



廉潔、效能、便民

經濟部



MOEAWRA1010209

應用資料同化方法推估區域地下水利用 之研究

Application of data assimilation method for regional groundwater
utilization study

應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究

中華民國
101年
12月

經濟部水利署水利規劃試驗所



經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：台中市霧峰區吉峰里中正路 1340 號

網址：<http://www.wrap.gov.tw/>

總機：(04)23304788

傳真：(04)23300282

ISBN : 978-986-03-5123-1



GPN: 1010103200

定價：新臺幣 500 元



主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
執行單位：國立交通大學

中華民國 101 年 12 月



MOEAWRA1010209

應用資料同化方法推估區域地下水利用 之研究

Application of data assimilation method for regional
groundwater utilization study



主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
執行單位：國立交通大學

中華民國 101 年 12 月

應用資料同化方法推估區域地下水利用 之研究

Application of data assimilation method for regional
groundwater utilization study

主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
執行單位：國立交通大學
編著者：張良正

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
摘要.....	摘-1
ABSTRACT.....	英-1
結論與建議.....	結-1
第壹章 前言.....	1-1
一、計畫緣起與目的.....	1-1
二、計畫工作項目及內容.....	1-1
三、研究流程與架構.....	1-3
第貳章 資料蒐集與彙整.....	2-1
一、計畫區域選定與概述.....	2-1
(一)區域範圍.....	2-1
(二)水文地質架構.....	2-1
(三)地下水觀測.....	2-4
(四)水文地質參數.....	2-4
二、資料蒐集.....	2-6
(一)地下水位.....	2-6
(二)儲水係數資料.....	2-13
(三)雨量資料.....	2-14
(四)抽水量資料.....	2-16
(五)地下水位資料檢核.....	2-17
第參章 相關文獻收集及回顧.....	3-1
一、地下水抽水量推估.....	3-1

(一)國外相關研究成果.....	3-1
(二)國內相關研究成果.....	3-2
二、資料同化方法分類及應用層面.....	3-4
(一)資料同化方法分類.....	3-4
(二)資料同化方法應用層面.....	3-6
第肆章 區域地下水抽水量推估模式建立.....	4-1
一、建立以資料同化為基礎之區域地下水井抽水量推估模式....	4-1
(一) 地下水模擬模式.....	4-1
(二) 地下水井抽水量推估模式.....	4-2
二、假設情境案例驗證.....	4-14
第伍章 模式應用於小區域抽水量推估驗證.....	5-1
一、選定小區域進行抽水量推估驗證.....	5-1
二、建立模式驗證區域之地下水模擬模式.....	5-3
(一)邊界條件與網格劃分.....	5-4
(二)模式資料輸入.....	5-9
三、驗證區域之地下水抽水量推估.....	5-11
(一) 示範抽水井選擇.....	5-11
(二) 敏感度分析.....	5-13
(三) 影響範圍分析.....	5-19
(四) 分配係數及權重係數.....	5-20
(五) 示範區域現地抽水量推估結果.....	5-21
第陸章 屏東地區地下水抽水量推估.....	6-1
一、建立屏東地區地下水模擬模式.....	6-1
(一)邊界條件與格網劃分.....	6-1
(二)模式資料輸入.....	6-5
(三)參數檢定方法.....	6-8

(四)檢定誤差統計分析.....	6-11
二、屏東地區地下水抽水量推估模式之驗證.....	6-14
(一)屏東地區井集合分區處理.....	6-15
(二)屏東地區地下水觀測井選擇.....	6-18
(三)敏感度分析及影響範圍.....	6-23
(四)分配係數及權重係數.....	6-24
(五)屏東地區數值模式驗證.....	6-31
三、以抽水量推估模式推估屏東地區地下水抽水量.....	6-34
(一)資料同化技術之優缺點分析.....	6-38
第七章 教育訓練.....	7-1
參考文獻.....	參-1
附錄一 審查意見及處理情形.....	附 1-1
附錄二 屏東地區各抽水分區影響係數.....	附 2-1
附錄三 屏東地區地下水抽水量推估模式軟體使用手冊.....	附 3-1
附錄四 教育訓練簡報資料.....	附 4-1
附錄五 驗證區域之抽水井鑽井資料.....	附 5-1

表目錄

表 2-1 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井資料列表	2-6
表 2-2 含水層 2(F2)28 口地下水觀測井資料列表	2-8
表 2-3 含水層 3(F3)35 口地下水觀測井資料列表	2-9
表 2-4 屏東平原複井抽水試驗實測儲水係數	2-13
表 2-5 本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊	2-14
表 2-6 本計劃蒐集示範區域抽水井資訊	2-16
表 2-7 1999-2010 年淺層水井地下水位原始資料缺漏統計表	2-17
表 3-1 屏東平原地下水抽水量推估結果整理比較表	3-3
表 4-1 假設情境案例系統	4-15
表 5-1 民國 99 年四春淨水場抽水量統計表	5-11
表 5-2 民國 99 年崁頂 1 號井用水量統計表	5-13
表 5-3 四春淨水場水井對周邊地下水位觀測井(含水層 1)之影響係數 整理表	5-18
表 5-4 四春淨水場水井對周邊地下水位觀測井(含水層 2)之影響係數 整理表	5-18
表 5-5 台糖崁頂 1 號井對周邊地下水位觀測井(含水層 3)之影響係數整 理表	5-18
表 5-6 四春淨水場水井民國 99 年 1 月抽水量對周邊地下水位觀測井水 位之影響	5-19
表 5-7 台糖崁頂 1 號井民國 99 年 1 月抽水量對周邊地下水位觀測井 水位之影響	5-19
表 5-8 台糖崁頂 1 號井對周邊地下水位觀測井水位之分配係數及權重 係數	5-21
表 5-9 示範區域現地抽水量推估結果	5-22
表 5-10 示範區域現地地下水位更新結果	5-23

表 6-1 模式檢定所得參數.....	6-13
表 6-2 研究範圍涵蓋之行政區域.....	6-15
表 6-3 各含水層之觀測井.....	6-18
表 6-4 各抽水分區影影響範圍整理表.....	6-24
表 6-5 含水層 1 之分配係數.....	6-25
表 6-6 含水層 1 之權重係數.....	6-26
表 6-7 含水層 2 之分配係數.....	6-27
表 6-8 含水層 2 之權重係數.....	6-28
表 6-9 含水層 3 之分配係數.....	6-29
表 6-10 含水層 3 之權重係數.....	6-30
表 6-11 屏東地區驗證模式抽水量推估結果整理.....	6-33
表 6-12 各分區 88 年至 99 年之年平均抽水量推估結果.....	6-35
表 7-1 教育訓練課程大綱、內容及時程表.....	7-2

圖目錄

圖 1-1 計畫執行流程圖	1-4
圖 2-1 屏東平原水文地質剖面	2-2
圖 2-2 阻水層分布區示意圖	2-3
圖 2-3 屏東地區地下水觀測網站井分布圖	2-5
圖 2-4 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井分布圖	2-10
圖 2-5 含水層 2(F2)28 口地下水觀測井分布圖	2-11
圖 2-6 含水層 3(F3)35 口地下水觀測井分布圖	2-12
圖 2-7 吉洋站與工作站水位	2-13
圖 2-8 中央氣象局屏東平原雨量站位置圖	2-15
圖 2-9 示範區域抽水井位置圖	2-16
圖 4-1 地下水抽水井及觀測井系統示意圖	4-9
圖 4-2 以序列方法採用資料同化技術進行地下水抽水量推估之流程示意圖	4-12
圖 4-3 假設情境案例平面圖	4-14
圖 4-4 觀測井洩降之均方根誤差(RMSE)(上圖)及抽水量推估之均方根誤差(RMSE)	4-18
圖 4-5 資料同化前(上圖)及資料同化後(下圖)觀測井洩降推估之平均誤差百分比	4-18
圖 4-6 單井抽水量推平均估誤差百分比(上圖)及全域抽水量推估平均誤差百分比(下圖)	4-19
圖 4-7 方案 A、B 及 C 之各井抽水量推估誤差百分比	4-19
圖 5-1 屏東平原之示範區域位置圖	5-3
圖 5-2 屏東地區水文地質剖面圖	5-5
圖 5-3 港東觀測井地質鑽探資料	5-6
圖 5-4 崁頂觀測井地質鑽探資料	5-7

圖 5-5 潮州觀測井地質鑽探資料.....	5-8
圖 5-6 示範區域地下網格劃分示意圖.....	5-9
圖 5-7 自來水公司四春淨水場水井.....	5-11
圖 5-8 台糖崁頂 1 號井建築物外觀.....	5-12
圖 5-9 台糖崁頂 1 號井井體.....	5-13
圖 5-10 示範區含水層 1 抽水井(四春淨水場)及其週邊之地下水位觀測井.....	5-15
圖 5-11 示範區含水層 2 抽水井(四春及崙東淨水場)及其週邊之地下水位觀測井.....	5-16
圖 5-12 示範區含水層 2 抽水井(崙東淨水場及台糖崁頂 1 號井)及其週邊之地下水位觀測井.....	5-17
圖 5-13 示範區域現地(台糖崁頂 1 號井)抽水量推估結果比較圖.....	5-23
圖 5-14 示範區域現地地下水觀測水位及更新水位結果比較圖(潮洲(2)、港東(2)、新埤(2)及新庄(3)觀測井).....	5-24
圖 5-15 示範區域現地地下水觀測水位及更新水位結果比較圖(大湖(3)、萬巒(2)及萬隆(2)觀測井).....	5-25
圖 6-1 屏東地區概念分層.....	6-2
圖 6-2 屏東地區地下水區邊界與格網劃分.....	6-3
圖 6-3 屏東地區邊界條件格網劃分.....	6-4
圖 6-4 含水層 1 徐昇式分區.....	6-6
圖 6-5 含水層 2 徐昇式分區.....	6-6
圖 6-6 含水層 3 徐昇式分區.....	6-6
圖 6-7 地下水模式流量計算概念圖.....	6-9
圖 6-8 地下水參數檢定系統架構圖.....	6-10
圖 6-9 含水層 1 誤差均方根等.....	6-11
圖 6-10 含水層 2 誤差均方根.....	6-12

圖 6-11 含水層 3 誤差均方根.....	6-12
圖 6-12 各月份均方根誤差變化圖(1999-2010).....	6-12
圖 6-13 模擬水位誤差主體圖(1999-2010).....	6-13
圖 6-14 屏東地區鄉鎮市分區示意圖.....	6-17
圖 6-15 屏東地區含水層 1 分區及觀測井位置圖.....	6-20
圖 6-16 屏東地區含水層 2 分區及觀測井位置圖.....	6-21
圖 6-17 屏東地區含水層 3 分區及觀測井位置圖.....	6-22
圖 6-18 屏東地區數值模式驗證用之給定抽水量.....	6-32
圖 6-19 屏東地區數值模式驗證結果.....	6-32
圖 6-20 屏東地區 88 年至 99 年各含水層各年之地下水淨進出水量.....	6-34
圖 6-21 屏東地區 88 年至 99 年各分區之地下水年平均淨進出水量分佈圖.....	6-37
圖 6-22 屏東地區 88 年至 99 年各月份之平均地下水淨進出水量 ..	6-38
圖 7-1 教育訓練照片.....	7-1
圖 7-2 屏東地區地下水抽水量推估模式之使用者介面.....	7-3

摘要

一、前言

經濟部水利署已於民國九十七年完成台灣地區平原地區地下水位觀測站網的階段性建置，除了獲得豐富的水文地質資料外，隨著觀測的進行，陸續亦有大量地下水位與水質資料。如何充分利用地下水站網豐富的觀測資料以加強地下水資源的管理，發揮站網的效益，乃是站網建立後重要的議題之一。台灣地區以往地下水管理的主要問題，首在地下水超抽所造成的各種災害，如地層下陷、海水入侵等，而解決這些問題最大的困難之一，乃是各區域水井地下水抽水量之資料嚴重不足且取得不易。長期以來，由於對地下水抽水量及其空間分佈瞭解不足，而無法對地下水超抽問題，提出完善之對策，其中地下水抽水量及其空間分布的推估，亦是地下水相關研究最大難題之一。因此，如何善用地下水站網觀測資料，應用系統化的分析方法推估區域地下水抽水量及其空間分佈，以為地下管理的基礎，乃是目前的重要課題。

資料同化技術在大氣科學領域已被廣泛應用，其特色為透過有限的觀測資料，對系統內各狀態變數的變化及空間分佈，能有更接近實際情況的描述。然而資料同化技術在地下水領域甚少應用實例，對此本計畫乃針對臺灣地區地下水系統及資料之特性，應用地下水位觀測網所蒐集之地下水位資料，進行資料同化之研究，並發展適用於臺灣之區域水井地下水抽水量推估之方法。

二、資料蒐集與彙整

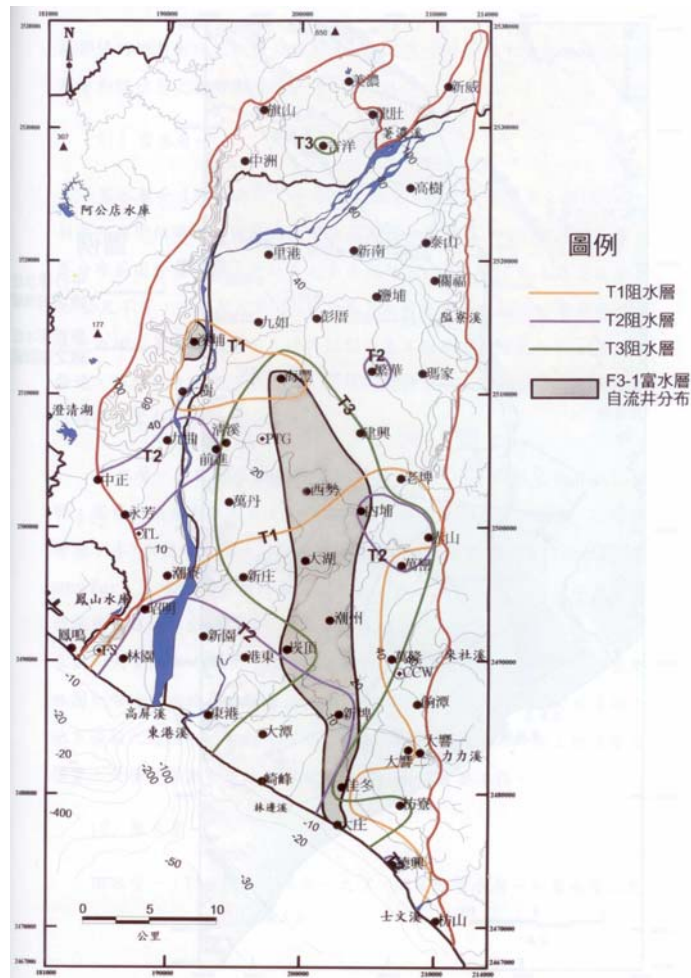
(一)計畫區域選定與概述

屏東平原為台灣重要地下水區之一，且沿海地區地層下陷較為嚴重，屬於「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」的辦理期程之第一階段（81年度至87年度），已完成地下水觀測站網之建置，觀測年份已達10年以上，地下水觀測站共計53站（132口），抽水試驗站共有9站

(23 口)，水文地質調查站有 52 站。地下水位觀測資料、地質參數、相關研究及規劃成果較為豐富，對於資料分析及數值模擬有相當大的助益；此外，地下水資源對屏東地區之社經發展極為重要，故選定屏東地區為本計畫研究區域。

屏東平原深約 220 公尺內之水文地質分層，由上而下可劃分含水層 1、阻水層 1、含水層 2、阻水層 2、含水層 3-1、阻水層 3 及含水層 3-2 等七層，含水層 3-1 及含水層 3-2 在模式中合併為含水層 3。含水層極為發達，厚度大且延展遍佈全區；阻水層則間夾於含水層中，厚度遠小於含水層並且僅分布於平原南段，因此含水層只於南側有顯著之分隔，而北及東側則合而為一，研究範圍、阻水層分佈及觀測井分佈如摘圖 1。

扇央及扇尾為區域受壓含水層。各層的透水係數 K 除了少數在 10^{-5} 公尺/秒以外，其餘皆介於 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 公尺/秒之間，傳導率 T 介於 $3 \times 10^{-5} \sim 15.1 \text{ m}^2/\text{min}$ 之間，比容量 Q/s 介於 0.004-654.5 cmh/m。



摘圖 1 研究範圍、阻水層分布及觀測井分佈圖

(二)資料收集

本計畫針對屏東地區蒐集民國 88 年至 99 年的地下水位、雨量、儲水係數、透水係數、抽水量、水文地質架構等資料，以建立地下水模擬模式及抽水量推估模式。

三、相關文獻收集及回顧

(一)地下水抽水量推估

進行區域地下水抽水量或補注量推估之相關研究時，常用的方法是在質量守恆的基礎上，以區域地下水含水層水平衡的角度進行分析，推估地下水抽水量相關研究較推估補注量研究薄弱，在進行地下水抽水量推估時，常遇到的問題為井抽水量歷史資料難以取得。

本計畫收集國內及國外相關地下水抽水量推估之方法，並整理國內歷年針對平東地區地下水抽水量推估之相關研究。

(二)資料同化方法分類及應用層面

資料同化的技術主要是由氣象科學領域發展出來，此技術含有數學上的最佳化(optimization)的概念，將散佈於研究區域內不同空間、不同時間的觀測數據，以數學方法結合，並納入數值模擬、分析及預報系統，以建立數值模式與觀測數據相互協調、誤差最小的最佳分析及預測結果。一般來說，完整的資料同化分析需包括三個部分：(1) 觀測數據、(2)數值模式及(3)資料同化技術。

本計畫依資料同化方法分類及其應用層面分析常用之資料同化方法，如納進法、最佳線性無偏差估計法、卡門濾波、擴展卡門濾波、集合卡門濾波、三維變分法、四維變分法等。並針對本研究所採用之納進法進行其文獻及其應用之回顧。

四、區域地下水抽水量推估模式建立

(一)建立以資料同化為基礎之區域地下水井抽水量推估模式

以資料同化納進法為基礎建立區域地下水井抽水量推估模式，以數學式及理論基礎說明如何以納進法分析抽水井對觀測井水位變化的影響，及利用觀測井水位變化推估抽水井之抽水量。推估出來的抽水量在控制方程式中視為外加之沉項，並利用這個沉項修正地下水系統水位分佈情形。

$$P \frac{h_{k+1} - h_k}{\Delta t} = Lh_{k+1} + q_{k+1} + G(h^o - Ch_{k+1}) \quad (\text{摘-1})$$

式中 $G (L^2 / T)$ 為一 $(n \times n_o)$ 矩陣，亦稱為獲得矩陣 (the gain matrix)； n_o 為觀測資料的數量，儲存於具有 n_o 維度的向量 h^o 之中； C (無單位) 是一個可將 $(n \times n_o)$ 的模式水位分布矩陣 h_{k+1} 投射至觀測空間 (observation space) 的矩陣。

在轉換地下水水位洩降至地下水抽水量推估的過程中，有兩個步

驟：(1)將每一個觀測井所得到的殘差分配至影響範圍內的各抽水井並轉換成抽水量；(2)將步驟 1 得到之多個抽水量的推估值整合成單一的抽水量的推估值。

$$d_{u+1,i} = h_{u+1,i}^0 - \sum_{j=1}^{n_w} \Delta h_{i,j} = \sum_{j=1}^{n_w} (w'_{i,j} \cdot d_{u+1,i}) \quad (\text{摘-2})$$

式中 $c_{i,s}$ 在有觀測井的網格 s 中等於 1，其他網格中等於 0；計算 $\Delta h_{i,j}$ 時是採用距離權重的方式(distance-weighted function)將洩降分配給位於觀測井 i 的影響範圍內的各抽水井 j ，被分配到的 $\Delta h_{i,j}$ 可透過影響係數法 (influence coefficient method)(亦稱為反應係數法 response coefficient method)轉換成地下水抽水量(Becker and Yeh, 1972； Yeh, 1986)：

$$\Delta q_{i,j} = \frac{1}{r_{i,j}} \Delta h_{i,j} = \frac{\partial q_j}{\partial h_i} \Delta h_{i,j} \quad (\text{摘-3})$$

式中採用了影響係數(influence coefficient) $r_{i,j} = \partial h_i / \partial q_j$ 的倒數，影響係數的意義為在網格 j 中的一單位抽水量可造成在網格 i 中之水頭的變化量。

(二)假設情境案例驗證

建立一假設情境案例驗證區域地下水井抽水量推估模式，此案例的範圍東西向約 30 公里、南北向約 10 公里，以 4 個觀測井推估 6 個抽水井抽水量，時間長度為 54 個月(每個時段為 6 個月，共 9 個時段)。結果顯示推估模式對抽水井定量抽水、變量抽水、各井抽水量差異、及考慮觀測誤差等情況均有很好的估結果。

五、模式應用於小區域抽水量推估驗證

(一)選定小區域進行抽水量推估驗證

為驗證推估抽水量模式之正確性，本計劃以現地問題進行抽水量

之推估，驗證小區域如摘圖 2 所示。示範場址位於屏東地區東南段，主要位於東港河流域，東西兩側分別緊鄰林邊溪與高屏溪，地表高程約為海拔 1 公尺至 35 公尺之間。示範場址共有 7 口地下水觀測網之觀測井，水位觀測資料可作為地下水抽水量推估模式所用。

(二) 建立模式驗證區域之地下水模擬模式

建立模式選定地區之地下水模擬模式，原屏東地區地下水模擬模式之模擬經度為 1 公里乘以 1 公里，為能準確推估現地單一口井之抽水量，因此進行網格加密，以提高模擬精度至 250 公尺乘以 250 公尺。

(三) 驗證區域之地下水抽水量推估

選定台糖炭頂 1 號井作為驗證，驗證結果如摘表 1。



摘圖 2 屏東平原之示範區域位置圖

摘表 1 示範區域現地抽水量推估結果

	實際抽水量		推估抽水量		推估誤差百分比(%)
	月總量 (m ³)	平均日抽水量 (m ³ /day)	月總量 (m ³)	平均日抽水量 (m ³ /day)	
1 月	115430	3723.5	117143	3779	1.5%
2 月	89750.5	3205.4	86261	3081	-3.9%
3 月	121874	3931.4	123911	3997	1.7%
4 月	182974	6099.1	182096	6070	-0.5%
5 月	112499	3629.0	114010	3678	1.3%
6 月	38787.2	1292.9	37645	1255	-2.9%
7 月	25133.5	810.8	26458	853	5.3%
8 月	40474	1305.6	40198	1297	-0.7%
9 月	2191	73.0	1552	52	-29.2%
10 月	18741.6	604.6	18972	612	1.2%
11 月	80251.2	2675.0	79869	2662	-0.5%
12 月	0	0	45	1.5	—
總計	828106	27350.3	828160	27337.5	0.007%

六、屏東地區地下水抽水量推估

(一)建立屏東地區地下水模擬模式

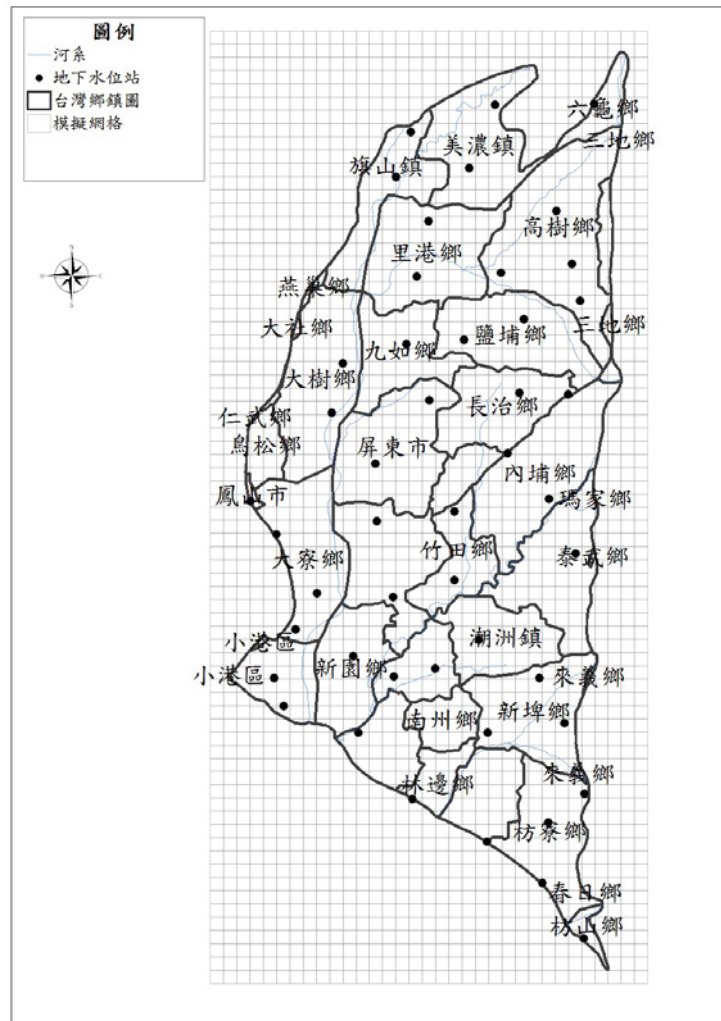
以 MODFLOW 建立屏東地區地下水模擬模式，網格尺寸為 1 公里乘以 1 公里，模式邊界條件設定上假設東、西與北之區域邊界其地質特性無水流流動，設定為零流量 (No flow) 邊界 (Neumann boundary condition)，但在東側部分因與潮州斷層相鄰，有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量，並假設出口處之總水頭高為最近之觀測井的水頭高加上兩處間之高層差，南方邊界以海拔負 10 公尺等高線作為邊界，設為定水頭，水位高為 0 公尺。

(二)屏東地區地下水抽水量推估模式之驗證

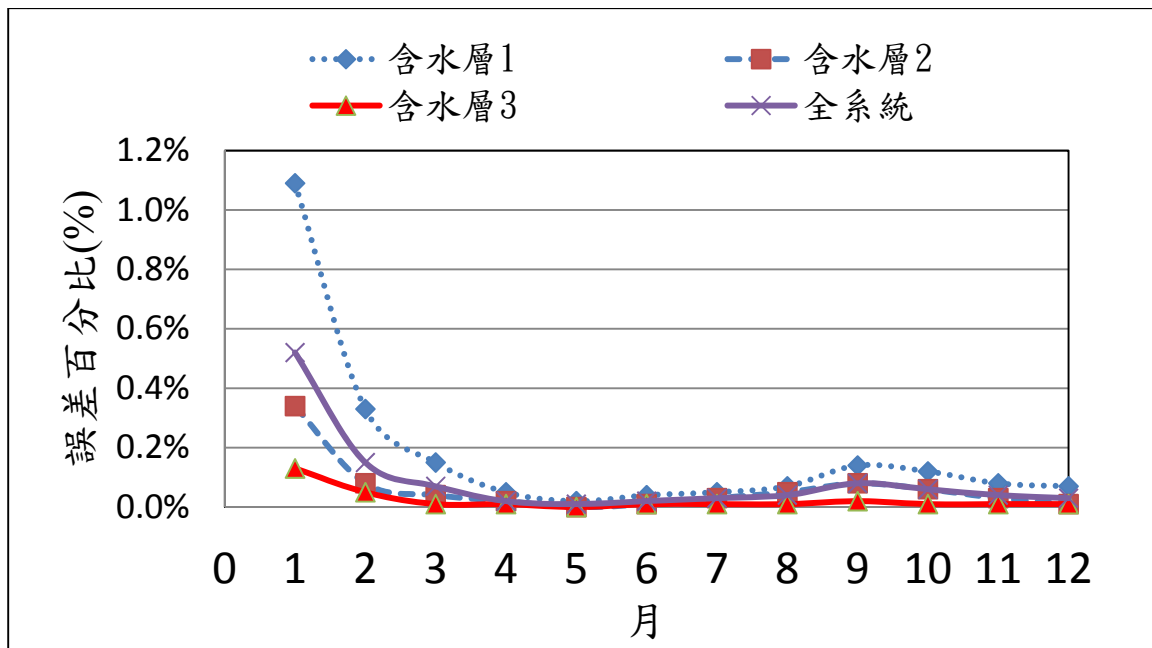
屏東地區地下水井數量龐大、無法詳實調查所有井的位置；在實務管理上只需瞭解區域地下水開發量即可，不需知道每一口井之抽水

量，因此採用井集合(well cluster)的概念，進行屏東地區地下水分區、分層之抽水量推估。針對一區域所進行之推估因非針對單一水井，因此得到之推估值為此區之淨進出水量，若補注大於抽水則為淨補注，若補注小於抽水則為淨抽水，若補注量已知，則可得到各分區之抽水總量。為行政管理方便，以鄉、鎮及市作為分區原則如摘圖 3，將屏東地區劃分為多個空間區域並以地質條件分為 3 個含水層。

為瞭解地下水抽水量推估模式運用在大尺度區域之地下水抽水量(本節所稱之「抽水量」意指為「淨進出水量」)推估準確度，先進行數值模式驗證，驗證結果如摘圖 4，絕大部分誤差在 1%以下。



摘圖 3 屏東平原之示範區域位置圖



摘圖 4 屏東地區數值模式驗證結果

(三)以抽水量推估模式推估屏東地區地下水抽水量

摘表 2 為屏東地區 88 年至 99 年各分區分層之年平均抽水量推估結果，表中數值正值為淨抽水，負值為淨補注。由表可知，含水層 1 之主要補注區為高樹、鹽埔、新埤，含水層 1 之主要抽水區為里港、內埔、枋寮。含水層 2 之主要補注區為高樹、枋寮，含水層 2 之主要抽水區為新埤、萬巒、大樹。含水層 3 主要為淨抽水，其主要抽水區為高樹、里港。由摘圖 5 可知屏東地區主要淨補注區為高樹鄉及山邊之各鄉鎮，而主要之淨抽水區為里港、大樹、屏東及內埔。

摘表 2 各分區 88 年至 99 年之年平均抽水量推估結果

分區 \ 分層	含水層 1	含水層 2	含水層 3
鹽埔	-43	13	-2
麟洛	-6	-6	3
潮州	17	8	4
旗山	7	6	5
萬巒	15	28	7
萬丹	-2	16	15
新園	12	3	11
新埤	-38	31	-9
高樹	-130	-54	51
崁頂	2	4	5
美濃	-7	-6	-1
屏東	39	6	18
南州	-5	3	4
長治	-30	-11	1
林邊	9	8	4
林園	1	2	9
東港	-1	7	5
枋寮	39	-74	19
佳冬	15	7	7
里港	56	-13	35
竹田	10	5	8
內埔	43	13	15
大樹	17	27	20
大寮	-14	15	8
九如	-23	-18	3
平均	-17	18	244

註：正值為淨抽水，負值為淨補注

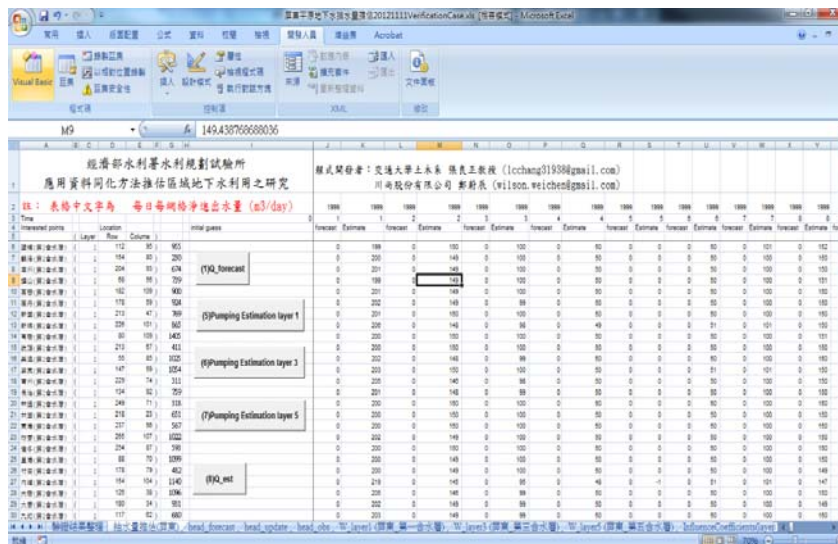
單位： 10^6m^3

七、教育訓練

教育訓練於民國 101 年 11 月 9 日假經濟部水利署水利規劃試驗所舉行。教育訓練內容包括：(1)資料同化技術、(2)地下水井抽水量推估模式、(3)屏東地區地下水模擬模式、及(4)屏東地區地下水抽水量推估

及模式操作。

教育訓練課程中包含地下水抽水量推估模式之操作示範，抽水量推估模式採用 Microsoft Excel 建立使用者操作介面，其中包含了 Modflow2000、抽水量推估模式等相關模組，操作手冊。摘圖 6 為屏東地區地下水抽水量推估模式之使用者介面，使用者只需輸入地下水觀測水位，並按鈕進行計算，即可得到屏東地區各含水層、各分區之地下水淨進出水量。



摘圖 6 屏東地區地下水抽水量推估模式之使用者介面

Abstract

1. Introduction

Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs has built a observation well network by 2008. A lot of geology data have collected during the network building process. In addition, this system has been obtaining groundwater level and water quality data. In Taiwan, pumping information is usually not available. The insufficient pumping information is major difficulty for planning solutions for land subsidence and sea water intrusion problems. Therefore, this project uses nudging data assimilation (DA) techniques to develop a groundwater pumping estimation method and applies the developed method to Pingtung area. Project tasks are: (1) data collection; (2) DA based pumping estimation model development; (3) pumping estimation model verification; and (4) groundwater pumping estimation for Pingtung area; (5) Development of pumping estimation model under Microsoft Excel based user interface.

The results are as followings:

(1) Data collection: The collected data include geology data, hydrology data, physiographic data, groundwater level data between year 1999 and 2010, and some pumping data. The pumping data are used for verification purpose and other data are used for simulation model development.

(2) DA based pumping estimation model development: A groundwater pumping estimation model is built using DA nudging algorithm.

(3) Pumping estimation model verification: The developed pumping estimation model is verified using (a) a hypothetical case, (b) a deep pumping well of Taiwan Sugar corporation; and (c) a numerical experiment test case of Pingtung area. The results show accurate

groundwater pumping estimation.

(4) groundwater pumping estimation for Pingtong area: The groundwater pumping estimation is performed using water level data between year 1999 and 2010. The results show that (a) the major net recharge areas are Kaoshu, Yanpu, and Changchi townships; and the major net pumping areas are Likung township, Dashu township, Neipu township, and Pingtong city; (b) Major net recharge months are between June and September; other months are net pumping; (c) The first aquifer has a net recharge volume of 17 million cubic meters; the second aquifer has a net pumping volume of 18 million cubic meters; and the third aquifer has a net pumping volume of 244 million cubic meters annually.

(5) Development of pumping estimation model under Microsoft Excel based user interface: A Microsoft Excel based groundwater pumping estimation model is developed. Users input only monthly average groundwater level observation data for groundwater pumping estimation for the Pingtong area. The estimation result shows the space distribution of monthly net pumping/recharge volume for Pingtong area.

2. Data collection

(1) Select the studied area

Due to data availability and the importance of the groundwater resources, Pingtong area is selected as the studied area. In the studied area, 10 plus years of data are collected. Observation facilities include 53 observation wells, 9 pumping test stations, and hydrogeological investigation stations.

The groundwater basin includes 3 aquifers. Figure 1 shows the studied area, aquitard distribution, and observation well locations.

Confined aquifers are located at fan central and fantail. Most area has conductivity K between 10^{-3} m/s and 10^{-4} m/s. Very few area has K at about 10^{-5} m/s. The groundwater transmissivity is about $3 \times 10^{-5} \sim 15.1 \text{ m}^2 / \text{min}$. The specific volume Q/s is between 0.004 and 654.5 cmh/m.

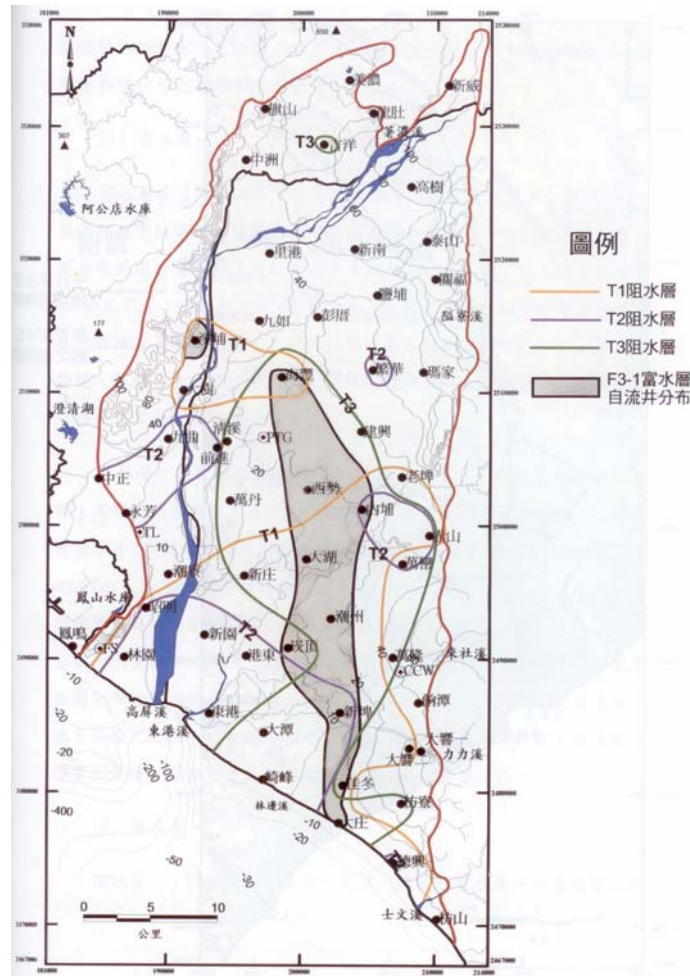


Figure 1 Study area, aquitard distribution, and observation well location

(2) Data collected

Collected data include groundwater level, precipitation, storage coefficient, conductivity, hydrogeological structure, some pumping

data between year 1999 and 2010.

3. Collected Reference

(1) Groundwater pumping estimation

Water balance method is the most commonly used method for groundwater pumping estimation. This study collects pumping estimation studies in the world and the historical pumping estimation for Pingtong area.

(2) Data assimilation (DA)

DA is a widely used technology in Meteorological science. Based on the optimization concept, the distributed observation data in space and in time are collected and used in the simulation, analysis and forecast. The major parts of DA application are: (1) observation data, (2) numerical model, and (3) selected DA approach.

This study introduces major DA approaches including nudging, Best Linear Unbiased Estimation (BLUE), Kalman filter (KF), Extended Kalman filter (EKF), Ensemble Kalman filter (EnKF), Kalman Smoother (KS), 3-D Variational method, 4-D variational method. The reference focuses on the studies and application of the nudging algorithm which is the selected approach for the pumping estimation.

4. Groundwater pumping estimation model

(1) Develop a GA based groundwater pumping estimation

Introduce the methodology, the math, procedure, and the application of the nudging algorithm. The estimated pumping is

considered as the sink term in the governing equation.

$$P \frac{h_{k+1} - h_k}{\Delta t} = Lh_{k+1} + q_{k+1} + G(h^o - Ch_{k+1}) \quad (1)$$

where G (L^2/T) is a ($n \times n_o$) matrix called the gain matrix ; n_o is the number of the observation; h^o is the observation head ; C is 0 and 1 matrix which projects the head distribution onto the observation space.

Two steps are needed to transfer head drawdown into pumping rate :

- (1) The head residual is distributed and converted into pumping rates;
- (2) The multiple pumping estimations are combined into one estimation for each pumping well.

$$d_{u+1,i} = h_{u+1,i}^0 - \sum_{j=1}^{n_w} \Delta h_{i,j} = \sum_{j=1}^{n_w} (w'_{i,j} \cdot d_{u+1,i}) \quad (2)$$

where $c_{i,s}$ is one for the cell representing observation well s and is 0 for all other cells. The distance-weighted function is adopted to calculate $\Delta h_{i,j}$ which is then be converted into pumping rate using influence coefficient method, or called response coefficient method. :

$$\Delta q_{i,j} = \frac{1}{r_{i,j}} \Delta h_{i,j} = \frac{\partial q_j}{\partial h_i} \Delta h_{i,j} \quad (3)$$

where influence coefficient is defined as $r_{i,j} = \partial h_i / \partial q_j$.

(2) Hypothetical case study

Verify the developed model using a hypothetical case study with four scenarios: (1) constant pumping rate, (2) various pumping rate, (3) dynamically changing pumping rate, and (4) consideration of observation error. The case studies show good results.

5. Verification on small scale pumping estimation

(1) Select a verification area

Figure 2 shows the selected area for the verification. The Kantin pumping well No.1 is selected for the verification study.

(2) Develop a simulation model for the selected area

The space precision of simulation model is increased to 250m by 250m.

(3) Verify the pumping estimation model

Table 1 shows the verification results.



Figure 2 The selected verification study area of the Pingtong area

Table 1 Pumping estimation result

Month	Real Pumping		Estimated Pumping		Error Percentage(%)
	Monthly Total (m ³)	Daily Average (m ³ /day)	Monthly Total (m ³)	Daily Average (m ³ /day)	
1 月	115430	3723.5	117143	3779	1.5%
2 月	89750.5	3205.4	86261	3081	-3.9%
3 月	121874	3931.4	123911	3997	1.7%
4 月	182974	6099.1	182096	6070	-0.5%
5 月	112499	3629.0	114010	3678	1.3%
6 月	38787.2	1292.9	37645	1255	-2.9%
7 月	25133.5	810.8	26458	853	5.3%
8 月	40474	1305.6	40198	1297	-0.7%
9 月	2191	73.0	1552	52	-29.2%
10 月	18741.6	604.6	18972	612	1.2%
11 月	80251.2	2675.0	79869	2662	-0.5%
12 月	0	0	45	1.5	—
總計	828106	27350.3	828160	27337.5	0.007%

6. Pumping estimation of Pingtong area

(1) Simulation model

The simulation model is developed using MODFLOW with grid size of 1km by 1km.

(2) Verification of the pumping estimation model for Pingtong area

Due to large number of pumping wells, the data of pumping well locations and pumping rates are not available. This study adopts the concept of well cluster to zonate Pingtong area based on the administrative districts as shown in Figure 3. The number of aquifers is 3 for Pingtong area. For a single well, the estimated result is the estimated pumping rate. For an area (or well cluster), the estimated result is the net water recharge/pumping rate.

The verification result, Figure 4, shows that most error is smaller

than 1%.

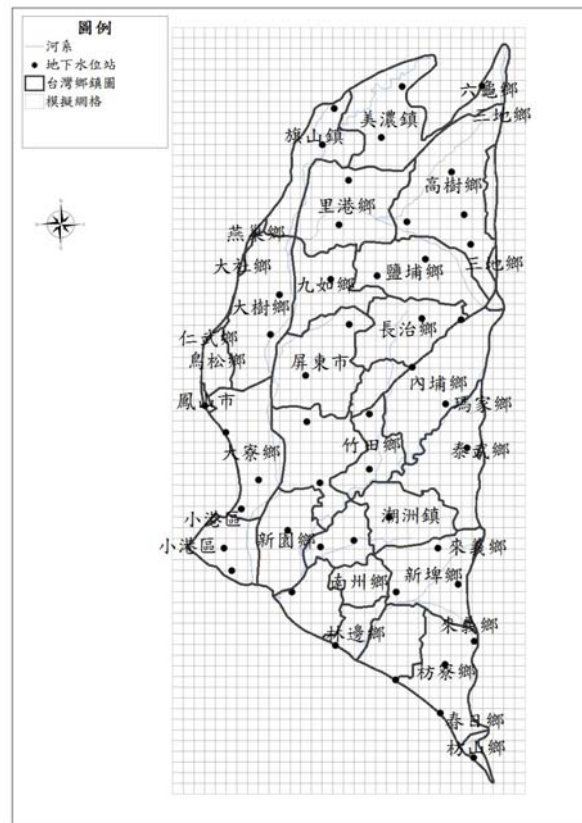


Figure 3 The zones of Pingtung area.

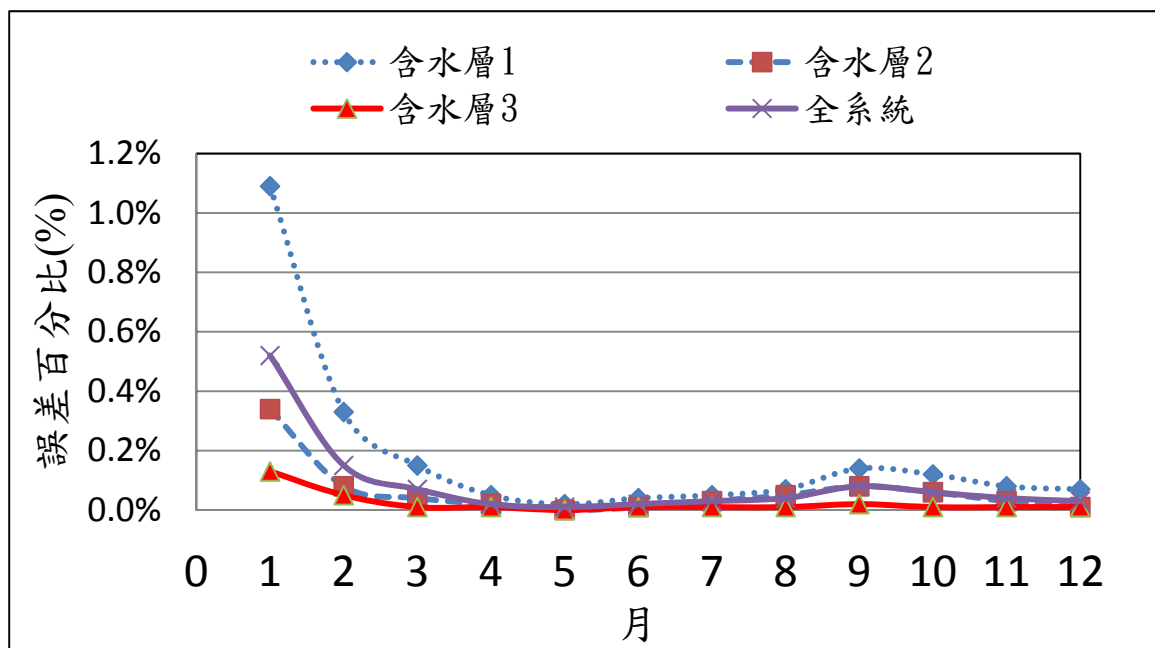


Figure 4 Verification result of Pingtung area

(3) Pumping estimation of Pingtong area.

Table 2 shows the pumping estimation results between year 1999 and 2000. The positive values represent net pumping and the negative values indicate net recharge. The results show that the major net recharge areas are Kaoshu, Yanpu, and Xinpi in the first aquifer; Kaoshu and Fanliao in the second aquifer. The major net pumping areas are Likang, Neipu, and Fanliao in the first aquifer; Xinpi, Wanluan, and Dahsu in the second aquifer. The third aquifer is basically net pumping area.

Table 2 Pumping estimation result between 1999 and 2010

Aquifer Zone	First	Second	Third
Yanpu	-43	13	-2
Linlo	-6	-6	3
Chochou	17	8	4
Chisan	7	6	5
Wanluan	15	28	7
Wandan	-2	16	15
Xinyuan	12	3	11
Xinpi	-38	31	-9
Kaoshu	-130	-54	51
Kanting	2	4	5
Meilung	-7	-6	-1
Pingtong	39	6	18
Nanchou	-5	3	4
Chanchi	-30	-11	1
Linbian	9	8	4
Linyuan	1	2	9
Donkong	-1	7	5
Fanliao	39	-74	19
Chidung	15	7	7
Likang	56	-13	35
Zhutian	10	5	8
Neipu	43	13	15

Dashu	17	27	20
Daliao	-14	15	8
Chozu	-23	-18	3
Average	-17	18	244

Note : Positive values are net pumping; Negative values are net recharge
Unit: Million tons

7. Education and training

The education and training class is hold on 11/9/2012 at Water Resources Planning Institute, Water Resources Agenc, MOEA. The class includes (1) DA technology, (2) groundwater pumping estimation model, (3) groundwater simulation model of the Pingtong area, and (4) groundwater pumping estimation model with model running training. Figure 5 shows the user interface of pumping estimation model.

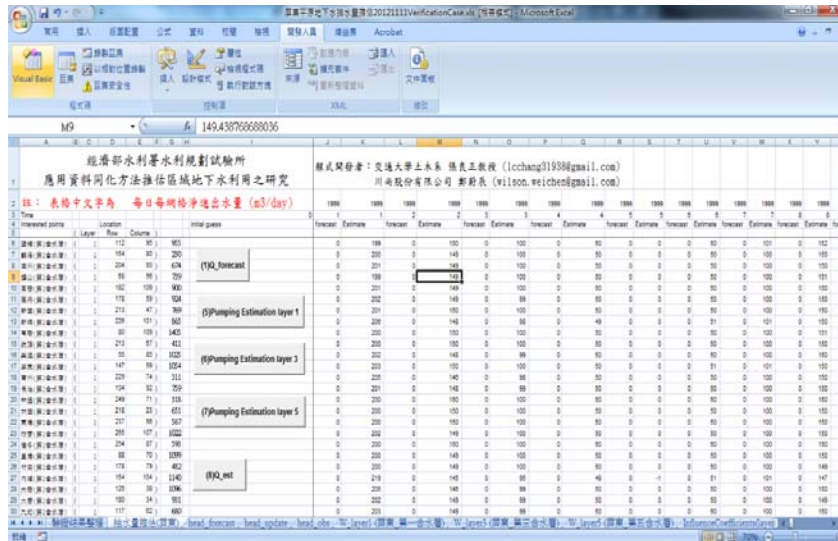


Figure 5 The user interface of groundwater pumping estimation model

結論與建議

一、結論

- (一) 抽水量之誤差雖略大於水位之誤差，然在地下水推估領域實屬極小之誤差。以用流量其校正地下水水位可得到較合理之起始水位，並藉由增加資料同化的次數逐步降低模擬誤差，此為資料同化方法之重要特色。
- (二) 本計畫所採用之地下水推估方法與過去屏東地區所採用地下水抽水量推估方法不同之處有：(1)可採用觀測站網及時之地下水位觀測資訊，進行地下水抽水量推估；(2)若水井位置及深度已知，此方法可推求各水井在各含水層之抽水量。
- (三) 建立一個以 Microsoft Excel 為使用者介面之屏東地區區域水井地下水抽水量推估模式，可方便使用者透過輸入地下水水位觀測資料，即可分析屏東地區區域水井地下水抽水量之空間分佈。
- (四) 依屏東地區之行政區(鄉、鎮、市)及地下水水文地質架構進行分區及分層，應用區域水井地下水抽水量推估方法，分析屏東地區民國 88 年至 99 年之抽水量(淨進出水量)之空間分佈。
- (五) 屏東地區民國 88 年至 99 年間，主要補注月份為 6 至 9 月，其餘月份則抽水大於補注，其中補注主要來自含水層 1，而含水層 3 之抽水量大於補注量，其中民國 96 年以前全系統之淨抽水量有下降之趨勢，然 96 年以後，淨抽水量略有上升。屏東地區若以鄉鎮分界進行分析，主要淨補注區為高樹鄉、鹽埔、長治等鄉鎮，而主要之淨抽水區為里港、大樹、屏東及內埔；其中，含水層 1 之主要補注區為

高樹、鹽埔、新埤，主要抽水區為里港、內埔、枋寮；含水層 2 之主要補注區為高樹、枋寮，主要抽水區為新埤、萬巒、大樹；含水層 3 主要為淨抽水，主要抽水區為高樹、里港。

二、建議

- (一) 建議未來將新的水文地質調查資料、鑽井資料、水井調查等資料用於地下水模擬模式，不僅能提昇水文地質及參數調查精度，並可提高地下水推估模式之精度及準確度。
- (二) 建議將本計畫開發之地下水抽水量推估模式與水利署之地下水水位資料庫進行聯接，使其能快速且自動提供地下水抽水量分佈之資訊，發揮資料同化技術即時且快速分析之特點，作為地下水管理之參考。
- (三) 本計畫之地下水抽水量推估模式以屏東地區數值模式進行開發，故僅適用屏東地區，建議後續研究可以此資料同化方法為基礎，應用於不同之地區，如彰化、雲林地區，進行地下水抽水量推估模式開發。
- (四) 由於抽水量推估模式若非推估單一水井，則無法直接分出抽水量與補注量，其推估之結果為系統之淨進出量。建議未來可利用其他方法推估計畫區域之補注量，若補注量已知，則可直接計算出抽水量。

第壹章 前言

一、計畫緣起與目的

經濟部水利署已於民國九十七年完成台灣地區平原地區地下水位觀測站網的階段性建置，除了獲得豐富的水文地質資料外，隨著觀測的進行，陸續亦有大量地下水位與水質資料。如何充分利用地下水站網豐富的觀測資料以加強地下水資源的管理，發揮站網的效益，乃是站網建立後重要的議題之一。台灣地區以往地下水管理的主要問題，首在地下水超抽所造成的各種災害，如地層下陷、海水入侵等，而解決這些問題最大的困難之一，乃是各區域水井地下水抽水量之資料嚴重不足且取得不易。長期以來，由於對地下水抽水量及其空間分佈瞭解不足，而無法對地下水超抽問題，提出完善之對策，其中地下水抽水量及其空間分布的推估，亦是地下水相關研究最大難題之一。因此，如何善用地下水站網觀測資料，應用系統化的分析方法推估區域地下水抽水量及其空間分佈，以為地下管理的基礎，乃是目前的重要課題。

資料同化技術在大氣科學領域已被廣泛應用，其特色為透過有限的觀測資料，對系統內各狀態變數的變化及空間分佈，能有更接近實際情況的描述。然而資料同化技術在地下水領域甚少應用實例，對此本計畫乃針對臺灣地區地下水系統及資料之特性，應用地下水位觀測網所蒐集之地下水位資料，進行資料同化之研究，並發展適用於臺灣之區域水井地下水抽水量推估之方法。

二、計畫工作項目及內容

以屏東地下水分區為研究範圍進行下列工作：

(一) 基本資料收集

1、收集研究區域地下水系統資料及分析

2、資料同化之相關文獻蒐集

(二) 區域地下水抽水量推估模式建立

- 1、建立以資料同化技術為基礎之區域水井地下水抽水量推估模式
- 2、假設情境驗證推估模式

(三) 模式應用於小區域抽水量推估驗證

- 1、依既有地下水觀測網分佈情形及含水層特性條件，選擇適當小地區做為模式驗證區域
- 2、建立模式驗證區域之地下水模擬模式
- 3、結合第二項之抽水量推估模式與模式驗證區域之地下水模擬模式，進行驗證區域抽水量推估

(四) 屏東地區地下水抽水量推估

- 1、建立屏東地區地下水模擬模式
- 2、結合第二項之抽水量推估模式與屏東地區地下水模擬模式，
- 3、進行屏東地區地下水抽水量推估
- 4、資料同化技術優缺點之分析

(五) 教育訓練

- 1、利用資料同化技術推估區域地下水抽水量模式技術轉移

(六) 工作簡報及報告編撰

- 1、期初、期中、期末及不定期工作會報
- 2、「應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究」專題報告

書之編撰

三、研究流程與架構

本計畫將收集屏東平原之水文、地文及地下水水位觀測資料以建立地下水模式，並以資料同化技術建立地下水抽水量推估模式，進行地下水抽水量推估工作。整體工作流程如圖 1-1 所示，並分節說明如後。

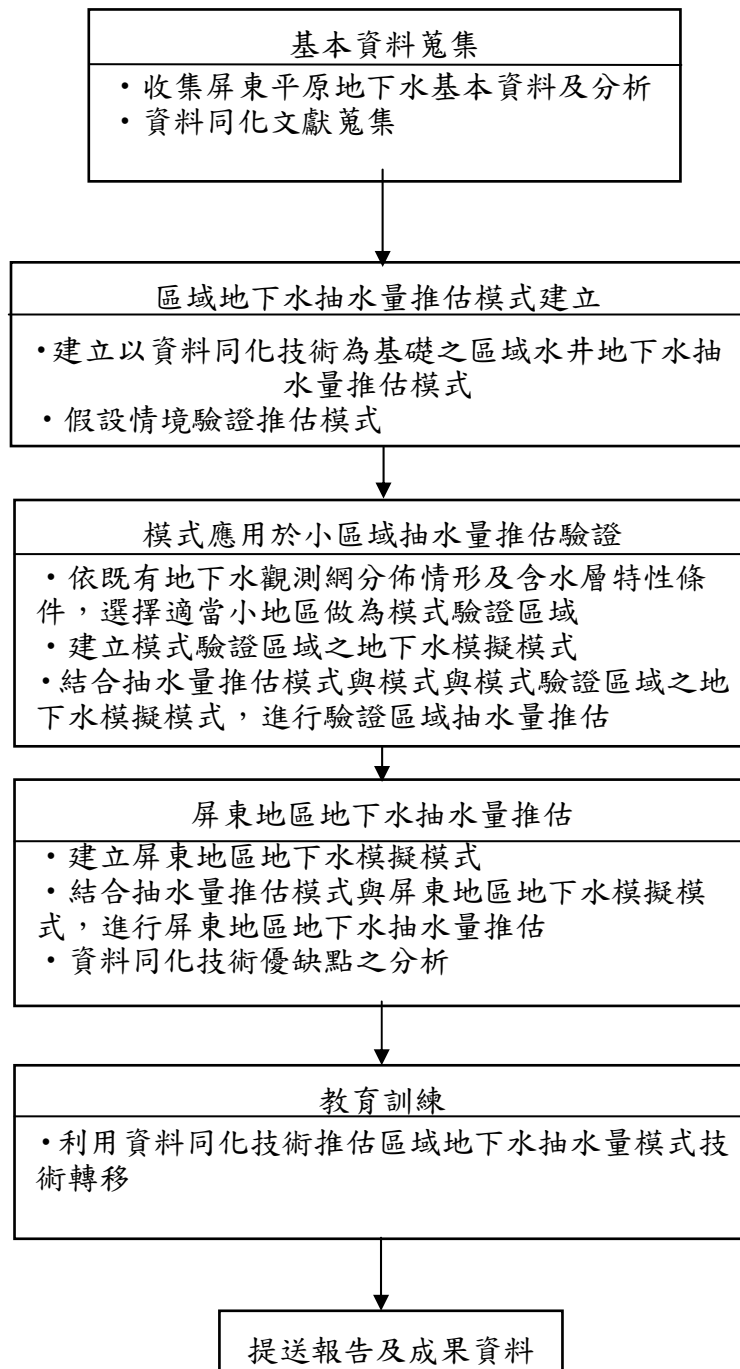


圖 1-1 計畫執行流程圖

第貳章 資料蒐集與彙整

一、計畫區域選定與概述

屏東平原為台灣重要地下水區之一，且沿海地區地層下陷較為嚴重，屬於「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」的辦理期程之第一階段(81年度至87年度)，已完成地下水觀測站網之建置，觀測年份已達10年以上，地下水觀測站共計53站(132口)，抽水試驗站共有9站(23口)，水文地質調查站有52站。地下水位觀測資料、地質參數、相關研究及規劃成果較為豐富，對於資料分析及數值模擬有相當大的助益；此外，地下水資源對屏東地區之社經發展極為重要，故選定屏東地區為本計畫研究區域，以下針對屏東地區之地下水及水文地質進行摘要描述。

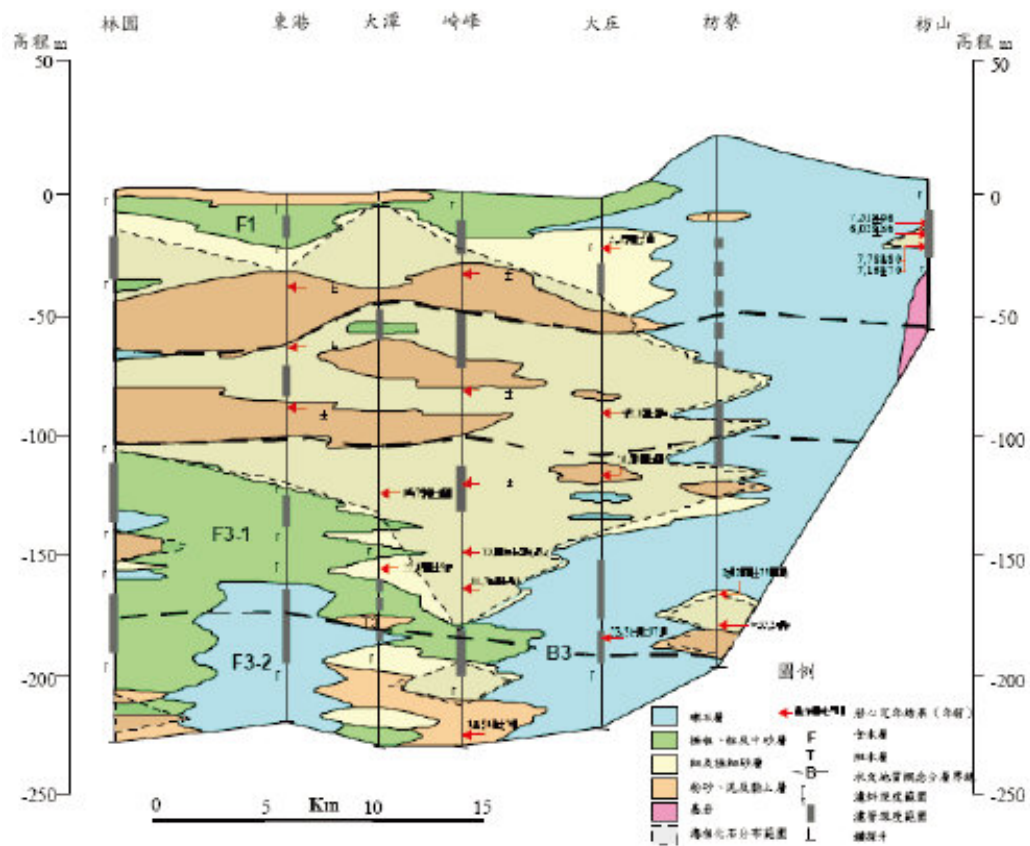
(一)區域範圍

屏東平原位於臺灣之西南端，北與阿里山山脈的南端相隔，西接嶺口丘陵地，南接臺灣海峽，東以潮州斷層與中央山脈南端大武山山脈相隔，海拔100公尺以下之平原地帶面積約1,130平方公里。本區域南北長約50公里，東西寬約20公里，地勢由東北向西南緩斜，內有高屏溪、東港溪及林邊河流域等主要河川貫穿本區，注入臺灣海峽。

(二)水文地質架構

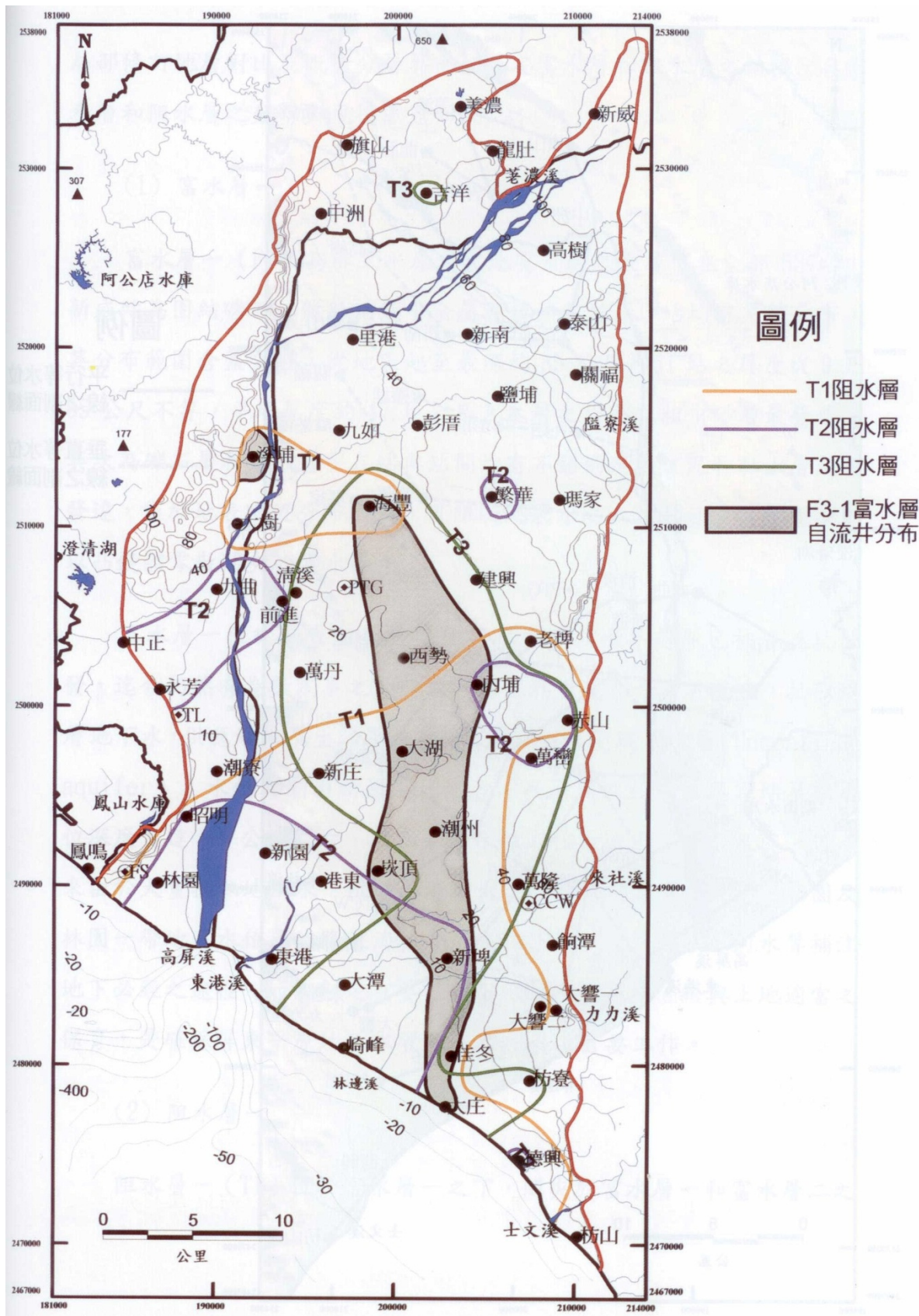
屏東平原深約220公尺內之水文地質分層，由上而下可劃分含水層1、阻水層1、含水層2、阻水層2、含水層3-1、阻水層3及含水層3-2等七層。含水層極為發達，厚度大且延展遍佈全區；阻水層則間夾於含水層中，厚度遠小於含水層並且僅分布於平原南段，因此含水層只於南側有顯著之分隔，而北及東側則合而為一。依屏東平原之地質鑽探成果及前省水利局美濃和大響觀測井資料，繪製九條水文地質剖面，茲以其中一條剖面如圖2-1

所示，而阻水層分布區示意如圖 2-2 所示。



資料來源：經濟部中央地質調查所

圖 2-1 屏東平原水文地質剖面



資料來源：經濟部中央地質調查所

圖 2-2 阻水層分布區示意圖

(三)地下水觀測

屏東地區屬於「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」的辦理期程之第一階段（81 年度至 87 年度），因該沿海地區地層下陷較為嚴重，因此優先規劃實施。目前已建置地下水觀測站 53 站（132 口），抽水試驗站 9 站（23 口），水文地質調查站 52 站。圖 2-3 為屏東地區地下水觀測網分布圖。

(四)水文地質參數

屏東地區大致可區分為扇頂、扇央及扇尾區，扇頂區約位於吉洋、里港、彭厝、建興、赤山、萬隆、德興聯線以東，可稱為聯合沖積扇扇頂，大約是以礫石層頂部之深度為 50 公尺之等厚度線為界線；扇央區位於扇頂層區以西，至九曲、萬丹、崁頂、大庄聯線以東；扇尾區位於扇央區以西至沿海。扇央及扇尾為區域受壓含水層。各層的透水係數 K 除了少數在 10^{-5} m/sec 以外，其餘皆介於 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ m/sec 之間，傳導率 T 介於 $3 \times 10^{-5} \sim 15.1$ m^2/min 之間，比容量 Q/s 介於 0.004-654.5 cmh/m。含水層特性參數的算數平均值為扇頂大於扇央大於扇尾區，各含水層以含水層一最佳，含水層水力特性以扇頂最佳，扇央次之，扇尾最差。

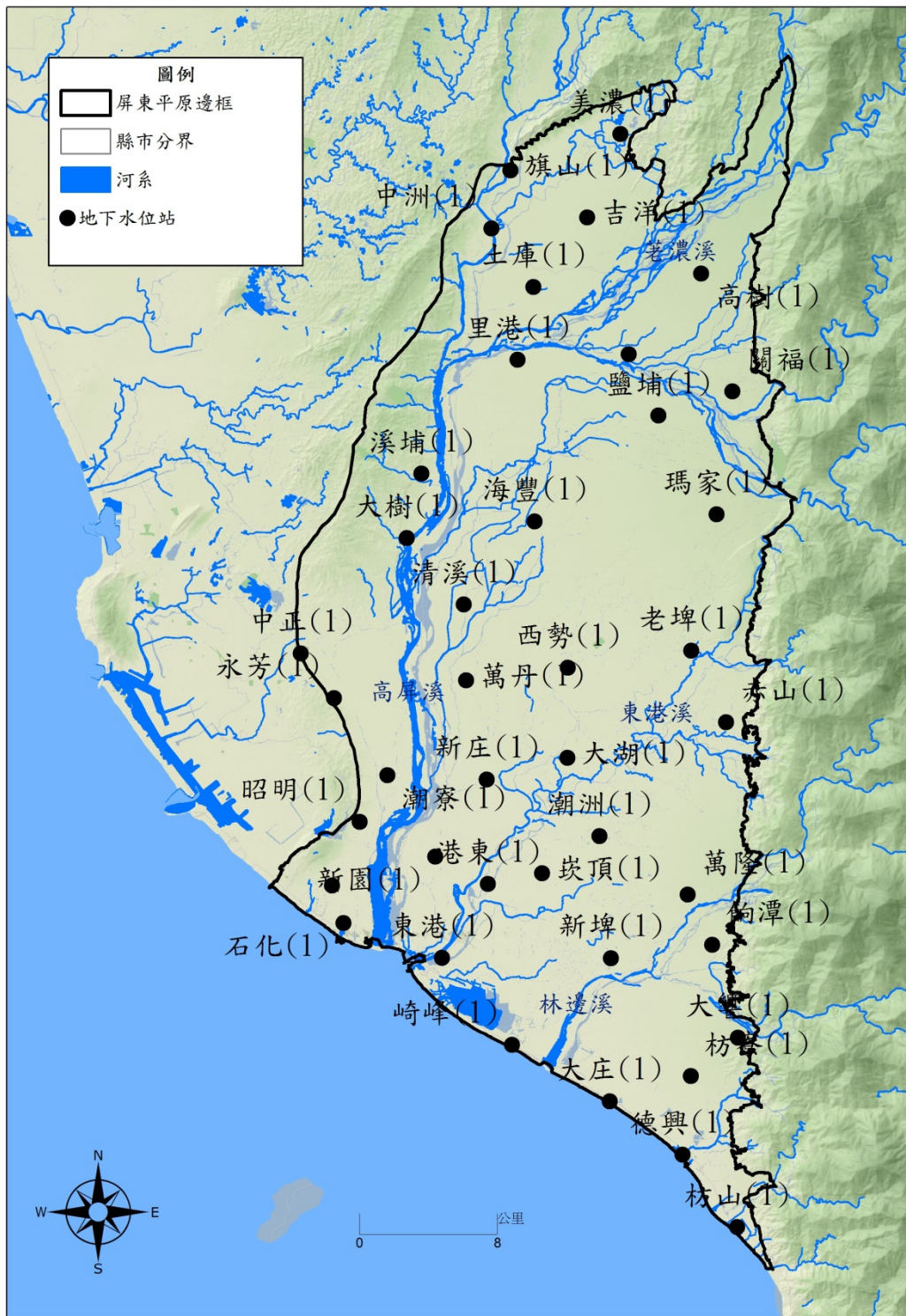


圖 2-3 屏東地區地下水觀測網站井分布圖

二、資料蒐集

本計畫為了對屏東地區進行地下水數值模式及抽水量推估模式模擬，蒐集屏東地區各項資料，如地下水位、雨量、儲水係數、透水係數、抽水量等相關資料，詳述如下。

(一)地下水位

本計畫自臺灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質調查研究總報告，蒐集位於含水層 1(F1)、含水層 2(F2)及含水層 3(F3)深度內之地下水觀測井各約 43 口、28 口及 35 口之導水係數、透水係數等資料，並由經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統取得各井每日地下水位資料，整理如表 2-1~表 2-3 所示。其各井空間分佈圖如圖 2-4~2-6 所示。

其中本計畫以吉洋工作站替代吉洋站選用為模式應用之觀測井，原因為兩站只相鄰數百公尺(如圖 2-7)，加上吉洋工作站開孔深度為地下 10 米深遠比吉洋站 70 米深來的淺的許多，對於屏東平原地下水數值模式之建立，所能提供資訊較少，故以吉洋工作站替代原吉洋站。

表 2-1 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井資料列表

井名	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	T(m ² /min)	K(m/min)	蒐集資料區段
中正(1)	185015	2503504	0.1166	0.006478	1999~2010
石化(1)	187485	2487965	0.2669	0.01019	1999~2010
林園(1)	186809	2490130	0.4032	0.01614	1999~2010
潮寮(1)	190004	2496500	4.072	0.1314	1999~2010
永芳(1)	186942	2500950	0.568	0.03156	1999~2010
昭明(1)	188414	2493802	0.0028	0.0001074	1999~2010
溪埔(1)	191978	2513893	0.7586	0.04212	1999~2010
大樹(1)	191135	2510159	0.859	0.03582	1999~2010
土庫(1)	198425	2524645	4.63	0.08602	1999~2010
中洲(1)	195993	2528009	0.6914	0.01278	1999~2010
旗山(1)	197100	2531368	0.47	0.0348	1999~2010

吉洋工作站(1)	201510	2528640	8.1103	0.0588	1999~2010
美濃(1)	185015	2503504	0.0144	0.0012	1999~2010
新威(1)	203424	2533457	0.0001	0.0000042	1999~2010
清溪(1)	210915	2533502	0.2733	0.0114	1999~2010
海豐(1)	194408	2506330	2.41	0.1608	1999~2010
潮州(1)	198476	2511130	0.3346	0.1032	1999~2010
東港(1)	202232	2492984	0.6899	0.04056	1999~2010
新庄(1)	193156	2485971	0.7103	0.02088	1999~2010
萬丹(1)	195738	2496246	0.4682	0.01638	1999~2010
繁華(1)	194540	2501970	1.5513	0.0648	1999~2010
里港(1)	197514	2520447	1.9041	0.03342	1999~2010
鹽埔(1)	205622	2517240	1.6603	0.1194	1999~2010
高樹(1)	208068	2525407	2.9	0.03336	1999~2010
新南(1)	203915	2520763	0.5753	0.0636	1999~2010
關福(1)	209883	2518620	1.531	0.02352	1999~2010
赤山(1)	209521	2499542	0.0199	0.004476	1999~2010
老埤(1)	207504	2503670	0.4703	0.04554	1999~2010
西勢(1)	200397	2502704	0.2698	0.004956	1999~2010
大湖(1)	200368	2497500	2.0402	0.0726	1999~2010
新埤(1)	202895	2485957	0.1602	0.00798	1999~2010
萬隆(1)	206802	2490112	6.0212	0.1158	1999~2010
大嚮(1)	210206	2481360	4.2182	0.062032	1999~2010
餉潭(1)	208707	2486714	1.7232	0.04788	1999~2010
枋寮(1)	207476	2479160	15.107	0.3522	1999~2010
大庄(1)	202810	2477706	0.0862	0.00261	1999~2010
德興(1)	207000	2474613	1.196	0.03738	1999~2010
崁頂(1)	198929	2490845	0.267	0.005052	1999~2010
港東(1)	195798	2490241	0.6095	0.01326	1999~2010
崎峰(1)	197186	2480959	0.2698	0.0231	1999~2010
瑪家(1)	208976	2511539	1.7653	0.04542	1999~2010
枋山(1)	210142	2470440	0.1705	0.01716	1999~2010
新園(1)	192774	2491800	0.7449	0.0441	1999~2010

表 2-2 含水層 2(F2)28 口地下水觀測井資料列表

井名	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	T(m ² /min)	K(m/min)	蒐集資料區段
東港(2)	193156	2485971	0.4912	0.0289	1999~2010
赤山(2)	209521	2499542	0.0262	0.0022	1999~2010
萬巒(1)	207498	2497135	1.2589	0.0370	1999~2010
崎峰(2)	197186	2480959	0.3382	0.0154	1999~2010
西勢(2)	200397	2502704	0.3313	0.0236	1999~2010
萬丹(2)	194540	2501970	0.7828	0.0148	1999~2010
新庄(2)	195738	2496246	0.2085	0.0139	1999~2010
建興(1)	204395	2507086	1.5809	0.0527	1999~2010
大潭(1)	197223	2484465	0.2136	0.0119	1999~2010
瑪家(2)	208976	2511539	0.665	0.0370	1999~2010
海豐(2)	198476	2511130	3.72	0.0465	1999~2010
泰山(1)	209266	2521392	0.9525	0.0227	1999~2010
高樹(2)	208068	2525407	2.1	0.0129	1999~2010
九如(1)	196776	2515370	0.9834	0.0179	1999~2010
中洲(1)	195993	2528009	0.6914	0.0128	1999~2010
美濃(2)	203424	2533457	0.6718	0.0240	1999~2010
內埔(1)	204467	2501222	1.65	0.0065	1999~2010
中正(2)	185015	2503504	0.1794	0.0064	1999~2010
九曲(1)	190013	2506511	1.1783	0.0169	1999~2010
清溪(2)	194408	2506330	1.9962	0.0356	1999~2010
大樹(2)	191135	2510159	1.431	0.0341	1999~2010
旗山(2)	197100	2531368	0.918	0.0173	1999~2010
吉洋(1)	201510	2528640	8.1103	0.0588	1999~2010
彭厝(1)	201104	2515658	1.4629	0.0612	1999~2010
新南(1)	203915	2520763	0.5753	0.0636	1999~2010
大湖(2)	200368	2497500	0.3762	0.0188	1999~2010
枋寮(2)	207476	2479160	0.404	0.0144	1999~2010
林園(2)	186809	2490130	0.202	6.49E-08	1999~2010
大響(2)	210206	2481360	1.184	0.0101	1999~2010

表 2-3 含水層 3(F3)35 口地下水觀測井資料列表

井名	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	T(m ² /min)	K(m/min)	蒐集資料區段
潮洲(2)	202232	2492984	0.6775	0.0075	1999~2010
東港(3)	193156	2485971	0.509	0.0242	1999~2010
大庄(2)	203310	2478206	1.1549	0.0350	1999~2010
港東(2)	195798	2490241	0.3872	0.0302	1999~2010
萬巒(2)	207498	2497135	0.3411	0.0244	1999~2010
崎峰(3)	197186	2480959	0.1035	0.0021	1999~2010
西勢(4)	200397	2502704	1.7549	2.09E-07	1999~2010
萬丹(3)	194540	2501970	1.0847	0.0236	1999~2010
新庄(3)	195738	2496246	1.3772	0.1062	1999~2010
潮寮(2)	190004	2496500	1.7	0.0340	1999~2010
新園(2)	192774	2491800	1.6484	0.0337	1999~2010
新埤(2)	202895	2485957	1.0643	0.0313	1999~2010
建興(2)	204395	2507086	1.8435	0.0768	1999~2010
大潭(2)	197223	2484465	0.5632	0.0352	1999~2010
瑪家(3)	208976	2511539	0.1015	0.0051	1999~2010
海豐(3)	198476	2511130	0.1299	0.0108	1999~2010
鹽埔(2)	205622	2517240	0.6152	0.0453	1999~2010
泰山(2)	209266	2521392	0.7712	0.0322	1999~2010
九如(2)	196776	2515370	0.4341	0.0181	1999~2010
里港(2)	197514	2520447	0.4015	0.0143	1999~2010
中洲(2)	195993	2528009	0.7642	0.0153	1999~2010
永芳(2)	186942	2500950	0.0715	0.0026	1999~2010
萬隆(2)	207302	2489612	0.1308	0.0054	1999~2010
九曲(2)	190013	2506511	0.171	0.0143	1999~2010
清溪(3)	194408	2506330	0.5229	0.0145	1999~2010
大樹(3)	191135	2510159	1.207	0.0201	1999~2010
吉洋(2)	201510	2528640	0.4753	0.0149	1999~2010
彭厝(2)	201104	2515658	1.4317	0.1194	1999~2010
關福(2)	209883	2518620	0.675	0.0070	1999~2010
大湖(3)	200368	2497500	1.4388	0.0164	1999~2010
德興(2)	207000	2474613	0.2419	0.0089	1999~2010
赤山(3)	209521	2499542	0.0048	0.0001	1999~2010
老埤(2)	207504	2503670	0.4939	0.0164	1999~2010
昭明(2)	188414	2493802	0.114	2.64E-08	1999~2010

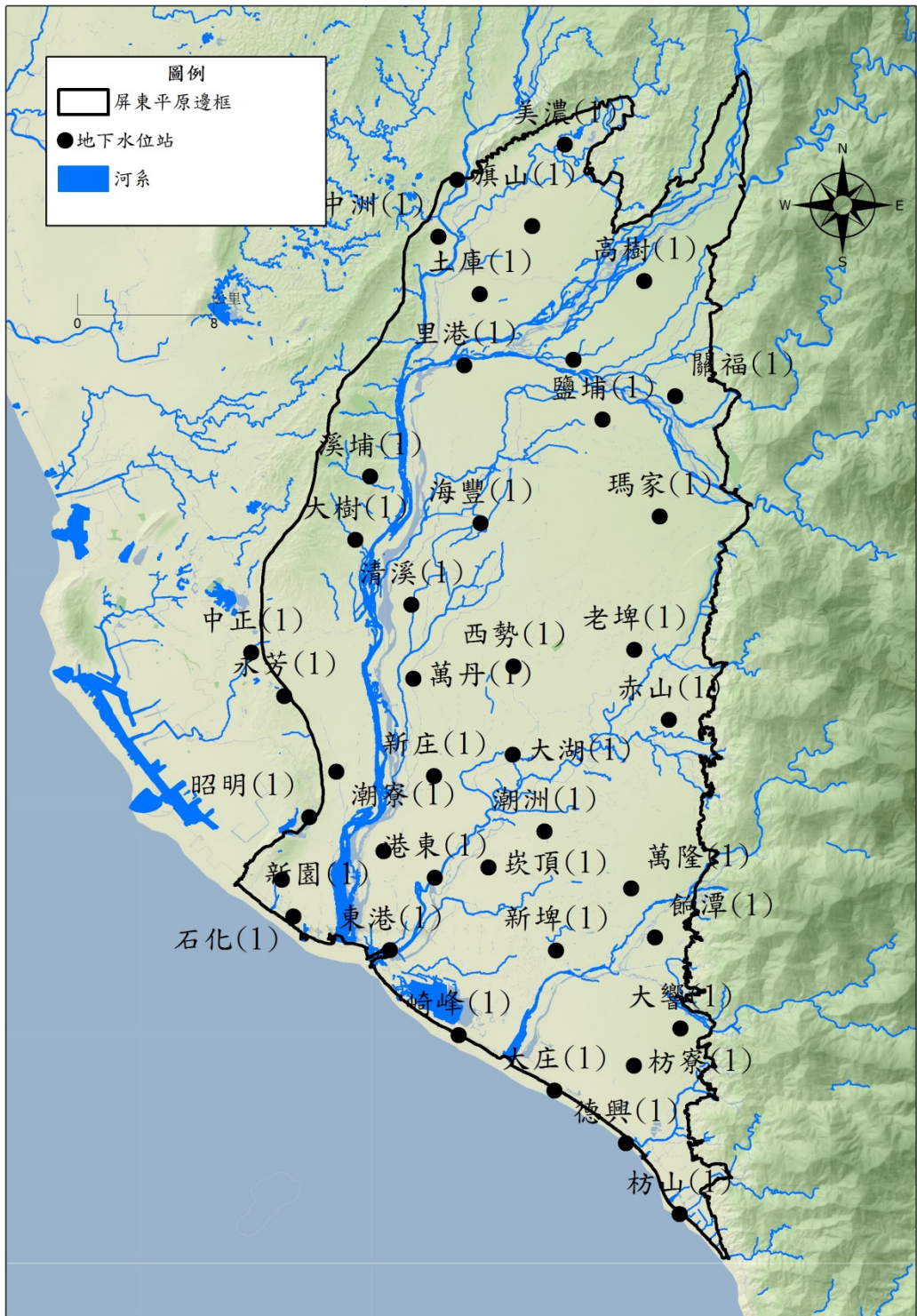


圖 2-4 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井分布圖

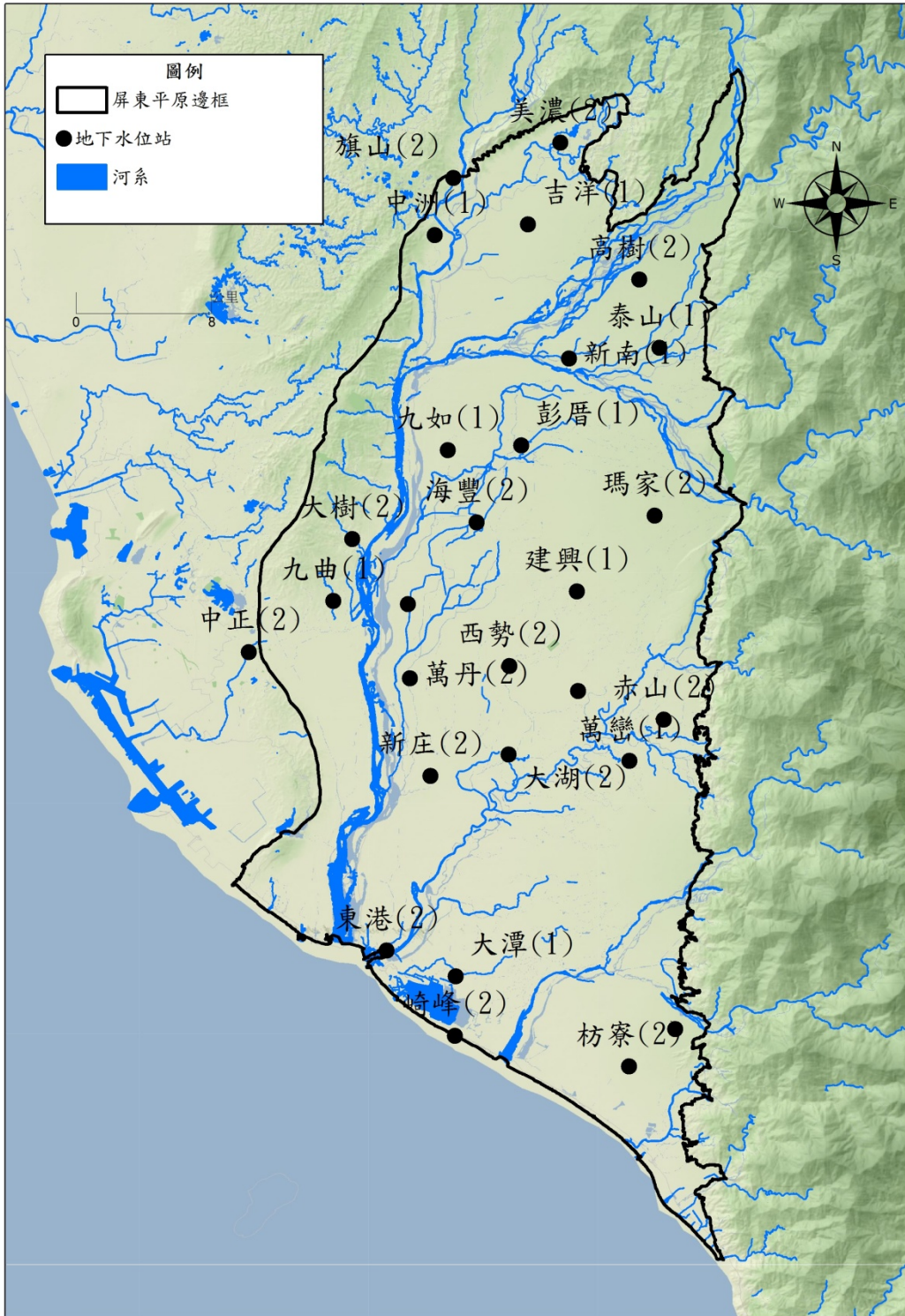


圖 2-5 含水層 2(F2)28 口地下水觀測井分布圖

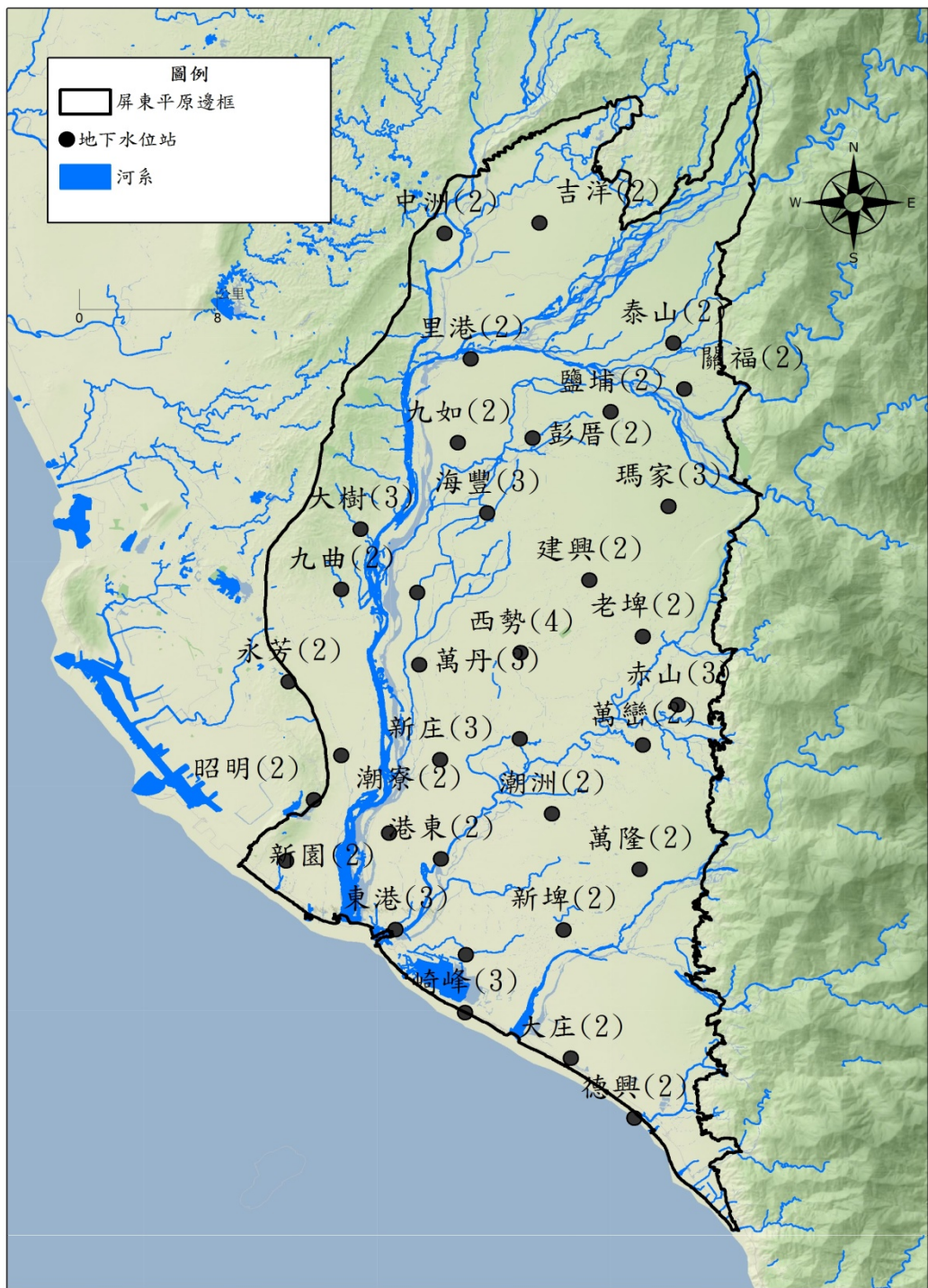


圖 2-6 含水層 3(F3)35 口地下水觀測井分布圖

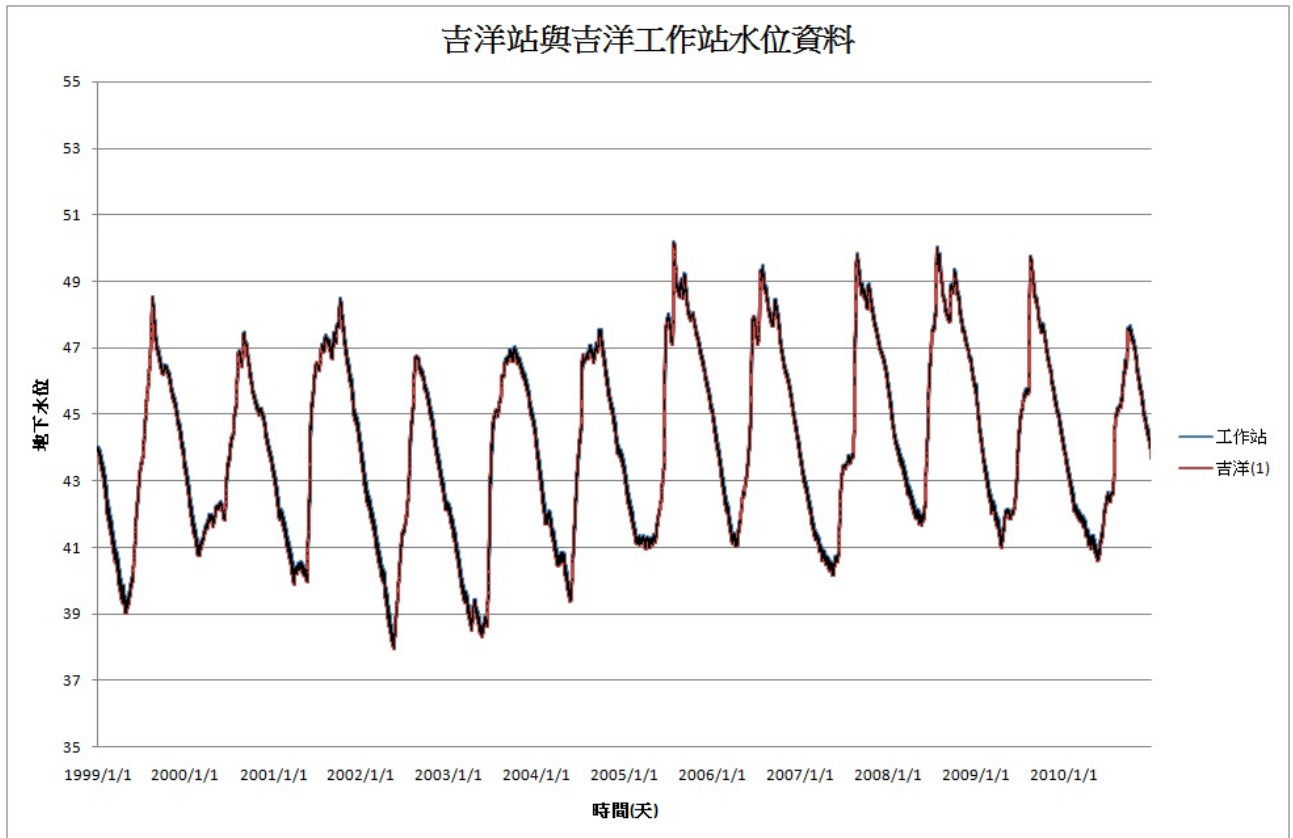


圖 2-7 吉洋站與工作站水位

(二)儲水係數資料

本計劃參考江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2004)「中央地質調查所彙刊第十七號」，以及江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2002)「中央地質調查所屏東平原自然補助」之研究，以及屏東平原複井抽水試驗之實測儲水係數資料等，如表 2-4。

表 2-4 屏東平原複井抽水試驗實測儲水係數

井名	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	儲水係數
旗山(1)	197100	2531368	0.193
潮寮(1)	190004	2496500	0.071
大樹(1)	191135	2510159	0.188
大樹(2)	191135	2510159	0.0000429
大樹(3)	191135	2510159	0.000144
大樹(4)	191135	2510159	0.0004
海豐(1)	194408	2506330	0.239
海豐(2)	194408	2506330	0.0000712

海豐(3)	194408	2506330	0.0000974
內埔(2)	204588	2501296	0.00074
潮寮(2)	190004	2496500	0.00164
潮寮(3)	190004	2496500	0.000636
關福(2)	209883	2518620	0.000294
內埔(1)	204588	2501296	0.00155

(三)雨量資料

中央氣象局於屏東平原設有許多雨量站，可提供詳細的降雨資料。其中中央氣象局於高雄市、屏東縣共有雨量站約 49 站，本計劃蒐集位於屏東平原及上游山區其中 20 站資料，如表 2-5 所示，其相關位置圖如圖 2-8 所示。

表 2-5 本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊

站名	縣市	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	蒐集資料區段
旗山	高雄市	197271	2531089	1999~2010
吉東	高雄市	203729	2527039	1999~2010
大津	高雄市	212865	2532181	1999~2010
里港	屏東縣	197497	2522414	1999~2010
新圍	屏東縣	201730	2517140	1999~2010
溪埔	屏東縣	191845	2513576	1999~2010
屏東	屏東縣	198527	2514875	1999~2010
麟洛	屏東縣	203096	2506647	1999~2010
潮州	屏東縣	201825	2492932	1999~2010
南州	屏東縣	199438	2488418	1999~2010
三地門	屏東縣	212160	2512466	1999~2010
大寮	屏東縣	190771	2501461	1999~2010
赤山	屏東縣	209728	2499277	1999~2010
龍泉	屏東縣	208294	2507709	1999~2010
來義	屏東縣	210652	2492200	1999~2010
枋寮	屏東縣	207775	2474398	1999~2010
月眉	高雄市	201978	2541409	1999~2010
古夏	屏東縣	212747	2519047	1999~2010
力里	屏東縣	210882	2481219	1999~2010
春日	屏東縣	210894	2474852	1999~2010



圖 2-8 中央氣象局屏東平原雨量站位置圖

(四)抽水量資料

本計畫為進行抽水量模式推估，初步針對示範區內抽水井進行資料蒐集，除台灣自來水公司第七管理處提供之四春及崙東淨水場每日抽水量資料外，另有台灣糖業公司提供之屏東崁頂1號井每月抽水量資料，如表 2-6 所示，其相關位置如圖 2-9 所示，

表 2-6 本計畫蒐集示範區域抽水井資訊

名稱	縣市	Tmx(TWD67)	Tmy(TWD67)	蒐集資料區段
四春淨水場	屏東縣	205917	2494647	2003~2010
崙東淨水場	屏東縣	205492	2491402	2003~2010
台糖崁頂1號井	屏東縣	197772	2489172	2007~2011

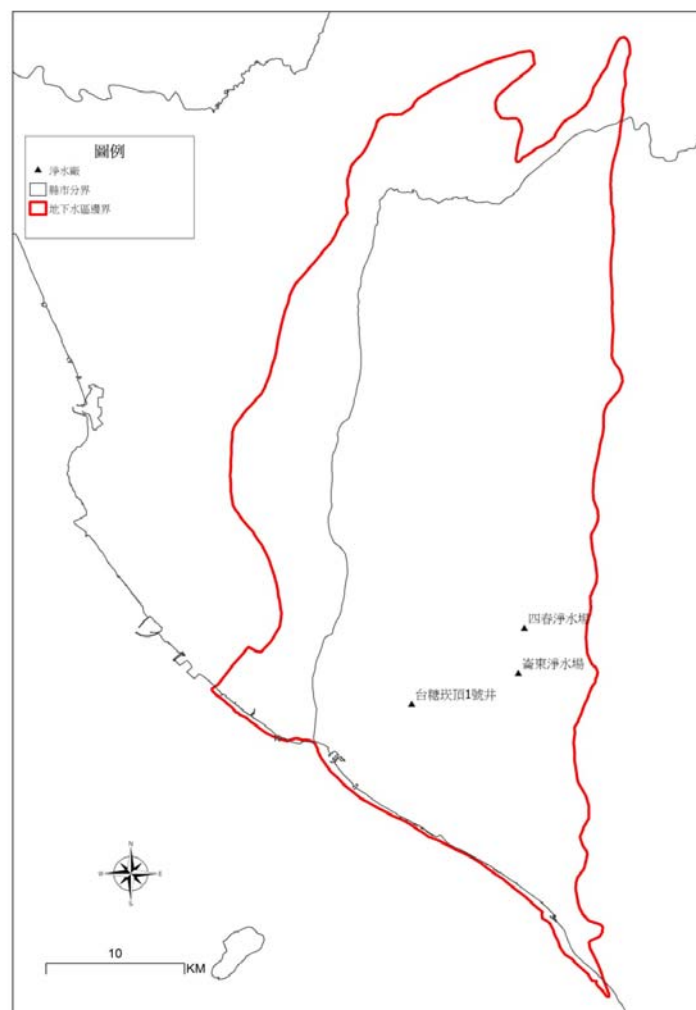


圖 2-9 示範區域抽水井位置圖

(五)地下水水位資料檢核

本計畫將資料由 1999 至 2010 年的資料進行檢驗時，發現屏東地區各觀測站淺層水井僅有少量的水井有連續性資料缺漏情況，如表 2-7 所示，表中呈現各水井各年缺漏百分比，可知 1999~2010 年的缺漏百分比大約在 3%以下，整體資料完整度相當好。

表 2-7 1999-2010 年淺層水井地下水水位原始資料缺漏統計表

站名	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
中正(1)	0%	1%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
石化(1)	0%	1%	0%	0%	0%	15%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
林園(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
潮寮(1)	0%	1%	0%	22%	12%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
永芳(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
昭明(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
溪埔(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	12%	0%
大樹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
中洲(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
旗山(1)	0%	1%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
吉洋工 作站(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	5%	14%	12%	15%
美濃(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	18%	12%	28%	16%
新威(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	8%	15%
清溪(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
海豐(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%
潮州(1)	0%	6%	0%	0%	0%	1%	0%	6%	0%	0%	2%	3%
東港(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	2%	0%
新庄(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
萬丹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
繁華(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	0%
九如(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
土庫(1)	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	1%	0%	1%	3%

里港(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
鹽埔(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
彭厝(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24%
高樹(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
泰山(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	17%
新南(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
關福(1)	42%	1%	0%	0%	0%	34%	12%	0%	0%	0%	0%	0%
赤山(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	7%	0%
建興(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
老埤(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	5%	0%	0%
西勢(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
大湖(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
新埤(1)	1%	1%	0%	0%	19%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
萬隆(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	7%	13%	0%	0%	0%	0%
大嚮(1)	1%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	8%
餉潭(1)	21%	2%	7%	5%	5%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
枋寮(1)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
大庄(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	8%
德興(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	8%
新園(1)	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	12%
平均	2%	1%	0%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	2%	3%	3%

第參章 相關文獻收集及回顧

一、地下水抽水量推估

在進行區域地下水抽水量或補注量推估之相關研究時，常用的方法是在質量守恆的基礎上，以區域地下水含水層水平衡的角度進行分析，而要瞭解水平衡的情況，就需掌握研究地區地下水水流及水位(或水壓)分布的特性，因此要建置完善的地下水模擬模式、取得正確水文及地文參數、設定合適的邊界條件、合理的自然補注量、完整井的資料及井的操作資料等。一般來說，區域地下水抽水量或補注推估量是在連續方程式(continuity equation)中的一個項(term)，因此，推估的準確性會和其他項的精確度有關，此外，在進行推估時，時常會採用水位觀測資料(head observation)及最佳化(optimization)的技術，使模式的模擬水位和觀測水位在觀測的位置達到最小平方差(least-square error)，以推求最佳的區域地下水抽水量或補注量。

推估地下水抽水量相關研究較推估補注量研究薄弱，在進行地下水抽水量推估時，常遇到的問題是，井抽水量歷史資料難以取得。

(一)國外相關研究成果

曾進行地下水抽水量推估的研究有 Koczot (1996)、Hanson et al. (2003)、Ruud et al. (2004)、Tung and Chou (2004)、Farrar et al. (2006)、及 Lin and Yeh (2008)。Koczot (1996)利用不同作物的需水量推估農業用之地下水抽水量。Hanson et al. (2003) 及 Farrar et al. (2006)也應用了這個方法到不同的地區。這個方法要先分析過去的土地利用情形及農作物種類及施作情形，才能進行分析。Ruud et al. (2004) 將地下水抽水量在一個全域水平衡的方程式做為一個閉合項，利用地下水抽水量來使研究地區的地下水

水量能守恆，這個方法曾經被應用到美國加州的 southern San Joaquin Valley，此方法會受到觀測資料不足及地下水抽水量的推估是採用間接推估的原因，造成推估結果有很大的誤差。Tung and Chou (2004)將地下水抽水量的推估視為一個逆推的問題 (inverse problem)，這個方法以整個地下水流域的角度來看，應該可提供不錯的結果，但此方法無法推估出單一水井的抽水量。Lin and Yeh (2008)利用模擬退火法(simulated annealing)來推估地下水抽水量的地點、抽水量及抽水時間，但每一個井需有多個觀測井的資料，才能進行推估。

地下水抽水量在時間的分布上具有高變異性，時間尺度可由數小時至數季。進行地下水模式模擬分析時，很少以小時為單位進行模擬，以季或月為單位的抽水量若能精確推估，則對地下水資源調度有很大的幫助。推估地下水抽水量時，最可靠也最容易取得的資料是地下水水位(或水壓)。而地下水水位(或水壓)可視為是地下含水層對於系統中各種不同來源之地下水的流入及流出所作出之系統反應(system response)。如何將這個綜合所有原因所造成的單一系統反應(觀測水位或水壓)，分別拆解還原(還原成抽水量或補注量)，正是地下水抽水量推估所面臨的主要課題，除了上述採用質量守恆的觀念之外，Gehrels et al. (1994) 發展一個線性序率轉換方程式將自然力量及人為力量所造成的地下水水位變動分離。

(二)國內相關研究成果

屏東平原為臺灣重要地下水區之一，針對此區域進行之相關研究數量眾多，其中，進行抽水量相關評估研究有水利處(1968)、水資會(1982)及屏東農專(1988)以水井普查方式，推估屏東平原年抽水量，推估結果分別為 $6.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $10.15 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$

及 $20.59 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 地下水。吳建民與曾鈞敏(1994)、水資會(1995)、Ting(1997)利用數值模式方法，推估屏東平原 1988 年抽水量分別約 $24.36 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 、 $10.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 與 $9.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 。張良正(1999)、能邦科技(2000)利用數值模式方法，推估屏東平原 1997 年抽水量分別約 $10.93 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 及 $12.66 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 。潘文建、李振誥等(2002)透過地下水數值模式，推估屏東平原 85 至 89 年平均抽水量約 $11.68 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 。江崇榮等(2004)使用水位歷線法分析枯水期地下水位變化，評估屏東平原 1999 年至 2001 年之平均抽水量約 $15.72 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 。經濟部中央地質調查所(2011)透過水位歷線法及地下水數值模式，評估屏東平原 1999 年至 2010 年之平均抽水量約 $11.01 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ 。徐年盛(2011)透過地下水歷線分析法，推估屏東平原 2003、2005 至 2008 年之平均抽水量約 $14.08 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{year}$ ，彙整結果如表 3-1 所示。

表 3-1 屏東平原地下水抽水量推估結果整理比較表

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(I)
	研究單位(年份)	方法	模擬深度/分層	蓄水變化量	抽水量	補注量	流失量	淨補注量	單位面積淨補注量
(1)	水利處(1968)	水井普查	-	-	6.53	-	-	-	-
(2)	水資會(1982)	水井普查	-	-	10.15	-	-	-	-
(3)	屏東農專(1988)	水井普查	-	-	20.59	-	-	-	-
(4)	吳建民與曾鈞敏(1994)	數值模式	<50 公尺/1 層	-10.53	24.36	22.36	8.53	13.83	0.0114
(5)	水資會(1995)	水收支平衡法	-	-	10.6	-	-	-	-
(6)	Ting(1997)	數值模式	<170 公尺/3 層	-0.54	9.30	9.43	1.03	8.40	0.0069
(7)	張良正(1999)	數值模式	<100 公尺/1 層	3.79	10.93	X	X	14.72	0.0122

(8)	能邦科技顧問股份有限公司(2000)	數值模式	250 公尺/3 層	5.22	12.66	18.93	1.31	17.62	0.0146
(9)	潘文健、李振誥(2002)	數值模式	250 公尺/3 層	-	11.68	14.79	-	-	-
(10)	江崇榮等(2004)	地下水位 歷線分析法	<100 公尺/1 層	0.28	15.72	20.66	4.66	16.00	0.0132
(11)	中央地質調查所(2011)	地下水位 歷線法	<100 公尺/1 層	0.06	11.01	15.06	3.98	11.08	0.009
(12)	徐年盛(2011)	地下水位 歷線分析法	250 公尺/3 層	0.11	14.08	17.57	3.38	14.19	0.0139
備註：(4)、(6)~(10)地下水區面積均為 1210 km ² ；(11)地下水區面積為 1230 km ² (12)地下水區面積為 1024 km ²									

(單位：10⁸m³/year)

二、資料同化方法分類及應用層面

(一)資料同化方法分類

資料同化的技術主要是由氣象科學領域發展出來，此技術含有數學上的最佳化(optimization)的概念，將散佈於研究區域內不同空間、不同時間的觀測數據，以數學方法結合，並納入數值模擬、分析及預報系統，以建立數值模式與觀測數據相互協調、誤差最小的最佳分析及預測結果。一般來說，完整的資料同化分析需包括三個部分：(1) 觀測數據、(2)數值模式及(3)資料同化技術。資料同化技術主要是以數學上最佳化的角度，利用可得的觀測數據對數值模式之狀態變數(state variables)進行更新(update)，此更新結果在數學上可視為誤差最小之推估值，接著採用更新後之狀態變數為起始條件放入數值模式，對下一時段進行預測(forecast)。

資料同化的技術依其數學背景及特性，主要可分為下列幾項：

1、納進法(Nudging，亦稱鬆弛法、牛頓鬆弛法等)

原理為將每一觀測值減去模式所得狀態變數之結果，可得到

狀態變數之觀測增量(或觀測減量)，透過分析，可得到研究範圍各處之分析增量(或分析減量)，再將此分析增量(或分析減量)加回到模式中，最終可得到數學上最佳"更新後"的狀態變數。每一個分析增量(或分析減量)是通過其週圍影響區域內觀測增量(或觀測減量)加權之線性組合，一般來說，其權重與觀測位置及計算格點之距離成反比。

2、最佳線性無偏差估計法(Best Linear Unbiased Estimate (BLUE))

當一個樣本統計量的期望值等於相對應的母體參數值時，該樣本統計量稱為不偏估計式。最佳線性無偏差估計法在統計上為一均方差最小之線性差值方法。此法透過一增益矩陣(或稱權重矩陣)將觀測資訊及模式所得之狀態變數轉換成最佳之推估值。

3、變分法(Variational methods)

隨觀測技術及數值模式的發展，觀測資料的時空分布不斷增大，觀測資料的類型和數目也不斷增加，變分法可將從過去到現在所有的觀測資料(從模式模擬的起始時間點到現況時間點)，同時利用於更新從模式模擬的起始時間點到現況時間點所有的狀態變數，此更新亦符合數學上觀測值與模式模擬結果之最小化。變分法一般可分為三維變分法(3DVAR)及四維變分法(4DVAR)。三維變分法主要透過迭代，在某一時刻進行分析，此一時刻的同化結果可作為下一時刻的起始條件。四維變分法為將時間序列考慮進來，可同化多時刻的資料。

4、卡門濾波(Kalman Filter, KF)

卡門濾波為 1960 年 Kalman 所提出之線性資料同化技術，僅適用於線性系統，對於非線性之非拘限含水層而言並不適用。

此外，目前尚無利用地下水位以 Kalman filter 直接推估地下水抽水量之研究。

除卡門濾波外亦有學者採用不同之數學及技術，有學者研究擴展卡門濾波(Extended Kalman Filter, EKF)及集合卡門濾波(Ensemble Kalman Filter, EnKF)。線性的卡門濾波(KF)，是以分析誤差的最小平方差當作目標函數，其基本假設為線性系統、噪音是白色的(white noise)及高斯分布，可求解觀測時刻之最佳分析值。擴展卡門濾波(EKF)將弱的非線性系統，以泰勒級數(Taylor Series)展開，省略二階及二階以上之高階項，以進行線性化。集合卡門濾波(EnKF)採用大量已考量誤差分布統計特性之擬真可能案例(realization)的模擬，將所得的結果進行統計分析，用以克服高維度非線性系統的問題。卡門平滑法(Kalman Smoother, KS)及集合卡門平滑法(Kalman Smoother, EnKS)則是同時採用不同時間點、不同空間分布之觀測資料，以進行同化分析，所得之結果平滑，沒有不連續的問題。

資料同化可依不同分類標準進行分類，依其理論原理可分為兩類：以統計理論為基礎，如最佳線性無偏差估計法、卡門濾波、擴展卡門濾波、集合卡門濾波等；以非統計理論為基礎，如三維變分法、四維變分法等。依據觀測資料使用之時間區間可分為序列同化(sequential assimilation)及非序列同化(non-sequential assimilation)。序列同化僅考量分析時刻前的資料，如最佳線性無偏差估計法、三維變分法、集合卡門濾波等；非序列同化還用到未來時刻的觀測資料，如四維變分法、卡門平滑法等。

(二)資料同化方法應用層面

以資料同化方法進行地下水抽水量推估因包含空間三維及時間一維，可視為一個四維的資料同化問題(four-dimensional data

assimilation, 4DDA), 資料同化方法可將地下水觀測網所蒐集到的地下水水位用來"更新"地下水模式的狀態變數(地下水水位或水壓), 並且提高對未來地下水系統預測的準確度。許多研究(Hoke and Antes, 1976; Lorenc, 1986; Stauffer and Seaman, 1990; Stauffer et al., 1991) 指出在四維的資料同化方法中, 最適合實務上應用的是納進法(牛頓鬆弛法)。因為這個方法可以快速而且直接地萃取水位觀測資料中所含的訊息, 並以在控制方程式中增加源項(source term)或沉項(sink term)方式更新系統狀態變數(地下水水位分布), 進而提高地下水模擬結果及預測結果。Stauffer et al. (1991)指出納進法可分為格網納進法(grid nudging)及觀測資料納進法(observation nudging), 格網納進法適用於模擬模式中所有格網均有觀測資料的情況下, 通常用於有遙測資料的地方, 一般以大氣或地表比較有機會取得遙測資料。觀測資料納進法適用於觀測資料僅於零星觀測(或採樣)點可得的情形下, Paniconi et al. (2003) 亦指出, 若有需要, 可同時採用上述兩種納進法。

納進法已被不同領域廣為使用, 例如 Verron (1990) 應用納進法於海洋模擬; Hoke and Antes (1976)及 Lorenc (1986)應用納進法於大氣動力學領域, 進行風速、溫度及水氣等多種資料的同化。Miguez-Macho et al. (2004) 應用納進法於區域氣候空間上的模擬研究; Stiles et al. (2002)應用納進法可較精確的模擬海洋表面風速; Pacione et al. (2001) 應用納進法將風速、溫度及混合率的觀測資料用於推估可能的降雨量。

納進法亦被應用於水文學相關領域。Drusch (2007) 利用納進法將衛星蒐集到的地表含水量資料同化後用於提高天氣及相對濕度預測的準確度。Pauwels et al. (2001) 則用納進法將地表含水量的遙測資料進行同化後, 透過土地及大氣聯合模式用於改善

比利時 Zwalm 集水區地表逕流量的預測。Houser et al. (1998) 於美國亞利桑那加州南部的 Walnut Gulch Experimental 集水區，採用納進法同化以遙測技術得到的地表含水量資料。Paniconi et al. (2003)將納進法應用於一個小型假設的地表地下聯合模擬系統，在此研究中，納進法被用於同化地下水深度及土壤含水量的觀測資料。Hurkmans et al. (2006)將此技術延伸並應用於一個位於南比利時的真實系統— Brisys 集水區。

從過去相關研究顯示，納進法具備許多有吸引力的特色可提供地下水抽水量推估很有效的工具，納進法適合用在已建立地下水模擬模式的區域，其低電腦計算量及快速得到結果的優點，可以提供實務上地下水抽水量推估快速及有效的應用。最重要的是，納進法在地下水抽水量推估的問題上，提供了一致而且具有物理意義的結果。納進法直接採用地下水水位(或水壓)觀測資料，所推估出來的地下水抽水量，會置於地下水控制方程式中，並提高模擬模式及對地下水系統未來預測的準確性。

第肆章 區域地下水抽水量推估模式建立

一、建立以資料同化為基礎之區域地下水井抽水量推估模式

(一) 地下水模擬模式

一個三維、飽和、拘限的地下水模擬模式可以下式表示(Bear, 1988; Willis and Yeh, 1987)：

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \text{div}[K\nabla h] + \bar{q}(x,t) \quad (4-1)$$

式中 S_s 是比儲水量(T^{-1}) (the specific storage)， $h(x,t)$ 是水頭(L) (piezometric head)， x 是三維空間座標向量 (L) (the vector of three-dimensional spatial coordinates)， t 是時間 (T) (time)， K 是水力傳導系數張量(the hydraulic conductivity tensor) (LT^{-1})，and \bar{q} 是控制方程式中的源項(T^{-1}) (the source term)或沉項(T^{-1}) (the sink term)。地下水井的抽水或補注在地下含水層所造成的效應可以用各井(wells)或各井的集合(well clusters)來表示。因此，在控制方程式中，各井或各井的集合所造成的沉項可表示成：

$$\bar{q}(x,t) = \sum_{i=1}^{n_w} \bar{q}_{w,i}(t) \delta(x_{w,i}) \quad (4-2)$$

式中 $\bar{q}_{w,i}(t)$ (T^{-1}) 代表位於空間座標 $x_{w,i}$ 的第 i 個井(或井集合)會因時間 t 改變的抽水量； $\delta(x_{w,i})$ 是狄拉克函數(the Dirac delta function)，當 $x = x_{w,i}$ 時，其值為 1，其餘地點，其值為 0， n_w 表示井(或井集合)的數量。上述方程式加上合適的起始條件及邊界條件，就可以完整建立一地下水模擬模式。

在本計畫採用美國地質調查研究所(U. S. Geological Survey)所發展的 MODFLOW (Harbaugh et al., 2000)做為地下水模擬模式，用以模擬地下水流況、地下水水位分布、地下水補注及抽水所造成的影響。

因為 MODFLOW 採用有限差分法(finite difference)進行空間

上的離散化，採用一階背向式尤拉有限差分(first order backward Euler finite difference)進行時間上的離散化，因此在求解地下水方程式(4-1)時，其方程式可改寫為：

$$P \frac{h_{k+1} - h_k}{\Delta t} = Lh_{k+1} + q_{k+1} \quad (4-3)$$

式中 $h \in R^n$ 為水頭(或水壓)的向量， n 為數值模式中的格網數量， k 為時間符號， Δt 為單位計算時間長度， P 及 L 為離散運算子，其維度分別為(L^2)及(L^2/T)， $q_{k+1} \in R^n$ 為沉項在時間 t_{k+1} 時的向量，其維度為(L^3/T)。在 MODFLOW 中， Δt 為進行數值積分時所採用的單位時間長度，而單位受力時段(stress period)，其維度為(T)，其定義為在一受力時段中源項或沉項 q_{k+1} 為定值的單位時間長度，一般來說，一單位受力時段之長度通常為 Δt 的整數倍數。

(二) 地下水井抽水量推估模式

資料同化方法獨立於地下水模擬模式之外，而且可被應用於其他的數值模式，實務上，最適合應用於地下水抽水量推估的資料同化技術為納進法，因納進法直接採用觀測資料，進行更新模擬模式中的狀態變數，以提高模擬模式的結果並提昇模式預測的準確度。當納進法應用於地下水模式時，狀態變數即為研究區域的水位(或水壓)。然而，地下水抽水量，並非狀態變數，因此，應用納進法於地下水抽水量推估時，需將地下水位(或水壓)觀測資料，轉換成地下水抽水量，這個推估出來的抽水量在控制方程式中為外加之沉項(sink term)，這個沉項在納進法中被視為造成模式結果與觀測結果之間落差的原因，即為未知的地下水抽水量。

一個觀測井的水位，可能被週邊多個抽水井的抽水行為所影響，因此，一個觀測水位數據可能含有多個抽水井的抽水訊息。

所以，在推估地下水抽水量時，需將觀測水位數據所含有各抽水井的抽水訊息拆解出來，並還原、分配回到各抽水井。一般來說，觀測井的數量比抽水井的數量少，因此，傳統的最佳化 (optimization) 技術可能無法提供最佳的抽水量推估，因為資料不足會造成不適定的問題 (ill-posed problem) (Yeh, 1986)。

納進法直接將觀測資料轉換成抽水量並導入控制方程式中，因此，地下水控制方程式可寫為 (Auroux and Blum, 2008)：

$$P \frac{h_{k+1} - h_k}{\Delta t} = Lh_{k+1} + q_{k+1} + G(h^o - Ch_{k+1}) \quad (4-4)$$

式中 G (L^2 / T) 為一 ($n \times n_o$) 矩陣，亦稱為獲得矩陣 (the gain matrix)； n_o 為觀測資料的數量，儲存於具有 n_o 維度的向量 h^o 之中； C (無單位) 是一個可將 ($n \times n_o$) 的模式水位分布矩陣 h_{k+1} 投射至觀測空間 (observation space) 的矩陣。Hoke and Anthes (1976) 指出獲得矩陣 G 為一純量 (scalar) 矩陣，此純量可用鬆弛的技術將模式輸出之狀態變數導向觀測數據 h^o 。此外，Stauffer and Seaman (1990) 指出獲得矩陣 G 亦代表著不同數學過程的相對強度，以數值平衡的方式將不同的變數同化在一起。若獲得矩陣 G 具有較大的值，代表模式對觀測值放入較大的權重，因此，模擬及預測結果會以較快的速度接近觀測值。Vidard et al. (2003) 以參數辨識的角度，嘗試用最佳化的技術得到最佳的獲得矩陣 G ，這個結果顯示納進法實際上與卡門濾波法有相關，若假設 L 為一個對稱的正定矩陣，則 $G = C^T R^{-1}$ ，其中 R 為觀測殘差的協方差矩陣 (covariance matrix)，因此方程式 (4-4) 則可被視為尤拉-拉格朗治方程式 (Euler-Lagrange equation)，而且因為 L 為正定矩陣，所以具有充分而且必要的條件來解下列能量最小方程式 (Auroux and Blum, 2008)：

$$\min_h \left[\frac{1}{2} (h - h_k)^T P (h - h_k) - \frac{\Delta t}{2} h^T (Lh + 2q_{k+1}) + \frac{\Delta t}{2} (h^o - Ch)^T R^{-1} (h^o - Ch) \right] \quad (4-5)$$

因此，Quarteroni and Valli (1997)指出方程式(4-5)的解等同於方程式(4-4)的解，並用數值近似的方法得到將方程式(4-1)加入納進法沉項 $G(h^o - Ch_{k+1})$ 的弱解。此外，Li and Navon (2001)及 Vidard et al. (2003)指出納進法亦可被視為四維變分法的一種 (four-dimensional variational data assimilation scheme)或是特殊條件下的卡門濾波。

在利用納進法進行地下水抽水量推估時，所推估的對象是方程式(4-2)中，井的抽水量向量 $q_w = \{q_{w,i}\}, i = 1, \dots, n_w$ 。已知條件為地下水模擬模式(方程式(4-3))及地下水水位(或水壓)的觀測資料向量 $h^o = \{h_i^o\}, i = 1, \dots, n_o$ ，假設可於觀測時間 $t_u, u = 1, \dots, n_t$ 以取得觀測資料，這些觀測資料將被用來推估地下水抽水量、更新模式的結果，因此，這些時間點亦稱為更新時間(update time)。

此處，以 Ide et al., (1997)的著作為基礎，介紹資料同化常用的符號。維度為 n 的向量 h_u^f 代表預測值，亦即模式在未考量納進法所得到的沉項的條件下對時間點 t_u 所預測的水位分布；維度為 n 的向量 h_u^a 代表分析值(the analysis)，亦即模式對時間點 t_u 所做的水位分布預已透過資料同化技術(DA)進行資料同化並更新狀態變數(地下水水位或水壓)，此更新的時間點為觀測資料可得的時間 t_u ，得到的水位(或水壓)觀測資料為一具有 n_o 維度的水位觀測資料向量 h_u^o ；模式預測值與觀測值在位於觀測井 i 及觀測時間 t_u 時的差值則整理於一 n_o 維度的向量 d_u ，此向量亦稱為殘差 (innovation residual)並可表示如下：

$$d_u = h_u^o - Ch_u^f. \quad (4-6)$$

在地下水推估的問題中，運算子 C 是一個矩陣，矩陣內各

原素由 0 及 1 所組成，此矩陣乃將模式輸出的水位分布結果 (model output) 投射至水位觀測空間 (observation space)。最後，採用納進法可將控制方程式改寫成：

$$h_{u+1}^a = F_u(h_u) + G(h_{u+1}^o - Ch_{u+1}^f) = F_u(h_u) + Gd_{u+1} \quad (4-7)$$

假設在方程式(4-4)中，時間 t_u 與時間 t_{u+1} 之間有 m 個計算時間長度，可能跨越數個受力時段(stress period)，運算子 F_u 及無因次矩陣 G (-)可由方程式(4-4)中推導而得到，並且包含了已透過資料同化技術更新後之沉項向量 q_u 。在方程式(4-7)的右邊為預測 (forecast)，而左邊為分析(analysis)，雙邊皆屬於同一時間點 t_{u+1} 。因此，在實際執行上，方程式(4-7)是以時間序列的方式進行兩個步驟，第一個步驟為求解方程式(4-4)以得到水位分布預測值 h_{u+1}^f ，此步驟不考慮資料同化技術納進法所得到在控制方程中的新增項。第二個步驟為根據水位(或水壓)觀測數據，得到殘差(residual)，並以此進行地下水抽水量推估及求解方程式(4-7)以得到系統更新後的分析值(analysis) h_{u+1}^a 。

在地下水推估的問題上，因觀測資料的特性，需採用觀測資料納進法(observation nudging)，在此方法之中納進法將觀測資料所得到之殘差(residual)以權重方式，分配到臨近的網格中，此分配可為空間上及時間上的分配，分配的範圍以其影響半徑(radius of influence)來定義。影響半徑亦可稱為影響範圍，影響範圍需透過敏感度分析，得到抽水行為對地下水水位變化造成的影響及其影響範圍，此影響範圍與地質條件及地下水模式單位時間長度(stress period)有關。由納進法造成的向量 Gd_{u+1} 是一個在控制方程式中新增的沉項，因此，殘差可被視為因未估算的地下水抽水量而造成的累計地下水水位洩降(cumulative drawdown)，因此，資料同化技術納進法在此的功能即為將此洩降轉換成未知的地下

水抽水量，當資料同化技術納進法所推估的地下水抽水量放入模擬模式中之後所到的更新後的地下水水位分析值(analysis)，就會更接近地下水水位觀測值。

一般來說，地下水水位觀測值的地點與抽水井的地點不同，所以推估地下水抽水量時若有兩個以上的地下水水位觀測資料，可以得到較佳的地下水抽水量推估值。在轉換地下水水位洩降至地下水抽水量推估的過程中，有兩個步驟：

步驟一：是將每一個觀測井所得到的殘差分配至影響範圍內的各抽水井並轉換成抽水量，每一個觀測井皆會對影響範圍內的抽水井做出一個抽水量的推估值，因此每一個抽水井會有等同於其影響範圍內觀測井數量的抽水量的推估值。

步驟二：將步驟一得到之多個抽水量的推估值整合成單一的抽水量的推估值。

其中，第一個步驟可表示為：

$$d_{u+1,i} = h_{u+1,i}^o - \sum_{s=1}^n c_{i,s} h_{u+1,s}^f = \sum_{j=1}^{n_w} \Delta h_{i,j} \quad (4-8)$$

式中 $c_{i,s}$ 在有觀測井的網格 s 中等於 1，其他網格中等於 0； $\Delta h_{i,j}$ (為了簡化，此處省略時間符號 $u+1$) 代表在觀測井 i 中所得到的部分的洩降是因為抽水井 j 所造成的。當計算 $\Delta h_{i,j}$ 時是採用距離權重的方式(distance-weighted function)將洩降分配給位於觀測井 i 的影響範圍內的各抽水井 j ，因此 $\Delta h_{i,j} = w'_{i,j} d_{u+1,i}$ ，其中 $w'_{i,j}$ 為分配率或稱為分配係數(distribution ratio or interpolation coefficient)，分配率的計算方式為以各觀測井 i 及抽水井 j 的座標，依距離計算而得。觀測到的水位與模式輸出的差值乃所有位於影響範圍內之抽水井所造成，因此可寫成下式：

$$d_{u+1,i} = \sum_{j=1}^{n_w} \Delta h_{i,j} = \sum_{j=1}^{n_w} (w'_{i,j} \cdot d_{u+1,j}) \quad (4-9)$$

需注意的是，各分配率均為非負之數值(non-negative value)且總合需為 1，亦即：

$$\sum_{j=1}^{n_w} w'_{i,j} = 1 \quad \text{and} \quad 0 \leq w'_{i,j} \leq 1 \quad (4-10)$$

被分配到的 $\Delta h_{i,j}$ 可透過影響係數法(influence coefficient method)(亦稱為反應係數法 response coefficient method)轉換成地下水抽水量(Becker and Yeh, 1972; Yeh, 1986)：

$$\Delta q_{i,j} = \frac{1}{r_{i,j}} \Delta h_{i,j} = \frac{\partial q_j}{\partial h_i} \Delta h_{i,j} \quad (4-11)$$

式中採用了影響係數(influence coefficient) $r_{i,j} = \partial h_i / \partial q_j$ 的倒數，影響係數的意義為在網格 j 中的一單位抽水量可造成在網格 i 中之水頭的變化量。影響係數 $r_{i,j}$ 亦稱反應係數(response coefficient)或 Jacobian 敏感係數(Jacobian sensitivity coefficient)，此係數可透過敏感性分析而得到(Yeh, 1986)。若地下水系統反應為線性關係(或是非線性呈度不高)，則獲得矩陣(增益矩陣)在時間長度不變、抽水井(或井群)位置不變、觀測井位置不變、地質條件不變等各項條件相同下的前提下，是為定值(或可合理假設為定值)，而影響係數則用於把各抽水井所造成之水位殘差轉換成抽水量。 $\Delta q_{i,j}$ 即為透過觀測井 i 的殘差 $\Delta h_{i,j}$ 推估的抽水井 j 的抽水量增量(pumping rate increment)或抽水量減量(pumping rate decrement)。方程式(4-11)代表著每一觀測井水位觀測值與模式輸入的差值已透過上述方法，分配並轉探成在此觀測井影響範圍內各抽水井的抽水量增量或減量之推估值。因為一個抽水井的影響範圍內可能會有多個觀測井，因此會有與觀測井數量相同的抽水

量推估值，這些抽水量推估值需透過權重 $w_{i,j}^*$ 將多個抽水量推估值整合成一個最終之抽水量推估值 $\Delta q'_{u+1,j}$ ，此整合過程可寫成下式：

$$\Delta q'_{u+1,j} = \sum_{i=1} w_{i,j} \Delta q_{i,j} \quad (4-12)$$

抽水量推估 $\Delta q'_{u+1,j}$ 是一個有 n_w 維度的向量，需被投射回原地下水系統的狀態變數空間(state space)，而得到方程式(4-4)中的納進項的向量

$$Gd_{u+1} = gC^T \Delta q'_{u+1} \quad (4-13)$$

式中的純量 g 即為前述之鬆弛倍數(gain relaxation time)。

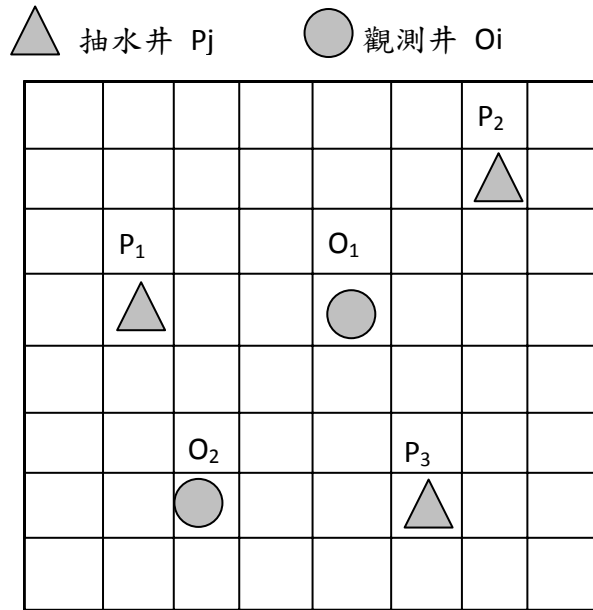


圖 4-1 地下水抽水井及觀測井系統示意圖

此處以一個簡單的例子說明地下水抽水量推估的概念，圖 4-1 為一假設的地下水系統，系統內有 3 個抽水井及 2 個觀測井，假設 3 個抽水井的抽水量均為未知(unknown)，需透過 2 個觀測井得到的水位洩降來推估。2 個觀測井分別是 O_1 及 O_2 ，2 個觀測井的水位洩降是因為 3 個抽水井 P_1 、 P_2 及 P_3 所造成，因此每一個抽水井均造成每個觀測井一部分的洩降，而地下水模式所輸出的地下水水位與地下水水位觀測值間的差值可表示為：

$$d_{O_1} = \Delta h_{O_1,P_1} + \Delta h_{O_1,P_2} + \Delta h_{O_1,P_3} = w'_{O_1,P_1} \cdot d_{O_1} + w'_{O_1,P_2} \cdot d_{O_1} + w'_{O_1,P_3} \cdot d_{O_1} \quad (4-14)$$

$$d_{O_2} = \Delta h_{O_2,P_1} + \Delta h_{O_2,P_2} + \Delta h_{O_2,P_3} = w'_{O_2,P_1} \cdot d_{O_2} + w'_{O_2,P_2} \cdot d_{O_2} + w'_{O_2,P_3} \cdot d_{O_2} \quad (4-15)$$

式中 $\Delta h_{i,j}$ 是因抽水井 j 所造成觀測井 i 之部分洩降。需注意的是分配係數的總和為 1，即 $w'_{O_1,P_1} + w'_{O_1,P_2} + w'_{O_1,P_3} = 1$ 及

$$w'_{O_2,P_1} + w'_{O_2,P_2} + w'_{O_2,P_3} = 1 \quad \left(\sum_{j=1}^{n_w} w'_{i,j} = 1 \right)。$$

推估可造成 $\Delta h_{i,j}$ 的洩降的地下水

抽水量 $\Delta q_{i,j}$ 可由方程式(4-11)所計算。

$$\Delta q_{O1,P1} = \frac{1}{r_{O1,P1}} \cdot w'_{O1,P1} \cdot d_{O1} \quad (4-16)$$

$$\Delta q_{O1,P2} = \frac{1}{r_{O1,P2}} \cdot w'_{O1,P2} \cdot d_{O1} \quad (4-17)$$

$$\Delta q_{O1,P3} = \frac{1}{r_{O1,P3}} \cdot w'_{O1,P3} \cdot d_{O1} \quad (4-18)$$

$$\Delta q_{O2,P1} = \frac{1}{r_{O2,P1}} \cdot w'_{O2,P1} \cdot d_{O2} \quad (4-19)$$

$$\Delta q_{O2,P2} = \frac{1}{r_{O2,P2}} \cdot w'_{O2,P2} \cdot d_{O2} \quad (4-20)$$

$$\Delta q_{O2,P3} = \frac{1}{r_{O2,P3}} \cdot w'_{O2,P3} \cdot d_{O2} \quad (4-21)$$

每一個觀測井可提供一個抽水量推估如方程式(4-16)及(4-19)分別由觀測井 O1 及 O2 提供抽水井 P1 的抽水量推估增量(或減量)。所有的抽水量推估增量(或減量)需要對每一個抽水井整合成為一個最終抽水量推估。

$$\Delta q'_{P1} = g \cdot (w_{O1,P1}^* \Delta q_{O1,P1} + w_{O2,P1}^* \Delta q_{O2,P1}) \quad (4-22)$$

$$\Delta q'_{P2} = g \cdot (w_{O1,P2}^* \Delta q_{O1,P2} + w_{O2,P2}^* \Delta q_{O2,P2}) \quad (4-23)$$

$$\Delta q'_{P3} = g \cdot (w_{O1,P3}^* \Delta q_{O1,P3} + w_{O2,P3}^* \Delta q_{O2,P3}) \quad (4-24)$$

這個整合的步驟是透過權重 $w_{i,j}^*$ 來達成的，透過權重可將影響範圍內各抽水井的抽水量增量或減量之推估值整合成為一個單一的值，這個推估值可乘上鬆弛倍數的純量 g 。

在地下水文學中，因抽水而造成水位洩降會隨著離抽水井的距離越遠而以對數關係越趨近於零。這個現象可用依距離遠近做為權重依據的 Cressman-type 函數來來定義分配係數 $w'_{i,j}$ 及權重係數 $w_{i,j}^*$ 表示 (Stauffer et al. 1990; Houser et al. 1998; Paniconi et al. 2003)。若以 $X_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ 表示觀測井 i 的空間座標，以

$X_j = [x_j, y_j, z_j]^T$ 表示抽水井 j 的空間座標，那分配係數 $w'_{i,j}$ 及權重係數 $w_{i,j}^*$ 則可表示為：

$$w_{i,j} = w(X_i, X_j, t) = w_1(D_{i,j})w_2(z_i, z_j)w_3(t) \quad (4-25)$$

$$\begin{cases} w_1(D_{i,j}) = (R_i^2 - D_{i,j}^2) / (R_i^2 + D_{i,j}^2), & D_{i,j}^2 \leq R_i^2 \\ w_1(D_{i,j}) = 0, & D_{i,j}^2 > R_i^2 \end{cases} \quad (4-26)$$

$$D_{i,j}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \quad (4-27)$$

$$\begin{cases} w_2(z_i, z_j) = 1, & z_i = z_j \\ w_2(z_i, z_j) = 0, & z_i \neq z_j \end{cases} \quad (4-28)$$

$$\begin{cases} w_3(t) = 1, & t = t_u \\ w_3(t) = 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4-29)$$

$$w'_{i,j} = \frac{w_{i,j}}{\sum_{j=1}^{n_w} w_{i,j}} \quad (4-30)$$

$$w_{i,j}^* = \frac{w_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n_o} w_{i,j}} \quad (4-31)$$

式中 R_i (L) 為觀測井 i 的影響範圍的半徑，而 z_i 及 z_j 為觀測井 i 及抽水井 j 所在的含水層。由上述對 $w_3(t)$ 定義可知，納進項 (nudging term) 僅於更新時間點有效。

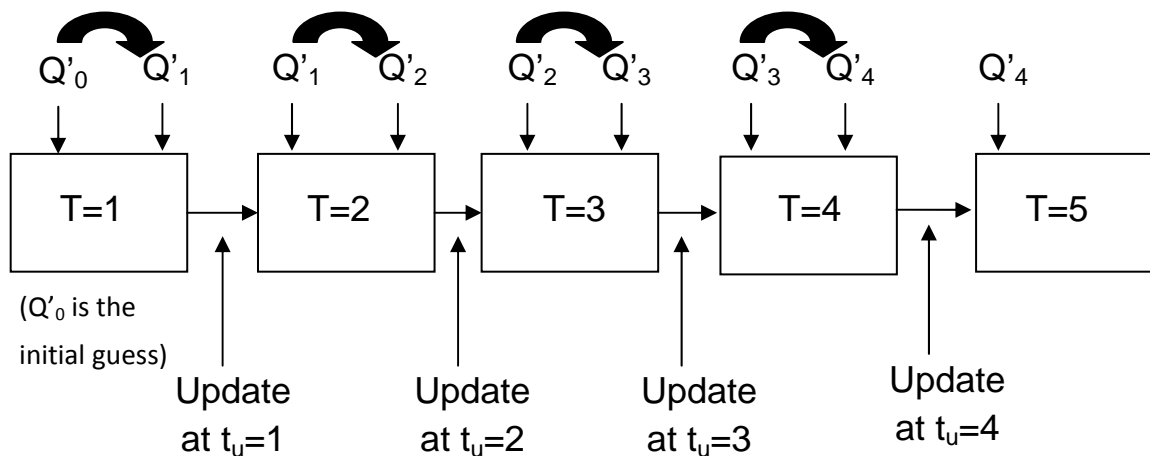


圖 4-2 以序列方法採用資料同化技術進行地下水抽水量推估之流程示意圖

以資料同化的納進法進行更新的流程如圖 4-2 所示，此例子假設每一受力時段(stress period)結束時可得到地下水水位觀測資料。圖中顯示於長方形圖塊中的符號 T 為位於兩個連續更新時間點(update time) t_u 及 t_{u+1} 的受力時段(stress period)的編號。更新時間 t_{u+1} 位於受力時段(stress period) T 結束的時間點，舉例來說，更新時間 $t_u=2$ 剛好是受力時段 T=2 結束的時候。需特別說明的是，每一個受力時段週期可能含有多個數值積分上的時段(time step)。此處假設每一受力時段結束時可得到水位觀測資料(或是每一更新時間點均有水位觀測資料)。以資料同化的納進法進行地下水抽水量推估並更新狀態變數(地下水水位分布)及預測值的過程包含兩個步驟，第一個步驟是以資料同化的納進法以在每一更新時間點 t_{u+1} 取得之水位觀測資料，推估前一時段 T 之地下水抽水量 Q'_T 。第二個步驟是以推估之地下水抽水量 Q'_T (即為控制方程式(4-4)中新增加之沉項(sink term))，再執行一次地下水模擬模式，以得到分析值(analysis)。此分析值即為利用資料同化的納進法對更新

時間點 t_{u+1} 及對下個時段 $T+1$ 之預測，進行更新之地下水水頭分布。在實務上，上述步驟是於每一時段結束時以離線方式 (offline) 執行。資料同化的納進法亦可以即時 (real time) 的方式在水位觀測資料可得的時間點來執行系統更新及預測更新。以下是資料同化納進法完整的流程：

步驟 0：計算影響係數、分配係數及權重係數

分配係數及權重係數可依給定的影響範圍、觀測井座標及抽水井座標，分別用方程式 (4-30) 及 (4-31) 計算。影響係數 ($r_{i,j} (= \partial h_i / \partial q_j)$) 可用敏感度分析取得，如果系統為一非線性系統，則影響係數需要在每一更新時間點同時進行影響係數的更新，如果系統可視為一線性系統，則影響係數為不變之常數。在拘限含水層中，影響係數可視為常數，且可以表示為：

$$r_{i,j} = \partial h_{i,t_u=1} / \partial q_{j,T=1} = \partial h_{i,t_u=2} / \partial q_{j,T=2} = \dots = \partial h_{i,t_u=e} / \partial q_{j,T=e} \quad (4-32)$$

式中 e 為規劃總時間長度內之受力時段之數量，而影響係數之定義為於一時段內，一單位抽水量於抽水井 j 所造成於觀測井 i 之水頭變化。影響係數反應出由抽水行為產生洩降錐所造成之影響大小及範圍。

步驟 1：預測觀測井位置下一更新時間之地下水水位 (或水頭) (hydraulic head)

利用模擬模式、已知及推估的地下水抽水量進行地下水水位預測。一開始，若不知地下水抽水量，則可假設地下水抽水量為零。本計畫因無抽水量資料，故一開始假設抽水量為零。

步驟 2：計算位於觀測井的殘差 (innovation residual)

可利用方程式 (4-8) 計算殘差，殘差即為在更新時間點位於觀

測井的位置，模式輸出之地下水水位與水位觀測得到之地下水水位的差值。

步驟 3：推估地下水抽水量

利用前述步驟所得之資訊及方程式(4-13)計算納進項，即可計算得到推估之地下水抽水量。

步驟 4：於更新時間點進行地下水水位的更新

此步驟以推估之抽水量透過模擬模式於更新時間點進行地下水水位的更新，亦即計算分析值(analysis)。

重覆執行步驟 1 至步驟 4，直到所有規劃時間長度內的時段都完成為止，若是即時(real time)的應用，則重覆執行步驟 1 至步驟 4，不需停止。以本計畫為例，推估 88 年至 99 年之月抽水量，則每一時段長度為 1 個月，規劃時間長度為 12 年。時間精度依需求及模擬模式之時間模擬精度而定。

二、假設情境案例驗證

圖 4-3 顯示一假設之地下水系統，該系統用以驗證前述之資料同化納進法的效果。

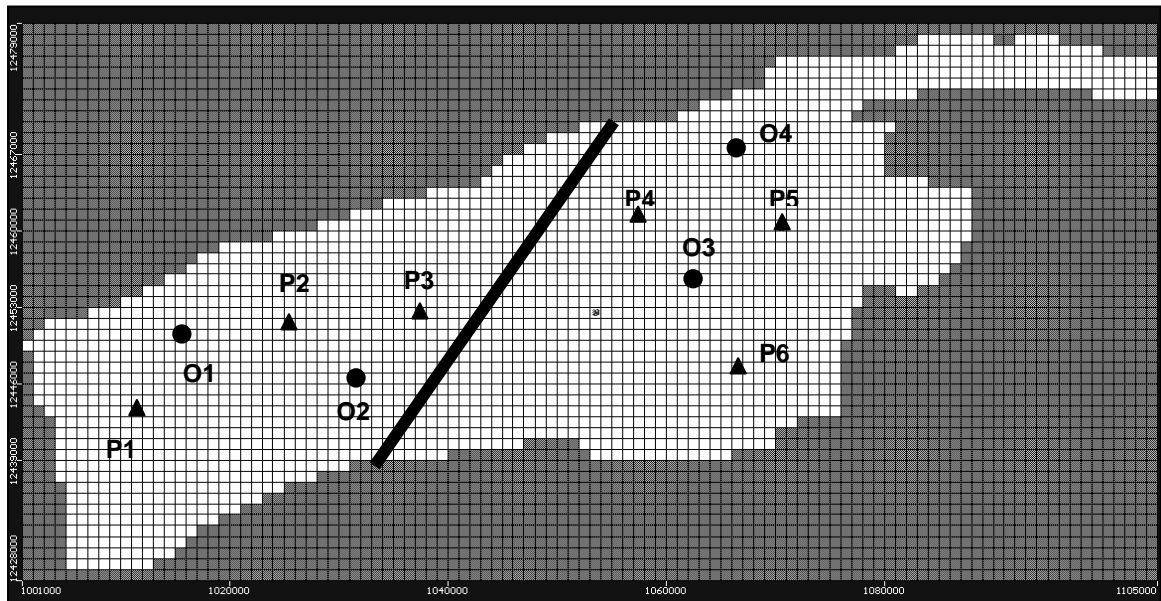


圖 4-3 假設情境案例平面圖

採用 MODFLOW (Harbaugh et al., 2000) 模擬此地下水系統，系統設定及參數如表 4-1。

表 4-1 假設情境案例系統

項目	內容
網格尺寸	300m×300m
網格數量	52×104 個正方形網格
範圍	東西向約 30 km，南北向約 10 km
井數量	6 個抽水井；4 個觀測井
每時段之單位時間長度	6 個月
規劃時間總長度	9 個時段(共 54 個月)

斷層位置將系統分為左右兩部分，交界處之透水係數較低，抽水井對斷層另一側的觀測井水位變化影響較小，因此各井的影響範圍訂為 25 個網格的長度；此設定代表觀測井 O1 及 O2 所量測到的地下水水位將用於推估抽水井 P1 至 P3，而觀測井 O3 及 O4 所量測到的地下水水位將用於推估抽水井 P4 至 P6。

為瞭解觀測井位置對地下水抽水量推估之影響，斷層左側的觀測井被設置在與抽水井距離約略相等的地方，亦即觀測井 O1 距離抽水井 P1 及 P2 約略相等，而觀測井 O2 距離抽水井 P2 及 P3 約略相等。而在斷層右側，觀測井 O3 設置在與 P4、P5、P6 都約略相等的距離，但觀測井 O4 設置則設施在離系統邊界很近的地方，較無法平均地接受到各抽水井的影響。透過上述觀測井位置設計，可以瞭解觀測井位置對地下水抽水量推估結果的影響。

根據上述的地下水系統，以下列四種假設情境進行理想案例純數值模式驗證，案例 A 中所有抽水井以定量(constant pumping rate)進行抽水，案例 B 及案例 C 探討抽水量在空間上及時間上的

變化，對地下水抽水量推估的影響，案例 D 則是在案例 A 中加入觀測井的觀測誤差，用以探討觀測誤差對地下水抽水量推估的影響，因在現實情況下，對於蒐集資料之觀測誤差的資料不多，因此本團隊在案例 D 中的一個情境，加大觀測誤差，使其比實際誤差大，進而透過純數值模式驗證來分析蒐集資料之觀測誤差可能造成之影響。詳細的案例內容如下：

案例 A：所有井以定量(constant pumping rate)進行抽水，其抽水量為 $2,832 \text{ m}^3/\text{day}$ 。

案例 B：不同的井有不同的抽水量，抽水井 P1 之抽水量為 $2,832 \text{ m}^3/\text{day}$ ，抽水井 P2 至抽水井 P6 之抽水量分別為抽水井 P1 抽水量之 90%至 50%，每一抽水井相差 10%之抽水量，但抽水量不隨時間改變。

案例 C：所有井之抽水量相同，但此抽水量會隨時間而改變，第一個時段的抽水量為 $2,832 \text{ m}^3/\text{day}$ ，隨後每個時段減少 $283 \text{ m}^3/\text{day}$ (即初始抽水量之 10%)，直到第五個時段，第六個時段起每個時段增加 $283 \text{ m}^3/\text{day}$ (即初始抽水量之 10%)，直到第九個時段。

案例 D：以案例 A 為基礎，加上觀測井的觀測誤差。觀測誤差有兩種假設情況，以高斯噪音的方式加入，其平均值為零，標準差分別為 0.03m 及 0.3m。其中標準差 0.3m 的誤差比一般實際情況大很多，依 Prinos et al. (2004)的研究指出，地下水水位(或水壓)觀測的誤差很少會大於 0.03m。

要分析資料同化納進法對地下水抽水量推估及地下水水位模擬及預測的結果，分析真實解與推估值之間的差距，因此採用均方根誤差(root mean square error, RMSE)及平均誤差百分比來評估其結果，針對第 u th 時段地下水抽水量推估、水位模擬及水

位預測的誤差可表示如下：

$$RMSE(t_u) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{f_{j,u}^a - f_{j,u}^t}{f_{j,u}^t} \right)^2} \quad (4-33)$$

$$\varepsilon^{(f)}(t_u) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{f_{j,u}^a - f_{j,u}^t}{f_{j,u}^t} \right| \times 100 \quad (4-34)$$

式中 f 可為水頭(hydraulic head, 即 $f = h$)或是洩降(drawdown, 即 $f = s = h - \bar{h}$, 其中 \bar{h} 為參考水頭), 若要分析地下水抽水量推估誤差時, f 可為抽水量(即 $f = q$)。

為了能詳細的展示推估結果, 在分析水位誤差時, 以每一時段進行資料同化前及進行資料同化前後之平均誤差百分比來比較。在分析抽水量推估誤差時, 亦同時採用方程式(4-35)來計算全域的抽水量推估誤差 $\varepsilon_T^{(q)}(t_u)$ 。

在進行資料同化時, 假設 6 個抽水井的抽水量均為未知(unknown), 僅用觀測井的水位進行推估各抽水井的抽水量, 因此 6 個抽水井的抽水量起始推估值為 0, 亦即假設均不抽水。總模擬時間為 54 個月, 共為 9 個時段, 每一時段為 6 個月。

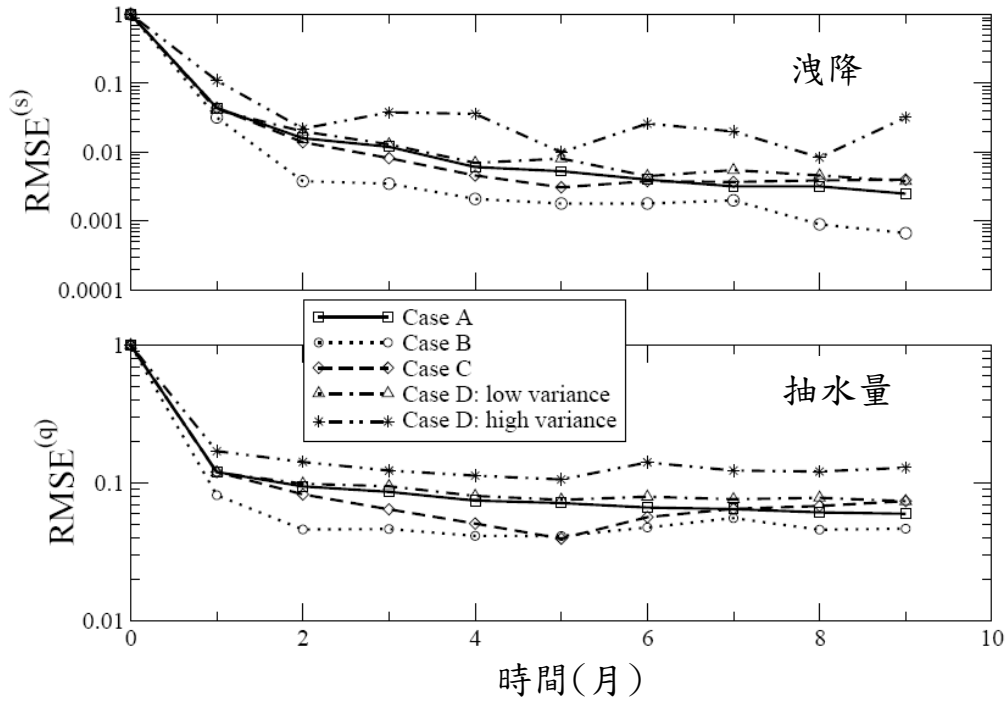


圖 4-4 觀測井洩降之均方根誤差(RMSE)(上圖)及抽水量推估之均方根誤差(RMSE)

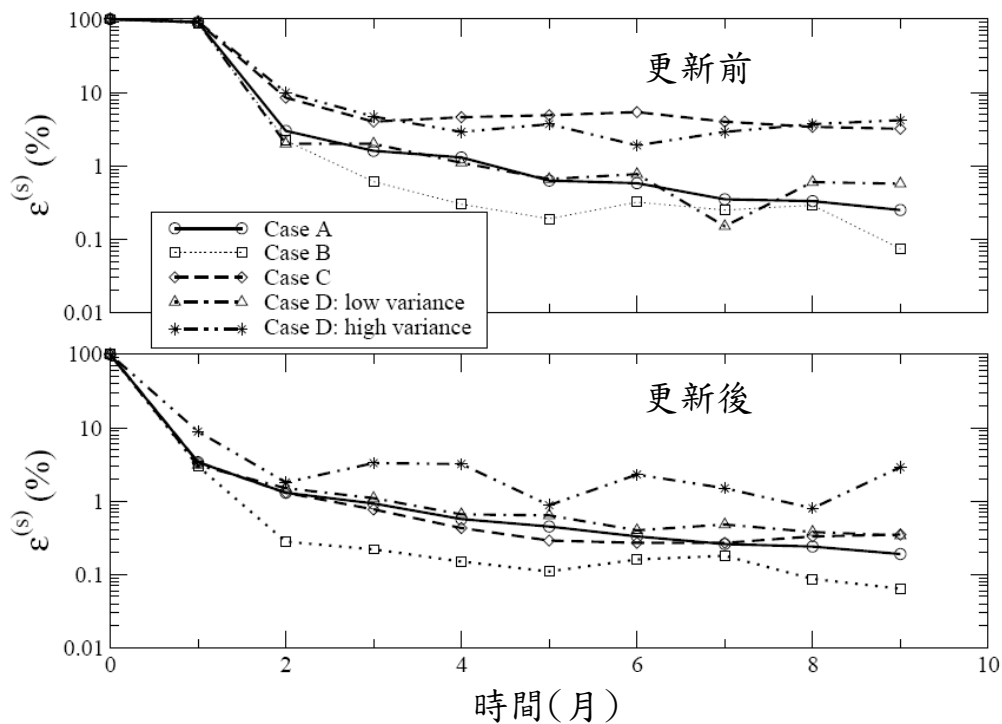


圖 4-5 資料同化前(上圖)及資料同化後(下圖)觀測井洩降推估之平均誤差百分比

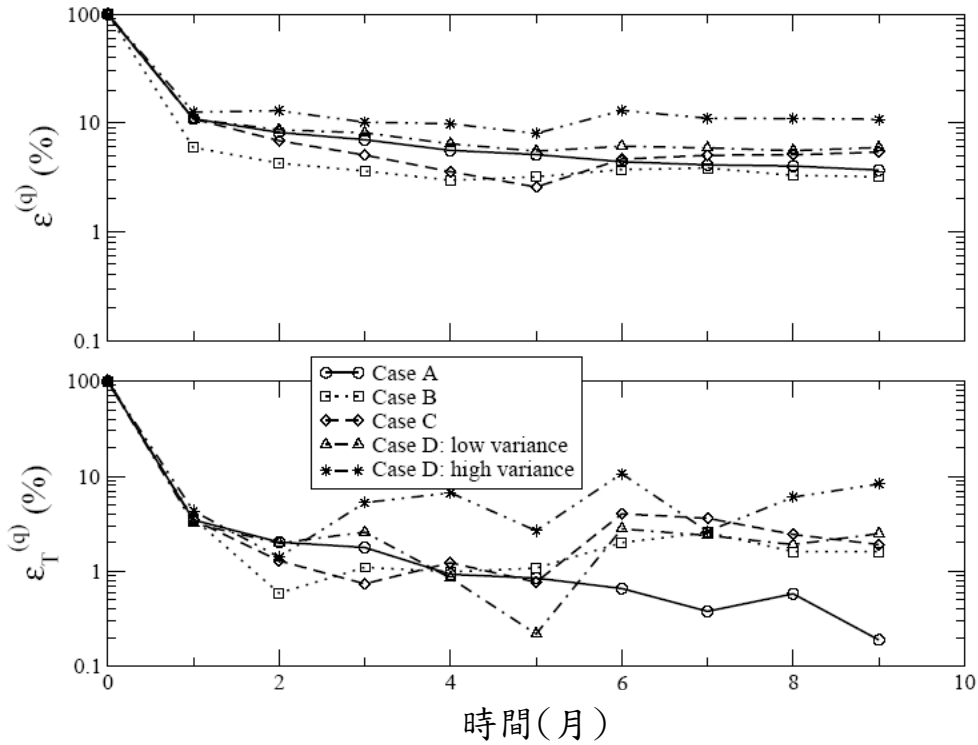


圖 4-6 單井抽水量推平均估誤差百分比(上圖)及全域抽水量推估平均誤差百分比(下圖)

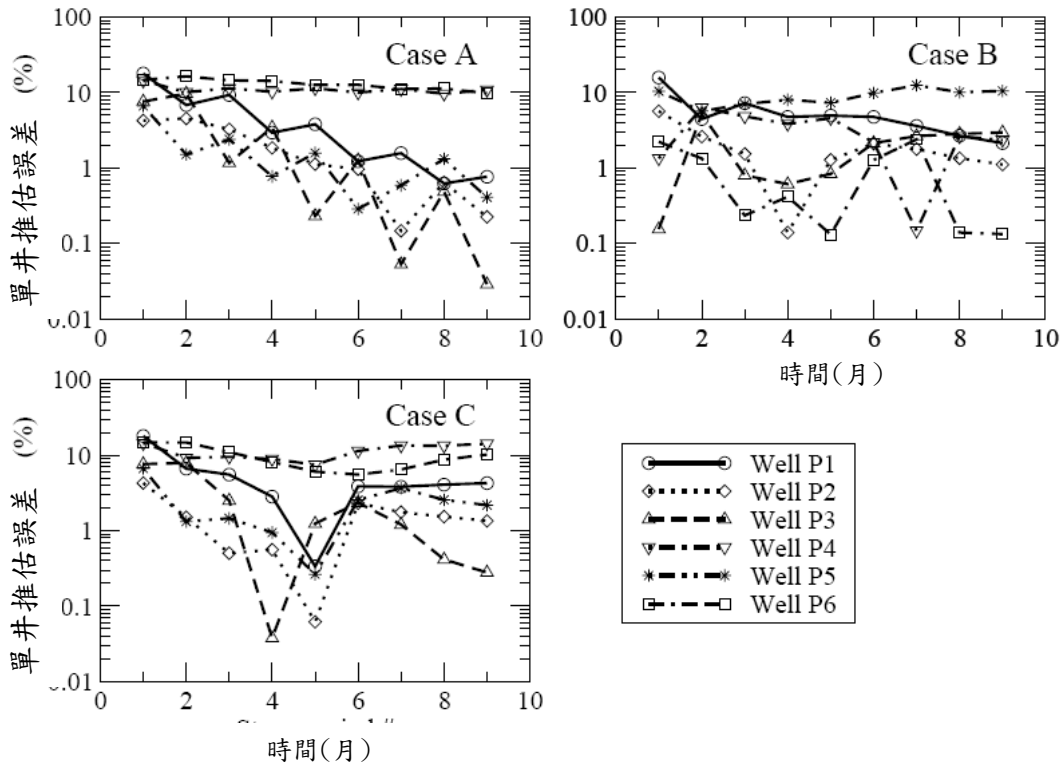


圖 4-7 方案 A、B 及 C 之各井抽水量推估誤差百分比

圖 4-4 顯示在各觀測井洩降之推估之均方根誤差(RMSE)及各抽水井抽水量推估之均方根誤差(RMSE)，圖 4-5 為進行資料同化前及資料同化後觀測井洩降推估之平均誤差百分比，圖 4-6 顯示單井抽水量推平均估誤差百分比及全域抽水量推估平均誤差百分比，圖 4-7 顯示方案 A、B 及 C 之各井抽水量推估誤差百分比。

結果顯示，對案例 A、B 及 C 進行一次資料同化後，洩降誤差即可大幅下降，無論是均方根誤差(RMSE)(圖 4-4 上方)或是平均的相對誤差(圖 4-5 下方)都顯示出相同的趨勢。對案例 D，推估誤差被加入的觀測誤差所影響，但仍可以看出推估值持續改善的趨勢，9 個時段後，相對誤差已接近 1%。此外，地下水抽水量推估誤差也呈現類似的趨勢，但具較大的誤差，這是因為資料同化技術的基本目標是降低狀態變數(水位)的誤差，且地下水抽水量之推估是透過水位轉換而來。若不考慮案例 D 中極大觀測誤差(0.3m)的案例，則所有的單井地下水抽水量推估的平均誤差均在 7%以下，全域的地下水抽水量之平均誤差均在 5%以下，若考慮案例 D 中極大觀測誤差(0.3m)的案例所推估之地下水抽水量平均誤差亦不高於 15%。圖 4-6 顯示，當推估的範圍加大，則地下水抽水量推估的誤差就會減小。圖 4-7 顯示單一井在案例 A、B 及 C 中的抽水量推估誤差(以方程式(4-35)計算)，抽水量推估對抽水井 P4 及抽水井 P6 相對較差，是因為觀測井 O4 的位置較為偏遠的原故，這也顯示觀測井的位置會影響抽水量推估的準確性，然而在這些案例中，即使觀測井的位置較為偏遠，任一抽水井抽水量推估的誤差均不會超過 15%。

結果顯示，抽水量之誤差雖略大於水位之誤差，然在地下水推估領域實屬極小之誤差。以用流量其校正地下水水位可得到較

合理之起始水位，並藉由增加資料同化的次數逐步降低模擬誤差，此為資料同化方法之重要特色。

本計畫所採用之地下水推估方法與過去屏東地區所採用地下水抽水量推估方法不同之處有：(1)可採用觀測站網及時之地下水位觀測資訊，進行地下水抽水量推估；(2)若水井位置及深度已知，此方法可推求各水井在各含水層之抽水量。

第五章 模式應用於小區域抽水量推估驗證

一、選定小區域進行抽水量推估驗證

為驗證推估抽水量模式之正確性，本計劃以現地問題進行抽水量之推估。驗證流程如下，首先選擇示範場址，場址中需有大量抽水且其抽水量有明確記錄之抽水井，在此初步挑選自來水公司之淨水廠抽水井作為示範井。推估地下水抽水量需考慮抽水井之「影響範圍」，水位站需位於抽水井之「影響範圍」，其水位資料才可用於推估地下水抽水量。

本計畫所採用之資料同化技術，可在給定抽水井位置與深度之前提下，推估抽水井之抽水量。若自來水公司水井周遭有其他民井，其位置與深度可以掌握的話，本技術可以釐清其影響；反之，若完全無法掌握民井之位置與深度，由於水位是周遭所有水井抽水之綜合效應，自來水公司水井抽水量推估值與實際抽水值相比，則會有高估之現象發生，高估程度則視未掌握民井的距離與抽水量值大小而定。然而，自來水井之深度及抽水量應與一般民井有較大的區別，因此初步推測，對於較深之含水層民井之影響應不大。此外，後續應用於屏東平原區域抽水量之推估上，由於此處的水井已延伸為概念的分區水井群(well cluster)，而跳脫原本定義的實體水井，可涵蓋整個屏東平原，故則不受實體水井位置掌握與否之影響。

其次，針對示範區域建立地下水流數值模式，並完成水力傳導係數(K)與儲水係數(S)等之檢定。最後，結合地下水數值模式與區域地下水抽水量推估模式，完成示範井之推估與驗證。

示範場址位於屏東地區東南段，如圖 5-1 方框內所標示之範圍，主要位於東港溪流域，東西兩側分別緊鄰林邊溪與高屏溪，地表高程約為海拔 1 公尺至 35 公尺之間。示範場址共有 7 口地

下水觀測網之觀測井，分別為新埤站、新庄站、大湖站、萬巒站、萬隆、港東站、崁頂站及潮州站，如圖中三角型標記所示，該水位觀測資料可作為地下水抽水量推估模式所用。

區域內共有兩個自來水淨水場，分別為四春淨水廠及崙東淨水廠，兩者之所使用之水源均為地下水，依鑽井資料(如附錄五)，四春淨水廠抽取第一及第二含水層之地下水，崙東淨水廠抽取第一、第二及第三含水層之地下水。除淨水場外，尚有一位於崁頂之台糖地下水井，其名稱為崁頂 1 號井。淨水場及台糖地下水井之抽水記錄可作為地下水抽水量推估模式驗證之用。最終之示範場址將依淨水廠所取得之資料進行判斷，若資料不齊、無法取得或其它因素，本團隊將會依可得之資料進行示範場址之選定及驗證地下水抽水量推估模式。

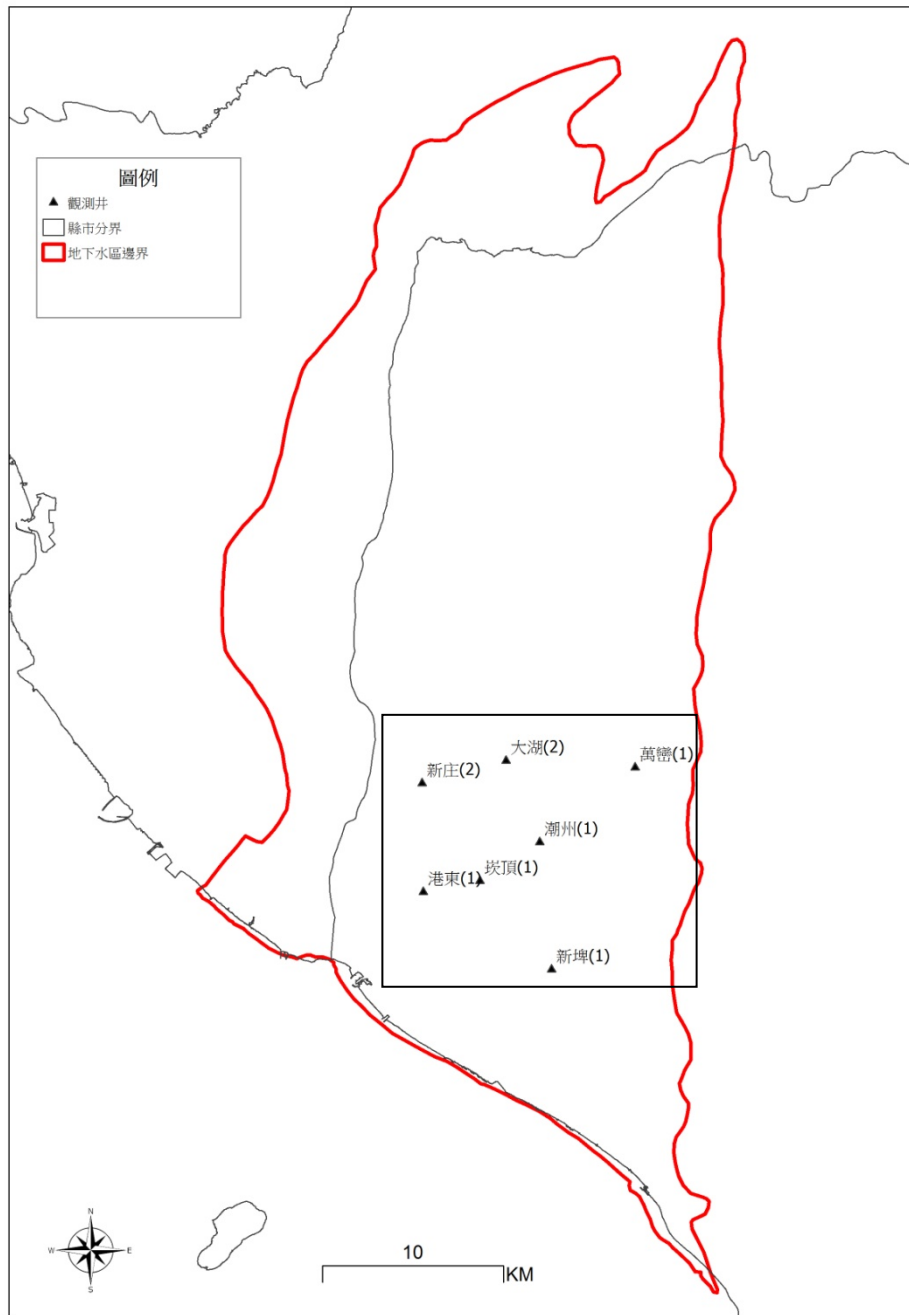


圖 5-1 屏東平原之示範區域位置圖

二、建立模式驗證區域之地下水模擬模式

本計畫於屏東地區範圍內，選定一示範區域進行模式驗證，由於屏東地區數值模式屬於區域尺度(regional scale)的模式，模擬網格預設定為 1000 公尺乘以 1000 公尺，對於示範區域之局部

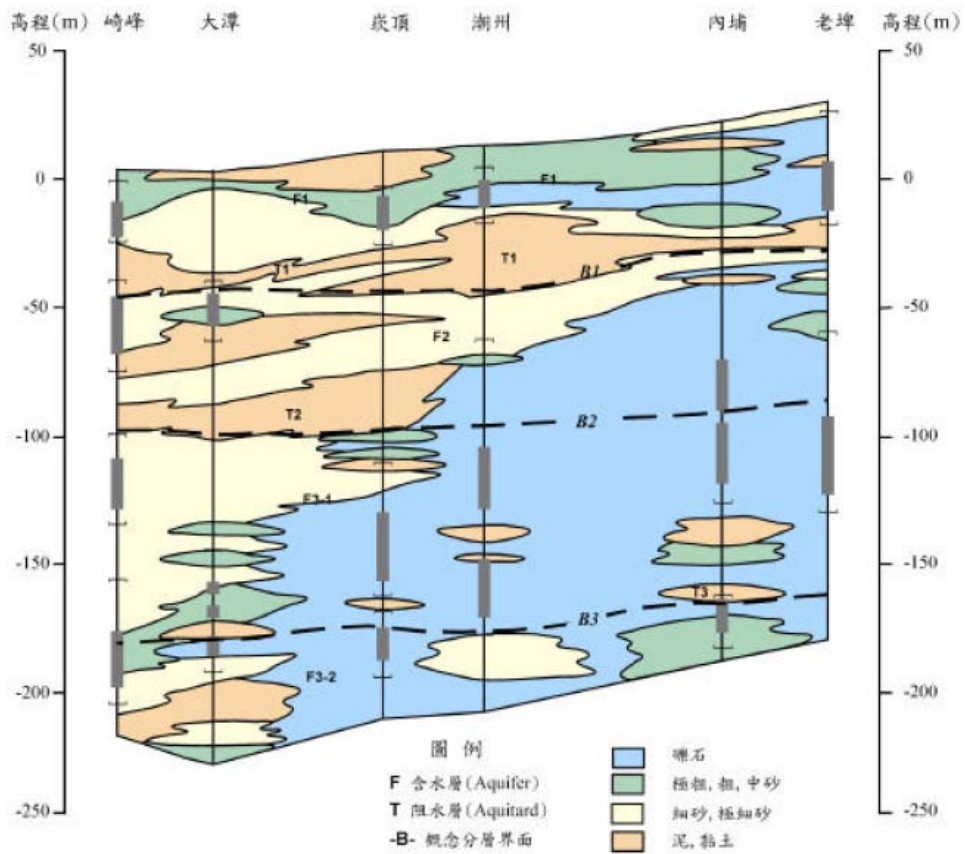
尺度(local scale)而言偏大，模擬網格與精度亦過大，因此本計畫以屏東地區數值模式為基礎，全區域進行網格加密為 250 公尺乘以 250 公尺，以提升示範區域之模擬精度。

(一)邊界條件與網格劃分

1、地下分層架構

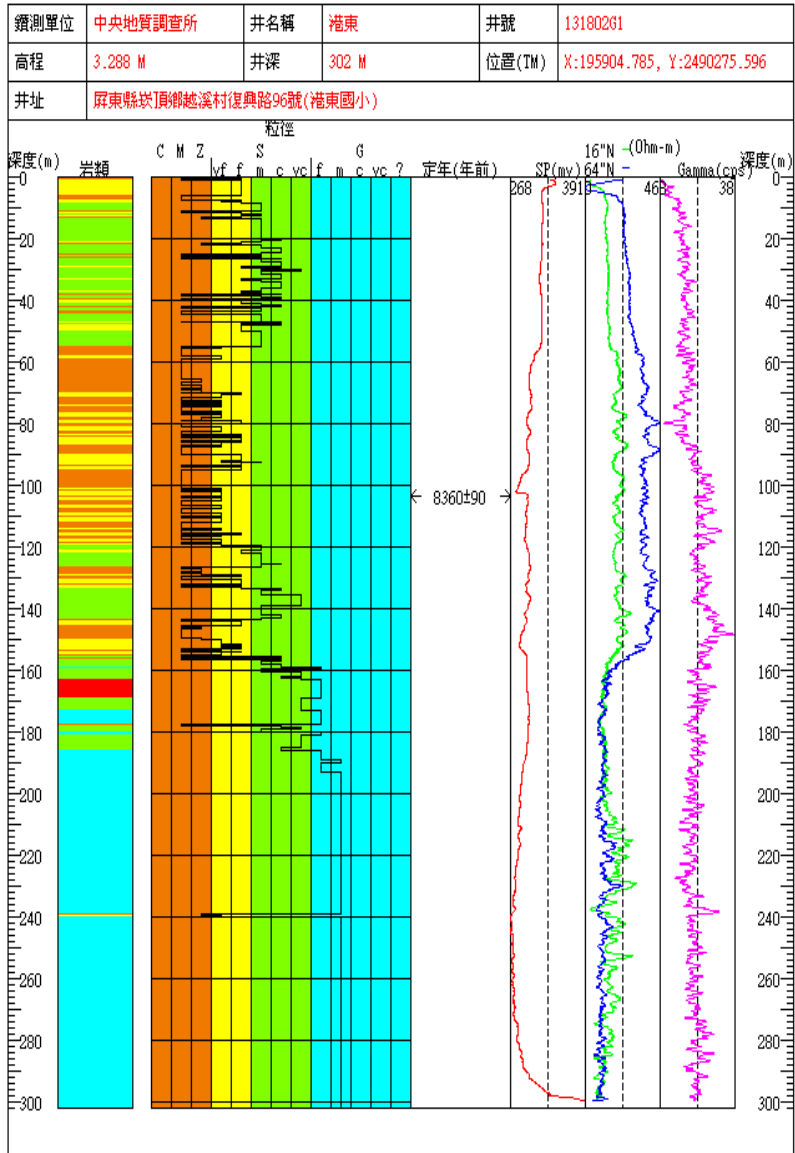
MODFLOW 模擬的設定上，可將含水層型態設定為拘限含水層或非拘限含水層，並需分別輸入各分層之上部高程和底部高程。由於示範區域之數值模式，建構於屏東平原數值模式上，故本計畫除參考中央地質調查所於民國 91 年完成之「臺灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究總報告」，利用報告提供之示範區域水文地質剖面圖(如圖 5-2 所示)與觀測井之地層柱狀圖(如圖 5-3~圖 5-5 所示)進行細部調整外，分層架構將延用屏東地區之設定。

示範區數值模式基本上採用與全區相同之模式，不同之處為網格加密，精度提高，但不因此改變邊界條件，因此邊界條件之設定與全區之模式相同。



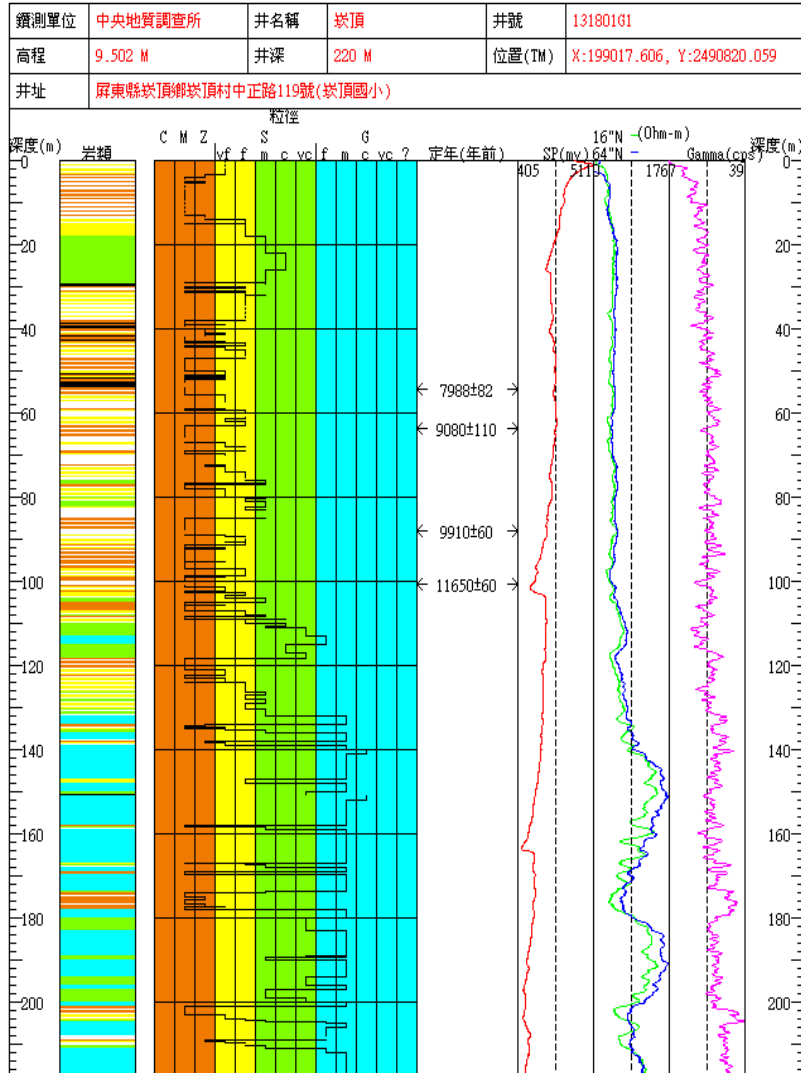
資料來源：經濟部中央地質調查所

圖 5-2 屏東地區水文地質剖面圖



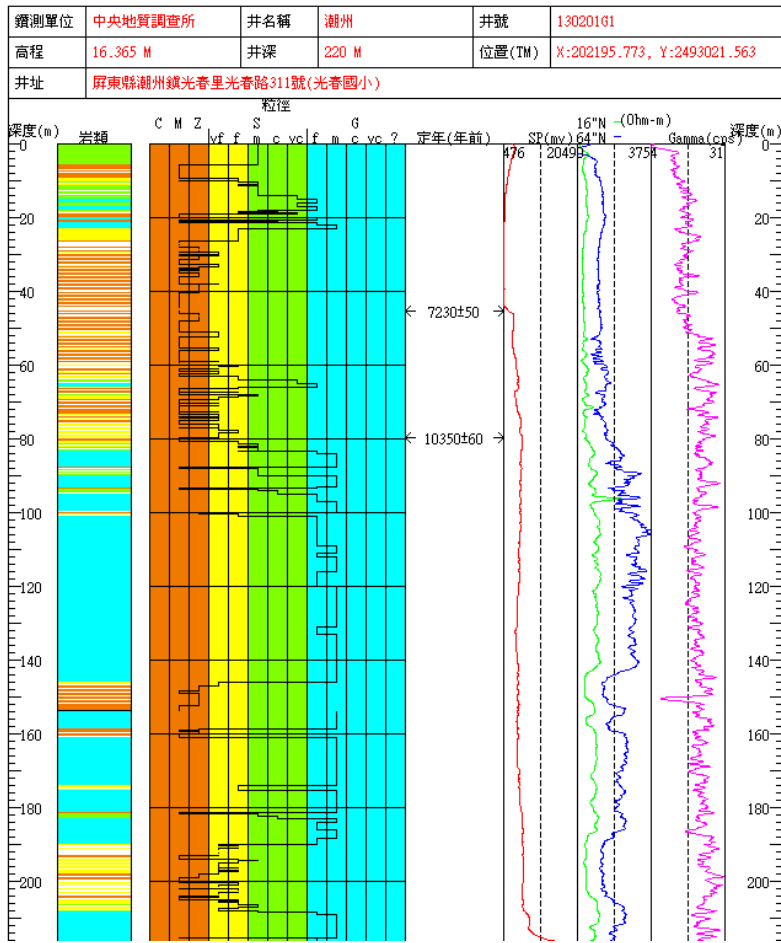
資料來源：中央地質調查所全球資訊網 <http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp>

圖 5-3 港東觀測井地質鑽探資料



資料來源：中央地質調查所全球資訊網 <http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp>

圖 5-4 崁頂觀測井地質鑽探資料



資料來源：中央地質調查所全球資訊網 <http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp>

圖 5-5 潮州觀測井地質鑽探資料

2、模式網格劃分

示範案例以屏東地區數值模式為基礎，全區域網格加密後，進行示範區域之模擬。網格為 250 公尺乘以 250 公尺之等間距的網格，南北方向分為 36 列，東西方向分為 56 行，其相對位置示意圖如圖 5-6 所示。

水力傳導係數視為定值。

2、儲水係數

由於儲水係數必須進行複井抽水試驗才能求得，但在觀測站網建置時，僅有少量觀測井進行複井抽水試驗，故其數值遠較水力傳導係數資料少，所以將綜合考量試驗所得之觀測值與過去相關研究，配合徐昇氏分區方法分配至各分區，並於後續模擬時，儲水係數視為定值。

3、起始地下水水位

對於暫態模式而言，初始地下水水位代表模式之初始條件，不同初始條件影響模擬結果極劇，應選取適當之觀測值。示範區域以 2010 年為驗證時段，因此使用西元 2009 年 12 月之平均水位當作起始水位，待模式完成第一時刻模擬後，所獲得之模擬水位值當作第二時刻之起始地下水水位，繼續下一時刻之模式模擬。

三、驗證區域之地下水抽水量推估

(一) 示範抽水井選擇

示範區域中，自來水公司有四春及崙東淨水場，其中崙東淨水場目前已停用，四春淨水場仍在使用中(如圖 5-7)，抽取第一及第二含水層之地下水，以民國 99 年為例，其抽水量如表 5-1 所示，兩含水層抽水量合計，每日抽水量約在 240~350 m³ 之間，年平均之日抽水量約為 290 m³/day。



圖 5-7 自來水公司四春淨水場水井

表 5-1 民國 99 年四春淨水場抽水量統計表

月份	1	2	3	4	5	6
總用水量	8367	9839	9694	9020	8627	7323
平均日用水量	269.9	351.39	312.71	300.67	278.29	244.1
月	7	8	9	10	11	12
總用水量	8072	8344	9148	9554	8887	8812
平均日用水量	260.39	269.16	304.93	308.19	296.23	284.26

單位：m³

除自來水公司抽水井外，示範區域內尚有台糖崁頂 1 號井，位於屏東縣崁頂鄉垃圾資源回收廠東邊約 200 公尺處，其建築物外觀如圖 5-8 及井體外觀如圖 5-9。此井建於民國 85 年，井深 188 公尺，井管內徑 400mm，開孔於第三含水層，民國 99 年每月抽水量如表 5-2 所示。與自來水井相比，台糖崁頂 1 號井抽水量較自來水井大，且不同月份之抽水量變化也比較大，與自來水公司抽水特性明顯不同。



圖 5-8 台糖崁頂 1 號井建築物外觀



圖 5-9 台糖崁頂 1 號井井體

表 5-2 民國 99 年崁頂 1 號井用水量統計表

月份	1	2	3	4	5	6
總用水量	115430	89750.5	121874	182974	112499	38787.2
平均日用水量	3723.5	3205.4	3931.4	6099.1	3629.0	1292.9
月	7	8	9	10	11	12
總用水量	25133.5	40474	2191	18741.6	80251.2	0
平均日用水量	810.8	1305.6	73.0	604.6	2675.0	0

單位：m³

(二) 敏感度分析

利用地下水模擬模式，透過敏感度分析可得到抽水井之抽水行為與觀測井之水位變化之關係，亦即抽水井一單位抽水會造成觀測井多少之水位變化量，此關係以影響係數表示。敏感度分析為分析抽水量改變對系統狀態變數之影響，亦即對水位之影響。實際分析時採用 MODFLOW 模式中敏感度分析模組(Sensitivity analysis module)進行分析。四春淨水場抽用含水層 1 及含水層 2

之地下水，台糖崁頂 1 號井抽取第三含水層之地下水。四春淨水場抽水井週邊位於位於含水層 1 之地下水位觀測井有潮州(1)、崁頂(1)、港東(1)及新埤(1) (如圖 5-10)；位於含水層 2 之地下水位觀測井有新庄(2)、大湖(2)及萬巒(1) (如圖 5-11)。台糖崁頂 1 號井週邊位於位於含水層 3 之地下水位觀測井有港東(2)、新埤(2)、潮州(2)、新庄(3)、大湖(3)、萬隆(2)及萬巒(2) (如圖 5-12)。以 MODFLOW 建立之地下水模擬模式，進行敏感度分析可得到影響係數如下表，係數值代表地下水井以 $1 \text{ m}^3/\text{day}$ 之抽水量連續抽一個月，會對各地下水位觀測井造成之水位洩降，水位洩降單位為公尺。

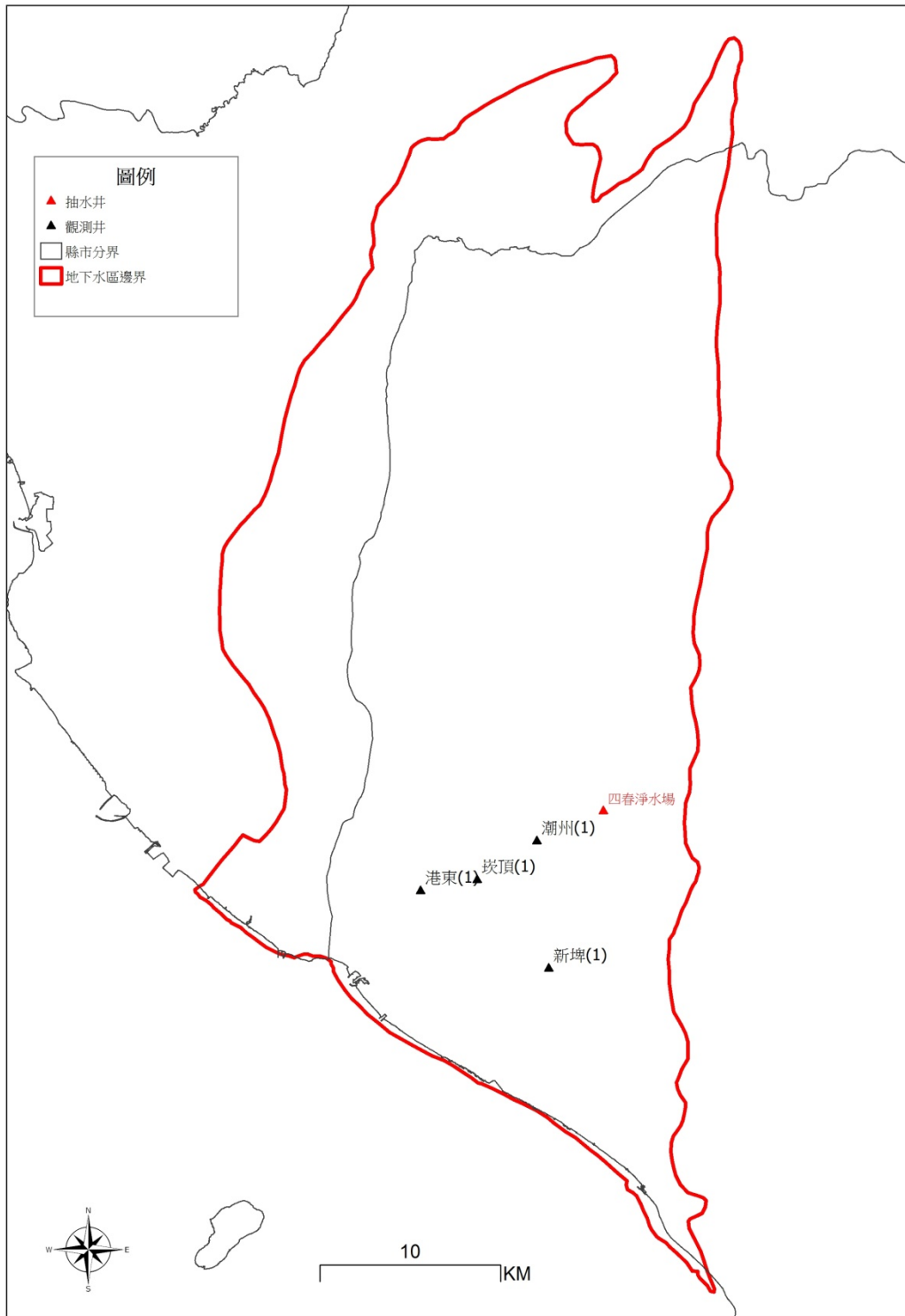


圖 5-10 示範區含水層 1 抽水井(四春淨水場)及其週邊之地下
水位觀測井

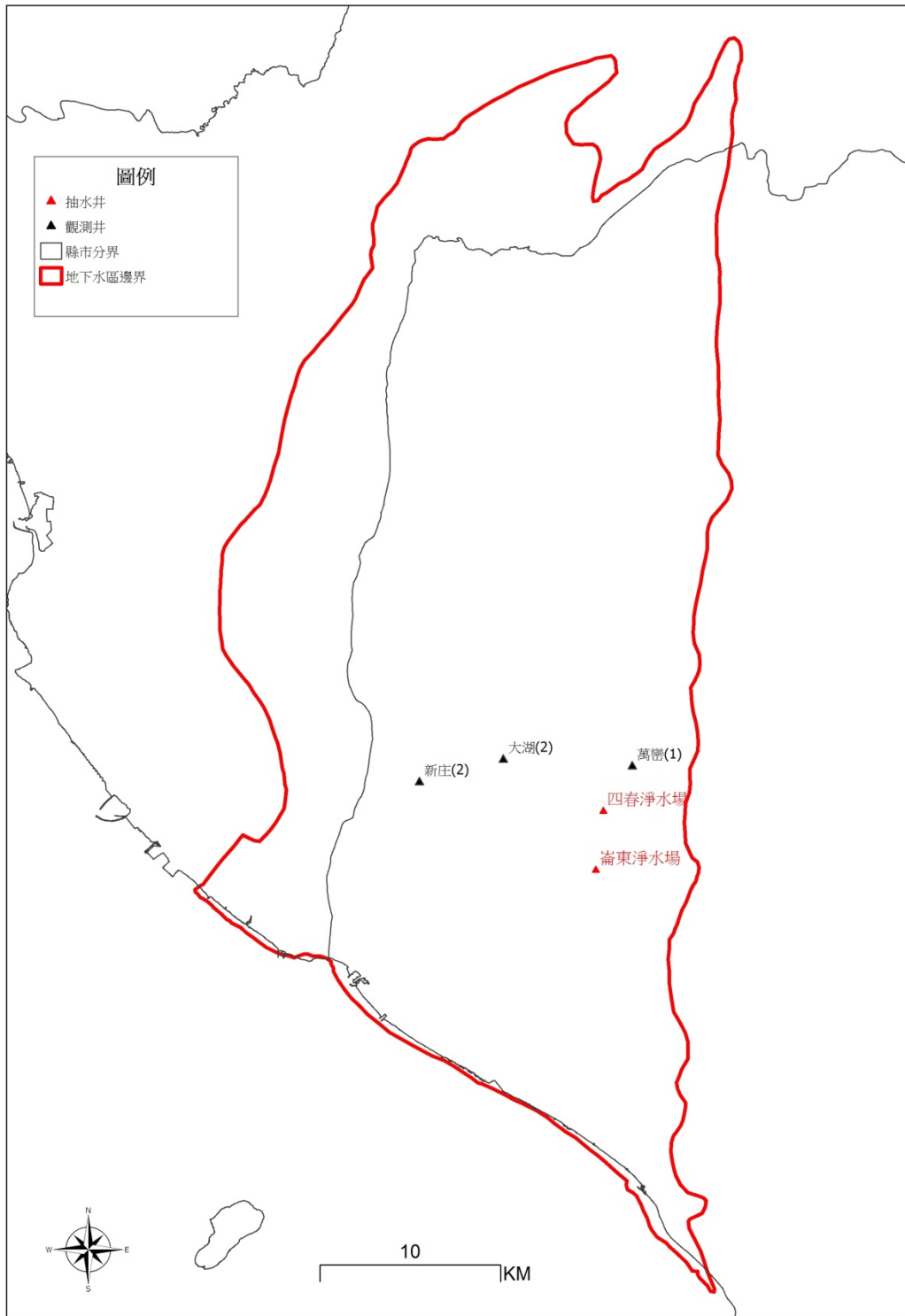


圖 5-11 示範區含水層 2 抽水井(四春及崙東淨水場)及其週邊
之地下水位觀測井

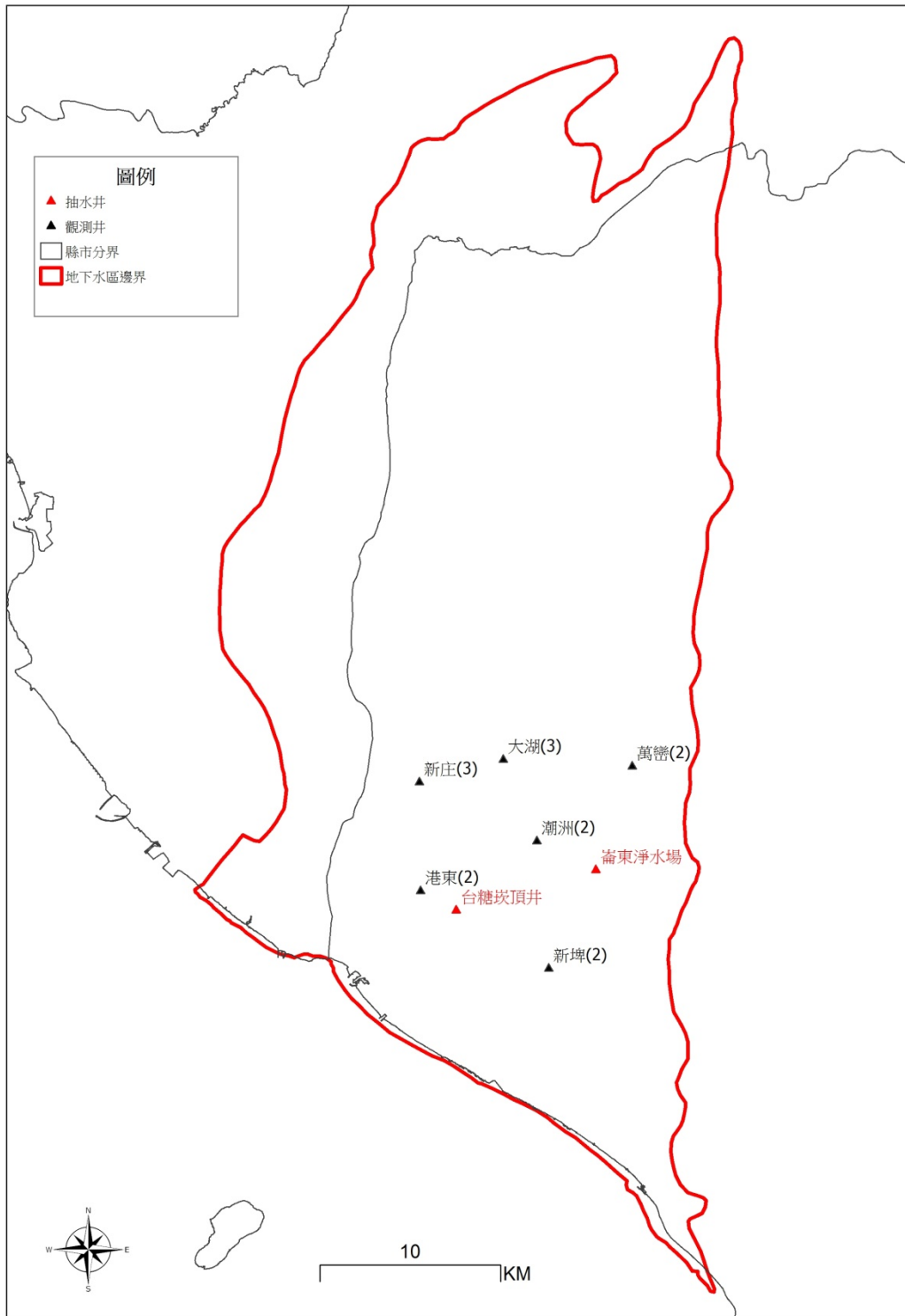


圖 5-12 示範區含水層 2 抽水井(崙東淨水場及台糖炭頂 1 號井)及其週邊之地下水位觀測井

四春淨水場水井對周邊地下水位觀測井之影響係數整理於表 5-3(含水層 1)及表 5-4(含水層 2)，台糖崁頂 1 號井對周邊地下水位觀測井之影響係數整理於表 5-5(含水層 3)。因地質條件及抽水井與觀測井之距離等關係，四春淨水場於含水層 1 之影響係數介於 10^{-6} 至 10^{-10} 之間，於含水層 1 之影響係數介於 10^{-5} 至 10^{-7} 之間；而台糖崁頂 1 號井於含水層 3 之影響係數介於 10^{-4} 至 10^{-6} 之間。由此影響係數分析結果可知，台糖崁頂 1 號井對地下水位觀測井之影響較四春淨水場為大。

表 5-3 四春淨水場水井對周邊地下水位觀測井(含水層 1)之影響係數整理表

	潮州(1)	崁頂(1)	港東(1)	新埤(1)
四春淨水場 (含水層 1)	1.67E-06	1.49E-09	3.08E-10	7.95E-10

表 5-4 四春淨水場水井對周邊地下水位觀測井(含水層 2)之影響係數整理表

	新庄(2)	大湖(2)	萬巒(1)
四春淨水場 (含水層 2)	9.28E-07	5.38E-06	2.09E-05

表 5-5 台糖崁頂 1 號井對周邊地下水位觀測井(含水層 3)之影響係數整理表

	港東(2)	新埤(2)	潮州(2)	新庄(3)	大湖(3)	萬隆(2)	萬巒(2)
台糖 崁頂 1 號 井	1.10E-04	3.42E-05	2.26E-05	1.34E-05	1.10E-05	8.09E-06	6.61E-06

(三) 影響範圍分析

影響範圍可介由影響係數定義，主要是受到地質條件、抽水量及地下水模式單位時間長度(stress period)之影響。以四春淨水場水井及台糖崁頂 1 號井為例，以民國 99 年 1 月之日平均抽水量計算，上述四春淨水場及台糖崁頂 1 號井，兩水井對週邊地下水位觀測井所造成之水位變化如表 5-6 及表 5-7。

表 5-6 四春淨水場水井民國 99 年 1 月抽水量對周邊地下水位觀測井水位之影響

觀測井	潮州(1)	崁頂(1)	港東(1)	新埤(1)
四春淨水場 (含水層 1)	2.25E-04	2.02E-07	4.16E-08	1.07E-07
觀測井	新庄(2)	大湖(2)	萬巒(1)	
四春淨水場 (含水層 2)	1.25E-04	7.26E-04	2.84E-03	

單位：m

表 5-7 台糖崁頂 1 號井民國 99 年 1 月抽水量對周邊地下水位觀測井水位之影響

	港東 (2)	新埤 (2)	潮州 (2)	新庄 (3)	大湖 (3)	萬隆 (2)	萬巒 (2)
台糖 崁頂 1 號井	0.408	0.127	0.084	0.050	0.041	0.030	0.025

單位：m

由抽水量對觀測井地下水位之影響分析可知，四春淨水場民國 99 年 1 月之抽水量對影響最大之觀測井萬巒(1)，僅能造成 2.84mm 之水位洩降，對其餘觀測井之水位影響更小，此水位變化已小於水位量測儀器之量測誤差範圍。

台糖崁頂 1 號井民國 99 年 1 月之抽水量對於 12.4 公里外的萬巒(2)地下水位觀測井尚能造成 2.5cm 之水位洩降，對於距離 2 公里外的港東(2)地下水位觀測井能造成 40.8cm 之水位洩降。

根據抽水量對觀測井地下水位之影響分析得知，各地下水位觀測井均位於四春淨水場之影響範圍之外，此外，依鑽井資料顯示，台糖崁頂 1 號井抽取最深的第三含水層之地下水，受周邊私有井之影響應最小，因此本計畫採用台糖崁頂 1 號井進行現地抽水量推估驗證。

(四) 分配係數及權重係數

進行資料同化納進法進行推估地下水抽水量之前，需依方程式(4-25)至(4-31)計算分配係數及權重係數，其計算乃依據抽水井及觀測井之相對位置進行計算，台糖崁頂 1 號井對週邊地下水位觀測井之分配係數及權重係數如表 5-8 所示。Cressman-type 函數中之權重 w 可知，距離越遠其值越小。分配係數及權重係數分別將水位殘差分配到位於其影響半徑內之各抽水井，並將多個水位觀測訊息整合，此整合後之訊息可透過影響係數，轉換為地下水抽水量推估。

表 5-8 台糖炭頂 1 號井對周邊地下水位觀測井水位之分配

係數及權重係數

	港東(2)	新埤(2)	潮州(2)	新庄(3)	大湖(3)	萬隆(2)	萬巒(2)
Cressman type 函數 w	0.9493	0.9380	0.6589	0.4859	0.3554	0.2665	0.0064
分配係數 w'	0.14286	0.14286	0.14286	0.14286	0.14286	0.14286	0.14286
權重係數 w*	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

(五) 示範區域現地抽水推估結果

進行台糖炭頂 1 號井抽水量推估時，假設台糖炭頂 1 號井抽水量未知，因此模式中假設其抽水量為零，以資料同化納進法進行抽水量推估，並以推估之抽水量進行模式地下水位更新(update)，推估期間為民國 99 年 1 月至 12 月，不考慮模式誤差及觀測誤差。影響係數、影響範圍、分配係數及權重係數均為定值。抽水量推估結果如表 5-9 及圖 5-13，地下水位更新結果如表 5-10、圖 5-14 及圖 5-15。

台糖炭頂 1 號井抽水量在不同月份抽水量變化大，例如 4 月份之抽水量接近 $183000 \text{ m}^3/\text{month}$ (約 $6100 \text{ m}^3/\text{day}$)，而 12 月抽水量為零。由抽水量推估結果可知，資料同化納進法可提供與實際抽水量相近之推估值，亦可反應出不同月份抽水量的變化。以方程式(35)計算之月平均地下水抽水量推估誤差為 1.7%，年總抽水量之推估誤差為 0.007%。計算過程如下：

月平均地下水抽水量推估誤差：

$$\frac{|(117143 - 115430)| + |(86261 - 89750)| + \dots + |(45 - 0)|}{828106} \times 100\% = 1.7\%$$

年總抽水量之推估誤差：

$$(828160 - 828106)/828106 \times 100\% = 0.007\%$$

由此結果可知，雖月推估之抽水量誤差為 1.7%，然部分月份為抽水量超估，部分月份為抽水量低估，當推估時間加長，超估及低估部分相互抵消，則總抽水量推估之誤差可大幅減小，此現象說明若抽水量推估的時間拉長，則誤差可以降低。

地下水位用推估之流量，進行資料同化之地下水位更新後，由表 5-9、表 5-10 及圖 5-13 可知，在台糖炭頂 1 號井 12.5 公里距離內的 7 個地下水位觀測井在分析的 12 各月內，其更新水位與觀測水位之誤差絕大部分在 1 公分以下，而圖 5-14 及圖 5-15 為示範區域現地地下水觀測水位及更新水位結果。綜合上述結果，顯示資料同化納進法可藉由即時之水位觀測資料，推得地下水抽水量及地下水位分佈情形。

表 5-9 示範區域現地抽水量推估結果

	實際抽水量		推估抽水量		推估誤差百分比(%)
	月總量 (m ³)	平均日抽水量 (m ³ /day)	月總量 (m ³)	平均日抽水量 (m ³ /day)	
1 月	115430	3723.5	117143	3779	1.5%
2 月	89750.5	3205.4	86261	3081	-3.9%
3 月	121874	3931.4	123911	3997	1.7%
4 月	182974	6099.1	182096	6070	-0.5%
5 月	112499	3629.0	114010	3678	1.3%
6 月	38787.2	1292.9	37645	1255	-2.9%
7 月	25133.5	810.8	26458	853	5.3%
8 月	40474	1305.6	40198	1297	-0.7%
9 月	2191	73.0	1552	52	-29.2%
10 月	18741.6	604.6	18972	612	1.2%
11 月	80251.2	2675.0	79869	2662	-0.5%
12 月	0	0	45	1.5	—
總計	828106	27350.3	828160	27337.5	0.007%

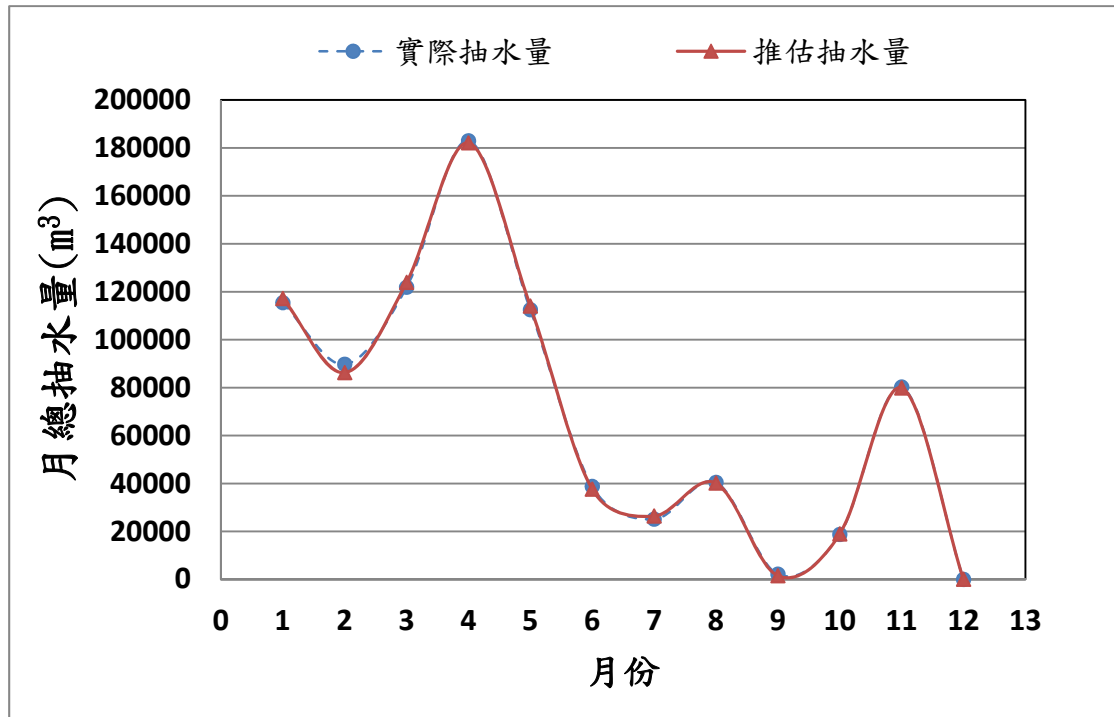


圖 5-13 示範區域現地(台糖炭頂 1 號井)抽水量推估結果比較

圖

表 5-10 示範區域現地地下水位更新結果

水位觀測站		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
潮州 (2)	觀測水位	15.831	15.047	14.300	13.513	13.595	16.117
	更新水位	15.830	15.049	14.299	13.513	13.594	16.117
港東 (2)	觀測水位	2.930	2.844	2.673	2.132	2.583	4.273
	更新水位	2.923	2.856	2.668	2.135	2.578	4.276
新埤 (2)	觀測水位	12.408	11.447	10.469	9.269	8.721	11.305
	更新水位	12.406	11.450	10.468	9.270	8.719	11.305
新庄 (3)	觀測水位	4.238	3.771	3.551	3.117	3.792	6.330
	更新水位	4.237	3.772	3.551	3.117	3.792	6.330
大湖 (3)	觀測水位	13.174	12.900	12.666	12.330	12.828	14.539
	更新水位	13.174	12.901	12.665	12.330	12.828	14.539
萬巒 (2)	觀測水位	22.271	21.431	20.352	19.435	19.266	21.565
	更新水位	22.271	21.432	20.352	19.435	19.266	21.565
萬隆 (2)	觀測水位	25.877	24.297	22.863	21.905	21.913	26.241
	更新水位	25.877	24.298	22.862	21.906	21.912	26.241

水位觀測站		7月	8月	9月	10月	11月	12月
潮州 (2)	觀測水位	18.923	20.482	20.036	21.197	20.355	18.815
	更新水位	18.923	20.482	20.036	21.197	20.356	18.815
港東 (2)	觀測水位	5.439	6.178	6.159	6.123	5.391	5.224
	更新水位	5.435	6.178	6.161	6.123	5.392	5.225
新埤 (2)	觀測水位	14.397	16.355	17.151	19.166	17.099	15.365
	更新水位	14.396	16.355	17.152	19.166	17.099	15.365
新庄 (3)	觀測水位	6.700	7.836	8.156	8.056	7.269	7.078
	更新水位	6.699	7.836	8.156	8.056	7.269	7.078
大湖 (3)	觀測水位	15.763	16.290	15.840	15.989	15.032	14.899
	更新水位	15.762	16.290	15.840	15.989	15.032	14.899
萬巒 (2)	觀測水位	24.901	26.466	26.575	28.304	26.960	25.399
	更新水位	24.901	26.466	26.575	28.304	26.960	25.399
萬隆 (2)	觀測水位	32.072	33.737	32.864	36.436	33.362	30.591
	更新水位	32.072	33.736	32.864	36.436	33.362	30.591

單位：m

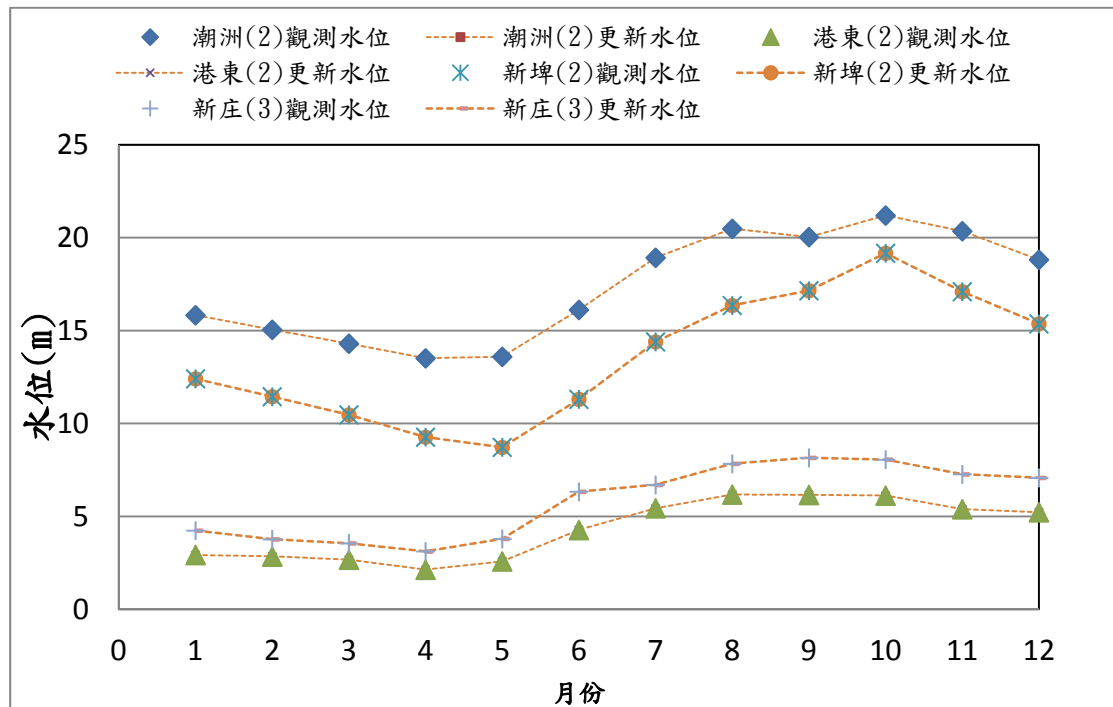


圖 5-14 示範區域現地地下水觀測水位及更新水位結果比較圖(潮州

(2)、港東(2)、新埤(2)及新庄(3)觀測井)

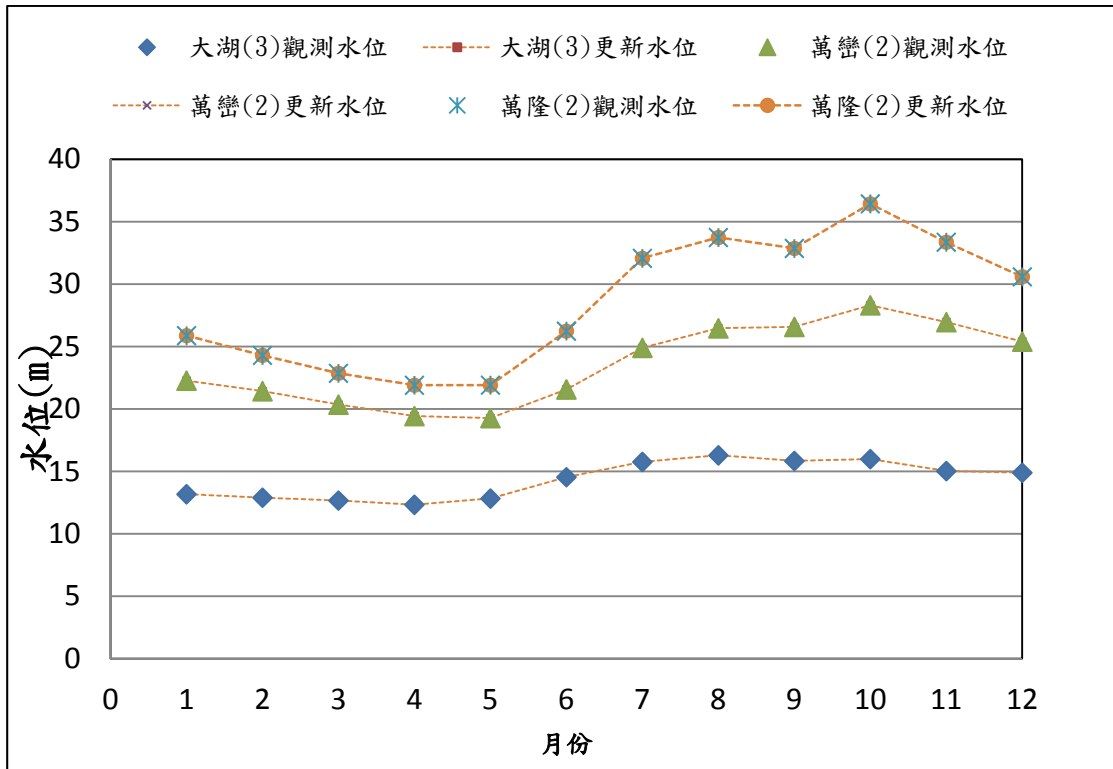


圖 5-15 示範區域現地地下水觀測水位及更新水位結果比較

圖(大湖(3)、萬巒(2)及萬隆(2)觀測井)

第陸章 屏東地區地下水抽水量推估

一、建立屏東地區地下水模擬模式

(一)邊界條件與格網劃分

1、地下分層架構

MODFLOW 模擬之設定上，可將含水層型態設定為拘限含水層或非拘限含水層，並需分別輸入各分層之上部高程和底部高程。本計劃參考中央地質調查所於民國 91 年出版之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東地區水文地質調查研究報告」，以屏東地區 53 站地層柱狀圖，完成水文地質剖面一至十三（深度最深至 300 公尺左右），劃分出屏東地區概念分層，依深度分別為含水層 1、阻水層 1、含水層 2、阻水層 2、含水層 3-1、阻水層 3 及含水層 3-2，屏東地區模式共分為第 1 至 7 分層，本章將含水層 1 視為淺層含水層，含水層 2 以下之含水層視為深層含水層。

2、模式邊界條件與格網劃分

就平面上而言，本模式研究區域大抵以中央地質調查所劃定之底岩分布區域為界，忠實描述平原之地下水分區特性。模式模擬範圍北以旗山溪及荖濃溪上游一帶之低山為界；西界為高屏溪西岸之丘陵；東接中央山脈南端之西斜面，走向大致上與潮州斷層一致，南界為海洋，面臨台灣海峽。

格網劃分上，南北方向將模擬區域分為 78 列，東西方向分為 30 行。考量資料密度及計算精度，本研究採用 1 公里乘以 1 公里之等間距格網，此外由於第七分層（含水層 3-2）因觀測井數量僅 11 口，且集中於屏東地區南部區域，因此無論在地質參數或是水位資訊上均不足以提供建模所需，故本研究只取第一分層至第五分層建置數值模式，如圖 6-1 所示，其中第一分層包含

部分非受壓含水層與部分受壓含水層，第二分層以下均為受壓含水層，地下水區邊界設定與格網劃分如圖 6-2 所示。

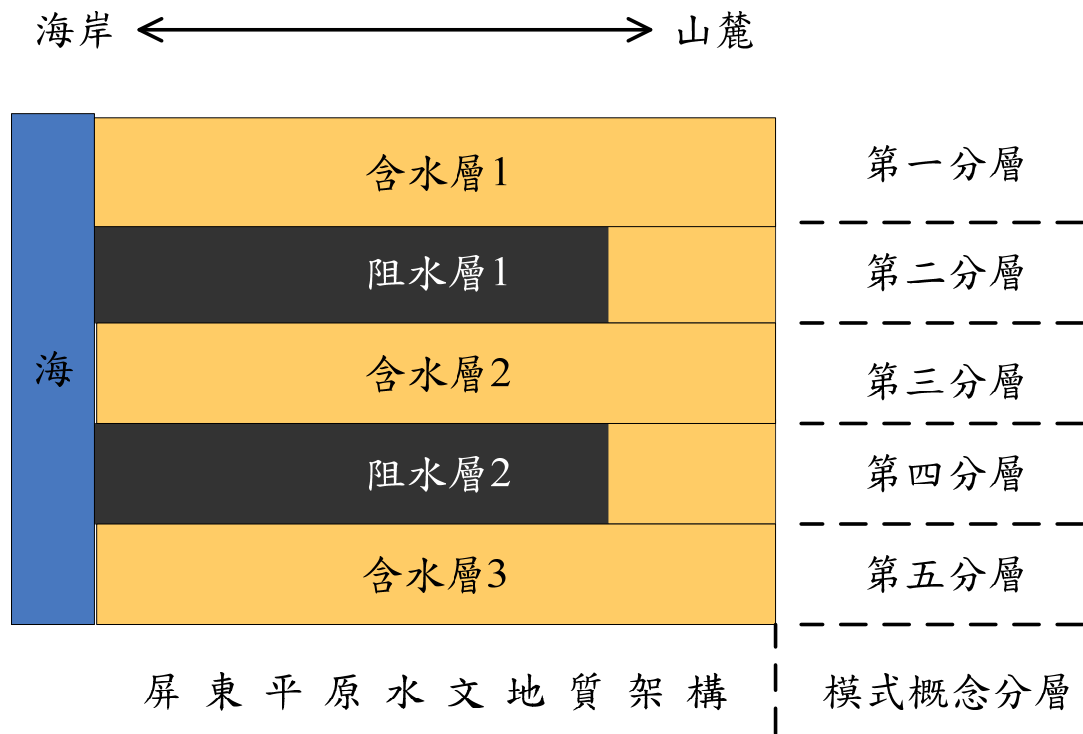


圖 6-1 屏東地區概念分層

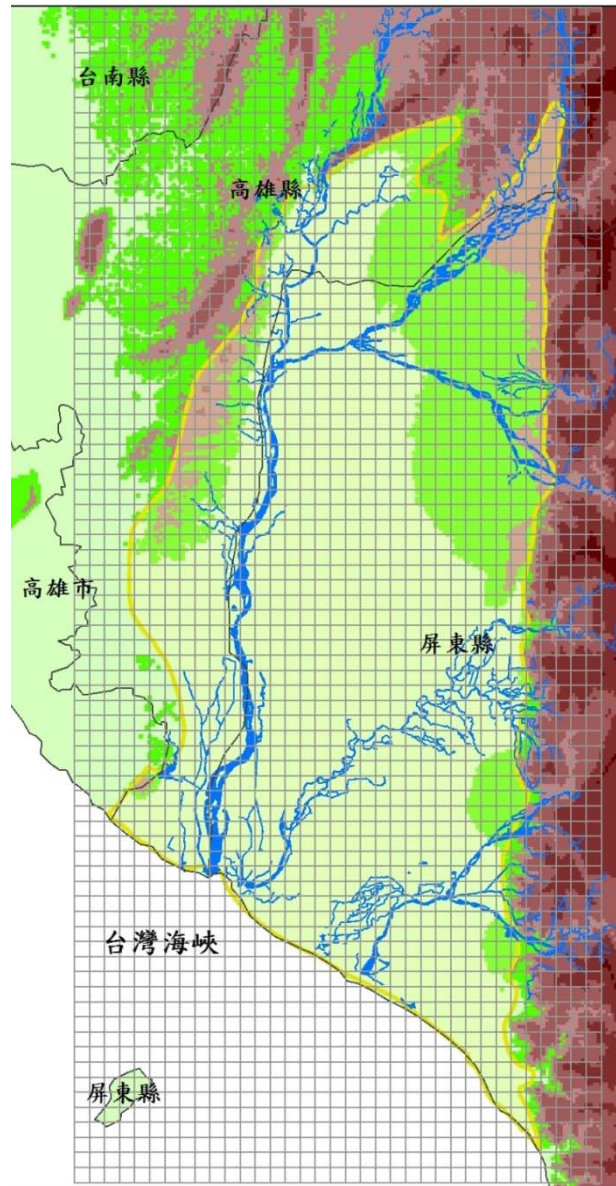


圖 6-2 屏東地區地下水區邊界與格網劃分

邊界條件設定上假設東、西與北之區域邊界其地質特性無水流流動，設定為零流量 (No flow) 邊界 (Neumann boundary condition)，但在東側部分因與潮州斷層相鄰，有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量，並假設出口處之總水頭高為最近之觀測井的水頭高加上兩處間之高層差，因此設定口社溪出口總水頭高為關福(1)水位高加 10 公尺，隘寮溪出口總水頭高為瑪家(1)水位高加 17 公尺，

萬安溪出山口總水頭高為老埤(1)水位高加 11 公尺，來社溪出山口總水頭高為萬隆(1)水位高加為 20 公尺，力力溪出山口總水頭高為大響(1)水位高；另於屏東地區西南處建有鳳山水庫，觀察鄰近觀測井昭明(1)及潮寮(1)，發現昭明(1)之年平均水位高於地理位置較靠近上游之潮寮(1)，故假設水庫有固定入滲，而模式以定水頭方式模擬水庫入滲，並設定水庫底部高層為總水頭高，固定其為 44 公尺；南方邊界以海拔負 10 公尺等高線作為邊界，設為定水頭，水位高為 0 公尺，邊界條件設定如圖 6-3 所示，白色部分為模擬區域，灰色格網設定為零流量，藍色格網設定為定水頭。

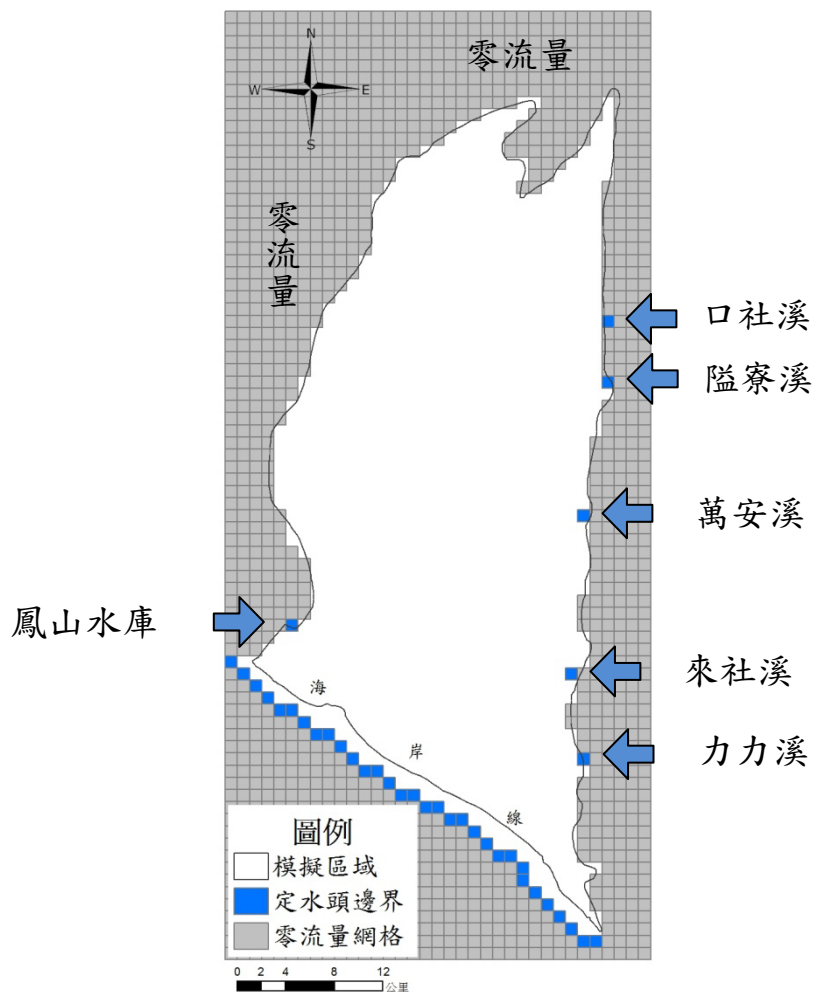


圖 6-3 屏東地區邊界條件格網劃分

(二)模式資料輸入

模式之輸入資料包括透水係數、垂向透水係數、儲水係數、起始地下水水位、補注量及抽水量等。以下將說明建置屏東地區地下水模擬模式(MODFLOW 模式)，其模式架構所需之地下水力學參數及源匯項輸入資料。各輸入資料敘述如下：

1、透水係數

觀測站網建置時，各觀測井必進行單井或複井抽水試驗，因此幾乎各觀測井於不同含水層均擁有其導水係數 (Transmissivity, T 值) 現地試驗值，但因 MODFLOW 模式所需參數為透水係數 (Hydraulic Conductivity, K 值)，因此台灣地區地下水觀測網第一期計畫所得之導水係數，再除以含水層厚度 (b) 即可轉換求得透水係數，後續再以徐昇氏法分區將點位型式之數值推估至整個屏東地區，圖 6-4~圖 6-6 分別為模式第 1、3 及 5 分層之徐昇氏分區圖。而概念分層中之第 2 及 4 分層為阻水層，其分布範圍位於平原中、下游區域，模式於平原中、下游區域阻水層之透水係數乃參考 Fundamentals of Ground Water (Franklin W. Schwartz and Hubao Zhang, 2003) 中建議之值域，在此設定為 4×10^{-3} (m/day)。此外，由於抽水試驗所得結果為水平向之透水係數，故在此假設垂向透水係數為水平向之 1/50。

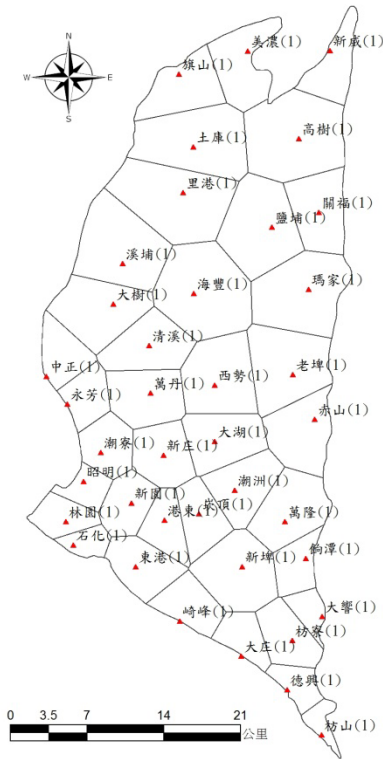


圖 6-4 含水層 1 徐昇式分區

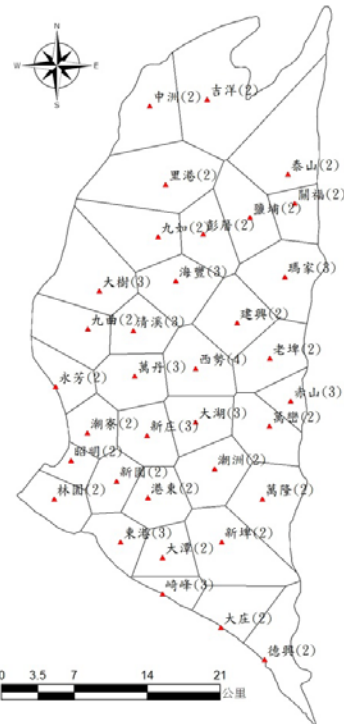
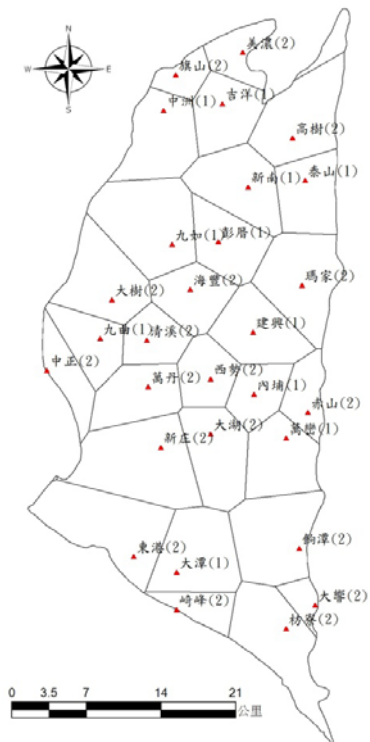


圖 6-5 含水層 2 徐昇式分區

圖 6-6 含水層 3 徐昇式分區

2、儲水係數

由於儲水係數必須進行複井抽水試驗才能求得，因此儲水係數現地試驗數量，遠低於透水係數現地試驗數量，僅有 1/4 到 1/5 的觀測井進行複井抽水試驗，未有試驗資料之部分，將以現有資訊推估。

儲水係數輸入方式與透水係數相同，皆採用徐昇氏分區將點位型式之資料給定至整個沖積扇。在數值方面，取出同時有透水係數及儲水係數現地試驗資料之觀測井，將其分為受壓含水層及非受壓含水層，分別以透水係數對儲水係數進行線性迴歸，各得出一條回歸公式，再將所有觀測井之透水係數代入公式，即可推估出所有觀測井之儲水係數。

3、阻水層設定

本計劃阻水層設定之依據乃藉由檢視水文地質鑽探柱狀圖、屏狀圖以及同一觀測井之分層觀測水位差，綜合分析後，予以適當之調整。調整方式說明如下所示：

首先檢視水文地質鑽探柱狀圖及屏狀圖後，若含水層內之某一範圍出現厚泥層阻隔，本計畫則設定該範圍內之水力參數為阻水層等級之量值；若含水層間為砂泥互層情形，則再進一步分析該處觀測井之不同分層間的長期地下水位，若分層間之地下水位差異顯著，則代表該分層間有阻水效果，故應設定阻水層，若分層間之水位相近，幾乎一致，則此處無需設定阻水層。

4、起始地下水水位

對於暫態模式而言，初始地下水水位代表模式之初始條件，不同初始條件影響模擬結果極巨，應選取適當之觀測值。本計畫從西元 1999 年 1 月開始模擬，因此使用西元 1998 年 12 月之平均水位當作起始水位，待模式完成第一時刻模擬後，所獲得之模擬

水位值當作第二時刻之起始地下水位，繼續下一時刻之模式模擬。

5、抽水量、補注量

由於現地抽水量資料並不足夠，本計畫將以專家系統進行抽水量與補注量參數檢定，完成民國 88 年 1 月至 99 年 12 月共 12 年之暫態模式模擬。

在暫態模式中，需設定每個模擬時刻的長度，考量空間資料密度與模式格網劃分，本研究設定一個時刻的長度為 1 個月，並以各觀測井之月平均水位為參照水位進行參數檢定，檢定時亦採用徐昇氏法將待檢定參數進行分區。

(三)參數檢定方法

1、參數檢定變數說明

MODFLOW 三維地下水模式乃以有限差分法進行數值離散，而在空間離散上採用矩形網格，因此每一模擬網格皆為一六面體，如圖 6-7 所示，模式中各網格之每一面與其相鄰網格之流量，均可以達西公式計算，因此當水位與透水係數已知時，六面體與四周網格之交換量 (flux) 即可求得。然而，當此網格位於含水層 1 時，其與地表接觸的平面並無法以達西公式計算，該平面之水量進出乃藉由地表補注(Recharge)或是人為抽水進出該網格，而本計畫在進行參數檢定時所得之量值為補注與抽水之綜合效應，無法拆開，因此本計畫定義含水層 1 所檢定之量值為淺層淨補注量 (Net recharge)。在含水層 1 以下之各個網格，其內部水量進出網格之形式除了因與相鄰網格之水位差造成之交換量外，亦可透過源流 (source) 或沉流(sink)之形式進出網格，意即將水量以抽水井或補注井之形式取出或注入該網格，惟在深層含水層中，幾乎不可能發生補注之行為，因此本計畫設定深層含水層僅能抽

水而不能補注，故深層含水層檢定之量值即為抽水量。

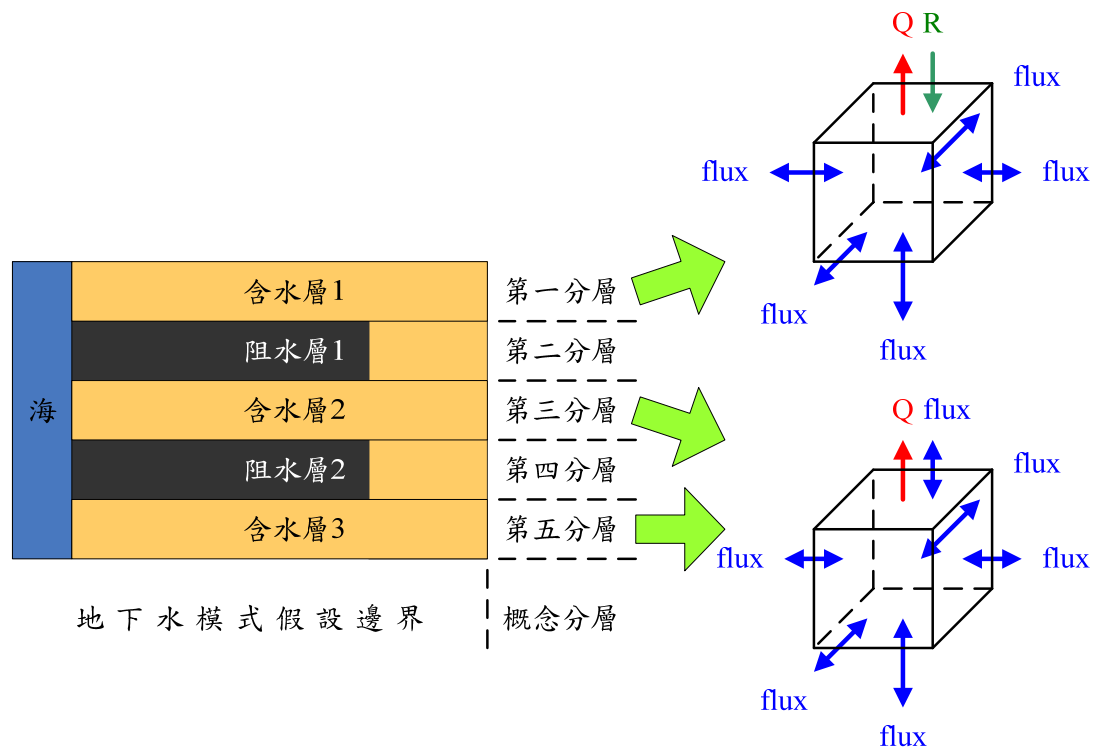


圖 6-7 地下水模式流量計算概念圖

2、參數檢定方法介紹

建立地下水模式之過程中，參數檢定乃必要的步驟，而一般的參數檢定方法可分為「人工參數檢定」與「自動參數檢定」。人工參數檢定在推估參數時，過程不但複雜、冗長，且需要花費許多時間，進行檢定的人員除了需具備相關地下水知識外，亦須具有參數檢定之經驗與技巧。此外，如何將一位專家的參數檢定知識轉移給其他需進行人工參數檢定之人員也是相當不易。人工參數檢定雖有上述缺點，惟其在進行參數推估時，參數的修正常存在定性上的邏輯或經驗的判斷，檢定的過程中人與模式的不斷互動，因此人工參數檢定雖然繁瑣且費時費工，但檢定本身除了可對問題有更深入的了解外，檢定者若是一個有經驗的專家，其結果往往較不易發生悖離現地物理特性的情形。

自動化參數檢定通常是將地下水模式結合優選法來進行檢定，雖然可免去人工參數檢定的煩瑣，但使用者難以參與參數變動過程，往往只能被動的接受最後的檢定結果，而因為地下水模式甚至優選模式本身，因受限於參數之維度數目，往往皆對問題本身有相當程度的簡化，使得自動參數檢定所得之結果亦可能產生不符物理條件的狀況。

本計畫採用專家系統進行參數檢定，期能在保有自動化參數優選檢定的快速及方便的同時，亦能保有人工參數檢定之彈性，並能累積整合專家之經驗，使得參數檢定的工作更易進行。由於專家系統與地下水模擬 MODFLOW 系統之資料使用格式不同，必須透過檔案格式之轉換，使屏東地區地下水模式之資訊，能在此兩種系統中流通使用。圖 6-8 為參數檢定之系統架構，可瞭解資訊在兩種系統中傳遞的情形。

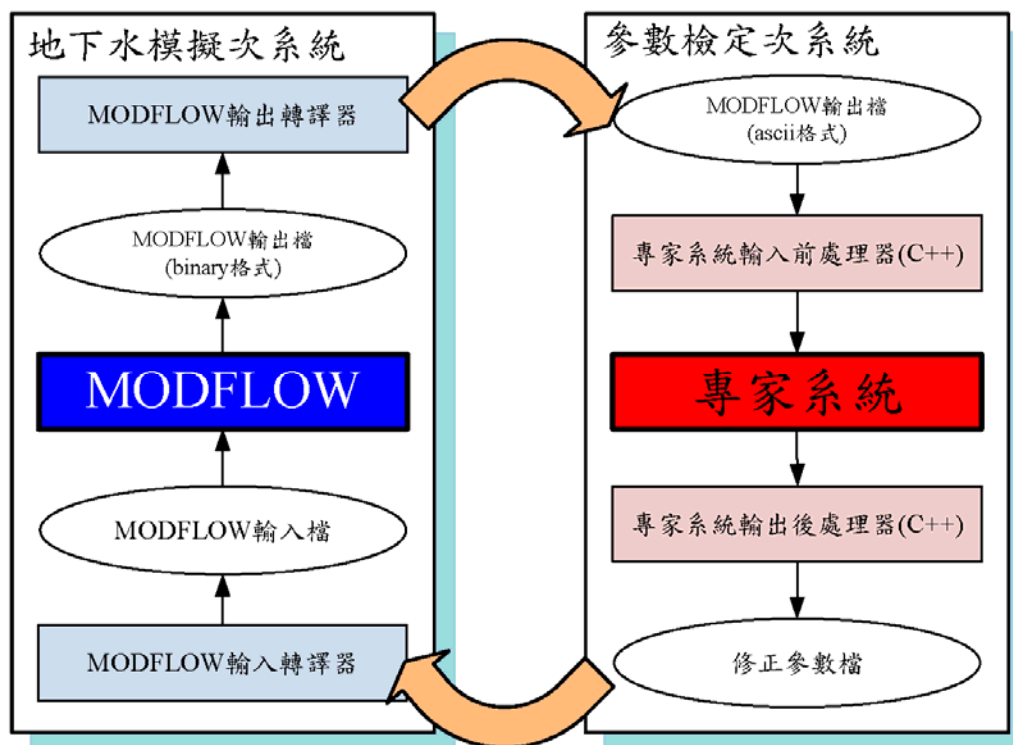


圖 6-8 地下水參數檢定系統架構圖

(四)檢定誤差統計分析

本暫態模式模擬設定週期長度為一個月，以西元 1999 年至西元 2010 年屏東地區各觀測井之月平均水位，作為暫態模式各時刻之參照水位，設定各分區最大容許誤差值為 2 公尺進行參數檢定，檢定後全區全時刻均方根誤差為 0.429 公尺，以下將以各分層誤差空間分布及誤差統計進行說明。

1、檢定成果之誤差空間分布

此部份主要呈現檢定誤差在空間上的分佈。圖 6-9 ~ 6-11 分別為屏東地區第一分層、第三分層與第五分層各時刻所有模擬值之均方根誤差等值圖，等值線的間距為 0.1 公尺。圖中顯示均方根誤差皆小於 1 公尺，檢定成果良好。

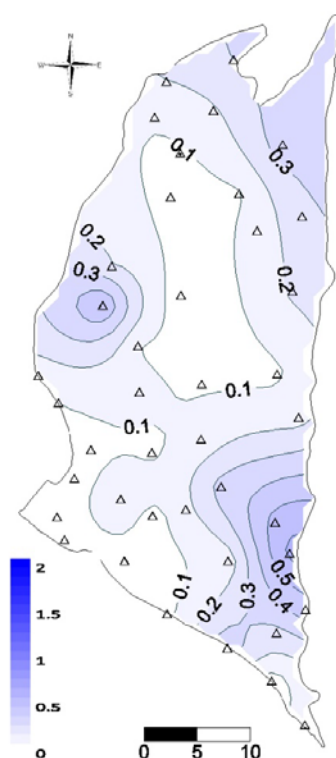


圖 6-9 含水層 1 誤差均方根等

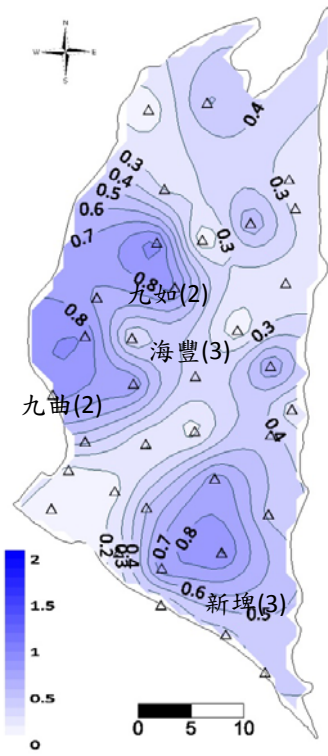
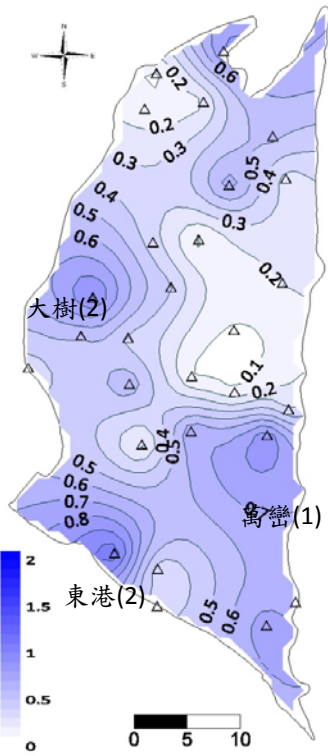


圖 6-10 含水層 2 誤差均方根 圖 6-11 含水層 3 誤差均方根

2、檢定成果之誤差空間分布

此部份主要呈現檢定誤差在時間上的分佈。將各月份均方根誤差依時間排序，如圖 6-12 所示。圖中均方根誤差最大值為 0.627 公尺，最小值為 0.284 公尺，其餘均方根誤差均在 0.3-0.6 公尺之間，顯示檢定成效良好，檢定誤差皆能維持在一定區間內。

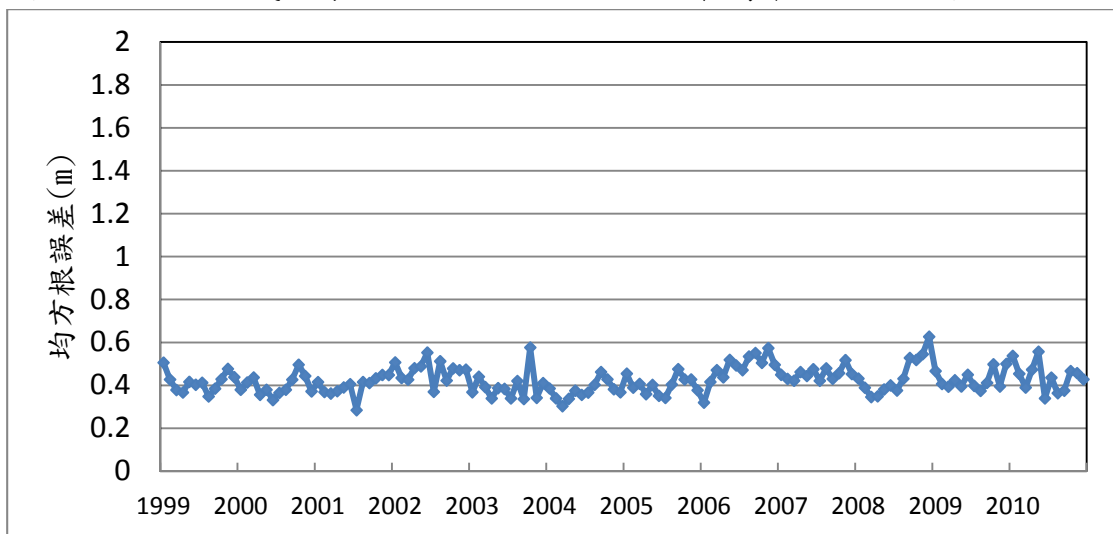


圖 6-12 各月份均方根誤差變化圖(1999-2010)

3、檢定成果之誤差統計

將 1999 年至 2010 年所有模擬誤差以 0.4 公尺為誤差區間進行統計，並將此結果繪製成誤差主體圖，如圖 6-13 所示，由圖可知 80% 的誤差在 -0.4 公尺與 +0.4 公尺之間，檢定成果良好。

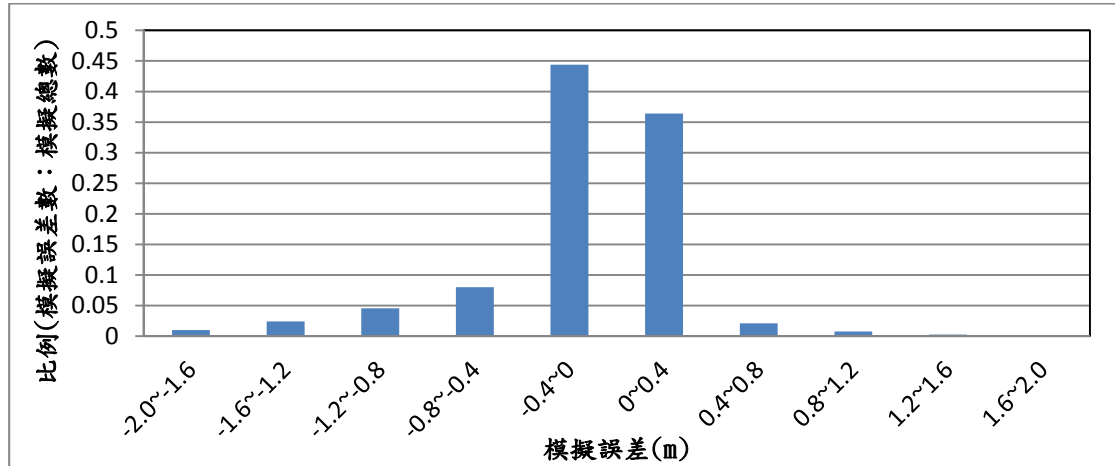


圖 6-13 模擬水位誤差主體圖(1999-2010)

4、區域水平衡分析

模式檢定所得之含水層 1(表層)淨補注量、含水層 2 抽水量、含水層 3 抽水量、山邊側流入量及海岸淨流入量，如表 6-1 所示。

表 6-1 模式檢定所得參數

年分	含水層 1 淨補注量	含水層 2 抽水量	含水層 3 抽水量	山邊側流 入量	海岸淨流 入量
1999	5.92	4.73	4.34	3.11	0.20
2000	5.37	4.45	4.25	3.12	0.24
2001	5.87	4.59	4.36	3.14	0.19
2002	2.97	4.62	4.18	3.02	0.27
2003	6.85	4.52	4.31	3.15	0.30
2004	5.20	4.32	4.23	3.11	0.31
2005	5.64	4.38	4.03	3.10	0.28
2006	4.49	4.65	4.01	3.16	0.31

2007	6.90	4.30	3.91	3.20	0.22
2008	4.96	4.29	4.11	3.14	0.14
2009	3.04	4.09	3.93	3.10	0.21
2010	5.23	3.83	3.74	3.16	0.15
平均	5.20	4.40	4.11	3.13	0.23

(單位： $10^8\text{m}^3/\text{year}$)

由表可知，含水層 1 之淨補注量值約介於 $2.97\sim 6.90\times 10^8\text{ m}^3$ 之間，年平均約為 $5.20\times 10^8\text{ m}^3/\text{year}$ ；含水層 2 之抽水量值約介於 $3.83\sim 4.73\times 10^8\text{ m}^3$ 之間，年平均約為 $4.40\times 10^8\text{ m}^3/\text{year}$ ，含水層 3 之抽水量值約介於 $3.74\sim 4.34\times 10^8\text{ m}^3$ 之間，年平均約為 $4.11\times 10^8\text{ m}^3/\text{year}$ ，山邊側流入量值約介於 $3.02\sim 3.20\times 10^8\text{ m}^3$ 之間，年平均約為 $3.13\times 10^8\text{ m}^3/\text{year}$ ，海岸淨流入量值約介於 $0.14\sim 0.31\times 10^8\text{ m}^3$ 之間，年平均約為 $0.23\times 10^8\text{ m}^3/\text{year}$ 。以上歸納可得深層抽水量、山邊側流入量與海岸淨流入量皆屬相對穩定之量值，而含水層 1 之淨補注量則變化幅度較大。

二、屏東地區地下水抽水量推估模式之驗證

利用前節開發之屏東地區地下水模擬模式結合以資料同化技術所開發之抽水量推估模式進行抽水量推估。推估時，採用與地下水模擬模式相同之水文地質架構、邊界條件、起始條件，但不需抽水量資料。該模式假設深層含水層不允許補注，抽水量推估模式不受此限制，僅以觀測水位進行抽水量之推估。

前章所進行之小區域台糖水井抽水量推估，因井的位置已知，可推得單一水井之抽水量。然因屏東地區地下水井數量龐大、無法詳實調查所有井的位置；在實務管理上只需瞭解區域地下水開發量即可，不需知道每一口井之抽水量，因此採用井集合(well cluster)的概念，進行屏東地區地下水分區、分層之抽水量推估。

針對一區域所進行之推估因非針對單一水井，因此得到之推估值為此區之淨進出水量，若補注大於抽水則為淨補注，若補注小於抽水則為淨抽水，若補注量已知，則可得到各分區之抽水總量。

為行政管理方便，以鄉、鎮及市作為分區原則如圖 6-14，將屏東地區劃分為多個空間區域並以地質條件進行分層。

(一)屏東地區井集合分區處理

井集合分區如圖 6-14 所示，涵蓋的區、鄉、鎮及市如表 6-2 所示。每一區域水井以一個虛擬水井代表，該虛擬水井位置放在該分區之形心位置，假設抽水量均勻分佈於該區域。

表 6-2 研究範圍涵蓋之行政區域

行政層級	名稱	數量	直轄市/縣轄市
縣轄市	屏東市	1	屏東縣
鎮	潮州鎮、東港鎮、	2	屏東縣
鄉	萬丹鄉、麟洛鄉、九如鄉、里港鄉、鹽埔鄉、高樹鄉、萬巒鄉、內埔鄉、竹田鄉、新埤鄉、枋寮鄉、新園鄉、林園鄉、崁頂鄉、林邊鄉、南州鄉、佳冬鄉、枋山鄉、瑪家鄉、泰武鄉、來義鄉、春日鄉、三地門鄉	22	屏東縣
區	燕巢區、仁武區、鳥松區、鳳	8	高雄市

	山區、小港區、大社區、旗山區、六龜區		
--	--------------------	--	--

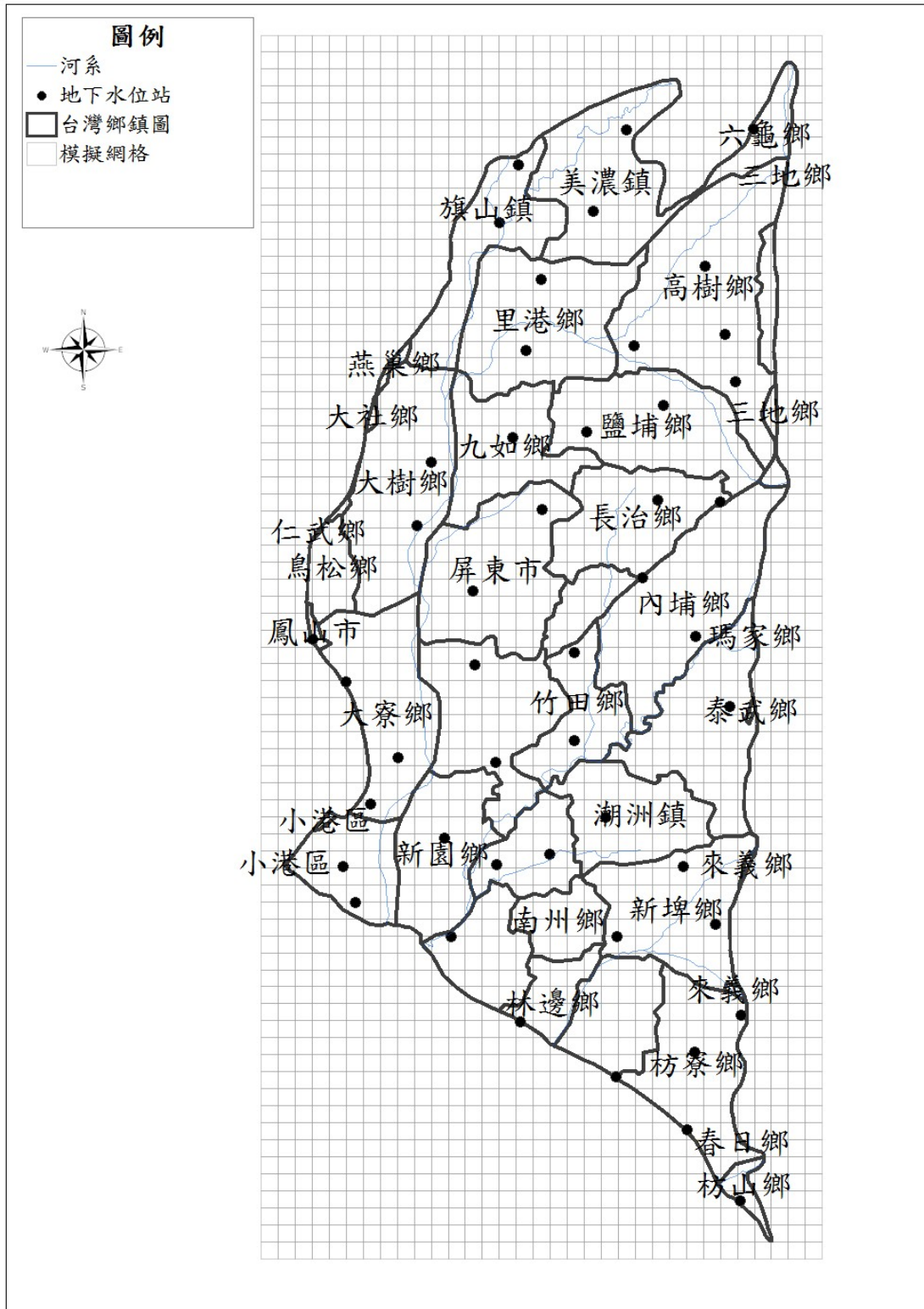


圖 6-14 屏東地區鄉鎮市分區示意圖

由圖 6-14 可知，部分鄉鎮市位於模式邊界且面積較小，因此，進行地下水抽水量推估時，位於邊界且面積小的鄉鎮市與較大之鄉鎮市合併計算，例如：枋山鄉及春日鄉併入枋寮鄉；小港區併入林園鄉；鳳山區併入大寮鄉；仁武區、烏松區、大社鄉及燕巢鄉併入大樹鄉；三地鄉併入高樹鄉；瑪家鄉併入內埔鄉；來義鄉併入新埤鄉。

(二)屏東地區地下水觀測井選擇

屏東地區地下水含水層主要分為三層，含水層之觀測井位置分別如圖 6-15~圖 6-17 所示。含水層 1 及含水層 3 之觀測井較均勻分佈，含水層 2 之觀測井數量較少，且部分分區內無觀測井，如里港鄉、新園鄉、林園鄉、佳冬鄉、麟洛鄉、新埤鄉、潮州鄉、崁頂鄉、南州鄉等。各含水層之觀測井如表 6-3 所示。

表 6-3 各含水層之觀測井

含水層	觀測井名稱	數量
含水層 1	潮州(1)、崁頂(1)、東港(1)、大庄(1)、赤山(1)、港東(1)、崎峰(1)、西勢(1)、萬丹(1)、新庄(1)、潮寮(1)、新園(1)、新埤(1)、大響(1)、枋寮(1)、瑪家(1)、海豐(1)、鹽埔(1)、高樹(1)、溪埔(1)、里港(1)、美濃(1)、永芳(1)、萬隆(1)、林園(1)、老埤(1)、中正(1)、清溪(1)、大樹(1)、旗山(1)、關福(1)、大湖(1)、餉潭(1)、德興(1)、昭明(1)、石化(1)、枋山(1)、土庫(1)、中洲(1)、吉洋(1)、新南(1)	41
含水層 2	東港(2)、赤山(2)、萬巒(1)、崎峰(2)、西勢(2)、萬丹(2)、新庄(2)、建興(1)、大潭(1)、瑪家(2)、海豐(2)、泰山(1)、高	29

	樹(2)、九如(1)、中洲(1)、美濃(2)、 內埔(1)、中正(2)、九曲(1)、清溪(2)、 大樹(2)、旗山(2)、吉洋(1)、彭厝(1)、 新南(1)、大湖(2)、枋寮(2)、 餉潭 (2)、大嚮(2)	
含水層 3	潮洲(2)、東港(3)、大庄(2)、港東(2)、 萬巒(2)、崎峰(3)、西勢(4)、萬丹(3)、 新庄(3)、潮寮(2)、新園(2)、 新埤 (2)、 建興(2)、大潭(2)、 瑪家(3)、 海豐(3)、 鹽埔(2)、泰山(2)、九如(2)、 里港(2)、中洲(2)、 永芳(2)、 萬隆 (2)、 九曲(2)、 清溪(3)、 大 樹 (3)、 吉洋(2)、 彭厝(2)、 關 福 (2)、 大湖(3)、德興(2)、 赤 山 (3)、 老埤(2)、 昭明(2)、 林園(2)	35

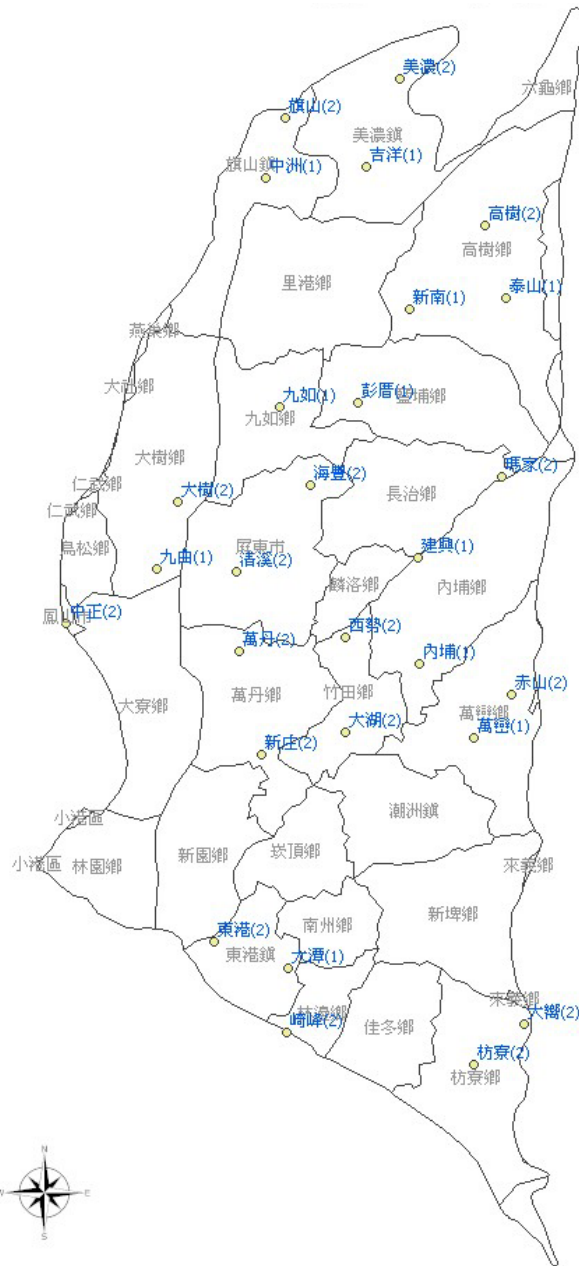


圖 6-16 屏東地區含水層 2 分區及觀測井位置圖

(三) 敏感度分析及影響範圍

透過敏感度分析可得到每一抽水分區之抽水行為與觀測井之水位變化之關係，即抽水分區中，每一單位面積一單位抽水會造成觀測井多少之水位變化量，此關係以影響係數表示。抽水量推估模式計算網格精度與地下水模擬模式之精度相同，為 1 公里乘以 1 公里之正方形計算網格。

以 MODFLOW 之敏感度分析模組(SEN)進行敏感度分析，得到影響係數，影響係數整理於附錄二。影響係數值代表某一水井以每單位面積 $1 \text{ m}^3/\text{day}$ 之抽水量，連續抽水一個月，對系統內各地下水位觀測井造成之水位洩降，水位洩降單位為公尺。影響係數越大代表抽水行為對水位變化的貢獻越大。影響範圍可透過分析影響係數與距離之關係得到，其值會受地質條件、抽水井與觀測井之距離等因素影響，使得各抽水分區的影響係數不相同，其影響範圍亦變動不一。各抽水分區之影響範圍整理於表 6-4，由表可知，非拘限含水層之影響範圍較拘限含水層之影響範圍小。推估期間影響係數及影響範圍視為定值。

表 6-4 各抽水分區影影響範圍整理表

抽水分區	影響範圍		
	含水層 1 之分區	含水層 2 之分區	含水層 3 之分區
鹽埔	10	25	25
麟洛	15	30	25
潮州	15	30	25
旗山	20	25	25
萬巒	10	25	25
萬丹	15	35	15
新園	15	25	25
新埤	25	25	25
高樹	25	25	25
崁頂	10	25	25
美濃	15	25	25
屏東	20	25	25
南州	15	25	25
長治	25	25	25
林邊	10	25	25
林園	10	35	25
東港	25	25	25
枋寮	20	25	25
佳冬	15	25	25
里港	15	25	25
竹田	15	25	15
內埔	10	25	25
大樹	15	25	25
大寮	25	30	15
九如	20	25	25

單位：km

(四)分配係數及權重係數

進行資料同化納進法進行推估地下水抽水量之前，需計算分配係數及權重係數，其計算乃依據抽水井及觀測井之相對位置進行計算，屏東地區之分配係數及權重係數如表 6-5~表 6-10。推估期間為民國 99 年 1 月至 12 月，不考慮模式誤差及觀測誤差。

表 6-6 含水層 1 之權重係數

抽水分區	觀測井																					
	潮州(1)	荖頂(1)	東港(1)	大庄(1)	赤山(1)	港東(1)	崎味(1)	西勢(1)	菓丹(1)	新庄(1)	潮寮(1)	新園(1)	新埤(1)	大寮(1)	枋寮(1)	瑪家(1)	海豐(1)	鹽埔(1)	高樹(1)	溪埔(1)	里港(1)	
鹽埔(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
麟洛(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0.75929	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潮州(含水層1)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
樟山(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓丹(含水層1)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓丹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.95507	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層1)	0	0	0	0	0	0.21588	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2813	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
荖頂(含水層1)	0	1	0	0	0	0.55475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓寮(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07246	0	0	0	0
潮州(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7187	0	0	0	0	0	0	0	0	0
石冶(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.33726	0	0	0	0
林邊(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0.82677	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林園(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	0	0	1	0	0	0.22957	0.17323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層1)	0	0	0	0.10084	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層1)	0	0	0	0.89916	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
竹田(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0.24071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
西埔(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.65038	0
大寮(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0.04493	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苑如(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.59023	0	0	0	0.34962	0
抽水分區	觀測井																					
	菓港(1)	水芳(1)	菓港(1)	林園(1)	老埤(1)	中正(1)	清溪(1)	大樹(1)	樟山(1)	關福(1)	大湖(1)	狗潭(1)	德興(1)	昭明(1)	石化(1)	梧山(1)	土庫(1)	中洲(1)	吉洋(1)	新南(1)		
鹽埔(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
麟洛(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潮州(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
樟山(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.26688	1	0	0	0	0
菓丹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓丹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
荖頂(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
菓寮(含水層1)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潮州(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
石冶(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林邊(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林園(含水層1)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
菓港(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.73313	0	0	0	0	0
竹田(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
西埔(含水層1)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層1)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苑如(含水層1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 6-7 含水層 2 之分配係數

抽水分區	觀測井														
	東港(2)	赤山(2)	萬巒(1)	崎峰(2)	西勢(2)	萬丹(2)	新庄(2)	建興(1)	大潭(1)	瑪家(2)	海豐(2)	泰山(1)	高樹(2)	九如(1)	中洲(1)
鹽埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01241	0	0	0	0	0
麟洛(含水層2)	0	0	0	0	0.36752	0.01463	0	0.30224	0	0	0.10906	0	0	0	0
潮州(含水層2)	0	0	0.5677	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猴山(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.77885
萬巒(含水層2)	0	0.41738	0.42689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬丹(含水層2)	0	0	0	0	0.15407	0.31587	0.26807	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層2)	0.86661	0	0	0	0	0	0.13339	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36577	0.54345	0	0
崁頂(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
美濃(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層2)	0	0	0	0	0	0.07115	0	0	0	0	0.184	0	0	0	0
南州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
長治(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0.55407	0	0.21594	0.13239	0	0	0	0
林邊(含水層2)	0	0	0	0.5613	0	0	0	0	0.4387	0	0	0	0	0	0
林園(含水層2)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東港(含水層2)	0.44387	0	0	0.14016	0	0	0	0	0.41596	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層2)	0	0	0	0.36302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層2)	0	0	0	0	0.34139	0	0.01301	0	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0.7703	0	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0.46296	0.15718	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22996	0	0	0.60973	0
抽水分區	觀測井														
	美濃(2)	內埔(1)	中正(2)	九曲(1)	清溪(2)	大樹(2)	猴山(2)	吉祥(1)	彭厝(1)	新南(1)	大湖(2)	枋寮(2)	獅潭(2)	大甞(2)	
鹽埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6595	0.32809	0	0	0	0	
麟洛(含水層2)	0	0.13706	0	0	0.06948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
潮州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4323	0	0	0	
猴山(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0.22115	0	0	0	0	0	0	0	
萬巒(含水層2)	0	0.15573	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
萬丹(含水層2)	0	0	0	0	0.08811	0	0	0	0	0	0.17388	0	0	0	
新園(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
新埤(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
高樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09078	0	0	0	0	
崁頂(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
美濃(含水層2)	0.35479	0	0	0	0	0	0.12403	0.52118	0	0	0	0	0	0	
屏東(含水層2)	0	0	0	0.07561	0.56152	0.10772	0	0	0	0	0	0	0	0	
南州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
長治(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09761	0	0	0	0	0	
林邊(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
林園(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
東港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
枋寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72034	0	0.27966	
佳冬(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.63698	0	0	
里港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
竹田(含水層2)	0	0.22499	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42061	0	0	0	
內埔(含水層2)	0	0.2297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
大樹(含水層2)	0	0	0	0.05375	0	0.94625	0	0	0	0	0	0	0	0	
大寮(含水層2)	0	0	0.37986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
九如(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16031	0	0	0	0	0	

表 6-8 含水層 2 之權重係數

抽水分區	觀測井														
	東港(2)	赤山(2)	萬巒(1)	崎峰(2)	西勢(2)	萬丹(2)	新庄(2)	建興(1)	大潭(1)	瑪家(2)	海豐(2)	泰山(1)	高樹(2)	九如(1)	中洲(1)
鹽埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05434	0	0	0	0	0	0
麟洛(含水層2)	0	0	0	0	0.42587	0.01693	0	0.18581	0	0	0.16641	0	0	0	0
潮州(含水層2)	0	0	0.57079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猴山(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
萬巒(含水層2)	0	1	0.42921	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬丹(含水層2)	0	0	0	0	0.17853	0.36533	0.17057	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層2)	0.37508	0	0	0	0	0	0.08487	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
炭頂(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0.63628	0	0	0	0	0	0	0	0
美濃(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層2)	0	0	0	0	0	0.08229	0	0	0	0.28074	0	0	0	0	0
南州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0.53918	0	0	0	0	0	0	0
長治(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0.34063	0	0.94566	0.202	0	0	0	0
林邊(含水層2)	0	0	0	0.5273	0	0	0	0	0.23654	0	0	0	0	0	0
林園(含水層2)	0.43281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東港(含水層2)	0.19211	0	0	0.13167	0	0	0	0	0.22428	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層2)	0	0	0	0.34103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層2)	0	0	0	0	0.39559	0	0.00828	0	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0.47356	0	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0.53545	0.10001	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35086	0	0	0	1	0
抽水分區	觀測井														
	美濃(2)	內埔(1)	中正(2)	九曲(1)	清溪(2)	大樹(2)	猴山(2)	吉洋(1)	彭厝(1)	新南(1)	大湖(2)	枋寮(2)	獅潭(2)	大甞(2)	
鹽埔(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71886	0.23123	0	0	0	0	
麟洛(含水層2)	0	0.18337	0	0	0.09661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
潮州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42102	0	0	0	0	
猴山(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0.64068	0	0	0	0	0	0	0	
萬巒(含水層2)	0	0.20834	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
萬丹(含水層2)	0	0	0	0	0.12252	0	0	0	0	0.16935	0	0	0	0	
新園(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
新埤(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
高樹(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06398	0	0	0	0	0	
炭頂(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
美濃(含水層2)	1	0	0	0	0	0	0.35932	1	0	0	0	0	0	0	
屏東(含水層2)	0	0	0	0.58448	0.78086	0.10221	0	0	0	0	0	0	0	0	
南州(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
長治(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10639	0	0	0	0	0	
林邊(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
林園(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
東港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
枋寮(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.53071	0	1	
佳冬(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.46929	0	0	
里港(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.70478	0	0	0	0	0	
竹田(含水層2)	0	0.301	0	0	0	0	0	0	0	0.40964	0	0	0	0	
內埔(含水層2)	0	0.3073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
大樹(含水層2)	0	0	0	0.41552	0	0.89779	0	0	0	0	0	0	0	0	
大寮(含水層2)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
九如(含水層2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17474	0	0	0	0	0	

表 6-9 含水層 3 之分配係數

抽水分區	觀測井																	
	潮洲(2)	泉港(3)	大庄(2)	港東(2)	萬豐(2)	崎港(3)	西勢(4)	萬丹(3)	新庄(3)	潮寮(2)	新園(2)	新埤(2)	建興(2)	大潭(2)	瑪寮(3)	海豐(3)	鹽埔(2)	泰山(2)
鹽埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00646	0	0.60194	0
麟洛(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0.55614	0	0	0	0	0	0.41329	0	0	0.03056	0	0
潮州(含水層3)	0.59582	0	0	0	0.13983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
旗山(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬豐(含水層3)	0	0	0	0	0.45065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬丹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0.85231	0.14769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層3)	0	0.10519	0	0.27264	0	0	0	0.01619	0.01661	0.46384	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39141	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.88662
荖頂(含水層3)	0.16501	0	0	0.58552	0	0	0	0.0749	0.17457	0	0	0	0	0	0	0	0	0
美潭(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0.07115	0	0	0	0	0	0	0	0	0.184	0	0
南州(含水層3)	0	0	0	0.20095	0	0	0	0	0	0.37755	0	0.4215	0	0.21594	0.13239	0	0	0
長治(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.55407	0	0	0	0	0	0	0
林邊(含水層3)	0	0	0.02057	0	0.52523	0	0	0	0	0.04368	0	0.41051	0	0	0	0	0	0
林園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東港(含水層3)	0	0.40913	0	0.07827	0	0.12919	0	0	0	0	0	0	0.38341	0	0	0	0	0
枋寮(含水層3)	0	0	0.39676	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層3)	0	0	0.70184	0	0.12693	0	0	0	0	0.17123	0	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層3)	0	0	0	0	0	0.31703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44428	0	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.56839	0	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21613	0	0	0
抽水分區	觀測井																	
	九如(2)	里港(2)	中洲(2)	永芳(2)	萬隆(2)	九曲(2)	清溪(3)	大樹(3)	吉洋(2)	彭厝(2)	關福(2)	大湖(3)	德興(2)	赤山(3)	老埤(2)	照明(2)	林園(2)	
鹽埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.34355	0.04804	0	0	0	0	0	0	0	0
麟洛(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潮州(含水層3)	0	0	0	0	0.1928	0	0	0	0	0.07154	0	0	0	0	0	0	0	0
旗山(含水層3)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬豐(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44061	0.10875	0	0	0	0
萬丹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08888	0.03664	0	0
新埤(含水層3)	0	0	0	0	0.60859	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11338	0	0	0	0	0	0	0	0
荖頂(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
美潭(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層3)	0	0	0	0	0	0.07561	0.56152	0.10772	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
南州(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
長治(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09761	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林邊(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23244	0.76756	0	0
東港(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.60324	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層3)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.68297	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.55572	0	0	0	0
大樹(含水層3)	0	0	0	0	0.05375	0	0.94625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層3)	0	0	0	0.43161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層3)	0.57306	0.06014	0	0	0	0	0	0	0.15067	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 6-10 含水層 3 之權重係數

抽水分區	觀測井																	
	潮洲(2)	東港(3)	大庄(2)	港東(2)	萬巒(2)	崎峰(3)	西勢(4)	萬丹(3)	新庄(3)	潮寮(2)	新園(2)	新埤(2)	建興(2)	大潭(2)	媽家(3)	海豐(3)	鹽埔(2)	泰山(2)
鹽埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02907	0	1	0
麟洛(含水層3)	0	0	0	0	0	0.63692	0	0	0	0	0	0	0.29277	0	0.05428	0	0	0
潮州(含水層3)	0.78311	0	0	0.23681	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
旗山(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬巒(含水層3)	0	0	0	0.76319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬丹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0.92295	0.61852	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層3)	0	0.20452	0	0.23971	0	0	0	0.06781	0.02839	0.72656	0	0	0	0	0	0	0	0
新埤(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39783	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
頂頂(含水層3)	0.21689	0	0	0.51479	0	0	0	0.31367	0	0.27344	0	0	0	0	0	0	0	0
美濃(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0.07705	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32677	0	0
南州(含水層3)	0	0	0	0.17668	0	0	0	0	0	0	0.38374	0	0.3468	0	0	0	0	0
長治(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3925	0	0.97093	0.23512	0	0	0
林邊(含水層3)	0	0	0.01838	0	0	0.67221	0	0	0	0	0.0444	0	0.33775	0	0	0	0	0
林園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東港(含水層3)	0	0.79548	0	0.06882	0	0.16534	0	0	0	0	0	0	0.31545	0	0	0	0	0
枋寮(含水層3)	0	0	0.35451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳冬(含水層3)	0	0	0.62711	0	0	0.16245	0	0	0	0	0.17403	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層3)	0	0	0	0	0	0.36308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31473	0	0	0	0	0	0
大樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.97161	0	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38383	0	0	0
抽水分區	觀測井																	
	九如(2)	里港(2)	中洲(2)	永安(2)	萬隆(2)	九曲(2)	清溪(3)	大樹(3)	吉洋(2)	彭厝(2)	關福(2)	大湖(3)	德興(2)	泰山(3)	老埤(2)	昭明(2)	林園(2)	
鹽埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.58049	0.29763	0	0	0	0	0	0	0	0
麟洛(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潮州(含水層3)	0	0	0	0.24058	0	0	0	0	0	0	0.09482	0	0	0	0	0	0	0
旗山(含水層3)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
萬巒(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.16366	0	0	0
萬丹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27661	0.04556	0	0
新埤(含水層3)	0	0	0	0.75942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高樹(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.70237	0	0	0	0	0	0	0	0
頂頂(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
美濃(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東(含水層3)	0	0	0	0	0	0.58448	1	0.10221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
南州(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
長治(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16492	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林邊(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林園(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72339	0.95444	0	0
東港(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枋寮(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
佳冬(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
里港(含水層3)	0	0.94327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
竹田(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.90518	0	0	0	0	0	0	0	0
內埔(含水層3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.83634	0	0	0	0
大樹(含水層3)	0	0	0	0	0.41552	0	0.89779	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大寮(含水層3)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
九如(含水層3)	1	0.05673	0	0	0	0	0	0	0.25459	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(五)屏東地區數值模式驗證

為瞭解地下水抽水量推估模式運用在大尺度區域之地下水抽水量(本節所稱之「抽水量」意指為「淨進出水量」)推估準確度，先進行數值模式驗證。數值模式驗證分為兩個步驟，分別詳述如下：

步驟 1：採用前述分區、分層之方式，先以給定之屏東地區數值模式及抽水量，進行數值模擬，得到屏東地區之地下水水位分佈，並將觀測水井所在之含水層及其位置之地下水水位取出，作為步驟 2 所需之觀測水位。

步驟 2：抽水量未知，假設抽水量為零，以(a)給定之屏東地區數值模式、(b)由步驟 1 得到之觀測井地下水水位、及(c)已知之觀測井位置。進行屏東地區各分區、分層之地下水抽水量推估。

給定之抽水量如圖 6-18 所示，抽水量隨時間變化，根據第五章模擬模式之分析，抽水量約在 $200 \text{ m}^3/\text{day}/\text{km}^2$ 以內，因此採用 0 至 $200 \text{ m}^3/\text{day}/\text{km}^2$ 作為抽水量變化範圍，模擬時間為 12 個月；推估抽水量時，不考慮模式誤差及觀測誤差。抽水量推估結果如圖 6-19 及表 6-11 所示，推估結果顯示推估誤差快速隨時間變小，推估誤差由大到小分別為含水層 1、2 及 3。以各分區、分層之結果來看，誤差最大的前三區分別是(1)含水層 1 的內埔(抽水量推估誤差 3.04%)、(2)含水層 1 的南州(抽水量推估誤差 1.78%)及(3)含水層 2 的美濃(抽水量推估誤差 1.56%)。由分析結果得知，雖含水層 1 部分地區屬非拘限含水層，影響係數之非線性效應，可能造成較含水層 2 及含水層 3 大之抽水量推估誤差，然其推估誤差仍僅 0.7%，因此本研究推估期間之影響係數視為定值。

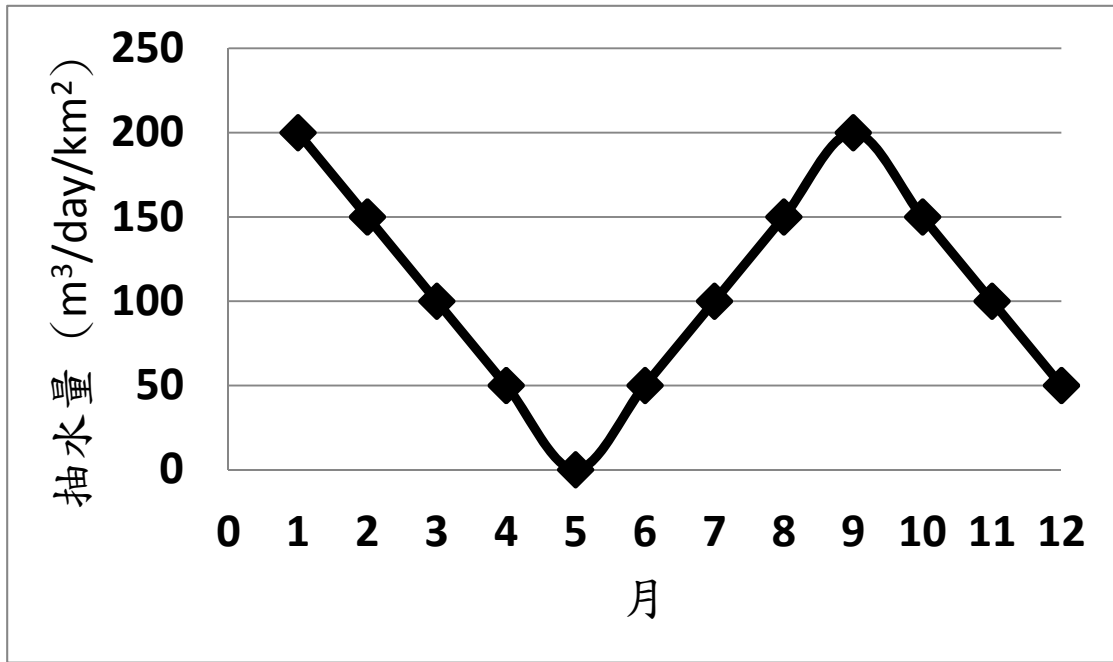


圖 6-18 屏東地區數值模式驗證用之給定抽水量

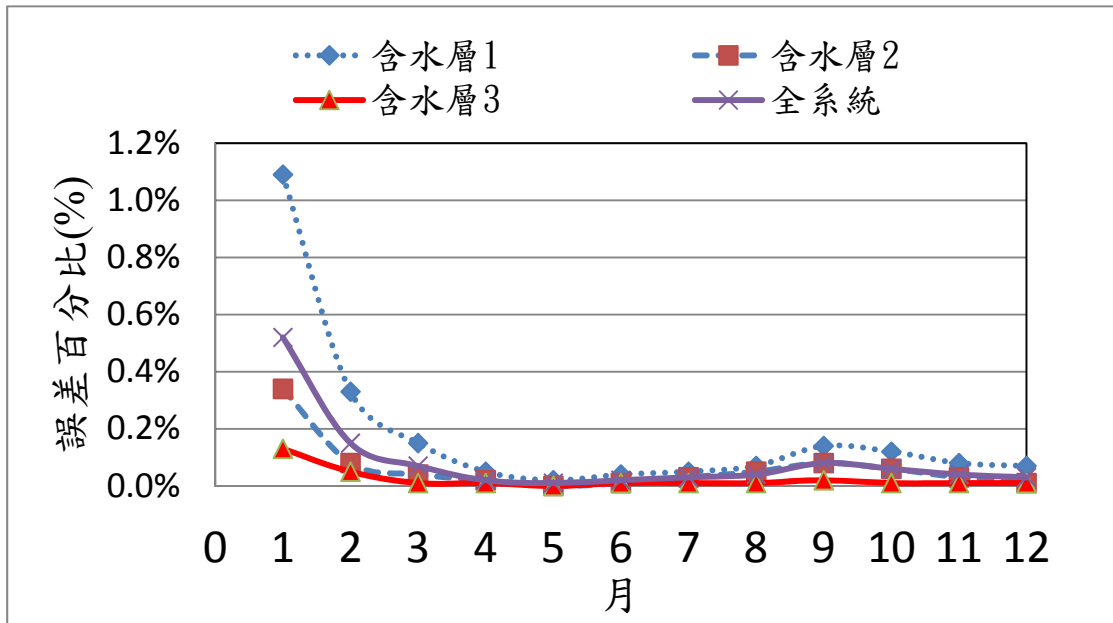


圖 6-19 屏東地區數值模式驗證結果

表 6-11 屏東地區驗證模式抽水量推估結果整理

分區 \ 分層	含水層 1	含水層 2	含水層 3
鹽埔	1.17%	0.64%	0.12%
麟洛	0.33%	0.16%	0.11%
潮州	0.32%	0.17%	0.05%
旗山	0.71%	0.13%	0.10%
萬巒	0.19%	0.24%	0.03%
萬丹	0.62%	0.15%	0.08%
新園	0.26%	0.01%	0.01%
新埤	1.49%	0.04%	0.15%
高樹	0.74%	0.33%	0.40%
崁頂	0.14%	0.03%	0.01%
美濃	1.43%	1.56%	0.04%
屏東	0.92%	0.31%	0.22%
南州	1.78%	0.01%	0.02%
長治	0.51%	0.25%	0.22%
林邊	0.12%	0.03%	0.02%
林園	0.16%	0.01%	0.01%
東港	0.11%	0.06%	0.01%
枋寮	0.41%	0.25%	0.02%
佳冬	0.13%	0.24%	0.02%
里港	0.84%	1.16%	0.11%
竹田	0.34%	0.06%	0.03%
內埔	3.04%	0.22%	0.15%
大樹	0.82%	0.14%	0.08%
大寮	0.53%	0.12%	0.01%
九如	0.42%	0.23%	0.14%
平均	0.70%	0.26%	0.09%

三、以抽水量推估模式推估屏東地區地下水抽水量

以民國 88 年至 99 年之實際地下水位觀測資料，採用月平均水位，針對屏東地區各分區、分層，按月推估地下水之抽水量(本節所稱之「抽水量」意指為「淨進出水量」)。所得到之結果，正值代表抽水量大於補注量(淨抽水)，負值代表抽水量小於補注量(淨補注)。

圖 6-20 為 88 年至 99 年各含水層各年之地下水淨進出水量。由圖可知各年各含水層之淨進出水量之變化，不同年份之淨進出水量會依當年之豐枯情形有所不同，淨補注主要來自含水層 1，淨抽水主要為含水層 3。96 年以前全系統之淨抽水有下降之趨勢，然 96 年以後，淨抽水略有上升。

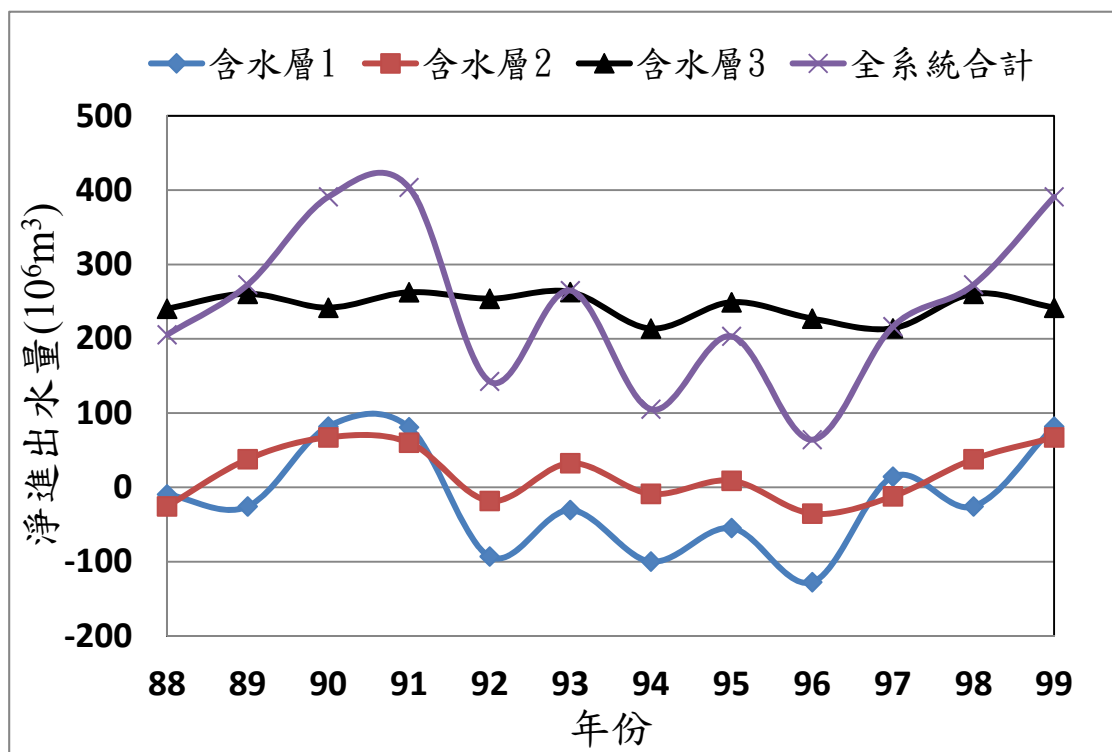


圖 6-20 屏東地區 88 年至 99 年各含水層各年之地下水淨進出水量

表 6-12 為屏東地區 88 年至 99 年各分區分層之年平均抽水量推估結果，表中數值正值為淨抽水，負值為淨補注。由表可知，含水層 1 之主要補注區為高樹、鹽埔、新埤，含水層 1 之主要抽水區為里港、內埔、枋寮。含水層 2 之主要補注區為高樹、枋寮，含水層 2 之主要抽水區為新埤、萬巒、大樹。含水層 3 主要為淨抽水，其主要抽水區為高樹、里港。屏東地區 88 年至 99 年各分區之地下水年平均淨進出水量分佈圖如圖 6-21 所示，圖中各鄉鎮淨補注量或淨抽水量皆為三層含水層加總量值，由圖可知屏東地區主要淨補注區為高樹鄉及山邊之各鄉鎮，而主要之淨抽水區為里港、大樹、屏東及內埔。

表 6-12 各分區 88 年至 99 年之年平均抽水量推估結果

分區 \ 分層	含水層 1	含水層 2	含水層 3
鹽埔	-43	13	-2
麟洛	-6	-6	3
潮州	17	8	4
旗山	7	6	5
萬巒	15	28	7
萬丹	-2	16	15
新園	12	3	11
新埤	-38	31	-9
高樹	-130	-54	51
崁頂	2	4	5
美濃	-7	-6	-1
屏東	39	6	18
南州	-5	3	4
長治	-30	-11	1
林邊	9	8	4
林園	1	2	9
東港	-1	7	5
枋寮	39	-74	19
佳冬	15	7	7

里港	56	-13	35
竹田	10	5	8
內埔	43	13	15
大樹	17	27	20
大寮	-14	15	8
九如	-23	-18	3
平均	-17	18	244

註：正值為淨抽水，負值為淨補注

單位：10⁶m³

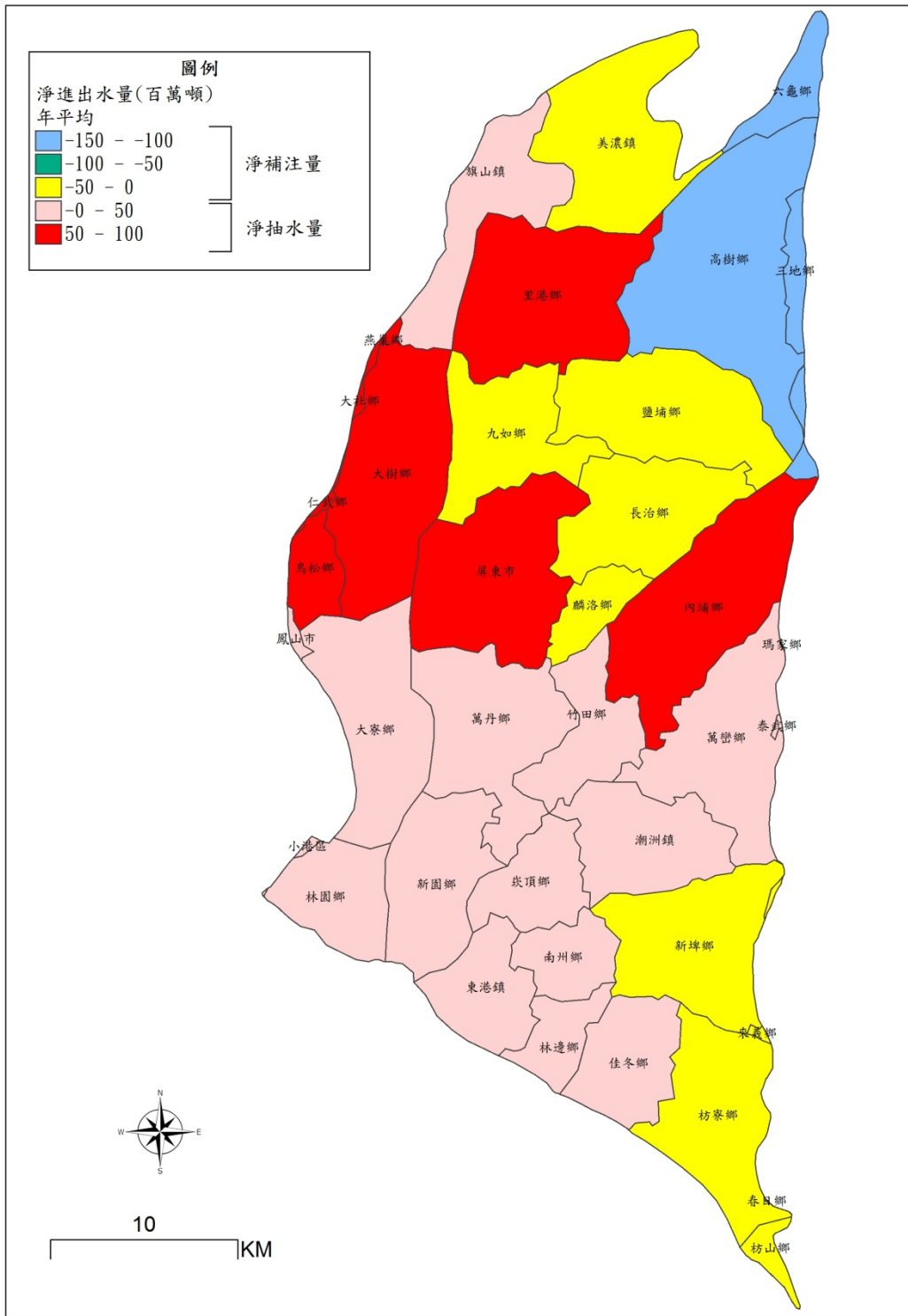


圖 6-21 屏東地區 88 年至 99 年各分區之地下水年平均淨進出水量分佈圖

圖 6-22 為屏東地區 88 年至 99 年各月份之平均地下水淨進出水量。由圖可知補注月份為 6 至 9 月，其餘月份則抽水大於補注，其中補注主要來自含水層 1，而含水層 3 之抽水量大於補注量。

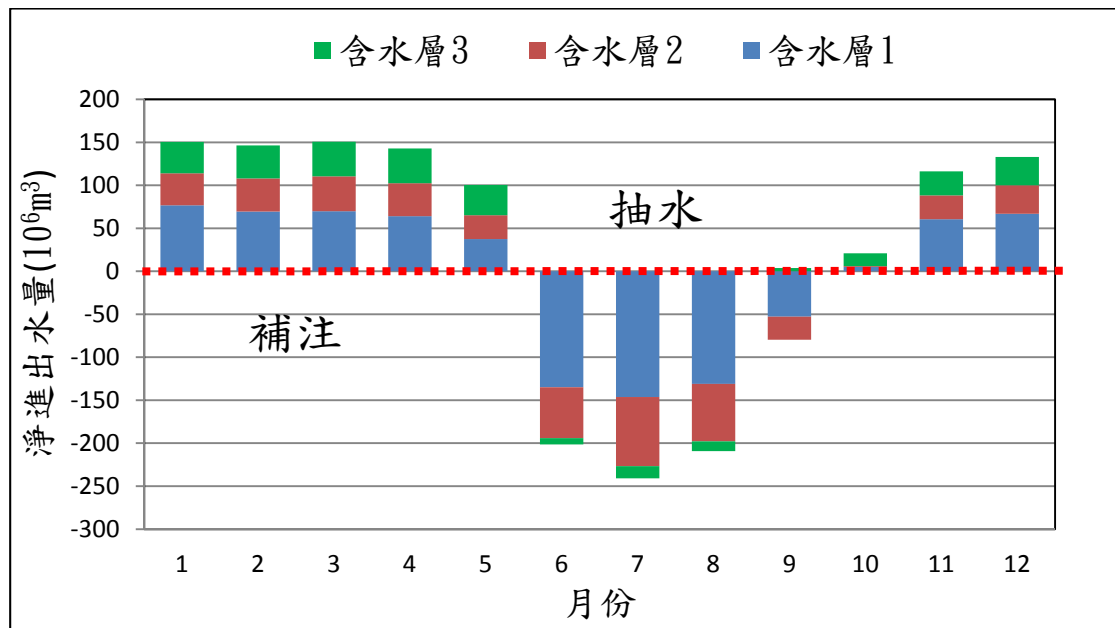


圖 6-22 屏東地區 88 年至 99 年各月份之平均地下水淨進出水量

(一) 資料同化技術之優缺點分析

根據前述分析之結果，分析以資料同化納進法為基礎之地下水抽水推估之技術優缺點如下。

優點：

- (1) 可計算出井抽水量或區域淨進出水量之空間分佈，有別於其他方法僅提供系統總量。
- (2) 計算快速，只需抽水井及觀測井的位置、水位資料及地下水模擬模式，即可推估水井抽水量或區域淨進出水量。

- (3) 傳統逆推演算(inverse problem)因變數多，可得之觀測資料太少，造成非單一解(non-unique solution)的問題，地下水抽水量推估模式可避免此不適定的問題(ill proposed problem)。
- (4) 有好的模擬模式、水位觀測資料及抽水井位置，就可以得到好的推估結果，推估模式建置好後，僅需輸入地下水水位觀測資料，即可推估水井抽水量或區域淨進出水量。
- (5) 資料同化方法隨時間增加、觀測資料增加，可有效降低推估誤差。
- (6) 可將水位觀測轉換成地下水抽水量之空間分佈，此空間分佈資訊可提供管理者參考，進行即時地下水系統管理，可減少對區域地下水利用狀況調查之人力物力。

缺點：

- (1) 地下水推估模式之精度及準確度會受到地下水模擬模式之影響。若未來能提昇水文地質及參數調查精度，則可提高地下水推估模式之精度及準確度。
- (2) 若非推估單一水井，無法直接分出抽水量與補注量，其推估之結果為系統之淨進出量。若補注量已知，則可計算出抽水量。

受到觀測井空間分佈密度及位置之影響，沒有觀測井或觀測

井距離很遠的地方，可能會影響推估結果。若能增加觀測井數量及密度，則可提高地下水推估模式之精度及準確度。

第七章 教育訓練

教育訓練於民國 101 年 11 月 9 日假經濟部水利署水利規劃試驗所舉行(如圖 7-1)。



圖 7-1 教育訓練照片

教育訓練內容主要分為四大部分：(1)資料同化技術、(2)地下水井抽水量推估模式、(3)屏東地區地下水模擬模式、及(4)屏東地區地下水抽水量推估。課程大綱、內容及時程如表 7-1 所示。

表 7-1 教育訓練課程大綱、內容及時程表

	課程大綱	內容
09:30-10:00	報到、課程介紹	
10:00-11:00	資料同化技術	1.資料同化技術說明 2.資料同化技術各領域之應用
11:00-11:10	中場休息	
11:00-12:10	地下水井抽水量推估模式	1.應用資料同化技術於地下水抽水 量推估之技術說明 2.假設情境案例分析
12:10-13:20	午餐時間	
13:30-15:00	屏東地區地下水模擬模式	1.屏東地區地下水數值模式建置 2.參數設定 3.起始條件及邊界條件
15:00-15:20	中場休息	
15:20-16:50	屏東地區地下水抽水量推估	1. 屏東地區地下水抽水量推估 2.地下水抽水量推估模式之使用 及其應用範圍之說明 3.模式操作及練習

教育訓練課程中包含地下水抽水量推估模式之操作示範，抽水量推估模式採用 MicroSoft Excel 建立使用者操作介面，其中包含了 Modflow2000、抽水量推估模式等相關模組，操作手冊如附錄三。圖 7-2 為屏東地區地下水抽水量推估模式之使用者介面，使用者只需輸入地下水觀測水位，並按鈕進行計算，即可得到屏東地區各含水層、各分區之地下水淨進出水量。教育訓練課程如附錄四。

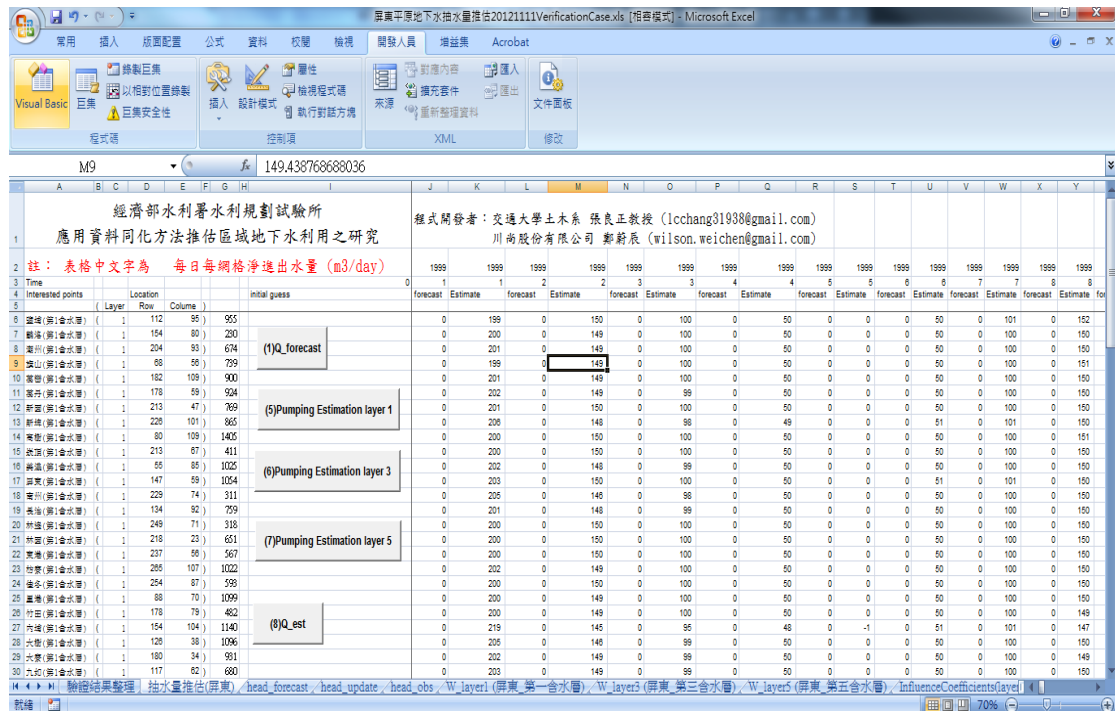


圖 7-2 屏東地區地下水抽水量推估模式之使用者介面

參考文獻

1. APHA (1998) Standard methods for the examination of water and waste water, 20th ed., American Public Health Assoc., Washington, DC., 413-426.
2. Auroux, D., and J. Blum (2008), A nudging-based data assimilation method: the Back and Forth Nudging (BFN) algorithm, *Nonlin. Processes Geophys.*, 15, 305–319.
3. Anderson, M.P. (2005) Heat as a ground water tracer. *Ground Water* 43/6, 951-968.
4. Becker, L. and Yeh, W. W-G. (1972), Identification of parameters in unsteady open channel flows, *Water Resour. Res.*, 8(4), 956-965.
5. Bear, J. (1988), *Dynamics of Fluids in Porous Media*, Dover Publ. New York.
6. Bromley, J., W. M. Edmunds, E. Fellman, J. Brouwer, S. R. Gaze, J. Sudlow, and J. D. Taupin (1997) Estimation of rainfall inputs and direct recharge to the deep unsaturated zone of southern Niger using the chloride profile method, *Journal of Hydrology*, Vol. 188-189, P.139-154.
7. Barlow, P.M. and Moench, A.F. (1999) WTAQ- a computer program for calculating drawdowns and estimating hydraulic properties for confined and water-table aquifers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4225, 74p.
8. Britt, S.L. (2005) Testing the In-Well Horizontal Laminar Flow Assumption with a Sand. Tank Well Model. *Ground Water Monitoring and Remediation* 25/3, 73-81.
9. Drusch, M. (2007), Initializing numerical weather prediction models with satellite-derived surface soil moisture: data assimilation experiments with ECMWF's Integrated Forecast System and TMI soil moisture data set, *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JD007478.
10. Farrar C. D., L. F. Metzger, T. Nishikawa, K. M. Koczot, and E. G. Reichard (2006), Geohydrologic characterization, water-chemistry, and ground-water flow simulation model of the Sonoma valley area, Sonoma county, California, Scientific Investigations Report 2006-5092, U. S. Geological Survey, Reston, Virgin.
11. Gehrels J. C., F. C. van Geer, and J. J. de Vries (1994), Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modeling in an area with shallow to deep unsaturated zones, *J. Hydrol.*, 157, 105-138.
12. Hoke J., and R. A. Anthes (1976), The initialization of numerical models by a dynamic initialization technique, *Mon. Weather Rev.*, 104, 1551–1556.

13. H. Ii, Y. Ohtsuka, N. Mori, T. Inagaki and S. Misawa(1996) Effective porosity and specific yield of a sedimentary rock determined by a field tracing test using tritium as a tracer. *Environmental Geology*, Volume 27, Number 3, 170-177.
14. Houser P. R., W. J. Shuttleworth, J. S. Famiglietti, H. V. Gupta, K. H. Syed, and D. C. Goodrich (1998), Integration of soil moisture remote sensing and hydrologic modeling using data assimilation, *Water Resour. Res.*, 34(12), 3405–3420.
15. Harbaugh A. W., E. R. Banta, M. C. Hill, and M. G. McDonald (2000), MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water model – user guide to modularization concepts and the ground-water flow process, U.S. Geological Survey open-file report 00-92.
16. Healy R. W., and P. G. Cook (2002), Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, *Hydrogeol. J.*, 10(1), 91–109, doi:10.1007/s10040-001-0178-0.
17. Hanson, R. T., P. Martin, and K. M. Koczot (2003), Simulation of Ground-Water/Surface-Water Flow in the Santa Clara–Calleguas Ground-Water Basin, Ventura County, California. U.S. Geological Survey open-file report 02-4136.
18. Harter, T. (2003), Legal Control of California’s Water Resources, University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA.
19. Hurkmans R., C. Paniconi, and P. A. Troch (2006), Numerical assessment of a dynamical relaxation data assimilation scheme for a catchment hydrological model, *Hydrol. Process.*, 20, 549 -563.
20. Ide K., P. Courtier, M. Ghil, A. C. Lorenc (1997), Unified notation for data assimilation: operational, sequential and variational, *J. Met. Soc. Japan.*, 75(1B), 181-189.
21. Jasrotia, A.S.,R. Kumar,A. K. Saraf (2007) Delineation of groundwater recharge sites using integrated remote sensing and GIS in Jammu district, India, *International Journal of Remote Sensing*, Volume 28 , Issue 22 , Pages 5019-5036,November.
22. Johnson, A.I. (1967) Specific yield- compilation of specific yields for various materials. U.S.G.S. Water-Supply Paper, 162-D, 74p.
23. Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London.
24. Koczot, K. M. (1996). Estimating rates and patterns of historical ground-water pumpage for irrigation using a geobased numerical model. Thesis (M.A.)--San Diego State University, 1996.
25. Lorenc, A. C. (1986), Analysis methods for numerical weather prediction. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 112, 1177-1194.
26. Li, Z. and Navon, I. M. (2001). Optimality of variational data

- assimilation and its relationship with the Kalman filter and smoother. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 127B, 661–684.
27. Lin, Y.-C. and H.-D. Yeh (2008), Identifying groundwater pumping source information using simulated annealing, *Hydrol. Process.* 22, 3010-3019.
 28. Mondal, N. C. and V. S. Singh (2004) A new approach to delineate the groundwater recharge zone in hard rock terrain, *Current Science*, Vol. 87, 5, 10.
 29. Miguez-Macho, G., G. L. Stenchikov, and A. Robock (2004), Spectral nudging to eliminate the effects of domain position and geometry in regional climate model simulations, *J. Geophys. Res.*, 109, D13104, doi:10.1029/2003JD004495.
 30. Morgan L (2005) Critical aquifer recharge areas guidance document, Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 69p.
 31. McPhee, J., and W. W-G., Yeh (2006), Experimental Design for Groundwater Modeling and Management, *Water Resour. Res.*, 42, W02408, doi:10.1029/2005WR003997.
 32. Nichols, N.K. (2003), Data assimilation: aims and basic concepts, in *Data Assimilation for the Earth System*, Nato ASI Science, IV Earth and Environmental Sciences, vol. 26, edited by R. Swinbak, et al. pp. 9-21, Kluwer Academics Publ., Dordrecht.
 33. Pacione R., C. Sciarretta, C. Faccani, R. Ferretti, F. Vespe (2001), GPS PW assimilation into MM5 with the nudging technique, *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy Volume 26, Issues 6-8, Proceedings of the First COST Action 716 Workshop Towards Operational GPS Meteorology and the Second Network Workshop of the International GPS Service (IGS)*, 481-485.
 34. Pauwels V. R. N., R. Hoeben, N. E. C. Verhoest, and F. P. D. Troch (2001), The importance of the spatial patterns of remotely sensed soil moisture in the improvement of discharge predictions for small-scale basins through data assimilation, *J. Hydrol.*, 251, 88-102.
 35. Paniconi C., M. Marrocu, M. Putti, and M. Verbunt (2003), Newtonian nudging for a Richards equation-based distributed hydrological model, *Adv. Water Resour.*, 26, 161-178.
 36. Prinos S., R. Irvin, and M. Byrne (2004), Water resources data Florida water year 2004 Volume 2B: South Florida – Groundwater, U.S. Geological Survey Water-Data Report FL-04-2B.
 37. Quarteroni, A. and A. Valli (1997), *Numerical Approximation of Partial Differential Equations*, Springer Series in Computational Mathematics 23. Springer, Berlin.
 38. Ruud N., T. Harter, A. Naugle (2004), Estimation of groundwater pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated

- agricultural basin, *J. of Hydrol.*, 297, 51–73.
39. Stauffer D. R., and N. L. Seaman (1990), Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model Part I: Experiments with synoptic-scale data, *Mon. Wea. Rev.*, 118(6), 1250–1277.
 40. Stauffer D. R., N. L. Seaman, and F. S. Binkowski (1991), Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model Part II: effects of data assimilation within the planetary boundary layer, *Mon. Wea. Rev.*, 119(3), 734-754.
 41. Stiles B. W., B. D. Pollard, and R. S. Dunbar (2002), Direction Interval Retrieval With Thresholded Nudging: A Method for Improving the Accuracy of QuikSCAT Winds, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(1), 79-89.
 42. Sanford W. (2002), Recharge and groundwater models: an overview, *Hydrogeol. J.*, 10(1), 110–120, doi:10.1007/s10040-001-0173-5.
 43. Scanlon B. R., R. W. Healy, and P. G. Cook (2002), Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, *Hydrogeol. J.*, 10(1), 18–39, doi:10.1007/s10040-001-0176-2.
 44. Schwartz, F.W., and Zhang, H. (2003) *Fundamentals of ground water*, John Wiley & Sons, New York.
 45. Ting, C.S.(1997),” Groundwater resources evaluation and management for Pingtung Plain, Taiwan,” PHD. Thesis of Free University, Amsterdam.
 46. Troch, P., C. Paniconi, and D. McLouglin (2003), Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation, *Adv. Water Resour.*, 26(2), 131-135.
 47. Tung, C.-P., C.-A. Chou (2004), Pattern classification using tabu search to identify the spatial distribution of groundwater pumping, *Hydrogeol. J.*, 12, 488–496, doi:10.1007/s10040-004-0344-2.
 48. Verron, J. (1990), Altimeter data assimilation into an ocean circulation model: sensitivity to orbital parameters, *J. Geophys. Res.*, 95(C7), 443–459.
 49. Vidard, P.A., F.-X. Le Dimet, and A. Piacentini (2003), Determination of optimal nudging coefficients, *Tellus*, 55a, 1-15.
 50. Willis, R. and W. W.-G. Yeh (1987), *Groundwater Systems Planning and Management: Planning and Management*. Prentice-Hall.
 51. Yeh, W. W-G. (1986), Review of parameter identification procedures in groundwater hydrology: the inverse problem, *Water Resour. Res.*, 22(1), 95-108.
 52. Yeh, W. W-G. (1992), Systems analysis in ground-water planning and management, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 118(3), 224-237.
 53. Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., and Chang, P.H. (2008) GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environ.*

Geol., Vol. 58, 185-195.

54. 工研院能源與資源研究所，1995，地球物理探測及地層對比之應用，台灣地區地下水觀測網第一期計畫，水文地質調查研究及建檔，八十四年度報告，經濟部中央地質調查所。
55. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2002，屏東平原之地下水補注區，經濟部中央地質調查所彙刊，第十五號，第 17-47 頁。
56. 江崇榮、陳瑞娥，2004a，屏東平原地下水水源保護區劃定之芻議，經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 1-19 頁。
57. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2004b，屏東平原地下水補注量及抽水量之評估，經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 21-51 頁。
58. 吳建民、曾鈞敏，「屏東平原地下水數值模式之研究」，地下水資源及水質保護研討會論文專集，第 237-253 頁（1994）。
59. 吳景濂（1998）屏東平原之地下水抽水試驗，屏東平原地下水及水文地質研討會論文集，第 189-204 頁。
60. 地下水工程處，1961，屏東平原地下水源勘查報告，共 74 頁。
61. 柯亭帆，丁澈士，吳峰誼，1996，屏東平原地下水變動立體化模擬及補注量估算之研究，土木水利，Vol.22, No.4, pp.35-45。
62. 張秉權、曾鈞敏，1995，屏東平原地下水數學模式之應用分析，經濟部水資源統一規劃委員會。
63. 張良正、蔡威平、陳宇文，1999b，屏東地區地下水補注量推估及分級，第三屆地下水資源及水質保護研討會，pp.65-76
64. 劉聰桂，1996，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫，觀測網之建立及運作管理八十五年度子計畫報告，地下水定年分析研究：水利局，第 1-1 至 8-43 頁。
65. 曹敏中，丁澈士，陳秋揚，1997，新園地區地下水污染防治之研究，技職學刊，Vol.12, No.1, pp.159-169。
66. 葉文工，1998，台灣沿海地區地下水超抽改善方案研擬與評估，經濟部水資源局。
67. 經濟部中央地質調查所，1997，屏東平原水文地質調查研究報告，共 163 頁。
68. 經濟部中央地質調查所，2002，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究總報告。
69. 經濟部中央地質調查所，2002，屏東平原地下水自然補注之研究。
70. 經濟部水資源局，1999，臺灣水文年報

附錄一 審查意見及處理情形

期末簡報審查會議委員意見回覆

審查意見	處理情形
黃鑑水技師	
<p>1. 示範區抽水量推估與實際抽水量完全吻合，請說明其間有否私井影響？或者私井影響因素已被同化？</p>	<p>示範區抽水量推估與實際抽水量並非完全吻合，推估誤差如表 5-9。推估地點屬最深之第三含水，應較少私井之影響，且抽水量最大可達每日 $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上，若有私井，其影響應相對較小。已加強說明，請委員參閱第五章及表 5-9。</p>
<p>2. 屏東平原地下水抽水量已有多人用不同方法做過研究推估，建議本計畫開發出之方法在未來應與其他方法所推估出之結果進行比對研究，求出差異最大原因。</p>	<p>本研究方法可推出屏東地區各分區、分層之地下水抽水量(淨進出水量)，之前之研究均未到達此空間分佈之精度，因此無其他結果可作為比較。已加強說明，請參閱第陸章。</p>
<p>3. 本方法應用功能多，未來如果發現缺點如何改進。</p>	<p>若有需要升級改進，請洽交通大學土木系張良正教授及川尚公司(wilson.weichen@gmail.com)。</p>
國立成功大學資源工程系 李教授振誥	
<p>1. 請於報告中加入摘要及結論建議章節，並將自來水公司三口井動態抽水量資料，附於附錄，另外附錄二影響係數資料請統一。</p>	<p>期末修訂稿會將摘要及結論建議章節加入報告內文；文中所述自來水公司之抽水井之動態抽水量資料，於申請時即表示僅供研究不得公開，故恕無法付於附錄；原附錄二影響係數資料將於期末修訂稿統一。</p>
<p>2. 請說明本案中之抽水量為淨抽水量或淨進入，特別於第五章屏東平原案例，加入說明。</p>	<p>若井的位置已知，可推得單一水井之抽水量。然因屏東地區地下水井數量龐大、無法詳實調查所有井的位置；在實務管理上只需瞭解區域地下水開發量即可，不需知道每一口井之抽水量，因此採用井集合(well cluster)的概念，進行屏東地區地下水分區、分層之抽水量推估。針對一區域所進行之推估因非針對單一水井，因此得到之推估值為此區之淨進出水量。相關述敘已加強說明，請委員參閱第陸章。</p>
<p>3. P.89 頁中假設僅能抽水而不能補注，其是否有考慮側向補注或流量。</p>	<p>觀察地下水位變化，於海邊及山邊應有側量流入量，因此於海邊設置定水頭，而山邊河流出口處設置給定水頭，以模擬側向流入量。</p>
<p>4. 表 5.2-8、5.2-9、5.2-10</p>	<p>已依委員建議重新撰寫，加入各年及平均之抽水</p>

<p>其中負值是否為淨進入流量(或稱淨補注量)並請將各年之抽水量值列出，再加入平均。</p>	<p>量，並加強說明正值為抽水，負值為補注。請委員參閱第 6-33 至 6-37 頁。</p>
<p>5. 本計畫列於執行步驟，其透水係數與儲水係數是否為定值，其過程中不須修正。</p>	<p>模式建立完成後，進行後續模擬時，各項係數視為定值，已加強說明。請委員參閱第 5-10 頁。</p>
<p>6. 影響係數與反應係數，於計畫中所展現物理意義請加強說明，同時於存在線性關係，是否為定值。</p>	<p>第一含水層部分地區屬非拘限含水層，影響係數之非線性效應，可能造成較第二及第三含水層大之抽水量推估誤差，然其推估誤差仍僅 0.7%，因此本研究推估期間之影響係數視為定值。已加強說明，請委員參閱第 5-21 頁、第 6-32 頁。</p>
<p>7. 圖 3.3.1 之情況假設之斷層是否為透水或不透水，於文中請加入，並加入其模擬邊界條件，以便了解。</p>	<p>斷層將假設系統分為左右兩部分，交界處之透水係數較低，抽水井對斷層另一側的觀測井水位變化影響較小，無額外增加邊界條件。已加強說明，請委員參閱第 4-17 頁。</p>
<p>8. 請將本計畫成果與過去前人執行成果相對比以利成果展現。</p>	<p>本研究可推出屏東地區各分區、分層之地下水抽水量(淨進出水量)，之前之研究均未到達此空間分佈之精度，因此無其他結果可作為比較。已加強說明，請參閱第 6-39 頁，優點說明第(1)項。</p>
<p>9. P110 頁中屏東地區抽水量推估結果中出現有補注量之原因請再詳加說明，特別從本計畫之假設，模擬方式步驟等方向，加強論述以資區別合理性。</p>	<p>本計畫以民國 88 年至 99 年之實際地下水位觀測資料，採用月平均水位，針對屏東地區各分區、分層，按月推估地下水之抽水量(所稱之「抽水量」意指為「淨進出水量」)。所得到之結果，正值代表抽水量大於補注量(淨抽水)，負值代表抽水量小於補注量(淨補注)。已加強說明，請委員參閱第 6-36 頁。</p>
<p>國立成功大學水工試驗所 余副所長進利</p>	
<p>1. 地質材料具有異質性，本計畫利用徐昇氏法推估各網格水文地質參數是否適宜？為何不使用其他統計方法來推估？</p>	<p>徐昇氏法之優點為每一網格之參數均與其最近控制點相同，且因參數為分區給定，於參數檢定時效率會較佳。而本計畫使用之參數主要來自水文地質鑽探，依此資料密度及後續參數檢定效率，徐昇氏法是較佳的選擇。</p>
<p>2. 抽水行為會產生洩降</p>	<p>影響係數反應出由抽水行為產生洩降錐所造成之</p>

<p>錐，本計畫之模式是否可估算其有效影響範圍？</p>	<p>影響大小及範圍。已加強說明，請委員參閱第 4-15 頁。</p>
<p>3. 本計畫之教育訓練已舉辦；建議應將相關成果例如照片，簡報資料...等，置於報告中。</p>	<p>遵照辦理，請委員參閱附錄四及附錄五。</p>
<p>4. 本計畫之模式是否有套裝化，建議應製作詳細操作說明手冊，並移轉洽水規所使用。</p>	<p>遵照辦理，請委員參閱附錄五。</p>
<p>5. 簡報內容比報告初稿還豐富，建議正式的期末報告書的內容應再補強。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>國立中興大學土木系 蘇教授苗彬</p>	
<p>1. 期末報告應有必要的格式，包括摘要與結論等，尤其報告的結論與建議，彙整計畫的成果。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>2. 報告中的英文括號部份，建議只要出現第一次標示，後續就不需要。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>3. 建議增加研究流程來說明過程較易了解。</p>	<p>遵照辦理，請委員參閱第 1-4 頁，圖 1-1。</p>
<p>4. 報告中有些圖表字體大小如 P107 建議修正。</p>	<p>遵照辦理，各分配係數及權重係數字體大小均已修正，請委員參閱第 6-25~6-30 頁，表 6.2-4~表 6.2-9。</p>
<p>5. 屏東平原來社等支流匯入設為給定水頭，其中可能有許多地下水流入的部份，可能不易實際定出其流入量。</p>	<p>因不易實際定出其流入量，因此假設溪流出山口處至最近地下水位觀測點之水力坡降與地表地形相同，當設置給定水頭後，依該區之 K 值與附近區域之水位，即可得出可能之流入量。</p>
<p>6. 計算中對抽水量誤差的定義應說明誤差指的是與真值的差異，但不知道現地的真值，則無法計算誤差。</p>	<p>誤差是根據給定或已知之抽水量進行計算。</p>
<p>7. 報告中應注意中英文名稱應符合慣用的名稱。</p>	<p>遵照辦理</p>

國立中興大學土木系 藍教授振武	
1. 研究中所採用之誤差表示法有二, RMSE、MAPE 是否統一表示。	文中同時採用 RMSE 及百分比誤差, 輔助分析推估之誤差變化情形。
2. Gain Matrix 之推昇結果, 如 Case Test 中是否可列出。	遵照辦理, Gain Matrix 中之各項參數值均列出, 請委員參閱第 6-23~6-30 頁。
3. 同化技巧是否必須以連續時間處理, 可否以同一時間循環演算, 循環修正後再行下一時間之同化模擬。	理論上可在同一時間循環演算(iteration), 但本計算同一時間只計算一次並未進行循環演算。
4. 井集合處理方法中, 是為定水層之設定?	已增加一章節加強說明屏東地區井集合分區之處理, 請委員參閱第 6-15 頁。
5. Paper 中 P56”示範場址... 敘述不甚清楚”, P76”圖 4.5-2、4.5-2, 表 4.5-2”可正確?	示範場址已修正, 請委員參閱第 5-2 頁。正確的圖表請委員參閱第 4-24 頁及第 4-25 頁, 表 4-10、圖 5-8 及圖 5-9。
經濟部水利署水文技術組 曾副組長鈞敏	
1. 示範區數模建置乙章仍應補敘邊界條件, 以利使用者了解驗證之可靠度。	示範區數值模式基本上採用與全區相同之模式, 不同之處為網格加密, 精度提高, 但不因此改變邊界條件, 因此邊界條件之設定與全區之模式相同。已加強說明, 請委員參閱第 5-4 頁。
2. 敏感度分析之情境模擬應多加以敘述。	已依委員建意加強說明敏感度分析, 有關敏感度分析之原理請參閱第 4-7 頁及第 4-15 頁, 驗證區敏感度分析請參閱第 5-13 頁, 屏東地區敏感度分析請參閱第 6-23 頁。
3. 示範區之結果分析說明部份建議再以地質概況納入敘述, 俾佐證驗證結果合理性。	已加入示範區相關資鑽井資料說明抽水井地層概況, 請參閱第 5-2 頁及附錄二。
4. 屏東平原之邊界條件部份, 東側各溪給定水頭, 給定值係採鄰近井加高程差, 各溪流係採用那個觀測井? 應予敘明, 另各溪流間採零流量, 惟以等水位圖判釋該區間仍有	各溪流所採用觀測井已列於報告第 6-4 頁。於側量流入量方面, 主要取流入量較大的點進行評估與模擬, 因此僅在溪流出山口處設置給定水頭, 而其它地方予以簡化, 設為零流量。

<p>入流，故請於報告敘明理由或簡化的原理。</p>	
<p>5. 推估結果非常完美，是否已融入其他井抽水之結果？請於報告內敘明。</p>	<p>示範區抽水量推估與實際抽水量並非完全吻合，推估誤差如表 5-9。推估地點屬最深之第三含水，應較少私井之影響，且抽水量最大可達每日 $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上，若有私井，其影響應相對較小。已加強說明，請委員參閱表 5-9。</p>
<p>經濟部水利署 楊國賢</p>	
<p>1. P.107~109 含水層分配係數、權重係數表、字太小，建議修正。</p>	<p>遵照辦理，各分配係數及權重係數字體大小均已修正，請委員參閱第 6-25~6-30 頁，表 6-5~表 6-10。</p>
<p>2. 應用資料同化納進法之重點為分配係數及權重係數之計算，其合理性是否能進行探討，建議說明。</p>	<p>已加強說明分配係數及權重係數之計算，請委員參閱第 5-20~5-21 頁，第 6-25~6-30 頁，應用資料同化納進法推估抽水量為一已受證實有效之方法，其學理請參閱第肆章。</p>
<p>3. P.110 抽水量推估結果提及第三及第五含水層理論上不應有補注量，但是有補注量，其原因建議應再加強探討。</p>	<p>第陸章模擬模式假設深層含水層不允許補注，然抽水量推估模式不受此限制，僅以觀測水位進行抽水量之推估。已加強相關說明，請委員參閱第 6-15 頁。</p>
<p>4. P.114 列出本模式一些缺點，但文章中未敘明未來如何改進，建議補充說明。</p>	<p>已加強說明缺點改進方式，請委員參閱第 6-39~6-40 頁。</p>
<p>5. 第六章教育訓練部份建議補充簡報、照片、教材於報告中。</p>	<p>遵照辦理，請委員參閱附錄三及附錄四。</p>
<p>6. 彰、雲地區地下水超抽嚴重，本模式若可行建議未來可用於該地區。</p>	<p>謝謝委員建議。</p>
<p>7. 何謂”專家系統”建議補充說明。</p>	<p>專家系統係由知識庫、推論引擎及介面為基礎而組成的電腦化系統，其目的在對於某一特定領域的問題作判斷、解釋及認知。其中最重要部分即知識庫，將專家知識整理後放入知識庫，再由推論引擎針對問題，取用知識庫中的知識，進行認知、解釋及判斷。</p>
<p>本所水資源規劃課 林助理研究員思孝</p>	

1. 請補充報告摘要結論、建議。	遵照辦理。
2. 地下水管理如何應用(地下水補注、保育等)。	已增加地下水管理說明，請委員參閱第 6-39 頁。
3. 網格加密提升模擬精度之程度差異說明。	網格由 1km×1km 加密為 250m×250m，已加強說明，請委員參閱第 5-9 頁。
4. P.64 後續模擬進行儲水係數之參數檢定校正？	。模式建立完成後，進行後續模擬時，各項係數視為定值，已加強說明。請委員參閱第 5-10 頁。
5. P.68 敏感度分析模組說明。	已依委員建意加強說明敏感度分析，有關敏感度分析之原理請參閱第 4-7 頁及第 4-15 頁，每感度模組及驗證區敏感度分析請參閱第 5-13 頁，屏東地區敏感度分析請參閱第 6-23 頁。
6. 分配係數、權重係數影響範圍係數等範例或圖示說明。	已加強說明分配係數及權重係數之計算，請委員參閱第 5-20~5-21 頁，第 6-25~6-30 頁。
7. 垂直向透水係數為水平向 1/10 或 1/50？依據為何？	本計畫模擬屏東平原後發現，於靠近山邊垂向通透性良好之區域，其垂向流量在垂向透水係數為水平向透水係數 1/50 時，整體地下水流狀況較為合理，因此最後定垂直向透水係數為水平向 1/50。
8. 自來水抽水量之驗證、以了解模式推估成果合理性。	根據抽水量對觀測井地下水位之影響分析得知，各地下水位觀測井均位於四春淨水場之影響範圍之外，此外，依鑽井資料顯示，台糖炭頂 1 號井抽取最深的第三含水層之地下水，受周邊私有井之影響應最小，因此本計畫採用台糖炭頂 1 號井進行現地抽水量推估驗證。已加強說明，請委員參閱第 5-20 頁。
9. 含水層二、三，第一、二、三含水層，第一、三、五含水層，名詞統一。	遵照辦理。
10. 意見回覆、會議紀錄確實納入報告。	遵照辦理。
11. 附錄二、各區標頭補充。	遵照辦理，原附錄二已改為附錄三，請委員參閱。
12. 抽水量推估成果，建議分層、分區呈現。	遵照辦理。
本所大地工程試驗課 吳副工程司文賢	
1. 中英文摘要及結論建議部份請增補。	遵照辦理。
2. 圖資來源請加註出處。	遵照辦理。

3. 計畫區域概述移至第二章(資料收集及彙整)。	遵照辦理。
4. P.5 圖 2.1-3 編號有誤,請修正。	遵照辦理。
5. P.9 預期成果內容,請刪除。	遵照辦理。
6. 本報告書部份內排序顯得凌亂,組織架構不明確,請再重新審閱整本報告書內容再修潤。	已重新修正文章架構及加強文章修潤,請委員參閱目錄及內文。
7. 報告書提及在拘限水層中,影響係數可視為常數;而在非拘限含水層,其影響係數又如何?	影響係數是否設為常數主要依據含水層系統反應之線性程度,根據文中之驗證結果,雖然第一含水層部分地區為非拘限含水層,然採用固定之影響係數尚不會造成太大之推估誤差,因此在本計畫中非拘限含水層之影響係數視為常數。已加強說明,請委員參閱第 5-21 頁。
8. P.46, ”重覆執行步驟,直至規劃時間長度內的時段完成為止”, ”規劃時間”意指何意?該時間建議值為何?	例如本計畫推估 88 年至 99 年之月抽水量,則每一時段長度為 1 個月,規劃時間長度為 12 年。時間精度依需求及模擬模式之時間模擬精度而定。已加強說明,請委員參閱第 4-16 頁。
9. 第五章所談到地下水數值模式所得結果是否是利用資料同化技術所需要的結果,若不是請將內容加以區分避免混淆,倘若不是兩者方法可以加以比較。	本計畫利用屏東地區地下水模擬模式結合以資料同化技術所開發之抽水量推估模式進行抽水量推估。推估時,採用與地下水模擬模式相同之水文地質架構、邊界條件、起始條件,但不需抽水量資料。該模式假設深層含水層不允許補注,抽水量推估模式不受此限制,僅以觀測水位進行抽水量之推估。文章中已加強說明不同之處,請委員參閱第 6-15 頁。
10. P.88 抽水量補注是模擬,本研究後定一個時刻長度為 1 個月,該時刻意指何意?請加強說明。	本計畫推估 88 年至 99 年之月抽水量,則每一時刻長度為 1 個月,規劃時間長度為 12 年。已加強說明不同之處,請委員參閱第 6-8 頁。
11. P.96 以 99 年經濟部水利署「屏東縣林邊、佳東、新園、枋山等四鄉鎮水井清查計畫」之水井普查是以鄉鎮為分區這理由做	小區域台糖水井抽水量推估,因井的位置已知,可推得單一水井之抽水量。然因屏東地區地下水井數量龐大、無法詳實調查所有井的位置;在實務管理上只需瞭解區域地下水開發量即可,不需知道每一口井之抽水量,因此採用井集合(well

<p>為計畫分區的原則似乎不太令人接受，應提出較佳的說法。請針對此點加以修改報告內容。</p>	<p>cluster)的概念，進行屏東地區地下水分區、分層之抽水量推估。已依委員意見重新加強撰寫，請委員參閱第 6-16 頁。</p>
<p>12. P.99 第之含水層部份分區無觀測井資料，此情形是否會影響模擬推估精度；本研究是如何處理此問題。</p>	<p>以影響範圍設定含蓋最近之觀測井。請委員參閱第 6-24 頁。</p>
<p>13. 請將第一含水層第三含水層及第五含水層用詞修改適合現今所使用名詞使讀者較易接受。</p>	<p>已配合模擬模式說明部分，修改成第一含水層、第二含水層及第三含水層，請委員參閱第六章。</p>
<p>14. P.110 多年平均抽水量，是指何時期，報告中請交待。</p>	<p>為民國 88 年至 99 年之平均，已依委員建議增加說明，請參閱第 6-35 頁。</p>
<p>15. 資料同化技術優缺點分析，其內容建議應予其他方法做比較。方法優點及缺點，應朝一些特性來敘明，例如限制性、優越性、成本、時間及可靠性等等。</p>	<p>遵照辦理。已依委員建議加強說明，請參閱第 6-38 頁。</p>
<p>16. 建議提出進一步後續研究方向及課題，例如如何提高模式精度，因為資料同化技術精度是架構於地下水數值模型之建構精度。</p>	<p>遵照辦理，請參閱結論與建議。</p>
<p>17. 教育訓練內容請增列教材內容、日期、地點。此外程式的操作步驟希望能更詳實。</p>	<p>遵照辦理，請參閱附錄四及附錄五。</p>
<p>結論</p>	
<p>1. 期末簡報及期末報告書審查原則認可，請依各委員及單位意見在合約要求的範圍內作必要之補</p>	<p>謹遵照辦理。</p>

<p>充與修訂，修正稿乙式2份於11月30日前送達本所，由大地課本於權責自行審查必要時再召開工作會議。</p>	
<p>2. 報告內缺中英文摘要及結論與建議宜參考本所慣用格式補充編撰。</p>	<p>謹遵照辦理。已於期末修訂稿增加中英文摘要及結論與建議。</p>
<p>3. 工作構想流程及研究架構宜參照報告內 page8 之工作項目及內容重擬報告書之章節亦一併修正。目錄修正稿於11月20日前 email 至本所。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>4. 報告內宜以專節敘明選定屏東平原作研究之緣由，選定示範區之緣由亦一併交待清楚。</p>	<p>謹遵照辦理。已於期末修訂稿第2-11頁及第5-11頁分別敘明選定屏東平原作研究之緣由及選定示範區之緣由。</p>
<p>5. 有關教育訓練內容宜整理成模式使用手冊置於報告書附錄俾利後進之用。</p>	<p>謹遵照辦理。已於期末修訂稿將教育訓練內容整理成模式使用手冊置於附錄四。</p>
<p>6. 報告內宜以專章作文獻回顧及方法論述以利參閱。</p>	<p>謹遵照辦理。已於期末修訂稿第叁章作文獻回顧及方法論述。</p>
<p>7. 報告內有些專有名詞之使用宜審慎修正。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>8. 本模式運用演算結果宜參考以往採用推估模式運用演算成果作比較，且顯示模式之優勢為何。</p>	<p>謹遵照辦理。已於增加說明於期末修訂稿第6-38、6-39頁。</p>

期中簡報審查會議委員意見回覆

審查意見	處理情形
黃鑑水技師	
<p>1. P.90 頁各觀測井之影響係數如何算出，請說明？</p>	<p>利用地下水模擬模式，透過敏感度分析可得到影響係數。利用地下水模擬模式，透過敏感度分析可得到抽水井之抽水行為與觀測井之水位變化之關係，亦即抽水井一單位抽水會造成觀測井多少之水位變化量，此關係以影響係數表示。敏感度分析為分析抽水量改變對系統狀態變數之影響，亦即對水位之影響。實際分析時採用 MODFLOW 模式中敏感度分析模組(Sensitivity analysis module)進行分析，請委員參閱第 6-23 頁之說明。</p>
<p>2. P.31 頁東側邊界水頭高如何計算請簡易說明？</p>	<p>東側邊界部分因與潮州斷層相鄰，假設有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量，定水頭高度則隨鄰近觀測井地下水位趨勢變化，如定口社溪出口總水頭高為關福(1)水位高加 10 公尺。</p>
<p>3. 示範區試算結果與預理想很接近，建議用其他抽水量推估方法加以驗算一次，並評估各方法與本方法之差異性。</p>	
中興大學土木工程學系 藍振武教授	
<p>1. 模式計算之邊界條件設定取定值，其係隨計算時間而改變或定值，其因關係外界入流量之影響，如此與模擬之時間尺度相關性請說明之。</p>	<p>東側邊界部分因與潮州斷層相鄰，假設有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量，定水頭高度則隨鄰近觀測井地下水位趨勢變化，故其模擬時間尺度與模擬模式相同為月尺度。</p>
<p>2. 模式可考慮到降雨、乾枯影響？及降雨影響地下水位之時間尺度？如是請說明時間尺度之影響？</p>	<p>本模式模擬時間單位以月為時刻單位進行模擬，因此以月平均水位為參照水位，檢定模式之淨補注量，當完成一整年之模擬後，即可反映一年中之豐枯變化。而由於以月均水位為參照水位，其為整個月降雨逕流入滲之綜合結果，因此本模式檢定後之淨補注量已包含降雨之效應在內。再由模擬結果分析可知豐水期有大量之補注，而枯水期則呈現抽水之狀態。</p>

3. 影響係數定義為？請說明之。	已加強說明影響係數之定義，請參閱第三章，方程式(11)及其說明。
水利規劃試驗所大地工程試驗課 曾國柱課長	
1. 如依收集之過去研究成果，屏東地區地下水抽水量之推估由 6.53 億/年～24.36 億/年，其差異甚大，本計畫應更廣泛收集抽水井抽水紀錄、觀測井紀錄、水文地質分層分布及其特性、地下水參數等等，以達本計畫目的而提出更符合(或接近)現階段實際抽水量之成果。	本計畫屏東平原數值模式，以中央地質調查所之地質剖面圖建構水文地質模式；參考水利署觀測網建井報告之相關地質參數，作為模擬模式之參數設定；使用觀測網之地下水觀測資料作為模式率定之用，期望此屏東平原數值模式更接近現地狀況，使後續推估之抽水量更符合現地抽水量分佈。
2. 豐枯水期或降雨對於本計畫模擬結果之影響如何？如果能提出豐枯水年或豐枯水期之推估抽水量，將有助於地下水管理及水資源利用之參考。	豐枯水期或降雨情形需利用邊界條件之設定或於模式中依降雨情形設定補注模組(Recharge Module)進行分析。
3. 目前收集之抽水井抽水量紀錄時間與觀測井紀錄時間是否一致？如未完全一致，則模式模擬步驟中是否需做適度之調整，或可因資料之同化過程而減少其影響？	由於模擬模式之時間尺度為月資料，故觀測井之水位為月平均水位，抽水量資料亦為月平均抽水量。
4. 請充分運用臺灣地區地下水觀測網之成果。	本計畫之屏東平原數值模式採用地下水觀測網建井報告之相關地質參數，作為模擬模式之參數設定；使用觀測井網之地下水觀測資料作為模式率定之用
5. 目前驗證區域僅模擬之屏東地區之 1/5，建議增加驗證區域，則可提高成果之準確度及增加成果說服力。	選擇之驗證區域主要為分析所用方法之精確度，所選之區域有完整之抽水量數據，適合作為驗證之用。
6. 主要之收集資料區與驗證模式區是否相同？	主要收集之抽水量資料為，驗證區域內之自來水淨水廠抽水量資料及台糖農場抽水井資料，故區

	域應該一致。
7. 模式誤差原因及誤差範圍在成果報告中應予以說明。	由於數值模式之水文地質架構仍存在一定不確定性，如阻水層分佈位置等，而造成模式誤差。
8. 計畫名稱為應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究，所以報告加強「應用資料同化方法」之論述，並說明連結以屏東平原為探討之理由，及地下水利用是著眼在本區域抽水量推估。	感謝委員意見，已加強撰寫「應用資料同化方法」之論述，並增加分析其優缺點。
成功大學水工試驗所 余進利副所長	
1. 各項參考資料之空間解析度不同，應如何整合？是否會影響分析結果之準確性？請補充討論。	空間解析度會影響模擬模式，模擬模式會影響地下水推估模式的結果，已加強屏東地區抽水量推估結果之討論，並增加分析地下水推估模式之優缺點及各項可能影響結果之因素。
2. P.20 之表 2.2-1 中所載各井之 K、T 均為第一含水層，請問第二、三層之資料為何？	屏東平原數值模式之第一至三含水層，均有其各層 K、T 值設定，已補充完整內容。
3. 研究區涵蓋數個集水區且特性應各有異，請問如何納入分析模式中作考量。	各集水區水文及地文特性均已於地下水模擬模式中考慮。
4. 研究區東側邊界為潮州斷層，斷層通常為地下水滲出之區域，且可能為集水區分隔邊界，設為變水頭邊界是否適宜？	根據潮州斷層附近觀測井之水位判斷，斷層地帶有山邊側流量流入，故本模式在右方邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量。
5. 進行資料同化分析時，是否需要先行評估各輸入因子與輸出結果之相關性？及各輸入因子間之相關性？	需事先評估影響係數及影響範圍，已加強說明，請委員參閱第叁章、第肆章。
6. 除自來水公司有抽用地下水外，應不乏農、林、	本地下水推估模式無法區分各用水標的，推估結果為分區、分層之總量。

<p>漁、牧、工業之民用井抽用地下水，此部份如何納入模式中？</p>	
<p>雲林科技大學 溫志超教授</p>	
<p>1. 期中報告內容豐碩。</p>	<p>感謝委員指導。</p>
<p>2. 第 31 頁第一行中的「時變定水頭」的定義請再敘明。</p>	<p>屏東平原模式東邊界河流出口處以時變定水頭方式模擬山邊側流量，定水頭高度則隨鄰近觀測井地下水位趨勢變化，如定口社溪出口總水頭高為關福(1)水位高加 10 公尺，時間精度則與模擬模式相同，為月平均水位變化。</p>
<p>3. 第三章中模式輸入資料，其中「起始地下水水位」輸入方面，在(1)屏東平原的數值模式(第 35 頁)及(2)示範區域數值模式(第 58 頁)，兩者的起始地下水水位的輸入為何不同，請說明。</p>	<p>由於本計畫之數值模式皆為暫態模式，故 58 頁之起始地下水水位說明應為誤植，將於期末報告內文進行修改。</p>
<p>4. 在數值模式中含水層 1，為淺層含水層(未受壓含水層)，在 MODFLOW 數值模式中，以飽和含水層方式處理；但是實際上含水層 1 上方應有未飽和層，即含水層 1 的地下水位面會隨地下水蘊藏量而上、下變動，如此的現象如何在 MODFLOW 數值模式中處理，請再說明。</p>	<p>屏東平原地下水數值模式採用暫態模式模擬，意即各網格水位均隨著模擬時間變動，</p>
<p>5. 另外，在數值水文地質模型中，深層含水層將被上、下不透水層給包封，所以，可以將上、下不透水層視為不透水邊界。然而，實際的現地地質分佈，其深層含水層的上、下不透水層是否完全包</p>	<p>所推估之結果為淨進出量，若有滲漏(Leakage)現象，則可能被判為補注。</p>

<p>封，抑或存在滲漏 (Leakage)現象，可能需特別注意。因為此種 Leakage 的誤差，可能再同化過程被視為抽水井或補注井。如此誤判結果是否可以消除?請說明。</p>	
<p>6. 在第 41 頁的「4.知識庫之規則建立」，其中強調「經由反覆測試，將其歸納成更具體的參數調整原則」，並分項說明，其立意很好。但是，在分項說明中的各修正或調整的文字敘述須要更明確。例如：</p> <p>i. 在第 42 頁的「b.」項中，「當觀測水位大於模擬水位時，往正方向調整，即增加水量」。此處的「水量」是指甚麼?應要說明清楚。</p> <p>ii. 類似的疑問也出現在「c.」項中，即「修正方向」要如何判斷?又何謂「修正方向相同»?何謂「修正方向相反」?</p>	
<p>7. 第 47 頁，如何決定誤差在「-0.4 公尺與+0.4 公尺之間」，檢定成果是良好?</p>	<p>誤差在「-0.4 公尺與+0.4 公尺之間」為地下水數值模式統計出之率定結果，加上本模式為高維度模擬，平均誤差率定至 1 公尺內較不易，故應可稱檢定成果良好。</p>
<p>8. 在傳統的地下水力學，Thies' solution 是在將洩降是表示成抽水量的函數，而且抽水量也為抽水機馬力的函數。此外，在</p>	<p>文章中之說明為，若有未知之抽水量來自不知位置之民井，其抽水量可能會被當成已知位置之自來水井抽水量。</p>

<p>地下水力學中將同一場址，不同抽水井的不同抽水量在同一時間對場址特定點的洩降量，是可以疊加原理(superposition theory)來處理的。為何在第 49 頁第二行到第五行的文字會以自來水公司水井抽水量推估值較實際抽水量高估，且可以民井的抽水量大小而定。這其中的原因，請務必敘明。</p>	
<p>9. 第 50 頁倒數的兩行文字，「本團隊將會依可得之資料進行示範場址之選定及驗證地下水抽水量推估模式」，其意義為何?請說明。</p>	
<p>10. 第 65 頁公式(7)的「G」符號，請說明。</p>	<p>「G」為獲得矩陣 (the gain matrix)，已加強說明，請委員參閱第 3.2 節。</p>
<p>11. 第 92 頁中，「台糖崁頂 1 號井民國 99 年 1 月之抽水量對於 12.4 公里外的萬巒(2)地下水位觀測井尚能造成 2.5cm 之水位洩降」，請問此「2.5cm」的意義為何?是否此數字已超過儀器觀測誤差，抑或可能是其他外來的干擾?</p>	<p>此數字為使用數值模式進行敏感度分析的結果，沒有來自其他外來的干擾。</p>
<p>12. 第 94 頁第二段文字「...當推估時間加長，超估及低估部分相互抵消，則總抽水量推估之誤差可大幅減小」，此現象在誤差消彌是非常有效；但是，相反的也代表月抽水量</p>	<p>此段文字用於說明，抽水量推估的時間拉長，則誤差可以降低。已加強說明，請委員參閱第 4.3.5 節。</p>

<p>的可能組合很多種。試問如此，的猜值方式意義為何?</p>	
<p>13. 如前述第十二點的意見，數值模式中，採用時間間距以月為主(或不同的時間間距)，目的僅在消減數值計算的誤差，請問如此的做法，所得的同化後之猜值，其意義是否為真實的結果?尤其當外在干擾(如民井位置、數量、抽水量等)完全無法掌握下，資料同化的意義，應該要將其假設及適用情形、限制等條件，完全說清楚，以避免對使用者觀念的誤導。</p>	<p>謝謝委員意見，已增加一章節，加強說明地下水推估模式之優缺點及使用上之限制，請委員參閱第 5.3 節。</p>
<p>水利規劃試驗所水資源規劃課 林思孝助理研究員</p>	
<p>1. 本計畫模式成果將提供地下水管理參考，對於未來降雨條件及潮位改變之情況是否可應用目前之地下水模式。</p>	<p>降雨條件及潮位改變對系統所造成之影響需用模擬模擬來模擬。</p>
<p>2. 觀測井涵蓋範圍之分析、與抽水井之影響範圍是否皆需進行敏感度分析加以確認並給定範圍。</p>	<p>是，已加強說明於第 4.3 及第 5.2 節。</p>
<p>3. P49 民井抽水量及深度對較深含水層影響不大，建議有具體依據輔助說明。</p>	<p>本研究採「井群」的概念進行地下水抽水量推估。</p>
<p>4. 抽水量及地下水位之關係，補助量及時間差是否會造成影響。</p>	<p>抽水量及地下水位之關係以影響係數來描述，地下水補注會改變水位，所以會造成系統的影響。</p>
<p>5. 以本計畫模式所推估地下水抽水量，對未來管理而言，是否所訂定一合理</p>	<p>本計畫工作範圍不包含訂定合理之抽水量範圍以做為管理之參考依據。</p>

<p>之範圍以做為管理之參考依據。</p>	
<p>水利規劃試驗所 吳文賢副工程司</p>	
<p>1. 期初委員意見回覆部份：</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 回覆委員意見的編號有誤，重新修正。 ii. 四春淨水場抽水井取第 1 及含水層 2 地下水，該井是否為混層井，請查正。倘若是混層井，如何採用何法來處理此問題。 iii. 未完整回應黃鑑水委員所提如何評估總出水量。 iv. 蘇教授所提到利用自來水公司抽水井驗證模式，可能在該公司抽水井相鄰地區的其他抽水井造成影響問題，貴團隊回覆加強收集相鄰地區資料。實際狀況如何，可否再請團隊再補充說明。 v. 處理混層井問題，報告回覆內容為得到每一區，每一層之抽水總量，但未明確交待如何使用各種方法來處理狀況，只以抽水總量表示而已，請再後續報告內容再補充。 	<ul style="list-style-type: none"> i. 遵造辦理。 ii. 已選用台糖水井進行驗證。 iii. 已加強回應，並於文章中加強說明。 iv. 已加強資料收集，並選用台糖水井進行分析、驗證。 v. 遵造辦理。
<p>2. P19 選用吉洋工作站為替代吉洋站理由不足，請再補充說明。</p>	<p>選用吉洋工作站為替代吉洋站之理由，已補充說明於第 2-6 頁。</p>

3. 請明確定義推估範圍是否有包括未受壓含水層。	本計畫數值模式範圍包含整個屏東平原，故含受壓含水層及未受壓含水層均於推估範圍內。
4. 數值模式之各項參數精度是否含影響利用資料同化的結果；亦即不適當的模式，透過調整參數方式，得到較確切的結果，反之較為正確模式，反而得到不佳結果。	抽水推估模式之精度與數值模式之精度有直接的關係，模式越準確，推估結果應越好。
5. 各觀測井座標值，請標示屬 67 或 97 座標系統。表 2.2-2，請再說明各井屬那一含水層。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫收集之觀測井座標值均為 67 座標系統。 2. 本計畫收集之地下水觀測井將分層依含水層一至三，詳列於表 2.2-1~表 2.2-3
6. 報告中所提自來水公司及台糖公司抽水井的日抽水量資料，是否可以在成果報告中以附錄型式呈現。	
7. 報告章節順序及標題請與前述工作項目順序名稱一致。	謹遵照辦理，報告章節順序及標題將依工作項目順序編排。
8. P28.「因現地之抽水井分層資料不易取得，...抽水井資料不足造成之推估誤差」，本段文字敘述不佳完整性不足，建議再修潤。	謹遵照辦理，該段文字將進行修潤。
9. P38. 現地試驗資料之觀測井，將其分為受壓含水層及非受壓含水層，以上是如何區分，可否說明。此外利用迴歸統計方式，處理透水係數對儲水係數關係，此法通當否，樣本數是否足夠？請將該統計數據一併呈現。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫判斷觀測井分為受壓含水層及非受壓含水層，參考自台灣地區地下水觀測網第一期計畫－屏東平原水文地質調查研究總報告。 2. 感謝委員提供的建議，然本計畫之目的並非判斷受壓及非受壓含水層，或許可提供往後計畫判斷之參考。
10. 本計畫利用專家系統進	1. 專家系統之知識庫為交大團隊所建立，現階段

<p>行參數檢定，其知識庫規則建立是否由貴團隊建立？檢定參數又有那些？請說明。從參數檢定經驗，地下水補注量是否要考慮地下水位。</p>	<p>以 K 值及淨補注量為主要檢定參數。</p>
<p>11. P42.檢定誤差是否均小於容許誤差，本計畫以 2 公尺為容許誤差，請敘明理由。</p>	<p>屏東平原數值模式檢定後之誤差均小於容許誤差 2 公尺，而由於該區域之地下水位幾乎大於 40 公尺，故取其 5%約為 2 公尺。</p>
<p>12. P47.檢定成果誤差總計，內容請再修潤。是否應朝誤差分布型態，標準偏差，差異係數等撰寫，檢定成果可朝可信度概念方式來說明。</p>	<p>屏東平原數值模式之檢定以 2 公尺為最大容許誤差值，檢定結果顯示 80%的誤差在-0.4 公尺與+0.4 公尺間，分別統計其空間及時間分布，可看出無論於地下水流況與地下水位隨時間變化上，誤差均符合觀測水位趨勢，並維持在一定區間內。</p>
<p>13. P48.選擇示範場址理由不足，請加強說明。另給定抽水井位置與深度等資料，是需要何種深度資料。</p>	<p>已加強說明，水井深度乃做為判定抽取那一含水層之地下水，請委員參閱第 4.3.1 節。</p>
<p>14. P51.圖 3.2.1，請再將水井位置標示。</p>	<p>謹遵照辦理，請委員參閱圖 5.2-2~圖 5.2-4。</p>
<p>15. P57.水力傳導係數為透水係數再除以含水層厚度 b，理論上是如此，但實務上是如何決定含水層厚度 b。</p>	<p>本計畫觀測井之水力傳導係數參考自台灣地區地下水觀測網第一期計畫－屏東平原水文地質調查研究總報告。</p>
<p>16. 抽水量由洩降水位推算，則比儲水量，儲水係數是否為很重要參數，是否也為誤差來源之一。</p>	<p>是。</p>
<p>17. 表 4.2-10 何為更新水位？宜說明。圖 4.2-8 及 4.2-9 之圖例與圖曲線不一致，請修正。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>18. 不同分區方式是否會影響推估成果？因為不同</p>	<p>會影響，已增加一章節，加強說明地下水推估模式之優缺點及使用上之限制，請委員參閱第 5.3</p>

<p>分區方式可能有不同的井群密度分佈，對地下水觀測井的洩降影響應有所不同，請在期末報告時說明。</p>	<p>節。</p>
<p>結論</p>	
<p>1. 期中簡報及期中報告書審查原則認可，惟各委員及各單位意見在期末報告書編撰在合約要求的範圍內作必要之補充與修正且有所回應。</p>	<p>謹遵照辦理。將於期末報告增加必要之補充與修正。</p>
<p>2. 有關本計畫之工作構想與流程需說明更清楚，例如資料同化技術雖有大氣科學領域應用甚廣，惟其基礎與原理在本計畫內要交待且其如何應用在水利工程規劃上。</p>	<p>謹遵照辦理。將於期末報告針對工作構想與流程增加說明。</p>
<p>3. 以屏東平原地下水抽水量之推估作案例請說明以利報告之聯結。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>4. 示範場地選定原則宜說明更清楚，且其邊界條件擬定為何亦一併交待。</p>	<p>謹遵照辦理。將於期末報告增加說明。</p>
<p>5. 拘限或非拘限含水層是否均能一併考慮在模式內。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>6. 本計畫有甚多數據甚為敏感，為利後續論證之用，建議於八月初辦理工作會議俾利釐清相關數據，而教育訓練課程規劃亦予工作會議時一併提出探討。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>7. 本模式在地下水管理上之應用應無庸置疑，然如何應用在規劃上亦能予</p>	<p>謹遵照辦理。將於期末報告增加應用說明。</p>

報告一併交待。	
---------	--

期初簡報審查會議委員意見回覆

審查意見	處理情形
國立成功大學 李教授振誥	
<p>4. 以自來水公司抽水量來進行驗證，請注意自來水公司之抽水井之井篩開孔及其各含水量之分配抽水量是否一致性（第 22 頁），特別屏東平原含水層之圖例劃分相當複雜，請明確以那區域來進行。</p>	<p>本計畫以四春淨水廠及台糖炭頂 1 號井與周遭作為示範場址，其中四春淨水廠抽取第一及第二含水層之地下水，台糖炭頂 1 號井抽取第三含水層之地下水。</p>
<p>5. 同化技術之執行須資料於均質體之來進行，亦即同一含水層且同一透水係數；屏東平原其地質存在相當大的異質性且地下水位亦存在其地質特性反應，有相當之偏異值，故若以此來推估其地下水抽水量，其驗證之方式，於同化技術下，如何合理說明，請補充。</p>	<p>本資料同化技術係以 MODFLOW 數值模式為基礎，因近年來地水下觀測站網建置完成及資料收集較為完整，對數值模式中各項水文地質參數之描述有極大之幫助，因此，本計畫將以最新最完整之資料建置地下水模擬模式以提高地下水抽水量推估之準確性。針對抽水量推估之驗證，本計畫採用 2 種方法進行地下水抽水量推估模式之驗證：(1)純數值模式假設情境案例之驗證及(2) 示範區域現地自來水公司及台糖公司水井抽水量推估之驗證。</p>
<p>6. 利用納進法所得獲得矩陣（增益矩陣），於屏東地區所定義之研究區內是否皆相同，若不同，是否代表所用之方法須再進行釐定，來達到同質同化標準，特別反應係數於獲得矩陣之合理性，應加以討論說明。</p>	<p>若地下水系統反應為線性關係(或是非線性呈度不高)，則獲得矩陣(增益矩陣)在時間長度不變、抽水井(或井群)位置不變、觀測井位置不變、地質條件不變等各項條件相同下的前提下，是為定值(或可合理假設為定值)，而影響係數則用於把各抽水井所造成之水位殘差轉換成抽水量。</p>
黃委員鑑水	
<p>1. 由小區域所建置的地下水抽水量推估模式是否可直接推廣應用於整個屏東平原區，其間是否應考慮區域性的變化？未來整個屏東</p>	<p>本資料同化技術的工作流程，首先需針對研究區域建置並檢定數值模式，其次以敏感度分析求得反應矩陣，最後即可透過反應矩陣進行資料同化。由於本計畫以 USGs 技術，以粗細兩種網格同時建置屏東平原與示範區域模式，故數值模式上可以直接沿用，在反</p>

<p>平原抽水量推估模式所推算出的總出水量準確性如何，請評估說明。</p>	<p>應矩陣方面則需要依抽水量推估之區域劃分建立相對應之反應矩陣。在抽水量推估準確性主要之影響因素為模擬模式之準確性，因近年來地水下站觀測網建置完成及資料收集較為完整，對數值模式中各項水文地質參數之描述有極大之幫助，所以對抽水量推估之準確性亦有極大之幫助。</p>
<p>中興大學土木系 蘇教授苗彬</p>	
<p>1. 欲作地下水模擬最主要仍在邊界條件流入狀況，如何持續、改進所做的假設條件讓其逐步更合理改善。</p>	<p>區域性地下水數值模式之建置實為龐大工程，需仰賴大量地前期調查，除包含現地鑽探與抽水試驗外，還需要輔以許多假設以補不足。以屏東平原為例，東邊潮州斷層與荖濃溪、東港溪與林邊溪銜接處，文獻指出有山邊側流量流入，本計劃以定水頭邊界條件，由於緊鄰邊界處並無觀測井，故在此以最鄰近的觀測井水深搭配地表高程變化猜測與假設邊界水頭高。如後續有其他現地調查研究，可以調查出該區域之水頭值，甚至流量等資訊，即可回饋至數值模式中，使得模式更加準確與合理。</p>
<p>2. 用自來水公司的抽水井驗證模式需特別注意抽水井通常沒有分層，在抽水井相鄰地區的其他抽水井造成的影響可能會與誤判存在。</p>	<p>謝謝委員意見。本計畫已加強收集自來水公司抽水井與相鄰地區之其它抽水井資料，降低其造成影響及誤判之可能性，本計畫以四春淨水場及台糖崁頂1號井之抽水井與周遭作為示範場址，其中四春淨水廠抽取第一及第二含水層之地下水，台糖崁頂1號井抽取第三含水層之地下水。</p>
<p>3. 莫拉克風災後屏東地區的水文地質有很大的改變，是否會影響本案分析，後續應納入考量。</p>	<p>莫拉克風災所造成地表水文地質條件的改變，本計畫將探討莫拉克風災對地下水模擬模式的入滲情形之影響，以建置最符合現況之模擬模式。</p>
<p>4. 整件地下水模型影響的參數很多，且地下水位變化有其時間空間分佈的變異，如何分離出地下水抽水量造成的影響仍待努力達成</p>	<p>謝謝委員意見。本計劃在進行資料同化前，需先建置與檢定地下水數值模式，模式之主要設定參數為K與S，由於參數本身不隨時間改變，因此可藉由抽水試驗資料為基礎，以長期時變之觀測水位作為檢定對象，微幅調整水文地質參數，藉此降低水位時空變異性之影響。</p>
<p>5. 對地下水分層的概念分層可能要注意台灣地區許多抽水井都不分層，多量的水井可能對概念性的分層產生影響，站網計畫的分層，</p>	<p>謝謝委員建議，本計畫將會檢視現有觀測結果的特性，注意觀測結果是否符合學理。因現地之抽水井分層資料不易取得，因此本計畫將針對屏東地區進行分層、分區之抽水量推估，所得到的抽水量為每一區、每一層之抽水量總量，而非單一抽水井，如此將可降</p>

<p>有些觀測資料顯示可能分層會受影響,工作展開之前應先檢視現有觀測結果的特性,是否符合學理。</p>	<p>低因抽水井資料不足所造成之推估誤差。</p>
<p>6. 建議在成果描述中特別將假設條件說明清楚,尤其模式模擬對假設條件與位置影響很大應特別注意。</p>	<p>謝謝委員建議。由於阻水層阻隔的關係,使得上下不同分層間會有較大之水位差,例如中正站共有兩個開篩位置,分別位於 F1 與 F2,兩個觀測水位差將近 10 米以上,顯現阻隔效果良好。因此若有民井因鑽鑿不佳,導致打破阻水層之阻隔效應,本研究會適時依據水位差異幅度,重新檢討數值模式之水文地質架構,並加強說明假設條件。謝謝委員意見。</p>
<p>7. 有關抽水井的影響範圍在簡報 P.35 中抽水井與觀測井的距離很大都達到幾公里,是否在影響範圍外。</p>	<p>「影響範圍」需透過敏感度分析,得到抽水形為對地下水水位變化造成的影響及其影響範圍,此影響範圍與地質條件及地下水模式單位時間長度(stress period)有關,本計畫將於期末報告針對屏東地區進行敏感度分析,並對抽水之影響範圍進行深入瞭解及分析。</p>
<p>8. 計畫書 P.8 地下水分區的界限是否已包括到山溝谷口。</p>	<p>若山溝谷口意指高屏溪出海口,則地下水界限的確包含了山溝谷口。</p>
<p>成功大學水工試驗所 余進利副所長</p>	
<p>1. 根據今天的簡報及工作執行計畫書內容感覺與計畫的標題不甚符合,簡報內容主要在強調如何利用資料同化技術來推估地下水抽水量,但計畫標題是應用資料同化方法來推估區域地下水利用,似乎研究內容是把地下水利用限定在地下水抽水量,請補充說明。</p>	<p>地下水抽水是地下水資源利用之最大途徑,故以地下水最主要的利用方式進行評估,以期瞭解地下水資源利用之情況,且屏東地區為台灣重要之地下水系統之一,其地下水資源對南部地區水資源利用極為重要,且因近年來屏東地區地下水觀測站網設置完成,水文地質調查資料豐富,加上水位觀測資料較多,對於建立地下水模擬模式及評估地下水抽水量之研究均有助益。</p>
<p>2. 推估出來的結果應與以往研究的結果做一比較。</p>	<p>本計畫會於期末報告將推估出來的結果與以往研究的結果做比較。</p>
<p>中興大學土木系 藍教授振武</p>	
<p>1. 資料同化過程,每次修正為下時間之修正之依據。是否以同一修正結果再行 Run 模式再修正, Fitting 後,再行外一時間之修正。</p>	<p>已加強說明細部執行流程,流程概述如下:(1) 計算影響係數、分配係數及權重係數、(2) 預測觀測井位置下一更新時間之地下水水位(或水頭)、(3) 計算位於觀測井的殘差、(4) 推估地下水抽水量、(5) 於更新時間點進行地下水水位的更新、(6)重覆步驟 1 至 5。</p>
<p>2. 可以 Kalman filter 之技巧</p>	<p>Kalman filter 僅適用於線性系統,對於非線性之非拘</p>

修正比較。	限含水層而言並不適用。此外，目前尚無利用地下水水位以 Kalman filter 直接推估地下水抽水量之研究。
3. 抽水量與分層出水與觀測井之水位下降之關係，宜深入考量。	本計畫已日強收集屏東地區觀測站網及地質條件之資料，用以建置一完整之地下水模擬模式，以詳實描述抽水量與分層出水與觀測井之水位下降之關係。此外，本計畫針對屏東地區進行分層、分區之抽水量推估，以降低因抽水井分層資料不足所造成之推估誤差。
雲林科技大學 溫教授志超	
1. 期初報告內容充實。	期初報告內容充實。
<p>2. 同化方法確實為地下水分析提供一個新的理念及研究方法。但是，地下水的分析，以 Darcy's Law 或 Continuity Equation 可以知道其影響因子，除了地下水水位之外，尚有水文地質參數 (Hydraulic conductivity 及 storage coefficient)。目前本案同化方法採以地下水水位(觀測井)，據以分析鄰近抽水井的抽水量，再以抽水量推估結果修正地下水水位，並建立同化納進法下各抽水井的權重。只是，這其中現地含水層的水文地質參數如何確認，似乎並未有探討，如何確認同化法的可用性，有必要做更進一步說明。除了上述的第一個請教，有下列疑惑，仍請說明：</p> <p>i. 地下水水位觀測值為定值 (Hard data)；但是，在模式中以流量做為推估，然而流量為地下水水位取一次微分後，再計算流量(區</p>	<p>本資料同化技術係以屏東平原數值模式為運算基礎，故模式的建置與檢定極為重要。模式之水文地質參數(K 與 S)，主要根據現地抽水試驗資料，並以徐昇氏多邊形分區給定。其次，模式藉由專家系統進行抽水量之參數檢定時，系統會依據物理特性給予檢定值的限制，例如：深層含水層不應有補注量等限制，在此限制條件下，如專家系統無法滿足檢定標準，本計劃則輔以其他資訊，例如水文地質架構圖或水質調查結果等，微幅調整難以收斂區域之水文地質參數(K 與 S)。</p> <p>i. 由結果顯示，抽水量之誤差雖略大於水位之誤差，然在地下水推估領域實屬極小之誤差。以用流量其校正地下水水位可得到較合理之起始水位，並藉由增加資料同化的次數逐步降低模擬誤差，此為資料同化方法之重要特色。</p> <p>ii. 謝謝委員意見。影響範圍需透過敏感度分析，得到抽水形為對地下水水位變化造成的影響及</p>

<p>域水井地下水抽水量推估模式)明顯流量誤差一定比較大(由情境模擬初步結果,可以證明此一觀念)。所以,此一理念若正確,則本方案用流量其校正地下水水位是否適當,有必要再檢討。</p> <p>ii. 同質化中對地下水抽水量分析,也納入影響範圍的討論。但是,影響範圍在地下水力學中,其影響範圍水井的抽水量,含水層的水文地質參數及抽水行為的時間函數。所以,目前模式探討水井的影響範圍,可能不是單一的一個影響範圍值(Ri)。</p> <p>iii. 所以,建議對本計畫的驗證,或現地小範圍的研究,應在擇定的抽水井,加裝流量計,並紀錄抽水井的時間。如此,在抽水模式中,才能有不同時間的抽水井抽水量,做為模式驗證,以確認準確度,否則,模式驗證,可能只能由誤差判定,其可信度會較差。</p> <p>iv. 在研究區域內,除了目前已知的抽水井</p>	<p>其影響範圍,此影響範圍與地質條件及地下水模式單位時間長度(stress period)。由於屏東平原數值模式具有異質性,因此所得之影響範圍亦可能於不同之地質條件下得到不同之影響範圍。</p> <p>iii. 謝謝委員建議。目前自來水公司之抽水井已記錄抽水時間與量值,符合計畫驗證之需求,應不需加裝流量計。</p> <p>iv. 謝謝委員指教。本研究所採用之資料同化技術,可在給定抽水井位置與深度之前提下,推</p>
---	--

<p>外，是否已全部清查清楚其他尚有的水井。倘若，選定的抽水井在模式中可以用；但是，是否同時有其他未掌握到的水井的干擾，這種情形如何克服。</p> <p>v. 本研究案為「推估區域地下水利用之研究」；但是，報告中將研究區位定位在屏東地區，其原因建議可再詳述說明。</p>	<p>估抽水井之抽水量。若自來水公司水井周遭有其他民井，其位置與深度可以掌握的話，本技術可以釐清其影響；反之，若完全無法掌握民井之位置與深度，由於水位是周遭所有水井抽水之綜合效應，自來水公司水井抽水量推估值與實際抽水值相比，則會有高估之現象發生，高估程度則視未掌握民井的距離與抽水量值大小而定。然而，自來水井之深度及抽水量應與一般民井有較大的區別，因此初步推測，對於較深之含水層民井之影響應不大。此外，後續應用於屏東平原區域抽水量之推估上，由於此處的水井已延伸為概念的分區水井群(well cluster)，而跳脫原本定義的實體水井，可涵蓋整個屏東平原，故則不受實體水井位置掌握與否之影響。請委員參閱第 3.2 節，第 48-49 頁。</p> <p>v. 屏東地區為台灣重要之地下水系統之一，其地下水資源對南部地區水資源利用極為重要，且因近年來屏東地區地下水觀測站網設置完成，水文地質調查資料豐富，加上水位觀測資料較多，對於建立地下水模擬模式及評估地下水抽水量之研究均有助益，因此屏東地區是一個合適的研究地區，然本計畫所採用之技術不限於屏東地區，亦可應用於其他地下水系統。</p>
<p>經濟部水利署 郭科長耀程</p>	
<p>1. 地下水超抽造成地層下陷問題，近年受到各界關心與重視，本研究案應對地下水合理抽用及防治地層下陷能提出具體建議，爰目前報告所列「預期成果」(P.3) 僅表可建立抽水量推估模式及專題報告，似不夠具體且缺乏願景，建議請修正補充。</p>	<p>將會加入在後續報告撰寫中。除原本之預期成果外，本計畫將增加 (1)地下水抽水量推估資料可提供地下水管理之參考、(2)建立未來即時監測及地下水管理系統之初步理論基礎及作法、(3)以資料同化技術地下水抽水量推估觀點下，進行觀測井涵蓋範圍之分析。</p>
<p>2. 就地方政府負責地下水權核發及地下水抽用管理而言，本計畫建議期末成果應</p>	<p>本計畫期末將提出屏東平原分區、分層及不同時間之抽水量推估。研究地層下陷需在本計畫所發展之地下水模擬模式及地下水抽水量推估模擬的基礎下，加入</p>

<p>有分區、分層及不同時段之合理抽水量提出，以利總量管制及防治地層下陷。</p>	<p>地層下陷模擬模組，並可依地層下陷模擬結果進行總量管制之分析，此部分不在本計畫的工作範圍內，建議另案進行相關研究。</p>
<p>3. 本報告為期初工作執行計畫書，建請應將所需收集資料及洽取方式述明。</p>	<p>本計畫會將所需收集資料及洽取方式述明於期中及期末報告中。</p>
<p>4. 本計畫所建立之模式，未來希望推廣應用，惟如果觀測點越完整，模式參數可更合理，故建議期末提出觀測井補充建議，以利本區成果可供範例參考。</p>	<p>本計畫將於期末報告中以資料同化技術地下水抽水量推估之觀點，進行觀測井涵蓋範圍之分析。</p>
<p>5. 高屏溪沿岸地下水開發對大高雄地區未來水源十分重要，建議期末報告應提出合理抽水量及抽水地點，以利未來規劃應用。</p>	<p>本計畫將於期末報告中提出屏東平原之抽水量及其分佈之推估，合理抽水量及抽水地點不在本計畫的工作範圍內，建議以本計畫之成果為基礎，另案進行相關研究。</p>
<p>經濟部中央地質調查所</p>	
<p>1. 本計畫係藉由觀測水位推求系統抽水量，由於屏東平原水文地質架構共分 4 層含水層與 3 層阻水層，且水井抽水遍佈不同分層，請問本方法是否可推估不同分層之抽水量？</p>	<p>本資料同化方法首先需建立數值模式，數值模式之分層是依據屏東平原之水文地質架構所建置的，因此數值模式本身即可反應不同分層間之反應與特性。在此基礎上，本地下水抽水量推估法可推估不同分層之抽水量。</p>
<p>2. 土壤水力參數之異質性極高，屏東平原主要由三個沖積扇所組成，土壤流通性由扇頂往扇尾逐步遞減，請問本計畫是否可應用於異質問題中？</p>	<p>由於資料同化方法需先建構在數值模式，而數值模式之參數可依據現地之特性，給予不同之水文地質參數，參數數值以現地抽水試驗值，搭配徐昇氏多邊形給定之。在此基礎上，本地下水抽水量推估法可應用於異質性問題之抽水量推估。</p>
<p>3. 文中 65 頁提到將對對水文地質資料作細部調整是依據何種邏輯？另引用本所圖資請註明出處。</p>	<p>貴所圖資之引用將會加入後續報告撰寫中。另外，模式之水文地質參數(K 與 S)，主要以現地抽水試驗資料，直接以徐昇氏多邊形分區給定。其次，模式藉由專家系統進行參數檢定時，系統會依據物理特性給予檢定值的相關限制條件，此外本計畫亦輔以其他資訊，例如水文地質架構圖或水質調查結果等，微幅調整水文地質參數(K 與 S)，以期得到最佳之模擬模式。</p>

本所水資源規劃課 林工程司司考	
1. 資料同化技術所使用之模式及方法, 以及如何與地下水模式結合, 請補充說明。	已加強說明資料同化技術與地下水模式結合之方法。
2. 本計畫所使用之地下水位及抽水量等資料如發現異常之處理方式為何。	需分析造成資料異常之原因及其影響, 若地下水位資料有誤, 且無法還原正確之地下水位資料, 則可考慮剔除此筆資料; 若是模擬模式無法正確反應出現況, 則需改善模擬模式。
3. 歷年計畫之抽水量推估介於 6.53 至 24.36 億噸之間, 存在相當大之落差, 本計畫應如何確認所用模式之合理性。	歷年計畫所採用之資料、方法、研究範圍及研究時間各不相同, 因此得到不同之推估結果。近年來屏東地區地下水觀測站網建置完成及相關資料收集較為完整, 這些資料對數值模式中各項水文地質參數之描述有極大之幫助, 因此, 本計畫除了將以最新最完整之資料建置地下水模擬模式以提高地下水抽水量推估之準確性, 亦會採用採用 2 種方法進行地下水抽水量推估模式之驗證: (1) 純數值模式假設情境案例之驗證及 (2) 示範區域現地自來水公司及台糖公司水井抽水量推估之驗證。
4. 本計畫使用資料同化方法模擬地下水位並透過與實測值之差異推估抽水量, 惟其水位殘差是否包含模式誤差, 對推估抽水量是否會造成影響?	模式之誤差會對地下水推估造成影響, 因此模擬模式需妥善建置, 然近年來屏東地區地下水觀測站網建置完成及相關資料收集較為完整, 這些資料對數值模式中各項水文地質參數之描述有極大之幫助, 能有效改善模擬模式之準確性。
5. 定水頭邊界為何採用鳳山水庫, 請詳加說明。	高屏溪左岸之觀測水井水位, 原則上應隨高屏溪上下游逐步降低, 然昭明站之觀測水位約略高於其相對上游之水井, 證據顯示鄰近區域有一補注水源方可造成其水位抬昇。觀察地表航照資訊, 該水井距離鳳山水庫極為靠近, 故以鳳山水庫之水位作為定水頭邊界條件, 以模擬該補注源。
6. P.55 所敘, 儲水係數將進行參數檢定及校正, 以及利用專家系統進行自動化參數檢定, 請補充說明其方式及內容。	藉由專家系統進行抽水量之參數檢定時, 系統會依據物理特性給予檢定值的限制, 在此限制條件下, 如專家系統無法滿足檢定標準, 本計畫則輔以其他資訊, 例如水文地質架構圖或水質調查結果等, 微幅調整區域之水文地質參數(K 與 S), 以期得到最佳之地下水模擬模式。

<p>7. 示範區域水井深度係位於那一含水層，以及是否會受其他民井等影響。</p> <p>8.</p>	<p>本計畫以四春淨水廠及台糖崁頂 1 號井之抽水井與周遭作為示範場址，其中四春淨水廠抽取第一及第二含水層之地下水，台糖崁頂 1 號井抽取第三含水層之地下水。此外，本研究所採用之資料同化技術，可在給定抽水井位置與深度之前提下，推估抽水井之抽水量。若自來水公司水井或台糖水井周遭有其他民井，其位置與深度可以掌握的話，本技術可以釐清其影響；反之，若完全無法掌握民井之位置與深度，由於水位是周遭所有水井抽水之綜合效應，水井抽水量推估值與實際抽水值相比，則會有高估之現象發生，高估程度則視未掌握民井的距離與抽水量值大小而定。然而，自來水井及台糖水井之深度及抽水量應與一般民井有較大的區別，因此初步推測，對於較深之含水層民井之影響應不大。</p>
<p>9. 本計畫以示範區域推估結果說明對屏東平原適用性，惟對示範區域之代表性應作合理之說明。</p>	<p>應用於屏東平原區域抽水量之推估上，由於此處的水井已延伸為概念的分區水井群(well cluster)，而跳脫原本定義的實體水井，可涵蓋整個屏東平原，故則不受實體水井位置掌握與否之影響。</p>
<p>本所大地工程試驗課 吳副工程司文賢</p>	
<p>4. 圖 2.1-1 應註明資料來源，並增繪該剖面的平面位置。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>5. P6，圖 2.1-2 是引用或是自行繪製，請加以註明。本計畫所使用水文地質數值模型是依此圖加以建立嗎？還是此圖只是為瞭解屏東地區的地下水水流系統。圖中的 T3 吉洋及 T2 繁華的局部阻水層對建構模型有何影響？</p>	<p>圖 2.1-2 為中央地調所繪製之屏東平原地層架構之阻水層平面分布範圍示意圖，將於期中報告加註說明。</p>
<p>6. 過去對本區域進行相關抽水量推估成果呈現在表 2.1-1，建議在期中報告書內能再詳細敘明各項研究的重點、方法使用限制、或假設條件、或使用方法的適用性；另考慮選擇上述部份研究成果置於附錄以做參</p>	<p>遵照辦理。</p>

<p>考;另表中的補注量及流失量代表那些項目的數量總和,請再加以註明。</p>	
<p>7. P10 及 P11,對於現況問題分析內容,其第 3 點不是問題,請刪除。另問題 1 及問題 2 本質一樣,請合併。</p>	<p>遵照辦理,謝謝委員建議。</p>
<p>8. P13,在相關研究文獻所提學者研究項目,選擇適當的研究項目於後續報告再補充研究成果內容摘要。</p>	<p>遵照辦理,謝謝委員建議。</p>
<p>9. 未來正式報告書請將本計畫所採用方法與前人所採用方法,針對其差異性加以敘明。</p>	<p>本計畫所採用之地下水推估方法與過去屏東地區所採用地下水抽水量推估方法不同之處有:(1)可採用觀測站網及時之地下水位觀測資訊,進行地下水抽水量推估;(2)若水井位置及深度已知,此方法可推求各水井在各含水層之抽水量。</p>
<p>10. P45,屏東平原地下水數值模式建立,其地下分層架構,是參考 91 年度的報告。99 年度水利署水文技術組有請臺灣大學與地調所重新檢討部份觀測井應屬何含水層,請交大團隊再查證。</p>	<p>本計畫模式之地層架構建置除參考 91 年度的報告外,亦針對各觀測井分層進行檢討,而期中報告亦會根據委員所提 99 年報告書進行檢討比較。</p>
<p>11. 地下水數值模擬過程,如何考量降雨入滲、河流補注影響。試驗區域內只選用自來水廠的水井來進行分析,不考慮該區域內其他抽水井,恐會影響分析精度,此問題採用何種方式解決,請敘明。</p>	<p>若自來水廠水井的週邊有其他水井,且其他水井與自來水井抽同一層地下水,則需要考慮其他水井。試驗區域之選定以不受其他水井影響或是其他水井資料齊全的地區優先考量。</p>
<p>12. 數值模擬所需各項參數(水力傳導係數,降雨補注係數等)及假設條件等數據,請再後續報告中完整呈現並檢討合理性,例如降雨入滲補注量推估。</p>	<p>相關內容將於期中報告中完整呈現並檢討合理性說明。</p>

<p>13. P53，圖 3.4-5 利用徐昇式法進行控制區域劃分，該井點位置分佈疏密不均，是否會影響模擬精度。</p>	<p>本計畫利用徐昇氏控制區域劃分為地質參數給定依據，然由於資料來源大多為水利署觀測井之井測資訊，故的確會有分佈疏密不均的問題，但日後透過新參數值的搜集，即可加入模式重新進行徐昇氏分區，以增加精度。</p>
<p>14. 本計畫驗證區域中所選用觀測井需要在抽水井之「影響範圍」內，如何判斷觀測井已在抽水井之「影響範圍」內，請敘明。</p>	<p>「影響範圍」需透過敏感度分析，得到抽水形為對地下水水位變化造成的影響及其影響範圍，此影響範圍與地質條件及地下水模式單位時間長度(stress period)有關。</p>
<p>15. P68，請將「綜合分析與初步建議」內容刪除，此階段不需要提出。</p>	<p>遵照辦理，謝謝委員建議。</p>
<p>16. 評選會議委員意見回覆部份： 問題 9：回覆意見無說服力，請對觀測誤差內容再詳細說明。 問題 10：其回覆意見未能指出需要多少觀測井，請再說明。 問題 13：回覆意見內容不易瞭解。 問題 15：該區域地下水抽水量推估模式之基本假設及具備條件之一為抽水井位置已知，然而試驗區域民井位置及數量無法確定，該狀況是否會影響模擬？ 另，是否要選擇受到民井抽水影響較小時段分析，或是針對試驗區域土地利用情形加以推估可能用水量，此部分再加強說明。 問題 17：請再加強敘述高屏大湖及大潮州人工湖對區域地下水影響及層次。</p>	<p>1. 抽水量推估乃用「觀測殘差」而非「觀測誤差」，觀測誤差主要是由量測儀器所造成，可由儀器製造商取得量測儀器之觀測誤差特性，針對觀測誤差可能造成之地下水推估的影響，本計畫以純數值模擬之假設情境案例 D 進行說明，請委員參閱。 2. 本計畫無法提出需要多少觀測井，但於期末報告時，會透過敏感度分析，以資料同化技術地下水抽水量推估觀點下，進行觀測井涵蓋範圍之分析。 3. 進行區域地下水抽水量推估時，將以分區、分層進行推估，不計算單一民間水井，因此，即使民間水井之抽水量源自多層亦可推估出來。 4. 因區域民井位置及數量無法確定，本計畫進行區域地下水抽水量推估時，將以分區、分層進行推估，計算區域總量，不計算單一民間水井抽水量。 5. 謝謝委員意見，將於期末報告中加強敘述。</p>
<p>結論</p>	

<p>1. 本研究計畫所採用之同化法理論、模式驗證及推估模擬之情境假設、模式邊界條件及各項係數選定之依據，請於後續報告詳細說明，期末研究成果在應用上之適用條件及限制亦應詳細說明。</p>	<p>謹遵照辦理。將於期末報告詳細說明應用上之適用條件及限制。</p>
<p>2. 研究區域之地下水文地質及其地下水各項參數之異質性，應納入考慮、審慎評估，以助於本研究成果之合理性及可運用性。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>3. 請加強蒐集研究本區域所需之各項基本資料及以往相關研究成果並加以綜整評析，以提升本計畫之參考價值。</p>	<p>謹遵照辦理。將於期中報告加強蒐集研究本區域所需之各項基本資料及以往相關研究成果並加以綜整評析。</p>
<p>4. 屏東地區未受管制抽水井之抽水情形對本計畫成果影響如何，應加以評估說明。</p>	<p>謹遵照辦理。期中報告將針對屏東地區未受管制抽水井之抽水情形對本計畫成果影響進行說明。</p>
<p>5. 對於水利署在屏東地區推動之地下水資源開發利用計畫及關注問題，請交大團隊協助提出建議。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>6. 參考文獻外國部分太多，確實有引用者再列出；所列參考文獻太舊，請將國內近幾年之研究及觀測站網資料納入。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>7. 期初簡報原則認可，本計畫後續工作請參照審查委員及與會單位意見辦理，並於期中報告具體回應辦理情形。</p>	<p>謹遵照辦理。</p>
<p>8. 期中報告書繳交期限訂於6月22日，請大地課適時</p>	<p>謹遵照辦理。</p>

召開工作會議以利履約管 理及本計畫執行。	
-------------------------	--

附錄二 屏東地區各抽水分區影響係數

	鹽埔(1)	瑪家(1)	關福(1)	新南(1)	里港(1)	海豐(1)	土庫(1)
鹽埔 (含水層 1)	1.75E-03	0.00064	4.58E-04	2.09E-04	5.40E-05	4.7E-05	1.64E-05
	高樹(1)	清溪(1)	中洲(1)	吉洋(1)	老埤(1)	溪埔(1)	
鹽埔 (含水層 1)	1.1E-05	3.8E-06	2.96E-06	2.40E-06	1.9E-06	1.41E-06	
	彭厝(1)	瑪家(2)	新南(1)	九如(1)	泰山(1)	海豐(2)	大樹(2)
鹽埔 (含水層 2)	0.0107	0.00098	0.00071	0.00070	0.00018	0.00011	8.60E-05
	建興(1)	九曲(1)	清溪(2)	高樹(2)	中正(2)	西勢(2)	內埔(1)
鹽埔 (含水層 2)	6.2E-05	4E-05	2.91E-05	2.7E-05	2.2E-05	2E-05	1.3E-05
	中洲(1)	萬丹(2)	大湖(2)	吉洋(1)	旗山(2)	新庄(2)	赤山(2)
鹽埔 (含水層 2)	1.2E-05	1E-05	6.5E-06	6.49E-06	5.32E-06	3.5E-06	2.12E-06
	萬巒(1)	美濃(2)					
鹽埔 (含水層 2)	1.59E-06	1E-06					
	彭厝(2)	鹽埔(2)	里港(2)	九如(2)	瑪家(3)	關福(2)	泰山(2)
鹽埔 (含水層 3)	0.01113	0.00532	1.37E-03	0.00137	0.00118	0.00110	0.00025
	大樹(3)	海豐(3)	九曲(2)	吉洋(2)	建興(2)	清溪(3)	老埤(2)
鹽埔 (含水層 3)	0.00025	0.00018	0.00011	0.00008	0.00006	0.00006	3.23E-05
	萬丹(3)	西勢(4)	中洲(2)	大湖(3)	潮寮(2)	永芳(2)	新庄(3)
鹽埔 (含水層 3)	0.00003	0.00002	2.14E-05	1.37E-05	0.00001	1.07E-05	0.00001

	萬巒(2)	赤山(3)	潮洲(2)	新園(2)	昭明(2)	港東(2)	新埤(2)
鹽埔 (含水層 3)	9.85E-06	9.73E-06	5.99E-06	5.25E-06	4.80E-06	3.64E-06	1.28E-06
	東港(3)	大潭(2)	林園(2)				
鹽埔 (含水層 3)	1.22E-06	1.17E-06	1.04E-06				

	西勢(1)	海豐(1)	清溪(1)	老埤(1)	瑪家(1)	萬丹(1)
麟洛 (含水層 1)	6.72E-04	1.63E-05	1.41E-05	7.33E-06	2.84E-06	2.42E-06

	西勢(2)	建興(1)	大湖(2)	內埔(1)	萬丹(2)	新庄(2)	清溪(2)
麟洛 (含水層 3)	6.65E-03	1.74E-03	1.30E-03	1.26E-03	9.21E-04	5.09E-04	0.00033
	大樹(2)	九曲(1)	海豐(2)	萬巒(1)	赤山(2)	中正(2)	東港(2)
麟洛 (含水層 3)	0.00009	9.11E-05	8.66E-05	8.58E-05	6.95E-05	4.72E-05	3.56E-05
	大潭(1)	九如(1)	瑪家(2)	餉潭(2)	彭厝(1)	崎峰(2)	
麟洛 (含水層 3)	3.25E-05	2.09E-05	1.99E-05	1.85E-05	0.00001	6.06E-06	

	西勢(4)	建興(2)	大湖(3)	萬丹(3)	老埤(2)	新庄(3)	萬巒(2)
麟洛 (含水層 3)	5.72E-03	1.84E-03	1.55E-03	1.16E-03	8.59E-04	8.06E-04	7.43E-04
	潮洲(2)	清溪(3)	赤山(3)	潮寮(2)	九曲(2)	新園(2)	港東(2)
麟洛 (含水層 3)	6.07E-04	5.16E-04	4.87E-04	4.25E-04	0.00040	3.20E-04	2.76E-04
	大樹(3)	昭明(2)	新埤(2)	海豐(3)	大潭(2)	東港(3)	萬隆(2)
麟洛 (含水層 3)	2.65E-04	2.11E-04	1.20E-04	1.03E-04	1.01E-04	8.61E-05	0.00007
	林園(2)	永芳(2)	九如(2)	瑪家(3)	里港(2)	崎峰(3)	彭厝(2)
麟洛 (含水層 3)	6.01E-05	0.00005	3.88E-05	2.23E-05	0.00001	1.81E-05	1.27E-05
	大庄(2)	鹽埔(2)	德興(2)				

麟洛 (含水層 3)	1.04E-05	2.79E-06	2.02E-06				
	大樹(2)	九曲(1)	九如(1)	中正(2)	清溪(2)	海豐(2)	彭厝(1)
燕巢 (含水層 3)	2.85E-04	1.28E-04	1.01E-04	7.75E-05	3.30E-05	7.93E-06	7.59E-06
	萬丹(2)	西勢(2)	中洲(1)	新南(1)	大湖(2)	新庄(2)	
燕巢 (含水層 3)	5.53E-06	2.60E-06	1.34E-06	1.29E-06	1.15E-06	1.03E-06	

	九如(2)	里港(2)	大樹(3)	九曲(2)	彭厝(2)	清溪(3)	海豐(3)
燕巢 (含水層 3)	4.86E-04	4.48E-04	2.72E-04	1.23E-04	5.34E-05	4.90E-05	4.15E-05
	萬丹(3)	吉洋(2)	中洲(2)	永芳(2)	潮寮(2)	西勢(4)	新庄(3)
燕巢 (含水層 3)	2.58E-05	1.68E-05	1.44E-05	1.08E-05	8.86E-06	6.47E-06	5.93E-06
	大湖(3)	昭明(2)	新園(2)	鹽埔(2)	港東(2)	潮洲(2)	建興(2)
燕巢 (含水層 3)	4.29E-06	3.74E-06	3.55E-06	2.73E-06	2.03E-06	1.78E-06	1.45E-06
	萬巒(2)						
燕巢 (含水層 3)	1.39E-06						

	潮洲(1)	大湖(1)	萬隆(1)	崁頂(1)	老埤(1)	赤山(1)	新埤(1)
潮州 (含水層 1)	2.30E-03	1.51E-04	5.60E-05	3.04E-05	1.31E-05	1.00E-05	3.84E-06
	新庄(1)	餉潭(1)	清溪(1)				
潮州 (含水層 1)	2.01E-06	1.57E-06	1.22E-06				

	大湖(2)	新庄(2)	萬巒(1)	赤山(2)	大潭(1)	內埔(1)	東港(2)
潮州 (含水層 3)	1.88E-02	5.74E-03	5.72E-03	2.96E-03	2.24E-03	1.68E-03	1.41E-03
	西勢(2)	萬丹(2)	餉潭(2)	崎峰(2)	建興(1)	清溪(2)	九曲(1)
潮州 (含水層 3)	1.38E-03	7.88E-04	5.58E-04	3.75E-04	1.62E-04	8.95E-05	3.10E-05

大樹(2)	中正(2)	枋寮(2)	海豐(2)	瑪家(2)	大嚮(2)	九如(1)
2.58E-05	2.22E-05	1.17E-05	8.41E-06	5.52E-06	3.90E-06	3.85E-06
彭厝(1)						
1.36E-06						

	潮州(2)	大湖(3)	萬巒(2)	新埤(2)	新庄(3)	港東(2)	萬隆(2)
潮州 (含水層 3)	3.26E-02	1.66E-02	1.51E-02	8.73E-03	7.94E-03	6.94E-03	6.37E-03
	赤山(3)	大潭(2)	西勢(4)	新園(2)	潮寮(2)	萬丹(3)	東港(3)
潮州 (含水層 3)	6.13E-03	5.44E-03	4.86E-03	4.29E-03	3.07E-03	2.67E-03	2.58E-03
	昭明(2)	老埤(2)	崎峰(3)	林園(2)	大庄(2)	建興(2)	九曲(2)
潮州 (含水層 3)	1.92E-03	1.74E-03	9.98E-04	8.19E-04	7.16E-04	5.64E-04	5.40E-04
	清溪(3)	大樹(3)	永芳(2)	德興(2)	海豐(3)	九如(2)	瑪家(3)
潮州 (含水層 3)	4.31E-04	3.09E-04	2.18E-04	1.45E-04	2.88E-05	2.26E-05	2.07E-05
	里港(2)	彭厝(2)	鹽埔(2)				
潮州 (含水層 3)	1.19E-05	4.45E-06	1.09E-06				

	中正(1)	永芳(1)
鳳山 (含水層 1)	0.00532	6.40E-06

	中正(2)	九曲(1)	大樹(2)	清溪(2)	萬丹(2)	九如(1)	西勢(2)
鳳山 (含水層 3)	0.01099	0.00056	0.00041	0.00005	1.89E-05	1.26E-05	4.63E-06
	新庄(2)	大湖(2)	海豐(2)	內埔(1)	彭厝(1)		
鳳山 (含水層 3)	3.33E-06	2.71E-06	2.56E-06	1.17E-06	1.00E-06		
	永芳(2)	九曲(2)	大樹(3)	清溪(3)	萬丹(3)	潮寮(2)	新庄(3)
鳳山 (含水層 3)	0.00178	0.00054	0.00032	0.00014	1.06E-04	4.49E-05	2.54E-05

	昭明(2)	西勢(4)	九如(2)	新園(2)	大湖(3)	里港(2)	港東(2)
鳳山 (含水層 3)	0.00002	1.81E-05	0.00002	1.66E-05	0.00002	0.00001	9.08E-06
	潮洲(2)	海豐(3)	萬巒(2)	林園(2)	東港(3)	赤山(3)	老埤(2)
鳳山 (含水層 3)	6.56E-06	5.15E-06	4.53E-06	3.42E-06	3.27E-06	2.29E-06	2.27E-06
	大潭(2)	彭厝(2)	建興(2)	新埤(2)			
鳳山 (含水層 3)	2.15E-06	1.89E-06	1.86E-06	1.65E-06			

	中洲(1)	旗山(1)	吉洋(1)	土庫(1)	里港(1)	美濃(1)	海豐(1)
旗山 (含水層 1)	0.00513	0.00418	0.00025	0.00021	0.00005	0.00003	0.00001
	新南(1)	清溪(1)	溪埔(1)	高樹(1)	鹽埔(1)		
旗山 (含水層 1)	0.00001	4.85E-06	3.52E-06	2.67E-06	1.70E-06		

	旗山(2)	中洲(1)	吉洋(1)	美濃(2)	大樹(2)	九如(1)	九曲(1)
旗山 (含水層 3)	0.02576	0.00816	0.00056	0.00031	0.00029	0.00021	0.00013
	中正(2)	彭厝(1)	清溪(2)	新南(1)	海豐(2)	萬丹(2)	高樹(2)
旗山 (含水層 3)	0.00008	0.00004	0.00004	0.00003	0.00002	8.45E-06	0.00001
	西勢(2)	大湖(2)	泰山(1)	新庄(2)	內埔(1)	建興(1)	
旗山 (含水層 3)	4.66E-06	2.01E-06	1.78E-06	1.75E-06	1.16E-06	1.10E-06	

	中洲(2)	吉洋(2)	里港(2)	九如(2)	大樹(3)	九曲(2)	彭厝(2)
旗山 (含水層 3)	0.0116	0.00892	0.00392	0.00248	0.00106	0.00047	0.00030
	海豐(3)	清溪(3)	萬丹(3)	永芳(2)	潮寮(2)	西勢(4)	新庄(3)
旗山 (含水層 3)	0.0002	0.0002	0.0001	0.00004	0.00003	0.00003	0.00002
	鹽埔(2)	大湖(3)	昭明(2)	新園(2)	港東(2)	潮洲(2)	泰山(2)
旗山 (含水層 3)	0.00002	0.00002	0.00001	0.00001	7.97E-06	7.11E-06	6.65E-06
	建興(2)	萬巒(2)	老埤(2)	赤山(3)	林園(2)	東港(3)	關福(2)
旗山 (含水層 3)	0.00001	5.62E-06	3.92E-06	3.08E-06	2.81E-06	2.80E-06	2.47E-06
	大潭(2)	新埤(2)					
旗山 (含水層 3)	2.01E-06	1.67E-06					

	赤山(1)	老埤(1)	大湖(1)	萬隆(1)	潮洲(1)	瑪家(1)	清溪(1)
萬巒 (含水層 1)	0.00710 48	0.00060 647	0.00002 7025	0.00001 5026	5.7807E- 06	4.4912E- 06	1.1679E- 06

	萬巒(1)	赤山(2)	內埔(1)	大湖(2)	西勢(2)	新庄(2)	建興(1)
萬巒 (含水層 3)	0.02316	0.02277	0.00662	0.00526	0.00085	0.00072	0.00034
	大潭(1)	萬丹(2)	餉潭(2)	東港(2)	崎峰(2)	清溪(2)	瑪家(2)
萬巒 (含水層 3)	0.00026	0.00024	0.00022	0.00015	0.00005	0.00004	0.00003
	九曲(1)	大樹(2)	中正(2)	海豐(2)	枋寮(2)	九如(1)	彭厝(1)
萬巒 (含水層 3)	0.00001	0.00001	8.87E-06	6.12E-06	2.87E-06	2.13E-06	1.35E-06
	大嚮(2)						
萬巒 (含水層 3)	1.18E-06						

	赤山(3)	萬巒(2)	大湖(3)	潮洲(2)	老埤(2)	西勢(4)	新庄(3)
萬巒 (含水層 3)	0.1362	0.06779	0.01354	0.01195	0.00822	0.00675	0.00497
	萬隆(2)	新埤(2)	港東(2)	萬丹(3)	新園(2)	大潭(2)	潮寮(2)
萬巒 (含水層 3)	0.00422	0.00372	0.00293	0.00234	0.00224	0.00213	0.00193
	建興(2)	昭明(2)	東港(3)	九曲(2)	清溪(3)	林園(2)	崎峰(3)
萬巒 (含水層 3)	0.00181	0.00112	0.00109	0.0005	0.00047	0.00042	0.00040
	大庄(2)	大樹(3)	永芳(2)	瑪家(3)	德興(2)	海豐(3)	九如(2)
萬巒 (含水層 3)	0.00031	0.00029	0.00016	0.0001	0.00007	0.00004	0.00003
	里港(2)	彭厝(2)	鹽埔(2)				
萬巒 (含水層 3)	0.00001	7.62E-06	3.79E-06				

	萬丹(1)	新庄(1)	大湖(1)	潮寮(1)	清溪(1)	港東(1)	新園(1)
萬丹 (含水層 1)	0.00526	0.00453	0.00017	0.00013	0.00006	0.00005	0.00003
	西勢(1)	永芳(1)	崁頂(1)	海豐(1)	昭明(1)	中正(1)	老埤(1)
萬丹 (含水層 1)	0.00002	8.60E-06	4.14E-06	3.28E-06	1.82E-06	1.10E-06	1.01E-06

	新庄(2)	萬丹(2)	大湖(2)	西勢(2)	內埔(1)	東港(2)	清溪(2)
萬丹 (含水層 3)	0.05445	0.03798	0.02791	0.01378	0.00305	0.00258	0.00181
	大潭(1)	九曲(1)	建興(1)	萬巒(1)	中正(2)	大樹(2)	赤山(2)
萬丹 (含水層 3)	0.00161	0.00099	0.00067	0.00066	0.00066	0.00056	0.00038
	崎峰(2)	餉潭(2)	海豐(2)	九如(1)	彭厝(1)	瑪家(2)	枋寮(2)
萬丹 (含水層 3)	0.00022	0.00015	0.00009	0.00006	0.00001	0.00001	4.15E-06
	大嚮(2)	新南(1)					
萬丹 (含水層 3)	1.46E-06	1.29E-06					

	新庄(3)	萬丹(3)	潮寮(2)	大湖(3)	新園(2)	港東(2)	西勢(4)
萬丹 (含水層 3)	0.04213	0.03576	0.02839	0.02318	0.02061	0.01475	0.01403
	昭明(2)	潮洲(2)	九曲(2)	萬巒(2)	清溪(3)	大樹(3)	東港(3)
萬丹 (含水層 3)	0.01403	0.01106	0.00862	0.00619	0.0057	0.00469	0.00434
	林園(2)	大潭(2)	赤山(3)	新埤(2)	永芳(2)	老埤(2)	萬隆(2)
萬丹 (含水層 3)	0.00383	0.00334	0.00289	0.00271	0.00258	0.00217	0.00115
	建興(2)	崎峰(3)	九如(2)	大庄(2)	海豐(3)	里港(2)	德興(2)
萬丹 (含水層 3)	0.001	0.00057	0.00027	0.00025	0.00019	0.00015	0.00005
	彭厝(2)	瑪家(3)	吉洋(2)	中洲(2)	鹽埔(2)		
萬丹 (含水層 3)	0.00004	0.00003	4.94E-06	3.27E-06	3.15E-06		

	新園(1)	東港(1)	新庄(1)	港東(1)	潮寮(1)	石化(1)	昭明(1)
新園 (含水層 1)	0.00389	0.00099	0.00062	0.00033	0.00013	8.21E-06	8.19E-06
	林園(1)	崁頂(1)					
新園 (含水層 1)	5.00E-06	2.26E-06					

	東港(2)	新庄(2)	大潭(1)	大湖(2)	崎峰(2)	萬丹(2)	西勢(2)
新園 (含水層 3)	0.04771	0.02074	0.01049	0.00463	0.00132	0.00127	0.00081
	內埔(1)	萬巒(1)	餉潭(2)	赤山(2)	清溪(2)	建興(1)	九曲(1)
新園 (含水層 3)	0.00036	0.00022	0.00017	0.00012	0.00011	0.00008	0.00005
	中正(2)	大樹(2)	枋寮(2)	海豐(2)	九如(1)	大嚮(2)	瑪家(2)
新園 (含水層 3)	0.00004	0.00004	9.60E-06	7.66E-06	4.80E-06	2.76E-06	1.99E-06
	彭厝(1)						
新園 (含水層 3)	1.37E-06						

	新園(2)	港東(2)	東港(3)	潮寮(2)	昭明(2)	新庄(3)	林園(2)
新園 (含水層 3)	0.0689	0.04034	0.03546	0.03023	0.02772	0.02515	0.01886
	大潭(2)	大湖(3)	潮洲(2)	萬丹(3)	新埤(2)	西勢(4)	萬巒(2)
新園 (含水層 3)	0.01219	0.00701	0.00577	0.00575	0.00463	0.00266	0.00217
	崎峰(3)	永芳(2)	九曲(2)	赤山(3)	清溪(3)	萬隆(2)	大樹(3)
新園 (含水層 3)	0.00202	0.00152	0.00148	0.00096	0.00093	0.00083	0.00080
	老埤(2)	大庄(2)	建興(2)	德興(2)	九如(2)	海豐(3)	里港(2)
新園 (含水層 3)	0.00055	0.00051	0.00023	0.00009	0.00005	0.00003	0.00003
	瑪家(3)	彭厝(2)					
新園 (含水層 3)	7.05E-06	6.23E-06					

	新埤(1)	餉潭(1)	萬隆(1)	潮洲(1)	大響(1)	枋寮(1)	老埤(1)
新埤 (含水層 1)	0.00549	0.00359	0.00202	0.00002	0.00001	5.78E-06	3.07E-06
	崁頂(1)	赤山(1)					
新埤 (含水層 1)	2.56E-06	2.12E-06					

	餉潭(2)	大潭(1)	東港(2)	崎峰(2)	大湖(2)	萬巒(1)	新庄(2)
新埤 (含水層 3)	0.1331	0.00485	0.00131	0.00117	0.00109	0.00102	0.00073
	赤山(2)	內埔(1)	西勢(2)	萬丹(2)	枋寮(2)	建興(1)	大響(2)
新埤 (含水層 3)	0.00054 5	0.00034	0.00022	0.00013	0.00007	0.00005	0.00004
	清溪(2)	九曲(1)	大樹(2)	中正(2)	海豐(2)	瑪家(2)	九如(1)
新埤 (含水層 3)	0.00002	8.03E-06	6.93E-06	6.23E-06	2.25E-06	1.87E-06	1.06E-06

	新埤(2)	大潭(2)	潮洲(2)	萬隆(2)	萬巒(2)	港東(2)	東港(3)
新埤 (含水層 3)	0.03102	0.01139	0.01059	0.01051	0.00554 36	0.00541 54	0.00394 13
	大湖(3)	大庄(2)	赤山(3)	崎峰(3)	新庄(3)	新園(2)	西勢(4)
新埤 (含水層 3)	0.00379	0.00345	0.00242	0.00233	0.00228	0.00221	0.00119
	潮寮(2)	德興(2)	昭明(2)	萬丹(3)	林園(2)	老埤(2)	建興(2)
新埤 (含水層 3)	0.00113	0.00096	0.00085	0.00070	0.00052	0.00047	0.00015
	九曲(2)	清溪(3)	大樹(3)	永芳(2)	海豐(3)	九如(2)	瑪家(3)
新埤 (含水層 3)	0.00015	0.00012	0.00008	0.00007	7.44E-06	6.01E-06	5.60E-06
	里港(2)	彭厝(2)					
新埤 (含水層 3)	3.18E-06	1.17E-06					

	中正(1)	永芳(1)	清溪(1)				
烏松 (含水層 1)	0.00027 216	1.6273E- 06	1.0037E- 06				

	中正(2)	九曲(1)	大樹(2)	清溪(2)	九如(1)	萬丹(2)	西勢(2)
烏松 (含水層 3)	0.0279	0.01061	0.0072	0.00111	0.00040	0.00026	0.00007 9851
	海豐(2)	新庄(2)	大湖(2)	彭厝(1)	內埔(1)	建興(1)	東港(2)
烏松 (含水層 3)	0.00007	0.00004	0.00004	0.00003	0.00002	0.00001	4.67E-06
	大潭(1)	新南(1)	中洲(1)	萬巒(1)	赤山(2)	餉潭(2)	
烏松 (含水層 3)	3.11E-06	3.03E-06	2.57E-06	2.43E-06	1.63E-06	1.03E-06	

	九曲(2)	大樹(3)	清溪(3)	萬丹(3)	永芳(2)	潮寮(2)	新庄(3)
烏松 (含水層 3)	0.01605	0.01046	0.004	0.00289	0.00152	0.00107	0.00066
	九如(2)	西勢(4)	昭明(2)	新園(2)	大湖(3)	里港(2)	港東(2)
烏松 (含水層 3)	0.00052	0.00049	0.00045	0.00041	0.00041	0.00032	0.00023
	潮洲(2)	海豐(3)	萬巒(2)	林園(2)	東港(3)	赤山(3)	老埤(2)
烏松 (含水層 3)	0.00017	0.00014	0.00012	0.00008	0.00008	0.00006	0.00006
	彭厝(2)	大潭(2)	建興(2)	新埤(2)	萬隆(2)	吉洋(2)	崎峰(3)
烏松 (含水層 3)	0.00006	0.00006	0.00005	0.00004	0.00002	0.00001	9.47E-06
	中洲(2)	大庄(2)	鹽埔(2)	瑪家(3)			
烏松 (含水層 3)	7.46E-06	3.96E-06	2.72E-06	1.26E-06			

	高樹(1)	關福(1)	新南(1)	鹽埔(1)	吉洋(1)	瑪家(1)	土庫(1)
高樹 (含水層 1)	0.00410 4	0.00378	0.00181	0.00036	0.0001	0.00006	0.00005
	里港(1)	中洲(1)	美濃(1)	海豐(1)			
高樹 (含水層 1)	3.15E-05	1.01E-05	0.00001	3.36E-06			

	泰山(1)	高樹(2)	新南(1)	彭厝(1)	吉洋(1)	瑪家(2)	旗山(2)
高樹 (含水層 3)	0.00619	0.00571	0.00244	0.00016	0.00013	0.00009	0.00003
	美濃(2)	九如(1)	中洲(1)	大樹(2)	海豐(2)	九曲(1)	建興(1)
高樹 (含水層 3)	0.00003	0.00002	0.00002	7.0746E-06	5.57E-06	3.35E-06	3.17E-06
	清溪(2)	中正(2)	西勢(2)				
高樹 (含水層 3)	2.36E-06	1.97E-06	1.14E-06				

	泰山(2)	關福(2)	吉洋(2)	鹽埔(2)	里港(2)	彭厝(2)	瑪家(3)
高樹 (含水層 3)	0.00820	0.00794	0.00132	0.0008	0.00033	0.00019	0.0001
	九如(2)	中洲(2)	大樹(3)	九曲(2)	海豐(3)	清溪(3)	建興(2)
高樹 (含水層 3)	0.00009	0.00003	0.00002	0.00001	7.66E-06	4.25E-06	3.55E-06
	老埤(2)	萬丹(3)	西勢(4)				
高樹 (含水層 3)	2.45E-06	2.22E-06	1.45E-06				

	赤山(1)
泰武 (含水層 1)	0.00005 8921

	赤山(2)	萬巒(1)	內埔(1)	大湖(2)	西勢(2)	新庄(2)	建興(1)
泰武 (含水層 3)	0.00033	0.00013	2.3E-05	1.48E-05	2.96E-06	2.35E-06	1.48E-06
	大潭(1)						
泰武 (含水層 3)	1.08E-06						

	赤山(3)	萬巒(2)	大湖(3)	潮洲(2)	老埤(2)	西勢(4)	萬隆(2)
泰武 (含水層 3)	0.00398	0.00115	0.00004	0.00004	0.00003	0.00002	0.00002
	新庄(3)	新埤(2)	港東(2)	大潭(2)	萬丹(3)	新園(2)	建興(2)
泰武 (含水層 3)	0.00001	0.00001	0.00001	7.89E-06	7.87E-06	7.51E-06	7.03E-06
	潮寮(2)	東港(3)	昭明(2)	九曲(2)	清溪(3)	崎峰(3)	林園(2)
泰武 (含水層 3)	6.41E-06	3.89E-06	3.73E-06	1.68E-06	1.61E-06	1.49E-06	1.42E-06
	大庄(2)						
泰武 (含水層 3)	1.20E-06						

	崁頂(1)	港東(1)	新園(1)	潮洲(1)	東港(1)	大湖(1)	新庄(1)
崁頂 (含水層 1)	0.00711	0.00543	0.00005	0.00004	9.78E-06	6.06E-06	4.41E-06
	新埤(1)						
崁頂 (含水層 1)	1.14E-06						

	新庄(2)	東港(2)	大潭(1)	大湖(2)	崎峰(2)	萬丹(2)	西勢(2)
崁頂 (含水層 3)	0.01131	0.01123	0.009	0.00819	0.00122	0.00089	0.00087
	萬巒(1)	內埔(1)	赤山(2)	餉潭(2)	建興(1)	清溪(2)	九曲(1)
崁頂 (含水層 3)	0.00064	0.00053	0.00034	0.00032	0.00009	0.00008	0.00003
	中正(2)	大樹(2)	枋寮(2)	海豐(2)	大嚮(2)	九如(1)	瑪家(2)
崁頂 (含水層 3)	2.62E-05	2.55E-05	1.61E-05	6.68E-06	4.20E-06	3.61E-06	2.59E-06
	彭厝(1)						
崁頂 (含水層 3)	1.12E-06						

	港東(2)	新園(2)	潮洲(2)	大潭(2)	新庄(3)	東港(3)	大湖(3)
崁頂 (含水層 3)	0.04806	0.01412	0.01345	0.01165	0.00957	0.00869	0.00818
	新埤(2)	潮寮(2)	昭明(2)	萬巒(2)	林園(2)	西勢(4)	萬丹(3)
崁頂 (含水層 3)	0.00811	0.00585	0.00471	0.00341	0.00279	0.00239	0.00220
	崎峰(3)	萬隆(2)	赤山(3)	大庄(2)	老埤(2)	九曲(2)	清溪(3)
崁頂 (含水層 3)	0.00191	0.00177	0.00146	0.00076	0.00065	0.00049	0.00036
	永芳(2)	大樹(3)	建興(2)	德興(2)	海豐(3)	九如(2)	里港(2)
崁頂 (含水層 3)	0.00033	0.00027	0.00023	0.00014	0.00002	0.00002	9.47E-06
	瑪家(3)	彭厝(2)					
崁頂 (含水層 3)	7.92E-06	2.87E-06					

	美濃(1)	吉洋(1)	旗山(1)	中洲(1)	土庫(1)	高樹(1)	新南(1)
美濃 (含水層 1)	0.00741	0.00297	0.00033	0.00017	0.00014	0.00008	0.00004
	里港(1)	鹽埔(1)	關福(1)				
美濃 (含水層 1)	1.23E-05	3.20E-06	1.41E-06				

	美濃(2)	旗山(2)	吉洋(1)	中洲(1)	高樹(2)	新南(1)	泰山(1)
美濃 (含水層 3)	0.01497	0.00791	0.0039	0.00061	0.00011	0.00007	0.00001
	彭厝(1)	九如(1)	大樹(2)	海豐(2)	九曲(1)		
美濃 (含水層 3)	8.05E-06	6.38E-06	2.62E-06	1.53E-06	1.25E-06		

	吉洋(2)	中洲(2)	里港(2)	九如(2)	彭厝(2)	泰山(2)	大樹(3)
美濃 (含水層 3)	0.1266	0.00273	0.00104	0.00021	0.00006	0.00006	0.00006
	鹽埔(2)	九曲(2)	海豐(3)	清溪(3)	關福(2)	萬丹(3)	永芳(2)
美濃 (含水層 3)	0.00003	0.00003	0.00002	0.00001	0.00001	5.80E-06	2.28E-06
	潮寮(2)	西勢(4)	新庄(3)	大湖(3)			
美濃 (含水層 3)	1.95E-06	1.69E-06	1.35E-06	1.04E-06			

	枋山(1)	德興(1)
春日 (含水層 1)	3.35E-06	1.18E-06

	枋寮(2)	大嚮(2)
春日 (含水層 3)	1.02E-05	1.06E-06

	德興(2)	大庄(2)	新埤(2)	大潭(2)	崎峰(3)	港東(2)	東港(3)
春日 (含水層 3)	0.00194	0.00009	8.67E-06	4.41E-06	1.6E-06	1.41E-06	1.39E-06
	潮洲(2)						
春日 (含水層 3)	1.25E-06						

	清溪(1)	海豐(1)	萬丹(1)	大樹(1)	西勢(1)	溪埔(1)	里港(1)
屏東 (含水層 1)	0.0054	0.00119	0.00043	0.00027	0.00004	0.00002	0.00001
	永芳(1)	老埤(1)	土庫(1)	中正(1)	潮寮(1)	瑪家(1)	新南(1)
屏東 (含水層 1)	0.00001	9.39E-06	9.20E-06	7.52E-06	6.93E-06	3.94E-06	3.83E-06
	鹽埔(1)	中洲(1)	新庄(1)	萬隆(1)	大湖(1)		
屏東 (含水層 1)	3.08E-06	2.83E-06	2.24E-06	2.05E-06	1.21E-06		

	清溪(2)	大樹(2)	九曲(1)	萬丹(2)	西勢(2)	中正(2)	海豐(2)
屏東 (含水層 3)	0.01256	0.00930	0.00919	0.00622	0.00434	0.00282	0.00167
	大湖(2)	新庄(2)	內埔(1)	九如(1)	建興(1)	彭厝(1)	萬巒(1)
屏東 (含水層 3)	0.0016	0.00109	0.00084	0.00079	0.00047	0.00016	0.00008
	東港(2)	大潭(1)	赤山(2)	餉潭(2)	新南(1)	崎峰(2)	瑪家(2)
屏東 (含水層 3)	0.00007	0.00006	0.00006	0.00003	0.00001	0.00001	9.56E-06
	中洲(1)	旗山(2)					
屏東 (含水層 3)	7.61E-06	2.27E-06					

	九曲(2)	清溪(3)	大樹(3)	萬丹(3)	西勢(4)	潮寮(2)	新庄(3)
屏東 (含水層 3)	0.01733	0.01513	0.0136	0.01079	0.00487	0.003	0.00263
	大湖(3)	海豐(3)	九如(2)	新園(2)	永芳(2)	昭明(2)	潮洲(2)
屏東 (含水層 3)	0.00258	0.00234	0.00145	0.00137	0.00133	0.0013	0.00102

	港東(2)	萬巒(2)	里港(2)	建興(2)	老埤(2)	赤山(3)	東港(3)
屏東 (含水層 3)	0.00087	0.00086	0.0007	0.00056	0.00055	0.00047	0.00029
	林園(2)	大潭(2)	彭厝(2)	新埤(2)	萬隆(2)	崎峰(3)	吉洋(2)
屏東 (含水層 3)	0.00027	0.00024	0.00023	0.00022	0.00012	0.00004	0.00002
	大庄(2)	中洲(2)	瑪家(3)	鹽埔(2)	德興(2)		
	0.00002	0.00001	0.00001	0.00001	3.8E-06		

	新埤(1)	港東(1)	崁頂(1)	東港(1)	崎峰(1)
南州 (含水層 1)	0.0007	0.00003	0.00001	9.64E-06	2.65E-06

	大潭(1)	東港(2)	崎峰(2)	新庄(2)	大湖(2)	餉潭(2)	萬巒(1)
南州 (含水層 3)	0.0237	0.00673	0.00341	0.00158	0.00121	0.00041	0.00032
	西勢(2)	赤山(2)	內埔(1)	萬丹(2)	枋寮(2)	建興(1)	清溪(2)
南州 (含水層 3)	0.00018	0.00017	0.00017	0.00016	0.00004	0.00003	0.00002
	九曲(1)	大嚮(2)	中正(2)	大樹(2)	海豐(2)		
南州 (含水層 3)	7.92E-06	7.85E-06	6.74E-06	6.54E-06	1.78E-06		

	大潭(2)	新埤(2)	港東(2)	東港(3)	潮洲(2)	崎峰(3)	新園(2)
南州 (含水層 3)	0.02418	0.01885	0.01005	0.00865	0.00531	0.00406	0.00341
	大湖(3)	新庄(3)	萬隆(2)	大庄(2)	萬巒(2)	潮寮(2)	昭明(2)
南州 (含水層 3)	0.00204	0.00192	0.0019	0.0018	0.00161	0.00133	0.00118
	林園(2)	赤山(3)	西勢(4)	萬丹(3)	德興(2)	老埤(2)	九曲(2)
南州 (含水層 3)	0.0009	0.00069	0.00062	0.0005	0.00031	0.0002	0.00011
	清溪(3)	永芳(2)	建興(2)	大樹(3)	海豐(3)	九如(2)	瑪家(3)
南州 (含水層 3)	0.00008	0.00007	0.00007	0.00006	4.36E-06	4.12E-06	2.40E-06
	里港(2)						
南州 (含水層 3)	2.22E-06						

	瑪家(1)	海豐(1)	鹽埔(1)	清溪(1)	老埤(1)	關福(1)	新南(1)
長治 (含水層 1)	0.00155	0.00028	0.00008	0.00004	0.00003	0.00002	8.05E-06
	西勢(1)	萬丹(1)	里港(1)	土庫(1)	溪埔(1)		
長治 (含水層 1)	7.02E-06	3.88E-06	3.31E-06	2.11E-06	1.53E-06		

	建興(1)	瑪家(2)	彭厝(1)	西勢(2)	海豐(2)	內埔(1)	大湖(2)
長治 (含水層 3)	0.00207	0.00179	0.00048	0.00047	0.00038	0.00025	0.00012
	清溪(2)	萬丹(2)	九如(1)	大樹(2)	新庄(2)	九曲(1)	赤山(2)
長治 (含水層 3)	0.00011	0.0001	0.00009	0.00007	0.00005	0.00004	0.00003
	新南(1)	萬巒(1)	中正(2)	泰山(1)	大潭(1)	東港(2)	餉潭(2)
長治 (含水層 3)	0.00002	0.00002	0.00002	7.21E-06	5.42E-06	5.39E-06	3.87E-06
	崎峰(2)	中洲(1)	高樹(2)				
長治 (含水層 3)	1.06E-06	1.04E-06	1.00E-06				

	建興(2)	瑪家(3)	彭厝(2)	海豐(3)	西勢(4)	老埤(2)	鹽埔(2)
長治 (含水層 3)	0.00274	0.00258	0.00061	0.00052	0.00051	0.00045	0.00036
	大湖(3)	清溪(3)	九如(2)	萬丹(3)	萬巒(2)	赤山(3)	九曲(2)
長治 (含水層 3)	0.00022	0.00018	0.00018	0.00017	0.00016	0.00015	0.00014
	大樹(3)	新庄(3)	潮洲(2)	里港(2)	潮寮(2)	新園(2)	港東(2)
長治 (含水層 3)	0.00014	0.00011	0.00009	0.00008	0.00006	0.00004	0.00004
	關福(2)	昭明(2)	新埤(2)	大潭(2)	永芳(2)	萬隆(2)	東港(3)
長治 (含水層 3)	0.00009	0.00003	0.00002	0.00002	0.00002	0.00001	0.00001
	泰山(2)	林園(2)	吉洋(2)	崎峰(3)	大庄(2)	中洲(2)	
長治 (含水層 3)	0.00001	8.42E-06	3.76E-06	2.74E-06	1.63E-06	1.46E-06	

	崎峰(1)	新埤(1)	東港(1)
林邊 (含水層 1)	0.00394 73	0.00021 459	1.8186E- 06

	崎峰(2)	大潭(1)	東港(2)	新庄(2)	大湖(2)	餉潭(2)	萬巒(1)
林邊 (含水層 3)	0.02595	0.02508	0.00318	0.00034	0.00027	0.00022	0.00009
	枋寮(2)	內埔(1)	西勢(2)	赤山(2)	萬丹(2)	建興(1)	大嚮(2)
林邊 (含水層 3)	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00004	0.00001	7.16E-06
	清溪(2)	九曲(1)	中正(2)	大樹(2)			
林邊 (含水層 3)	7.04E-06	2.63E-06	2.30E-06	2.20E-06			

	崎峰(3)	大潭(2)	新埤(2)	東港(3)	港東(2)	大庄(2)	潮洲(2)
林邊 (含水層 3)	0.08768	0.01998	0.01123	0.0059	0.00455	0.00289	0.00204
	新園(2)	萬隆(2)	新庄(3)	大湖(3)	萬巒(2)	潮寮(2)	昭明(2)
林邊 (含水層 3)	0.00173	0.00089	0.00084	0.00082	0.00068	0.00064	0.0006
	林園(2)	德興(2)	赤山(3)	西勢(4)	萬丹(3)	老埤(2)	九曲(2)
林邊 (含水層 3)	0.0005	0.00037	0.00029	0.00025	0.00022	0.00008	0.00005
	清溪(3)	永芳(2)	大樹(3)	建興(2)	海豐(3)	九如(2)	
林邊 (含水層 3)	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	1.84E-06	1.79E-06	

	石化(1)	林園(1)	昭明(1)	東港(1)	新園(1)	潮寮(1)	
林園 (含水層 1)	0.00614 89	0.00577 46	0.00001 2746	8.0338E- 06	7.3146E- 06	1.3955E- 06	

	東港(2)	大潭(1)	新庄(2)	大湖(2)	崎峰(2)	萬丹(2)	西勢(2)
林園 (含水層 3)	0.01087	0.0021	0.00157	0.00047	0.00027	0.00014	0.0001
	內埔(1)	餉潭(2)	萬巒(1)	清溪(2)	赤山(2)	建興(1)	中正(2)
林園 (含水層 3)	0.00005	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002	0.00001	9.07E-06
	九曲(1)	大樹(2)	枋寮(2)	海豐(2)			
林園 (含水層 3)	8.16E-06	6.46E-06	1.97E-06	1.31E-06			

	林園(2)	昭明(2)	新園(2)	東港(3)	港東(2)	潮寮(2)	新庄(3)
林園 (含水層 3)	0.1118	0.03563	0.01793	0.00887	0.00879	0.00751	0.00454
	大潭(2)	大湖(3)	萬丹(3)	潮洲(2)	新埤(2)	西勢(4)	崎峰(3)
林園 (含水層 3)	0.00282	0.00134	0.00122	0.00114	0.00103	0.00052	0.00047
	萬巒(2)	永芳(2)	九曲(2)	清溪(3)	赤山(3)	大樹(3)	萬隆(2)

林園 (含水層 3)	0.00042	0.00037	0.0003	0.0002	0.00019	0.00017	0.00017
	大庄(2)	老埤(2)	建興(2)	德興(2)	九如(2)	海豐(3)	里港(2)
林園 (含水層 3)	0.00012	0.0001	0.00004	0.00002	9.88E-06	6.96E-06	5.52E-06
	瑪家(3)	彭厝(2)					
林園 (含水層 3)	1.36E-06	1.33E-06					

	德興(1)	枋寮(1)	大響(1)	大庄(1)	枋山(1)	新埤(1)	萬隆(1)
枋寮 (含水層 1)	0.00394	0.00295	0.00271	0.00149	0.00013	9.31E-06	1.99E-06

	枋寮(2)	大響(2)	大潭(1)	崎峰(2)	餉潭(2)	東港(2)	大湖(2)
枋寮 (含水層 3)	0.00473	0.00448	0.00034	0.00019	0.00011	0.00007	0.00002
	新庄(2)	萬巒(1)	內埔(1)	赤山(2)	西勢(2)	萬丹(2)	建興(1)
枋寮 (含水層 3)	0.00002	0.00001	7.68E-06	7.20E-06	6.06E-06	4.02E-06	1.49E-06

	德興(2)	大庄(2)	新埤(2)	大潭(2)	港東(2)	東港(3)	潮州(2)
枋寮 (含水層 3)	0.1657	0.0432	0.0082	0.00386	0.00127	0.00123	0.00121
	崎峰(3)	萬隆(2)	萬巒(2)	新園(2)	大湖(3)	新庄(3)	赤山(3)
枋寮 (含水層 3)	0.00118	0.00098	0.00051	0.00048	0.00047	0.00033	0.00022
	潮寮(2)	昭明(2)	西勢(4)	林園(2)	萬丹(3)	老埤(2)	九曲(2)
枋寮 (含水層 3)	0.0002	0.00017	0.00014	0.00013	0.0001	0.00005	0.00002
	建興(2)	清溪(3)	永芳(2)	大樹(3)			
枋寮 (含水層 3)	0.00002	0.00002	0.00001	0.00001			

	枋山(1)	德興(1)
枋山 (含水層 1)	0.00525	3.34E-06

	枋寮(2)	大嚮(2)	大潭(1)	餉潭(2)	崎峰(2)
枋山 (含水層 3)	0.00002	2.14E-06	2.10E-06	1.51E-06	1.1E-06

	德興(2)	大庄(2)	新埤(2)	大潭(2)	崎峰(3)	港東(2)	東港(3)
枋山 (含水層 3)	0.00446	0.00017	0.00002	8.37E-06	3.08E-06	2.68E-06	2.65E-06
	潮洲(2)	萬隆(2)	新園(2)				
枋山 (含水層 3)	2.37E-06	1.78E-06	1.01E-06				

	東港(1)	崎峰(1)	港東(1)	新園(1)	崁頂(1)	新埤(1)
東港 (含水層 1)	0.00302	0.00031	0.00025	2.88E-06	2.44E-06	1.45E-06

	大潭(1)	東港(2)	崎峰(2)	新庄(2)	大湖(2)	餉潭(2)	萬丹(2)
東港 (含水層 3)	0.06752	0.05996	0.01304	0.00219	0.00103	0.00024	0.0002
	西勢(2)	萬巒(1)	內埔(1)	赤山(2)	枋寮(2)	清溪(2)	建興(1)
東港 (含水層 3)	0.00018	0.00014	0.00013	0.00008	0.00003	0.00003	0.00003
	九曲(1)	中正(2)	大樹(2)	大嚮(2)	海豐(2)	九如(1)	瑪家(2)
東港 (含水層 3)	0.00001	0.00001	8.64E-06	5.58E-06	2.04E-06	1.23E-06	1.12E-06

	大潭(2)	東港(3)	崎峰(3)	港東(2)	新埤(2)	新園(2)	潮洲(2)
東港 (含水層 3)	0.04799	0.0439	0.0202	0.01994	0.01249	0.00900 23	0.00368 89
	昭明(2)	新庄(3)	潮寮(2)	林園(2)	大湖(3)	大庄(2)	萬隆(2)
東港 (含水層 3)	0.00311	0.00301	0.003	0.00298	0.00185	0.00158	0.00121
	萬巒(2)	萬丹(3)	西勢(4)	赤山(3)	德興(2)	九曲(2)	老埤(2)

東港 (含水層 3)	0.00115	0.00074	0.0006	0.00049	0.00026	0.00018	0.00017
	永芳(2)	清溪(3)	大樹(3)	建興(2)	九如(2)	海豐(3)	里港(2)
東港 (含水層 3)	0.00016	0.00012	0.0001	0.00006	5.95E-06	5.24E-06	3.26E-06
	瑪家(3)						
東港 (含水層 3)	2.05E-06						

	大響(1)
來義 (含水層 1)	7.29E-06

	大嚮(2)	萬巒(1)	赤山(2)	餉潭(2)	大湖(2)
來義 (含水層 3)	0.00000 8426	5.4741E- 06	3.2655E- 06	1.9473E- 06	1.2224E- 06

	新埤(2)	萬巒(2)	萬隆(2)	潮洲(2)	大潭(2)	赤山(3)	大庄(2)
來義 (含水層 3)	0.00007	0.00005	0.00005	0.00004	0.00003	0.00003	0.00002
	大湖(3)	港東(2)	德興(2)	東港(3)	新庄(3)	新園(2)	崎峰(3)
來義 (含水層 3)	0.00002	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	6.94E-06	6.59E-06
	西勢(4)	潮寮(2)	萬丹(3)	老埤(2)	昭明(2)	林園(2)	
來義 (含水層 3)	6.37E-06	4.07E-06	3.19E-06	3.09E-06	2.83E-06	1.55E-06	

	大庄(1)	新埤(1)	枋寮(1)	崎峰(1)	大響(1)	萬隆(1)	德興(1)
佳冬 (含水層 1)	0.00589	0.0004	0.0001	0.00002	2.95E-06	2.37E-06	1.78E-06

	大潭(1)	崎峰(2)	東港(2)	枋寮(2)	餉潭(2)	大湖(2)	新庄(2)
佳冬 (含水層 3)	0.00845	0.00542	0.00134	0.00047	0.00041	0.00027	0.00027
	萬巒(1)	赤山(2)	內埔(1)	西勢(2)	萬丹(2)	大嚮(2)	建興(1)
佳冬 (含水層 3)	0.00014	0.00008	0.00007	0.00006	0.00004	0.00003	0.00001
	清溪(2)	九曲(1)	大樹(2)	中正(2)			
佳冬 (含水層 3)	7.41E-06	2.68E-06	2.28E-06	2.254E-06			

	大庄(2)	新埤(2)	大潭(2)	崎峰(3)	德興(2)	東港(3)	港東(2)
佳冬 (含水層 3)	0.04415	0.02216	0.01295	0.00643	0.00442	0.00404	0.00393
	潮洲(2)	萬隆(2)	新園(2)	萬巒(2)	大湖(3)	新庄(3)	潮寮(2)
佳冬 (含水層 3)	0.0029	0.00184	0.00146	0.00113	0.0011	0.00091	0.00059
	昭明(2)	赤山(3)	林園(2)	西勢(4)	萬丹(3)	老埤(2)	九曲(2)
佳冬 (含水層 3)	0.00052	0.00048	0.00039	0.00034	0.00033	0.00012	0.00005
	清溪(3)	建興(2)	永芳(2)	大樹(3)	海豐(3)	九如(2)	瑪家(3)
佳冬 (含水層 3)	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	2.31E-06	2.08E-06	1.42E-06
	里港(2)						
佳冬 (含水層 3)	1.11E-06						

	里港(1)	土庫(1)	新南(1)	中洲(1)	吉洋(1)	鹽埔(1)	高樹(1)
里港 (含水層 1)	0.00388	0.0023	0.00042	0.0003	0.00017	0.00006	0.00005
	海豐(1)	關福(1)	美濃(1)	清溪(1)	旗山(1)	溪埔(1)	瑪家(1)
里港 (含水層 1)	0.00003	8.79E-06	8.12E-06	7.49E-06	5.86E-06	5.52E-06	1.76E-06
	大樹(1)						
里港 (含水層 1)	1.08E-06						

	九如(1)	新南(1)	中洲(1)	彭厝(1)	吉洋(1)	大樹(2)	旗山(2)
里港 (含水層 3)	0.00127	0.00094	0.00065	0.00035	0.00027	0.00027	0.00022
	九曲(1)	高樹(2)	中正(2)	海豐(2)	清溪(2)	泰山(1)	美濃(2)
里港 (含水層 3)	0.00018	0.00008	0.00007	0.00006	0.00005	0.00004	0.00003
	萬丹(2)	西勢(2)	大湖(2)	瑪家(2)	建興(1)	新庄(2)	內埔(1)
里港 (含水層 3)	0.00001	7.25E-06	2.97E-06	2.91E-06	2.54E-06	2.47E-06	1.88E-06

	里港(2)	九如(2)	吉洋(2)	大樹(3)	中洲(2)	彭厝(2)	九曲(2)
里港 (含水層 3)	0.02265	0.00704 6	0.00567 87	0.00200 65	0.00150 02	0.00141 46	0.00087 292
	海豐(3)	清溪(3)	鹽埔(2)	萬丹(3)	泰山(2)	永芳(2)	潮寮(2)
里港 (含水層 3)	0.00051	0.00039	0.00026	0.0002	0.00008	0.00008	0.00007
	西勢(4)	新庄(3)	大湖(3)	關福(2)	昭明(2)	新園(2)	建興(2)
里港 (含水層 3)	0.00006	0.00005	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
	港東(2)	潮洲(2)	萬巒(2)	老埤(2)	瑪家(3)	赤山(3)	東港(3)
里港 (含水層 3)	0.00002	0.00001	0.00001	8.76E-06	6.93E-06	6.49E-06	5.44E-06
	林園(2)	大潭(2)	新埤(2)	萬隆(2)			
里港 (含水層 3)	5.43E-06	3.96E-06	3.33E-06	1.62E-06			

	西勢(1)	大湖(1)	新庄(1)	潮洲(1)	老埤(1)	清溪(1)	萬丹(1)
竹田 (含水層 1)	0.00640 24	0.00265 09	0.00013 994	0.00000 5318	4.6912E- 06	2.7061E- 06	1.6449E- 06

	大湖(2)	西勢(2)	新庄(2)	內埔(1)	萬丹(2)	萬巒(1)	赤山(2)
竹田 (含水層 3)	0.0694	0.02188	0.01524	0.01158	0.00438	0.00239	0.00133
	建興(1)	東港(2)	大潭(1)	清溪(2)	九曲(1)	餉潭(2)	大樹(2)
竹田 (含水層 3)	0.00099	0.00077	0.0006	0.00054	0.00017	0.00015	0.00015

	中正(2)	崎峰(2)	海豐(2)	九如(1)	瑪家(2)	彭厝(1)	枋寮(2)
竹田 (含水層 3)	0.00010	0.0001	0.00006	0.00002	0.00002	8.52E-06	2.94E-06
	大嚮(2)						
竹田 (含水層 3)	1.14E-06						

	大湖(3)	西勢(4)	新庄(3)	潮洲(2)	萬巒(2)	萬丹(3)	新園(2)
竹田 (含水層 3)	0.02589	0.01747	0.01177	0.01061	0.00873	0.0055	0.00443
	港東(2)	潮寮(2)	赤山(3)	老埤(2)	昭明(2)	新埤(2)	大潭(2)
竹田 (含水層 3)	0.00438	0.00426	0.00416	0.00327	0.00237	0.00199	0.00165
	建興(2)	東港(3)	萬隆(2)	九曲(2)	清溪(3)	林園(2)	大樹(3)
竹田 (含水層 3)	0.00132	0.00129	0.00117	0.00114	0.00107	0.00080	0.00067
	永芳(2)	崎峰(3)	大庄(2)	海豐(3)	九如(2)	瑪家(3)	德興(2)
竹田 (含水層 3)	0.00035	0.00029	0.00017	0.00008	0.00005	0.00004	0.00003
	里港(2)	彭厝(2)	鹽埔(2)				
竹田 (含水層 3)	0.00003	0.00001	2.46E-06				

	老埤(1)	瑪家(1)	西勢(1)	鹽埔(1)	赤山(1)	清溪(1)	大湖(1)
內埔 (含水層 1)	0.00302	0.00123	0.00006	0.00001	0.00001	8.68E-06	7.61E-06
	海豐(1)	關福(1)	萬丹(1)	萬隆(1)			
內埔 (含水層 1)	7.33E-06	6.24E-06	2.09E-06	1.97E-06			

	內埔(1)	西勢(2)	建興(1)	大湖(2)	萬巒(1)	赤山(2)	瑪家(2)
內埔 (含水層 3)	0.06801	0.01019	0.00703	0.00463	0.00272	0.00269	0.00167
	萬丹(2)	新庄(2)	清溪(2)	大潭(1)	東港(2)	餉潭(2)	九曲(1)
內埔 (含水層 3)	0.0012	0.00109	0.00031	0.00012	0.00011	0.00009	0.00009

	大樹(2)	海豐(2)	中正(2)	彭厝(1)	崎峰(2)	九如(1)	新南(1)
內埔 (含水層 3)	0.00009	0.00007	0.00005	0.00003	0.00002	0.00002	2.64E-06
	泰山(1)	枋寮(2)					
內埔 (含水層 3)	1.41E-06	1.33E-06					

	老埤(2)	西勢(4)	建興(2)	萬巒(2)	大湖(3)	赤山(3)	潮州(2)
內埔 (含水層 3)	0.01464	0.01028	0.00823	0.00806	0.00791	0.00642	0.00374
	新庄(3)	瑪家(3)	萬丹(3)	潮寮(2)	港東(2)	新園(2)	新埤(2)
內埔 (含水層 3)	0.00299	0.00212	0.00211	0.00124	0.00123	0.00119	0.00076
	昭明(2)	清溪(3)	萬隆(2)	大潭(2)	九曲(2)	東港(3)	大樹(3)
內埔 (含水層 3)	0.00067	0.00057	0.00056	0.00056	0.00052	0.00039	0.00033
	林園(2)	永芳(2)	崎峰(3)	海豐(3)	大庄(2)	九如(2)	鹽埔(2)
內埔 (含水層 3)	0.00022	0.00012	0.00010	0.00009	0.00006	0.00004	0.00004
	彭厝(2)	里港(2)	德興(2)	關福(2)	泰山(2)		
內埔 (含水層 3)	0.00003	0.00002	0.00001	0.00001	1.91E-06		

	大樹(2)	九曲(1)	中正(2)	清溪(2)	九如(1)	萬丹(2)	海豐(2)
仁武 (含水層 3)	0.00233 87	0.00145 39	0.00123 54	0.000261 1	0.00018 151	0.00004 3385	0.00002 3034

	大樹(3)	九曲(2)	清溪(3)	萬丹(3)	九如(2)	永芳(2)	里港(2)
仁武 (含水層 3)	0.00254	0.0023	0.00061	0.00041	0.00026	0.00018	0.00017
	潮寮(2)	新庄(3)	西勢(4)	昭明(2)	大湖(3)	新園(2)	海豐(3)
仁武 (含水層 3)	0.00015	0.00009	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00004
	港東(2)	彭厝(2)	潮州(2)	萬巒(2)	林園(2)	東港(3)	老埤(2)
仁武 (含水層 3)	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002	0.00001	0.00001	9.07E-06

	赤山(3)	建興(2)	大潭(2)	新埤(2)	吉洋(2)	中洲(2)	萬隆(2)
仁武 (含水層 3)	8.91E-06	7.96E-06	7.75E-06	6.07E-06	5.85E-06	4.15E-06	2.74E-06
	崎峰(3)	鹽埔(2)					
仁武 (含水層 3)	1.33E-06	1.28E-06					

	林園(1)
小港 (含水層 1)	0.00001

	東港(2)	大潭(1)	新庄(2)	大湖(2)	崎峰(2)
小港 (含水層 3)	0.00004	8.59E-06	8.32E-06	2.49E-06	1.10E-06

	林園(2)	昭明(2)	新園(2)	潮寮(2)	港東(2)	東港(3)	新庄(3)
小港 (含水層 3)	0.00191	0.00052	0.00013	0.00006	0.00006	0.00005	0.00003
	大潭(2)	大湖(3)	萬丹(3)	潮洲(2)	新埤(2)	西勢(4)	萬巒(2)
小港 (含水層 3)	0.00002	9.62E-06	9.33E-06	7.89E-06	6.46E-06	3.79E-06	2.99E-06
	永芳(2)	崎峰(3)	九曲(2)	清溪(3)	大樹(3)	赤山(3)	萬隆(2)
小港 (含水層 3)	2.97E-06	2.82E-06	2.51E-06	1.53E-06	1.35E-06	1.33E-06	1.15E-06

	大樹(1)	溪埔(1)	清溪(1)	里港(1)	海豐(1)	中正(1)	永芳(1)
大樹 (含水層 1)	0.00401	0.00377	0.00003	0.00001	0.00001	2.10E-06	1.81E-06
	土庫(1)	萬丹(1)					
大樹 (含水層 1)	1.50E-06	1.25E-06					

	大樹(2)	九曲(1)	中正(2)	清溪(2)	九如(1)	萬丹(2)	海豐(2)
大樹 (含水層 3)	0.04785	0.04138	0.02218	0.00625	0.0055	0.00101	0.00052
	西勢(2)	彭厝(1)	大湖(2)	新庄(2)	內埔(1)	建興(1)	新南(1)
大樹 (含水層 3)	0.00037	0.00029	0.00017	0.00016	0.00009	0.00006	0.00003
	中洲(1)	東港(2)	大潭(1)	萬巒(1)	旗山(2)	赤山(2)	餉潭(2)
大樹 (含水層 3)	0.00003	0.00002	0.00001	0.00001	8.42E-06	6.91E-06	4.02E-06
	吉洋(1)	崎峰(2)	瑪家(2)	高樹(2)	泰山(1)		
大樹 (含水層 3)	3.19E-06	1.99E-06	1.82E-06	1.19E-06	1.18E-06		

	大樹(3)	九曲(2)	清溪(3)	九如(2)	里港(2)	萬丹(3)	永芳(2)
大樹 (含水層 3)	0.05444	0.04142	0.0116	0.01073	0.00771	0.00739	0.00279
	潮寮(2)	新庄(3)	西勢(4)	海豐(3)	彭厝(2)	昭明(2)	大湖(3)
大樹 (含水層 3)	0.00265	0.00167	0.00135	0.00125	0.00113	0.00111	0.00107
	新園(2)	港東(2)	潮洲(2)	萬巒(2)	吉洋(2)	林園(2)	東港(3)
大樹 (含水層 3)	0.00103	0.00058	0.00045	0.00032	0.00026	0.00021	0.00021
	中洲(2)	老埤(2)	赤山(3)	建興(2)	大潭(2)	新埤(2)	鹽埔(2)
大樹 (含水層 3)	0.00019	0.00017	0.00017	0.00016	0.00014	0.00011	0.00005
	萬隆(2)	崎峰(3)	大庄(2)	泰山(2)	瑪家(3)	關福(2)	德興(2)
大樹 (含水層 3)	0.00005	0.00002	0.00001	6.99E-06	6.10E-06	4.31E-06	1.9E-06

	昭明(1)	永芳(1)	潮寮(1)	中正(1)	清溪(1)	萬丹(1)	新園(1)
大寮 (含水層 1)	0.00786	0.00447	0.00180	0.00133	0.00006	0.00004	0.00001
	新庄(1)	海豐(1)	大樹(1)	西勢(1)	溪埔(1)	港東(1)	林園(1)
大寮 (含水層 1)	1.08E-05	5.02E-06	1.74E-06	1.44E-06	1.29E-06	1.16E-06	

	中正(2)	九曲(1)	大樹(2)	萬丹(2)	清溪(2)	新庄(2)	東港(2)
大寮 (含水層 3)	0.04278	0.01032	0.00317	0.00166	0.00108	0.00095	0.0007
	大湖(2)	西勢(2)	大潭(1)	九如(1)	內埔(1)	海豐(2)	崎峰(2)
大寮 (含水層 3)	0.00031	0.00022	0.0002	0.00016	0.00006	0.00004	0.00003
	建興(1)	萬巒(1)	彭厝(1)	赤山(2)	餉潭(2)	新南(1)	中洲(1)
大寮 (含水層 3)	2.13E-05	1.39E-05	1.34E-05	8.35E-06	8.04E-06	1.44E-06	1.21E-06

	永芳(2)	昭明(2)	潮寮(2)	新園(2)	九曲(2)	新庄(3)	萬丹(3)
大寮 (含水層 3)	0.267	0.09969	0.06754	0.02249	0.02117	0.01759	0.01628
	大樹(3)	港東(2)	林園(2)	清溪(3)	大湖(3)	東港(3)	西勢(4)
大寮 (含水層 3)	0.01108	0.01038	0.00823	0.00735	0.00549	0.00432	0.00329
	潮洲(2)	大潭(2)	萬巒(2)	新埤(2)	赤山(3)	九如(2)	老埤(2)
大寮 (含水層 3)	0.00253	0.00219	0.00153	0.00118	0.00071	0.00054	0.00052
	崎峰(3)	萬隆(2)	里港(2)	建興(2)	海豐(3)	大庄(2)	彭厝(2)
大寮 (含水層 3)	0.00037	0.00035	0.00032	0.00027	0.00022	0.00012	0.00006
	德興(2)	吉洋(2)	瑪家(3)	中洲(2)	鹽埔(2)		
大寮 (含水層 3)	0.00002	0.00001	7.54E-06	7.25E-06	3.29E-06		

	溪埔(1)
大社 (含水層 1)	2.4216E-06

	大樹(2)	九曲(1)	中正(2)	九如(1)	清溪(2)	海豐(2)	萬丹(2)
大社 (含水層 3)	0.00068	0.00031	0.00019	0.00015	0.00008	0.00001	0.00001
	彭厝(1)	西勢(2)	大湖(2)	新庄(2)	內埔(1)	新南(1)	中洲(1)
大社 (含水層 3)	9.36E-06	5.36E-06	2.39E-06	2.15E-06	1.29E-06	1.17E-06	1.15E-06

	九如(2)	大樹(3)	里港(2)	九曲(2)	清溪(3)	彭厝(2)	萬丹(3)
大社 (含水層 3)	0.00041	0.00041	0.00033	0.00020	0.00007	0.00004	0.00004
	海豐(3)	永芳(2)	潮寮(2)	吉洋(2)	新庄(3)	中洲(2)	西勢(4)
大社 (含水層 3)	0.00004	0.00001	0.00001	1.16E-05	9.02E-06	8.91E-06	8.78E-06
	大湖(3)	昭明(2)	新園(2)	港東(2)	潮洲(2)	鹽埔(2)	萬巒(2)
大社 (含水層 3)	6.21E-06	5.83E-06	5.47E-06	3.10E-06	2.59E-06	2.15E-06	1.95E-06
	建興(2)	老埤(2)	林園(2)	東港(3)	赤山(3)		
大社 (含水層 3)	1.59E-06	1.20E-06	1.11E-06	1.10E-06	1.04E-06		

	關福(1)	高樹(1)	瑪家(1)	鹽埔(1)	新南(1)
三地 (含水層 1)	0.00017	0.0001	0.00002	5.63E-06	3.58E-06

	泰山(1)	高樹(2)	瑪家(2)	新南(1)	彭厝(1)
三地 (含水層 3)	0.00045	0.00016	0.00002	7.56E-06	1.55E-06

	泰山(2)	關福(2)	瑪家(3)	鹽埔(2)	吉洋(2)	彭厝(2)	里港(2)
三地 (含水層 3)	0.0007	0.00035	0.00003	0.00001	4.79E-06	1.85E-06	1.01E-06

	餉潭(1)	海豐(1)	溪埔(1)	里港(1)	大樹(1)	清溪(1)	土庫(1)
九如 (含水層 1)	0.2392	0.00029	0.00023	0.00015	0.00006	0.00004	0.00001
	新南(1)	鹽埔(1)	中洲(1)	萬丹(1)	瑪家(1)		
九如 (含水層 1)	8.27E-06	7.97E-06	3.49E-06	1.70E-06	1.52E-06		

	九如(1)	大樹(2)	九曲(1)	彭厝(1)	中正(2)	清溪(2)	海豐(2)
九如 (含水層 3)	0.01588	0.00507	0.00206	0.00118	0.001	0.00084	0.00065

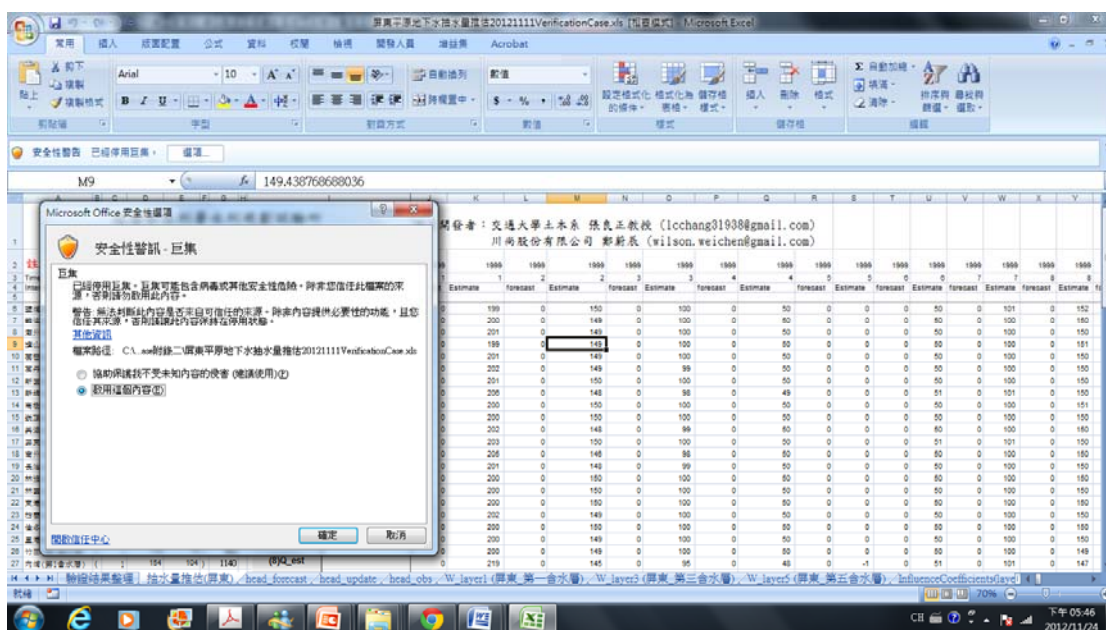
	西勢(2)	新南(1)	大湖(2)	建興(1)	新庄(2)	萬丹(2)	內埔(1)
九如 (含水層 3)	0.00014	0.00005	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002
	中洲(1)	旗山(2)	瑪家(2)	吉洋(1)	東港(2)	萬巒(1)	泰山(1)
九如 (含水層 3)	0.00002	6.40E-06	4.01E-06	3.17E-06	2.85E-06	2.26E-06	2.09E-06
	大潭(1)	赤山(2)	高樹(2)				
九如 (含水層 3)	2.05E-06	1.65E-06	1.51E-06				

	九如(2)	里港(2)	大樹(3)	彭厝(2)	九曲(2)	海豐(3)	清溪(3)
九如 (含水層 3)	0.01198	0.00665	0.00499	0.00217	0.00208	0.00136	0.00117
	萬丹(3)	吉洋(2)	永芳(2)	潮寮(2)	西勢(4)	中洲(2)	新庄(3)
九如 (含水層 3)	0.00051	0.00021	0.00017	0.00017	0.00015	0.00012	0.00012
	大湖(3)	鹽埔(2)	昭明(2)	新園(2)	建興(2)	港東(2)	潮洲(2)
九如 (含水層 3)	0.00009	0.00009	0.00007	0.00007	0.00005	0.00004	0.00004
	萬巒(2)	老埤(2)	赤山(3)	東港(3)	林園(2)	大潭(2)	新埤(2)
九如 (含水層 3)	0.00003	0.00002	0.00002	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
	泰山(2)	瑪家(3)	關福(2)	萬隆(2)	崎峰(3)		
九如 (含水層 3)	7.57E-06	7.01E-06	6.00E-06	4.31E-06	1.78E-06		

附錄三 屏東地區地下水抽水量推估模式軟體使 用手冊

步驟一：將東地區地下水抽水推估模式軟體的完整的資料夾複製在硬碟 C 槽之中。

步驟二：以 Microsoft Excel 軟體開啟屏東地區地下水抽水推估模式。以滑鼠按「安全性警告」→選擇「啟用這個用容」→以滑鼠按「確定」。



步驟三：若是第一次始用，請確認資料夾中「pingtong.bas」中的起始條件(起始水位)設定無誤，例如要推估民國 100 年 1 月之抽水量，「pingtong.bas」中起始水位需採用民國 99 年 12 月之水位作為起始水位。「pingtong.bas」的格式如下：網路版：

<http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/Guide/index.html>

PDF 版：

<http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/ofr00-92.pdf>

步驟四：至「head_obs」工作表，輸入觀測水位，目前依模擬模式的設定，建議輸入月平均水位，執行程式後得到水抽水量推估值為月總量。

	新園(1)	1	209	48			-1.07	-1.71	-2.18	-2
	新埤(1)	1	233	88			8.21	7.12	6.32	6
	大響(1)	1	251	117			12.12	9.97	8.61	7
	枋寮(1)	1	260	106			7.55	5.64	4.28	3
	瑪家(1)	1	130	112			44.14	42.07	40.72	40
	海豐(1)	1	132	70			26.82	25.18	24.05	23
	鹽埔(1)	1	108	99			45.73	44.20	43.02	42
	高樹(1)	1	75	109			59.76	56.70	54.49	53
	溪埔(1)	1	121	44			19.88	19.20	18.70	18

步驟五：選「抽水量推估(屏東)」工作表，設定合適之時間。

The screenshot shows the 'head_obs' worksheet in Microsoft Excel. The data table includes the following columns: Year, Location, and various numerical values. The 'forecast' and 'Estimate' columns are highlighted in the detailed view below.

Year	Location	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5
1999	新園(1)	209	48	-1.07	-1.71	-2.18
1999	新埤(1)	233	88	8.21	7.12	6.32
1999	大響(1)	251	117	12.12	9.97	8.61
1999	枋寮(1)	260	106	7.55	5.64	4.28
1999	瑪家(1)	130	112	44.14	42.07	40.72
1999	海豐(1)	132	70	26.82	25.18	24.05
1999	鹽埔(1)	108	99	45.73	44.20	43.02
1999	高樹(1)	75	109	59.76	56.70	54.49
1999	溪埔(1)	121	44	19.88	19.20	18.70

Year	Location	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5
1999	新園(1)	209	48	-1.07	-1.71	-2.18
1999	新埤(1)	233	88	8.21	7.12	6.32
1999	大響(1)	251	117	12.12	9.97	8.61
1999	枋寮(1)	260	106	7.55	5.64	4.28
1999	瑪家(1)	130	112	44.14	42.07	40.72
1999	海豐(1)	132	70	26.82	25.18	24.05
1999	鹽埔(1)	108	99	45.73	44.20	43.02
1999	高樹(1)	75	109	59.76	56.70	54.49
1999	溪埔(1)	121	44	19.88	19.20	18.70

步驟六：設定合適之時間，在合適之年、月及"forecst"之下以「X」的符號設定合適之時間。

步驟七：假設抽水量為零，在打「X」的"forecast"欄之下，輸入數字"0"。



	1999	Estimate
試驗所 下水利用之研究		程式開發者
出水量 (m ³ /day)	0	
guess	forecast	Estimate
	x	
	0	
1)Q_forecast	0	
	0	
	0	
5)Pumping Estimation layer 1	0	
	0	
	0	
5)Pumping Estimation layer 3	0	
	0	
	0	
7)Pumping Estimation layer 5	0	

步驟八：執行推估模式步驟開始，由(1)至(12)的按鈕編號依序執行。於「抽水量推估(屏東)」工作表中，按「(1)Q_forecast」按鈕。

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

經濟部水利署水利規劃試驗所							程
應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究							程
2	註：表格中文字為 每日每網格淨進出水量 (m ³ /day)						1
3	Time						0
4	Interested points		Location			initial guess	forec
5		(Layer	Row	Column)			x
6	鹽埔(第1含水層)	(	1	112	95)	955	
7	麟洛(第1含水層)	(	1	154	80)	230	
8	潮州(第1含水層)	(	1	204	93)	674	
9	旗山(第1含水層)	(	1	68	56)	739	
10	麟洛(第1含水層)	(	1	154	80)	230	

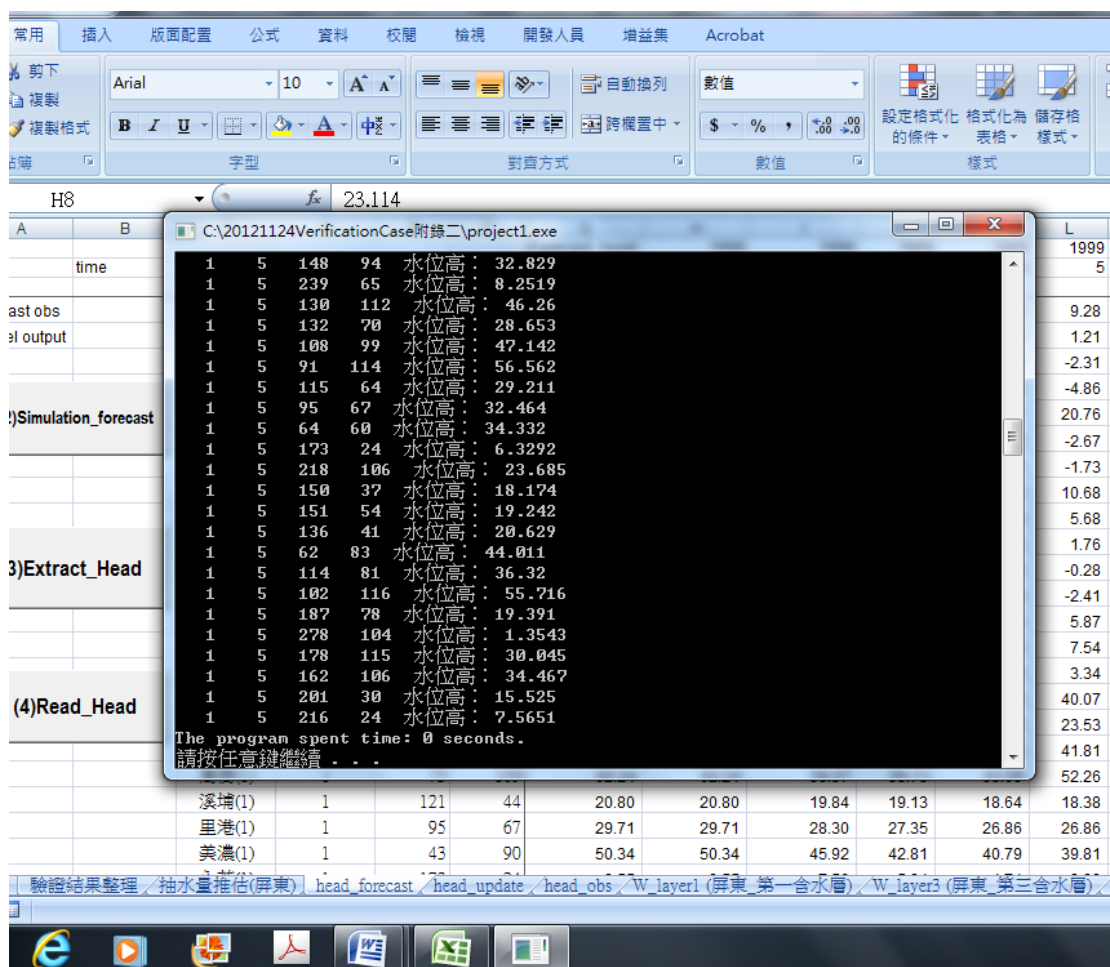
A button labeled "(1)Q_forecast" is positioned over the table data.

步驟九：於「head_forecast」工作表中，在合適之年、月及"forecst"之下以「X」的符號設定合適之時間後，按「(2)Simulation_forecast」按鈕。

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "屏東平原地下水抽水量推估20121111VerificationCase.xls". The active cell is H4, containing the value 10.607. The spreadsheet has columns A through J and rows 1 through 25. The data is organized as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1							Forecast_head	1999	1999	1
2	input	time					Model_output	1	2	
3				Layer	Row	Colume		x		
4	forecast obs		潮洲(1)	1	205	85	10.61	10.61	10.09	9
5	model output		坎頂(1)	1	213	72	5.26	5.26	3.66	2
6			東港(1)	1	233	49	-0.08	-0.08	-0.99	-1
7			大庄(1)	1	264	90	-1.82	-1.82	-3.29	-4
8	(2)Simulation_forecast		赤山(1)	1	178	115	23.11	23.11	21.99	21
9			港東(1)	1	216	60	0.84	0.84	-0.65	-1
10			崎峰(1)	1	254	65	-0.90	-0.90	-1.43	-1
11			西勢(1)	1	166	78	14.51	14.51	12.90	11
12			萬丹(1)	1	169	55	10.65	10.65	8.77	7
13	(3)Extract_Head		新庄(1)	1	192	59	5.26	5.26	3.88	2
14			潮寮(1)	1	191	37	3.37	3.37	2.00	0
15			新園(1)	1	209	48	-0.10	-0.10	-0.98	-1
16			新埤(1)	1	233	88	9.74	9.74	8.21	7
17			大響(1)	1	251	117	13.41	13.41	10.95	9
18	(4)Read_Head		枋寮(1)	1	260	106	9.41	9.41	7.03	5
19			瑪家(1)	1	130	112	46.37	46.37	43.72	41
20			海豐(1)	1	132	70	28.68	28.68	26.55	24
21			鹽埔(1)	1	108	99	47.38	47.38	45.44	43
22			高樹(1)	1	75	109	62.24	62.24	58.57	55
23			溪埔(1)	1	121	44	20.80	20.80	19.84	19
24			里港(1)	1	95	67	29.71	29.71	28.30	27
25			美濃(1)	1	43	90	50.34	50.34	45.92	42

步驟十：於「head_forecast」工作表中，按「(3)Extract_Head」按鈕，在螢幕會出現執行程式的視窗，若沒出現，可在螢幕底部以滑鼠按一下最右端之執行程式的視窗。程式執行完畢後，按任意鍵可將視窗關閉。



步驟十一：於「head_forecast」工作表中，按「(4) Read_Head」按鈕。

	A	B	C
1			
2	input	time	
3			
4	forecast obs		潮洲(1)
5	model output		崁頂(1)
6			東港(1)
7			大庄(1)
8	(2)Simulation_forecast		赤山(1)
9			港東(1)
10			崎峰(1)
11			西勢(1)
12			萬丹(1)
13			新庄(1)
14	(3)Extract_Head		潮寮(1)
15			新園(1)
16			新埤(1)
17			大響(1)
18			枋寮(1)
19	(4)Read_Head		瑪家(1)
20			海豐(1)
21			鹽埔(1)
22			高樹(1)
23			溪埔(1)

步驟十二：於「抽水水量推估(屏東)」工作表中，在合適之年、月及"Estimate"之下以「X」的符號設定合適之時間後，依序按「(5)Pumping Estimation Layer 1」、「(6) Pumping Estimation Layer 2」、「(7) Pumping Estimation Layer 3」按鈕，進行屏東地區各分層、分區之抽水水量(淨進出水量)推估，最後再按「(8)Q_est」。

經濟部水利署水利規劃試驗所 應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究				程式開發者：交通大學土木系 張良正教授 (lcchang31938@gmail.com) 川尚股份有限公司 鄭蔚辰 (wilson.weichen@gmail.com)										
註：表格中文字為 每日每網格淨進出水量 (m3/day)				1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
Time	Location	Layer	Column	initial guess	forecast	Estimate	forecast	Estimate	forecast	Estimate	forecast	Estimate	forecast	Estimate
6	鹽埕(第1含水層)	(1	112	96)	955	0								
7	麟洛(第1含水層)	(1	154	80)	290									
8	麟州(第1含水層)	(1	204	93)	674									
9	麟山(第1含水層)	(1	88	59)	799									
10	麟亭(第1含水層)	(1	182	109)	900									
11	麟仔(第1含水層)	(1	178	59)	924									
12	麟寮(第1含水層)	(1	213	47)	769									
13	麟埕(第1含水層)	(1	228	101)	865									
14	麟寮(第1含水層)	(1	80	109)	1405									
15	麟潭(第1含水層)	(1	213	67)	411									
16	麟潭(第1含水層)	(1	55	86)	1025									
17	麟寮(第1含水層)	(1	147	59)	1054									
18	麟寮(第1含水層)	(1	229	74)	311									
19	麟埕(第1含水層)	(1	134	92)	759									
20	麟埕(第1含水層)	(1	249	71)	318									
21	麟寮(第1含水層)	(1	218	23)	651									
22	麟埕(第1含水層)	(1	237	50)	567									
23	麟埕(第1含水層)	(1	265	107)	1022									
24	麟埕(第1含水層)	(1	254	87)	593									
25	麟埕(第1含水層)	(1	88	70)	1099									
26	麟田(第1含水層)	(1	178	79)	482									
27	麟埕(第1含水層)	(1	154	104)	1140									
28	麟埕(第1含水層)	(1	128	38)	1096									
29	麟寮(第1含水層)	(1	180	34)	981									
30	麟埕(第1含水層)	(1	117	62)	680									

步驟十三：於「head_update」工作表中，在合適之年、月之下以「X」的符號設定合適之時間後，依序按「(9)Simulation_update」，進行水位更新之計算，計算完之後，按「(10)Extract_Head」按鈕(在螢幕會出現執行程式的視窗，若沒出現，可在螢幕底部以滑鼠按一下最右端之執行程式的視窗。程式執行完畢後，按任意鍵可將視窗關閉);再按「(11)Read_Head」按鈕，最後按「(12)Output_To_initial_Head」按鈕，進行模式之起始水位更新，更新完成後，流程結束，下一時段(下一個月)則重覆進行一次按鈕(1)至(12)的步驟。


	A	B	C	D	E	F	G	H
1							Forecast_head	1999
2	input	time					Model_output	1
3				Layer	Row	Column	initial head	x
4	forecast obs		潮洲(1)	1	205	85		10.10
5	model output		崁頂(1)	1	213	72		3.60
6			東港(1)	1	233	49		-0.95
7			大庄(1)	1	264	90		-3.46
8	(9)Simulation_update		赤山(1)	1	178	115		21.53
9			港東(1)	1	216	60		-0.69
10			崎峰(1)	1	254	65		-1.79
11	(10)Extract_Head		西勢(1)	1	166	78		12.74
12			萬丹(1)	1	169	55		8.96
13			新庄(1)	1	192	59		4.05
14			潮寮(1)	1	191	37		2.09
15			新園(1)	1	209	48		-1.08
16	(11)Read_Head		新埤(1)	1	233	88		8.18
17			大藪(1)	1	251	117		12.11
18			枋寮(1)	1	260	106		7.54
19			瑪家(1)	1	130	112		44.12
20	(12)Optput_To_initial_Head		海豐(1)	1	132	70		26.81
21			鹽埔(1)	1	108	99		45.73
22			高樹(1)	1	75	109		59.75
23			溪埔(1)	1	121	44		19.87
24			里港(1)	1	95	67		27.62
25			美濃(1)	1	43	90		46.44

附錄四 教育訓練簡報資料

應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究

教育訓練


主講人：鄭蔚辰 博士
中華民國101年11月9日



教育訓練內容

- 10:00-11:00 資料同化技術
- 11:00-11:10 中場休息
- 11:10-12:10 地下水井抽水推估模式
- 12:10-13:30 午餐時間
- 13:30-15:00 屏東地區地下水模擬模式
- 15:00-15:20 中場休息
- 15:20-16:50 屏東地區地下水抽水推估

10:00-11:00 資料同化技術



資料同化技術

- 資料同化的技術主要是由氣象科學領域發展出來
 - 最佳化(optimization)的概念
 - 將散佈於研究區域內不同空間、不同時間的觀測數據，以數學方法結合
 - 並納入數值模擬、分析及預報系統，以建立數值模式與觀測數據相互協調、誤差最小的最佳分析及預測結果
- 完整的資料同化分析需包括三個部分
 - 觀測數據
 - 數值模式
 - 資料同化技術

資料同化技術

- 資料同化的技術概念
 - 以數學上最佳化的角度
 - 利用可得的觀測數據
 - 對數值模式之狀態變數(state variables)進行更新(update)
- 資料同化技術
 - 納達法(Nudging, 亦稱鬆弛法、牛頓鬆弛法等)
 - 最佳線性無偏估計法(Best Linear Unbiased Estimate (BLUE))
 - 變分法(Variational methods)
 - 卡門濾波(Kalman Filter, KF)

資料同化技術

- 納達法(Nudging)
 - 將每一觀測值減去模式所得狀態變數之結果，可得到狀態變數之觀測增量(或觀測減量)
 - 透過分析，可得到研究範圍各處之分析增量(或分析減量)
 - 再將此分析增量(或分析減量)加回到模式中
 - 最終可得到數學上最佳"更新後"的狀態變數
 - 每一個分析增量(或分析減量)是通過其週圍影響區域內觀測增量(或觀測減量)加權之線性組合
 - 一般來說，其權重與觀測位置及計算格點之距離成反比

資料同化技術

- 最佳線性無偏差估計法(Best Linear Unbiased Estimate (BLUE))
 - 統計上為一均方差最小之線性差值方法
 - 透過一增益矩陣(或稱權重矩陣)將觀測資訊及模式所得之狀態變數轉換成最佳之推估值
- 變分法(Variational methods)
 - 變分法可利用所有的觀測資料(從模式模擬的起始時間點到現況時間點)
 - 同時更新模式模擬的起始時間點到現況時間點所有的狀態變數
 - 符合數學上觀測值與模式模擬結果之最小化
 - 可分為三維變分法(3DVAR)及四維變分法(4DVAR)

資料同化技術

- 卡門濾波(Kalman Filter, KF)
 - 1960年Kalman所提出之線性資料同化技術
 - 擴展卡門濾波(Extended Kalman Filter, EKF)、集合卡門濾波(Ensemble Kalman Filter, EnKF)、卡門平滑法(Kalman Smoother, KS)及集合卡門平滑法(Kalman Smoother, EnKS)
 - 以分析誤差的最小平方差當作目標函數,其基本假設為線性系統、噪音是白色的(white noise)及高斯分布,可求解觀測時刻之最佳分析值
 - EKF將弱的非線性系統,以泰勒級數(Taylor Series)展開,省略二階及二階以上之高階項,以進行線性化

資料同化技術

- 卡門濾波(Kalman Filter, KF)
 - EnKF採用大量已考量誤差分布統計特性之擬真可能案例(realization)的模擬,將所得的結果進行統計分析,用以克服高維度非線性系統的問題
 - 卡門平滑法(Kalman Smoother, KS)及集合卡門平滑法(Kalman Smoother, EnKS)則是同時採用不同時間點、不同空間分布之觀測資料,以進行同化分析,所得之結果平滑,沒有不連續的問題

資料同化技術

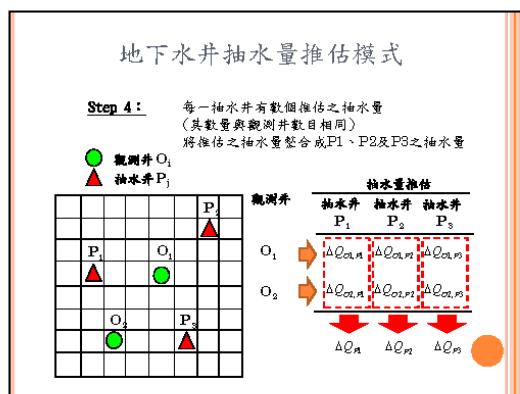
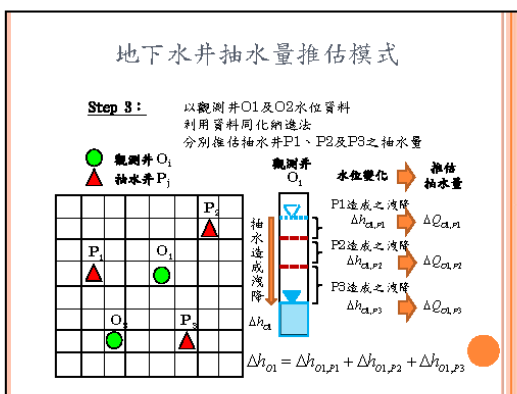
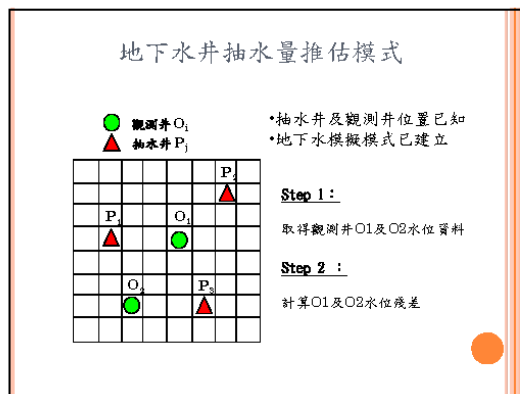
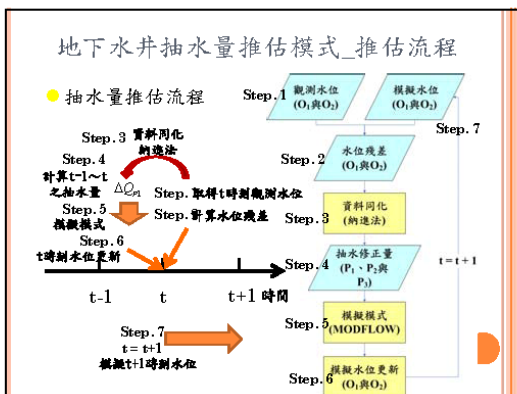
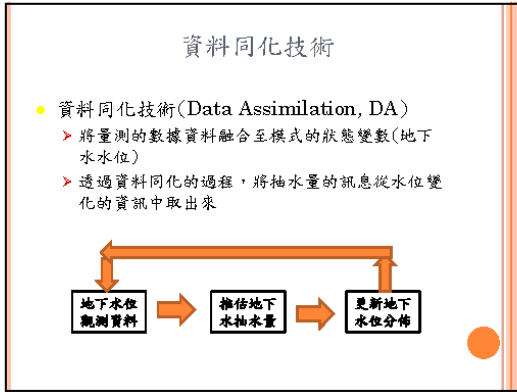
- 資料同化分類 - 統計理論
 - 統計理論:最佳線性無偏差估計法、卡門濾波、擴展卡門濾波、集合卡門濾波
 - 非統計理論:三維變分法、四維變分法等
- 資料同化分類 - 時間序列
 - 序列同化:僅考量分析時刻前的資料,如最佳線性無偏差估計法、三維變分法、集合卡門濾波
 - 非序列同化:到未來時刻的觀測資料,如四維變分法、卡門平滑法等

資料同化技術

- 資料同化納濾法(nudging)
 - 快速、易於實務應用
 - 適合觀測數據較零星且分散的情況
- 資料同化納濾法文獻回顧
 - 彙整及分析: Stauffer et al. (1991)及 Paniconi et al. (2003)
 - 應用於海洋模擬: Verron (1990)、Stiles et al. (2002)
 - 氣候及降雨: Pacione et al. (2001)、Miguez-Macho et al. (2004)
 - 土壤含水量: Houser et al. (1998)、Pauwels et al. (2001)、Paniconi et al. (2003)、及Hurkmans et al. (2006)

資料同化技術

- 區域水井地下水抽水量推估模式
 - 資料同化納濾法(nudging)
- 所需資料
 - 地下水模擬模式
 - 井的位置
 - 地下水水位(或水壓)觀測資料
- 效益
 - 利用地下水觀測站網資料推估地下水抽水量
 - 修正模擬模式之地下水水位預測
 - 節省調查區域地下水利用之人力及物力



地下水井抽水量推估模式

Step 5:
以 P1、P2 及 P3 之推估抽水量 ΔQ_{P1} ΔQ_{P2} ΔQ_{P3}
代入地下水模擬模式 (MODFLOW)

Step 6:
更新地下水水位分佈 (t 時刻)

Step 7:
模擬下一時刻水位 (t+1 時刻)

地下水井抽水量推估模式

關鍵:

- 各抽水井之影響比例
- 將水位變化轉換成抽水量

以 Cressman-type (distance-weighted) function 逼近似液降離的形狀

P1 造成之液降 $\Delta h_{O1,P1}$

P2 造成之液降 $\Delta h_{O1,P2}$

P3 造成之液降 $\Delta h_{O1,P3}$

透過影響係數 Influence coefficient $r_{O1,P1}$ 推估抽水量 $\Delta Q_{O1,P1}$

$r_{O1,P2}$ $\Delta Q_{O1,P2}$

$r_{O1,P3}$ $\Delta Q_{O1,P3}$

$$\Delta h_{O1} = \Delta h_{O1,P1} + \Delta h_{O1,P2} + \Delta h_{O1,P3}$$

地下水井抽水量推估模式

- 影響係數 (Influence Coefficient) $r_{O1,Pj}$
 - 抽水量與水位變化之關係
 - $r_{O1,P1} = \Delta h_{O1} / \Delta Q_{P1}$: P1 抽水一單位所造成 O1 之水位變化

抽水井 P1 造成液降 $\Delta h_{O1,P1}$

由 O1 之水位變化 Δh_{O1} 反推 P1 之抽水量 $\Delta Q_{O1,P1}$

抽水造成液降 Δh_{O1}

$\Delta Q_{O1,P1} = \frac{1}{r_{O1,P1}} \Delta h_{O1,P1}$

地下水井抽水量推估模式

- 區域水井地下水抽水量推估模式
 - 資料同化納進法

$$\frac{h_{k+1} - h_k}{\Delta t} = Lh_{k+1} + q_{k+1} + G(h^b - Ch_{k+1})$$

h : 地下水水位
 h^b : 地下水水位量測值

地下水模式: $G = gW^*RW^*$ (Nudging term: 地下水抽水量推估項)

增益矩陣 (Gain Matrix): $W^* = \{w_{ij}^*\}$

分配矩陣 (Distribution matrix): $R = \{r_{ij}\}$ $r_{ij} = \partial h_i / \partial q_j$

反應矩陣 (Influence matrix): $W = \{w_{ij}\}$

權重矩陣 (Weighting matrix): $W^* = \{w_{ij}^*\}$

h : 地下水水位 (公尺) i : 觀測井位 w : 係數
 q : 抽水水量 j : 置抽水井位 δ : 係數 (0~1)

地下水井抽水量推估模式

- 區域水井地下水抽水量推估模式 (Cressman-type (distance-weighted) function)

$$w_{i,j} = \frac{w_{i,j}(x_i, x_j, z_i, z_j, t)}{\sum_{j=1}^n w_{i,j}(x_i, x_j, z_i, z_j, t)}$$

$$w_{i,j}^* = \frac{w_{i,j}^*(x_i, x_j, z_i, z_j, t)}{\sum_{j=1}^n w_{i,j}^*(x_i, x_j, z_i, z_j, t)}$$

$$w_{ij} = w(x_i, x_j, t) = w_1(d_{ij}) w_2(z_i, z_j) w_3(t)$$

$$\begin{cases} w_1(d_{ij}) = (R_i^2 - d_{ij}^2) / (R_i^2 + d_{ij}^2), & d_{ij}^2 \leq R_i^2 \\ w_1(d_{ij}) = 0, & d_{ij}^2 > R_i^2 \end{cases}$$

$$d_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$$

$$\begin{cases} w_2(z_i, z_j) = 1, & z_i = z_j \\ w_2(z_i, z_j) = 0, & z_i \neq z_j \end{cases}$$

$$\begin{cases} w_3(t) = 1, & t \in [0, t_{max}] \\ w_3(t) = 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$$

(x, y) : 井的座標 R_i : 影響半徑 (Radius of influence) of

地下水井抽水量推估模式

- 影響範圍 (Radius of Influence) R_i
 - 抽水井的影響範圍
 - 觀測井收集抽水資訊的範圍

觀測井收集到之水位變化只用於推估位於其影響範圍內之地下水井抽水量。

地下水井抽水量推估模式

- 數值模擬實驗
 - 真值(觀測值)
 - 抽水量流量已知
 - 以 MODFLOW 產生水位分佈(地下水水位觀測值)
 - 實驗
 - 4個觀測井水位已知
 - 推估6個井的抽水量並降低地下水水位預測的誤差
- 分析課題
 - 多井推估(觀測井數量小於抽水井數量)
 - 各井不同抽水量
 - 隨時間變化之流量
 - 水位(水壓)觀測誤差

地下水井抽水量推估模式

- 假設情境地下水模式
 - 網格大小300 m × 300 m (東西30km，南北10km)
 - 4觀測井推估6抽水井

▲: 抽水井 ●: 觀測井 —: 斷層

地下水井抽水量推估模式

- 假設情境
 - Case A: 所有井以定量進行抽水
 - Case B: 不同的井有不同的抽水量
 - Case C: 所有井之抽水量相同，但抽水量會隨時間而改變
 - Case D: Case A加上觀測誤差
 - 兩個觀測誤差案例
 - 高斯分佈，觀測誤差平均值為零
 - 標準差分別為0.03m及0.3m
 - Prinos et al. (2004)的研究指出，地下水水位(或水壓)觀測的誤差很少會大於0.03m

地下水井抽水量推估模式

- 假設情境初步結果分析

均方根誤差 $RMSB(t_r) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{f_{j,r}^a - f_{j,r}'}{f_{j,r}'} \right)^2}$

平均誤差百分比 $\epsilon^{(f)}(t_r) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{f_{j,r}^a - f_{j,r}'}{f_{j,r}'} \right| \times 100$

式中 f 可為水頭、淺降或抽水量

地下水井抽水量推估模式

- 假設情境初步結果分析

均方根誤差

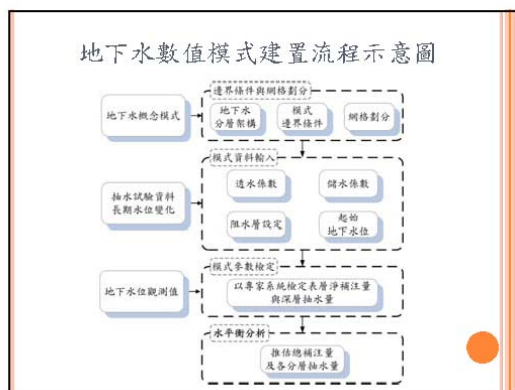
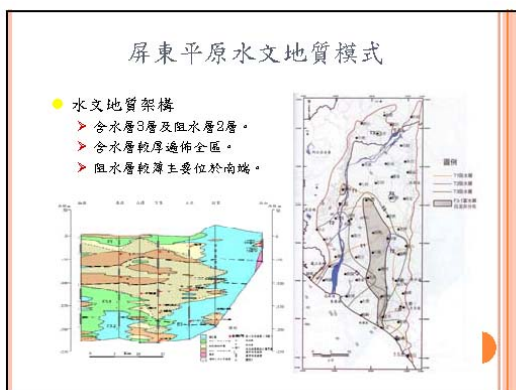
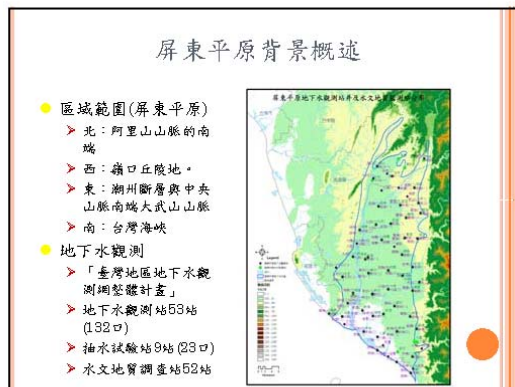
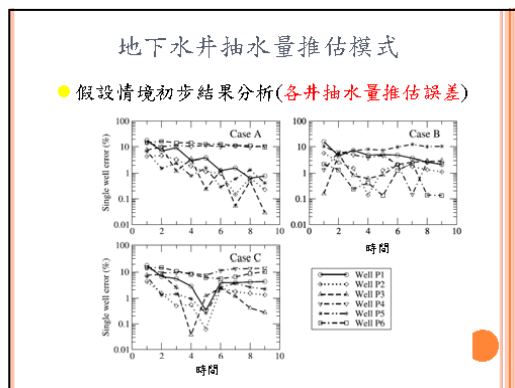
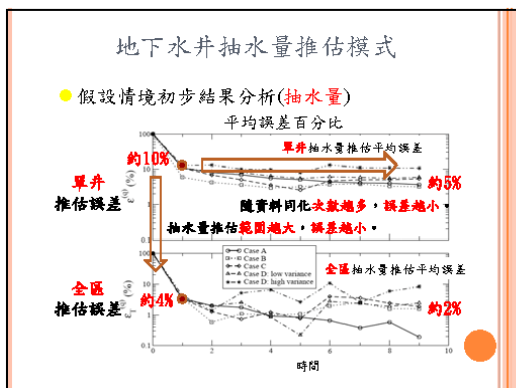
淺降及抽水量推估誤差，隨資料同化次數快速遞減。

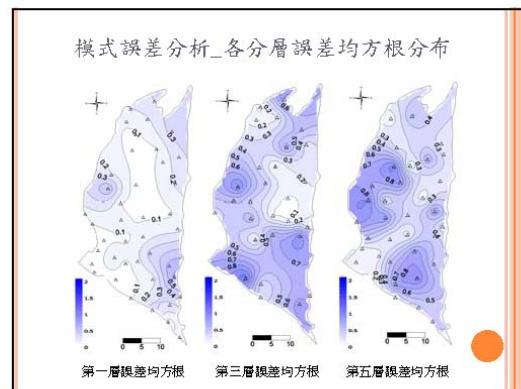
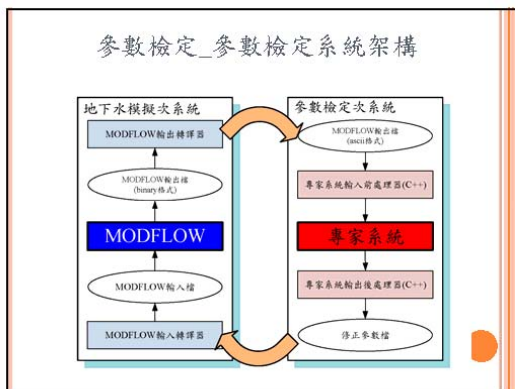
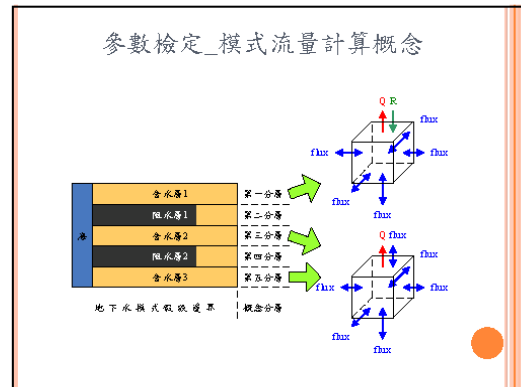
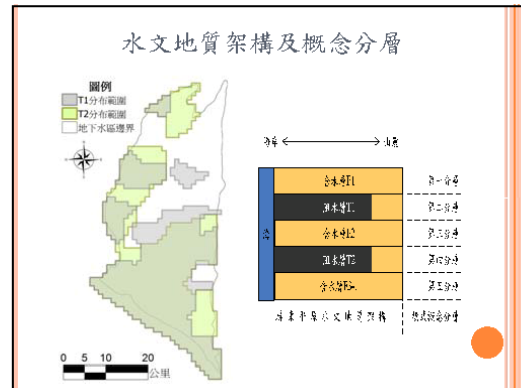
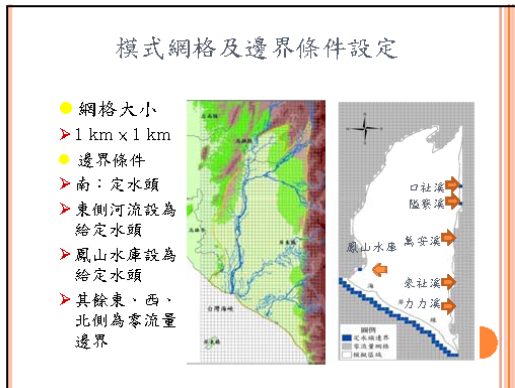
地下水井抽水量推估模式

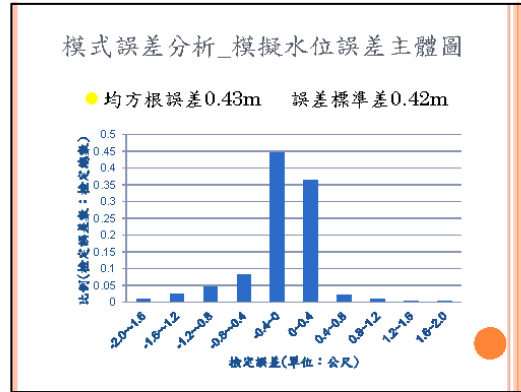
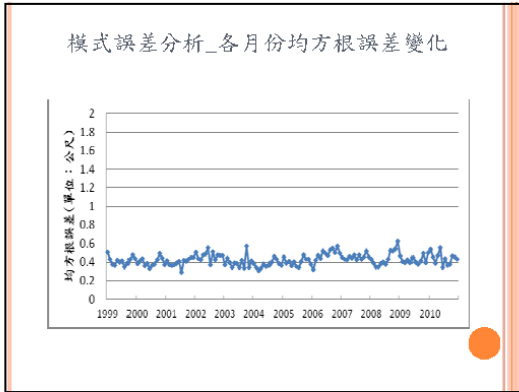
- 假設情境初步結果分析(淺降)

平均誤差百分比

進行一次資料同化之狀態變數更新，淺降之誤差百分比由接近100%，降至約4%。進行9次更新之後，淺降誤差百分比降至約0.08% ~ 4%。

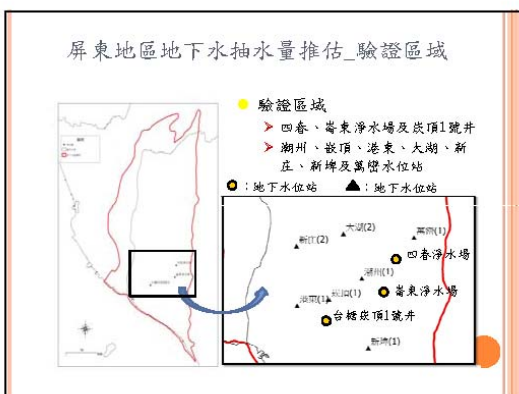






區域水平衡分析

年份	第一層(F1) 淨補注量	第三層(F2) 抽水量	第五層(F3) 抽水量	山邊 補注量	海岸 淨流入
1999	5.92	4.73	4.34	3.11	0.20
2000	5.37	4.45	4.25	3.12	0.24
2001	5.87	4.59	4.36	3.14	0.19
2002	2.97	4.62	4.18	3.02	0.27
2003	6.85	4.52	4.31	3.15	0.30
2004	5.20	4.32	4.23	3.11	0.31
2005	5.64	4.38	4.03	3.10	0.28
2006	4.49	4.65	4.01	3.16	0.31
2007	6.90	4.30	3.91	3.20	0.22
2008	4.96	4.29	4.11	3.14	0.14
2009	3.04	4.09	3.93	3.10	0.21
2010	5.23	3.83	3.74	3.16	0.15
平均	5.20	4.40	4.11	3.13	0.23



屏東地區地下水抽水量推估_驗證區域

- 示範區現地抽水量推估驗證
 - ▶ 示範區域中，自來水公司崙東淨水場已停用，四春淨水場仍在使用中
 - ▶ 抽取第一及第二含水層之地下水
 - ▶ 年平均之日抽水量約為290立方公尺/日

月份	1	2	3	4	5	6
總抽水 量	8367	9839	9694	9020	8627	7323
淨補注 抽水 量	2699	3513	3127	3006	2782	2441
淨 抽水 量	7	8	9	10	11	12
總抽水 量	8072	8244	8148	8554	8887	8812
淨補注 抽水 量	200.39	209.16	204.93	208.19	296.23	284.26


單位：立方公尺

屏東地區地下水抽水量推估_驗證區域

- 示範區現地抽水量推估驗證
 - ▶ 示範區域中，台糖炭頂1號井抽取第三含水層之地下水
 - ▶ 抽水量變化大，平均抽水量亦大於四春淨水場

月份	1	2	3	4	5	6
觀測水量	116430	88750.5	121874	152374	112489	38787.2
淨水場推估水量	3723.5	3205.4	3931.4	6099.1	3629.0	1292.9
觀測水量	7	8	9	10	11	12
淨水場推估水量	25133.5	40474	2181	18741.6	80251.2	0
觀測水量	810.8	1305.8	73.0	604.6	2875.0	0

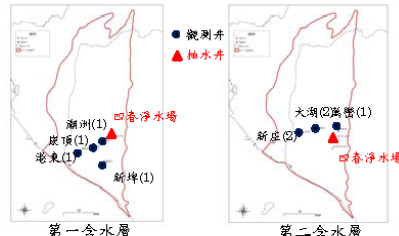
單位：立方公尺



台糖炭頂1號井

屏東地區地下水抽水量推估_驗證區域

- 示範區敏感度分析
 - ▶ 分析抽水井之抽水行為與觀測井之水位變化之關係




第一含水層

第二含水層

屏東地區地下水抽水量推估_驗證區域

- 示範區敏感度分析
 - ▶ 分析抽水井之抽水行為與觀測井之水位變化之關係



第三含水層

觀測井	潮洲(1)	炭頂(1)	港東(1)	新增(1)
四春淨水場(第一含水層)	1.67E-06	1.49E-09	3.08E-10	7.95E-10

觀測井	新庄(2)	大湖(2)	萬隆(1)
四春淨水場(第二含水層)	9.38E-07	5.38E-06	2.09E-05

觀測井	港東(2)	潮洲(2)	新庄(2)	大湖(2)	萬隆(2)	萬隆(2)
台糖炭頂1號井	1.10E-04	3.40E-05	2.26E-05	1.38E-05	1.10E-05	9.09E-06

屏東地區地下水抽水量推估_驗證區域

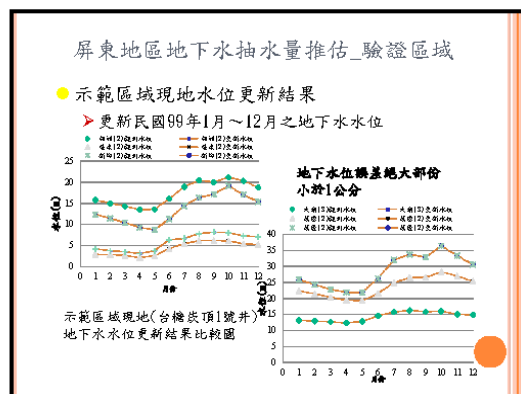
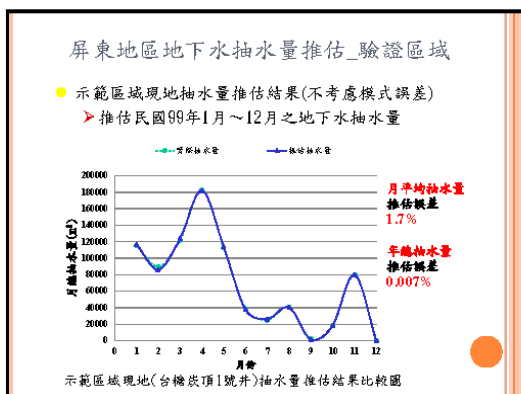
- 影響範圍分析
 - ▶ 以民國99年1月抽水量進行分析
 - ▶ 四春淨水場造成之水位洩降小於2.84mm，小於量測儀器誤差範圍
 - ▶ 台糖炭頂1號井可造成40cm(距離2公里)~2.5cm(距離12.4公里)之水位洩降
 - ▶ 以台糖炭頂1號井進行現地抽水量推估驗證

觀測井	潮洲(1)	炭頂(1)	港東(1)	新增(1)
四春淨水場(第一含水層)	2.25E-04	2.03E-07	4.16E-08	1.07E-07

觀測井	新庄(2)	大湖(2)	萬隆(1)
四春淨水場(第二含水層)	1.25E-04	7.36E-04	2.84E-03

觀測井	港東(2)	潮洲(2)	新庄(2)	大湖(2)	萬隆(2)	萬隆(2)
台糖炭頂1號井	0.408	0.127	0.084	0.050	0.041	0.030

單位：公尺



屏東地區地下水抽水量推估

屏東地區地下水抽水量推估

- 以屏東平原所有觀測井為基礎
- 井集合(well cluster)的概念
- 以鄉、鎮、市為分區，進行抽水量推估
- 屏東平原分區、分層進行地下水抽水量推估



屏東地區地下水抽水量推估_使用說明

- 以Excel建置：方便使用
- 12個步驟：按鈕(1)~(12)
- (1)：預測地下水抽水量，未知，假設"0"
- (2)：執行地下水模擬模式
- (3)：讀出地下水水位分佈
- (4)：將(3)的結果輸入Excel中
- (5)：第一含水層地下水抽水量推估
- (6)：第三含水層地下水抽水量推估
- (7)：第五含水層地下水抽水量推估

屏東地區地下水抽水量推估_使用說明

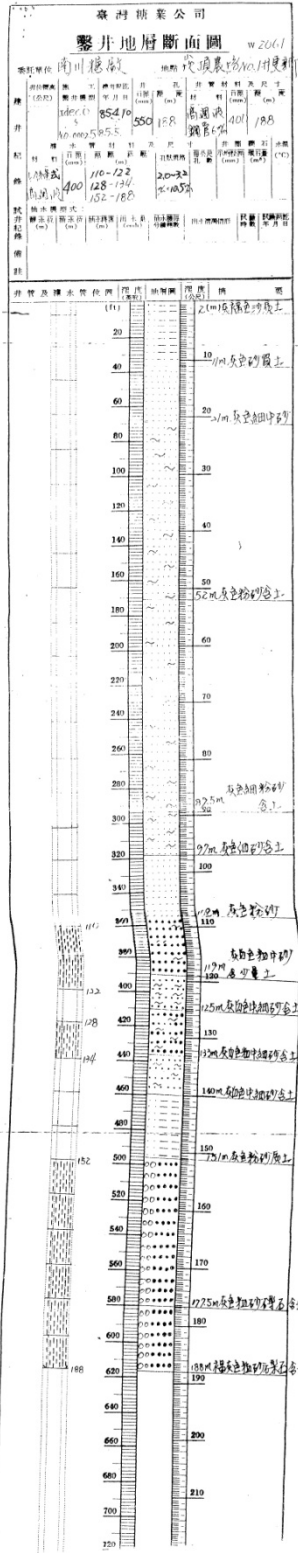
- (8)：讀入各含水層地下水抽水量推估值
- (9)：執行地下水模擬模式
- (10)：讀出地下水水位分佈
- (11)：將(10)的結果輸入Excel中
- (12)：進行水位更新，更新起始條件

簡報結束

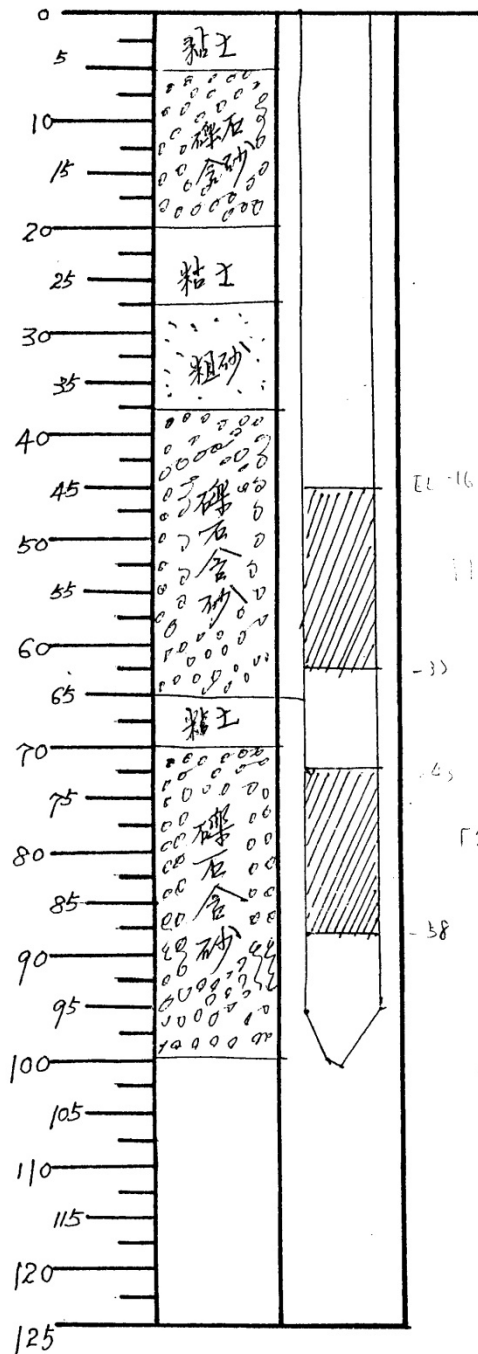
謝謝聆聽



附錄五 驗證區域之抽水井鑽井資料



附圖 5-1 台糖崁頂農場 1 號井鑽井圖



名稱	四春分所2号浮井
地點	潮州德四春里
井徑及深度	FRP φ450mm 井深 102m
出水量	Q = 4959 CMD
設置年份	75年8月份21日
備註	

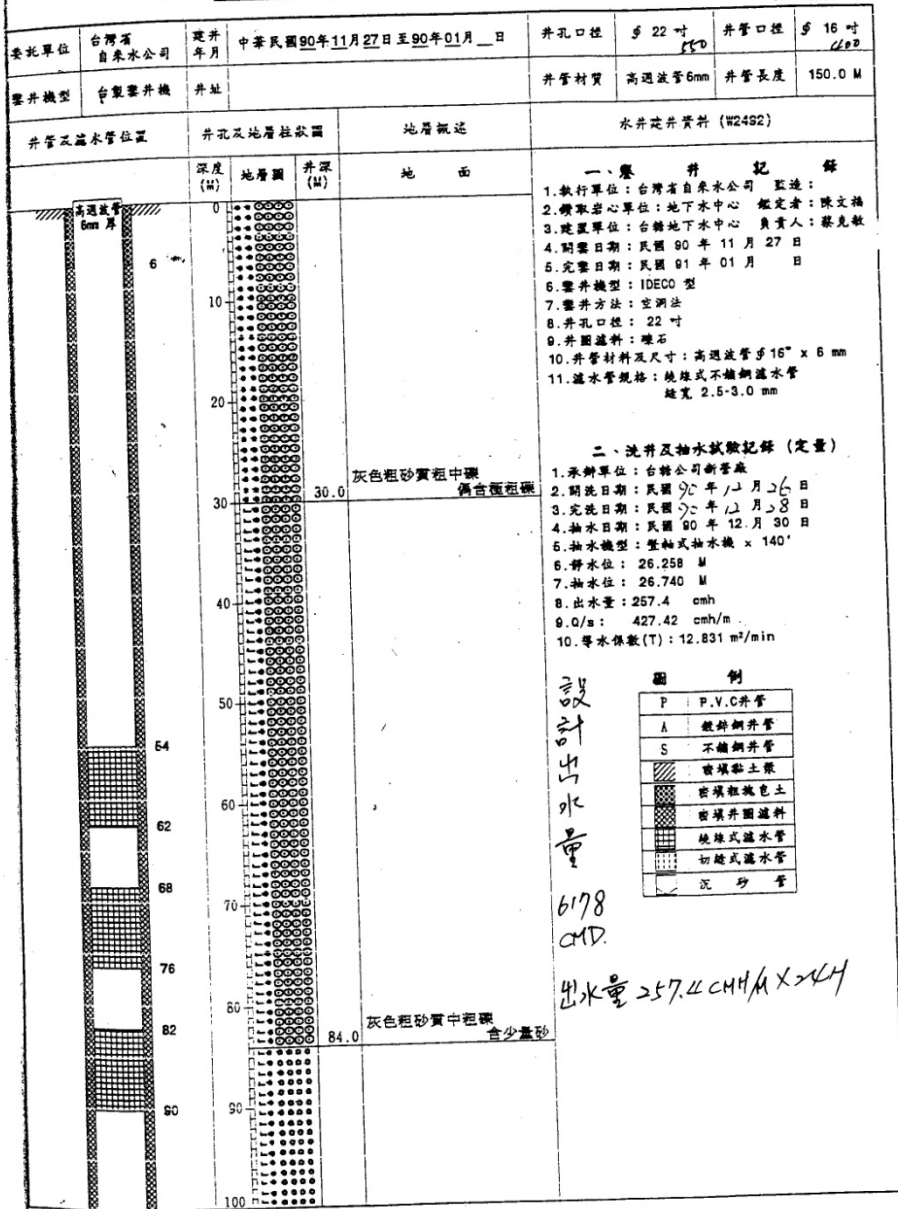
型式 MOTER	揚程H CMD	抽水管 規格-磅	備改
洗水式 7.5HPX 4T	45m 1000 CMD	100%φ 36m	

四春分所2号浮井 深井地層圖

附圖 5-2 自來水公司四春淨水場鑽井圖

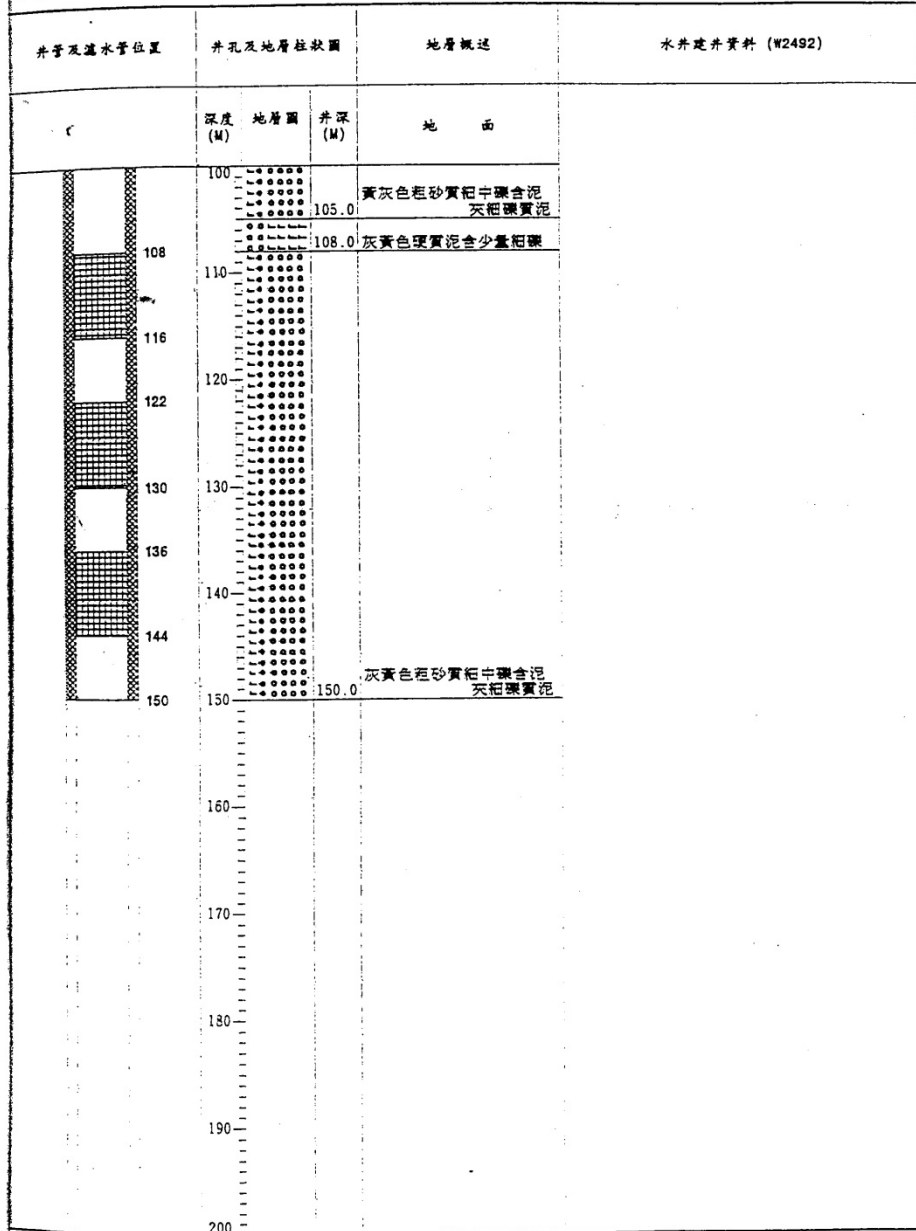
台灣省自來水公司 (潮新8號井)
圖-2 潮新淨水廠 南岸No.2井濾水管位置與地層柱狀圖

共 2 頁第 1 頁



附圖 5-4 自來水公司潮新淨水場鑽井圖(1/2)

接續圖-2



附圖 5-5 自來水公司潮新淨水場鑽井圖(2/2)

國家圖書館出版品預行編目資料 CIP

應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究/
國立交通大學編著. -- 初版. -- [臺中市]:
經濟部水利署水利規劃試驗所, 民 101.12
面; 公分
ISBN 978-986-03-5123-1 (平裝附光碟片)

1. 地下水 2. 水資源管理

443.86

101025211

應用資料同化方法推估區域地下水利用之研究

出版機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：臺中市霧峰區中正路 1340 號

電話：(04)23304788

傳真：(04)23300282

網址：<http://www.wrap.gov.tw/>

編著者：國立交通大學/張良正

出版年月：2012 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 500 元

展售門市：五南文化廣場

台中市中山路 6 號 (04) 22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 台北市松江路 209 號 1 樓 (02) 25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010103200

ISBN：978-986-03-5123-1

著作權利管理資訊：經濟部水利署水利規劃試驗所保有所有權利。欲利用
本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署水利規
劃試驗所同意或書面授權。

電子出版：本書附光碟片

聯絡資訊：經濟部水利署水利規劃試驗所

電話 (04) 23304788