凝程序是可行的 (白, 2002)。黃氏等人則以原水濁度、鹼度、溫度及 pH 值四項參數為輸入層，混凝劑加藥量為輸出層，並根據 2000 年 72 個實際運行

之樣本作為 BPANN 網路之訓練樣本，再從 2001 年選取 30 個樣本作為預留檢驗，發現訓練好資料庫後，經由前 72 個樣本建立之資料庫計算出之混凝加藥量的誤差百分比為 6~7%，再將 30 個樣本代入已訓練好之 BPANN，得到的混凝加藥量誤差百分比為 6~8% 之間^(黃, 2004)。Bae et al., (2006) 透過決策樹選擇混凝劑種類並利用 BPANN 來決定加藥量，輸入之水質參數有 pH、濁度、鹼度、CHI-a 及水溫，其預測之均方根誤差為 0.0058~0.0157。

包含原水及處理水之水質參數之相關研究，Yu et al. (2000) 發展台北市淨水場之 BPANN 混凝加藥模式，輸入參數為前一日至前四日(t-1 ~ t-4)之原水濁度、處理水濁度及混凝劑量，輸出參數為混凝劑加藥量，並比較 BPANN 模式、多項式迴歸模式及時間序列模式之預測準確性，結果以 BPANN 所建立的預測模式可得到較好的預測結果。陳氏以台灣北部某淨水場為對象，輸入參數為原水導電度、原水濁度、原水 pH 及處理水濁度，輸出參數為混凝加藥量，比較 BPANN 模式、數學迴歸模式及時間序列模式之預測準確性，結果同樣以 BPANN 所建立的預測模式可得到較好的預測結果^(陳, 1998)。吳氏以原水水質參數及前一日混凝劑加藥量為輸入層，混凝劑加藥量為輸出層比較 BPANN 與適應性模糊類神經網路模式之預測能力，結果顯示，在可得水質資料時，BPANN 所得到的預測結果較適應性模糊類神經網路模式來的好^(吳, 2009)。

綜合相關應用 ANN 預測淨水場混凝加藥之相關研究結論，BPANN 模式用於淨水場混凝加藥之預測性佳，且優於經驗數學模式之預測準確性，然則相關研究所建立 BPANN 模式之訓練資料，均取自淨水場過往成功加藥之水質監測數據，由於淨水場往往使用過量加藥以控制處理水質，可能使得 BPANN 模式預測的混凝加藥量亦較實際所需的混凝劑量高，因此本研究選擇以 BPANN 模式並使用混凝最適劑量瓶杯試驗資料作為 BPANN 模式之訓練數據。另一方面，BPANN 模式實際應用於實場混凝加藥處理之研究較少，因此本研究將使用建立完成之 BPANN 模式，結合模廠自動控制系統作測試，以瞭解 BPANN 應用於實場混凝加藥預測之即時性及準確性。

第三章 實驗設備與方法

3.1 研究架構

本研究選擇新竹第二淨水場原水，作為實驗室原水水質與最適混凝劑量瓶杯試驗之水樣，利用瓶杯試驗結果建立BPANN預測混凝加藥模式，模廠測試階段則是將不同水質輸入參數之BPANN模式，進行最適模式篩選及連續操作自動加藥控制測試。研究架構如圖3-1所示，主要分為實驗室瓶杯試驗、BPANN模式建立及模廠試驗三部分。

實驗室瓶杯試驗水樣為實場原水，瓶杯試驗使用之混凝劑同樣與實場相同。水樣運送至實驗室即進行原水水質及瓶杯試驗，紀錄結果以作為BPANN模式建立之訓練資料庫。BPANN混凝加藥預測模式之建立，為使用實驗室分析之原水水質及瓶杯試驗結果作為訓練資料，利用電腦ANN軟體模擬找出不同原水水質參數對應之最佳隱藏層神經元數，分別建立混凝加藥預測之BPANN模式。模廠試驗為利用不同原水水質參數建立之BPANN模式，進行實際混凝加藥處理之預測試驗，藉以得到最適模廠使用之BPANN加藥模式。接著以長時間運轉操作，驗證此模式在不同濁度原水，混凝加藥預測之準確性及穩定性。

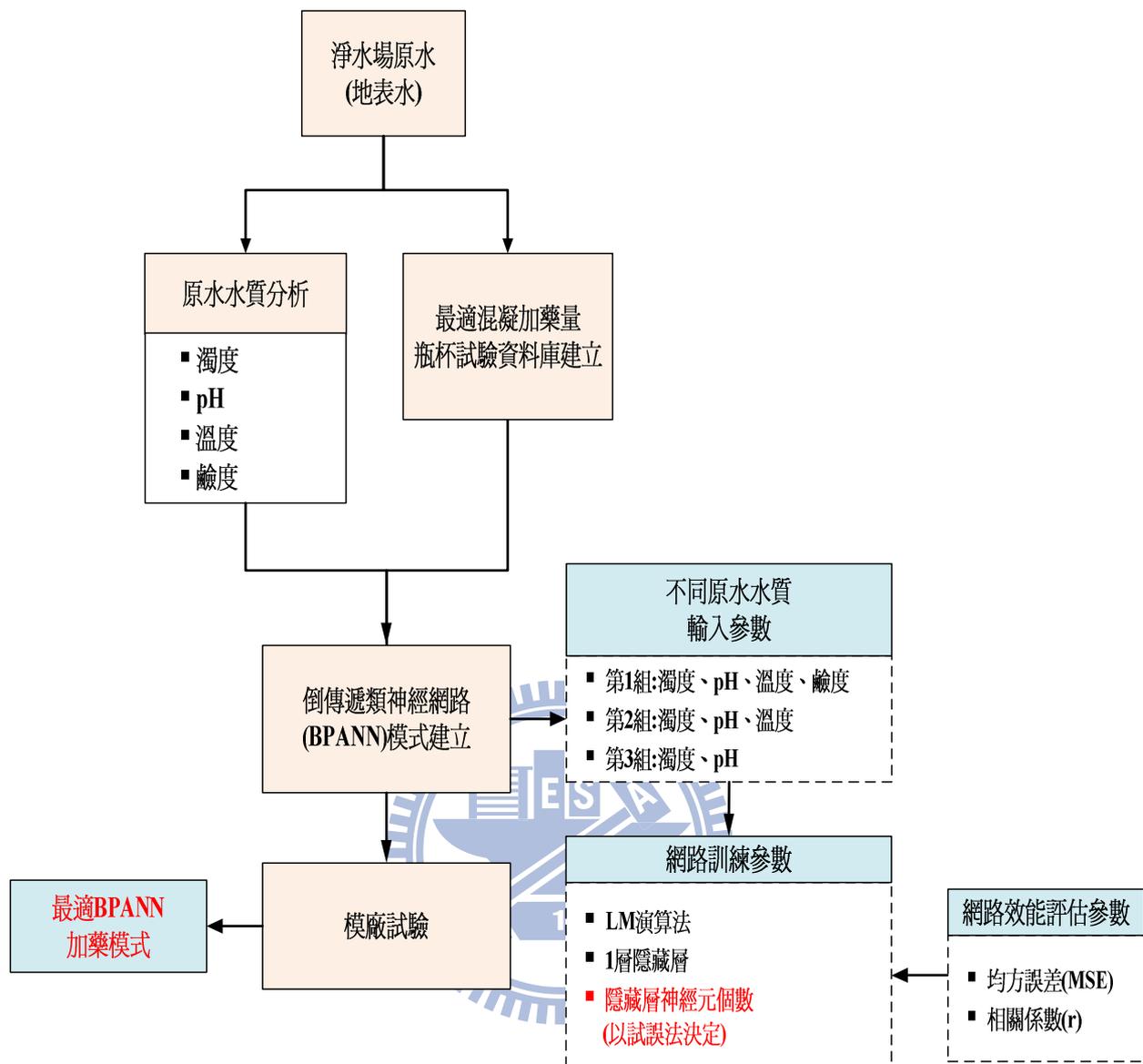


圖 3-1 研究架構

3.2 新竹第二淨水場基本資料及混凝操作參數

新竹第二淨水場隸屬於台灣自來水公司第三區管理處新竹給水廠，位於新竹市，於民國89年完成，設計平均出水量16萬 CMD，供水區域包括新竹市、新竹縣竹北市、竹東鎮之竹中地區，寶山鄉之雙溪地區及新竹科學園區，有必要支援湖口鄉地區。其原水主要由頭前溪隆恩堰設攔河堰取水，目前出水量約為14萬 CMD，新竹第二淨水場基本資料及混凝操作參數如表3-1。新竹第二淨水場原水為地表水，由於混凝程序最主要之處理對象為濁度，以地表水為水源之淨水場原水濁度變化

大，快混操作效能更加重要，並且出水量大於10萬 CMD之大型淨水場，其供水水質影響範圍更大，因此選擇新竹第二淨水場原水作為混凝自動加藥控制試驗對象。

表 3-1 新竹第二淨水場基本資料及混凝操作參數

原水來源	出水量 (CMD)	快混型式	快混		慢混		沉澱時間 (min)
			操作 G 值 (s^{-1})	操作 t 值 (sec)	操作 G 值 (s^{-1})	操作 t 值 (min)	
地表水	140000	水躍式	600	75	46	20	20

3.3 原水水質分析

原水採樣送至實驗室後，立即分析其水質，分析項目為濁度、pH、溫度及鹼度。濁度以濁度計(2100 P, Hach)量測；pH及溫度以酸鹼度計(inLab Multi Level 1, WTW)量測；鹼度利用滴定法(NIEA W449.00B)測得。

3.4 實驗室瓶杯試驗

實驗室瓶杯試驗主要以方形之瓶杯容器及平板式(flat)攪拌器 (槳葉長7.6 cm，寬2.1 cm)作為試驗之器材，混凝程序之操作參數以新竹第二淨水場現場停留時間計算快混、慢混及沉澱時間，並參照現場之快混強度(G值)及停留時間(t)，依據美國水廠Jar test標準的對應圖計算求得平板式攪拌器轉速所對應之快混強度(如圖3-2)。在實驗室混凝瓶杯試驗時，先取代表性淨水場原水1升倒入2升之方形瓶杯容器，在添加混凝劑前，須先利用瓶杯試驗機(PB900, Phipps & Birds, USA)以200 rpm之轉速攪拌一分鐘，使水樣維持懸浮的狀態，隨後加入淨水場所使用之聚氯化鋁(PACl)混凝劑。混凝試驗之快混、慢混與沉澱參數分別為快混240 rpm (75秒)、慢混30 rpm (20分)及靜置沉澱20分，取液面下3 cm之上澄液，以濁度計(2100P, Hach)量測殘餘濁度。本研究在混凝後之沉澱效率評估上，主要以上澄液殘餘濁度為主要判斷沉澱效率之指標。

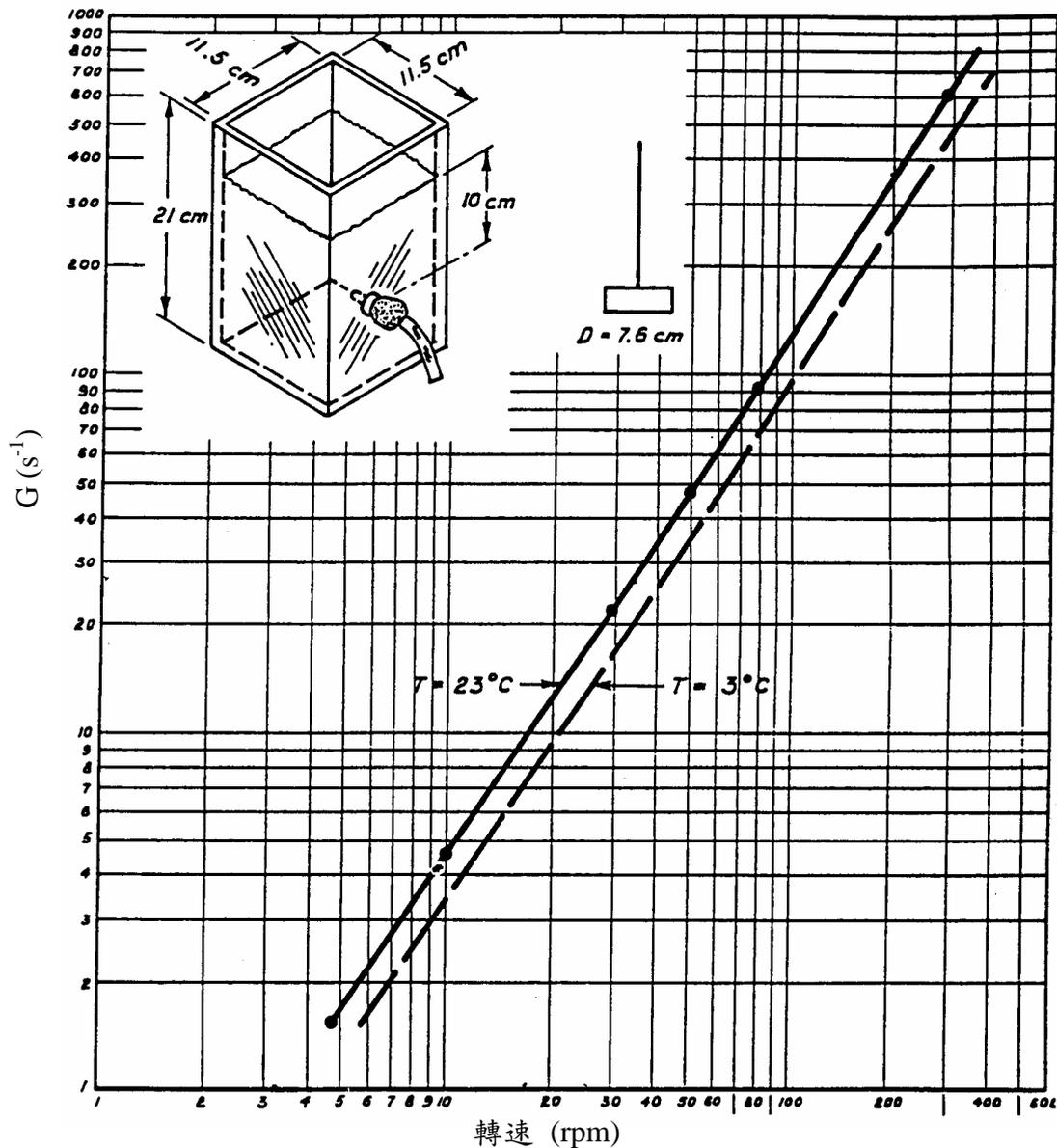


圖 3-2 方形槽體中平板式攪拌器之 G 值與轉速(rpm)對照

3.5 倒傳遞類神經網路模式建立

使用實驗室原水水質與最適混凝加藥量瓶杯試驗數據作為BPANN模式訓練資料，使用之類神經網路軟體為MATLAB 2010b 版及類神經網路工具箱(The Mathworks Inc.)，BPANN預測混凝加藥模式輸入水質參數以原水濁度、pH、溫度及鹼度，分別建立三組不同水質參數之BPANN模式。網路訓練參數包括(1)隱藏層層數(2)隱藏層神經元數目(3)學習速率(4)學習法則，其中隱藏層神經元數目將以試誤法決定，其餘網路訓練參數依文獻建議值設定。本研究採用之網路效能之評估機制

為均方誤差(mean square error, MSE)及相關係數(correlation coefficient, r)。MSE是用來探討函數型問題之網路誤差程度，當MSE越趨近於零，則表示模式結果越趨近於真值，均方誤差之計算公式如式17。r 主要是用來表示網路的預測趨勢，可表示輸入值與輸出值之間之趨近程度，當 r 值越趨近於1，則表示其貼近程度越高，r 之計算公式如式18。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i^2 \quad (17)$$

MSE：均方誤差

n ：預測值之個數

k_i ：第 i 項之預測值與實際值之差值

$$r = \frac{(\sum T_l Y_l) - n \times \mu_d \times \mu_x}{(n-1) \times \sigma_d \times \sigma_x} \quad (18)$$

r ：相關係數

T_l ：目標值

Y_l ：網路輸出值

n ：範例數

μ_d ：目標值平均值

μ_x ：網路輸出平均值

σ_d ：目標值標準差

σ_x ：網路輸出值標準差



3.6 模廠試驗

3.6.1 模廠處理流程

模廠設計最大處理水量為100 CMD，放置於新竹第二淨水場原水分水井旁，處理流程如圖3-3所示。模廠以2個20呎貨櫃建造，所有處理單元槽體與儀表監控設備均置於內(圖3-4、圖3-5)，處理槽體以壓克力材質(PP/S400)製成。處理程序為國內淨水場最多使用之傳統處理程序，處理流程為原水經原水調節槽(圖3-6)、快混槽(圖3-7)、慢混槽(圖3-7)、沉澱槽(圖3-8)，最後經快濾槽(圖3-9)完成處理程序。

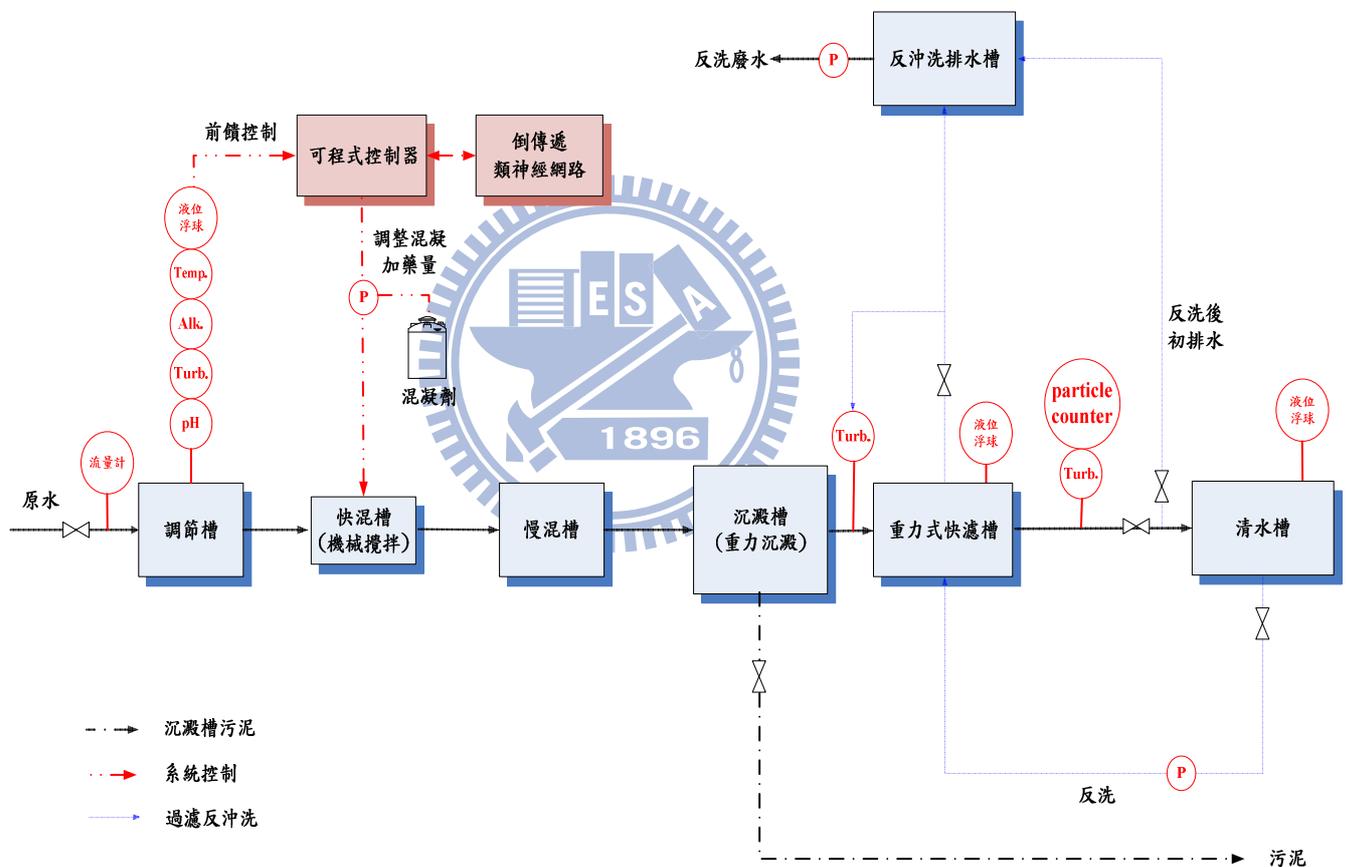


圖 3-3 模廠處理流程



圖 3-4 模廠外觀



圖 3-5 模廠內部



圖 3-6 原水槽及原水採樣槽



圖 3-7 快混槽及慢混槽



圖 3-8 沉澱槽

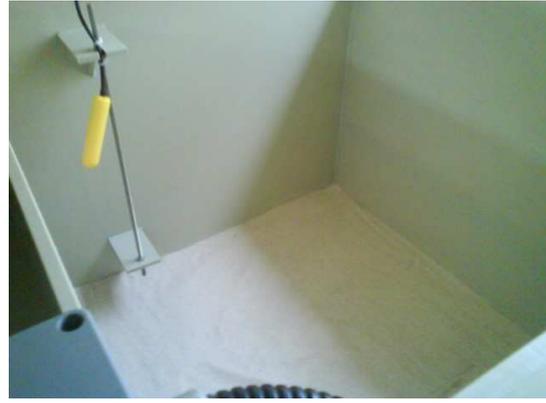


圖 3-9 重力式快濾槽

3.6.2 模廠槽體規格及操作參數

模廠主要槽體包括原水槽、快混槽、慢混槽、沉澱槽及快濾槽，各槽體規格及操作參數整理如表3-2，說明如下：

(1) 原水槽

原水槽槽體體積為 1.55 m^3 (長1 m，寬1 m，高1.55 m)，以槽體內徑及液面高度計算之水體體積為 1.39 m^3 (長0.98 m，寬0.98 m，液位1.45 m)，停留時間約為20分鐘，槽內設置水位計以控制槽內原水水位。

(2) 快混槽

快混槽使用新竹第二淨水場之PACl經適當稀釋後作為模廠混凝劑，槽體體積為 0.12 m^3 (長0.4 m，寬0.4 m，高0.75 m)，水體體積為 0.09 m^3 (長0.38 m，寬0.38 m，液位0.64 m)，停留時間約為78秒。攪拌機(Teco, 40~240 rpm)以垂直軸向轉動，具備轉速調整功能以達所需G值。快慢混攪拌設備之設計為模擬新竹第二水場之攪拌機型式、快混G值及慢混Gt值，模廠設定快混攪拌機轉速為118 rpm，G值為 600 s^{-1} 。

(3) 慢混槽

慢混槽體積為 1.9 m^3 (長1 m，寬1 m，高1.9 m)，水體體積為 1.59 m^3 (長0.98 m，寬0.98 m，液位1.66 m)，停留時間約為23分鐘，攪拌機(Teco, 3.5~21

rpm)和快混槽相同以垂直軸向轉動，亦具備轉速調整功能以達所需G值，模廠設定慢混攪拌機轉速為9.3 rpm，Gt值約為63,000。

(4) 沉澱槽

沉澱槽體積為6.36 m³(長3.3 m，寬1.07 m，高1.8 m)，水體體積為5.3 m³(長3.28 m，寬1.05 m，液位1.54 m)，停留時間約為1.27小時，表面溢流率約為29 m³/m²-day，採重力式沉澱，槽內設有傾斜板，進水由下往上流，經溢流堰收集至快濾槽，出水處以濁度計監測沉澱出水濁度。污泥以傾斜重力匯集至排放溝槽，再以重力方式批次排放。

(5) 快濾槽

快濾槽體積為1.3 m³(長0.9 m，寬0.85 m，高1.7 m)，濾速約為130 m/day，採重力式過濾，濾料使用和新竹第二淨水場相同規格之石英砂(厚80 cm，有效粒徑為0.5 mm、均勻係數小於1.5、比重為2.55~2.65)，出水處裝置雷射濁度計及顆粒計數器，過濾反洗水與沉澱槽出水共用1台濁度計進行反洗監測。

表 3-2 模廠槽體規格及操作參數

槽體名稱	操作參數	操作值	水體體積(m ³)
原水槽	停留時間(t)	20 min	1.39
快混槽	停留時間(t)	78 sec	0.09
	攪拌強度(G 值)	600 s ⁻¹	
慢混槽	停留時間(t)	23 min	1.59
	攪拌強度(G 值)	46 s ⁻¹	
	Gt 值	63,000	
沉澱槽	停留時間(t)	1.27 hr	5.3
	表面溢流率(V ₀)	29 m ³ /m ² -day	
快濾槽	濾速	130 m/day	1.3

3.6.3 模廠自動監控系統

自動監控系統依組成元件主要由可程式控制器(programmable logic controller, PLC)、圖控程式、類神經網路軟體、線上水質量測儀器及相關閥件泵浦所構成，依功能可分為監測與控制二部分，監測系統主要是利用可線上即時量測之水質儀器，將量測到的數據以類比(analog)訊號傳輸至PLC；控制系統將PLC獲得監測系統所量測到的訊號，經過BPANN模式運算得到之混凝加藥量，輸出類比訊號控制各項閥件及泵浦，進行混凝加藥量之調整控制。

(1) 線上水質量測儀器

模廠原水槽為前饋控制的重要單元，必須藉由線上儀器量測之訊號提供BPANN模組輸出混凝加藥量，因此在原水端設置溫度計(DPC1R1A, Hach)、pH計(DPC1R1A, Hach)、濁度計(SS7 sc, Hach)及鹼度計(APA6000, Hach)等線上量測儀器。

沉澱槽出水端設置線上濁度計(1720E, Hach)，並將監測結果輸出至圖控介面，以確保沉澱出水之水質。

快濾槽出水端設置線上雷射濁度計(FT660 sc, Hach)及顆粒計數器(2200PCX, Hach)，而反洗排水與沉澱出水使用同一台濁度計(1720E, Hach)進行反洗水濁度監測。

(2) 混凝加藥蠕動泵浦

混凝加藥機初始設計為使用定量泵浦，配合可調整開度電磁閥進行混凝加藥調整控制，但受限於藥槽容量及加藥管僅為3分之一英吋管，因此無法以可調整開度電磁閥控制。此外，模廠混凝加藥控制需較為精確，設定出藥量與BPANN計算之結果設定誤差值須小於0.2 mg/L as Al，因此最後選擇使用可線上控制轉速之蠕動泵浦作為混凝加藥機(委託廠商自製，加藥率為12~144 mL/min)。由於蠕動泵浦可能因為長時間使用而有轉速變慢或軟管破裂之問

題，為此每月執行蠕動泵浦流量校正，並備有另一台蠕動泵浦作為備用，以確保加藥蠕動泵浦之出藥量正常。蠕動泵浦校正紀錄如表3-3。

表 3-3 模廠混凝加藥蠕動泵浦校正紀錄

加藥機編號：1							
頻率：180 Hz							
輸出電流：15% ~ 100%							
輸出電流 (%)	流量 (mL/min)	輸出電流 (%)	流量 (mL/min)	輸出電流 (%)	流量 (mL/min)	輸出電流 (%)	流量 (mL/min)
15	12	30	38	58	92	74	124
16	14	32	40	60	96	76	128
18	18	34	44	62	100	78	132
20	22	36	48	64	105	80	136
22	24	38	52	66	110	82	138
24	26	40	56	68	115	84	140
26	30	42	60	70	120	86	142
28	34	44	64	72	122	88	144

(3) 圖控介面

模廠圖控軟體(RSview32)將儀表訊號，以及各閥件與泵浦之開關狀態顯示於主控畫面，並具有警示功能，以及混凝加藥、快濾操作及反沖洗之各項操作設定等。圖控程式主控畫面如圖3-10所示。

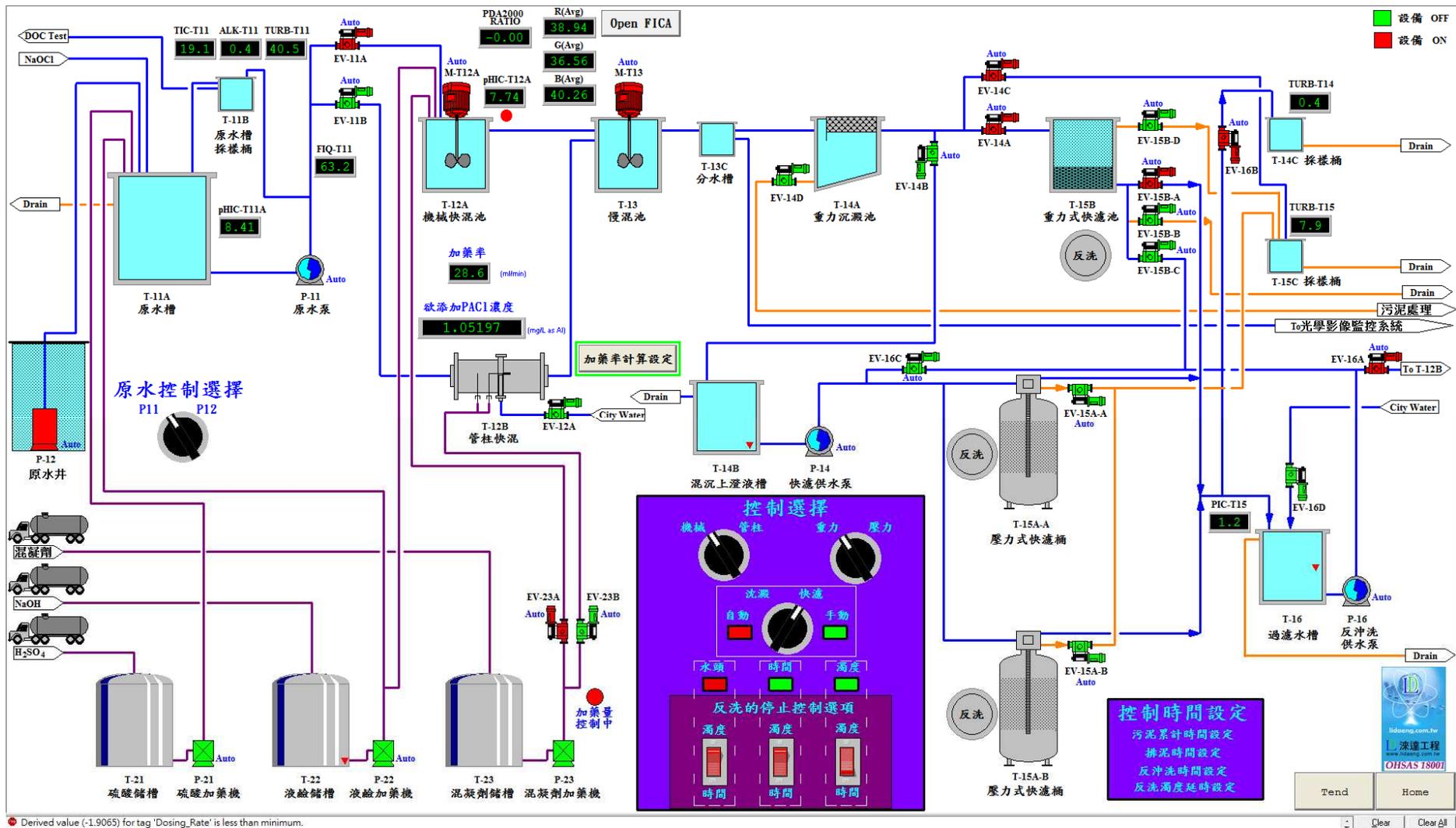


圖 3-10 模廠圖控程式主控畫面

3.6.4 模廠試驗流程

(1) 模廠槽體停留時間追蹤劑測試

利用NaCl與導電度之正相關特性，先量測待測槽體之清水導電度值，再於待測槽體倒入NaCl，以攪拌方式使NaCl完全溶解，量測初始導電度值，此時開啟清水，定時採出流水水樣，量測其導電度值，直至接近清水導電度值為止。然後先計算槽體之理論停留時間後，再使用有限元素法求得實測停留時間(HRT)，計算理論停留時間與實測停留時間的相對偏差(REt)，實測HRT及相對偏差(REt)之計算如公式19及20。

$$HRT = \frac{\sum (t_{ai} C_{ai} \Delta t)}{\sum (C_{ai} \Delta t)} \quad (19)$$

$$RE_t = \frac{HRT - \tau}{\tau} \times 100\% \quad (20)$$

$$t_{ai} = (t_i + t_{i-1})/2$$

$$\Delta t = (t_i - t_{i-1})$$

$$C_{ai} = (C_i + C_{i-1})/2$$

$$\tau(\text{理論停留時間}) = \text{槽體體積}/\text{清水流量}$$

t ：測試時間

C ：水中導電度值

模廠快混槽測試時使用之清水流量平均為52.88 CMD，使用水體體積0.09 m³計算之理論停留時間約為147秒，追蹤劑實際測試之停留時間為157秒，相對偏差(REt)為6.8%；慢混槽測試時使用之清水流量平均為61.95 CMD，使用水體體積1.59 m³計算之理論停留時間約為37分鐘，實際測試之停留時間為37.2分鐘，REt為0.54%；沉澱槽測試時使用之清水流量平均為53.48 CMD，

使用水體體積 5.3 m^3 計算之理論停留時間約為2.378小時，追蹤劑實際測試沉澱池之停留時間為2.368小時，相對偏差(REt)為-0.42%，顯示模廠快、慢混槽及沉澱槽並無短流之現象，追蹤劑測試數據如附錄A~C，測試結果如表3-4。

表 3-4 模廠槽體停留時間追蹤劑測試結果

	快混槽	慢混槽	沉澱槽
理論停留時間	147 sec	37 min	2.378 hr
實測停留時間	157 sec	37.2 min	2.368 hr
相對偏差(REt)	6.8%	0.54%	-0.42%

(2) 與實場平行混凝加藥對照測試

與實場添加相同劑量之混凝劑，以測試模廠之處理效果，以瞭解模廠軟體設備之運作穩定性。首先在測試當日紀錄實場之混凝加藥量，以此藥量添加至模廠快混槽中，紀錄模廠混凝加藥2小時後之沉澱出水濁度及2.5小時後之過濾出水濁度，並與實場沉澱出水濁度進行對照。

(3) 倒傳遞類神經網路輸入參數篩選測試

使用以實驗室瓶杯試驗數據訓練完成之三組不同輸入參數BPANN模式，以可程式控制器進行混凝加藥自動控制，利用模廠實際操作運轉，篩選最適使用於模廠混凝加藥之BPANN輸入參數的模式。

(4) 倒傳遞類神經網路模式連續操作驗證

使用最適於模廠混凝加藥之BPANN模式，以可程式控制器進行混凝加藥自動控制長時間驗證，以瞭解BPANN模式應用於模廠連續操作之穩定性及準確性。

(5) 人工高濁度原水混凝加藥自動控制測試

人工高濁原水污泥取自新竹第二淨水場原水沉砂池底部污泥，以人工調

配適當濁度後加入原水槽混合天然低濁度原水進行混凝加藥測試，使用經模廠連續操作驗證之BPANN模式進行三組試驗，第一組混凝加藥量為依BPANN模式預測之混凝劑量添加；第二組混凝加藥量為依BPANN模式預測之混凝劑量再增加50%添加；第三組混凝加藥量為依BPANN模式預測之混凝劑量再減少50%添加，以探討BPANN模式預測之混凝劑量是否過量或不足。



第四章 結果與討論

本研究欲探討應用 BPANN 模式於使用地表水為原水之淨水場，其混凝加藥自動控制之可行性，然則實場混凝加藥量可能過多或不足，因此本研究建立之 BPANN 模式所使用的訓練資料為實驗室瓶杯試驗數據，非一般研究所使用之實場混凝加藥成功數據；輸入參數為原水濁度、pH、溫度及鹼度。訓練完成之 BPANN 模式，再利用模廠配合自動控制系統，進一步驗證應用 BPANN 模式於混凝加藥自動控制之穩定性與準確性。

4.1 實驗室瓶杯試驗數據庫建立

新竹第二淨水場廢水包含沉澱池排放之污泥及快濾池反洗水，經廢水池靜置沉澱後，上澄液不定時迴流至原水井與原水混合進入處理單元，本研究採取含廢水迴流及不含迴流水樣，進行二種原水之水質分析及瓶杯試驗。原水水質物化特性如表 4-1，結果顯示含廢水迴流及不含迴流原水僅濁度有差異，其餘水質項目(導電度、pH、鹼度)其數值均相似。表 4-2 為不含廢水迴流與含迴流水樣之最適混凝劑量評估數據，結果顯示二種水樣雖然濁度不同，但其最適劑量之差距不大，原因可能為迴流水屬二次混凝顆粒，經再次混凝加藥後較易沉澱。為避免迴流水濁度影響 BPANN 模式之混凝加藥預測判斷，因此本研究選用不含廢水迴流之原水作為 BPANN 模式之訓練資料及模廠測試之處理原水。

表 4-1 含廢水迴流及不含迴流水樣水質物化特性

採樣日期	不含廢水迴流水樣				含廢水迴流水樣			
	濁度 (NTU)	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	鹼度 (mg/L)	濁度 (NTU)	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	鹼度 (mg/L)
100/7/6	12.3	307	8.18	99.5	17.7	312	8.09	99.0
100/7/7	8.1	297	8.43	99.6	233.5	300	7.98	104.0
100/7/8	10.3	310	8.13	104.0	85.05	314	7.93	106.0
100/7/11	25.5	298	8.05	99.2	29.6	301	8.10	98.4
100/7/12	18.6	308	8.04	100.4	17.6	309	8.04	100.0
100/7/13	25.5	315	8.00	104.8	120.5	325	7.85	103.4
100/7/18	54.5	242	8.01	79.2	50.9	243	7.98	70.0
100/7/19	82.0	243	8.01	69.4	172.0	255	7.92	61.8
100/7/20	77.0	251	8.05	79.2	92.6	257	7.98	66.4

表 4-2 含廢水迴流及不含迴流水樣混凝最適劑量評估

採樣日期	不含廢水迴流水樣			含廢水迴流水樣		
	原水濁度 (NTU)	最適加藥量 (mg/L as Al)	殘餘濁度 (NTU)	原水濁度 (NTU)	最適加藥量 (mg/L as Al)	殘餘濁度 (NTU)
2011/7/6	12.3	1.13	1.69	17.7	1.13	1.76
2011/7/7	8.1	0.99	2.23	233.5	0.99	2.66
2011/7/8	10.3	0.99	2.68	85.05	0.99	2.63
2011/7/11	25.5	1.13	2.62	29.6	0.99	2.77
2011/7/12	18.6	1.13	2.83	17.6	1.27	2.33
2011/7/13	25.5	1.41	2.36	120.5	1.41	3.05
2011/7/18	54.5	1.75	3.47	50.9	1.75	3.44
2011/7/19	82.0	1.00	2.23	172.0	1.00	2.27
2011/7/20	77.0	1.25	1.75	92.6	1.50	1.78

自 98 年 8 月至 100 年 8 月，採取新竹第二淨水場原水共 114 組有效水樣進行原水水質與實驗室最適混凝劑量瓶杯試驗(原始水質及最適混凝劑量瓶杯試驗數據如附錄 D)。在原水水質分析的結果顯示，新竹第二淨水場原水之濁度範圍為 4.6 ~ 2,260 NTU，溫度範圍為 15 ~ 30°C，其 pH 約落在 7 ~ 8.6 間，最適混凝劑量範圍為 0.7 ~ 4.5 mg/L as Al，但鹼度則受到原水濁度之影響呈現兩種不同的數值。高濁度原水(>100 NTU)之鹼度約 60 ~ 165 (mg/L as CaCO₃)之間，當原水在低濁度條件下(<100 NTU)，其鹼度約在 72 ~ 230 (mg/L as CaCO₃)之間，此結果顯示因降雨增加水量，河川中原水鹼度物質濃度因而被稀釋，使得天然原水因降雨而濁度增加但鹼度下降。

由於水中有機物會影響混凝作用，雖然地表水有機物含量較湖庫水低，為確認對象水廠原水中有機物含量高低，本研究在 98 年 8 月至 99 年 10 月採樣分析新竹第二淨水場 50 筆原水中溶解性有機碳(dissolved organic carbon, DOC)含量，分析結果 DOC 平均值為 1.2 mg/L，大多維持在 0.8 ~ 1.4 mg/L 之範圍，顯示新竹第二淨水場原水有機物含量不高，因此後續在 BPANN 模式建立時未將 DOC 作為水質輸入參數。

4.2 倒傳遞類神經網路模式建立

利用實驗室建立之 114 筆瓶杯試驗資料庫進行不同輸入參數(原水濁度、pH、溫度及鹼度)之 BPANN 模式建立，以不同參數組合建立三組 BPANN 模式(第一組：原水濁度、pH、溫度、鹼度；第二組：原水濁度、pH、溫度；第三組：原水濁度、pH)。首先，先將 114 筆數據分為訓練驗證階段 94 筆及測試階段 20 筆，ANN 軟體會隨機將訓練驗證階段資料 94 筆區分為訓練資料(Train)及驗證資料(Validation)，在訓練驗證階段會得到之結果包括訓練均方誤差(Train-MSE)、訓練相關係數(Train-r)及驗證相關係數(Validation-r)。模式訓練完成後再進入測試階段，輸入 20 筆測試資料以瞭解訓練完成之 BPANN 模式其預測準確性。本研究最後以測試資料相關係數(Test-r)作為 BPANN 模式效能之判斷值。瓶杯試驗及 BPANN 模式訓練驗證測試階段之水質數據分布如表 4-3，數據主要分布在濁度小於 100 NTU、pH 值 8 ~ 8.5、溫度 20 ~ 25°C 及鹼度 100 ~ 200 mg/L as CaCO₃ 之範圍。

表 4-3 瓶杯試驗及 BPANN 模式訓練驗證測試階段各項水質數據分布

項目	範圍	瓶杯試驗 114 筆數據	訓練驗證階段 94 筆數據	測試階段 20 筆數據
濁度 (NTU)	<100	91	75	16
	100 ~ 1,000	19	16	3
	>1,000	4	3	1
pH	<8	49	42	7
	8 ~ 8.5	62	50	12
	>8.5	3	2	1
溫度 (°C)	15 ~ 20	9	9	0
	20 ~ 25	58	42	16
	25 ~ 30	47	43	4
鹼度 (mg/L as CaCO ₃)	<100	36	29	7
	100 ~ 200	73	60	13
	>200	5	5	0

4.2.1 隱藏層設定

單一隱藏層的網路已經可以近似任何的連續函數^(Funahashi, 1989; Hornik et al., 2006)，且單一隱藏層只要有足夠的隱藏層神經元數，皆可處理任何的函數。具有輸入層、隱藏層及輸出層三層之網路已有能力執行任何非線性關係，使用兩層隱藏層，易落入局部最小值無法收斂，因此本研究使用一層隱藏層進行運算。

4.2.2 學習速率設定

學習速率過小則網路收斂所需時間過長，並且有可能陷入局部最小值而無法跳出，學習速率過大雖網路收斂之速度越快，但可能因過大而造成無法收斂之問題。為了能得到最佳的數值，所以本研究使用可變學習速率演算法中較精確的 Levenberg-Marguardt 演算法。

4.2.3 學習法則設定

使用提早停止(early stop)學習原則加以預防過度適配(over fitting)的現象。一般而言訓練次數越多，網路收斂之結果越好，惟尚需考慮訓練時間及訓練結果是否會

有過度適配(over fitting)的現象。所謂過度適配係指當網路訓練過度時，網路之預測結果將會被強制去符合某一規則作預測，使得預測之結果並非實際之狀況。提早停止(early stop)學習原則即是於過度適配發生前即停止訓練動作，其原則係將部分數據作為驗證組，與訓練組數據同時輸入網路訓練，此時訓練過程將會有兩條收斂曲線，提早停止原則會自動選取兩收斂曲線最接近之時停止網路訓練。

4.2.4 隱藏層神經元數目測試

隱藏層神經元數多寡對網路品質影響甚大，隱藏層神經元數目越多，收斂速度越慢，對誤差的降低並無太大的助益；隱藏層神經元數目太少，無法充分反映出輸入-輸出間的交互關係。由於類神經網路為一非線性化過程，且網路參數間會互相影響，故無法找出一絕對之最佳網路參數。一般而言，隱藏層的神經元數選取原則可根據輸入層和輸出層的神經元數作為參考依據^(葉, 1999)。

(1) 簡單問題

$$\text{隱藏層神經元數} = (\text{輸入層神經元數} + \text{輸出層神經元數}) \div 2$$

(2) 一般問題

$$\text{隱藏層神經元數} = (\text{輸入層神經元數} + \text{輸出層神經元數})$$

(3) 複雜問題

$$\text{隱藏層神經元數} = (\text{輸入層神經元數} + \text{輸出層神經元數}) \times 2$$

本研究隱藏層神經元數由 1 遞增至輸入層神經元數與輸出層神經元數總和 2 倍，遞增量為 1，以試誤法求得到最佳的隱藏層神經元個數。

由於 BPANN 模式每次訓練結果可能不盡相同，故每個模式進行 3 次重複訓練取其最佳 test-r 值，作為 BPANN 模式最佳隱藏層神經元數之選擇依據。網路規劃如下：

隱藏層層數：1 層

隱藏層神經元數目：1~ (輸入神經元數+輸出神經元數) ×2 個

LM 演算法：Levenberg-Marguardt

訓練驗證資料：取 98 年 8 月至 100 年 8 月之瓶杯試驗數據(94 筆)

測試資料：取 98 年 8 月至 100 年 8 月之瓶杯試驗數據(20 筆)

本研究以不同輸入參數分別建立三組 BPANN 模式，並依試誤法決定各模式最適之隱藏層神經元個數。第一組為 4 個輸入參數(濁度、溫度、鹼度及 pH)建立之 BPANN 模組，測試結果得知最適混凝劑量預測網路最佳隱藏層神經元數為 9 個，重複訓練 3 次之 Train - MSE 平均值為 0.089，Train-r 平均值為 0.959，Validation-r 平均值為 0.612；20 筆測試資料結果 Test-r 為 0.938。第二組為 3 個輸入參數(濁度、溫度及 pH)建立之 BPANN 模組，測試結果得知最適混凝劑量預測網路最佳隱藏層神經元數為 4 個，重複訓練 3 次之 Train-MSE 平均值為 0.324，Train-r 平均值為 0.848，Validation-r 平均值為 0.875；20 筆測試資料結果 Test-r 為 0.942。第三組為 2 個輸入參數(濁度及 pH)建立之 BPANN 模組，測試結果得知最適混凝劑量預測網路最佳隱藏層神經元數為 2 個，重複訓練 3 次之 Train-MSE 平均值為 0.08，Train-r 平均值為 0.895，Validation-r 平均值為 0.776；20 筆測試資料結果 Test-r 為 0.931。彙整三組不同輸入參數 BPANN 模式之效能評估參數(MSE、r)平均值如表 4-4。

表 4-4 不同輸入參數之 BPANN 模式隱藏層神經元數測試結果

BPANN 模式	隱藏層神經元數	訓練驗證階段(94 筆)			測試階段(20 筆)
		Train - MSE	Train - r	Validation - r	Test - r
第一組 (濁度、pH、 溫度、鹼度)	1	0.143	0.846	0.528	0.906
	2	0.058	0.895	0.580	0.856
	3	0.134	0.925	0.585	0.925
	4	0.410	0.894	0.759	0.549
	5	0.089	0.915	0.769	0.72
	6	0.050	0.970	0.725	0.913
	7	0.048	0.961	0.726	0.808
	8	0.042	0.950	0.567	0.634
	9	0.089	0.959	0.612	0.938
	10	0.100	0.948	0.454	0.916
第二組 (濁度、pH、 溫度)	1	0.114	0.849	0.831	0.905
	2	0.338	0.872	0.815	0.895
	3	0.055	0.823	0.675	0.900
	4	0.324	0.848	0.875	0.942
	5	0.305	0.913	0.734	0.935
	6	0.170	0.962	0.651	0.925
	7	0.062	0.947	0.483	0.567
	8	0.235	0.927	0.673	0.918
第三組 (濁度、pH)	1	0.084	0.799	0.783	0.909
	2	0.080	0.895	0.776	0.931
	3	0.092	0.811	0.703	0.899
	4	0.217	0.882	0.862	0.879
	5	0.427	0.856	0.547	0.928
	6	0.034	0.873	0.850	0.847

本研究所建立之三組不同輸入參數之 BPANN 模式，對於 20 組測試資料其測試相關係數 r 均可達 0.93 以上，顯示訓練完成之 BPANN 模式對於未知水樣混凝加藥量之預測準確性佳，但仍需以模廠加以測試驗證，以探討以 BPANN 模式搭配混凝加藥自動控制系統，應用於處理水量較大的設施或不同於實驗室環境之混凝加藥成效。

4.3 倒傳遞類神經網路模式模廠驗證

模廠先以追蹤劑試驗，確認快混槽、慢混槽及沉澱槽之實際水力停留時間，以判斷處理單元是否發生短流現象。混凝加藥自動控制系統測試分為四個階段完成，第一階段為與實場平行混凝加藥對照測試、第二階段為倒傳遞類神經網路輸入參數篩選測試、第三階段為倒傳遞類神經網路模式連續操作驗證、第四階段為人工高濁度原水混凝加藥自動控制測試，各階段測試結果說明如下：

4.3.1 與實場平行混凝加藥對照測試

自 100 年 5 月至 100 年 6 月進行與實場平行混凝加藥對照測試，測試期間濁度範圍為 9.5 ~ 85.3 NTU，並未遭遇暴雨造成之超高濁度情形，原水濁度大多落在 20 ~ 40 NTU 之範圍內。模廠使用與新竹第二淨水場相同之混凝劑，稀釋約 10 倍後以感應耦合電漿原子發射光譜儀(inductively coupled plasma, ICP)分析混凝劑之總 Al 濃度，本階段模廠混凝加藥使用之混凝劑濃度為 5832 mg/L as Al。測試當天紀錄實場使用之混凝劑量，模廠所使用之混凝劑量經換算後等同於實場實際添加之混凝劑量，並於 2 小時及 2.5 小時後紀錄沉澱及過濾出水濁度，以瞭解模廠軟硬體設備之運作穩定性，並建立模廠混凝加藥自動控制系統處理成效之水質內控標準。模廠與實場平行混凝加藥對照共測試 7 個批次，測試結果如表 4-5，經模廠混凝加藥 2 小時後之沉澱出水濁度約為 1.4 ~5 NTU，2.5 小時後過濾出水濁度(批次 1 及 2 未測)，濁度均達到 0.4 NTU，此結果符合目前實場內控出水水質規範(沉澱出水濁度小於 5 NTU、過濾出水濁度小於 0.5 NTU)，因此模廠處理地面水之混凝加藥自動控制系統將與實場相同，使用沉澱出水濁度小於 5 NTU、過濾出水濁度小於 0.5 NTU 作為處理成效之內控出水水質標準。

表 4-5 與實場平行混凝加藥對照測試結果

批次	原水濁度 (NTU)	模廠加藥量 (mg/L as 10% Al ₂ O ₃)	沉澱出水濁度 (NTU)	過濾出水濁度 (NTU)
1	29.0	25.4	5.0	—
2	9.5	33.8	2.4	—
3	14.9	22.6	1.4	0.4
4	25.6	48.9	1.8	0.4
5	31.7	50.8	3.1	0.4
6	37.3	52.6	2.3	0.4
7	85.3	56.4	4.9	0.4

註：模廠混凝劑加藥量與新竹第二淨水場相同

4.3.2 倒傳遞類神經網路輸入參數篩選測試

使用以實驗室瓶杯試驗數據訓練完成之三組不同輸入參數 BPANN 模式，以可程式控制器進行混凝加藥自動控制，利用模廠實際操作運轉篩選最適之 BPANN 模式及輸入參數，篩選結果如下：

(1) 第一組BPANN模式(輸入參數：濁度、pH、溫度、鹼度)

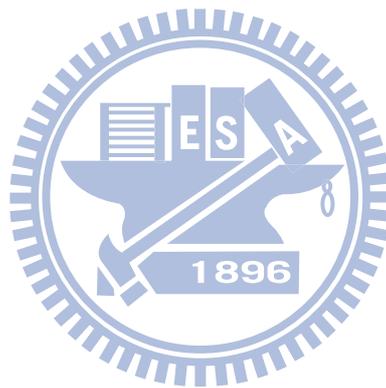
第一組BPANN模式測試結果如圖4-1，測試時間為24小時，使用天然原水，濁度變化範圍為10~70 NTU；pH變化範圍為8.3~8.8；溫度變化範圍為27~30°C；鹼度變化範圍為93~108。BPANN模式計算之混凝加藥量約為0.2~1 mg/L as Al，加藥量雖有隨原水濁度即時調整，但加藥量明顯過低，而沉澱出水在11:00~16:00超過設定之內控處理水質標準。

(2) 第二組BPANN模式(輸入參數：濁度、pH、溫度)

第二組BPANN模式測試結果如圖4-2，測試時間為24小時，使用天然原水，濁度變化為30~319 NTU；pH變化範圍為8.2~8.6；溫度變化範圍為26~30°C。BPANN模式計算之混凝加藥量約為1 mg/L as Al，加藥量隨原水濁度變化不明顯，使得沉澱出水濁度超過設定之內控處理水質標準。

(3) 第三組BPANN模式(輸入參數：濁度、pH)

第三組BPANN模式測試結果如圖4-3，測試時間為24小時，使用天然原水，濁度變化為20~90 NTU；pH變化範圍為8.5~8.7。BPANN模式計算之混凝加藥量約為1 ~ 1.2 mg/L as Al，混凝加藥量變化幅度雖不大，但隨原水濁度變化而即時調整，並且沉澱出水濁度均符合設定之內控處理水質標準。



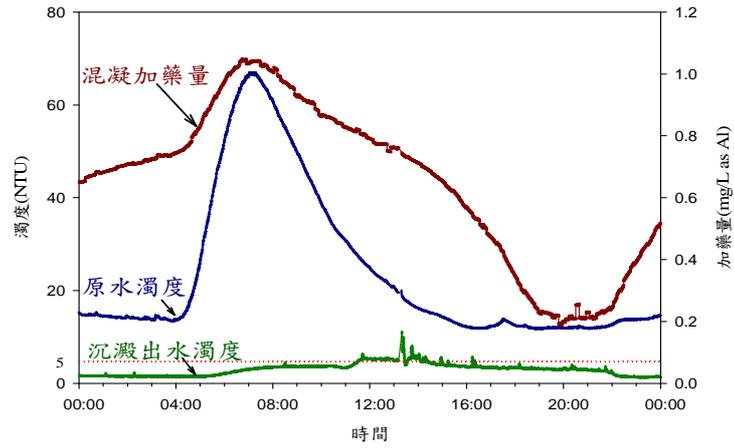


圖 4-1 BPANN 模式模廠測試(4 個輸入參數：濁度、pH、溫度、鹼度)

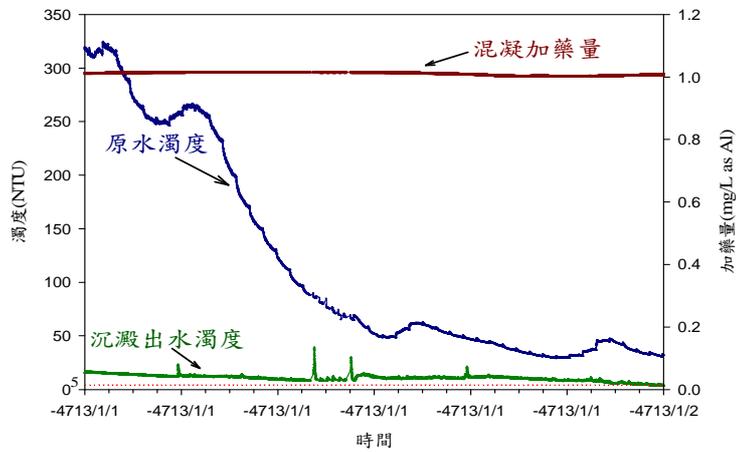


圖 4-2 BPANN 模式模廠測試(3 個輸入參數：濁度、pH、溫度)

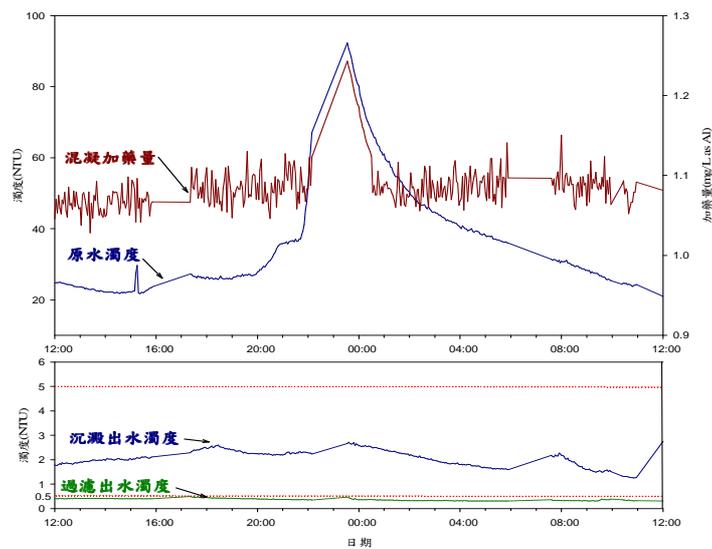


圖 4-3 BPANN 模式模廠測試(2 個輸入參數：濁度、pH)

第一組 BPANN 模式計算之混凝加藥量偏低及第二組 BPANN 模式計算之混凝加藥量無法隨濁度改變而調整，分析原因可能為原水溫度之影響。圖 4-5 及 4-6 分別為第一及第二組 BPANN 模式在原水水溫 30°C 時，以電腦模擬不同濁度及 pH 值與混凝加藥量之關係。第一組 BPANN 模式在原水濁度 100 NTU 以下、pH 值超過 8.0 時，BPANN 模式計算之混凝劑量即小於 0.8 mg/L as Al；第二組 BPANN 模式在原水濁度 100 NTU 以下、pH 值超過 7.9 時，BPANN 模式計算之混凝劑量均相同，約為 1.0 mg/L as Al。由於實驗室瓶杯試驗資料庫之 114 筆數據，溫度量測均為實驗室進行瓶杯試驗前，此時水樣溫度已接近於室溫，其原水溫度為 15.8 ~ 30°C，且水樣 30°C 之數據僅有 1 筆進行 BPANN 模式訓練。而模廠原水取自實場原水井，原水井為露天槽體，夏季直接曝曬水溫較高，模廠處理之實際原水溫度已接近於 BPANN 模式訓練邊界範圍，推測因而影響 BPANN 模式之混凝劑量預測值。

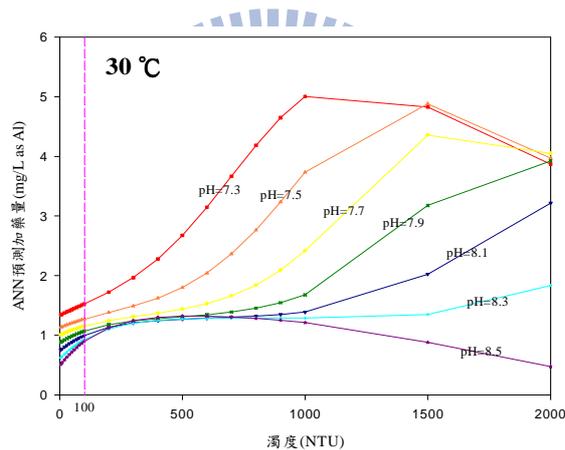


圖 4-4 BPANN 模式電腦模擬結果(4 個輸入參數：濁度、pH、溫度、鹼度)

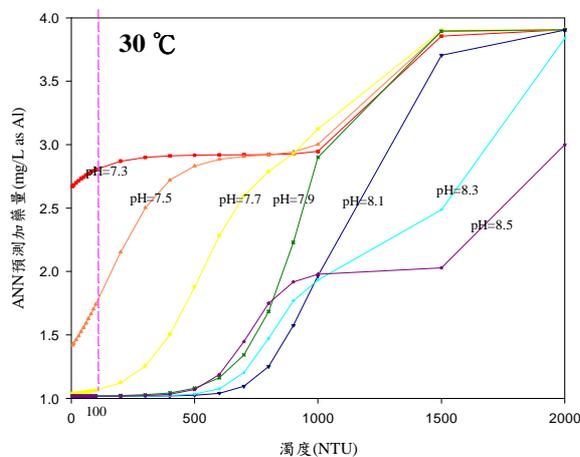


圖 4-5 BPANN 模式電腦模擬結果(3 個輸入參數：濁度、pH、溫度)

4.3.3 倒傳遞類神經網路模式連續操作驗證

經模廠測試結果，使用第三組 BPANN 模式(2 個輸入參數：濁度、pH)能隨濁度變化預測混凝劑量，且沉澱出水及過濾出水濁度均能符合設定之處理水質內控標準，因此使用 BPANN 模式進行模廠長時間連續操作驗證。

圖 4-6 為使用 2 個輸入參數(濁度、pH)之 BPANN 模式進行長時間之連續操作驗證結果，時間為 100 年 9 月 30 日至 10 月 26 日，約 1 個月連續操作運轉。期間以 BPANN 模式，以全自動方式控制混凝加藥，原水為天然原水，濁度變化約從 10 ~ 90 NTU，結果顯示，BPANN 模式可隨濁度變化預測混凝劑量，沉澱出水及過濾出水濁度合格率超過 99%，顯示 BPANN 模式加藥量預測穩定，而模廠軟硬體設備運轉穩定。

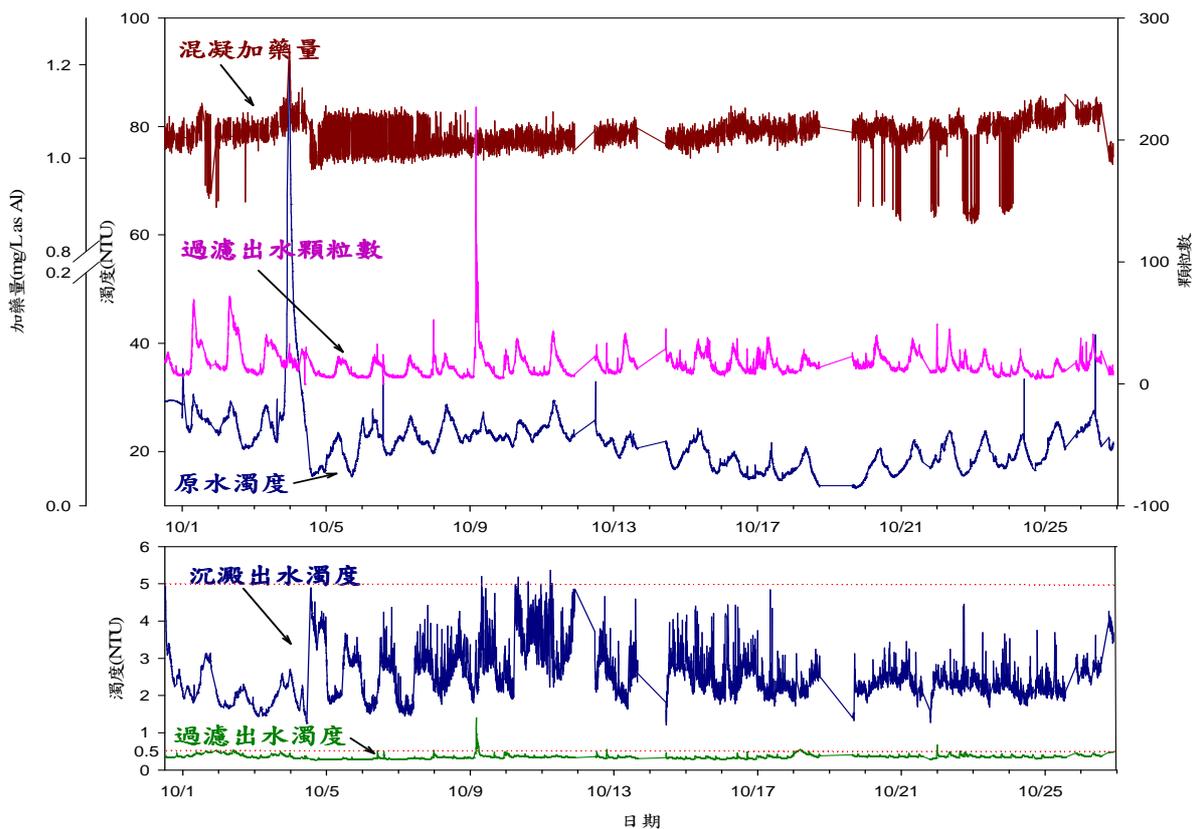


圖 4-6 BPANN 模式模廠連續操作結果(2 個輸入參數：濁度、pH)

4.3.4 人工高濁度原水混凝自動加藥前饋控制測試

由於模廠於連操作驗證期間均未遭遇天然高濁度原水，因此以人工調配高濁度原水進行模廠混凝加藥自動控制測試。人工高濁原水污泥取自新竹第二淨水場原水沉砂池底部污泥，以人工調配適當濁度後加入原水槽混合天然低濁度原水進行混凝加藥測試，使用 2 個輸入參數(濁度、pH)之 BPANN 模式進行三組不同加藥量之人工高濁度原水測試。第一組混凝加藥量為依 BPANN 模式預測之混凝劑量添加；第二組混凝加藥量為依 BPANN 模式預測之混凝劑量再增加 50% 添加；第三組混凝加藥量為依 BPANN 模式預測之混凝劑量再減少 50% 添加，不同加藥量之人工高濁度原水測試結果如下：

(1) 依BPANN模式預測之混凝加藥量

圖4-7為使用BPANN模式預測之混凝加藥量進行之人工高濁原水模廠測試結果，測試紀錄總時間為4.5小時，其中約1.5小時持續添加人工高濁原水，並紀錄原水濁度、沉澱出水濁度、過濾出水濁度、過濾出水顆粒數及混凝加藥量。原水濁度調整方式為逐漸調升至約800 NTU，維持約1小時後逐漸回復天然原水濁度，混凝加藥量變化範圍為1 ~ 3 mg/L as Al。測試結果顯示，當原水濁度逐漸上升，混凝加藥量亦隨之上升，而沉澱出水濁度因原水濁度增加至800 NTU，也上升至約10 NTU，大約在結束原水濁度調整後1.25小時，沉澱出水回復至內控處理水質標準。

(2) 依BPANN模式預測之混凝加藥量再增加50%

圖4-8為使用BPANN模式預測之混凝加藥量再增加50%藥量進行之人工高濁原水模廠測試結果，測試紀錄總時間為5.5小時，其中約1.5小時持續添加人工高濁原水，並紀錄原水濁度、沉澱出水濁度、過濾出水濁度、過濾出水顆粒數及混凝加藥量。原水濁度調整方式為逐漸調升至約800 NTU，維持約1小時後逐漸回復天然原水濁度，並在結束濁度調整後，以增加50%之混凝劑量持續約1小時，混凝加藥量變化範圍約1 ~ 4 mg/L as Al。測試結果顯示，當

原水濁度逐漸上升，混凝加藥量亦隨之上升，而沉澱出水濁度因原水濁度增加，上升至約10 NTU，大約在結束原水濁度調整後1.25小時，沉澱出水回復至處理水質內控標準。

(3) 依BPANN模式預測之混凝加藥量再減少50%

圖4-9為使用BPANN模式預測之混凝加藥量再減少50%藥量進行之人工高濁原水模廠測試結果，測試紀錄總時間為9小時，其中約1.5小時持續添加人工高濁原水，並紀錄原水濁度、沉澱出水濁度、過濾出水濁度、過濾出水顆粒數及混凝加藥量。原水濁度調整方式為逐漸調升至約800 NTU，維持約1小時後逐漸回復天然原水濁度，並在結束濁度調整後，以減少50%之混凝劑量持續約1小時，混凝加藥量變化範圍約1 ~ 2 mg/L as Al。測試結果顯示，當原水濁度逐漸上升，混凝加藥量亦隨之上升，而沉澱出水濁度因原水濁度增加，上升至約15 NTU，大約在結束原水濁度調整後7小時，沉澱出水方回復至處理水質內控標準。



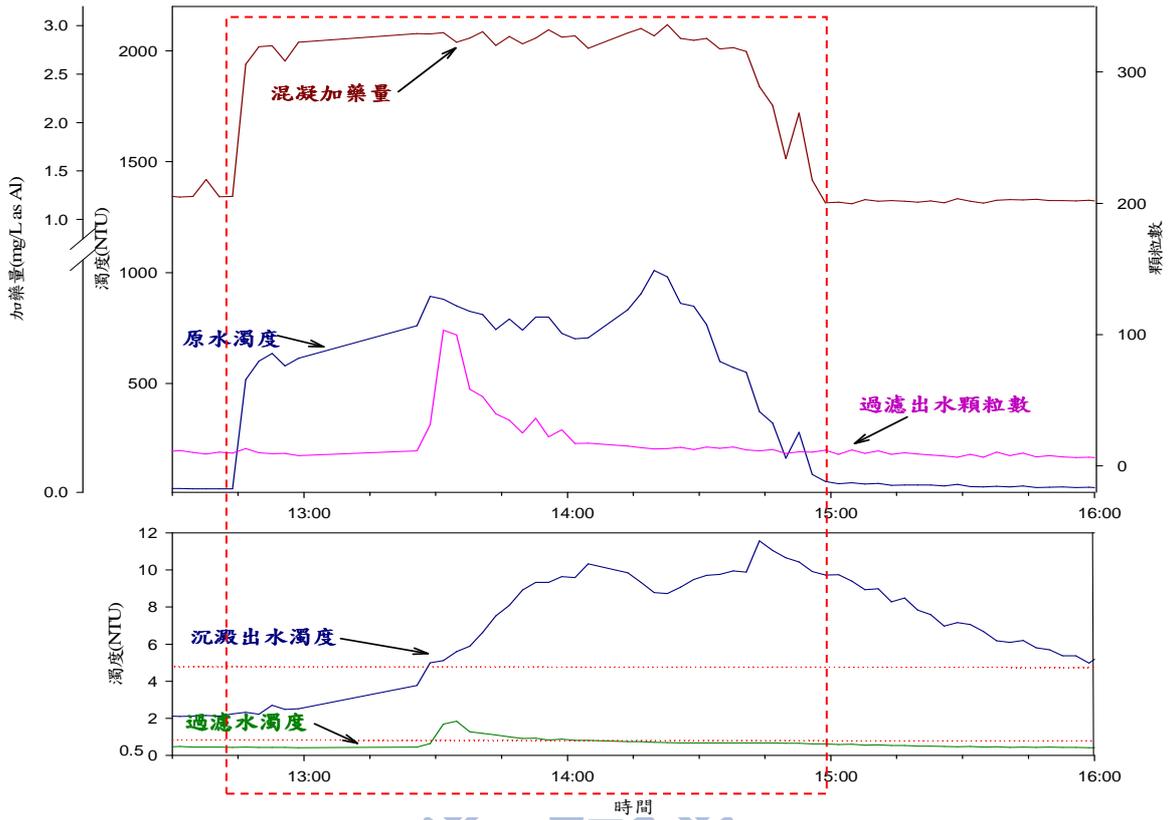


圖 4-7 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量)

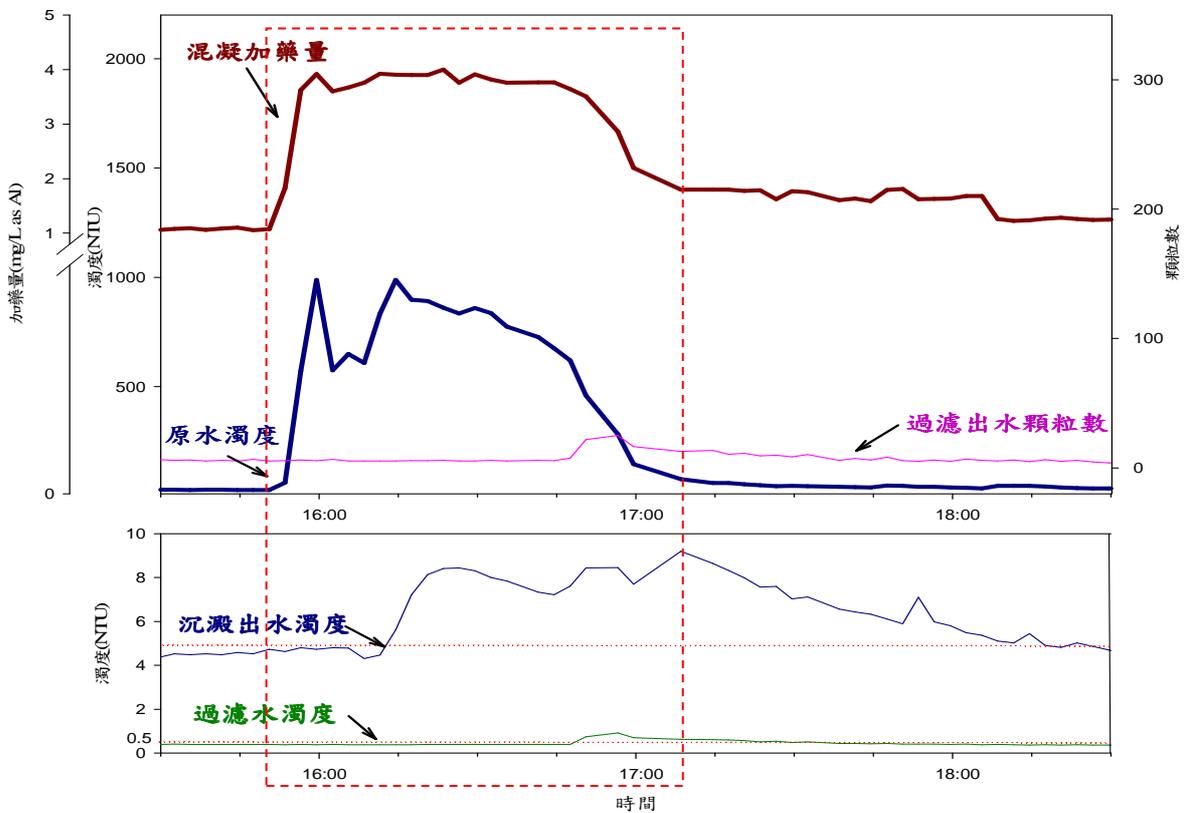


圖 4-8 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量再增加 50%)

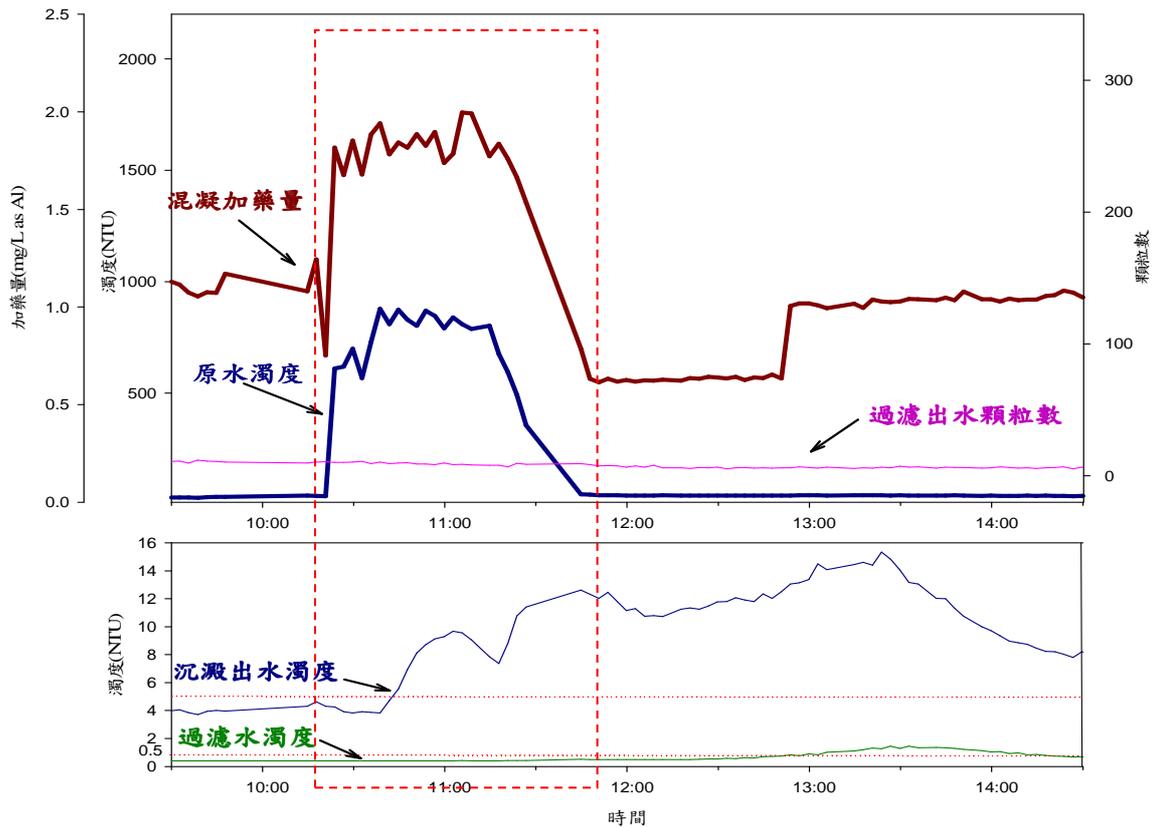


圖 4-9 人工高濁原水混凝加藥測試結果(依 BPANN 預測加藥量再減少 50%)

三組不同混凝加藥量測試結果，各組在人工開始調整濁度後約 20~30 分鐘，沉澱出水濁度均開始超過處理水質內控標準，推測原因可能為人工調整濁度在短時間內變化太高，由於模廠混凝自動加藥系統從原水至濁度計後訊號至 PLC 再至蠕動泵浦再至快混槽約有 2 分鐘之遲滯時間，造成 2 分鐘加藥誤差而影響沉澱出水水質。此外，第一組(依據 BPANN 模式預測之加藥量)與第二組(依據 BPANN 模式預測之加藥量再增加 50%)，其沉澱出水濁度均至 10 NTU 左右，並且回復至處理水質內控標準的時間亦差不多，表示原水調整在相同濁度之情形下，增加加藥量其混凝成效並不會明顯增加，結果顯示以第一組(BPANN 模式預測之加藥量)即為適當之混凝劑量。第二組(BPANN 模式預測之加藥量再減少 50%)結果顯示，當加藥量不足，其沉澱出水濁度約上升至 15 NTU 左右，並且需約 7 小時方可回復沉澱出水濁度，也因此國內淨水場在原水高濁度之混凝加藥，多會過量加藥，以避免出水水質不佳之情形發生。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究應用倒傳遞類神經網路模式預測混凝加藥量，以地表水為原水之模廠測試驗證，配合自動控制系統提升水場操作效能，由結果可得下列二點結論：

- (1) 使用實驗室瓶杯試驗 114 筆數據作為 BPANN 之訓練、驗證及測試資料，在 LM 演算法、隱藏層 1 層、及早停止學習原則參數組合下，以原水濁度、pH、溫度及鹼度構成不同輸入參數組合所建立之三組 BPANN 模式，其測試相關係數(r)均可達 0.93 以上。
- (2) 模廠結果顯示，當天然原水濁度在 100 NTU 以下或人工高濁水濁度在 1,000 NTU 左右時，測試三組建立之 BPANN 模式，僅有水質輸入參數為原水濁度、pH 二項所建立之 BPANN 模式，可即時準確反應模廠原水水質所需之混凝劑量，處理水質亦符合實場內控出水水質標準。

5.2 建議

- (1) 由本研究結果發現，使用瓶杯試驗數據建立之倒傳遞類神經網路模式，應用於模廠規模之淨水場混凝加藥控制是可行的，未來可利用瓶杯試驗先行建立倒傳遞類神經網路混凝加藥模式，再進一步探討是否為實場最適之混凝劑量，朝實場應用方向深入研究。
- (2) 由於各淨水場使用之原水水源不同，因此影響混凝作用之水質參數亦不相同，建議不同淨水場在 BPANN 模式預測混凝加藥量應用上，可先以統計軟體計算各項水質參數與混凝加藥量之相關性(如濁度、溫度、pH、鹼度、有機物、導電度等)，再選取相關性較高之水質參數來建立 BPANN 預測混凝加藥模式。

- (3) 本研究水樣溫度量測已接近實驗室室溫，其建立之 BPANN 預測混凝加藥模式，溫度參數可能影響模廠實際處理時之混凝加藥量預測結果，建議溫度參數應以實際應用 BPANN 模式時之環境溫度量測，以減少預測誤差情形。
- (4) 由於本研究僅建立 114 筆瓶杯試驗資料庫，且高濁度(>1,000 NTU)之數據較少，已無法再區分為不同濁度範圍分別建立 BPANN 模式。建議未來研究可考慮將瓶杯試驗數據先行區分為不同濁度範圍，再分別建立 BPANN 模式，以提高 BPANN 模式在不同濁度範圍預測混凝加藥量之準確性。



參考文獻

- Bazer-Bachi, A., Puech-Coste, E., Ben, A. R. and Probst, J. L. (1990) "Mathematical modelling of optimum coagulant dose in water treatment plant" *Revue Des Sci L'eau*, 3, 377–397.
- Bae, H., Kim, S. and Kim, Y.J., (2006) "Decision algorithm based on data mining for coagulant type and dosage in water treatment systems" *Water Science & Technology* 53(4–5), 321–329.
- Cheng, W.P., Kao, Y.P. and Yu, R.F. (2008) "A novel method for on-line evaluation of floc size in coagulation process" *Water Res.*, 42, 2691–2697.
- Dentel, S. K. and Kingery, K. M.. (1989) "Using streaming current detectors in water treatment" *J. AWWA*, 85–94
- Funahashi, K., (1989) "On the approximate realization of continuous mappings by neural networks" *Neural Networks* 2(3), 183–192.
- Gregory, J. and Nelson, W. D. (1984) "A new optical method for flocculation monitoring" *Solid-liquid Separation*, 172–182.
- Gregory, J. (1985) "Turbidity fluctuations in flowing suspension" *J. Colloid Interface Sci.*, 105, 357–372.
- Girou, A., Franceschi, M., Puech-Costes, E. and Humbert, L. (1992) "Modelisation des phenomenes de coagulation et etude de la morphologie des floes: optimisation du taux de coagulant" *Recents Prog Genie Procedes*, 6, 373–385.
- Hornik, S. Tan, K., and Lee, T., (2006) "Nonlinear adaptive control of interconnected systems using neural networks" *IEEE Transactions on Neural networks* 17(1), 243–246.
- Mirsepasi, A., Cathers, B. and Dharmappa, H. B. (1995) "Application of artificial neural networks to the real time operation of water treatment plants" *IEEE International Conference on Neural Networks Proceedings*, 1, 516–521.
- Sperring, D. A., Chow, C. W., Mulcahy, D. E., Davey, D. E. and Haskard, M. R. (1992) "A neural network applied to sensory signal processing determination of copper in water" *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 3, 418–431.
- Spining, M. T., Darsey, J. A., Sumpter, B. G. and Noid, D. W. (1994) "Opening up the black box of artificial neural networks" *J. Chem. Educ.* 71, 406–411.
- Shih, W.K., and Chiang, C.L., (1997) "The development and implementation of automatic dosing system in Taipei water department" *Proceedings 3th International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology*, 139–158.

Yoshihiko, M., Akira, Y., Yuji, F. and Tasuku, K. (1998) “Dynamic analysis of coagulation with alum and PACl” *Journal American Water Works Association*, 90, 96–106.

Yu, R.F., Kang, S.F., Liaw, S.L., Chen M.C. (2000) “Application of artificial neural network to control the coagulant dosing in water treatment plant” *Water Science and Technology* 42(3-4), 403–408.

Zupan, J. and Gasteiger, J. (1991) “Neural networks: a new method for solving chemical problems or just a passing phase?” *Anal. Chem. Acta.* 248, 1–30.

甘其銓，淨水廠濁度去除效能評估及混凝監測之研究—以豐原淨水場為例，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，1997。

白樺、李圭白，“基於神經網路的混凝投藥系統預測模型”，中國給水排水，18，2002。

江清蓮，淨水處理混凝加藥自動監控系統之探討，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，1997。

宋啟敏、陸明剛、義泳及丁雲鶴，“混凝劑加注量的自動控制新方法”，樂清供水—給水資料，2002。

吳如雅，非接觸式光學監測混凝系統技術之發展，國立中央大學碩士論文，2008。

吳冠德，以類神經網路預測自來水場混凝加藥量及其影響因子之研究，國立台灣大學環境工程學研究所博士論文，2009。

洪名莘、王啟明、洪達朗、史午康，自來水維護設施操作手冊，中華民國自來水協會，1993。

高肇藩，給水工程，成功大學環境工程學系，台南，1990。

徐宏銘，應用流導電流偵測技術決定混凝最佳加藥量之研究，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，1992。

陳美枝，類神經網路預測混凝加藥量之研究，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文，1998。

黃志彬，淨水場混凝劑與調理劑加藥最適化與自動化研究，台灣自來水公司委託研究，1998。

黃崇岳，應用類神經網路於逆打深開挖壁體變位預測之研究，國立台灣海洋大學河海工程學研究所碩士論文，2002。

黃廷林、張莉平及李玉仙，“最佳混凝劑投量的 BP 神經網路預測研究”，西安建築科技大學學報，36(4)，2004。

黃志彬，公共給水現代化淨水操作監控及知識化資訊管理之示範建置計畫(2/3)，經濟部水利署，2010。

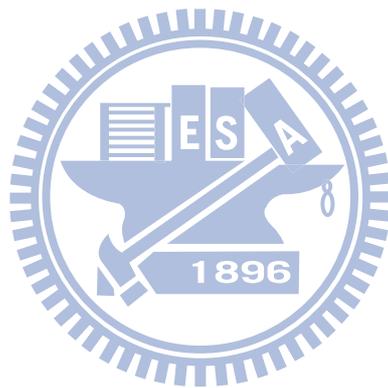
葉怡成，類神經網路模式應用與實作，儒林圖書有限公司，1999。

經濟部水利署，公務統計報表-自來水供水普及率，2011 年 6 月。

經濟部水利署，公務統計報表-自來水供水量及水費收入，2011 年 11 月。

蔡瑞煌，類神經網路概論，三民書局，1995。

羅華強，類神經網路-MATLAB 的應用，清蔚科技，2001。



附錄

附錄A. 模廠槽體停留時間追蹤劑測試紀錄-快混槽

日期：100年1月20日							
槽內清水濃度(C_0)			391			$\mu\text{S/cm}$	
系統達穩定態(C_i)			1027			$\mu\text{S/cm}$	
Q_1	35.52	L/min	平均流量(Q) = 36.72(L/min) = 52.88(CMD)				
Q_2	37.92						
t (sec)	出流水電導度(C_{out}) ($\mu\text{S/cm}$)	$C_{out}-C_0$ ($\mu\text{S/cm}$)	t_{ai} (hr)	C_{ai} ($\mu\text{S/cm}$)	dt_i (sec)	$t_{ai} \times C_{ai} \times dt_i$	$C_{ai} \times dt_i$
0.0	1027	636					
60	827	436	30	536	60	964800	32160
120	695	304	90	370	60	1998000	22200
180	605	214	150	259	60	2331000	15540
240	539	148	210	181	60	2280600	10860
300	486	95	270	121.5	60	1968300	7290
360	457	66	330	80.5	60	1593900	4830
430	435	44	395	55	70	1520750	3850
490	421	30	460	37	60	1021200	2220
550	411	20	520	25	60	780000	1500
610	404	13	580	16.5	60	574200	990
670	400	9	640	11	60	422400	660
730	397	6	700	7.5	60	315000	450
790	395	4	760	5	60	228000	300
850	393	2	820	3	60	147600	180
910	392	1	880	1.5	60	79200	90
				SUM		16224950	103120
實際 HRT(sec)		157		理論 HRT(sec)		147	
RE _t (%)		6.8%					

附錄B. 模廠槽體停留時間追蹤劑測試紀錄-慢混槽

日期：100年1月27日								
槽內清水濃度(C ₀)				401		μS/cm		
系統達穩定態(C _i)				1009		μS/cm		
Q ₁	44.16	L/min	平均流量(Q) = 43.02(L/min) = 61.95(CMD)					
Q ₂	41.88							
t (min)	出流水電導度(C _{out}) (μS/cm)	C _{out} -C ₀ (μS/cm)	t _{ai} (min)	C _{ai} (μS/cm)	dt _i (min)	t _{ai} × C _{ai} × dt _i	C _{ai} × dt _i	
0.0	1009	608						
10	902	501	5	554.5	10	27725	5545	
20	791	390	15	445.5	10	66825	4455	
30	706	305	25	347.5	10	86875	3475	
40	636	235	35	270	10	94500	2700	
50	585	184	45	209.5	10	94275	2095	
60	543	142	55	163	10	89650	1630	
70	507	106	65	124	10	80600	1240	
80	485	84	75	95	10	71250	950	
90	465	64	85	74	10	62900	740	
100	450	49	95	56.5	10	53675	565	
110	440	39	105	44	10	46200	440	
120	430	29	115	34	10	39100	340	
130	423	22	125	25.5	10	31875	255	
140	418	17	135	19.5	10	26325	195	
150	413	12	145	14.5	10	21025	145	
160	410	9	155	10.5	10	16275	105	
170	407	6	165	7.5	10	12375	75	
180	405	4	175	5	10	8750	50	
					SUM		930200	25000
實際 HRT(min)		37.2		理論 HRT(min)		37		
RE _t (%)		0.54%						

附錄C. 模廠槽體停留時間追蹤劑測試紀錄-沉澱槽

日期：100年2月10日								
槽內清水濃度(C ₀)			342		μS/cm			
系統達穩定態(C _i)			1144		μS/cm			
Q ₁	37.44	L/min	平均流量(Q) = 37.14(L/min) = 53.48(CMD)					
Q ₂	36.84							
t (hr)	出流水電導度(C _{out}) (μS/cm)	C _{out} -C ₀ (μS/cm)	t _{ai} (hr)	C _{ai} (μS/cm)	dt _i (hr)	t _{ai} × C _{ai} × dt _i	C _{ai} × dt _i	
0.0	1144	802						
0.5	1003	661	0.25	731.5	0.5	91.4375	365.75	
1.0	887	545	0.75	603	0.5	226.125	301.5	
1.5	793	451	1.25	498	0.5	311.25	249	
2.0	712	370	1.75	410.5	0.5	359.1875	205.25	
2.5	648	306	2.25	338	0.5	380.25	169	
3.0	589	247	2.75	276.5	0.5	380.1875	138.25	
3.5	549	207	3.25	227	0.5	368.875	113.5	
4.0	511	169	3.75	188	0.5	352.5	94	
4.5	483	141	4.25	155	0.5	329.375	77.5	
5.0	458	116	4.75	128.5	0.5	305.1875	64.25	
5.5	437	95	5.25	105.5	0.5	276.9375	52.75	
6.0	423	81	5.75	88	0.5	253	44	
6.5	408	66	6.25	73.5	0.5	229.6875	36.75	
7.0	402	60	6.75	63	0.5	212.625	31.5	
7.5	386	44	7.25	52	0.5	188.5	26	
8.0	379	37	7.75	40.5	0.5	156.9375	20.25	
8.5	374	32	8.25	34.5	0.5	142.3125	17.25	
9.0	370	28	8.75	30	0.5	131.25	15	
9.5	367	25	9.25	26.5	0.5	122.5625	13.25	
					SUM		4818.1875	2034.75
實際 HRT(hr)		2.368		理論 HRT(hr)		2.378		
REt (%)		-0.42%						

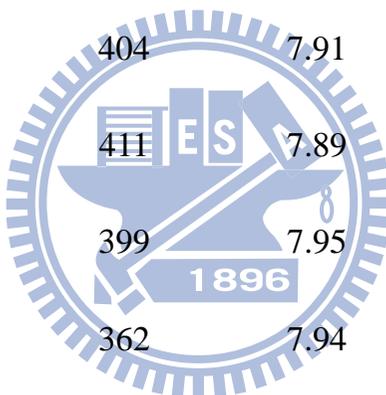
附錄D. 實驗室瓶杯試驗紀錄

實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度 (NTU)	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	鹼度 (mg/L)	快混最終 pH 值	瓶杯試驗最適加藥量 (mg/L as Al)
1	2009/8/5	27.0	100.0	330	7.80	238.0	7.30	1.50
2	2009/8/9	26.0	2660.0	172.6	7.20	128.0	6.50	3.50
3	2009/8/10	26.0	2302.0	182.1	7.60	142.0	6.80	2.50
4	2009/8/11	23.0	1488.0	213	7.70	153.0	7.30	2.00
5	2009/8/12	30.0	796.0	239	7.70	165.0	7.20	1.50
6	2009/8/19	26.0	59.0	277	7.80	205.0	7.30	1.00
7	2009/8/20	23.0	21.0	281	7.90	208.0	7.70	1.00
8	2009/8/26	27.0	63.0	313	7.70	222.0	7.40	1.00

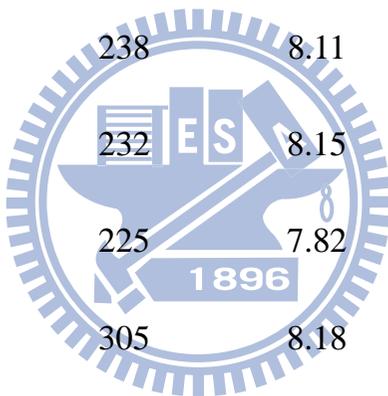
實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
9	2009/8/28	30.0	13.0	293	8.40	203.0	7.80	1.00
10	2009/10/2	26.9	31.0	380	8.03	140.0	7.98	0.75
11	2009/10/5	24.3	31.7	377	7.86	128.8	7.86	1.00
12	2009/10/6	23.9	143.0	296	7.90	103.3	7.66	1.25
13	2009/10/7	24.2	57.9	343	8.16	121.3	7.86	1.00
14	2009/10/8	24.8	29.7	366	8.10	129.3	7.83	1.00
15	2009/10/9	25.2	37.3	377	8.10	131.0	7.87	1.00
16	2009/10/12	24.0	9.9	367	8.06	116.7	7.72	0.75
17	2009/10/13	25.4	11.2	369	8.04	117.0	7.63	0.75
18	2009/10/14	24.6	11.8	368	7.90	118.0	7.47	0.75

實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
19	2009/10/15	24.3	9.6	368	7.78	113.7	7.65	0.75
20	2009/10/16	24.2	12.5	358	7.94	113.1	7.62	0.75
21	2009/10/22	23.0	11.7	342	7.92	107.3	7.57	0.75
22	2009/10/23	22.8	11.5	341	7.93	106.4	7.79	0.75
23	2009/10/27	23.5	19.0	347	7.96	110.0	7.79	0.75
24	2009/10/28	23.9	16.2	349	7.97	111.6	7.77	0.75
25	2009/11/2	20.2	13.0	355	8.04	103.9	7.78	0.75
26	2009/11/3	19.3	12.1	353	8.02	102.5	7.79	0.75
27	2009/11/4	22.1	13.2	358	8.05	106.0	7.74	0.75
28	2009/11/10	24.8	24.4	373	7.91	102.3	7.46	0.75

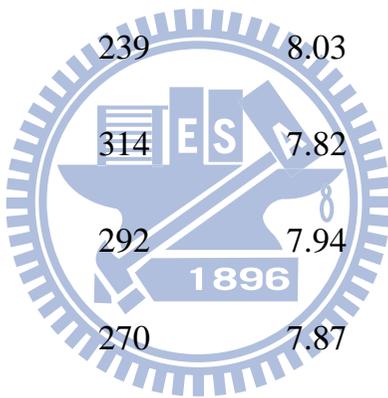
實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
29	2009/11/13	19.6	476.7	283	7.89	88.0	7.45	2.00
30	2010/1/6	18.0	97.4	390	8.11	112.3	7.64	1.50
31	2010/1/7	17.0	103.0	394	7.91	120.2	7.76	1.25
32	2010/1/8	16.4	113.0	404	7.91	134.0	7.65	1.25
33	2010/1/22	20.0	89.3	411	7.89	142.5	7.32	1.25
34	2010/1/25	19.0	60.0	399	7.95	134.5	-	1.25
35	2010/1/26	15.8	128.3	362	7.94	124.4	7.48	1.50
36	2010/2/22	17.2	26.7	277	8.12	97.0	7.50	1.00
37	2010/2/23	16.8	11.2	289	7.89	99.5	7.53	1.00
38	2010/4/14	22.5	31.1	352	8.32	128.9	7.90	1.00



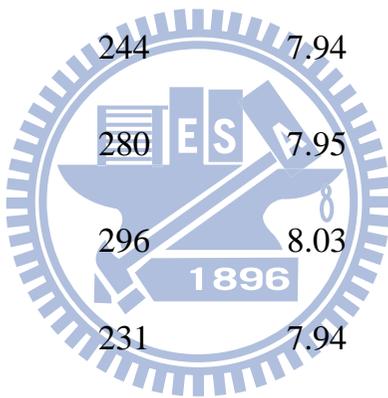
實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
39	2010/4/15	20.6	23.4	357	8.32	130.4	8.04	0.75
40	2010/4/23	20.5	68.4	364	8.44	130.7	8.29	1.00
41	2010/5/11	22.5	79.6	283	8.14	95.0	7.49	1.25
42	2010/5/24	26.3	420.0	238	8.11	76.0	7.72	1.25
43	2010/6/4	22.5	102.3	232	8.15	81.9	7.84	1.25
44	2010/6/11	25.9	188.0	225	7.82	73.0	7.62	0.75
45	2010/6/24	27.5	18.2	305	8.18	108.2	7.72	0.75
46	2010/7/27	23.5	200.0	215	8.11	72.9	7.30	2.00
47	2010/9/3	26.5	25.9	292	8.06	104.0	7.59	0.75
48	2010/9/7	26.0	41.1	311	8.07	109.5	7.64	1.00



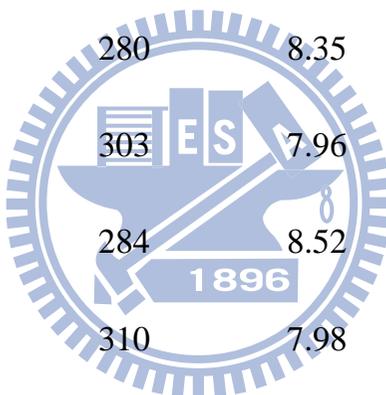
實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
49	2010/9/8	27.8	17.5	307	8.38	110.7	7.77	0.75
50	2010/10/21	23.6	104.0	421	7.70	110.0	7.51	0.75
51	2010/10/22	24.2	108.0	225	7.99	94.0	7.42	1.00
52	2010/10/22	25.2	34.5	239	8.03	96.0	7.37	1.00
53	2010/10/28	21.3	53.6	314	7.82	104.0	7.44	1.25
54	2010/10/28	21.5	33.5	292	7.94	103.0	7.56	1.00
55	2010/10/29	21.8	38.6	270	7.87	102.0	7.52	1.00
56	2011/4/19	22.8	41.8	357	7.97	107.0	7.57	1.13
57	2011/4/20	23.0	38.0	400	8.16	111.0	7.83	1.13
58	2011/4/21	22.6	38.0	407	8.22	112.0	7.77	1.13



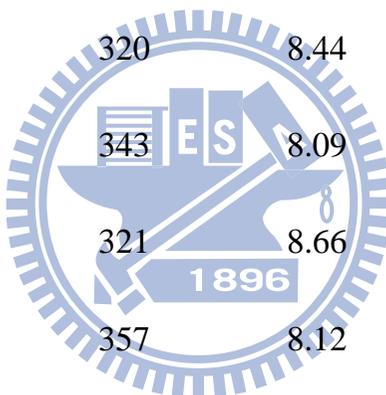
實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
59	2011/5/11	22.5	68.8	451	8.11	105.0	7.90	0.99
60	2011/5/16	22.6	37.5	298	7.86	97.5	7.64	0.85
61	2011/5/17	22.4	1002.0	208	7.92	75	6.93	3.10
62	2011/5/18	21.3	126.0	244	7.94	95	7.42	1.27
63	2011/5/19	21.5	16.5	280	7.95	86	7.69	0.85
64	2011/5/20	21.6	16.7	296	8.03	112.5	7.52	0.85
65	2011/5/23	20.9	36.5	231	7.94	76	7.35	0.70
66	2011/5/24	22.5	66.0	236	7.99	86.5	7.38	0.99
67	2011/5/25	22.3	36.1	257	8.02	91.5	7.67	0.99
68	2011/5/25	20.4	20.6	258	8.14	88.5	6.95	0.99



實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
69	2011/5/26	21.8	17.4	276	7.97	92	7.55	0.85
70	2011/5/26	23.5	14.0	273	8.12	103	7.66	0.85
71	2011/5/27	22.6	9.2	286	8.06	104.5	7.78	0.70
72	2011/5/27	20.8	9.2	280	8.35	104	7.87	0.70
73	2011/5/30	21.4	6.6	303	7.96	104.5	7.48	0.85
74	2011/5/30	22.5	5.8	284	8.52	104	8.16	0.99
75	2011/5/31	23.5	20.0	310	7.98	108.5	7.64	0.85
76	2011/5/31	25.8	11.0	296	8.49	106	7.96	0.99
77	2011/6/1	24.5	57.3	329	7.96	122.5	7.73	1.13
78	2011/6/1	24.9	9.2	310	8.33	107	7.97	0.99

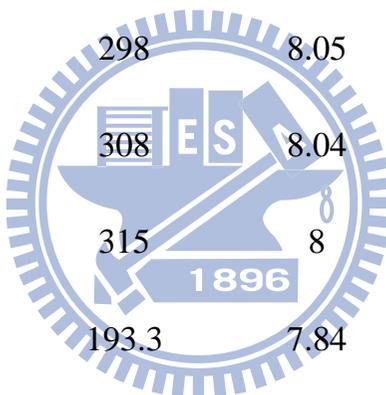


實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度 (NTU)	導電度 (μ S/cm)	pH	鹼度 (mg/L)	快混最終 pH 值	瓶杯試驗最適加藥量 (mg/L as Al)
79	2011/6/2	23.1	17.2	278	7.9	104.5	7.63	0.85
80	2011/6/3	28.1	21.1	304	8.01	108.5	7.61	0.70
81	2011/6/7	23.8	21.2	336	8.12	113	7.81	0.99
82	2011/6/7	27.3	14.1	320	8.44	111	7.94	0.99
83	2011/6/8	25.0	24.1	343	8.09	103	7.72	1.13
84	2011/6/8	25.7	13.1	321	8.66	110	8.25	0.99
85	2011/6/9	25.9	60.5	357	8.12	154.5	7.84	1.13
86	2011/6/9	27.3	24.2	339	8.5	111.5	8.11	1.13
87	2011/6/10	25.6	30.0	358	8.08	119	7.93	0.70
88	2011/6/10	25.4	22.8	342	8.41	102	8.15	0.70



實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度 (NTU)	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	鹼度 (mg/L)	快混最終 pH 值	瓶杯試驗最適加藥量 (mg/L as Al)
89	2011/6/13	25.3	31.3	297	8.06	109	7.80	0.70
90	2011/6/13	26.8	18.6	294	8.32	108.5	7.97	0.85
91	2011/6/14	27.0	32.5	312	8.2	101.5	7.79	0.85
92	2011/6/14	26.2	13.4	307	8.35	99.5	8.08	0.85
93	2011/6/15	25.8	35.5	322	8.19	102.5	7.99	0.85
94	2011/6/25	26.8	869.5	194.8	7.64	68	6.76	4.51
95	2011/6/27	24.2	136.5	193.6	7.7	92.5	7.27	1.41
96	2011/6/27	24.0	450.5	226	7.73	73	7.16	1.97
97	2011/6/28	25.4	309.0	192.2	7.63	62.5	7.05	2.25
98	2011/7/1	25.4	25.1	236	7.86	78	7.41	0.99

實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度 (NTU)	導電度 (μ S/cm)	pH	鹼度 (mg/L)	快混最終 pH 值	瓶杯試驗最適加藥量 (mg/L as Al)
99	2011/7/6	25.7	12.3	307	8.18	99.5	7.67	1.13
100	2011/7/7	28.8	8.1	297	8.43	99.6	7.84	0.99
101	2011/7/8	28.1	10.3	310	8.13	104.0	7.88	0.99
102	2011/7/11	27.3	25.5	298	8.05	99.2	7.84	1.13
103	2011/7/12	28.2	18.6	308	8.04	100.4	7.68	1.13
104	2011/7/13	27.1	25.5	315	8	104.8	7.83	1.41
105	2011/7/15	25.5	590.0	193.3	7.84	64.8	7.00	1.83
106	2011/7/18	24.8	54.5	242	8.01	79.2	7.46	1.75
107	2011/7/19	26.0	82.0	243	8.01	69.4	7.54	1.25
108	2011/7/20	26.6	77.0	251	8.05	79.2	7.50	1.25



實驗次數	採樣日期	溫度(°C)	濁度(NTU)	導電度(μS/cm)	pH	鹼度(mg/L)	快混最終pH值	瓶杯試驗最適加藥量(mg/L as Al)
109	2011/7/22	25.6	37.0	281	8.11	90.4	7.58	1.00
110	2011/7/25	26.5	4.6	304	8.24	76.8	7.94	0.75
111	2011/7/26	26.3	7.5	296	8.03	89.2	7.62	1.00
112	2011/8/1	25.3	24.1	314	8.26	107.6	7.84	1.00
113	2011/8/2	24.7	39.4	312	8.21	91.2	7.66	1.00
114	2011/8/3	25.8	45.0	316	8.21	102	7.65	1.50

