



計畫編號：99-5926901000-03-01

臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估—
地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

Hydrogeology investigation and groundwater resource assessment for Taiwan :
Groundwater recharge estimation and model simulation (2/4)



委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：國立交通大學土木工程系

中華民國九十九年十二月

計畫編號：99-5926901000-03-01

臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估
地下水補注潛勢評估與地下水模式建置 (2/4)

Hydrogeology investigation and groundwater resource assessment for Taiwan :
Groundwater recharge estimation and model simulation (2/4)

期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：國立交通大學土木工程系

計畫主持人：張良正

中華民國九十九年十二月

摘要

本計畫依據「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估計畫」(98年至101年)實施進度之規劃，分別進行濁水溪沖積扇及屏東平原地下水區之地下水補注潛勢評估與地下水模式建置。本年度(99年)為四年計畫之第二年，已完成濁水溪沖積扇相關分析工作。本計畫98、99年度計畫之主要工作內容為：(1)地下水水位歷線法模式發展與比較；(2)濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估；(3)地下水補注潛勢評估標準作業程序訂定；(4)濁水溪沖積扇地下水數值模式(MODFLOW)建置與參數檢定；(5)現地補充調查試驗；(6)地下水補注潛勢評估作業平台建置。

本計畫先對濁水溪沖積扇地下水位資料，經檢視後選定1998年至2003年及2006年至2009年間之地下水位資料，以人工方式配合統計相關分析，進行全面性資料校正與補遺，確保後續分析結果之品質。經以兩種水位歷線法分析濁水溪沖積扇地下水位資料後，得十年之平均年補注量為7.43億噸、年抽水量約7.9億噸。本計畫以水文地質因子為基礎，先以地下水補注潛勢分析配合二維地電阻測量，訂定濁水溪沖積扇主要補注區，接著再綜合地下水補注潛勢與地下水資源潛能分析，決定重要保育區，並進一步以SuperGIS軟體為基礎，配合VBA開發工具完成地下水補注潛勢評估作業平台之開發。本計畫以專家系統為基礎，發展出一應用於MODFLOW數值模式之自動參數檢定系統，並將其成功應用於濁水溪沖積扇地下水數值模式之建置與檢定，檢定結果顯示模擬水位與觀測水位在時間與空間上的變化及趨勢皆相當一致。二維地電阻調查分析結果，濁水溪北岸並未發現明顯阻水層存在，濁水溪南岸主補注區邊界在斗六區應有向西外凸的情形。複井抽水試驗部分，本計畫於98、99兩年內共執行三站(荊桐、柑園和六合)之抽水試驗，試驗結果顯示荊桐之儲水係數值屬於受壓含水層範圍，其餘兩井之儲水係數值則接近比儲水率。水質分析中之導電度評估顯示，扇頂區的地下水水質至少有四成的井水超過灌溉用水標準(750 μ S/cm)，濁水溪沖積扇的扇頂鹽化較明顯，地下水中的硝酸鹽污染仍存在，2010年有兩口硝態氮大於10mg/l，應持續監測。

本年度為全程計畫之第二年，已完成主要補注區與重要保育區劃定方法之建立，並以其完成濁水溪沖積扇前述區域之劃定，此除了展示觀測站網之效益外，並可作為濁水溪沖積扇地下水資源永續經營管理之參考。

關鍵字：地下水水位歷線法、地下水模式、地下水補注潛勢、地電阻調查、抽水試驗

結論與建議

一、結論

(一)資料之檢視與補遺

本計畫全面檢視濁水溪沖積扇地下水觀測網，自 1997 年至 2009 年間之地下水位資料，發現資料中存在一定程度之誤差與缺漏，若直接應用將產生相當之誤導。檢視發現 1997、2004 及 2005 年資料缺漏情形較為嚴重，因此本計畫乃選定 1998 年至 2003 年及 2006 年至 2009 年間之地下水位資料進行校正與補遺，以為計畫相關分析之用。資料之缺漏補遺，本計畫乃以人工方式配合統計相關分析，逐站進行之。資料之誤差部分，存有一定程度之疑似儀器校正誤差，此種誤差，雖然可由資料明確顯示出，惟卻難以程式自動校正，而必須以人工方式逐站修正之。

(二)補注量及抽水量推估

本計畫分別使用原始型與修正型水位歷線法，對於濁水溪沖積扇內淺層觀測井 1998~2003 年與 2006~2009 年之地下水位資料，進行補注量與抽水量推估。就濁水溪沖積扇全區而言兩種方法所得之補注量與抽水量相當接近。所分析十年中相對豐水年(2008)之年雨量為 2691(mm)，相對枯水年(2003)之年雨量為 1134(mm)，而所對應 2008 年之補注量為 8.09 億噸、抽水量為 7.95 億噸，2003 年之補注量為 7.42 億噸、抽水量為 9.15 億噸，十年之平均年補注量為 7.43 億噸、年抽水量約 7.9 億噸。

修正型水位歷線法可進一步求得沖積扇內部不同區域之側向交換量，結果顯示扇頂區域多為側向流出，扇央與扇尾多為側向流入，此與扇頂區域為主要補注區之結論相符。

(三)補注潛勢評估作業與主要補注區劃分

本計畫以「地下水補注潛勢分數」與「地下水資源潛能分數」分別描述地下水系統補注能力與蘊藏量多寡之空間分布，綜合兩者即為「地下水資源保育分數」。「地下水補注潛勢」除考量前一年度採用之「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢影響因子外，再加入「地下水含水層型態」作為第八項影響因子。土地利用與表層土壤分數及因子間權重，則藉

由水位歷線法所得之單位面積補注量進行參數檢定。「地下水資源潛能」則以「地下水蘊藏量」、「地下水出水潛能」、「各層阻水層範圍」與「地下水上下游」等四項影響因子描述。若以 50 分作為門檻，搭配補注潛勢分佈，可以繪出高補注潛勢區，高補注潛勢區搭配地電阻判釋之交界面，可修正南岸之主要補注區範圍，藉此劃定濁水溪沖積扇之「主要補注區」。主要補注區多數分布於扇頂區域與少部分之扇央地區與扇尾地區，扇頂部分包含之二水鄉、田中鎮、社頭鄉、北斗鎮、溪州鄉、林內鄉、荊桐鄉、斗六市及古坑鄉，與少部分之虎尾鎮及斗南鎮，扇央部分包含竹塘鄉、埤頭鄉與二林鎮，扇尾部分包括四湖鄉、水林鄉與北港鎮等。

綜合地下水補注潛勢與地下水資源潛能，可得地下水資源保育分數。若依舊以 50 分做為門檻，可得高地下水資源保育區。然前述南岸修正的區域，雖然其補注能力高，但是由地下水資源潛能分析指出，該區域之水資源潛能低，造成兩者之和亦低，是故重要保育區仍與高地下水資源保育區範圍相同。重要保育區多數分布於扇頂區域與少部分之扇央地區，扇頂部分包含二水鄉、田中鎮、社頭鄉、溪州鄉、林內鄉，與部分荊桐鄉、斗六市及古坑鄉，扇央部分包含埤頭鄉與二林鎮。

(四)地下水數值模式建置

本計畫以專家系統為基礎，發展出一應用於 MODFLOW 數值模式之自動參數檢定系統，並將其成功應用於濁水溪沖積扇地下水數值模式之建置與檢定。模式模擬時間為西元 1998 年至 2003 年以及 2006 年至 2009 年，而模式之檢定，則以各個地下水位觀測站之月平均水位為檢定之觀測水位。

本計畫所建置數值模式之水文地質架構分為七層，其中包括四層含水層與三層阻水層，第一層含水層之抽水量及補注量，乃採用修正型地下水位歷線法所得之值，其餘各含水層的抽水與補注量則以檢定方式求得。

模式檢定結果之模擬水位與觀測水位在時間與空間上的變化及趨勢皆相當一致，觀測水位與模擬水位之均方根誤差皆在 2 公尺內。檢定後之模式模擬結果顯示出枯水期所有含水層抽水量之總和大於補注量，有超抽之情形，豐水期則無此情況，此與一般之預期相符。

(五)資訊平台建置

本計畫以 SuperGIS 軟體為基礎，配合 VBA 開發工具完成地下水補注潛勢評估作業平台之開發。系統中整合了地下水相關資料庫及「地下水補注潛勢評估」與「水位歷線法」等計算模組，並可以視覺方式呈現時間及空間上之分析結果，輔助使用者進行地下水補注潛勢及抽水量與補注量等之分析。

(六)現地補充調查試驗

二維地電阻調查分析部分，本計畫 98 年度完成濁水溪北岸共 9400 公尺二維地電阻現地量測，量測結果顯示除了社頭測線外，其他段測線並未發現有明顯之淺層阻水層存在。99 年度完成濁水溪南岸共 6280 公尺二維地電阻現地量測，並進行一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)探測結果之反演。濁水溪南岸二維地電阻量測結果顯示，遠離濁水溪的區域如斗南區、崁腳區的泥層厚度(約 10 - 15 m) 普遍比靠近濁水溪的荊桐區的泥層厚度(約 20 - 40 m) 還要薄，而且在垂直深度上也有變淺的跡象，由地表深處(約 15-20 m) 遞減到(約 5 - 15 m)，顯示在斗六區測線虎尾河流域上有一砂體由東向西侵入，因此本區的補注區劃分在斗六區應有向西外凸的情形，此與一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)探測結果之反演相符。

水質調查分析部分，本計畫連續兩年於濁水溪沖積扇地下水扇頂採樣 19 口井、3 處溪水(彰雲大橋、名竹大橋及南雲大橋)及 1 個雨水樣，共 23 個水樣；地面水採樣彰化區約 21 點，量測其導電度，其中 5 點化驗離子成份；雲林區約 16 點，量測其導電度，其中 5 點化驗離子成份。相關水質檢測成果綜合如下：(1) 部份觀測井之井內水質，垂直方向有明顯的導電度差異，可能因地層中有不同來源之水源；(2) 導電度連續監測顯示，井內垂向水質差異大，則導電度變化也較大，較大降雨造成水位起伏，使井內導電度發生變化；(3) 扇頂區的地下水水質，以導電度評估，至少有四成的井水超過灌溉用水標準(750 μ S/cm)，以濁水溪沖積扇的扇頂鹽化較明顯。分析主要離子成份，鹽化趨勢至少有兩類型：可能因蒸發作用、離子比例不變，及硫酸根增加(可能因農業化肥)。(4) 地下水中的硝酸鹽污染仍存在，2010 年有兩口硝態氮大於 10mg/l，應持續監測。(5) 扇頂區地面水的水質現況及趨勢，只有少數點有人為污染，大多數的灌溉及排水的水質導電度均小於 750 μ S/cm。

抽水井鑿建與試驗部分，本計畫於 98、99 兩年度共執行三站(荊桐、柑園和六合)抽水試驗，其結果並分別以 Neuman 及 Boulton 方法進行分析。其中荊桐站位於濁水溪南岸中游，靠近沖積扇扇央部分，其觀測井一試驗，第 1 次複井抽水試驗以 Neuman 法分析，得 $T=3.461(m^2)/min$ 、 $S=0.0007299$ ，第 2 次複井抽水試驗以 Neuman 法分析，得 $T=3.718(m^2)/min$ 、 $S=0.0006849$ 。柑園站位於濁水溪北岸中上游，靠近沖積扇扇頂部分，其觀測井一試驗，以 Neuman 法分析，得 $T=6.054(m^2)/min$ 、 $S=0.0004856$ 、 $S_y=0.0408$ ；以 Boulton 法分析，得 $T=4.76(m^2)/min$ 、 $S=0.00116$ 、 $S_y=0.12$ 。民井試驗，以 Neuman 法分析，得 $T=7.835(m^2)/min$ 、 $S=0.0004953$ 、 $S_y=0.01444$ 。六合站位於濁水溪南岸上游，靠近沖積扇扇頂部分，其觀測井一試驗，以 Neuman 法分析，得 $T=11.28(m^2)/min$ 、

$S=0.000112$ 、 $S_y=0.1313$ ；以 Boulton 法分析，得 $T=10.08(m^2)/min$ 、 $S=0.00194$ 、 $S_y=0.148$ 。

二、建議

- (一) 地下水位資料時間上之延續性與空間上之完整性，將大為影響後續資料之應用與加值，因此地下水位觀測資料品質之好壞，乃是觀測站網能否發揮其預期效益之關鍵，應持續加強站網之維護與資料蒐集之改善。
- (二) 比流出率及儲水係數為地下水歷線法及相關研究之重要參數，建議應全面性的增加複井抽水試驗數量，以提高地下水相關分析之可靠度。其中尤以非受壓含水層儲蓄水量之變化量佔整體變化量之絕大部分，因此應優先進行複井抽水試驗。
- (三) 由於水位歷線法是以徐昇氏多邊形劃分整體研究區域，以該站水位作為多邊形網格中的代表水位，對於地形起伏較大區域，如花東縱谷與新苗地區等，是否仍可適用。建議後續應針對方法之基本機制進行修正。
- (四) 本計畫地電阻調查工作主要都是針對濁水溪沖積扇上扇到下扇阻水泥層的空間分佈來做探討。可是綜合比較濁水溪北岸（彰化）與南岸（雲林）的情形其實是有差異的。濁水溪北岸為很單純的沖積扇組成，主要沖積層為濁水溪營力所建構，當然泥層（難透水層）的分布相當單純。無論以何種調查方法，其補注區邊界的偏移誤差是很小的。但是反觀濁水溪南岸，雖然濁水溪沖積扇亦構成了雲林區廣大的平原區，但在其上又有分布於其上的虎尾河流域影響，如果也將虎尾溪的營力列入考慮，本區域已不在是單純的濁水溪沖積作用形成。在一維地電阻半施蘭卜吉 (Half-Schlumberger) 測深法的結果中，反演影像剖面也可以發現斗六區測線有一砂體由東向西侵入。是否可以將虎尾溪的沙體入侵視為作用在一個大型沖積扇上的小型沖積扇，亦或是虎尾溪的小型沖積扇中的泥層（難透水層）可以另行獨立分割出一個次要的補注區，這可能是未來必須考慮的重點。目前的藉由地電阻調查方法所做的補注區邊界劃定雖然已有非常良好的成效，但是畢竟一維或二維的地電阻探勘都非真正三維的調查，唯有增加該區域的調查工作才可以將本區的補注區邊界更準確的劃定。

目錄

摘要	I
結論與建議	II
目錄	VI
表目錄	IX
圖目錄	XII
第一章 前言	1
1.1 計畫緣起及目的	1
1.2 計畫區域概述	2
1.3 計畫工作項目及內容	4
第二章 資料收集及彙整	9
2.1 前期相關研究蒐集	9
2.2 研究資料蒐集	24
2.3 地下水位資料品保及品管	32
2.3.1 地下水位資料缺漏及補遺	32
2.3.2 地下水位資料異常及處理	41
2.4 國內外地下水水資源保護現況	44
2.4.1 美國華盛頓州的重要含水層補注區 (CARA, Critical Aquifer Recharge Area)	45
2.4.2 喬治亞州的地下水補注區 (GRAD, Groundwater Recharge Area District)	50
2.4.3 台灣的地下水保護	52
第三章 濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估	56
3.1 地下水位歷線法理論介紹	56
3.2 修正型地下水位歷線法理論介紹	63
3.3 電腦程式開發	64
3.4 水位歷線法分析於濁水溪沖積扇之應用結果	68
3.4.1 退水線判斷	71
3.4.2 水位歷線法分析結果	82
第四章 地下水補注潛勢評估作業與主要補注區劃分	98
4.1 地下水補注潛勢評估作業程序建立	98
4.2 地下水補注潛勢原始屬性建立	104
4.2.1 地層內因	105

4.2.2	水文外因	110
4.2.3	綜合因素	112
4.3	地下水資源潛能原始屬性建立	123
4.3.1	地下水蘊藏量	123
4.3.2	地下水出水潛能	124
4.3.3	各層阻水層範圍	125
4.3.4	地下水位值	125
4.4	地下水補注潛勢評估作業檢討	129
4.4.1	土地利用與表層土壤分數檢討	130
4.4.2	因子間權重檢討	136
4.5	地下水補注潛勢分析成果說明	142
4.6	地下水資源潛能分析成果說明	151
4.6.1	地下水蘊藏量	151
4.6.2	地下水出水潛能	151
4.6.3	各層阻水層範圍	151
4.6.4	地下水位值	151
4.7	地下水主要補注區與重要保育區初步劃分	156
第五章	濁水溪沖積扇地下水暫態數值模式建置與參數檢定	162
5.1	地下水數值模式發展簡介	162
5.2	地下水數值模式建置流程	163
5.3	參數檢定系統流程簡介	164
5.4	濁水溪沖積扇地下水穩態數值模式建置與參數檢定	168
5.5	濁水溪沖積扇地下水暫態數值模式建置與參數檢定	183
第六章	扇頂補注區現地補充調查及分析	201
6.1	雲林地區扇頂補注邊界地電阻測勘	201
6.1.1	地電阻調查原理及施作方法	202
6.1.2	本年度工作項目	206
6.1.3	資料分析結果	210
6.1.4	斗六測線二維地電阻反演影像剖面測勘	223
6.1.5	斗南區測線二維地電阻反演影像剖面測勘	235
6.1.6	崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面測勘	241
6.1.7	驗證性剖面測勘(荊桐南北向-01、02測線)	249
6.1.8	一維地電阻測點與資料分析比對	253
6.1.9	結論與建議	270

6.2 彰雲地區扇頂地面水及地下水水質調查分析	273
6.2.1 前期研究	274
6.2.2 研究方法與步驟	275
6.2.3 資料分析結果	282
6.2.4 結論	317
6.3 六合站抽水井鑿建及複井抽水試驗	318
6.3.1 井體建置	318
6.3.2 抽水試驗	323
第七章 地下水補注潛勢評估作業平台建置	328
7.1 地下水補注潛勢評估作業平台系統元件說明	329
7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用者介面	330
7.3 核心計算程式	331
7.4 資料庫建立	332
7.5 系統操作說明	335
7.5.1 補注潛勢評估作業平台操作介面及說明	335
7.5.2 地下水位資訊擷取元件操作介面及說明	348
參考文獻	353
附錄一、地下水位缺漏超過 10 天之補遺	359
附錄二、六合抽水試驗分析圖表及施工照片	378
附錄三、本年度工作會議紀錄	385
附錄四、期中報告審查意見及辦理情形	402
附錄五、期末報告審查意見及辦理情形	406
附錄六、本年度計劃出國研習訪查報告	414

表目錄

表 2.1-1 D 值之範圍及分數等級.....	10
表 2.1-2 R 值之範圍及分數等級.....	10
表 2.1-3 A 值之範圍及分數等級.....	11
表 2.1-4 S 值之範圍及分數等級.....	11
表 2.1-5 T 值之範圍及分數等級.....	12
表 2.1-6 I 值之範圍及分數等級.....	12
表 2.1-7 C 值之範圍及分數等級.....	13
表 2.1-8 常用水文地質參數之權重表.....	13
表 2.1-9 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地下水位深度評分表.....	14
表 2.1-10 濁水溪沖積扇及屏東平原地區淨補注量值之範圍及分數等級.....	14
表 2.1-11 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地形坡度之範圍及分數等級.....	14
表 2.1-12 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層介質評分表.....	14
表 2.1-13 濁水溪沖積扇及屏東平原地區土壤介質評分表.....	15
表 2.1-14 濁水溪沖積扇及屏東平原地區未飽和層影響評分表.....	15
表 2.1-15 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層水力傳導特性評分表.....	15
表 2.1-16 地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al.,2006).....	17
表 2.1-17 地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al.,2006).....	18
表 2.1-18 地下水管制區評估因子權重表.....	21
表 2.1-19 濁水溪沖積扇地下水補注量相關研究成果比較表.....	22
表 2.1-20 濁水溪沖積扇地下水抽用量相關調查研究彙整.....	23
表 2.2-1 含水層一(F1)42 口地下水觀測井資料列表.....	24
表 2.2-1 含水層一(F1)42 口地下水觀測井資料列表(續).....	25
表 2.2-2、濁水溪沖積扇複井抽水試驗實測儲水係數.....	27
表 2.2-3 本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊.....	27
表 2.2-3、本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊(續).....	28
表 2.2-4 本計劃蒐集經濟部水利署雨量站資訊.....	30
表 2.2-5 本計畫蒐集圖資資訊.....	32
表 2.3-1 1997-2005 年地下水位原始資料缺漏統計表.....	33
表 2.3-2 1997-2009 年地下水位原始資料缺漏時段分類列表.....	34
表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表.....	40
表 2.3-4 濁水溪沖積扇淺層地下水觀測井水位之異常時段列表.....	41

表 2.4-1 環保署公告之雲林縣土壤及地下水污染列管場址	55
表 3.4-1 濁水溪沖積扇淺層觀測井列表(30 口井).....	70
表 3.4-2 濁水溪沖積扇表層水井枯水期退水線列表	74
表 3.4-4 系統水平衡分析表(原始型).....	83
表 3.4-5 系統水平衡分析表(修正型).....	83
表 3.4-6 各井平均年補注量排序列表(原始型).....	84
表 3.4-7 各井平均年補注量排序列表(修正型).....	85
表 3.4-8 單位面積平均年補注量排序列表.....	86
表 3.4-9 單位面積平均年補注量排序列表(修正型).....	87
表 3.4-10 各站枯水期與一期稻作退水線斜率列表	88
表 3.4-11 各站平均年累積水平淨交換量列表	89
表 3.4-12 各站平均年抽水量、補注量與流失量列表(原始型).....	90
表 3.4-13 各站平均年抽水量、補注量與流失量列表(修正型).....	91
表 3.4-14 原始型與修正型之各站平均年補注量與流失量差異分析表	92
表 3.4-15 其他研究之地下水補注量推估.....	97
表 4.1-1 地下水補注潛勢影響因子表.....	101
表 4.1-2 地下水資源潛能影響因子表.....	101
表 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子權重計算表	103
表 4.2-1 圖資製作工具.....	105
表 4.2-2 95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表	106
表 4.2-3 各雨量站徐昇氏網格之控制面積.....	117
表 4.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化	122
表 4.3-1 各井之儲水係數或比流出率列表.....	124
表 4.4-1 土地利用屬性與重新分類表.....	132
表 4.4-2 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表(98 年度建議值).....	133
表 4.4-3 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表(98 年度建議值).....	134
表 4.4-4 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表(檢定結果).....	134
表 4.4-5 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表(檢定結果).....	135
表 4.4-6 因子間權重值列表.....	139
表 6.2-1 彰雲扇頂補注區觀測井之基本資料	278
表 6.2-2 本計畫水質化驗項目及方法.....	279
表 6.2-3 飲用水源及灌溉用水質標準.....	280
表 6.2-4 扇頂區 2010 年 5 月水質採樣及量測結果	296
表 6.2-5 扇頂區 2010 年 9 月水質採樣及量測結果	297

表 6-2-6	扇頂區歷年地下水平均導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	298
表 6-2-7	扇頂之上下邊界歷年地下水平均導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	298
表 6-2-8	扇頂附近地下水水質評估結果	299
表 6-2-9	導電度 Mann-Kendall 趨勢分析結果	299
表 6-2-10	扇頂區 2010 年 5 月水質分析結果 (mg/l)	300
表 6-2-11	扇頂區 2010 年 9 月水質分析結果 (mg/l)	301
表 6-2-12	柑園一六合一荊桐一之離子當量百分比	302
表 6-2-13	濁水溪扇頂補注區之歷年硝態氮濃度 ($\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l)	309
表 6-2-14	本計畫採樣化驗之硝態氮濃度與農工中心 (2009) 之結果比對 ...	310
表 6-2-15	扇頂之地面水導電度 (2010 年 1 月)	311
表 6-2-16	扇頂之地面水導電度 (2010 年 9 月)	313
表 6-2-17	地面水之主要離子成份	314
表 6.3-1	六合站抽水井每公尺所量測之最大礫石粒徑	320
表 7.5-1	逐年區域內累積總量表	338

圖目錄

圖 1.2-1 濁水溪海園-石榴水文地質剖面圖	3
圖 2.1-1 在受壓含水層及非受壓含水層之地下水位深度	10
圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖	17
圖 2.1-3 屏東平原入滲潛勢分級區域圖.....	19
圖 2.1-4 屏東平原區域補注分級區域圖.....	19
圖 2.2-1、含水層一(F1)42 口地下水觀測井分布圖.....	26
圖 2.2-2 中央氣象局雨量站位置圖.....	29
圖 2.2-3 水利署雨量站位置圖.....	31
圖 2.3-1 地下水位缺漏資料年代分佈圖：(a)扇頂區；(b)扇央區；(c)扇尾區....	36
圖 2.3-2 地下水位資料缺漏未達 10 天以缺漏段兩端點為準以線性內插進行補遺，以安和(1)為例：(a)補遺前；(b)補遺後	37
圖 2.3-3 地下水位資料連續缺漏超過 10 天之補遺標準作業程序	38
圖 2.3-4 篩選可信度較低的資料點後再以線性迴歸進行補遺：(a)原始水位；(b)線性迴歸補遺後水位	39
圖 2.3-5 依標準作業流程之水井補遺結果，以柑園(1)為例分別用：(a)線性迴歸補遺；(b)以缺漏段兩端點資料為準進行線性內插補遺.....	39
圖 2.3-6 西螺(1)井因 921 地震引起之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 ...	42
圖 2.3-7 荊桐(1)井因 921 地震引起之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後。	42
圖 2.3-8 海園(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 ...	43
圖 2.3-9 東榮(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 ...	43
圖 2.3-10 虎溪(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 .	43
圖 2.3-11 烏塗(2)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 .	44
(c)case2 處理前；(d)case2 處理後	44
圖 2.3-12 崁腳(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後 .	44
圖 2.4-1 辨別標示出井頭保護帶（圖中紅點為水井、綠圈為井頭保護帶）	45
圖 2.4-2 美國 Georgia 州之污染敏感圖.....	47
圖 2.4-3 美國 Georgia 州之污染敏感圖局部放大.....	48
圖 2.4-4 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 Issaquah 市，分成三類：第一區為 1-5 年的井頭保護區、第二區為 10 年的井頭保護區、第三區為高補注區。	48
圖 2.4-5 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 King County，也是分成三類。	49

圖 2.4-6 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 King County，局部放大。	50
圖 2.4-7 美國喬治亞州的地下水補注區（數值圖來源：美國地質調查所之地圖	51
圖 2.4-8 美國喬治亞州的地下水補注區局部放大圖及圖例	52
圖 2.4-9 環保署公告之飲用水水源水質保護區，目前並不合地下水水源	53
圖 2.4-10 濁水溪沖積扇深井分布圖（經濟部，2005）	54
圖 3.1-1 地下水水位歷線法計算流程圖	56
圖 3.1-2 區域降雨歷線與地下水位歷線起伏變化示意圖	57
圖 3.1-3 表層水層之概念模型示意圖	57
圖 3.1-4 徐昇氏多邊形	58
圖 3.1-5 二水站地下水層一(F1)1997~1999 年水位歷線和枯水期退水線表	59
圖 3.1-6 降雨事件、補注量與流失量關係示意圖	61
圖 3.3-1 「地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖	66
圖 3.3-2 「修正型地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖	67
圖 3.3-3 地下水位歷線法程式計算流程	68
圖 3.4-1 淺層地下水觀測井分布與徐昇氏多邊形	69
圖 3.4-2 水位歷線及枯水期退水線圖(全興(1))	72
圖 3.4-3 水位歷線、枯水期及一期稻作退水線圖(洛津(1))	72
圖 3.4-4 短期且急遽之退水線圖(海園(1))	73
圖 3.4-5 Google Earth 空照圖(海園(1))	73
圖 3.4-6 平均枯水期退水線斜率分布圖	93
圖 3.4-7 單位面積長期平均補注量等值圖(原始型)	94
圖 3.4-8 單位面積長期平均補注量等值圖(修正型)	95
圖 3.4-9 徐昇氏多邊形水平淨交換量	96
圖 3.4-10 降雨事件累積降雨量與累積補注量關係圖	97
圖 4.1-1 「主要補注區」與「重要保育區」劃分作業流程圖	98
圖 4.1-2 地下水補注潛勢評估作業程序	102
圖 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子關係圖	102
圖 4.2-1 濁水溪沖積扇土地利用計畫分類圖層	107
圖 4.2-2 表層土壤種類原始圖層	108
圖 4.2-3 濁水溪沖積扇含水層一(F1)透水係數分布圖	110
圖 4.2-4 濁水溪流域河系圖	111
圖 4.2-5 平均年降雨量因子選取之雨量站	113

圖 4.2-6 本計畫選取雨量站之平均年降雨量分布圖	114
圖 4.2-7 濁水溪沖溪扇地下水位站分布圖.....	115
圖 4.2-8 豐榮(1)地下水位上升量與各區平均降雨量線性迴歸(a)扇頂區(b)扇央區 (c)扇尾區.....	118
圖 4.2-9 扇頂區降雨對扇頂區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖.....	119
圖 4.2-10 扇頂區與扇央區降雨對扇央區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較 圖	119
圖 4.2-11 扇頂區、扇央區與扇尾區降雨對扇尾區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖.....	119
圖 4.2-12 降雨與地下水位變化相關性分布圖	120
圖 4.2-13 單位蓄水量變化分布圖.....	123
圖 4.3-1 地下水蘊藏量分布圖.....	126
圖 4.3-2 地下水出水潛能分布圖.....	127
圖 4.3-3 阻水層層數分布圖.....	128
圖 4.3-4 地下水位值分布圖.....	129
圖 4.4-1 地下水補注潛勢評估作業檢討流程圖	131
圖 4.4-2 土地利用與表層土壤分數檢定流程圖	131
圖 4.4-3 濁水溪沖積扇各站井單位面積補注量(1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年水位歷線法成果).....	135
圖 4.4-4 水位歷線法單位面積補注量與線性迴歸值檢定圖	138
圖 4.4-5 濁水溪沖積扇非拘限站井單位面積補注量(1998 年至 2003 年與 2006 年 至 2009 年水位歷線法成果與多變量線性迴歸值).....	139
圖 4.4-6 補注潛勢分數分布圖(原始計算方法).....	140
圖 4.4-7 補注潛勢分數分布圖(修正後計算方法).....	141
圖 4.4-8 補注潛勢分數組體圖.....	142
圖 4.5-1 土地利用分數分布圖.....	143
圖 4.5-2 表層土壤種類分數分布圖.....	144
圖 4.5-3 降雨與地下水位變化相關性分數分布圖	145
圖 4.5-4 1993~2008 年平均年降雨量分數分布圖	146
圖 4.5-5 單位蓄水量變化分數分布圖.....	147
圖 4.5-6 透水係數分數分布圖.....	148
圖 4.5-7 河系密度分數分布圖.....	149
圖 4.5-8 地下水補注潛勢整體分數分布圖.....	150
圖 4.6-1 地下水蘊藏量分數分布圖.....	152

圖 4.6-2 地下水出水潛能分數分布圖.....	153
圖 4.6-3 各層阻水層範圍分數分布圖.....	154
圖 4.6-4 地下水位值分數分布圖.....	155
圖 4.6-5 地下水資源潛能整體分數分布圖.....	156
圖 4.7-1 地下水資源保育整體分布圖.....	158
圖 4.7-2 高補注潛勢區與地電阻推測補注交界面圖	159
圖 4.7-3 高地下水資源潛能分數與地電阻推測補注交界面圖	160
圖 4.7-4 南岸因應地電阻試驗修訂區域之地下水資源潛能分數分布圖	161
圖 5.2-1 地下水數值模式建置流程示意圖.....	163
圖 5.3-1 地下水參數檢定系統架構圖.....	165
圖 5.3-2 參數檢定流程圖.....	167
圖 5.4-1 濁水溪沖積扇概念分層.....	168
圖 5.4-2 濁水溪沖積扇地下水邊界之概念圖	169
圖 5.4-3 濁水溪沖積扇模式之格網劃分.....	171
圖 5.4-4 濁水溪沖積扇模式第 1 分層格網劃分	172
圖 5.4-5 濁水溪沖積扇模式第 2~7 分層格網劃分	173
圖 5.4-6 濁水溪沖積扇模式 AA'段剖面圖	174
圖 5.4-7 濁水溪沖積扇模式第 1 分層徐昇氏網格分區	175
圖 5.4-8 濁水溪沖積扇模式第 3 分層徐昇氏網格分區	176
圖 5.4-9 濁水溪沖積扇模式第 5 分層徐昇氏網格分區	177
圖 5.4-10 濁水溪沖積扇模式第 7 分層徐昇氏網格分區	178
圖 5.4-11 第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	180
圖 5.4-12 第三層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	181
圖 5.4-13 第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	182
圖 5.4-14 觀測水位與檢定後模擬水位關係圖	183
圖 5.5-1 2003 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	187
圖 5.5-2 2003 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	188
圖 5.5-3 2009 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	189
圖 5.5-4 2009 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	190
圖 5.5-5 2008 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	191
圖 5.5-6 2008 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖	192
圖 5.5-7 2009 年 觀測水位與檢定後模擬水位關係圖	193
圖 5.5-8 2009 年模式第一層均方根誤差分布圖	194
圖 5.5-9 2009 年模式第五層均方根誤差分布圖	195

圖 6.1-1 地電阻探測儀器示意圖.....	202
圖 6.1-2 電流流動示意圖.....	203
圖 6.1-3 溫奈排列 (Wenner Array) 示意圖	205
圖 6.1-4 雙偶極排列 (Dipole-dipole Array) 示意圖	205
圖 6.1-5 二維地電阻剖面影像探測示意圖.....	205
圖 6.1-6 地電阻輪替式(Roll-along)陣列施測方式示意圖.....	206
圖 6.1-7 地電阻平移式陣列施測方式示意圖	207
圖 6.1-8 彰化地區 50 公尺半展距一維地電阻分布圖與本年度地電阻預定測線及 推測補注區界線位置圖(白色虛線為由 50 Ohm-m 等值線推測之扇頂補注區邊 界，紅色實線為 98 年度二維地電阻探測工作研判之邊界，紅色虛線為沿 60 Ohm-m 等值線推測之雲林地區扇頂補注區邊界。紅色圓圈為邊界附近觀測井位 置：TD：荊桐，LH：六合，HX：虎溪，SL：石榴，WT：溫厝，DH：東和， KC：崁腳，GK：古坑。)	208
圖 6.1-9 彰化地區地電阻預定測線位置分佈圖	209
圖 6.1-10 柑園剖面與柑園觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果.....	211
圖 6.1-11 荊桐與六合觀測井標準測線與觀測井的相對位置。綠色線為荊桐與六 合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此趨相對雲林地區的位置。	212
圖 6.1-12 為荊桐觀測井標準測線之佈設位置圖，施測方式選用 Dipole-dipole 方 法。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相 對荊桐區測線的位置。	213
圖 6.1-13 荊桐剖面與荊桐、虎溪觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果.....	214
圖 6.1-14 為六合觀測井標準測線之佈設位置圖，施測方式選用 Dipole-dipole 方 法。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相 對荊桐區測線的位置。	215
圖 6.1-15 六合剖面與六合觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果.....	216
圖 6.1-16 荊桐區測線分布圖，由東向西依次為荊桐 01、02、03 測線。綠色線為 六合與荊桐觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪 南岸主要四大區測線的位置。	216
圖 6.1-17 荊桐-01 測線 (荊桐區測線) 分布圖，測線長度 450 米。綠色線為荊桐 與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對荊桐區測線的位 置。	217
圖 6.1-18 (a)(b)(c)分別為荊桐區荊桐測線-01 之 Schlumberger、Dipole-dipole、 Pole-Pole 二維地電阻反演影像剖面。	219

圖 6.1-19 荊桐-02 測線佈設位置圖，測線長度 450 米。綠色線為刺桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對刺桐區測線的位置。.....	220
圖 6.1-20 荊桐-02 測線二維地電阻反演影像剖面，以 Schlumberger 法施測 ..	221
圖 6.1-21 荊桐-03 測線佈設位置圖，測線長度 410 米。綠色線為刺桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對刺桐區測線的位置。.....	221
圖 6.1-22 荊桐-03 測線西側 20 公尺的荊桐-03 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Schlumberger-Wenner 及 Dipole-Dipole 法施測.....	222
圖 6.1-23 荊桐測線-02 測線已經在補注區邊界的過渡帶上。	223
圖 6.1-24 斗六區測線分布圖，由東向西依次為斗六 01、02、03、04 號測線，由北向南依次為斗六南北向 01、02 號測線。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。	224
圖 6.1-25 斗六-01 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 340 米。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。	224
圖 6.1-26 斗六-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法施測，由圖上可看出人工建物對施測呈現的干擾。	225
圖 6.1-27 斗六-02 測線（斗六北區測線）分布圖，測線長度 340 米。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。	226
圖 6.1-28 斗六-02 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法施測，由圖上 120 m 處可看出高壓電桿下，接地網所造成之低電阻率現象對施測呈現的干擾。	227
圖 6.1-29 斗六-03 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 380 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。	227
圖 6.1-30 斗六-03 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式以 Wenner 法及 Schlumberger 法施測，由圖上 200 m 處可看出持續的高電阻率現象對施測呈現的干擾。照片顯示該測線附近有極大的高度落差，除稻田外有多處利用天然高低差築起的養鴨場用養殖水池。	228
圖 6.1-31 斗六-04 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 390 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。	229
圖 6.1-32 斗六-04 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以	

Schlumberger 法施測，圖上 300 m 處為道路所造成之八字型干擾現象對施測呈現的干擾。	230
圖 6.1-33 斗六南北向-01 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 310 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗六區測線的位置。	231
圖 6.1-34 斗六南北向測線-01 二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法及 Dipole-Dipole 法施測，圖上 300 m 處為道路所造成之八字型干擾現象對施測呈現的干擾。	232
圖 6.1-35 斗六南北向-02 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 410 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗六區測線的位置。	233
圖 6.1-36 斗六南北向-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法及 Dipole-Dipole 法施測。	234
圖 6.1-37 斗六-04 測線已經在補注區邊界的過渡帶上。	235
圖 6.1-38 斗南區測線，由東向西依次為斗南-01、02、03 號測線。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。	236
圖 6.1-39 斗南-01 測線分布圖（斗南區測線），測線長度 350 m。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗南區測線的位置。	236
圖 6.1-40 斗南-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Dipole-Dipole 法施測。	237
圖 6.1-41 斗南-02 測線（斗南區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗南區測線的位置。	238
圖 6.1-42 斗南-02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Schlumberger 法	238
圖 6.1-43 斗南-03 測線（斗南區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗南區測線的位置。	239
圖 6.1-44 斗南-03 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。	240
圖 6.1-45 斗南區測線補注邊界。補注區邊界的過渡帶判斷為斗南-01 測線與斗南-02 測線上。	241

圖 6.1-46 炭腳區測線分布圖，由東向西依次為炭腳- 01、02、03 測線。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。.....	242
圖 6.1-47 炭腳-01 測線（炭腳區測線）分布圖，測線長度 330 m。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對炭腳區測線的位置。.....	243
圖 6.1-48 炭腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Pole-pole 法。.....	244
圖 6.1-49 炭腳-02 測線（炭腳區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對炭腳區測線的位置。.....	245
圖 6.1-50 炭腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。.....	246
圖 6.1-51 炭腳-03 測線（炭腳區測線）分布圖，測線長度 330 m。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對炭腳區測線的位置。.....	247
圖 6.1-52 炭腳測線-03 地電阻剖面影像。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。.....	248
圖 6.1-53 炭腳區測線補注邊界過渡帶判斷為炭腳-01 測線與炭腳-02 測線...	249
圖 6.1-54 濁水溪南岸（雲林區）地下水補注區邊界。塗上黃色線穿越區域為存疑性邊界。.....	250
圖 6.1-55 荊桐區南北向測線，由南向北依序為：荊桐區南北向-01、02。...	251
圖 6.1-56 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式僅為 Wenner 法.....	252
圖 6.1-57 一維地電阻測點(經建版座標 TWD67)位置.....	253
圖 6.1-58 半施蘭卜吉排列（Half - Schlumberger Array）示意圖.....	254
圖 6.1-59 一維地電阻測線座標(經建版座標 TWD67)及電流極延展方向.....	255
圖 6.1-60 荊桐區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點；白色虛線內分別為荊桐標準測線及六合國小標準測線。.....	257
圖 6.1-61 六合剖面與六合觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果.....	258
圖 6.1-62 荊桐剖面與荊桐、虎溪觀測井測資料(64"電阻井測) 對比。.....	260
圖 6.1-63 荊桐區二維地電阻反演剖面與一維 Schlumberger 反演算資料比較。由上到下依次為荊桐-01、02、03 測線之二維地電阻反演剖面影像。最後為一維	

Schlumberger 反演算資料。.....	261
圖 6.1-64 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 562 號與 549 號地電阻反演剖面影像比較。.....	262
圖 6.1-65 斗六區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。一維 Schlumberger 測點 No.572、No.571、No.585 是最鄰近斗六區測線的資料點。No.572 測點位於斗六-01 測線東南方 2 Km 處；No.571 測點位於斗六-02 測線南方約 1 Km 處。.....	263
圖 6.1-66 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 572 號與 No. 571 地電阻反演剖面影像比較。.....	265
圖 6.1-67 斗南區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。補注區邊界判定落在斗南-02 測線上，且補注區邊界西側亦有由東向西依次 No.550、578、577 之一維 Schlumberger 測點。斗南-03 測線剛好位於這三個一維 Schlumberger 測點之間。.....	266
圖 6.1-68 斗南區測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 577、No. 578 與 No. 550 地電阻反演剖面影像比較。.....	267
圖 6.1-69 崁腳區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。補注區邊界判定落在崁腳-02 測線上，只有補注區邊界東側有最靠近崁腳-02 測線的一維 Schlumberger 測點，由東向西依次為 No.579、551、581。.....	268
圖 6.1-70 崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 551、No. 581 與 No. 579 地電阻反演剖面影像比較。.....	269
圖 6.1-71 一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所獲得之反演資料，左為深度 10 m，右為深度 30 m.....	271
圖 6.1-72 濁水溪沖積扇由地電阻測深法及觀測井資料所推測之補注區界限(白色實線)，以及由二維地電阻反演影像剖面方法研判之補注區界限帶(桃紅色區域)。.....	272
圖 6.2-1 彰雲地區觀測井地下水及溪水採樣位置圖.....	278
圖 6.2-2 (A) 扇頂補注區可分為濁水溪扇及斗六扇。(B) 水文地質剖面示意圖.....	281
圖 6.2-3 美國 In-situ Troll-200 水壓水溫導電度三合一自記測棒.....	281
圖 6.2-4 濁水扇頂區井內水導電度井測結果.....	283
圖 6.2-5 斗六扇頂區井內水導電度井測結果.....	283
圖 6.2-6 上邊界地區井內水導電度井測結果.....	284
圖 6.2-7 下邊界地區井內水導電度井測結果.....	284

圖 6.2-8 荊桐站導電度井測 (2010 年 08 月 18 日)	285
圖 6.2-9 觀測井井管中不同水質來源之解釋.....	285
圖 6-2-10 導電度連續監測之井位	287
圖 6-2-11 荊桐站導電度井測 (2010 年 08 月 18 日)	287
圖 6-2-12 荊桐一井 2009 年導電度連續監測數據.....	288
圖 6-2-13 荊桐一井 2009-2010 年導電度監測比較.....	289
圖 6-2-14 六合站導電度井測 (2010 年 09 月 01 日)	289
圖 6-2-15 六合一井 2009 年導電度連續監測數據.....	290
圖 6-2-16 六合一井 2009-2010 年導電度監測數據.....	291
圖 6-2-17 柑園井導電度井測	291
圖 6-2-18 柑園一井 2009-2010 年導電度連續監測.....	291
圖 6-2-19 田中導電度井測結果	292
圖 6-2-20 田中站導電度連續監測結果 (監測點皆在 80m 深度)	292
圖 6-2-21 烏塗井 2010 年導電度連續監測	293
圖 6-2-22 烏塗井 2009-2010 年導電度井測.....	294
圖 6-2-23 六合二井 2009-2010 年導電度井測.....	294
圖 6-2-24 歷年之導電度數據	302
圖 6-2-25 歷年之導電度之平面分布 (灰色部份為大於 750 μ S/cm)	303
圖 6-2-26 主要陰離子濃度分類 (數據為 2010 年 5 月)	304
圖 6-2-27 主要陽離子濃度分類 (數據為 2010 年 5 月)	304
圖 6-2-28 主要離子成份分類 (數據為 2010 年 5 月)	305
圖 6-2-29 柑園一六合一荊桐一之歷年導電度	305
圖 6-2-30 柑園一六合一荊桐一之離子組成	306
圖 6-2-31 六合及荊桐站附近之土地利用概況	307
圖 6.2-32 雲林扇頂地面水導電度.....	315
圖 6.2-33 彰化扇頂地面水導電度.....	316
圖 6.3.1 六和站抽水井井體構造圖	321
圖 6.3.2 六合站抽水井井測圖.....	322
圖 6.3.3 82 年度六合站觀測井井測圖	323
圖 7-1 地下水補注潛勢評估作業平台架構圖	328
圖 7.2-1 地下水補注潛勢評估作業平台使用者介面執行流程圖	331
圖 7.4-1 經濟部水利署之水文水資源資料管理供應系統	334
圖 7.4-2 將網頁內容轉存成檔案.....	334
圖 7.4-3 雨量資料庫(C0K300)範例	335

圖 7.5-1 SuperGIS 開啟畫面.....	335
圖 7.5-2 地下水補注潛勢評估作業平台 安裝程式.....	336
圖 7.5-3 地下水補注潛勢評估作業平台 資料庫路徑設定.....	336
圖 7.5-4 地下水補注潛勢評估作業平台.....	337
圖 7.5-5 水位歷線法補注評估-資料庫自動建立之畫面.....	338
圖 7.5-6 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-補注量).....	339
圖 7.5-7 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-抽水量).....	339
圖 7.5-8 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-水平流通量).....	340
圖 7.5-9 水位歷線法補注評估成果圖表(水位).....	340
圖 7.5-10 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計補注量).....	341
圖 7.5-11 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計抽水量).....	341
圖 7.5-12 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計水平流通量).....	342
圖 7.5-13 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-平均水位).....	342
圖 7.5-14 水位歷線法補注評估-使用者自行建立之畫面圖.....	343
圖 7.5-15 選取「地下水補注潛勢評估」畫面.....	344
圖 7.5-16 地下水補注潛勢評估-資料庫自動建立之畫面.....	345
圖 7.5-17 地下水補注潛勢評估成果.....	346
圖 7.5-18 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立之畫面.....	347
圖 7.5-19 補注潛勢評估計算結果自動產生之彩色潛勢分數圖.....	347
圖 7.5-20 水文資料庫自動記錄程式系統開發畫面.....	348
圖 7.5-21 將網頁內容存進資料庫.....	349
圖 7.5-22 水文資料庫自動記錄程式主畫面：區塊 1 為測站列表，區塊 2 為處理 狀態訊息，區塊 3 為目前網頁狀態。.....	350
圖 7.5-23 水文資料庫自動記錄程式之測站列表，包括地下水位站井及雨量站	351
圖 7.5-24 水文資料庫自動記錄程式下載資料之畫面.....	352
圖 7.5-25 地下水位測站 Access 資料庫畫面.....	352

第一章 前言

1.1 計畫緣起及目的

一、計畫緣起

經濟部自民國 81 年起執行「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，執行期程分三期，共十七年，於臺灣九個地下水區及恒春和澎湖地區進行水文地質調查研究及地下水觀測井建置工作，已完成建立臺灣地區水文地質基本資料、完善之地下水監測系統、開發水文地質資料庫。水文地質調查研究共完成 332 口（岩心總長度 67231 公尺）水文地質鑽探進行岩心分析研究；水文地質資料庫提供儲存和處理各項調查分析結果；研究成果除釐清臺灣地區地下水水文地質架構外，並已初步釐訂濁水溪沖積扇和屏東平原地下水區之地下水補注區，更進一步利用地下水位歷線和地下水層儲水係數，直接進行濁水溪沖積扇和屏東平原地下水抽水量、補注量、蓄水變化量和流失量之評估，認為地下水水位歷線分析法是具體可行的地下水收支分析途徑。

然而為提高地下水天然補注區範圍劃定及補注量評估之精確度，尚需補充建立更詳細之地下水層儲水係數、水文地質基本資料及長期地下水水質和水位觀測數據，再結合地下水水位歷線分析法程式化，進行地下水補注潛勢評估及建立地下水流數值模式；所得成果可供主管機關劃定地下水水源保護區之依據，希望能藉此對於保護區土地利用及水土污染防治提出適當的管制辦法，使地下水資源的管理開始朝向永續利用的目標前進。

二、計畫背景

本計畫係依據「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估計畫」（98 年至 101 年）實施進度規劃，進行濁水溪沖積扇及屏東平原地下水區之全區地下水補注潛勢評估與地下水模式建置，逐年建立不同地下水區主要補注區的完整面貌，分析其補注機制、補注潛勢評估、水平衡分析、地下水流模擬、地下水層水文地質參數測定及地下水位水質監測，以提供地下水補注區範圍確認，提高各地下水區水文地質圖製作及地下水資源評估之精度。本「地下水補注潛勢評估與地下水模式建置」調查分析研究工作擬達成下列目標：

- (1) 建立地下水區全區之地下水補注潛勢評估作業程序。
- (2) 完成濁水溪沖積扇地下水主要補注區劃分。

- (3) 完成屏東平原地下水主要補注區劃分。
- (4) 完成濁水溪沖積扇地下水補注量、抽水量及補注潛勢評估。
- (5) 完成屏東平原地下水補注量、抽水量及補注潛勢評估。

三、整體構想

水資源的保育無疑的是國家重要建設一部分，因此保護地下水源是刻不容緩的工作，而研究水文地質及評估地下水資源，分析地下水補注機制與現地水力試驗與監測則為必要的工作。過去之研究經驗顯示，要明瞭各調查區內地下水資源，則必須先掌握地下水位的變化、水文地質參數、補注來源、水質地化背景、概念模型及地下水流模式；而「地下水補注潛勢評估與地下水模式建置」的研究成果對地下水補注區的劃定、補注量的評估、水平衡分析、水質性質與演化及水資源保育管理均有很大的幫助。因此，本計畫擬透過現地試驗及監測、地下水水位歷線分析法、地下水補注潛勢分析及地下水流模式模擬之研究，建立各調查區域之相關基礎數據，作為分析各地下水補注區水文地質的參考依據。

四、研究期程及區域

本計畫係依「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估」，規劃自 98 年度至 101 年度止，預計執行 4 年；完成濁水溪沖積扇、屏東平原地下水區之地下水補注區補注機制及地下水流模式的建立與分析工作。各年度工作規劃如下：98 及 99 年度進行濁水溪沖積扇地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分；100 及 101 年度進行屏東平原地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分。

1.2 計畫區域概述

本計畫規劃自 98 年度至 101 年度止，預計執行 4 年；完成濁水溪沖積扇、屏東平原地下水區之地下水補注區補注機制及地下水流模式的建立與分析工作。預計 98 及 99 年度進行濁水溪沖積扇地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分；100 及 101 年度進行屏東平原地下水區地下水補注機制研究、地下水流模式建立及地下水補注區劃分。由於以往十幾年來「台灣地區地下水觀測站網建置整體計畫」的執行，已有相當豐富的研究與成果，以下將對本年度(99 年度)研究區域，濁水溪沖積扇地下水及水文地質進行摘要描述。

一、區域範圍

濁水溪沖積扇地下水區位於臺灣西部海岸之中段，北起烏溪，南至北港溪南岸，東以八卦台地及斗六丘陵山脊線為界，並沿兩丘陵間之隘口向東擴及竹山、名間一帶，西臨臺灣海峽，面積約 1,800 平方公里。本沖積扇最主要之溪流為濁水溪，其主流發源自中央山脈西翼、合歡山以南與玉山山脈北側之間地區，向西切穿雪山—玉山帶、麓山帶與八卦—斗六丘陵區，在丘陵區西側形成沖積扇系統，主流流經沖積扇之中央，向西注入臺灣海峽。其他位於沖積扇之河川，自北而南尚有舊濁水溪、新虎尾溪、舊虎尾溪及北港溪等。濁水溪沖積扇地勢平緩，高程約介於海拔 0~100 公尺之間。

二、水文地質架構

地調所於 88 年完成臺灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告中，以濁水溪沖積扇 72 站之地層柱狀圖，完成水文地質剖面 1 至 12，深度至 300 公尺左右，及丘陵及河谷區之 8 站地層柱狀圖繪製水文地質剖面 13 至 15，深度約達 250 公尺左右；劃分出濁水溪沖積扇概念分層，包括含水層一(F1)、阻水層一(T1)、含水層二(F2)、阻水層二(T2)、含水層三(F3)、阻水層三(T3)、含水層四(F4)及阻水層四(T4)。上述各分層之垂直示意圖如圖 1.2-1 所示。

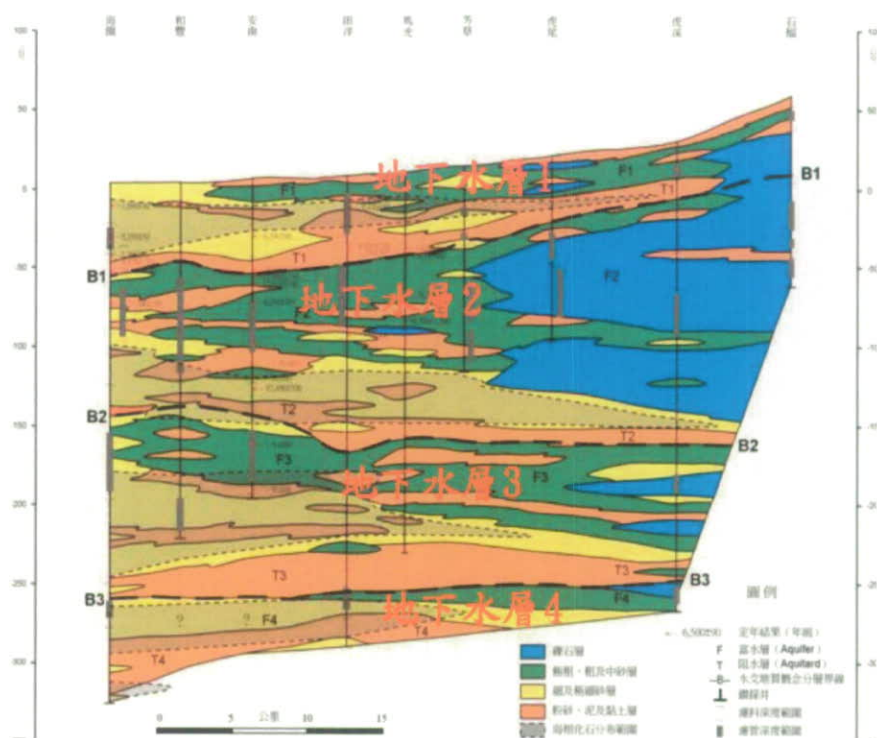


圖 1.2-1 濁水溪海園-石榴水文地質剖面圖

三、地下水觀測

濁水溪沖積扇地區上游河川與相關之地質條件不利建置水庫，仰賴地下水資源比例偏重，所以於第一階段（81 年度至 87 年度）最先實施。目前計有地下水觀測站 82 站（203 口），抽水試驗站 28 站（55 口），水文地質調查站 88 站。圖 1.3-2 為濁水溪沖積扇地下水觀測網分布圖。

四、水文地質參數

濁水溪沖積扇大致可區分為扇頂、扇央及扇尾區，扇頂區位於員林、溪州、西螺、虎溪、東和連線以東，各含水層間無明顯之阻水層存在，地面水可直接補注至深層，即所謂濁水溪沖積扇扇頂非受壓含水層區；扇央區位於扇頂層區以西，至好修、趙甲、潭墘、田洋、北港聯線以東，阻水層一覆於含水層一之上，各含水層間有明顯之阻水層存在，地面水無法直接補注各含水層，唯以地層材料而言，砂礫材料所佔之比例較大；扇尾區位於扇央區以西至沿海，含水層一以上亦有阻水層覆蓋，各含水層間亦如扇央區皆有明顯阻水層存在，唯其地層材料中，砂礫所佔之比例較小，而粉砂、泥、及粘土所佔之比例較大。透水係數 K 介於 10^{-3} ~ 10^{-5} (公尺/秒)之間，導水係數 T 介於 0.01~4.19 平方公尺/分鐘之間，比容量 Q/s 介於 0.34~208.33 立方公尺/小時/公尺，含水層水力特性以扇頂最佳，扇央次之，扇尾最差。

1.3 計畫工作項目及內容

一、98 年度主要工作項目及成果概述如下：

(一)資料蒐集及彙整

本計畫已就濁水溪沖積扇水文地質調查、地質鑽探等資料進行蒐集，完成地下水水位、地下水水質、土地利用、土壤圖、雨量、地表地形及河川水系等資料收集，並彙整國內外地下水補注及保育相關報告與文獻，以作為劃定研究區域重要地下水補注區，及建置地下水流數值模式之參考。

(二)地下水補注潛勢評估作業程序建立

地下水補注潛勢評估作業程序的建立，為本計畫重點工作項目之一，本年度以濁水溪沖積扇為例，參考相關文獻的作法，配合濁水溪沖積扇水文地質特性，選定土地利用、表層土壤種類、河系密度、透水係數、平均年降雨量、降

雨與地下水位變化相關性、單位蓄水量變化等七個因子，為評估濁水溪沖積扇補注潛勢的主要因子。除了作業程序建立外，本年度並初步完成濁水溪沖積扇補注潛勢評估，並進一步進行濁水溪沖積扇補注區的劃分。

(三)地下水水位歷線法電腦作業流程規劃及程式開發

地下水位歷線法可根據地下水位長期變化資料，配合適當的假設，推估出濁水溪沖積扇之補注量與抽水量，而可提供後續建立數值模式的參考，其中補注量更可與前述補注潛勢評估結果互相比較。

本計劃應用 Fortran 電腦程式語言，建立地下水位歷線法模式，以地下水位歷線變動與現地複井抽水試驗獲得之地下水層儲水係數，直接進行抽水量、補注量、蓄水變化量和流失量之評估，所估算之補注量可協助地下水補注潛勢評估作業程序之建立，抽水量則可供濁水溪沖積扇數值模式建置模擬之使用，且藉由電腦程式開發，讓水位歷線法更容易執行計算。

本計劃建立之地下水位歷線法模式可選擇先逐站分析，再進一步累加為全區資訊，或直接以全區之儲蓄水量計算全區之補注量、抽水量與流失量估算。如選擇逐站計算方式，在側向交換量方面，可進一步應用達西公式釐清交換量之大小。濁水溪沖積扇之地下水位歷線法初步分析可得，相較於屏東平原，本區部分扇央與扇尾水井，較難找到退水曲線，顯示本區之抽水行為較為複雜。

(四)地下水補注潛勢評估作業平台規劃與雛型建置

地下水補注潛勢作業平台建置，則以本年度完成之水位歷線法與地下水補注潛勢評估程式為基礎，配合地下水位、雨量、水文地質參數與 GIS 圖層資料庫之建置，完成地下水補注潛勢評估作業平台規劃與雛型建置，藉由此平台建置之完成，可讓地下水補注潛勢評估作業更方便執行。

(五)現地補充調查試驗

複井抽水試驗獲得之儲水係數，水質及地電阻調查，提供更詳細之地下水水質、水位觀測數據及地下水層地電阻剖面，可協助補注潛勢評估及地下水補注區之劃分。

本年度於濁水溪沖積扇荊桐及柑園站鑿建抽水井並進行複井抽水試驗；水質調查於扇頂區 19 口井及 3 處溪水及 1 個雨水樣共 22 個採樣點完成採樣與分析，並於荊桐及柑園站進行水位、水溫及導電度連續監測；地電阻調查於彰化地區補注區邊界完成柑園、溪州、北斗、社頭等 4 條 1~2 公里二維地電阻影像剖面測線。

(六)濁水溪沖積扇地下水主要補注區初步劃分

本項工作延續前述建立之濁水溪沖積扇地下水補注潛勢評估之結果，進一步以補注潛勢分數 40 分為一界限，概略推估出扇頂補注區之範圍，與中央地質調查所地電阻測深法及觀測井資料所推測之補注區界線及本計劃地電阻剖面方法研判之補注區界線範圍結果接近。

(七)濁水溪沖積扇地下水流模式建置

本年度為濁水溪沖積扇地下水數值模式建置之第一年，本計劃採用美國地質調查局(U.S.G.S)發展的 MODFLOW 程式，參考濁水溪沖積扇長期地下水位觀測資料、水文地質架構、水文地質參數及邊界條件的設定等進行穩態模擬模式的檢定與建置。

二、99(本)年度工作內容概述：

(一)修正型地下水水位歷線法模式發展與比較

本工作項目為延續 98 年度地下水水位歷線法之研究成果，再加入側向交換量之考量，重新進行濁水溪沖積扇補注量評估，並與原地下水水位歷線法進行比較。

(二)濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估

應用 98 年度之地下水水位歷線法及本年度完成之修正型程式，配合地下水日水位資料及 98、99 年度現地補充調查試驗所得資料，計算濁水溪沖積扇補注量與抽水量。

(三)地下水補注潛勢評估標準作業程序檢討與修訂

針對 98 年度建立之地下水補注潛勢評估標準作業程序，採用補注量、硝酸鹽濃度及地電阻值等之空間分佈趨勢作為補注潛勢因子權重檢定之指標，由此三項指標與地下水補注潛勢評估之結果相互比較，調整補注潛勢因子之權重，檢討修訂地下水補注潛勢評估標準作業程序。

(四)濁水溪沖積扇地下水流數值模式(MODFLOW)建置與參數檢定

延續 98 年度建置之濁水溪沖積扇穩態地下水數值模式，參考地下水水位歷線法推估之結果，應用優選與人工檢定方式，進行暫態地下水數值模式之建置，以推估整個濁水溪沖積扇之抽水量及包括平面與側向之補注量，並與潛勢評估所得趨勢相互比較。

(五)地下水補注潛勢評估作業平台建置

依 98 年度作業平台雛型建置所得之檢討與建議，將於本年度完成地下水補注潛勢評估作業平台之完整建置，本平台可作為使用者進行地下水補注區劃分之輔助工具。使用者除可利用本平台進行相關補注潛勢評估計算及以視覺展示方式呈現不同區位補注能力強弱，並可選定地下水區，進行區域之補注量與抽水量估計，並展示補注量與抽水量在空間上之分布情形。

(六)現地補充調查試驗

延續 98 年度現地補充調查，以地下水觀測井網現有井為觀測井，預計於六合站，以上部地下水層(F1)為主，鑽鑿抽水井 60 公尺深，埋設 12 吋 PVC 管進行複井抽水試驗以求取儲水係數。水質調查持續監測荊桐及柑園站之水位、水溫、導電度等資料，並進行扇頂區 19 口井地下水、3 處河水、1 個雨水水質與 37 點地面水(導電度量測，其中 10 點化驗離子成份)採樣與分析，持續調查扇頂區污染現況。地電阻調查延續前一年度，預計於濁水溪南岸的雲林地區西螺、九隆、虎尾、溫厝等地下水觀測井附近，進行長距離(1 公里以上)地電阻施測。

三、 預期成果及交付項目

(一)99(本)年度預期成果

- (1). 檢討與修正地下水補注潛勢評估作業程序。
- (2). 完成濁水溪沖積扇地下水區補注量及抽水量推估。
- (3). 完成地下水補注潛勢評估作業平台建置及技術移轉。
- (4). 完成濁水溪沖積扇地下水主要補注區劃分。
- (5). 完成六合及之複井抽水試驗，並取得荊桐及柑園站水位、水溫、導電度監測資料。進行扇頂區 19 口井地下水、3 處河水、1 個雨水水質與 37 點地面水(導電度量測，其中 10 點化驗離子成份)採樣與分析旱雨季各一次。於雲林扇頂區完成西螺、九隆、虎尾、溫厝等地下水觀測井附近地電阻長測線，每條至少 1 公里。
- (6). 完成濁水溪沖積扇暫態地下水數值模式建置。

(二)工作完成交付項目

- (1). 計畫成果報告書 30 本及光碟 30 份。(報告書以 Office Word 格式儲存，圖檔以 jpg 或一般繪圖與影像處理軟體可讀取之儲存格式)。
- (2). 地下水補注潛勢評估作業平台建置。
- (3). 現地補充調查資料光碟 30 份。

- (4). 以水文地質資料為底圖，完成五萬分之一或十萬分之一以行政單位為界限劃分之濁水溪沖積扇地下水主要補注區圖。
- (5). 地下水補注潛勢評估作業平台教育訓練與技術移轉，規劃專業訓練課程之進行方式，除有本計畫人員製作之教材講習，並將以一人一電腦之實際上機實習，以期使業務單位參與人員能了解整體作業流程及作業平台之操作與資料維護。

第二章 資料收集及彙整

本年度計畫主要工作包括濁水溪沖積扇補注潛勢評估、補注量抽水量推估、地下水流數值模式建置乃至於補注潛勢區或補注區之劃設，本章節介紹資料的收集及彙整，其中包括：2.1 節前期相關研究蒐集；2.2 節研究資料之蒐集，介紹本計畫所蒐集之資料概況及來源。2.3 節特別針對地下水位資料品保及品管，介紹本計畫針對地下水位觀測資料缺漏的補遺方法，以及異常水位的處理，以確保分析之品質。2.4 節國內外地下水水資源保護現況，以國外之地下水資源保護區為借鏡，檢討國內目前急需智定地下水資源保護區之評估重點。

2.1 前期相關研究蒐集

本計畫的課題乃是地下水補注，而地下水補注的研究又可分為兩個層次，一個乃是半定量的補注潛勢評估，另一個乃是定量的補注量推估，補注潛勢可用以描述一個地區客觀上是否容易補注，然而實際上仍需有如降雨等補注來源才能產生地下水補注，因此補注潛勢並不直接等同於補注量。在潛勢評估方面，最具代表性乃是以 DRASTIC 為代表的一系列以因子權重分析為基礎的研究，至於補注量的推估方法則不一而足，亦將在本章描述之。

一、DRASTIC

DRASTIC 地下水污染潛勢評估系統是美國水井協會配合美國環保署於 1985 年所提出，原本乃用以評估地區之污染潛勢，計算區域受到污染的可能性大小，高污染潛勢代表該區域客觀上較易受到污染。原 DRASTIC 模式中，乃考慮七項水文地質參數，以評估一地區受污染潛勢之相對大小。由於此七項水文地質參數均可以圖層方式表示，故可結合地理資訊系統(GIS)，將一地區之污染潛勢以圖形顯示。DRASTIC 模式除對一般性污染物提出考慮水文地質參數之權重外，尚針對農業行為提出農業權重。經由 DRASTIC 模式所得之指標值本身並無不是污染發生機會之絕對值，其只在顯示污染潛勢(發生機會)之相對大小。

(一)DRASTIC 之水文地質參數及其評分

上述提到水文地質參數有七項，即為 DRASTIC 名稱命名之由來：地下水位深度(Depth to water, D)、淨補注量(Net recharge, R)、含水層介質(Aquifer media, A)、土壤介質(Soil media, S)、地形坡度(Topography, T)、未飽和層影響(Impact of vadose zone, I)與含水層水力傳導特性(Conductivity of the aquifer, C)。此七項水文地質參數皆可用地圖形式來表現。DRASTIC 系統將考慮之七個水文地質參數分

別轉換成 0~10 分之分數等級。分別說明如下：

(1). D (地下水位深度)

在受壓含水層中，D 值 C 為地面至含水層頂部之深度；在非受壓含水層，D 表示地面至地下水位之深度(圖 2.1-1)。一般而言，D 值愈小，則地下水受污染之可能性愈高，其所對應的分數也較高。可從表 2.1-1 得知在實際應用上，D 值範圍及其對應之分數等級。

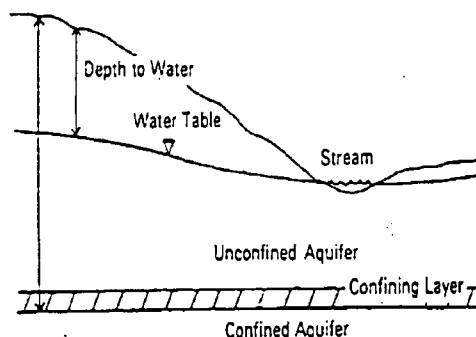


圖 2.1-1 在受壓含水層及非受壓含水層之地下水位深度

(2). R (淨補注量)

污染物質進入地層後，主要係受水之攜帶而移動，故來自地表之補注水量提供了污染物於含水層中傳輸及擴散之能力。其關係可用表 4.1-2 表示。

表 2.1-1 D 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~5	0~1.5	10
5~15	1.5~4.5	9
15~30	4.5~9.0	7
30~50	9.0~15	5
50~75	15~22.5	3
75~100	22.5~30	2
100+	30+	1

表 2.1-2 R 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~2	0~0.6	1
2~4	0.6~1.2	3
4~7	1.2~2.1	6
7~10	2.1~3.0	8
10+	3.0+	9

(3). A (含水層介質)

含水層介質之性質決定地下水於其間的流動能力，更影響到污染物之傳輸及擴散。大體而言，介質之顆粒愈大或裂縫孔隙愈多，則其滲透性佳且遲滯力愈差，污染可能性就愈高。所對應的分數也相對地高。表

2.1-3 表示主要介質種類及其分數等級。

表 2.1-3 A 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (typical Rating)
塊狀頁岩(Massive shale)	1-3	2
變質/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-5	3
風化之變質/火成岩 (Weathered metamorphic/igneous)	3-5	4
薄層砂岩、石灰岩、頁岩層 (Thin bedded sandstone, limestone, shale sequences)	5-9	6
塊狀砂岩(Massive sandstone)	4-9	6
塊狀石灰岩(Massive limestone)	4-9	6
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	9-10	10

(4). S (土壤介質)

S 主要指未飽和層最上部生物作用明顯之部份。在 DRASTIC 系統中，一般可指地表 3 呎(約 1 公尺)以內之表土風化層。S 值對污染潛勢之影響主要決定於粘土種類，膨脹/收縮能力，土壤顆粒大小，以及有機質含量，應用上可利用表 2.1-4，來決定其所對應的分數。

表 2.1-4 S 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
薄或無(Thin or Absent)	10
砂礫(Gravel)	10
砂(Sand)	9
收縮及結塊粘土 (Shrinking and/or Aggregated clay)	7
砂質壤土(Sandy loam)	6
壤土(Loam)	5
坩質壤土(Silty loam)	4
粘質壤土(Clay loam)	3
非收縮及非結塊粘土 (Nonshrinking and nonaggregated clay)	1

(5). T (地形坡度)

地表坡度表污染物將很快為地表逕流所帶走，或能有足夠停留時間以入滲至土層中。入滲機會大，則坡度所導致之污染可能性就高。應用上可利用表 2.1-5，來決定其所對應的分數。

表 2.1-5 T 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
0~2	10
2~6	9
6~12	5
12~18	3
18+	1

(6). I (未飽和層影響)

此處之未飽和層於受壓含水層，其影響包括未飽和層及覆於該含水層以上之飽和層；於非受壓含水層指地下水位以上之未飽和層。生物分解、中和、過濾、化學反應、揮發及延散作用等均是於未飽和層中可能發生之過程。此外，此層並影響到污染物傳輸之時間及量。實際應用可利用表 2.1-6。

表 2.1-6 I 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (Typical Rating)
坩/粘土(Silt/Clay)	1-2	1
頁岩(Shale)	2-5	3
石灰岩(Limestone)	2-7	6
砂岩(Sandstone)	4-8	6
層狀石灰岩、砂岩、頁岩 (Bedded limestone, sandstone, shale)	4-8	6
含坩土及黏土之砂與礫石 (Sand and gravel with significant silt and clay)	4-8	6
變質岩/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-8	4
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	8-10	10

(7). C (含水層水力傳導特性)

透水係數愈大，污染物愈易自污染源被移走，則地下水受污染之潛能愈大，應用上可利用表 2.1-7。

表 2.1-7 C 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
Gpd/ ft ²	Cmd/m ²	
1-100	<4	1
100-300	4-12	2
300-700	12-28	4
700-1000	28-40	6
1000-2000	40-80	8
2000+	80+	10

DRASTIC 系統中除對一般性污染物提出所考慮水文地質參數之一般性權重外，另外農業耕作之施肥及農藥施放方式著重於表土層，對地下水所可造成污染之途徑較明確，故針對農業行為提出農業權重(表 2.1-8)。

表 2.1-8 常用水文地質參數之權重表

水文地質參數	一般權重	農業權重
D (Depth to water table)	5	5
R (Net recharge)	4	4
A (Aquifer media)	3	3
S (Soil media)	2	5
T (Topography)	1	3
I (Impact of vadose zone)	5	4
C (Hydraulic Conductivity of the aquifer)	3	2

(二)DRASTIC 污染評估指標之決定

決定上述七個水文地質參數之分數值(Rating)及權重值(weighting)後，其相應之乘積和即為 DRASTIC 污染評估指標值，如下式所示：

$$DRASTIC = D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r \dots\dots\dots(式 2.1-1)$$

下標 r 代表分數值(Rating)

下標 w 代表權重值(weighting)

前述指標值僅提供地下水污染潛勢間「相對」程度之大小關係，其絕對數值並無意義。

張良正(1999a)曾採用 DRASTIC 模式進行濁水溪沖積扇與屏東平原之地下

水污染潛勢評估，該模式同時考量七項水文地質參數，以評估該地區受污染潛勢之大小。由於 DRASTIC 評估系統中所考慮之水文地質參數有七項，因此將這兩個地區以 2 公里 × 2 公里的格網進行空間切割，並針對這七項參數來給定各格網資料，再參考與修正 DRASTIC 評估系統中所對應之每個參數的權重，經加總後即可得到濁水溪沖積扇及屏東平原每個格網的總分，此分數即代表各網格之污染潛勢，表 2.1-9 至 4.1-15 表為該計畫針對國內資料，重新歸納定義之各參數評分表，各參數之對影響權重則採用表 2.1-8，其中對於一般類評估與農業方面評估有不同之權重數值。各網格之污染潛勢計算如式 2.1-1 所示；之後再利用 MAPINFO 顯示出在這兩個地區的水文地質狀況下，所造成之 DRASTIC 污染潛勢評估指標分佈圖。

表 2.1-9 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地下水位深度評分表

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~5	0~1.5	10
5~15	1.5~4.5	9
15~30	4.5~9.0	7
30~50	9.0~15	5
50~75	15~22.5	3
75~100	22.5~30	2
1	30+	1

表 2.1-10 濁水溪沖積扇及屏東平原地區淨補注量值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~2	0~0.6	1
2~4	0.6~1.2	3
4~7	1.2~2.1	6
7~10	2.1~3.0	8
10+	3.0+	9

表 2.1-11 濁水溪沖積扇及屏東平原地區地形坡度之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 t ng)
0~2	10
2~6	9
6~12	5
12~18	3
18+	1

表 2.1-12 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層介質評分表

含水層介質	分數
礫石層	10
極粗、粗、及中砂層	8
細及極細砂層	5
粉砂、泥及黏土層	2

表 2.1-13 濁水溪沖積扇及屏東平原地區土壤介質評分表

土壤介質	分數
石礫	10
粗砂土、砂土	9
細砂土、壤質粗砂土、壤質砂土	8
壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土	7
極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土	6
壤土	5
粉土、粉質壤土	4
砂質粘壤土	4
粘質壤土、粉質粘壤土	3
粉質粘土	2
粘土	1

表 2.1-14 濁水溪沖積扇及屏東平原地區未飽和層影響評分表

未飽和層介質	分數
礫石層	10
極粗、粗、及中砂層	7
細及極細砂層	4
粉砂、泥及黏土層	1

表 2.1-15 濁水溪沖積扇及屏東平原地區含水層水力傳導特性評分表

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
Gpd/ ft ²	Cmd/m ²	
1-100	<4	1
100-300	4-12	2
300-700	12-28	4
700-1000	28-40	6
1000-2000	40-80	8
2000+	80+	10

二、地下水補注潛勢評估

前述 DRASTIC 雖然原本用以評估地下水之污染潛勢，惟其邏輯分明、架構清楚，可配合地理資訊系統有效率的進行大區域的分析，另外由於基本物理機制的相似，DRASTIC 的分析理念後續被大量應用於補注潛勢評估上，並且被進一步的改善與擴充。

延續 DRASTIC 的精神，Mukherjee (1996)對地下水補注潛勢評估，考量的影響因子包含地形、岩石種類、地質結構、風化程度、裂隙寬度、原生與次生孔隙率、坡度、河系、土地利用、地表覆蓋以及氣候條件等。Jasrotia et al.(2007)利用遙感探測技術(Remote Sensing)與地理資訊系統(Geographic information

system, GIS)等技術,建構一平台做為地下水人工補注潛勢區域(Potential zone for artificial recharge)劃分之用。其劃分依據乃參考兩大類資料進行分析,第一類地表地質相關資料,大部分皆為衛星影像資料處理後得到,包含(1)岩性(Lithology)圖層、(2)地形(Geomorphology)圖層、(3)土地利用/土地覆蓋圖層(Land use/land cover)、(4)水文土壤質地(Hydrologic soil texture)圖層、(5)坡度(Slope);第二類為含水層參數,其來源為現地資料(如抽水試驗),包含(6)季風前後之地下水位深度(Depth to water table)、(7)導水係數(Transmissivity)、(8) 透水係數(Permeability)、(9)儲水係數(Storativity)、(10)井之比容量(Specific capacity, Q/S)及(11)入滲能力。Jasrotia et al. (2007)再將此兩大類資料藉由地理資訊系統(GIS)之空間分析與整合後產出地下水人工補注潛勢區圖層,配合河系網絡(Drainage network)圖層進行套疊,以此作為執行補注地下水之依據,並用以驗證此圖層之正確性。最後Jasrotia 等人進一步將此地下水人工補注潛勢圖層之結果配合地形資料找出最適合補注的場址,並建立一最後圖層作為最終成果之展現。Mondal et al. (2004)提出適用於岩石地形的地下水補注潛勢推估方法,其以降雨與地下水位深度關係得到一相關係數,並考量時間滯延的效應(一個月到四個月的時間滯延),相關係數越大者代表補注潛勢能力越佳,最後再以此地下水補注潛勢推估方法與一已完成地下水補注區劃分之區域進行比較,發現高補注區者其相關係數大於 0.6,中等補注區者其相關係數介於 0.5 到 0.6 之間,低補注區者其相關係數介於 0.4 到 0.5 之間,而補注貧乏的區域其值小於 0.4。Braun et al. (2003)歸納出降雨(Precipitation)、溫度(Temperature)、土壤種類(Soils)、與土地覆蓋(Land cover)等四項影響地下水補注的顯著因子,再利用地理資訊系統(GIS)將上述顯著因子之圖層進行空間分析再產生三張圖層,分別為滲透(Percolation)、地表逕流(Surface runoff)與根域(Root zone)三張圖層,各圖層個別依影響地下水補注潛勢的能力分為一到十分,最後產出的地下水補注潛勢圖乃由此三張圖層的分數加總即可得到,再依此判斷與劃定研究區域之地下水補注潛勢區域。

Shaban et al. (2006)以岩性(Lithology)、河系(Drainage)、線型構造(Lineaments)、土地利用/覆蓋(Land use/Land cover)、岩溶區域(Karstic domains)等五項影響地下水補注潛勢之重要顯著因子評估黎巴嫩沿海喀斯特地形山區之地下水補注潛勢及全區之補注量。Shaban et al. (2006)依照此五個影響因子間的主要影響關係與次要影響關係訂定因子間之權重比例。根據圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖給予判定,如各項因子間存在主要影響關係(實線部份),則給予 1.0 分之權重值;如各項因子間存在次要影響關係(虛線部份),則給予 0.5 分之權重值。之後再將各因子進行分級,各分級皆有其權重分數(Weight),最高為 10 分,最低為 1 分,如表 2.1-16 所示。接著再把之前各因子所代表的權

重比例(Rate)與因子內部之分級所代表權重(Weight)乘積即可得到該因子內部分級對地下水補注潛勢之影響能力，如表 2.1-17 所示。

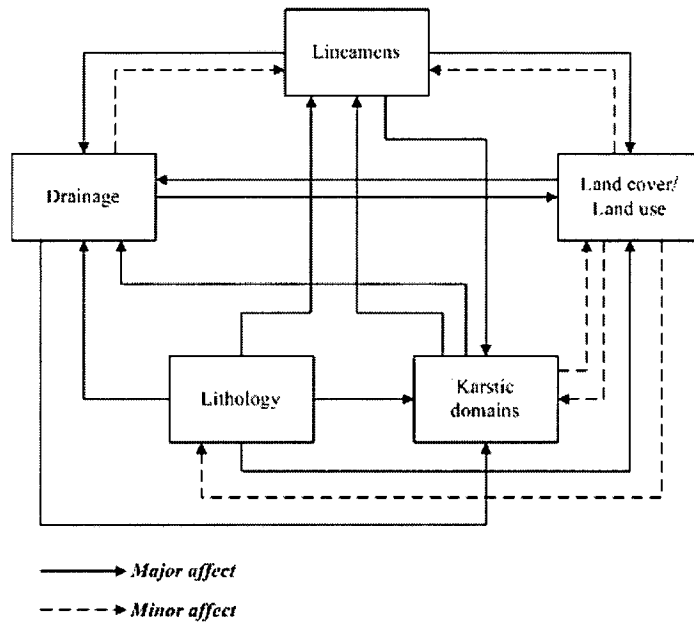


圖 2.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖

表 2.1-16 地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al.,2006)

Factor	Descriptive level	Proposed weight of effect	Domain of effect
Lineaments	Very high	10	>40 (lineament per 25 km ²)
	High	8	35-40
	High-moderate	6.5	30-35
	Moderate	5	25-30
	Non indicative	5	<25
Drainage	High	8	>75 (segment per 25 km ²)
	High-moderate	6.5	75-60
	Moderate	5	60-40
	Moderate-low	3.5	40-30
Lithology	Low	2	<30
	Very high	10	40-50%
	High	8	28-35%
	Moderate	5	10-20%
	Low	2	5-10%
Karst	Very low	1	<5%
	Very high	10	Distinct with lapiez
	High	8	Distinct with sinkholes
	High-moderate	6.5	Developed karst
	Moderate	5	Apparent karst
Land cover/land use	Non indicative	5	No karst
	High-moderate	6.5	Dense vegetation, rural and excavated land
	Moderate	5	Sparse vegetation
	Moderate-low	3.5	Scattered settlements, thin soil cover
	Low	2	Moderately thick soil
	Very low	1	Dense human settlements, compacted soil

表 2.1-17 地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al.,2006)

Factor	Descriptive scale	Weight (a) (1-10)	Rate (b) (1-4)	Weighted rating (a × b)	Total
Lineaments	Very high	10	3	30	104
	High	8		24	
	High-moderate	6.5		20	
	Moderate	5		15	
	Non indicative	5		15	
Drainage	High	8	2.5	20	63
	High-moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Moderate-low	3.5		9	
	Low	2		5	
Lithology	Very high	10	4	40	104
	High	8		32	
	Moderate	5		20	
	Low	2		8	
	Very low	1		4	
Karstic domains	Very high	10	2.5	25	87
	High	8		20	
	High-moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Non indicative	5		13	
Land cover/Land use	High-moderate	6.5	2.5	16	46
	Moderate	5		13	
	Moderate-low	3.5		9	
	Low	2		5	
	Very low	1		3	

Yeh et al. (2008)歸納出岩性(Lithology)、土地利用/覆蓋(Land use/land cover)、線型構造(Lineaments)、河系(Drainage)以及坡度(Slope)等五項影響一完整流域上中下游地下水補注潛勢之重要顯著因子，其因子權重之決定方式與Shaban et al. (2006)近似。另外，Yeh et al. (2008)應用 GIS 軟體將所蒐集的水文及地文資料數位化建立基本資料庫，並針對不同影響因子訂定適當影響分數，最後再利用空間分析功能劃分出研究地區之地下水潛勢補注區。

國內研究方面，江崇榮等人(2005)利用氫、溶氧及硝酸態氮做為地下水之示踪劑，利用三者於水層中之濃度變化進而推估出地下水補注區之分布，其初步研究指出濁水溪沖積扇之主要補注來源，以扇頂為中心，包括八卦台地及斗六丘陵之局部，總面積約 285 平方公里，佔全地下水區面積之 13.7%。

林俊男(2000)考量八個地下水補注潛勢因子，以鄉鎮為單位推估濁水溪沖積扇內各鄉鎮之地下水補注潛勢，其中八個因子包括(1)增加一公尺水頭之補注率(2)地表入滲潛力(3)定水頭邊界流失率(4)土地利用地表透水率(5)平均年降雨量(6)稻作灌溉計畫水量(7)農業用地百分比(8)降雨日數。

張良正(1999b)對屏東平原之地下水補注進行評估與分級，以飽和入滲率與地下水位敏感度之乘積推估地下水補注潛勢並以此結果做為屏東平原區域地下

水補注分級之依據。其中飽和入滲率為利用土壤的空間分佈與土壤屬性資料(土壤分類)求得，將屏東地區各網格之地表土壤飽和入滲率分為三級(如圖 2.1-3 所示)。圖中分別以紅、淡藍、綠代表高、中、低三類土壤飽和入滲分級。進一步藉由 MODFLOW 模式計算屏東地區地下水位對於地表入滲之敏感度，並依此敏感度分析結果配合前述地表土壤飽和入滲率評估區域補注潛勢與分級。其評估方式為將地下水位敏感度之正規化值與前述地表入滲率之分級界限值之乘積，該研究分級的原則如下：

1. 若土壤為低入滲率區，則對系統整體之影響為低。
2. 若土壤為高入滲率區，且其敏感度之正規化值為 0.5 以上，則其對系統之影響視為高。

張良正(1999b)根據上述分級標準將屏東平原之區域補注分為高、中、低三級，依序以紅、淡藍、綠表示之，如圖 2.1.4 所示。

本研究將參考上述文獻評估地下水補注潛勢之方法，進行研究區域之地下水補注潛勢評估；在補注潛勢因子之細部評分上，將參考 DRASTIC 之評分方法，對於補注潛勢因子間對於地下水補注潛勢之影響權重，則參考 Shaban et al.(2006)提出之方法，而在空間分析上則應用 GIS 之空間分析功能，綜合前述地下水補注潛勢影響因子之評分標準，估算研究區域之地下水補注潛勢。

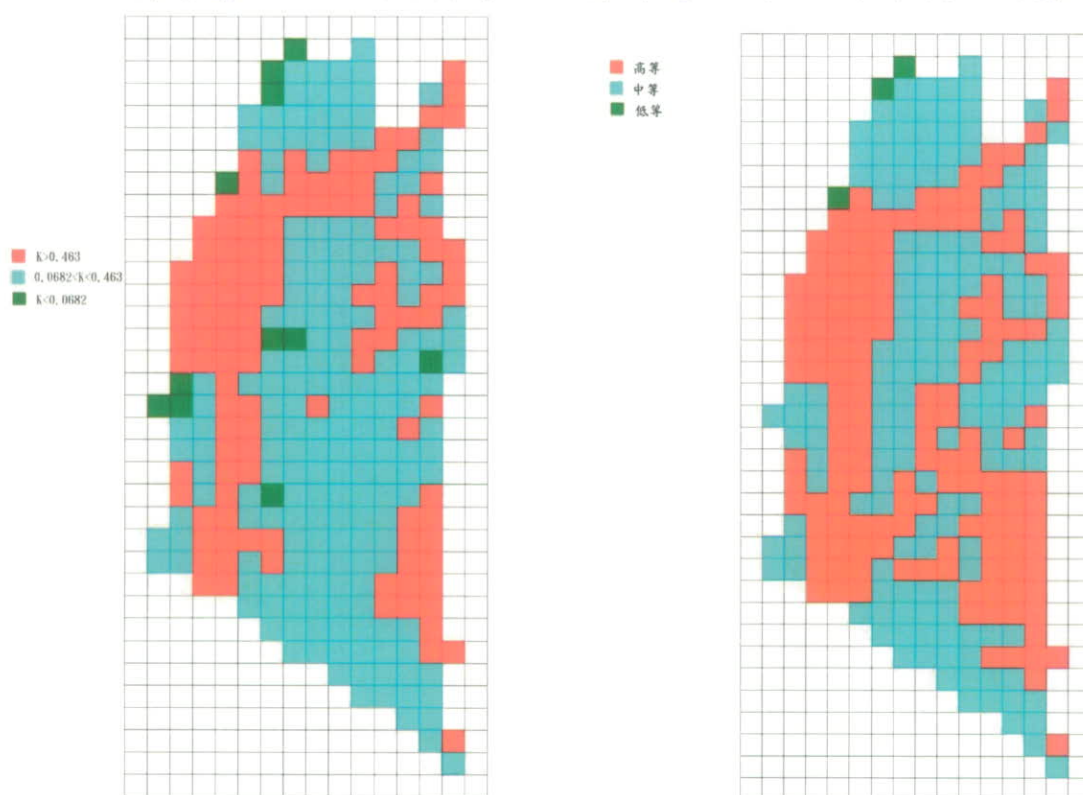


圖 2.1-3 屏東平原入滲潛勢分級區域圖 圖 2.1-4 屏東平原區域補注分級區域圖

三、地下水相關補注區、保護區或管制區劃定

前述地下水補注潛勢之推估，可為進一步地下水補注區、保護區或是管制區劃定的根據。經濟部主辦之「台灣地區地下水觀測網整體計畫」中，於第一期計畫之濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告(1999)及屏東平原水文地質調查研究總報告(2002)中，皆以水文地質剖面分析的方式劃分地下水補注區，該補注區之劃分乃依水文地質構造劃分，而江崇榮、陳瑞娥、賴慈華與黃智昭(2005)利用濁水溪沖積扇地下水區水文地質架構、地下水流系統特徵以及阻水層、地下水氣、溶氧和硝酸態氮濃度分布資料，可劃分出在扇頂附近之上部和中部地下水層之共同補注區，面積約 285 平方公里，如圖 2.1-3 所示。但以上研究皆未考量行政區域管理因素，江崇榮與陳瑞娥(2004)建議當正式劃定保護區時，應由主管機關再確認其實際及可行之範圍，必要時可進行水文地質補充調查，以提高保護區界線之精確度。另外，可參考經濟部水利署於民國 97 年 8 月 6 日公佈的「地下水管制區劃定作業規範」，該規範加入行政區域之考量，其劃定步驟可歸納為下列五大步驟：

1. 劃定檢討線：

以水利署最新版臺灣地下水資源圖之地下水區為基準，輔以中央地質調查所最新地質圖之主要含水層分布區域及最新版臺灣活動斷層分布圖之斷層位置相關資料，綜合評量得到地下水管制區之檢討線。

2. 劃定檢討範圍：

(一)本島地區：檢討線通過之地段，該地段於檢討線內之面積達該地段總面積百分之五十以上者，以該地段在檢討線外之邊界劃定為地下水管制區檢討範圍，未達百分之五十者，則以該地段在檢討線內之邊界劃定為地下水管制區檢討範圍。

(二)離島地區：全部範圍皆定為檢討範圍。

3. 檢討範圍網格化：

將檢討範圍分割為長寬各一公里以下之正方形網格，再採用有參據資料網格之評分數據，經空間內插方法而得其他未有參據資料網格之評分數據。

4. 訂定管制網格：

各網格採用八項因子評分，各項因子最高 100 分，各因子之給分標準在此不贅述，加權總分大於 45 分以上列為管制網格。

表 2.1-18 地下水管制區評估因子權重表

因子名稱	本島權重	離島權重
1.累積下陷量	15%	-
2.地層下陷速率	25%	-
3.地下水位下降幅度	25%	-
4.地下水位低於零水位線面積	15%	-
5.地下水位絕對高程	-	40%
6.地質條件	10%	10%
7.地面高程	10%	-
8.水質條件	-	50%

5. 劃定管制區：

- (一)管制網格面積達其鄉（鎮、市、區）檢討範圍面積百分之八十以上時，以檢討範圍為管制區。
- (二)管制網格面積未達其鄉（鎮、市、區）檢討範圍面積百分之八十時，以管制網格所在地段之外緣邊界為管制區。
- (三)海埔新生地全區域均為管制區。

四、濁水溪沖積扇地下水補注量估計

除了潛勢評估外，本計畫亦將進一步推估濁水溪沖積扇地下水補注量，早期地下水工程處利用達西公式及水平衡法來計算濁水溪沖積扇之補注量。地下水勘測隊(1957)在「大濁水溪沖積扇平原地下水勘查報告」中，計算出本區深層地下水天然補注量約為每年 9.18 億立方公尺。地下水工程處(1973 年)在「濁水溪南岸雲林地區地下水源調查表」計算出該地區地下水的年補注量約為 4.54 億立方公尺。

劉聰桂(1996)根據核爆氙水與碳十四定年，分析水中氙濃度，利用民國四十九年代初期核子試爆使水中之氙含量大於大自然背景值的事實，估算過去數十年地下水補注總量約 9 億立方公尺/年。中興工程顧問公司(1998)以水平衡法推估濁水溪沖積扇自然補注量為 5.25 億立方公尺/年。

劉振宇(1998)採用非飽和層一維長期水文模式，估計濁水溪沖積扇扇央及扇尾地下水的補注量，民國 84 年約 9.3 億立方公尺/年，民國 85 年約 8.9 億立方公尺/年，並根據水利處(1997 年)所推估扇頂垂向補注量的結果，推估整個濁水溪沖積扇在民國 84 年級 85 年垂向補注量約為 10.4 億立方公尺/年與 11.9 億立方公尺/年。

葉文工(1998)以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇補注量約為 8.97 億立方公尺/年；中興工程顧問公司(1998)以 MODFLOW 模擬自然補注量約為 8.2 億立方公尺/年；姜儷安、歐陽湘(1996)以 MODFLOW 地下水程式建立雲林地區三維地下水系統數值模式，模擬自然補注量為 4.66 億立方公尺/年；林再興等(1998)以 MODFLOW 模擬反推彰化地區民國 84 年及 85 年補注量約為 8.07 億立方公尺；土木科技(1997)也以 MODFLOW 模擬雲林地區降雨補注，灌溉補注和河川補注量為 5.32 億立方公尺/年；中興大學(1999)也以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇自然補注量為 8.2 億立方公尺/年，張誠信(1996)以 3DFEWA 模式模擬雲林地區之地下水流，結果顯示地下水年補注量約為 4.88 億立方公尺。

表 2.1-19 濁水溪沖積扇地下水補注量相關研究成果比較表

方法	推算者	範圍	補注量
水平衡法	陳進發(1998)	彰化	4.43 億噸/年
3DFEWA 數值模擬	張誠信(1996)	雲林	4.88 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	林再興(1998)	彰化地區	8.07 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	姜儷安、歐陽湘(1997)	雲林地區	4.66 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	土木科技(1997)	雲林	5.32 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	中興工程(1998)	雲林	5.25 億噸/年
現場調查法	嘉義農專(1991)	濁水溪沖積扇	11.40 億噸/年
碳十四定年與釧示蹤	劉聰桂(1996)	濁水溪沖積扇	9 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	葉文工(1998)	濁水溪沖積扇	8.97 億噸/年
非飽和層一維長期水文模式	劉振宇(1998)	濁水溪沖積扇	10.06 億噸/年 10.48 億噸/年
消退區線位移法基流資料估計法	李振誥(1999)	濁水溪沖積扇	10.5 億噸/年 9.3 億噸/年
一維垂向水平衡法陳尚、李德滋參數	能邦科技(2000)	濁水溪沖積扇	13.8 億噸/年
一維垂向水平衡法大陸水力電力部參數	能邦科技(2000)	濁水溪沖積扇	6.0 億噸/年
MODFLOW 數值模擬	中興工程(2001)	濁水溪沖積扇	8.4 億噸/年
需求推估法	中興工程(2007)	濁水溪沖積扇	8.12 億噸/年
地下水位歷線分析法	江崇榮(2005)	濁水溪沖積扇	12.95 億噸/年
飽和地下水流模式	農業工程研究中心(1989)	濁水溪沖積扇	12.25 億噸/年

資料來源：

1. 中興工程顧問，濁水溪沖積扇地面地下水聯合運用管理模式建立與機制評估，96 年。
2. 江崇榮，黃智昭，陳瑞娥，以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支，94 年。

表 2.1-20 濁水溪沖積扇地下水抽用量相關調查研究彙整

方法	估算者	範圍	抽水量	分析年份
現場調查法	嘉義農專(80年)	彰化地區	12.85 億立方公尺/年	80年
水平衡法	水利處(86年)	彰化地區	7.22 億立方公尺/年 (灌溉入滲:5.5mm/day) 4.31 億立方公尺/年 (灌溉入滲:2.0mm/day)	84年
MODFLOW 數值模擬	林再興(87年)	彰化地區	11.12 億立方公尺/年	84及85 年平均
MODFLOW 數值模擬	中興顧問(90年)	彰化地區	3.40 億立方公尺/年 3.57 億立方公尺/年 3.53 億立方公尺/年 3.67 億立方公尺/年	84年 85年 86年 87年
現場調查法	嘉義農專(78年)	雲林地區	9.86 億立方公尺/年	78年
3DFEWA 數值模擬法	張誠信(85年)	雲林地區	6.6 億立方公尺/年	-
水平衡法	水利處(86年)	雲林地區	6.85 億立方公尺/年 (灌溉入滲:5.5mm/day) 4.28 億立方公尺/年 (灌溉入滲:2.0mm/day)	84年
MODFLOW 數值模擬	中興顧問(90年)	雲林地區	5.50 億立方公尺/年 5.53 億立方公尺/年 5.18 億立方公尺/年 4.61 億立方公尺/年	84年 85年 86年 87年
現場調查法	水資會(81年)	濁水溪沖積扇	21.02 億立方公尺/年	-
2DFEWA 數值模擬	李清水(83年)	濁水溪沖積扇	10.47 億立方公尺/年	-
水平衡法	中興顧問(86年)	濁水溪沖積扇	8.41 億立方公尺/年	84年
MODFLOW 數值模擬	葉文工(87年)	濁水溪沖積扇	10.0 億立方公尺/年	83年及85 年平均
一維垂向水平衡法	張良正(89年)	濁水溪沖積扇	8.75 億立方公尺/年	88年
需求推估法	丁崇峰等(95年)	濁水溪沖積扇	12.13 億立方公尺/年	81年~90 年平均
需求推估法	中興顧問(96年)	濁水溪沖積扇	10.1 億立方公尺/年	84年~94 年平均

資料來源：中興工程顧問，濁水溪沖積扇地面地下水聯合運用管理模式建立與機制評估，96年。

2.2 研究資料蒐集

本計劃為了對濁水溪沖積扇進行補注潛勢評估及補注量推估，蒐集濁水溪沖積扇各項資料，如地下水位、雨量、儲水係數、透水係數、硝酸鹽濃度及 GIS 圖層等相關資料，詳述如下。

一、地下水位、導水係數及透水係數資料

本計劃自臺灣地區地下水觀測網第一期計畫-濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗報告，蒐集位於含水層一(F1)深度內之地下水觀測井共 42 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 2.2-1 所示。其各井空間分佈圖如圖 2.2-1 所示。

表 2.2-1 含水層一(F1)42 口地下水觀測井資料列表

井名	Tmx	Tmy	T(m ² /min)	K(m/min)	蒐集資料區段
洛津(1)	191220	2661365	0.0356	0.00237	1994~2009
線西(1)	195062	2669966	0.2562	0.01278	1994~2009
全興(1)	199630	2674365	0.3325	0.0266	1994~2009
文昌(1)	190120	2656250	0.1488	0.01653	1994~2009
花壇(1)	202725	2658257	0.4113	0.031397	1994~2009
田中(1)	207088	2639188	1.1697	0.00912	1994~2009
二水	210242	2634428	4.18	0.05982	1993~2009
香田(1)	185725	2641405	0.2485	0.016567	1993~2009
田尾(1)	201045	2643280	0.9143	0.041559	1993~2009
合興(1)	194000	2643600	1.5831	0.10554	1993~2009
竹塘(1)	190948	2639823	1.93	0.08658	1992~2009
柑園(1)	201662	2635696	1.861	0.07266	1992~2009
溪州(1)	198371	2639267	0.837	0.0408	1992~2009
竹山(1)	217282	2629020	0.0308	0.0007	1993~2009
鯉魚(1)	213977	2623841	0.0048	0.000091	1992~2009
社寮(1)	220800	2634163	0.0318	0.00151	1994~2009
新民(1)	218500	2634400	0.9864	0.01333	1994~2009
虎溪(1)	199331	2624542	0.2779	0.024275	1994~2009
石榴(1)	206944	2624360	0.02	0.00162	1994~2009
溫厝(1)	199400	2617408	0.1088	0.00546	1994~2009

表 2.2-1 含水層一(F1)42 口地下水觀測井資料列表(續)

井名	Tmx	Tmy	T(m ² /min)	K(m/min)	蒐集資料區段
芳草(1)	185350	2624184	0.3528	0.015	1994~2009
西螺(1)	194891	2632723	1.031	0.03168	1994~2009
九隆(1)	191168	2627781	0.6462	0.04038	1993~2009
宏崙(1)	182680	2620675	0.4168	0.029771	1997~2009
東和(1)	205251	2620504	0.1436	0.004632	1997~2009
炭腳(1)	202021	2612378	0.065	0.00222	1997~2009
古坑(1)	204980	2615932	0.183	0.00324	1997~2009
舊庄(1)	188020	2614870	0.2511	0.011414	1997~2009
六合(1)	204584	2629706	2,775	0.06486	1993~1995,1999~2001,2003~2008
荊桐(1)	197886	2628381	1.3342	0.05448	1997~2009
烏塗(2)	208141	2629528	2.322	0.033	1997~2009
觸口(1)	212782	2629816	0.0952	0.00105	1997~2009
坪頂(1)	212545	2628234	0.0018	0.000017	1997~2009
豐榮(1)	178954	2632222	0.625	0.02046	1997~2009
田洋(1)	178717	2624989	0.9097	0.031369	1997~2009
海園(1)	165467	2624551	0.1543	0.00448	1997~2009
箔子(1)	162598	2614898	0.299	0.01302	1997~2009
明德(1)	167485	2617020	0.0962	0.004373	1997~2009
東光(1)	174905	2616870	0.3785	0.025233	1997~2009
三和(1)	196915	2611594	0.436	0.0291	1997~2009
東榮(1)	191545	2606340	0.0045	0.0003	1997~2009
安和(1)	178980	2601660	0.0672	0.00448	1997~2009



圖 2.2-1、含水層一(F1)42 口地下水觀測井分布圖

二、儲水係數資料

本計劃參考江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2005)央地質調查所彙刊第十九號，濁水溪沖積扇複井抽水試驗之實測儲水係數，以及 98 年度柑園(1)及荊桐(1)所進行之複井抽水試驗分析結果，共 10 口井，如表 2.2-2 所示。其中荊桐(1)在過去文獻中皆把該井視為非受壓井，但其儲水係數實測值落在受壓含水層之範圍內，再參考本年度地電阻調查結果(詳見第六章)，該井應視為受壓井。

表 2.2-2、濁水溪沖積扇複井抽水試驗實測儲水係數

井名	Tmx	Tmy	儲水係數
線西(1)	195060	2669970	0.00448
合興(1)	194000	2643600	0.225
溪洲(1)	198370	2639270	0.216
柑園(1)	201660	2635700	*0.120
二水	210240	2634430	0.199
海園(1)	165470	2624550	0.000191
田洋(1)	178720	2624990	0.00188
荊桐(1)	197890	2628380	*0.0007074
烏塗(2)	208140	2629530	0.152
東光(1)	174905	2616870	0.289
*柑園(1)與荊桐(1)為 98 年度計畫抽水試驗之分析結果。			

三、雨量資料

中央氣象局及經濟部水利署於濁水溪沖積扇設有許多雨量站，可提供詳細的降雨資料。其中中央氣象局於彰化縣、雲林縣、南投縣及嘉義縣北端共有雨量站約 84 站，本計劃蒐集位於濁水溪沖積扇及上游山區其中 40 站資料，如表 2.2-3 所示；經濟部水利署於濁水溪沖積扇共有 25 站，如表 2.2-4 所示，其相關位置圖如圖 2.2-2 及圖 2.2-3 所示。

表 2.2-3 本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊

站名	縣市	Tmx	Tmy	蒐集資料區段
昆陽	彰化縣	276965	2668682	1993~2009
彰化	彰化縣	203932	2664054	1992~2009
員林	彰化縣	207023	2649370	1993~2009
下水埔	彰化縣	205877	2635130	1992~2009
中西	彰化縣	183183	2642354	1992~2009

表 2.2-3、本計劃蒐集中央氣象局雨量站資訊(續)

站名	縣市	Tmx	Tmy	蒐集資料區段
台西	彰化縣	175837	2638698	1993~2009
鹿港	彰化縣	191248	2663701	1993~2009
溪湖	彰化縣	196138	2649622	1992~2009
草湖	彰化縣	185908	2650925	1992~2009
溪州	彰化縣	197851	2638540	1992~2009
西螺	雲林縣	193390	2633727	1992~2009
後安寮	雲林縣	171019	2632140	1993~2009
崙背	雲林縣	179748	2628372	1993~2009
虎尾	雲林縣	192135	2624318	1993~2009
土庫	雲林縣	186937	2620864	1993~2009
褒忠	雲林縣	178588	2622748	1993~2009
四湖	雲林縣	170129	2614424	1993~2009
誼梧	雲林縣	164687	2604794	1993~2003,2006~2009
北港	雲林縣	177181	2607680	1993~2009
草嶺	雲林縣	217879	2610488	1992~2009
大埔	雲林縣	208907	2615586	1993~2009
斗六	雲林縣	199834	2622721	1993~2009
阿丹	雲林縣	199362	2617462	1993~2009
廬山	南投縣	267631	2658945	1993~2008
萬大	南投縣	262579	2653003	1992~2008
武界	南投縣	254497	2645615	1992~2008
文文社	南投縣	251302	2635862	1992~2008
卡奈托灣	南投縣	258127	2628051	1997~2005
丹大	南投縣	263535	2627993	1992~2004
青雲	南投縣	243999	2633002	1993~2008
龍神橋	南投縣	236100	2630885	1993~2008
望鄉	南投縣	240079	2613101	1992~2008
信義	南投縣	233965	2620889	1992~2008
溪頭	南投縣	229513	2617757	1992~2008
和社	南投縣	237837	2609934	1992~2008
集集	南投縣	226256	2636066	1993~2008
鳳凰	南投縣	227484	2625143	1992~2008
大鞍	南投縣	224671	2619672	1992~2008
竹山	南投縣	217156	2629039	1992~2008
桶頭	南投縣	213838	2615696	1992~2008

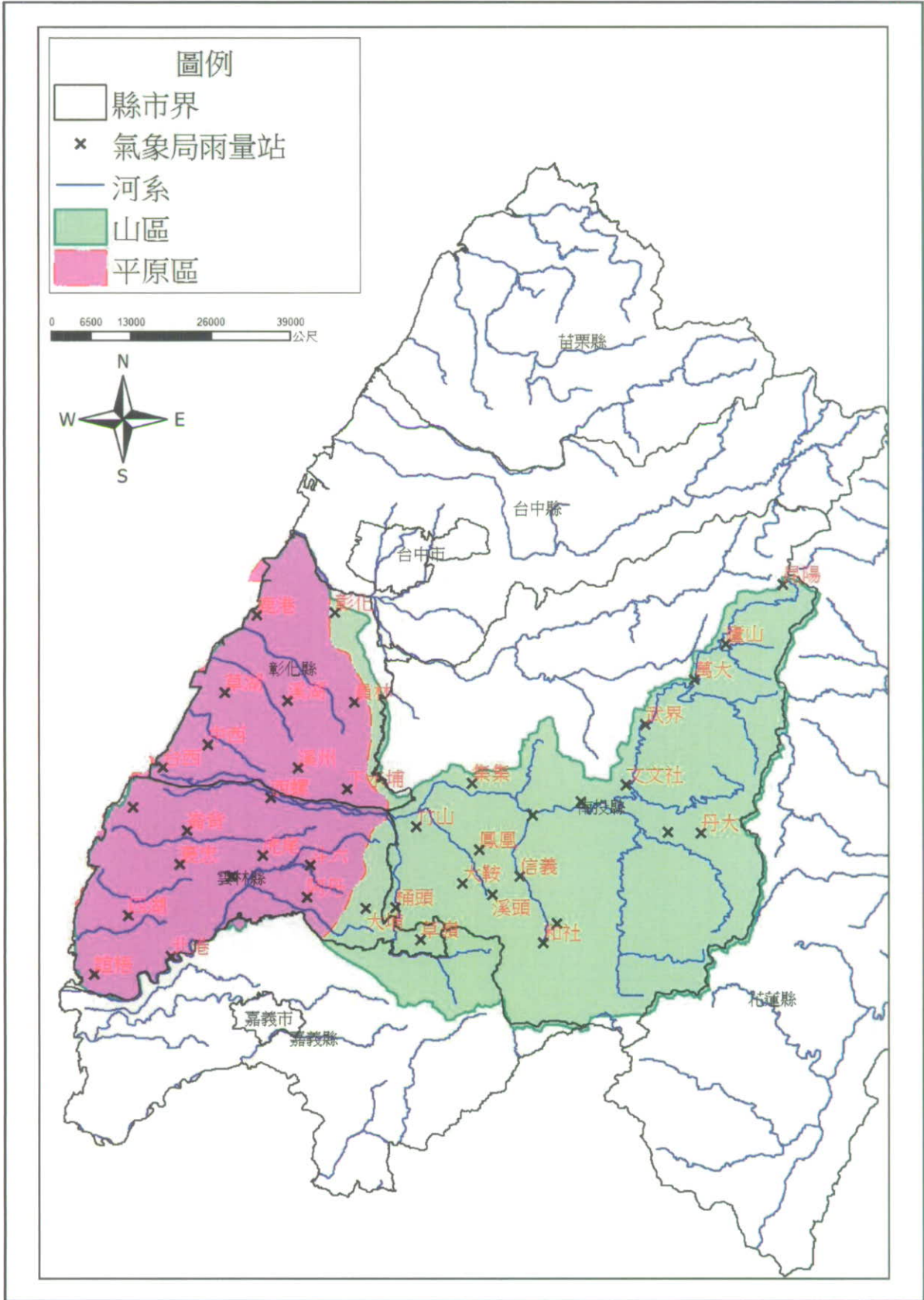


圖 2.2-2 中央氣象局雨量站位置圖

表 2.2-4 本計劃蒐集經濟部水利署雨量站資訊

站名	縣市	Tmx	Tmy	蒐集資料區間
頭汙	彰化縣	196708	2664771	1990~2009
萬興(2)	彰化縣	189832	2650413	1990~2009
鹿港(2)	彰化縣	192167	2672633	1990~2007
六分寮	南投縣	212320	2647102	1990~2009
龍神橋	南投縣	236093	2630868	1990~2009
集集(2)	南投縣	226238	2636009	1990~2009
桶頭(2)	南投縣	214240	2615918	1990~2009
翠峰	南投縣	269429	2667093	1990~2006,2008~2009
望鄉	南投縣	241806	2613068	1990~2009
東埔	南投縣	241857	2606707	1990~2009
卡奈托灣(2)	南投縣	258508	2627420	1990~2009
關門	南投縣	267433	2624888	1990~2009
西巒	南投縣	240774	2623180	1990~2009
內茅埔(2)	南投縣	234059	2620973	1990~2009
大埔	雲林縣	209931	2614352	1990~2009
草嶺(2)	雲林縣	218105	2609212	1990~2009
北港(2)	雲林縣	177912	2608667	1990~2009
西螺(2)	雲林縣	194639	2633240	1990~2009
林內(1)	雲林縣	209670	2628180	1990~2009
褒忠(2)	雲林縣	178913	2622300	1990~2009
塭港	嘉義縣	161875	2596425	1990~2005,2007
溪口(3)	嘉義縣	187931	2609686	1990~2009
中坑(3)	嘉義縣	200270	2607743	1990~2009
樟腦寮(2)	嘉義縣	208592	2603575	1990~2009
新高口	嘉義縣	233701	2596708	1990~2009

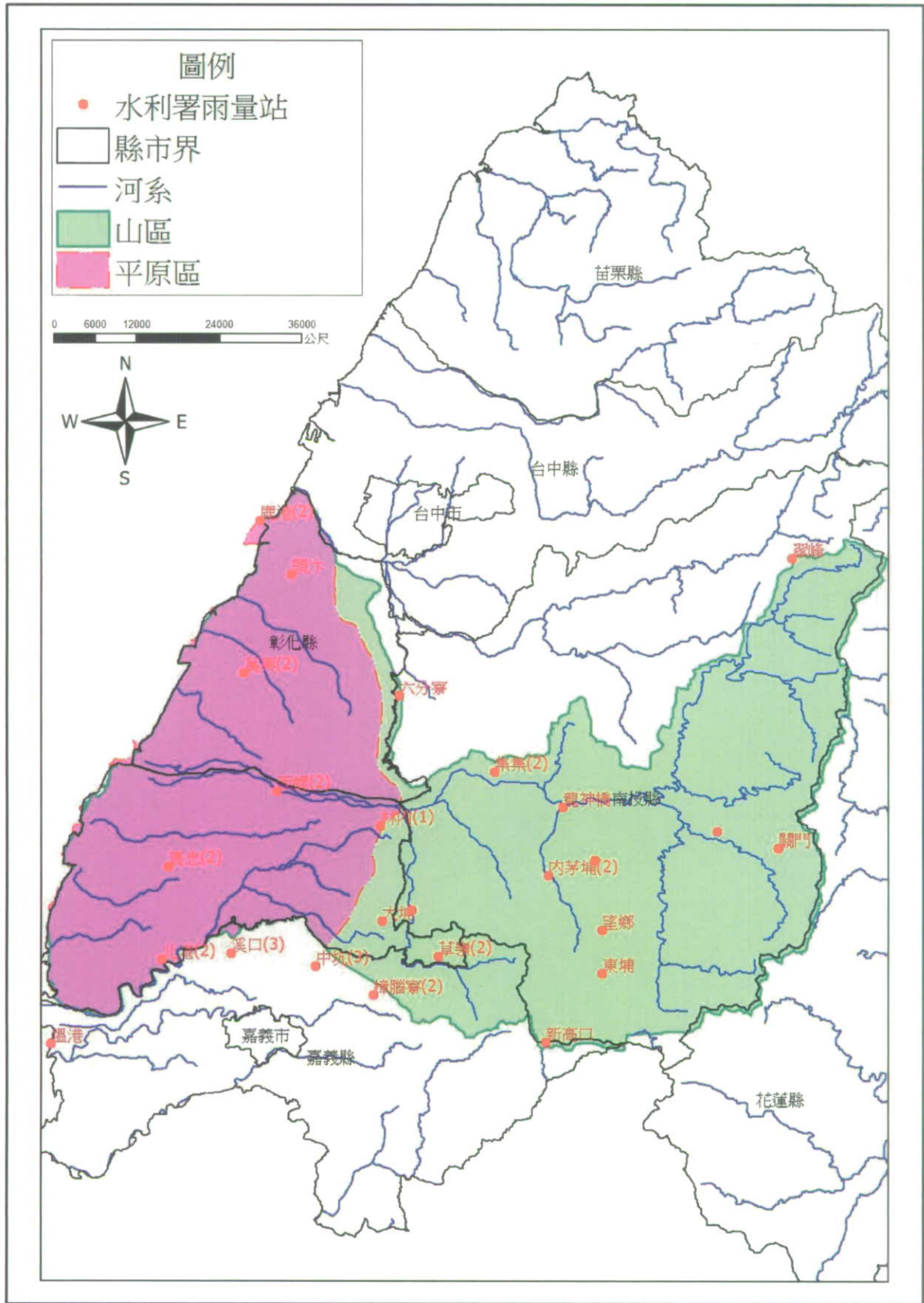


圖 2.2-3 水利署雨量站位置圖

四、GIS 圖層資料

本計劃進行濁水溪沖積扇補注潛勢評估，需大量地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)圖資，除研究之地下水區基本圖資外，尚需依考量之補注潛勢因子蒐集對應之 GIS 圖資，部分點位資料也藉由內插至各網格製作成圖面之 GIS 圖資，本計劃蒐集之圖資來源如表 2.2-5 所示。

表 2.2-5 本計畫蒐集圖資資訊

圖層	圖資來源	數據來源
土地利用	內政部國土測繪中心(2007 年)	內政部國土測繪中心(2007 年)
表層土壤種類	行政院農業委員會農業試驗所(1997 年)	行政院農業委員會農業試驗所(1997 年)
降雨與地下水位相關性	本計劃製作	降雨量：中央氣象局、經濟部水利署 地下水位：經濟部水利署
平均年降雨量	本計劃製作	中央氣象局、經濟部水利署
單位蓄水量變化	本計劃製作	地下水位：經濟部水利署 儲水係數：中央地質調查所彙刊第十九號 P.68、69，本計劃 98、99 年度現地試驗分析結果
透水係數	本計劃製作	K 值：台灣地區地下水觀測網第一期計畫-濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗報告
河系密度	經濟部水利署	經濟部水利署
硝酸鹽濃度	本計劃製作	經濟部水利署

2.3 地下水位資料品保及品管

2.3.1 地下水位資料缺漏及補遺

本年度將資料由 1997 至 2009 年的資料進行檢驗時，發現濁水溪沖積扇各觀測站淺層水井在 1997、2004 及 2005 普遍有長時間且連續短缺資料的情況，如表 2.3-1 所示，表中依扇尾、扇央和扇頂位置呈現各年缺漏百分比，可知 1997、2004 及 2005 年的缺漏百分比大約在 25%以上，若直接使用原始資料進行分析，易因資料連續性不足造成分析結果誤差過大，故將分析年份縮短為 1998 至 2003 年與 2006 至 2009 年，本計畫進一步將各井缺漏資料的時間以年代分佈

圖呈現(圖 2.3-1)，其中縱軸表示水井名稱、橫軸表示年份，而有顏色的色塊表示該井資料缺漏所對應之時段，此資料缺漏年份分布圖，可明白顯示出 2004 及 2005 年有大量的資料缺漏。

表 2.3-1 1997-2005 年地下水位原始資料缺漏統計表

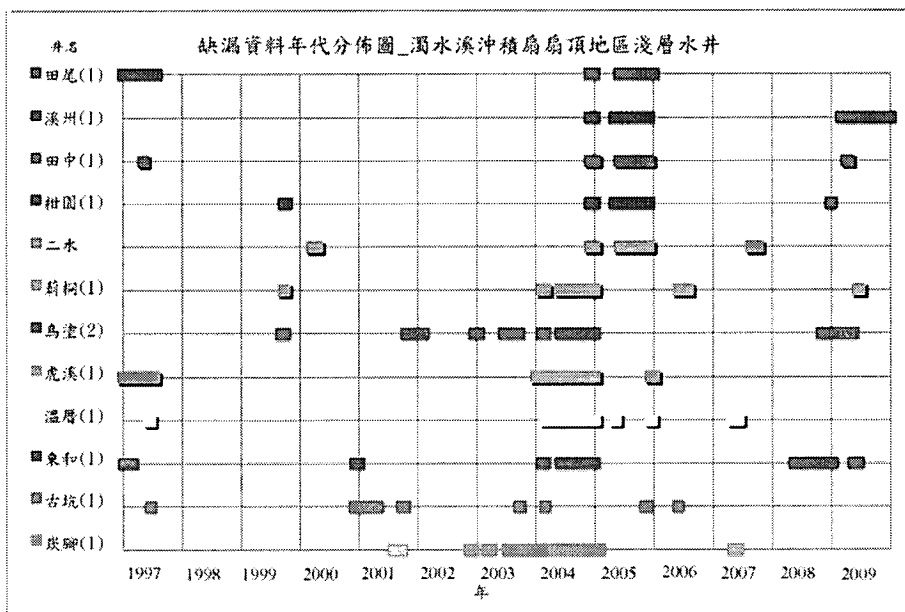
年份	扇尾	扇央	扇頂
1997	29.38%	33.26%	10.91%
1998	0.03%	0.00%	0.00%
1999	0.00%	0.02%	1.05%
2000	0.03%	0.27%	2.05%
2001	0.37%	1.12%	2.88%
2002	0.12%	0.82%	0.00%
2003	0.43%	1.00%	4.32%
2004	41.07%	38.40%	38.81%
2005	28.49%	23.29%	25.11%
2006	1.71%	0.00%	0.80%
2007	0.16%	0.00%	1.96%
2008	7.49%	5.05%	5.27%
2009	4.02%	0.00%	2.59%

表 2.3-2 1997-2009 年地下水位原始資料缺漏時段分類列表

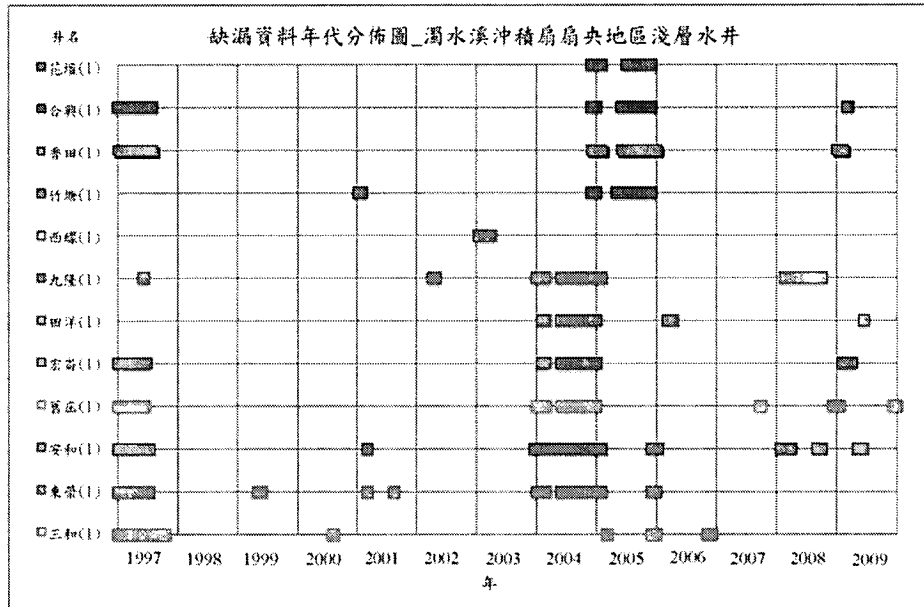
分區	井名	≤10 天	>10 天	缺漏日期及時段
扇尾	洛津(1)	3		1998/4/28、2001/4/29、2001/6/17
	豐榮(1)	2	3	2000/2/2
	海園(1)	1		2002/2/2~2002/2/4、2008/8/1~2008/8/17
	明德(1)		4	2003/3/11~2003/3/24、2008/8/8~2008/9/3、2008/9/5~2008/10/2、 2008/11/19~2008/12/3
	東光(1)	1		2001/3/1~2001/3/10
	箔子(1)			2008/5/19~2008/8/7
扇央	竹塘(1)		1	2001/1/8~2001/1/30、2004/12/1~2004/12~31、2005/5/1~2005/11/30
	西螺(1)		2	2003/1/14~2003/1/31、2003/3/7~2003/3/30
	九隆(1)	3	8	2002/3/26~2002/3/31、2002/4/7~2002/4/30、2002/5/26~2002/5/31、 2008/2/19~2008/3/14、2008/3/14~2008/4/28、2008/5/9~2008/6/11、 2008/6/14~2008/7/23、2008/7/25~2008/8/13、2008/8/15~2008/8/19、 2008/8/20~2008/9/18、2008/9/20~2008/10/2
	安和(1)	4	6	1999/5/28、2001/3/1~2001/3/10、2003/12/20、2003/12/23、 2006/1/1~2006/1/10、2008/1/24~2008/1/31、2008/2/2~2008/3/1、 2008/3/4~2008/3/31、2008/9/3~2008/9/30、2009/5/7~2009/6/11
	東榮(1)	2		2001/3/1~2001/3/10、2001/8/14~2001/8/19
	三和(1)		2	2000/7/31~2000/8/11、2006/11/2~2006/12/4
	合興(1)	1		2009/3/5~2009/3/12
	香田(1)	1	1	2008/12/31、2009/1/1~2009/2/4
	田洋(1)	1	1	2006/3/11~2006/4/11、2009/6/14~2009/6/15
	宏崙(1)		1	2009/2/7~2009/4/1
扇頂	舊庄(1)	2	2	2007/9/20、2007/9/28~2007/10/3、2008/12/7~2009/1/20、 2009/12/9~2009/12/31
	柑園(1)	1	1	1999/9/22~1999/10/11、2008/12/23~2008/12/31
	二水		2	2000/3/15~2000/4/19、2007/8/21~2007/8/31、2007/10/1~2007//10/5
	烏塗(2)	1	6	1999/9/5~1999/9/30、2003/1/13、2003/6/18~2003/7/8、2003/9/9~2003/9/21、 2008/11/1~2008/11/10、2008/11/12~2008/12/18、2009/2/13~2009/3/23
	東和(1)	1	8	2000/12/8~2000/12/31、2008/5/13~2008/6/10、2008/6/12~2008/7/13、 2008/7/15~2008/8/7、2008/8/9~2008/9/8、2008/9/10~2008/10/2、 2008/11/6~2008/12/10、2009/1/1~2009/1/6、2009/5/14~2009/6/15
古坑(1)	3	4	2000/12/2~2001/2/17、2000/12/2~2001/2/17、2001/4/3~2001/4/30、 2001/9/26~2001/10/2、2001/10/5~2001/10/14、2003/9/18~2003/9/29、 2006/5/30	

炭腳(1)	1	6	2001/8/3~2001/8/28、2001/9/21~2001/9/27、2003/3/1~2003/3/30、 2003/7/10~2003/9/19、2003/9/21~2003/10/13、2003/10/15~2003/10/31、 2007/5/3~2007/6/6
溪州(1)		1	2009/3/1~2009/12/31
田中(1)		1	2009/4/1~2009/4/12
荊桐(1)			2006/6/1~2006/7/30、2009/6/9~2009/6/22
溫厝(1)			2007/5/3~2007/6/6

(a)



(b)



(c)

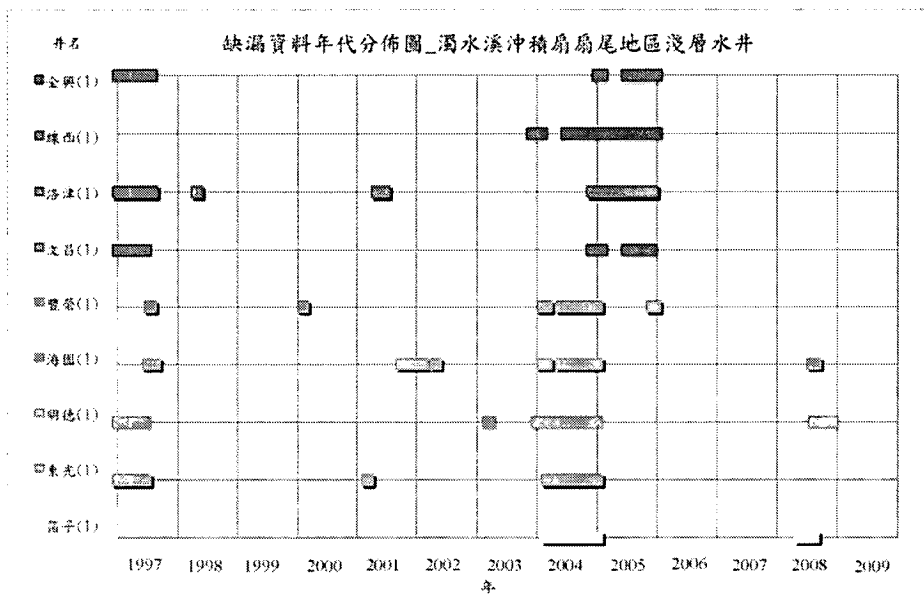


圖 2.3-1 地下水位缺漏資料年代分佈圖：(a)扇頂區；(b)扇央區；(c)扇尾區

經過前述缺漏統計後，將缺漏資料的天數區分為兩類，並以不同方法進行補遺，分別為：(1)連續缺漏未達 10 天；(2)連續缺漏超過 10 天，如表 2.3-2 所示。此表將濁水溪沖積扇的觀測井區分為扇頂、扇央和扇尾，各井之缺漏日期及時段詳列於表中。

分別針對此兩類缺漏進行補遺的情形，說明如下：

- (1) 資料連續缺漏未達 10 天：缺漏時段內各點資料以該缺漏段兩端點之資料為準，再以線性內插進行補遺，如圖 2.3-2 所示。
- (2) 資料連續缺漏超過 10 天：本年度為資料連續缺漏超過 10 天訂定一標準作業程序，如圖 2.3-3。先將資料篩選，去除可信度較低的資料點，如圖 2.3-4 崁腳(1)所示。再與該觀測井同站但不同層之觀測井，或與該觀測井同層之不同相鄰站井進行配對，計算兩兩觀測井觀測資料數列之相關係數如表 2.3-3 所示，藉由相關係數找出水位變化最相近之觀測井，再由線性迴歸方程式進行補遺，如式 2.3-1。

$$x'_j = a'_i x'_i + b'_i \dots\dots\dots (式 2.3-1)$$

線性迴歸方程式(式 1)進行缺漏資料之補遺，其中 x'_j 代表第 j 口觀測井於 t 時刻之觀測資料， x'_i 代表第 i 口觀測井於相同時刻之觀測資料， a'_i 與 b'_i 為兩觀測井間的線性迴歸參數，其可藉由線性迴歸工具求得。

若發現線性迴歸補遺後之水位歷線有不平順的連結，則由兩點內插進行補遺，使得水位歷線不會有驟升或驟降的情況產生，如圖 2.3-4 所示。圖 2.3-5(a)顯示柑園(1)為線性迴歸補遺後之水位歷線，紅色圓圈部分為補遺段，該區段兩端點與原始水位連結處產生不平順的情況，此時使用兩端內插的方法，使補遺資料能夠平順且圓滑的呈現，如圖 2.3-5 (b) 所示。

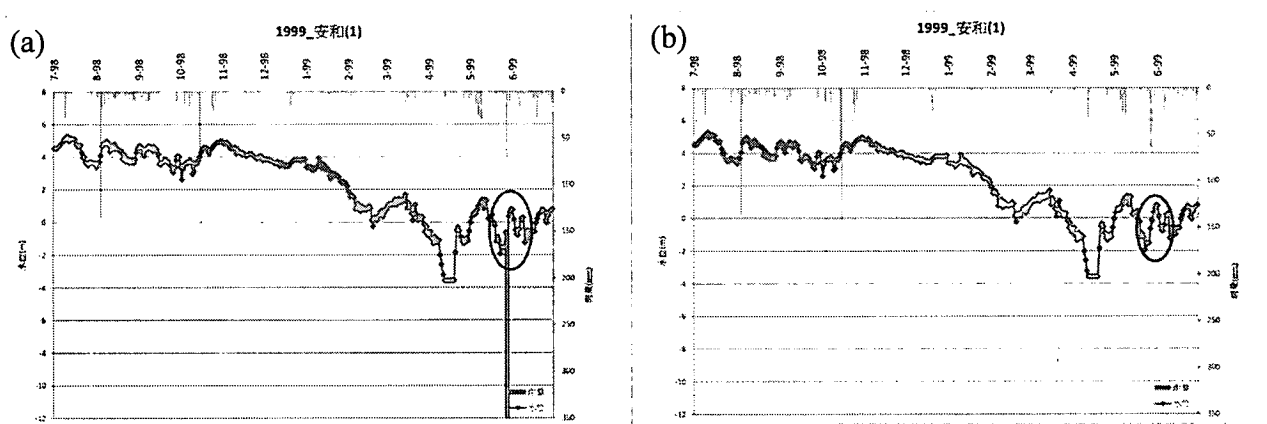


圖 2.3-2 地下水位資料缺漏未達 10 天以缺漏段兩端點為準以線性內插進行補遺，以安和(1)為例：(a)補遺前；(b)補遺後

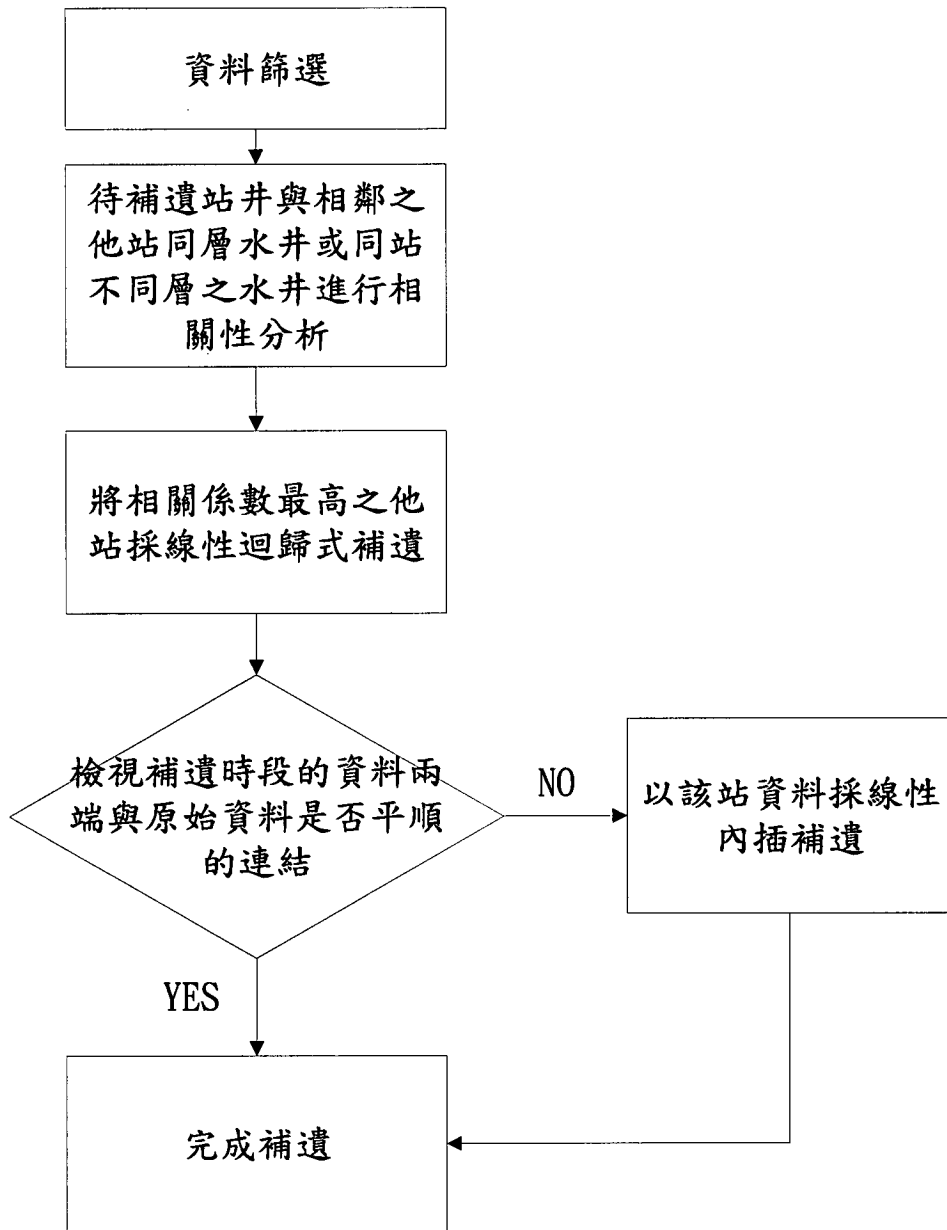


圖 2.3-3 地下水位資料連續缺漏超過 10 天之補遺標準作業程序

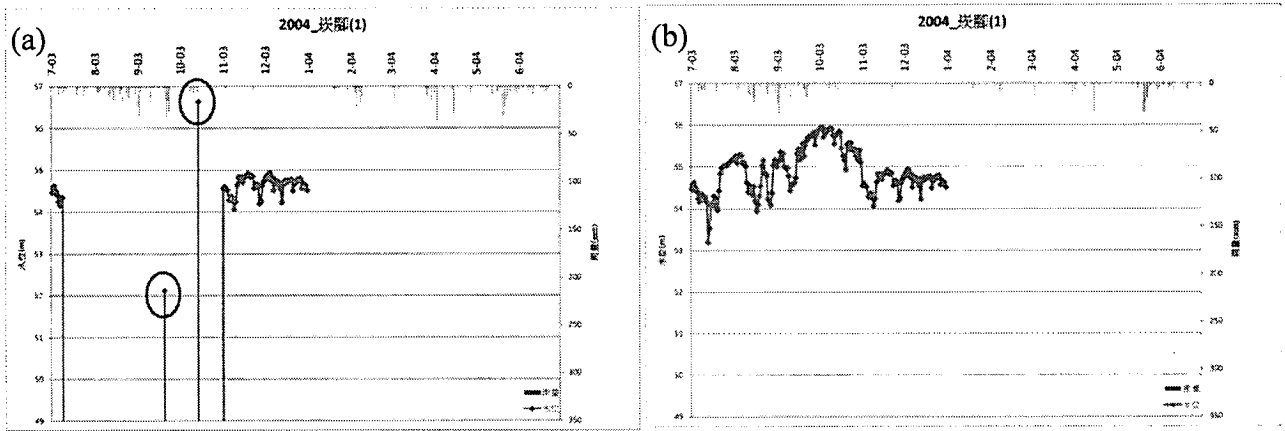


圖 2.3-4 篩選可信度較低的資料點後再以線性迴歸進行補遺：(a)原始水位；(b)線性迴歸補遺後水位

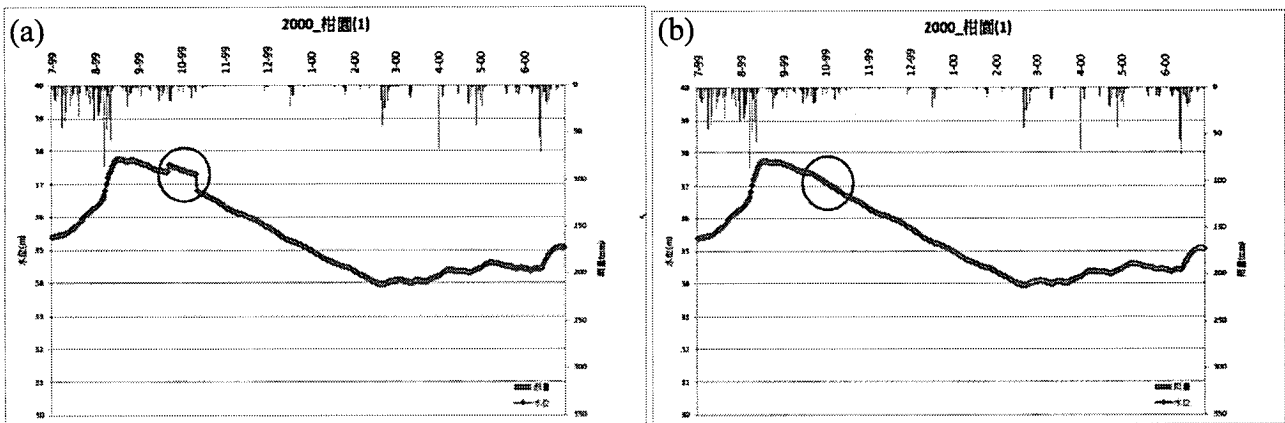


圖 2.3-5 依標準作業流程之水井補遺結果，以柑園(1)為例分別用：(a)線性迴歸補遺；(b)以缺漏段兩端點資料為準進行線性內插補遺

表 2.3-3 缺漏超過 10 天之觀測井與鄰近其他水井時序資料之間的相關係數列表

待補遺觀測井 井號	井名	相關係數最高		同站其他水井		同站其他水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井		鄰近水井	
		井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數	井名	相關係數
07180111	二水	烏塗(2)	0.976352			田中(1)	0.975604	烏塗(2)	0.976352	柑園(1)	0.972794				
07250111	竹塘(1)	合興(1)	0.846216	竹塘(2)	0.72928	合興(1)	0.846216	溪州(1)	0.819868	西螺(1)	0.492003	香田(1)	0.827886		
07260111	柑園(1)	柑園(2)	0.991593	柑園(2)	0.991593	田中(1)	0.973143	二水	0.972794	烏塗(2)	0.963177	虎溪(1)	0.436171	荊桐(1)	0.928577
09040111	西螺(1)	荊桐(1)	0.902215	西螺(2)	-0.0134	竹塘(1)	0.491801	溪州(1)	0.765785	荊桐(1)	0.851362	荊桐(1)	0.902215	九隆(1)	0.685774
09040211	九隆(1)	九隆(2)	0.83582	九隆(2)	0.83582	虎溪(1)	0.456279	荊桐(1)	0.782093	西螺(1)	0.685774				
09070111	東和(1)	古坑(1)	0.96039	東和(2)	0.876747	古坑(1)	0.96039	溫厝(1)	-0.00464	虎溪(1)	0.426714	烏塗(2)	0.727124		
09070211	崁腳(1)	崁腳(2)	0.90013	崁腳(2)	0.90013	古坑(1)	0.428513	溫厝(1)	-0.04812	三和(1)	0.400957				
09070311	古坑(1)	東和(1)	0.96729			東和(1)	0.96729	溫厝(1)	0.024459	崁腳(1)	0.246554				
09100121	烏塗(2)	二水	0.976352			二水	0.976352	柑園(1)	0.963177	荊桐(1)	0.930049	虎溪(1)	0.44972	東和(1)	0.727124
09180311	明德(1)	明德(3)	0.98645	明德(2)	0.970174	明德(3)	0.98645	箔子(1)	0.683354	海園(1)	0.631787				
10040111	三和(1)	舊庄(1)	0.153422	三和(1)	0.093929	溫厝(1)	0.090817	古坑(1)	0.091248	東榮(1)	0.136586	舊庄(1)	0.153422		
10070111	安和(1)	東光(1)	0.821339			東榮(1)	0.718635	舊庄(1)	0.560254	東光(1)	0.821339	明德(1)	0.686878	箔子(1)	0.53269

2.3.2 地下水位資料異常及處理

本計畫整理了濁水溪沖積扇淺層水井 1998 年至 2009 年的水位資料，經過前一節所述資料補遺，再次檢視各井之水位歷線圖，可發現某些時段水位的異常突生或突降，並不符合整體連續變化之趨勢，檢討其原因可能為以下兩類：(1)地震引起之水位變化；(2)儀器校調之偏差。以下表列本計畫整理之異常時段：

表 2.3-4 濁水溪沖積扇淺層地下水觀測井水位之異常時段列表

推測之異常原因	井名	異常水位之時段
地震引起之水位變化	西螺(1)	1999/0921~1999/10/01
	荊桐(1)	1999/0921~1999/10/01
儀器校調之偏差	海園(1)	2001/10/01~2001/11/30、2006/5/14~2006/5/24、 2006/7/10~2006/8/3、2009/4/10~2009/4/18
	東榮(1)	1999/01/01~1999/01/05、1999/01/07~1999/02/02、 1999/02/03~1999/03/01、1999/05/01~1999/06/01
	虎溪(1)	2001/10/01~2001/12/15
	烏塗(2)	2001/10/24~2002/02/28、2002/12/16~2003/01/13
	崁腳(1)	2002/11/14~2002/12/4
	田中(1)	2007/9/8~2007/9/24、2009/2/4~2009/2/11
	柑園(1)	2007/7/29~2007/9/5、2008/12/18~2009/2/9
	荊桐(1)	2006/8/18~2006/10/30
	田洋(1)	2005/7/4~2005/8/1
	東和(1)	2007/12/7~2007/12/13、2008/12/11~2008/12/24

第一類水位異常的原因，推測是由於地震引起之水位變化，例如：西螺(1)和荊桐(1)於 1999 年 921 地震引起之水位上升，約經過 10 天過後降回合理之水位範圍內，其水位上升原因與含水層補注並無直接關連，且考量其變化無關於水位變化的長期趨勢，所以不宜納入分析，故本計畫處理此類異常水位時，將該時段之資料扣除其上升量，使異常時段之水位向下平移，如圖 2.3-6 及圖 2.3-7 所示。若其他相關研究中需考慮短期水位變化，則地震造成之水位影響，即屬於不可忽略之重要現象，因此本計畫中此類異常之水位變化反而成為必要之資訊。

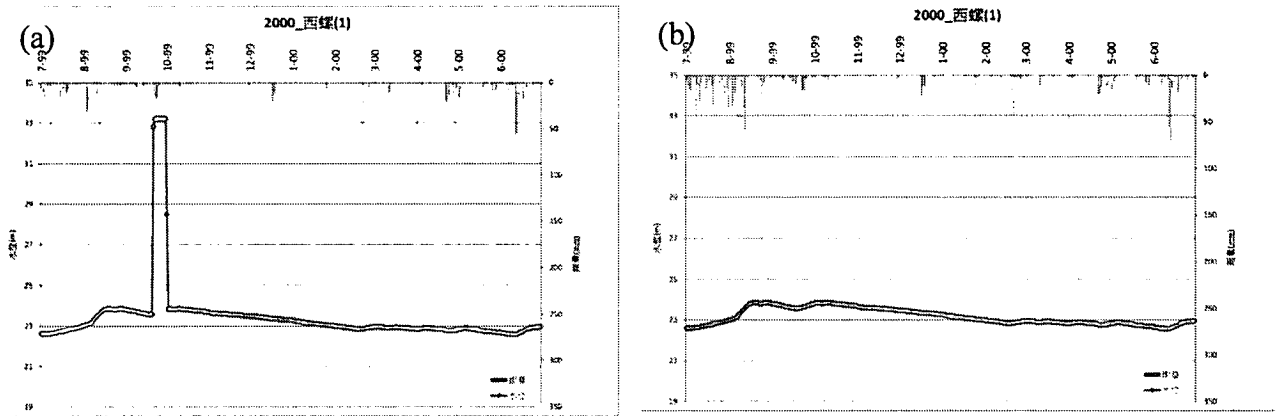


圖 2.3-6 西螺(1)井因 921 地震引起之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

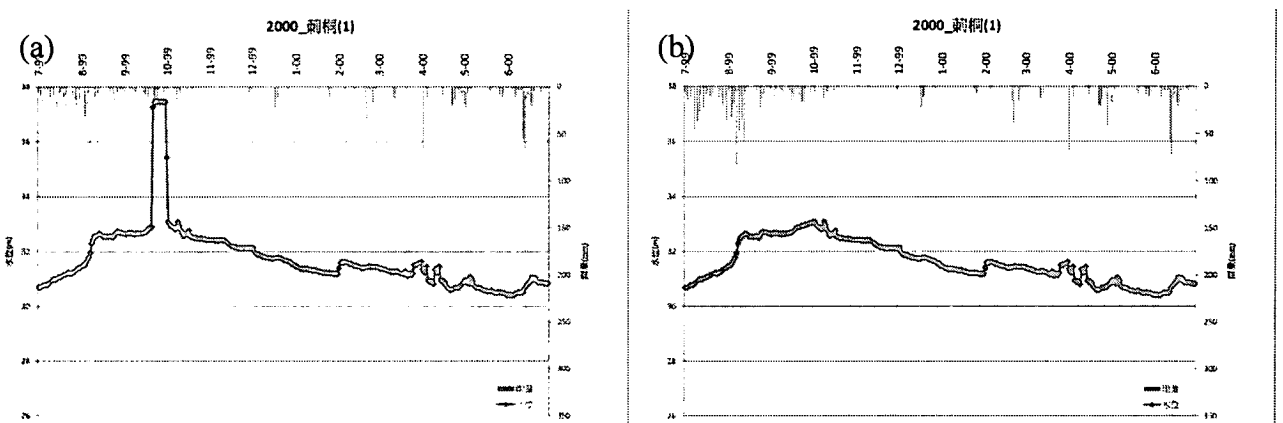


圖 2.3-7 荊桐(1)井因 921 地震引起之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後。

第二類水位異常的現象為異常時段兩端的水位驟升或驟降，但兩端點之間的水位變化趨勢卻屬於合理變化的情況，推測其發生原因是由於人為的儀器校調所造成的量測偏差。由於此類水位異常變化明顯非物理機制所造成，處理此異常段時，保留期間之變化趨勢，將驟升或驟降之水位差扣除或加回，當異常段之資料經過處理後，其水位歷線顯然較為合理，如圖 2.3-8 至圖 2.3-12 所示。

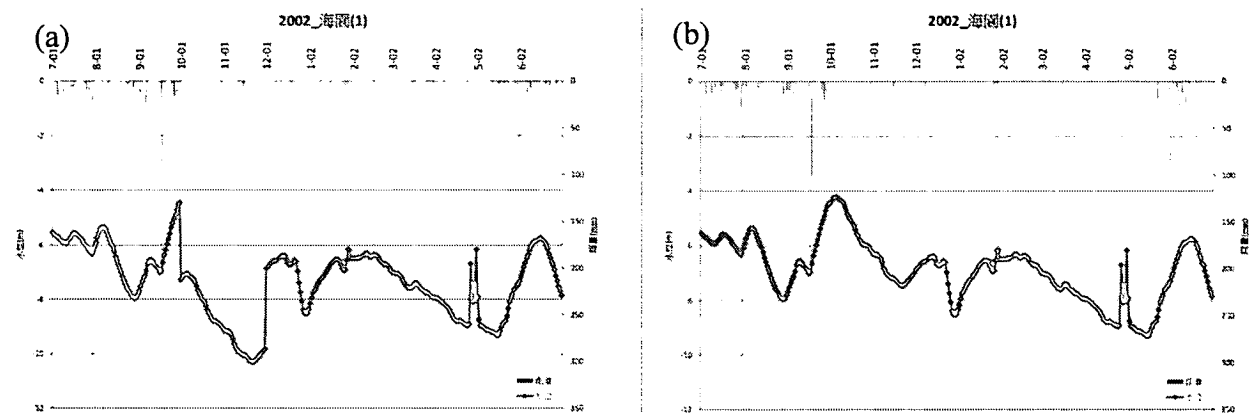


圖 2.3-8 海園(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

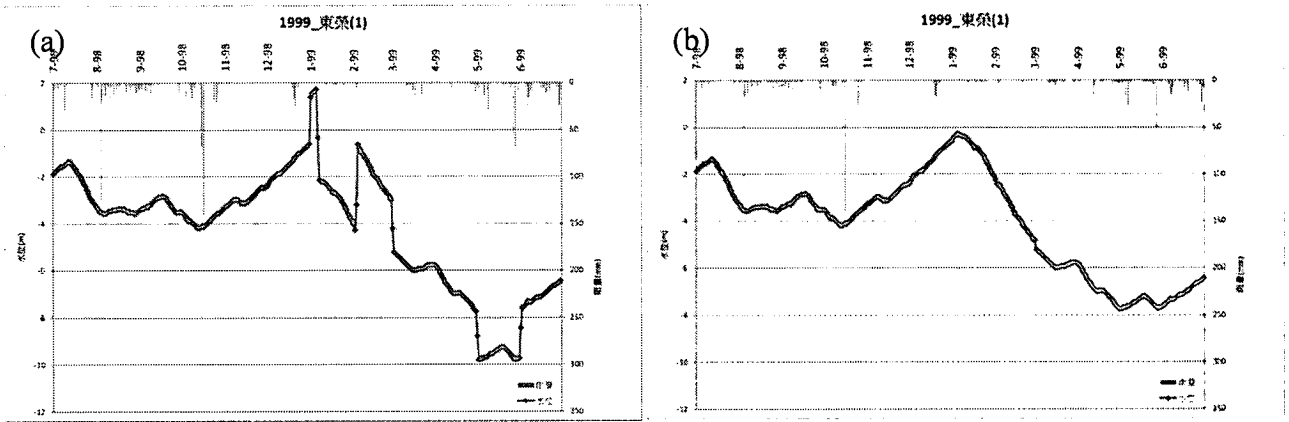


圖 2.3-9 東榮(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

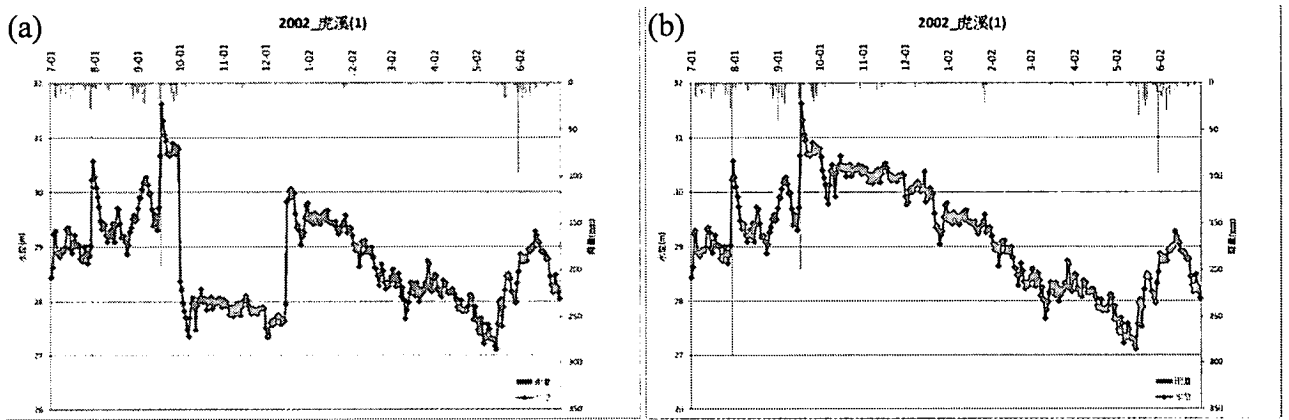


圖 2.3-10 虎溪(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

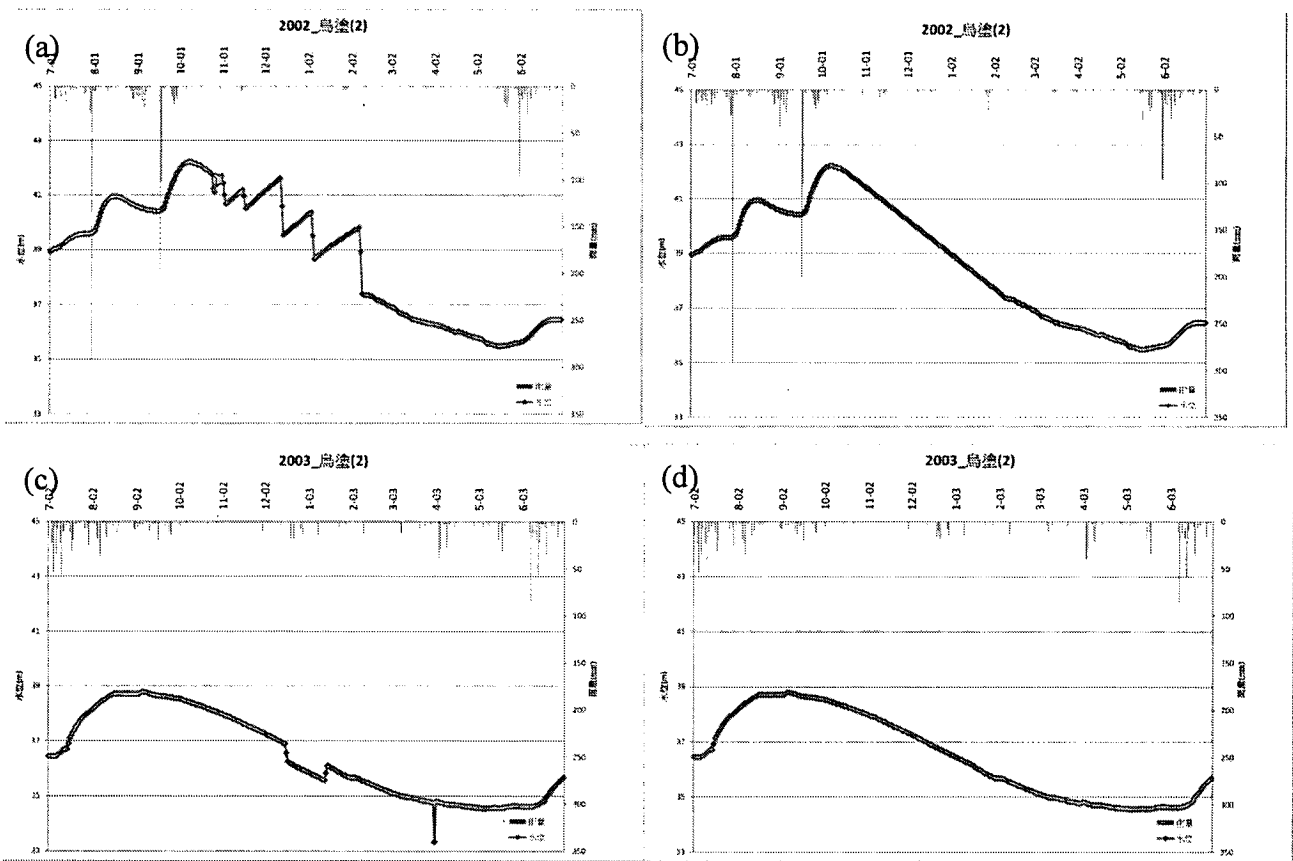


圖 2.3-11 烏塗(2)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後
(c)case2 處理前；(d)case2 處理後

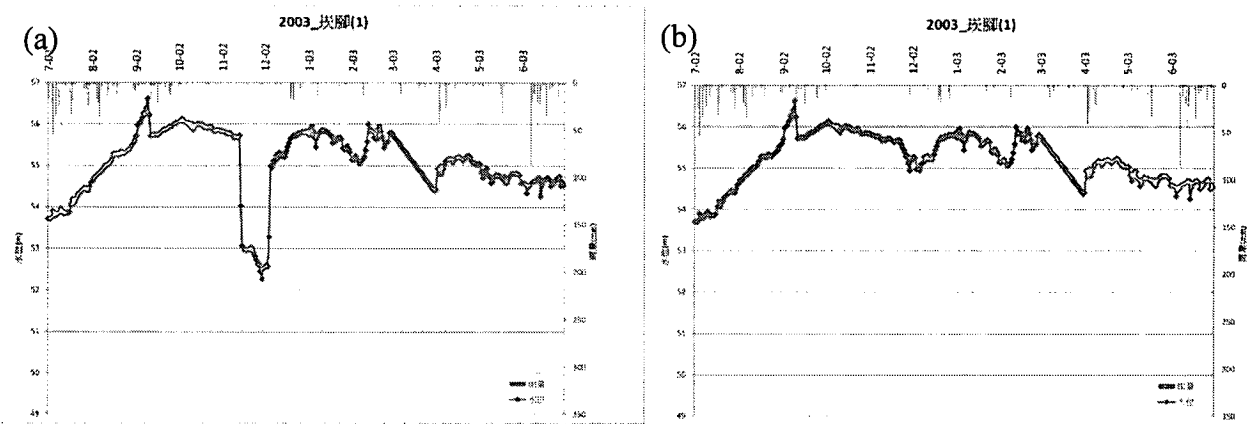


圖 2.3-12 炭腳(1)井因儀器校調偏差之水位異常資料：(a)處理前；(b)處理後

2.4 國內外地下水水資源保護現況

為了保護珍貴的水資源，許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區（Critical Aquifer Recharge Area）、喬治亞州的 GRAD 區（Groundwater Recharge Area District），以下回顧這些案例，並討論台灣可以借鏡之處。

2.4.1 美國華盛頓州的重要含水層補注區 (CARA, Critical Aquifer Recharge Area)

美國華盛頓州「重要含水層補注區」(CARA, Critical Aquifer Recharge Area)的劃設，為保護地下水飲用水源之水質與水量而設。法源依據為「成長管理法」(Growth Management Act)，理由為事前的保育比污染事後的清除省錢，美國環保署估計事後的清除費比事前的保育費用高達5至200倍(USEPA, 1995)。

「成長管理法」明訂各地方政府必需劃設「重要保護區」(Critical Areas)，其對「重要含水層補注區」(CARA, Critical Aquifer Recharge Area)的定義為：該地為飲用水源之含水層之補注區域 (areas with a critical recharging effect on aquifers used for potable water)。

該含水層及補注區的劃設可經由水文地質調查為之。保護的標的不只是水質，尚包括補注水量，例如水泥鋪面的禁止，以免減少雨水入滲量。保護的優先次序考慮使用現況及未來使用，主事者需親自調查該區的現有水井，並衡量未來的開發需求，以訂出保護的優先次序。

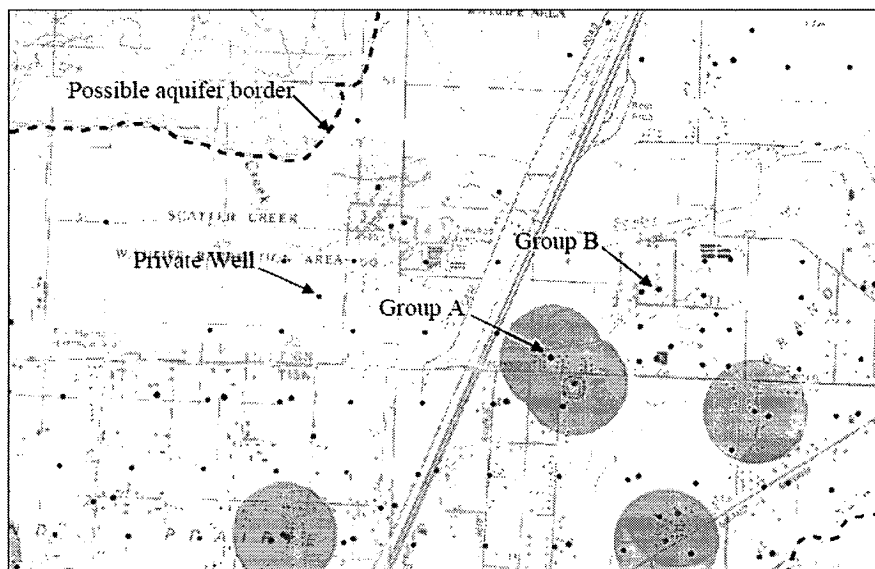


圖 2.4-1 辨別標示出井頭保護帶 (圖中紅點為水井、綠圈為井頭保護帶)

步驟：共有 8 個步驟 (Morgan, 2005)。

- (1) 辨別 (Identify)：地下水資源在哪裡？水井的分布？井的使用現況？水資源的現況及含水層的分布。針對飲用水水井，標出井頭保護帶(圖 2.4-1)。「安全飲用水法」(SDWA, Safe Drinking Water Act) 也提供飲用水水井之保護法源依據。該法規定需調查飲用水源附近之潛在的污染源 (potential contamination sources)。除了公有井列為第一順位保護，私有井 (家戶使用) 也應加以保護。

井頭保護帶 (Wellhead Protection Zones)：為一緩衝帶，在該水井為中心之某半徑範圍內設立保護帶。依水井之重要性，以半年、一年、五年、十年的緩衝時間設立保護範圍。即在保護帶外之污染進入含水層後，需夠長的時間才會進到水井中，以保護水源 (USEPA, 1989)。

- (2) 污染敏感度 (Susceptibility)：指自然條件是否容易受到污染，例如地下水層、土壤層、含水層、不透水層的分布及水文參數等。區域性的地下水污染敏感圖通常可用 Drastic 方法產生 (圖 2.4-2 及圖 2.4-3)。
- (3) 調查 (Inventory) 已知的可能污染源：例如油槽、工廠、洗衣店、農業活動等。
- (4) 污染潛勢 (Vulnerability)：指人為潛在污染源及自然條件加總之污染潛勢。
- (5) 劃設 (Designate) 重要含水層補注保護區：明確在地圖上指出範圍，標出潛在的污染區，標出含水層範圍及性質，標出飲用水源水井，並綜合說明劃設此區對飲用水源之重要性 (圖 2.4-4)。
- (6) 保護 (Protect)：依各地方政府之行政，進行登記、管制、檢查、處罰等作為。
- (7) 確實執行 (Ensure) 保育管理計畫。
- (8) 水量管理：除了飲用水優先抽用，應維持河川基流量，以維持河川生態。

GROUND-WATER POLLUTION SUSCEPTIBILITY OF GEORGIA DIGITAL DATA

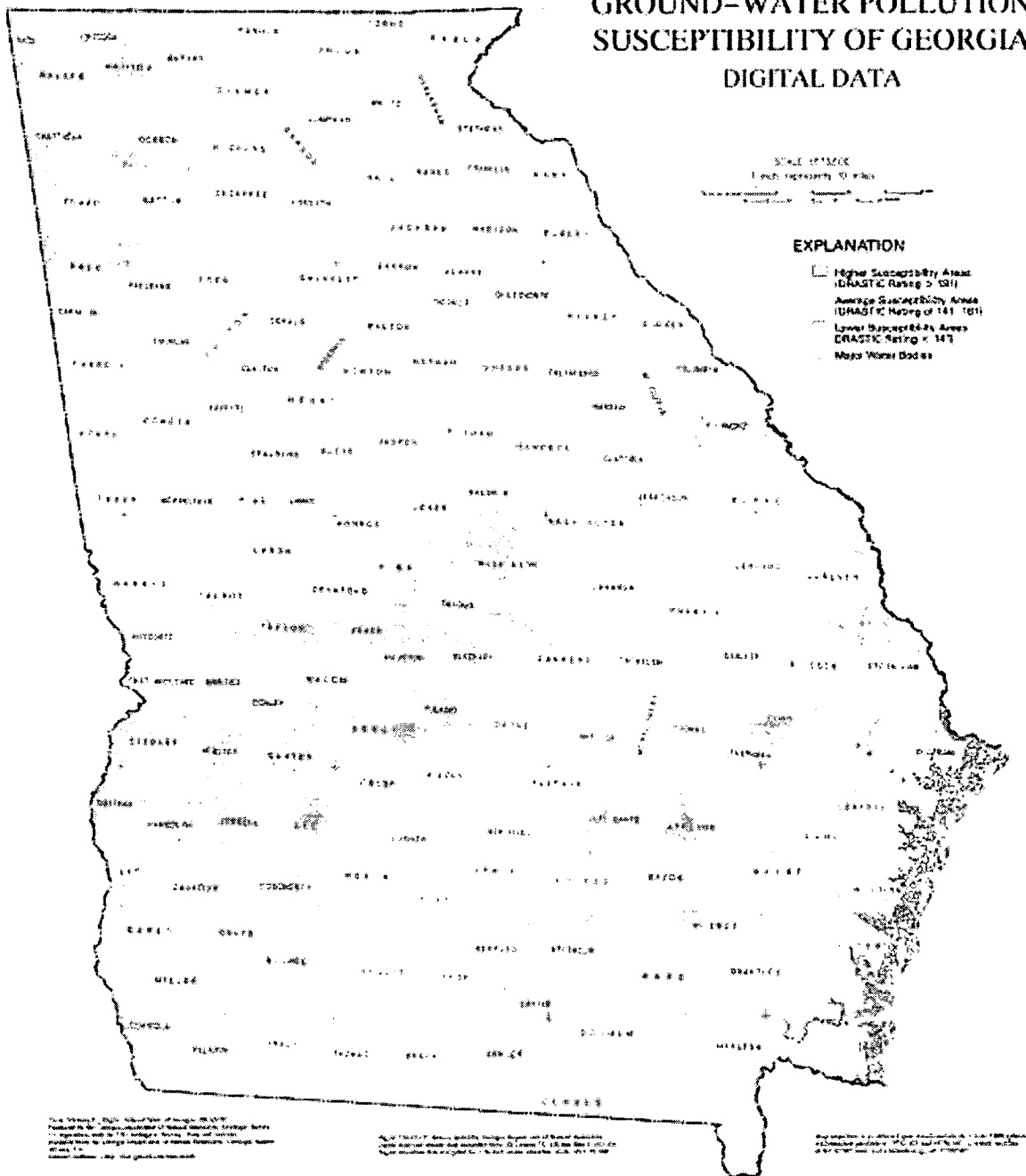


圖 2.4-2 美國 Georgia 州之污染敏感圖

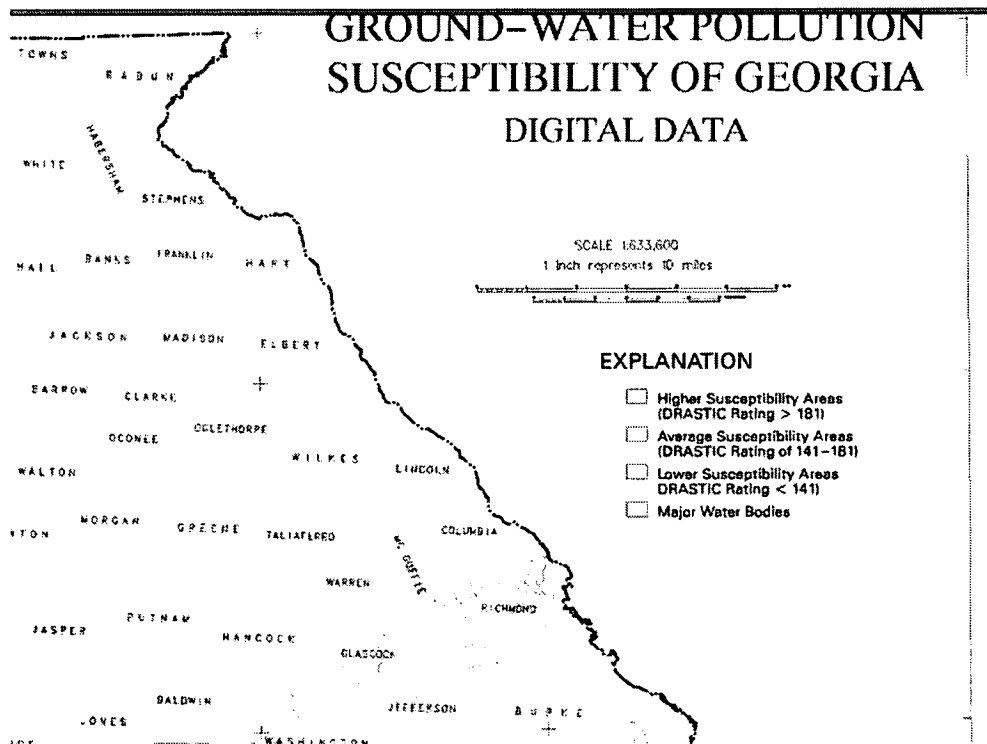


圖 2.4-3 美國 Georgia 州之污染敏感圖局部放大

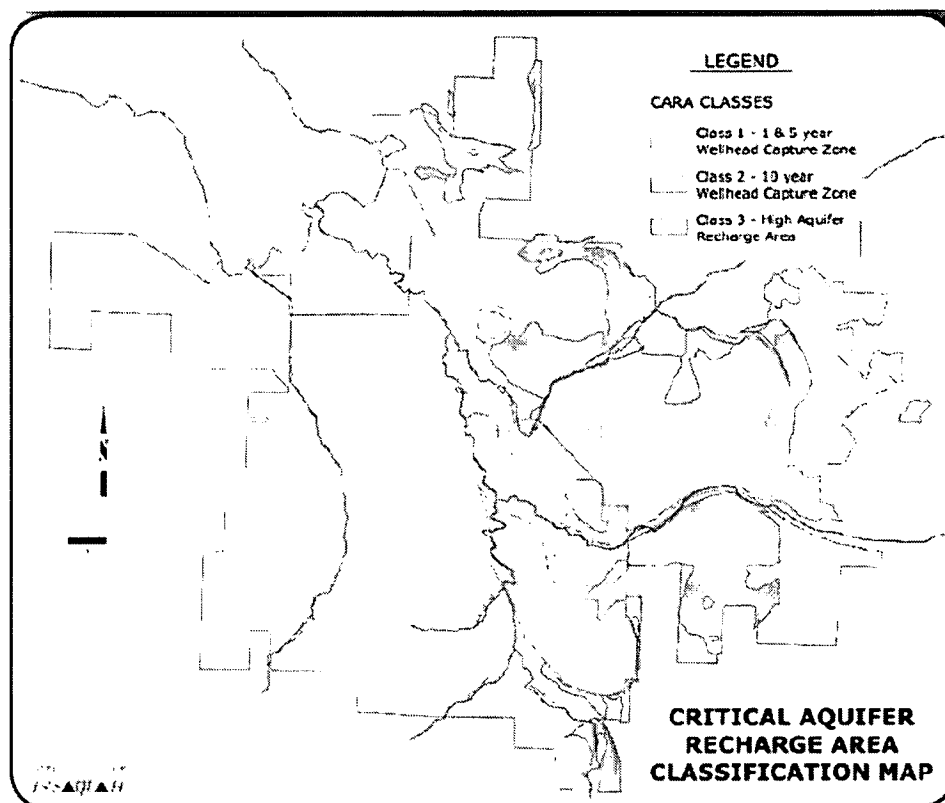


圖 2.4-4 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 Issaquah 市，分成三類：第一區為 1-5 年的井頭保護區、第二區為 10 年的井頭保護區、第三區為高補注區。

地方政府的執行層面，圖 2.4-4 為美國華盛頓州 Issaquah 市「重要地下水補注保護區的劃設」，分成三類：第一區為 1-5 年的井頭保護區、第二區為 10 年的井頭保護區、第三區為高補注區。圖 2.4-5 及圖 2.4-6 為華盛頓州 King County 「重要地下水補注保護區」的分布圖 (King County, 2010)。所有位於第一區及第二區的工商業，持有一定數量以上的危害化學物質，需擬定 BMP (Best Management Practice) 計畫，載明化學物質的清單、處理方法、儲存方法、廢棄方法等 (City of Issaquah, 2009)。

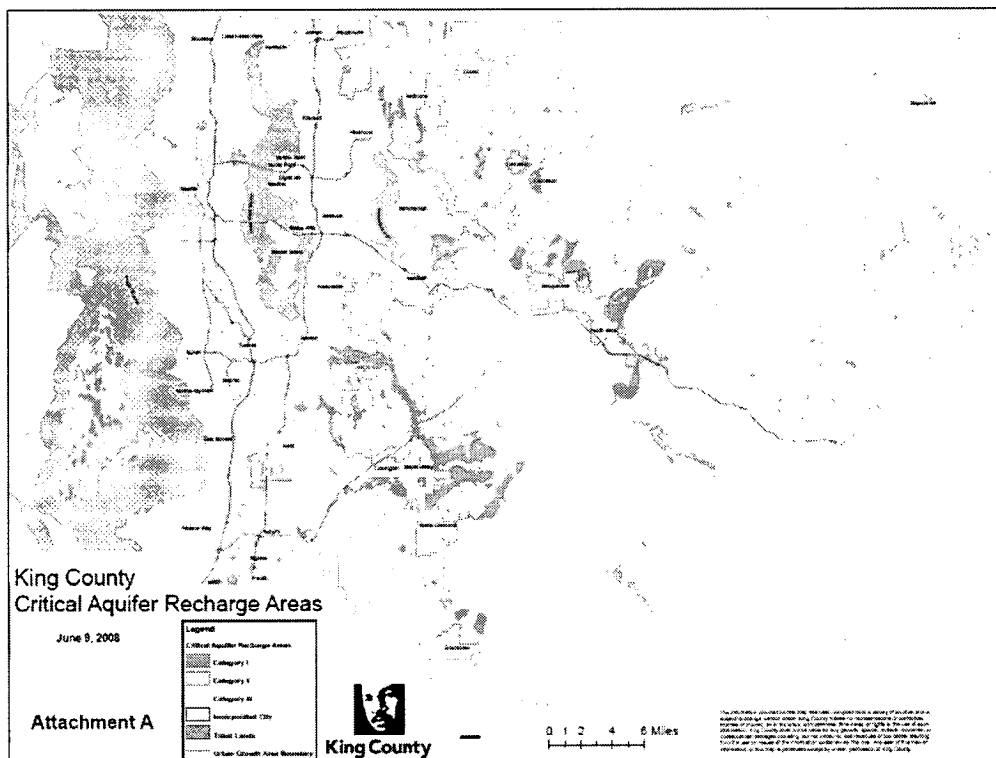


圖 2.4-5 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 King County，也是分成三類。

資料來源：

<http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx>

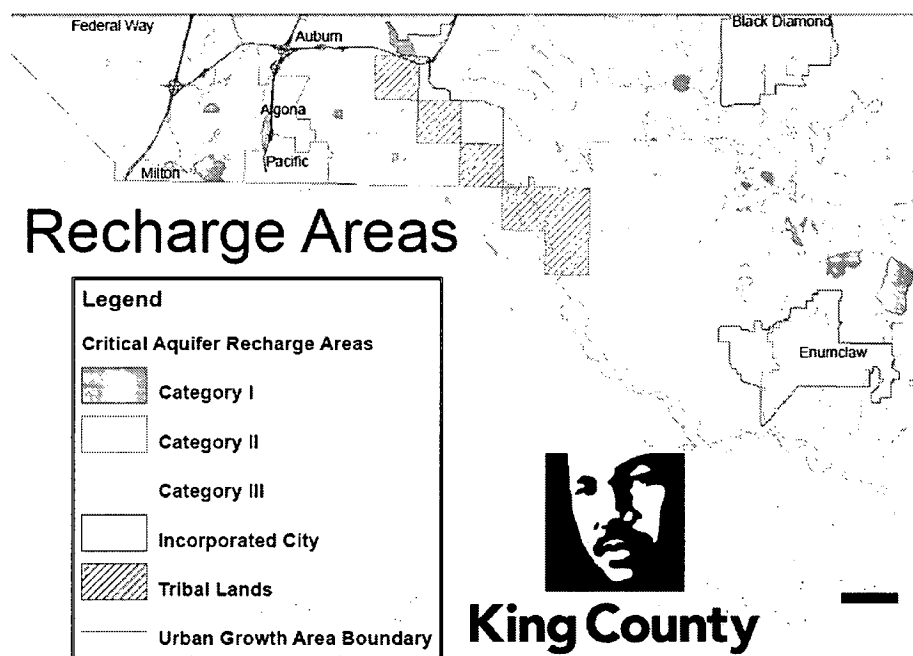


圖 2.4-6 重要地下水補注保護區的劃設，美國華盛頓州 King County，局部放大。
資料來源：

<http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx>

2.4.2 喬治亞州的地下水補注區（GRAD, Groundwater Recharge Area District）

美國喬治亞州的地下水補注區屬於水資源保護區（Water Resource Districts）的一部份。該州的水資源保護區分為四類：地下水補注區、濕地、水源集水區、河流（Georgia Department of Natural Resources, 2010）。其中地下水補注區的劃設，主要依據喬治亞自然資源部的第 18 號水文圖（Hydrological Atlas 18, 1989 Edition），根據圖上的補注範圍（圖 2.4-7），再依據第 20 號水文圖—地下水污染敏感圖（groundwater pollution susceptibility map）（圖 2.4-8），將地下水補注區分成三類：高危險、中危險及低危險。

第 18 號及第 20 號水文圖的原始比例尺為 50 萬分之一，此兩幅圖已數值化，可上網查詢喬治亞理工學院和美國地質調查所合作數值地圖，網址 <http://csat.er.usgs.gov/statewide/>。但因比例尺太小，實際上地方政府在執行時，有時邊界並不清楚，州政府建議有疑問時（引起爭議時），地方政府應尋求專業水文地質師進行補查。

地下水補注區之土地使用法規（Georgia Department of Natural Resources, 2010）：

- (1) 地上油槽及化學槽，超過 660 加侖，需有預備的空槽（萬一偵測到洩漏時、可緊急接替）。
- (2) 農業廢棄物掩埋場需有不透水材料襯墊。
- (3) 社區需設污水道及污水處理設施。
- (4) 社區若沒有自設污水處理設施，需將污水送至公有污水廠處理。
- (5) 污水處理若不合規定，不得核發建照。
- (6) 持有危害物(hazardous materials)超過一萬磅，危害物的定義根據 Resource Conservation and Recovery Act 第 312 條，需鋪設不透水材料襯墊，並通過防洩漏及防火之法規。
- (7) 新設污水廠需鋪設不透水材料襯墊。

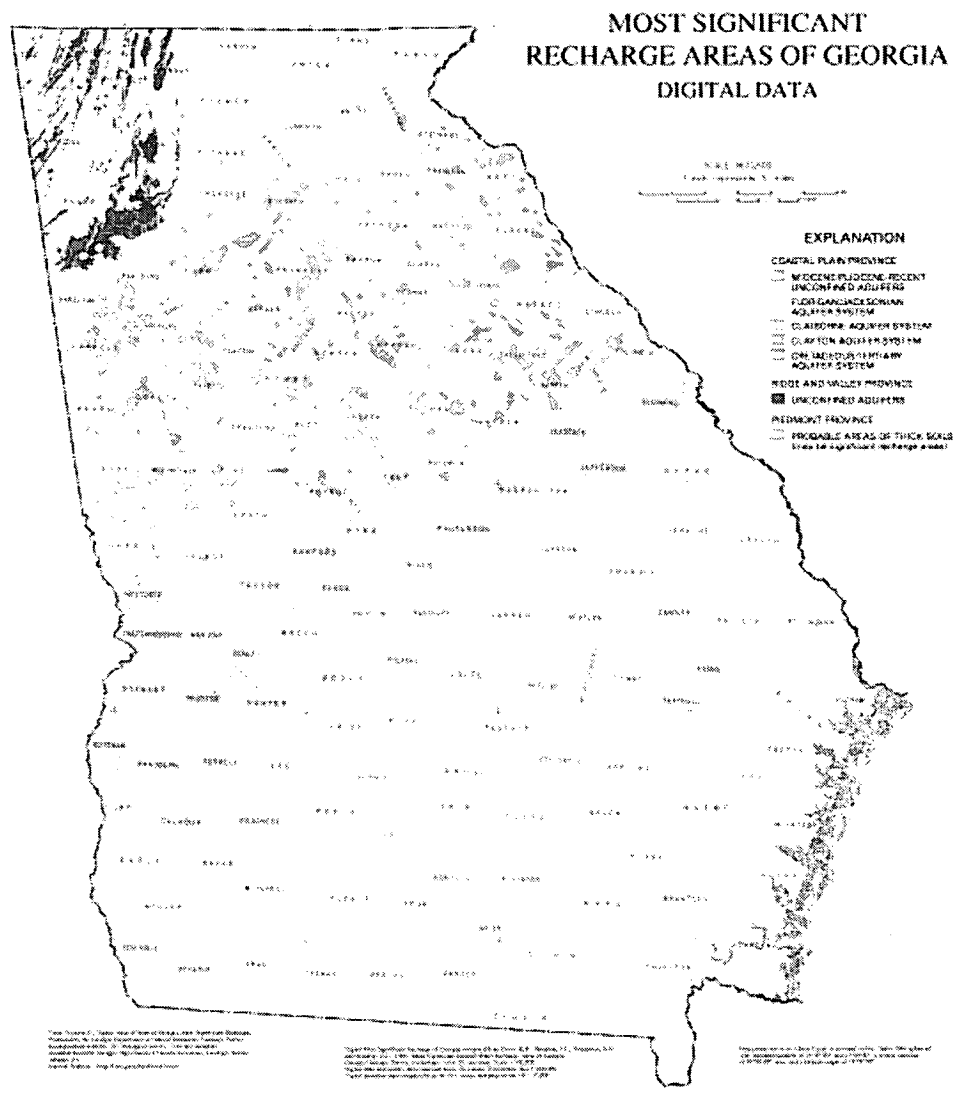


圖 2.4-7 美國喬治亞州的地下水補注區（數值圖來源：美國地質調查所之地圖資

料庫 <http://csat.er.usgs.gov/statewide/layers/recharge.html>)

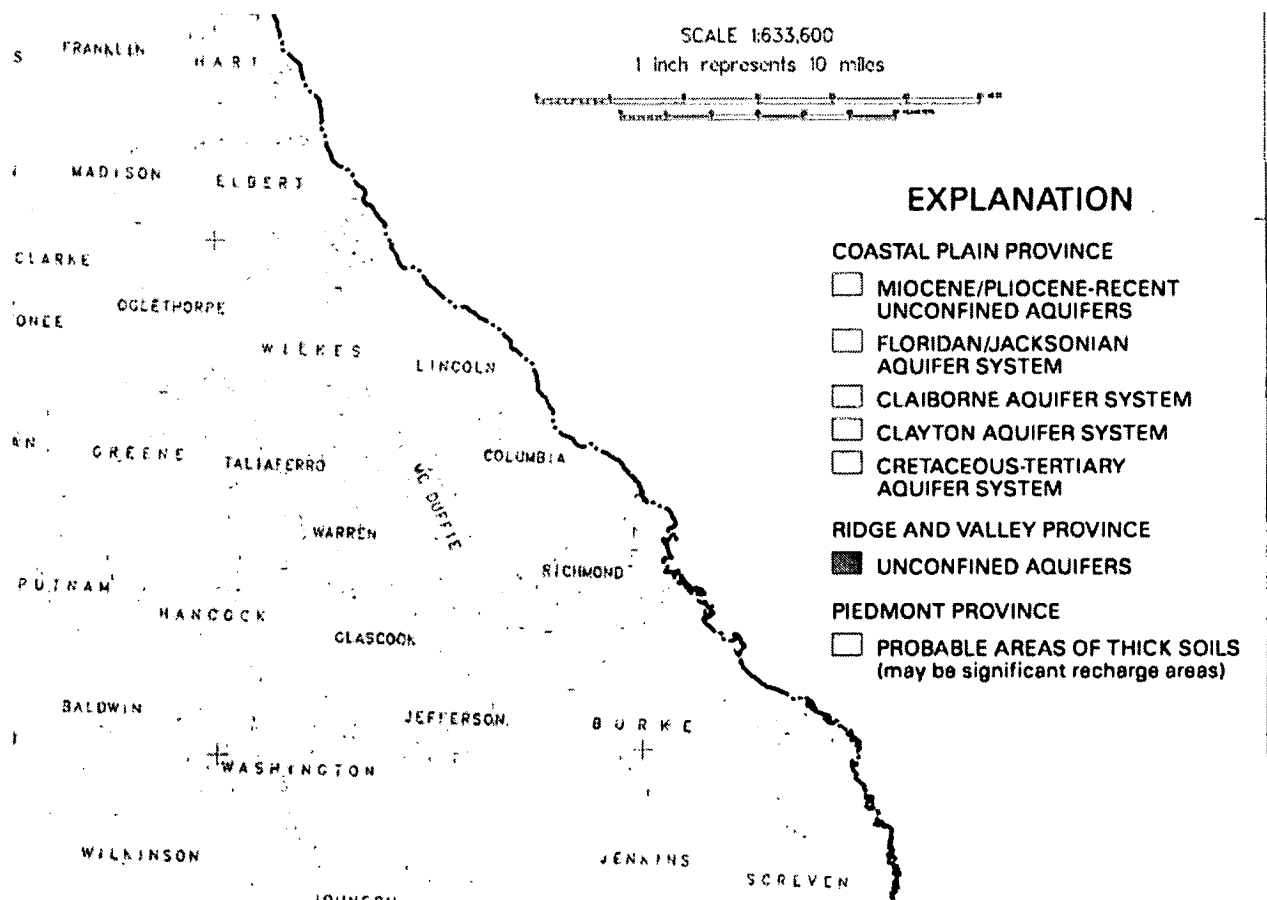


圖 2.4-8 美國喬治亞州的地下水補注區局部放大圖及圖例 (數值圖來源: 美國地質調查所之地圖資料庫 <http://csat.er.usgs.gov/statewide/layers/recharge.html>)

2.4.3 台灣的地下水保護

台灣的水源保護以環保署公告之「飲用水水源水質保護區」為之，目前只有公告地面水之保護區，並沒有保護地下水之水源 (圖 2.4-9)。濁水溪沖積扇之地下水為彰化及雲林之自來水重要水源之一，全區自來水井超過一百口以上 (圖 2.4-10)，有部份水井即位於扇頂補注區。

濁水溪沖積扇之扇頂為全區地下水之補注來源，含水層為礫石及粗砂組成，若一旦地面有污染滲入，將很快影響地下水。根據環保署土壤及地下水污染整治網的公告 (<http://sgw.epa.gov.tw/public/index.asp>)，雲林地區共有 7 處污染列管場址 (表 2.4-1)，其中位於斗六市及古坑鄉的場址，即屬於扇頂補注區的範圍。

為保護珍貴的地下水資源，特別是飲用水的水源，應儘速公告「地下水補

注區」或「地下水飲用水水源水質保護區」，並管制其土地利用，防範污染，國外的案例顯示，事後的清理除了曠日費時，其費用也比事前管制高出許多。

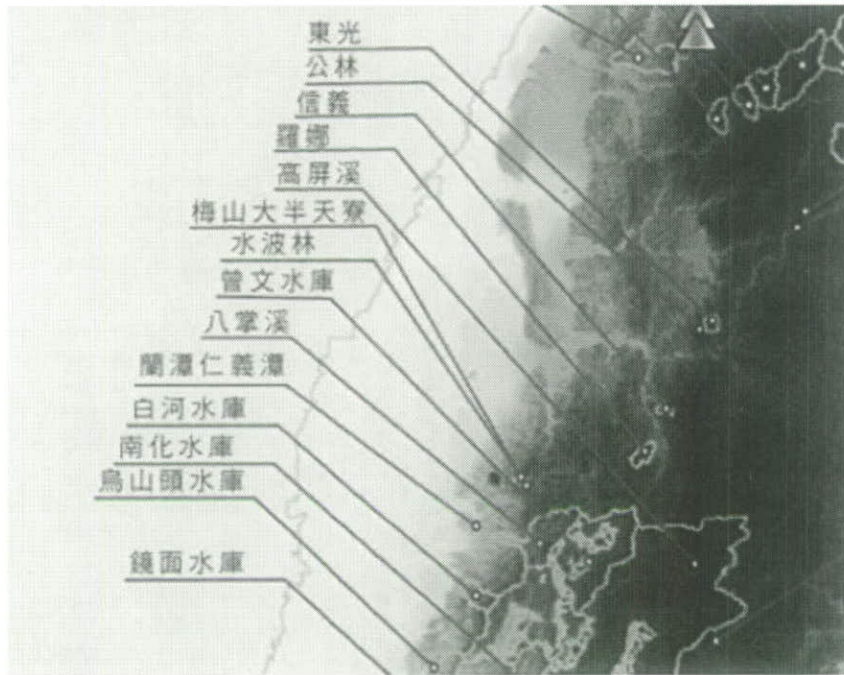


圖 2.4-9 環保署公告之飲用水水源水質保護區，目前並不含地下水水源，
網址：<http://wsserver.epa.gov.tw/>

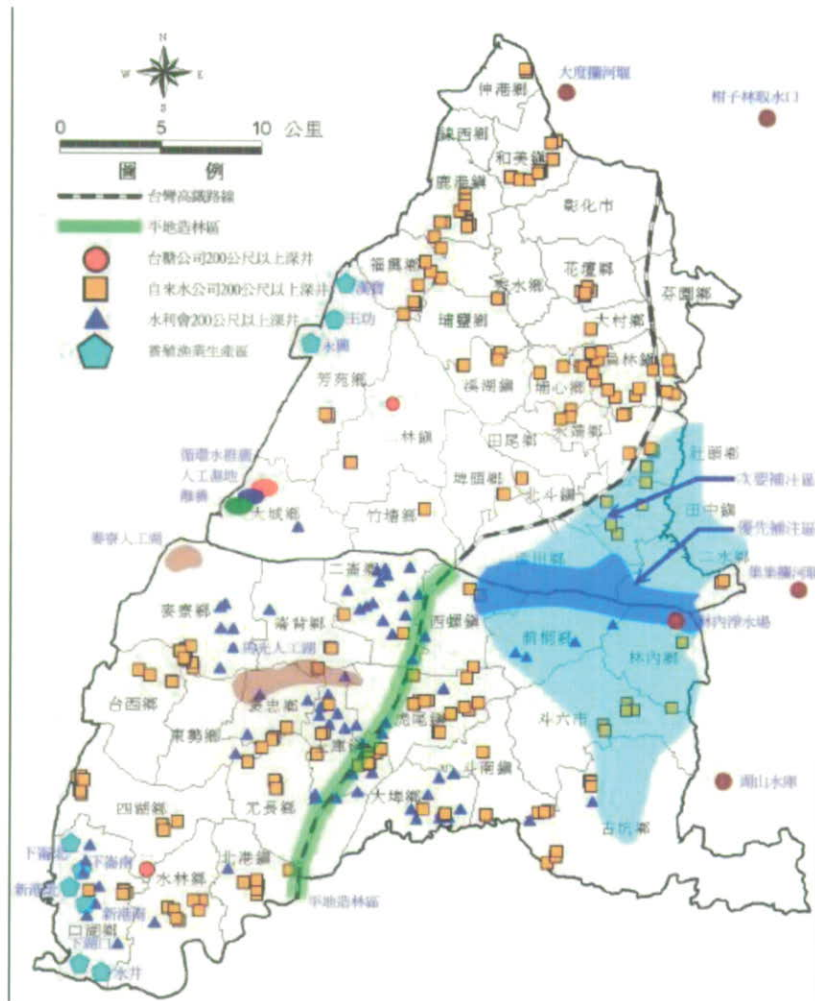


圖 2.4-10 濁水溪沖積扇深井分布圖 (經濟部，2005)

表 2.4-1 環保署公告之雲林縣土壤及地下水污染列管場址

場址名稱	場址坐標	場址地址	場址種類	公告日期	土壤/地下水 污染物
大學加油站	X：203894， Y：2621953	雲林縣斗六市林頭里 大學路二段二六八號	加油站	2009/4/29	總石油碳氫 化合物/苯
五港加油站	X：169055， Y：2624107	雲林縣台西鄉五港路 653 號	加油站	2006/3/1	無/苯；
永光加油站	X：204010， Y：2613801	雲林縣古坑鄉永昌村 光興路 106 號	加油站	2009/12/11	總石油碳氫 化合物；二甲 苯/無
全民加油站	無坐標資料	雲林縣台西鄉海豐路 398 號	加油站	2009/1/16	苯；總石油碳 氫化合物；二 甲苯/苯
統一精工虎尾加油站	X：193029.8， Y：2623882.2	雲林縣虎尾鎮安溪里 林森路一段 96 號	加油站	2007/3/13	無/苯；
新南環路加油站	X：204769， Y：2623082	斗六市大學路 1 段 28 號	加油站	2009/4/29	總石油碳氫 化合物/苯
環美環保科技有限公 司所設乙級廢棄物處 理場(衛生掩埋場)場址	X：205889， Y：2624355	雲林縣斗六市八德里 文化路 615 號	其他	2009/6/22	無/總酚

第三章 濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估

相較於其他區域，濁水溪沖積扇之地下水位資料在觀測時距與密度上均較他區為高，本計劃將以此長期觀測之大量地下水位為基礎，應用地下水位歷線法(江崇榮, 2006)推估區域之補注量與抽水量。

3.1 地下水位歷線法理論介紹

江崇榮(2006)等人提出以地下水位歷線變動與地下水層儲水係數，直接進行抽水量、補注量、蓄水變化量和流失量之評估，該方法曾應用於屏東平原之地下水補注量推估，應用水位歷線法可以有效應用地下水觀測網累積多年之成果。圖 3.1-1 為地下水位歷線法之計算流程圖，其流程主要可以分為五個步驟，首先利用水位歷線配合土壤儲水係數或比流出率計算系統之儲蓄水量歷線，其次利用枯水期之儲蓄水量變化推估平均抽水量，接著應用降雨後之水位變化方式決定系統流失量，再來是以年初年末儲蓄水量決定年度變化量，最後則是以連續方程式推估年補注量。以下將進一步詳細說明：

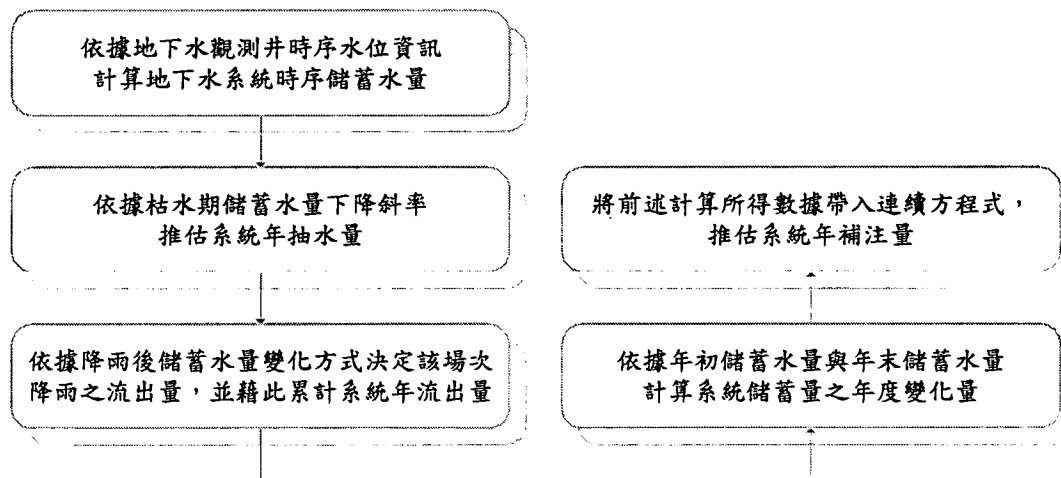


圖 3.1-1 地下水水位歷線法計算流程圖

地下水層平時受到抽水與補注之影響，地下水位歷線隨時間高低起伏，然而分析地下水位歷線與降雨歷線之關係，可以發現地下水位歷線上升或是減緩下降是隨著降雨行為而產生(如圖 3.1-2 所示)，因此可藉由水位歷線與降雨歷線之關係，估算系統平均抽水量與入滲補注量。圖 3.1-3 為表層水層之概念模型示意圖，其中影響水位變化的項目包含抽水量、補注量、側向交換量與其他垂向交換量。地下水位歷線與降雨歷線由觀測水井與雨量站長期觀測儲存，然其在

研究區域上為點位型式分佈，若欲將點位型式之資料涵蓋至整個研究區域，常見處理方法是透過徐昇氏多邊形或擬徐昇氏多邊形之矩形網格來劃分各觀測水井與雨量站之代表範圍(如圖 3.1-4 所示)。徐昇氏多邊形最重要的特性為徐昇氏多邊形中任意點必與其對應之代表觀測水井或雨量站最接近。

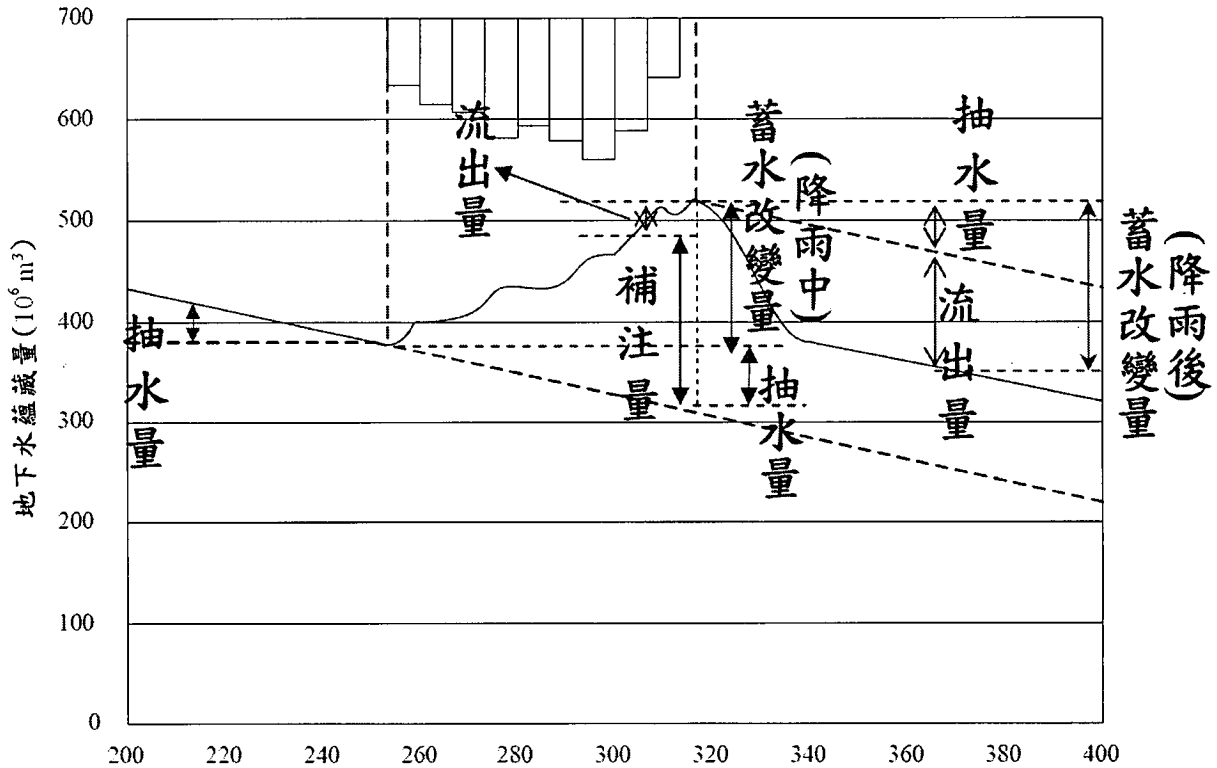


圖 3.1-2 區域降雨歷線與地下水位歷線起伏變化示意圖

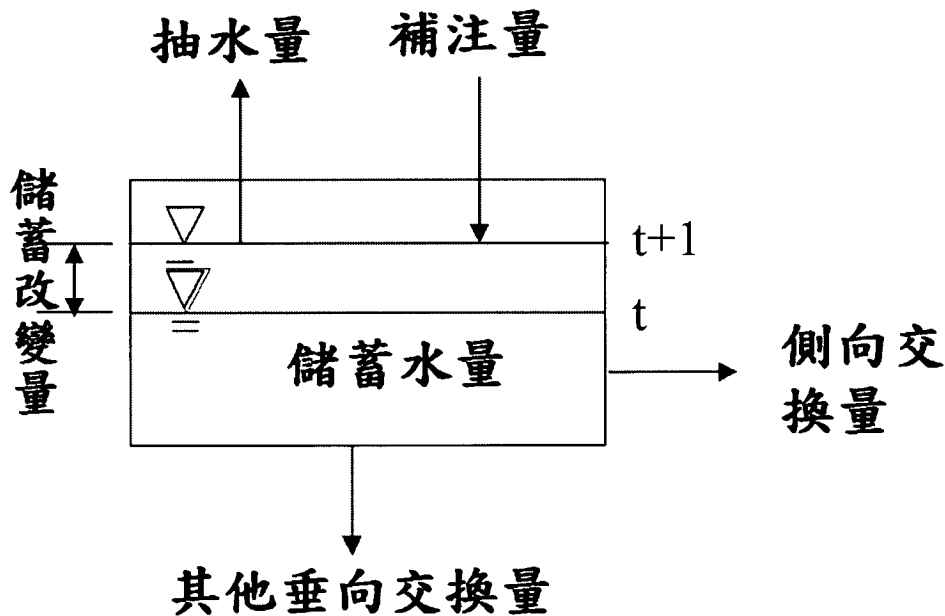


圖 3.1-3 表層水層之概念模型示意圖

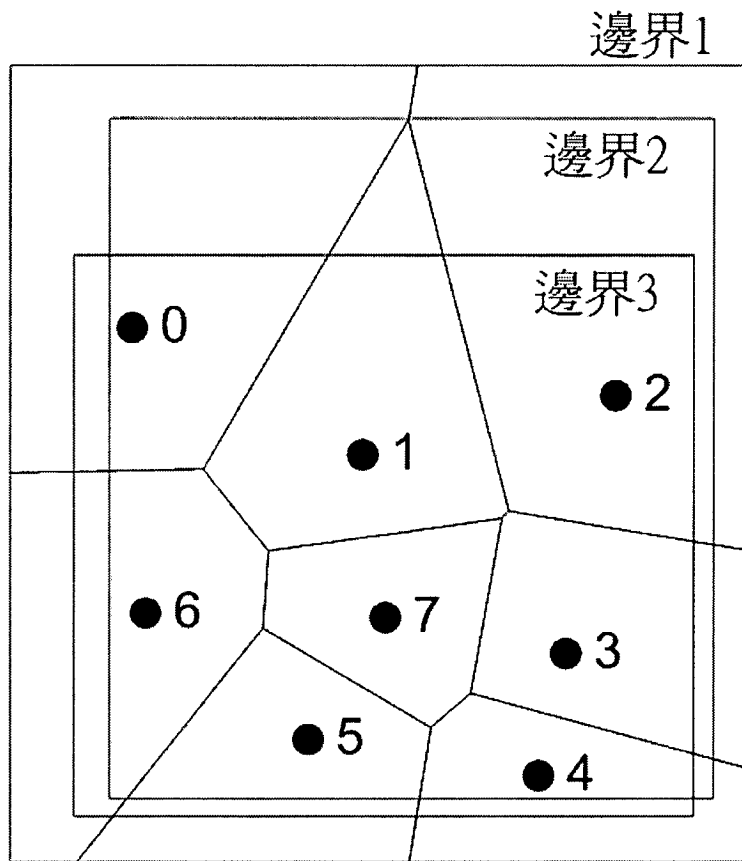


圖 3.1-4 徐昇氏多邊形

降雨行為使得地下水層蓄水量增加，地下水位亦隨之上升；然而地下水位之上升，並不全然代表地下水補注事件，潮汐、地潮、氣壓、地震及停止抽水等，均可造成地下水位之上升或減緩下降。因此，本方法將採用平均日水位進行計算，可以消除潮汐或地潮等引發之短週期水位起伏。基於此一原因，河川流量與降雨資料亦同時採用日平均資料。

觀察台灣地區降雨資料，可以發現從十一月起至次年四月間多為少雨之枯水期，尤其以南部地區最為明顯；從各地下水區地下水觀測資料顯示，在枯水期期間，地下水位歷線以趨近直線的方式下降，以濁水溪沖積扇地區之二水觀測井為例(如圖 3.1-5 所示)，綜觀 1997~1999 年三年，其地下水位退水線之斜率極為相近，直至雨季期間地下水位方止跌回升。

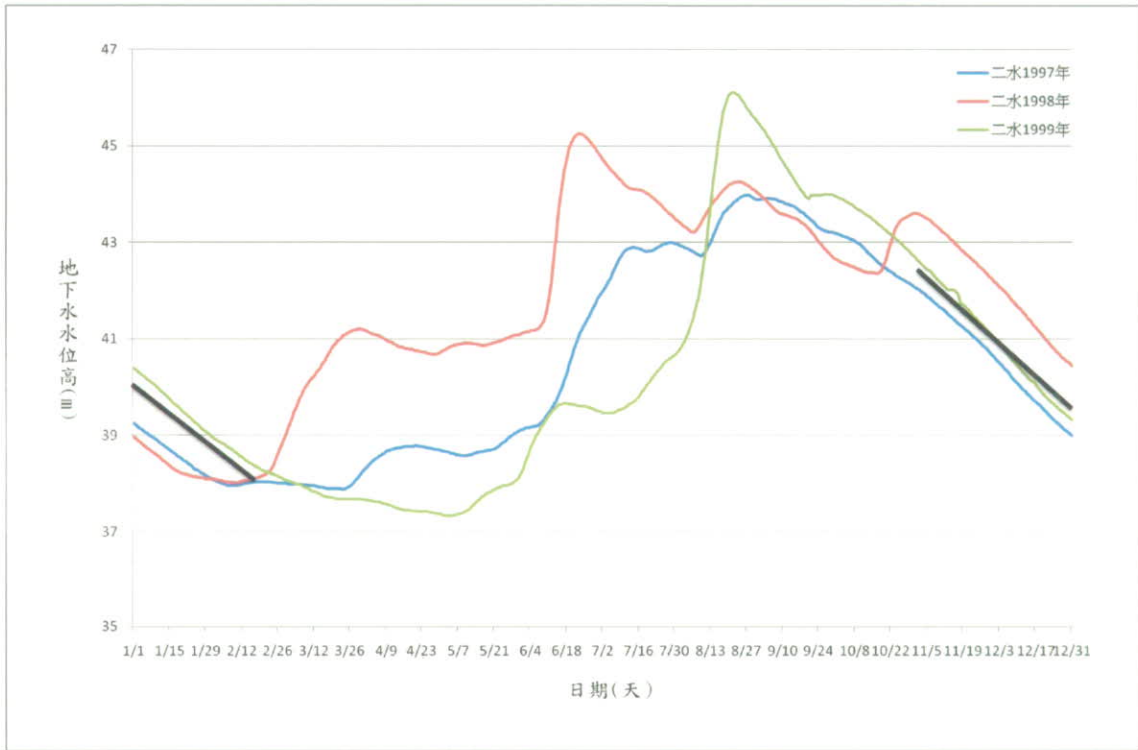


圖 3.1-5 二水站地下水層一(F1)1997~1999 年水位歷線和枯水期退水線表

$$S_i^t - S_i^{t-1} = I_i^{t,t-1} - O_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} \dots\dots\dots (式 3.1-1)$$

其中

S_i^t : 代表於時刻 t 於第 i 口水井蘊藏之地下水蘊藏量(L^3)

$I_i^{t,t-1}$: 代表於時刻 t 與 t-1 間的垂向地下水補注量(L^3)

$W_i^{t,t-1}$: 代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水抽水量(L^3)

$O_i^{t,t-1}$: 代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水流失量(L^3)。

$$S_i^t = s_y A_i (h_i^t - b_i) \dots\dots\dots (式 3.1-2a)$$

$$S_i^t = n_i A_i (t_i - b_i) + s_s A_i h_i^t = s_s A_i h_i^t + Const. \dots\dots\dots (式 3.1-2b)$$

式 4.1-2a 及式 4.1-2b 中

s_y : 第 i 口觀測井之比流出率。

s_s : 第 i 口觀測井之儲水係數。

n_i : 第 i 口觀測井之孔隙率。

h_i^t : 第 i 口觀測井於 t 時刻之水位。

t_i 與 b_i : 第 i 口觀測井含水層頂部與底部高程。

A_i : 第 i 口觀測井位代表範圍之面積，可利用徐昇氏多邊形劃分代表範圍。

式 3.1-1 為地下水系統之水平衡方程式，地下水蘊藏之改變量應等於地下水補注量、抽水量與流失量之綜合效應。式 3.1-2a 與 3.1-2b 分別為非拘限含水層與拘限含水層之地下水蘊藏量估算公式，非拘限含水層之公式為為非拘限含水層之厚度、代表面積與比流出率之乘積，其中非拘限含水層厚度等於水位減含水層底部；拘限含水層之估算公式，可由兩項所組成，第二項為水位、代表面積與儲水係數之乘機，第一項則為充滿水層之水量，其量值不為水位之函數，亦即不隨時間改變。但是其數值於後續水位歷線之估算上，並不影響估算結果，因此於實際估算上可忽略不計。如搭配圖 3.1-3 之水平衡關係，式中之流失量 (O_i^{t-1}) 即代表側向交換量與其他垂向交換量之和。

本方法以枯水期之退水曲線推估系統之單日平均抽水量，由於枯水期長期沒有下雨，因此可假設該段時期表層土壤並無多餘水源可供垂向補注或山邊側流量補注，因此式中的地下水補注量 (I_i^{t-1}) 假設為零。

此外，由於長期無補注行為，且地下水位極低，因此亦無出滲之狀態，故式 3.1-1 中之地下水流失量 (O_i^{t-1}) 亦可假設為零。因此原始地下水收支平衡式(式 3.1-1)可進一步簡化為式 3.1-3。因此，藉由枯水期之水位歷線變化可全然視為抽水造成之影響，前後兩時刻之地下水儲蓄差值，即可代表該時段之地下水抽水量。

$$S_i^t - S_i^{t-1} = -W_i^{t-1} \dots\dots\dots (式 3.1-3)$$

如果以單日作為時刻長度，因此計算前後兩日的蓄水儲蓄量差值，即代表當日之抽水量。在此首先計算枯水期各日之抽水量，可以取得一個枯水期抽水量的數列。其次，計算該數列之平均值(如式 3.1-4 所示)，以此平均值作為系統全年之平均抽水量，該數值之含意亦為枯水期間的蓄水儲蓄量退水斜率。不局限於枯水期，可將此平均抽水量擴張應用於豐水期間。

$$\bar{W}_i = \frac{\sum_{t=1}^N W_i^{t-1}}{N-1} \dots\dots\dots (式 3.1-4)$$

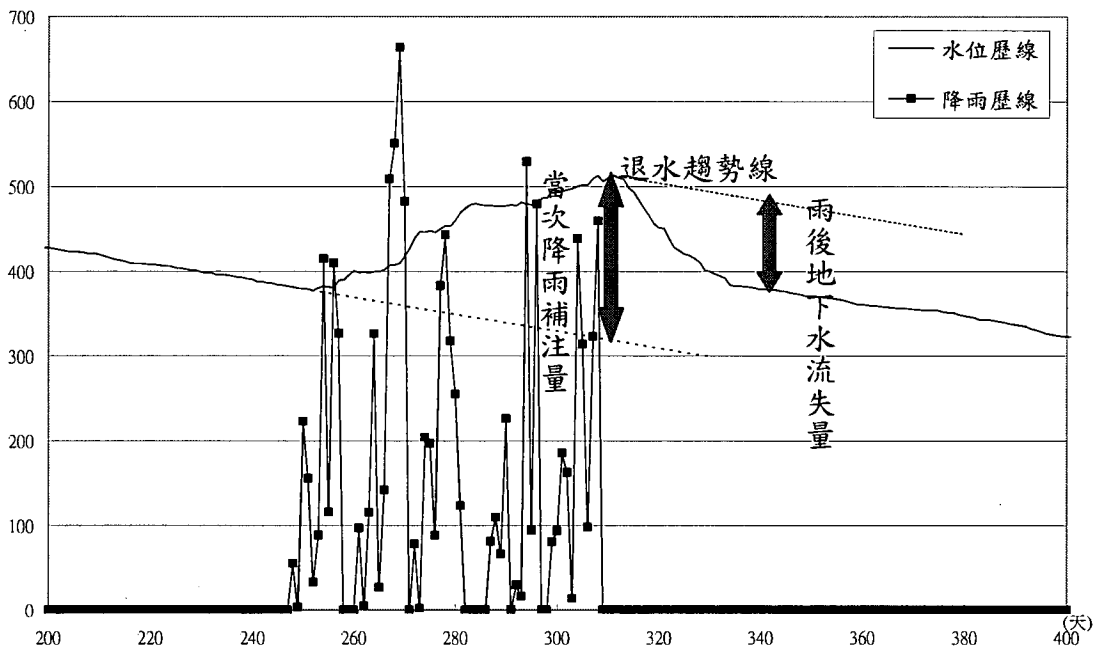


圖 3.1-6 降雨事件、補注量與流失量關係示意圖

如欲利用長期的日水位資料與日降雨資料，結合水位歷線法估算各日補注量，可依據下列方式估算。首先，利用日降雨資料擷取出各降雨事件之發生時段，將所有時刻分成降雨期間、降雨後數天內與非降雨期間三種情況。其次，不同降雨時段，以不同方式分別估算補注量、流失量與抽水量三者。以抽水量而言，在降雨後數天內與非降雨期間之單日抽水量可直接以前述之平均抽水量 (\bar{W}_i) 給定，但在降雨期間部分需水量可能直接以降雨量直接滿足，因此降低抽水比例，因此在降雨期間的抽水比例 (C_r) 應在 0% 至 100% 之間，其數值可由最後之模擬結果進一步檢定。

$$W_i^{t,t-1} = \begin{cases} C_r \bar{W}_i & \text{raining} \\ \bar{W}_i & \text{dry} \end{cases} \dots\dots\dots \text{(式 3.1-5)}$$

在補注量與流失量方面，由於單日抽水量與該日儲蓄改變量均已決定，故可將方程式改寫如式 3.1-6，已知數置放於等號右方，而等號左方則為未知的單日補注量與單日流失量。在降雨期間(如圖 3.1-6 所示)，地下水儲蓄量會隨降雨事件之發生而持續上漲，在此假設該段期間之反應皆是因為補注量之影響，故降雨期間的單日補注量與單日流失量可分別由式 3.1-7 與 3.1-8 估算。

$$I_i^{t,t-1} - O_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} \dots\dots\dots \text{(式 3.1-6)}$$

$$I_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} \dots\dots\dots (式 3.1-7)$$

$$O_i^{t,t-1} = 0 \dots\dots\dots (式 3.1-8)$$

在降雨後數天內，觀察水位反應行為，部分場次之水位並未在雨停後即時下降，仍有少許上升情形，顯示雨後數天內仍有補注產生。因此，本研究則依據式 3.1-7 估算，如等號右方項次大於零，則將數值歸於補注部分，反之則歸於流出部分(如式 4.1-9 與 4.1-10 所示)。

$$I_i^{t,t-1} = \begin{cases} S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} & \text{if } S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} > 0 \\ 0 & \text{if } S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} < 0 \end{cases} \dots\dots\dots (式 3.1-9)$$

$$O_i^{t,t-1} = \begin{cases} 0 & \text{if } S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} > 0 \\ -(S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1}) & \text{if } S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1} < 0 \end{cases} \dots\dots\dots (式 3.1-10)$$

在非降雨期間，如水位與儲蓄水量有其他異常之升高或降低，由於並無明顯之補注源，因此直接將此改變量歸於流失量部分。

$$O_i^{t,t-1} = -(S_i^t - S_i^{t-1} + W_i^{t,t-1}) \dots\dots\dots (式 3.1-11)$$

由於如欲以年度為單位，估算特定年度之補注量等相關分析，則可依據前述所得之單日補注量、流失量與抽水量，進行累加即可求得年抽水量、年補注量與年流失量。同理，如欲計算以場次為單位之水平衡分析，亦可以相同之方式進行累加計算。前述估算方式均是以各地下水觀測站為主體，所得之補注量、抽水量與流失量僅代表該站之資訊。如欲評估整體系統之各項數據，則可在將各站資訊累加，即代表全區之補注量、抽水量與流失量。

水位歷線法係以水位站量測水位之變化作為估算之依據，因此從地表流入之水量需抵達含水層，方可對觀測井有所影響，故該數值應不含停留於未飽和層之水量。此外，由於流失量是以雨後數日間大幅降低之水位來估算，因此以單一降雨事件而言，水位站雖可呈現大量水量進入含水層中，然該水量於降雨事件後即迅速流失，因此補注量扣除流失量方為可用之水資源量。

此外，部分水井位於山邊，如八卦山脈與斗六丘陵附近，其水位變化為垂向補注與山邊側流量之綜合效應，由於水位歷線法係以水位站之觀測水位作為估算依據，因此所得之補注量即為兩者之和。

另外，對於如僅欲求得全區之補注量，亦可預先將各站之水位歷線資訊，轉換並累加成全區之儲蓄水量(如式 3.1-12 所示)，其次再直接以全區之儲蓄水量

計算各時刻之補注量、抽水量與流失量等資訊。比較前述之逐站計算方式與全區統一計算方式，逐站計算方式除了可以求得全區之資訊外，仍可明確得到各站之空間分佈。逐站計算方式因為直接以各站之儲蓄水量進行計算，因此對於各站水位或儲蓄水量歷線要求較高，各站水位歷線必須能明確找出枯水期之退水曲線。

$$S' = \sum_{i=1}^N S'_i \dots\dots\dots (式 3.1-12)$$

影響補注量推估之精確程度，多在於地下水位歷線與雨量歷線資料之收集，目前台灣地區之雨量站分佈涵蓋全台，其分佈稠密度已足夠提供補注量之估算；然而地下水觀測資料，則有賴地下水觀測井網方足以提供，台灣地區僅濁水溪沖積扇、屏東平原與蘭陽平原等地區能提供足夠之觀測密度，因此對於全台補注量之推估上則有不足。

3.2 修正型地下水位歷線法理論介紹

前述章節已經提及地下水位歷線法之基礎理論與概念，其以各地下水觀測井資訊作為系統地下水儲蓄量之推估依據，藉由豐枯水期與降雨後之不同水位變化特性，藉此推估系統抽水量、補注量與流失量三者。也提及計算上可分為逐站計算與全區統一計算兩種方式，如欲以逐站計算方式計算特定水區之補注量與抽水量等，前述計算方式是以該站地下水儲蓄量進行計算，其變化同時受到側向交換量之影響，因此前述計算之流失量即為側向交換量與其他垂向交換量之綜合影響。

本章節將提出修正型地下水水位歷線法，側向交換量則以達西公式估算，藉以釐清其數值。地下水位歷線法需配合徐昇氏多邊形定義地下水觀測井之代表範圍，由於徐昇氏多邊形之特性，相鄰兩觀測井之連線必與多邊形邊線垂直，因此搭配達西公式(Darcy's Law)估算穿越邊線之穿越水量，式 4.2-1a 與 4.2-1b 為加入達西定律之連續方程式，其為顯示法型式之連續方程式。其中，式 4.2-1a 適用於非受壓含水層，穿越厚度為水位高程與含水層底床高程之差值，而式 4.2-1b 則適用於受壓含水層，其穿越厚度直接以含水層厚度計算。

$$S'_i - S'^{i-1} = \sum_{j=1}^M \left(-\bar{K}_{ij} \frac{h'_j - h'_i}{l_{ij}} L_{ij} (\bar{h}'_{ij} - \bar{b}_{ij}) \right) + I'^{i,t-1} - V'^{i,t-1} - W'^{i,t-1} \dots\dots\dots (式 3.2-1a)$$

$$S_i^t - S_i^{t-1} = \sum_{j=1}^M \left(-\bar{K}_{ij} \frac{h_j^t - h_i^t}{L_{ij}} L_{ij} (\bar{t}_{ij} - \bar{b}_{ij}) \right) + I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} \quad \dots\dots\dots \text{(式 3.2-1b)}$$

式中

S_i^t ：代表於時刻 t 於第 i 口水井蘊藏之地下水蘊藏量(L^3)

$I_i^{t,t-1}$ ：代表於時刻 t 與 t-1 間的垂向地下水補注量(L^3)

$W_i^{t,t-1}$ ：代表於時刻 t 與 t-1 間的地下水抽水量(L^3)

$V_i^{t,t-1}$ ：代表於時刻 t 與 t-1 間的其他垂向交換量。

\bar{K}_{ij} ：代表第 i 區塊與第 j 區塊之等效透水係數

h_i^t ：代表第 i 觀測井於時刻 t 之水位

L_{ij} ：代表第 i 觀測井與第 j 觀測井之距離

L_{ij} ：代表第 i 區塊與第 j 區塊之邊線長度

\bar{h}_{ij} ：第 i 區塊與第 j 區塊之平均水位

\bar{t}_{ij} ：第 i 區塊與第 j 區塊之含水層平均頂部高程

\bar{b}_{ij} ：第 i 區塊與第 j 區塊之含水層平均底部高程

在修正型之估算上，首先仍需由枯水期之退水曲線，進行平均抽水量之估算，在此假設枯水期因長期無降雨，因此並不存在補注量與其他垂向交換量等。此外，在側向交換量上，各站枯水期水位並不一致，依據水往低處流之特性，顯示枯水期中各站與相鄰站間存在側向之交換，從式 3.2-1a 與 3.2-1b 所示，平均抽水量可藉由儲蓄改變量扣除側向交換量後計算之。

在單日抽水量、補注量與流失量之估算上，在抽水量之估算上沿用前述之方式給定。而在補注量與流失量之估算公式，因為側向交換量之加入，應由式 3.1-5 修改為式 3.2-2a 或 3.2-2b，並依據不同之降雨情境來估算補注量與流失量。

$$I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} - \sum_{j=1}^M \left(-K_{ij} \frac{h_j^t - h_i^t}{L_{ij}} L_{ij} (\bar{h}_{ij} - \bar{b}_{ij}) \right) + W_i^{t,t-1} \quad \dots\dots\dots \text{(式 3.2-2a)}$$

$$I_i^{t,t-1} - V_i^{t,t-1} = S_i^t - S_i^{t-1} - \sum_{j=1}^M \left(-K_{ij} \frac{h_j^t - h_i^t}{L_{ij}} L_{ij} \bar{B}_{ij} \right) + W_i^{t,t-1} \quad \dots\dots\dots \text{(式 3.2-2b)}$$

3.3 電腦程式開發

本研究將依據前述流程，採用 FORTRAN 語言撰寫，其流程將於下節說明。圖 3.3-1 與 3.3-2 分別為「地下水位歷線法」與「修正型地下水位歷線法」之資料流程架構圖。在「地下水位歷線法」中，程式需給定三類資料，第一為每日

之地下水觀測井水位變化資料與降雨量資料，第二為各觀測井之儲水係數或比流出率，以及該觀測井之代表面積等相關資訊，第三由於部分水區之抽水型態較為複雜，需要給定各年度一、二期稻作之耕作面積，由於濁水溪沖積扇明顯受到一二期稻作之抽水影響，因此觀察該地之全區儲蓄水量歷線，發現從以約在一月底前後為界，可分為兩種斜率之退水曲線，藉由兩曲線之斜率差即可找出一期稻作之單日平均抽水量，然二期稻作耕作期間，因為處於豐水期間，因此退水曲線不明顯，故藉由一、二期稻作的耕作面積比，計算二期稻作之單日平均抽水量。在「修正型地下水位歷線法」中，除了前述資訊外，由於必須利用達西公式計算各控制體積間的交換水量，則需給定以兩觀測站為端點之連結，提供連結相關資訊，包涵連結之距離與穿越之面積等資訊。在輸出資料部分，兩程式可以計算出每日之補注量、平均抽水量與每日流失量。除此之外，「修正型地下水位歷線法」還可輸出內部之穿越水量。

在計算流程方面如圖 3.3-3 所示，首先依據需求選擇所要計算之模組，「地下水位歷線法」或「修正型地下水位歷線法」。圖中分為左右兩區塊，左方為「地下水位歷線法」之運算流程，而右方則為「修正型地下水位歷線法」之運算流程，分別輸入各自之輸入資料，輸入資料可區分為三大類，包含「時序資料」、「水文地質參數」與「觀測井拓樸關係」三類資料，其中「時序資料」即為地下水位時序資料與降雨量時序資料；「水文地質參數」則包含儲水係數、比出水率與透水係數；「觀測井拓樸關係」則包含觀測井之代表範圍、相鄰觀測井之距離與相鄰觀測井間之穿越面積等，此類資訊可藉由地理資訊系統(GIS)建立提供。

比較「地下水位歷線法」與「修正型地下水位歷線法」之輸入資料，由於「修正型地下水位歷線法」會利用達西公式來計算穿越水量，因此較「地下水位歷線法」必須多輸入透水係數、相鄰觀測井之距離與相鄰觀測井間之穿越面積等資訊。

兩模組之計算順序則如圖 3.3-3 所示，其中可區分為數個步驟，依序如下所述：

- (a) 交換水量可由式 3.2-1a 或 3.2-1b 之達西公式計算得。
- (b) 利用各時刻之水位資料，乘上儲水係數或比流出率，以及代表之區塊面積，此乘積即為該時刻之地下水儲蓄水量(如式 3.1-2 所示)，而不同時刻之差值即為儲蓄變化量，因此由年初與年末水位差值，即可計算得年度儲蓄變化量。
- (c) 依據枯水期之退水曲線即可得到平均抽水量(如式 3.1-4 所示)。
- (d) 藉由降雨時序資料分辨各降雨場次，由此計算該降雨場次之降雨延時，

將前述平均抽水率乘上降雨延時，即等於該場次期間之抽水量。

- (e) 由於降雨期間假設抽水行為不因降雨與否而改變，因此場次之補注量即等於降雨事件結束與起始之地下水儲蓄量差值，再加上場次期間之抽水量。
- (f) 各降雨場次之地下水流失量可利用降雨結束後之水位變化曲線判定，將降雨事件結束當日與結束後數日，以抽水斜率分別畫上虛擬線，兩虛擬線之差值即為該場次之地下水流失量。修正型地下水位歷線法則考量期間之穿越水量。
- (g) 累計年度內之補注量與流失量，即可計算該年度之年補注量與年流失量。

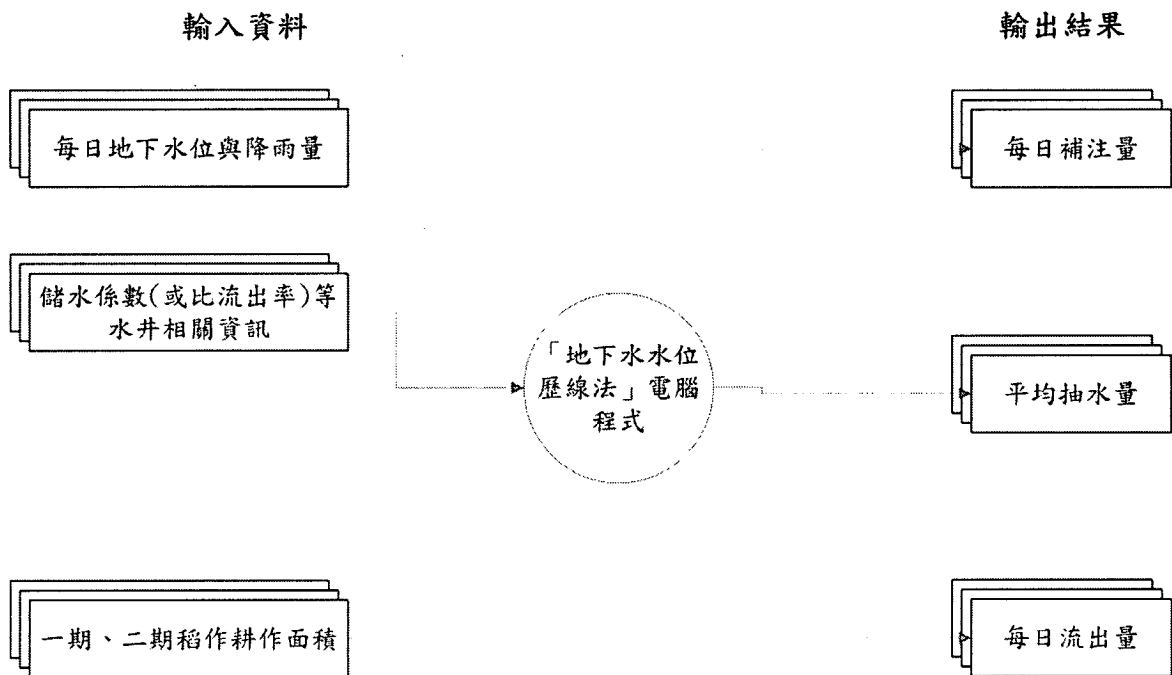


圖 3.3-1 「地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖

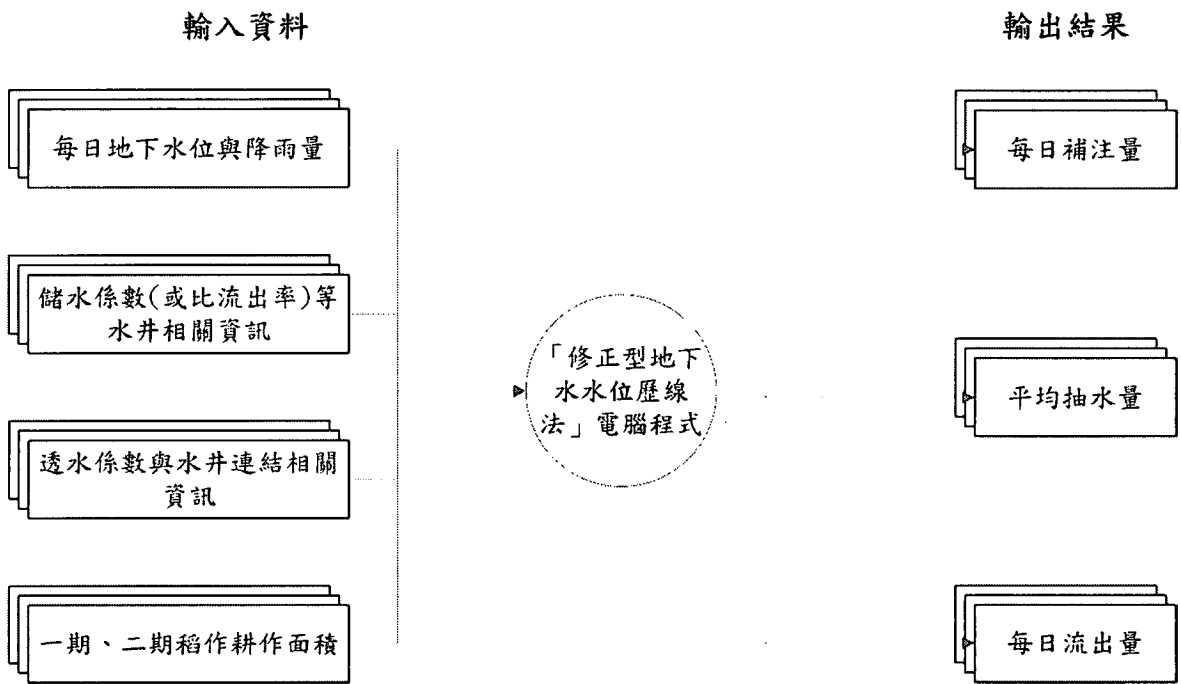


圖 3.3-2 「修正型地下水水位歷線法」電腦程式資料流程架構圖

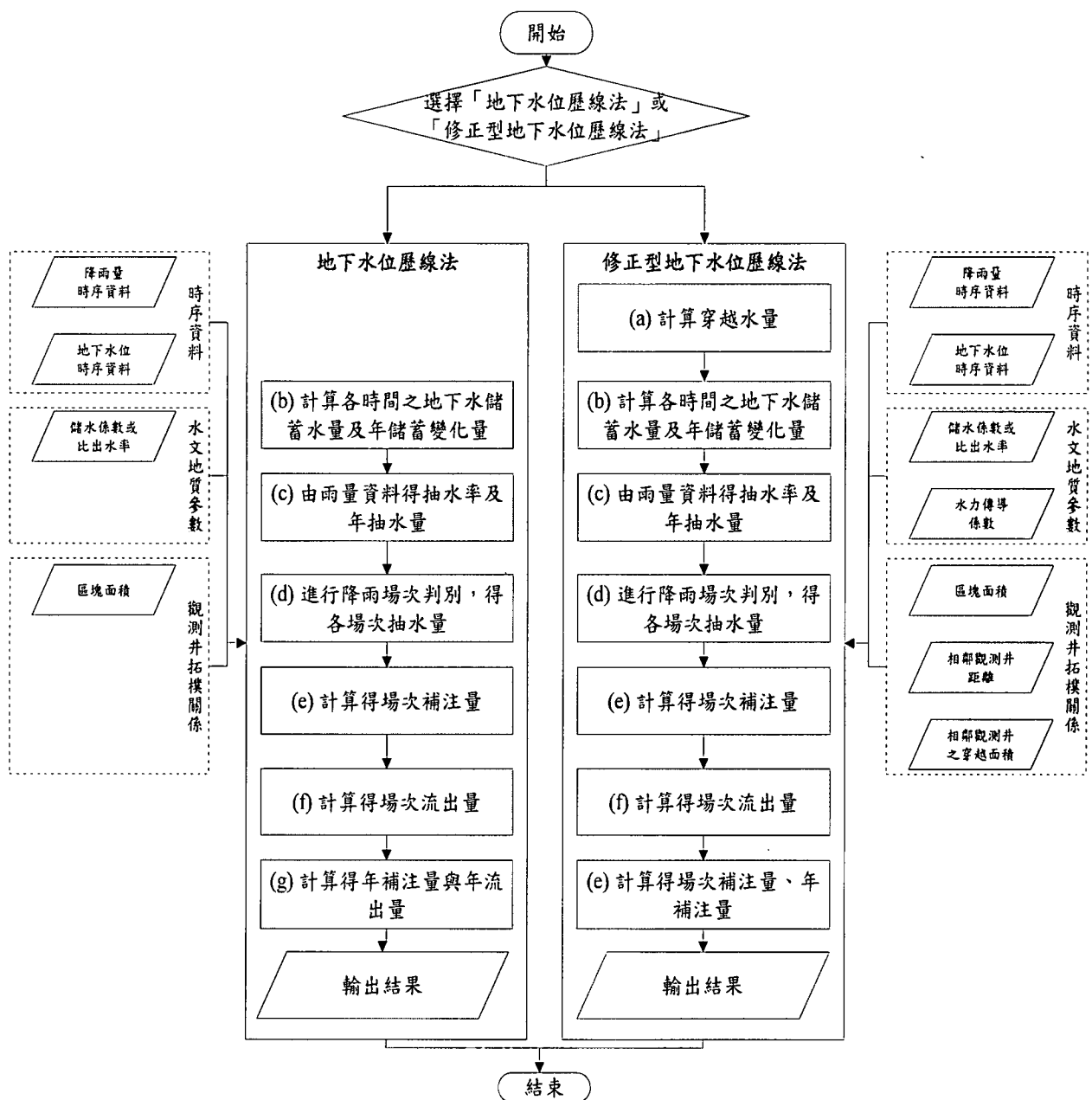


圖 3.3-3 地下水位歷線法程式計算流程

3.4 水位歷線法分析於濁水溪沖積扇之應用結果

前述第二章蒐集了濁水溪沖積扇 F1 含水層 42 口表層地下水觀測井，在本章節刪除研究區域外，以及觀測資料大幅缺漏等嚴重問題之水井，共挑選 30 口表層地下水觀測井，其資料已於 2.3.1 小節進行資料補遺，以下將以 1998~2003 年與 2006~2009 年之水位資料，應用水位歷線法進行補注量與抽水量等之分析。圖 3.4-1 為地下水井與對應的徐昇氏多邊形圖。

表 3.4-1 為 30 口井之列表，其中包含各井之儲水係數與透水係數，在透水

係數部分由於試驗較為簡單，因此各井在營運前均透過抽水試驗取得現地透水係數。而儲水係數部分，則由於雙井試驗較為複雜，因此並非所有觀測井均有現地試驗值，如加上本計劃（98 年度）於柑園(1)與荊桐(1)完成之雙井試驗，亦僅有十口水井有現地試驗值，其數值列於表 3.4-1(以※符號標註)。

其餘水井之儲水係數必須藉由現有的試驗值，搭配經驗判斷加以補齊。首先，針對其餘水井以拘限與非拘限進行分類。其次，水井之儲水係數以同分類水井之試驗平均值給定，拘限水井包含線西(1)、荊桐(1)、田洋(1)與海園(1)，其試驗值分布於 1.91×10^{-4} 至 4.48×10^{-3} 之間，其平均值為 1.82×10^{-3} ，其餘水井即直接給予 1.82×10^{-3} ；非拘限水層儲水係數從 0.152 至 0.289 之間，平均值為 0.2，即以平均值給定。

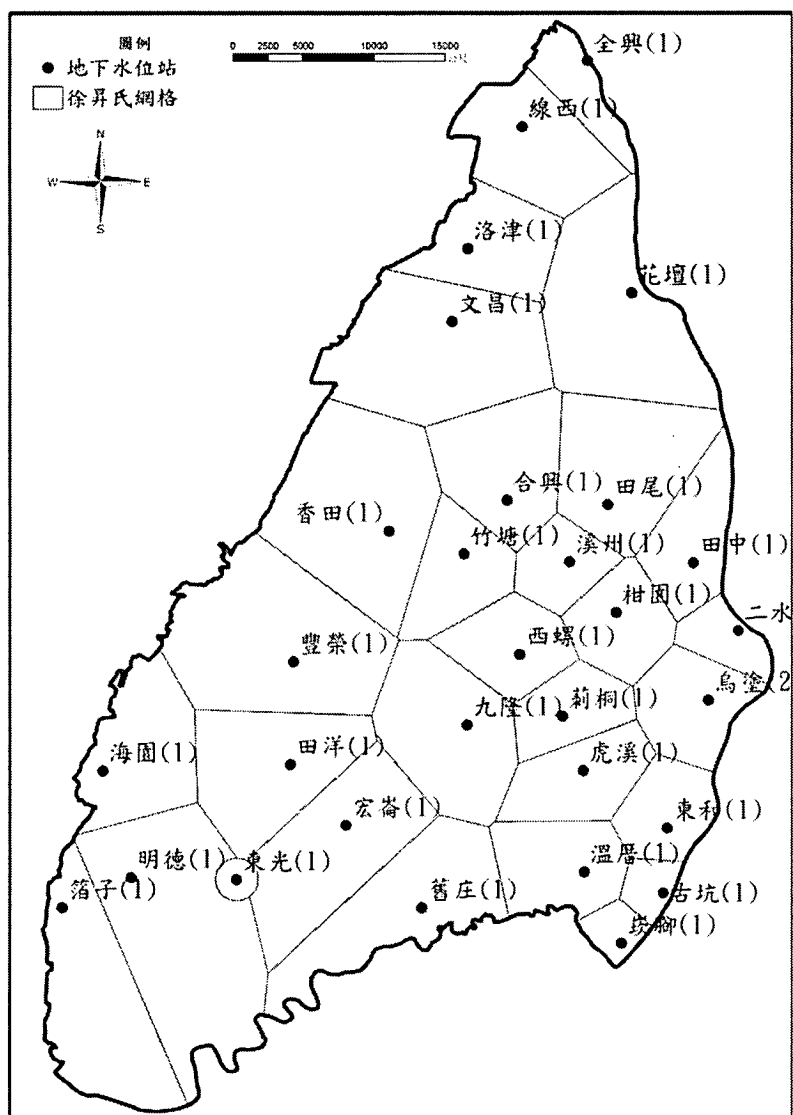


圖 3.4-1 淺層地下水觀測井分布與徐昇氏多邊形

表 3.4-1 濁水溪沖積扇淺層觀測井列表(30 口井)

井號	井名	儲水係數(-)	控制面積 (m ²)	透水係數 (m/day)	含水層種類 (0:非受壓;1:受壓)
7020111	洛津(1)	0.20017	58267892	3.41	0
7040111	線西(1)	※0.00448	72983267	18.40	1
7050111	全興(1)	0.20017	29778213	38.30	0
7060111	文昌(1)	0.00181	129239096	23.80	1
7080111	花壇(1)	0.00182	119478845	45.21	1
7120111	田中(1)	0.20017	51231102	13.13	0
7180111	二水	※0.199	23402815	86.14	0
7200211	香田(1)	0.00182	133195972	23.85	1
7210111	田尾(1)	0.00182	91029277	59.84	1
7220211	合興(1)	※0.225	73669839	151.97	0
7250111	竹塘(1)	0.20017	48919414	124.67	0
7260111	柑園(1)	※0.12	45120137	104.63	0
7260211	溪州(1)	※0.216	32588859	58.75	0
9010112	虎溪(1)	0.00182	50545738	50.03	1
9020111	溫厝(1)	0.00182	55004900	7.86	1
9040111	西螺(1)	0.20017	46228652	45.61	0
9040211	九隆(1)	0.00182	91086334	58.14	1
9050111	宏崙(1)	0.00182	99606284	42.87	1
9070111	東和(1)	0.20017	39964436	6.67	0
9070211	崁腳(1)	0.00182	13912089	3.19	1
9070311	古坑(1)	0.20017	14065190	4.66	0
9080211	舊庄(1)	0.00182	96647290	16.43	1
9090211	蔴桐(1)	※0.0007074	38311604	78.45	1
9100121	烏塗(2)	※0.152	50399691	47.52	0
9120111	豐榮(1)	0.00182	144838492	29.46	1
9150111	田洋(1)	※0.00188	87563447	45.17	1
9160111	海園(1)	※0.000191	74109523	6.45	1
9180111	箔子(1)	0.00182	102101224	18.74	1
9180311	明德(1)	0.20017	158641605	6.29	0
9180411	東光(1)	※0.289	7063538	36.33	0

※：代表為現地複井試驗成果

3.4.1 退水線判斷

本計劃以 Fortran 電腦程式語言建立水位歷線法之電腦程式，在執行上本程式可以逐站計算各站的抽水量、補注量與流失量等資訊，再進一步加總累計成全區之抽水量、補注量與流失量等；除此之外，本程式亦可直接以全區之儲蓄水量歷線進行計算。計算上，首先必須依據各水井之退水線，求得各水井控制範圍之平均抽水率。然濁水溪沖積扇因為區域特性關係，許多水井之退水曲線並不明顯，且變化多端，如欲以程式進行判斷，則力有未逮。本研究在此改以人工方式預先判斷，並可一併針對現地資料進行檢視與分析。觀察區域內各水井之水位歷線，可將水位歷線變化分類為以下三大類，如下所示：

- 1、枯水期退水線：於枯水期間，約十月至隔年一、二月間，其水位歷線筆直地向下遞減，如圖 3.4-2 所示，全興(1)於 1997 年間底至隔年年初，即為此類退水線，在此稱之為枯水期退水線。
- 2、一期稻作退水線：除了枯水期退水線外，部分水井在三月至四月期間，亦有另一條退水線存在，且其退水線斜率比枯水期退水線更陡，如圖 3.4-3 所示，洛津(1)於 1999 年初即具備所述之退水線。由於濁水溪沖積扇分布大量之水田，該段時間為一期稻作期間，由於水稻需要大量水源供灌溉使用，亦即透過該退水線，亦可決定稻作所需之水量。
- 3、除了前述之兩類退水線外，部分沿海水井，於冬季期間存在短於一週且大量之退水線，如圖 3.4-4 所示，海園(1)於 1999 年底時發生。如透過 Google Earth 所提供之空照圖(圖 3.4-5)顯示，該井距離海邊極近，且附近有大量魚塢，因此前述時距極短且大量之退水線，推論可能為因為寒流來臨，為避免魚苗凍死，因此抽取大量地下水以提昇魚塢溫度。

由於第三類退水線僅存在少量的沿海水井，且其僅發生期間均在一週內，相較於整個濁水溪沖積扇與整個年度而言，其影響範圍極小，故此僅針對枯水期退水線與一期稻作退水線進行調查，表 3.4-2 與 3.4-3 分別為枯水期與一期稻作之退水線列表。

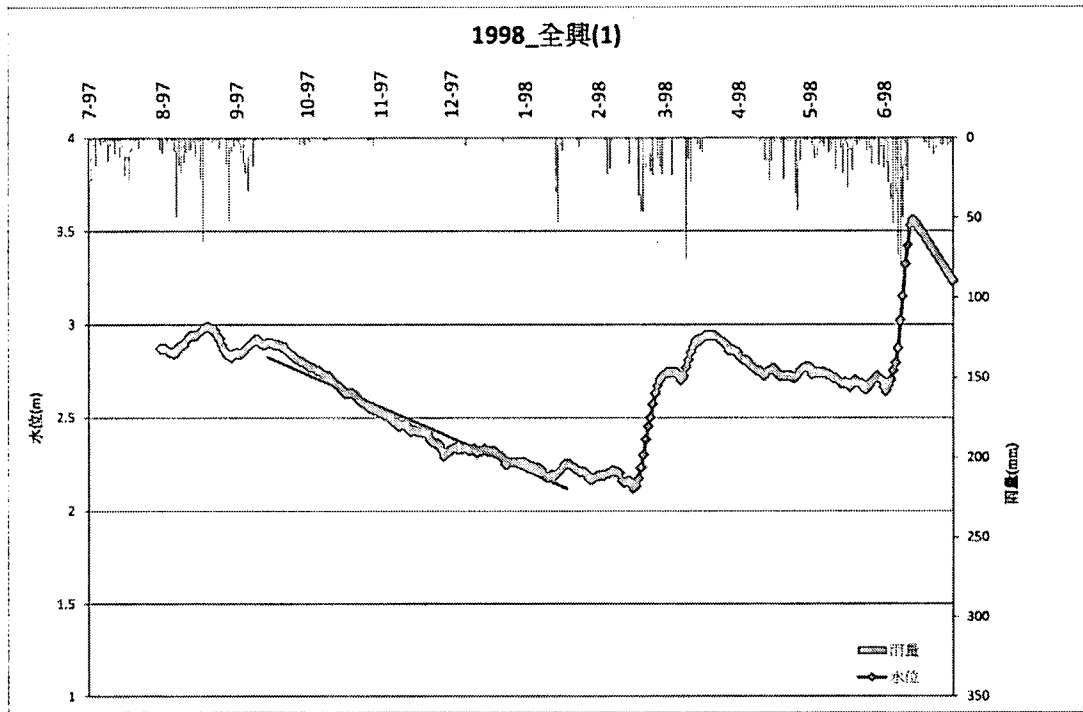


圖 3.4-2 水位歷線及枯水期退水線圖(全興(1))

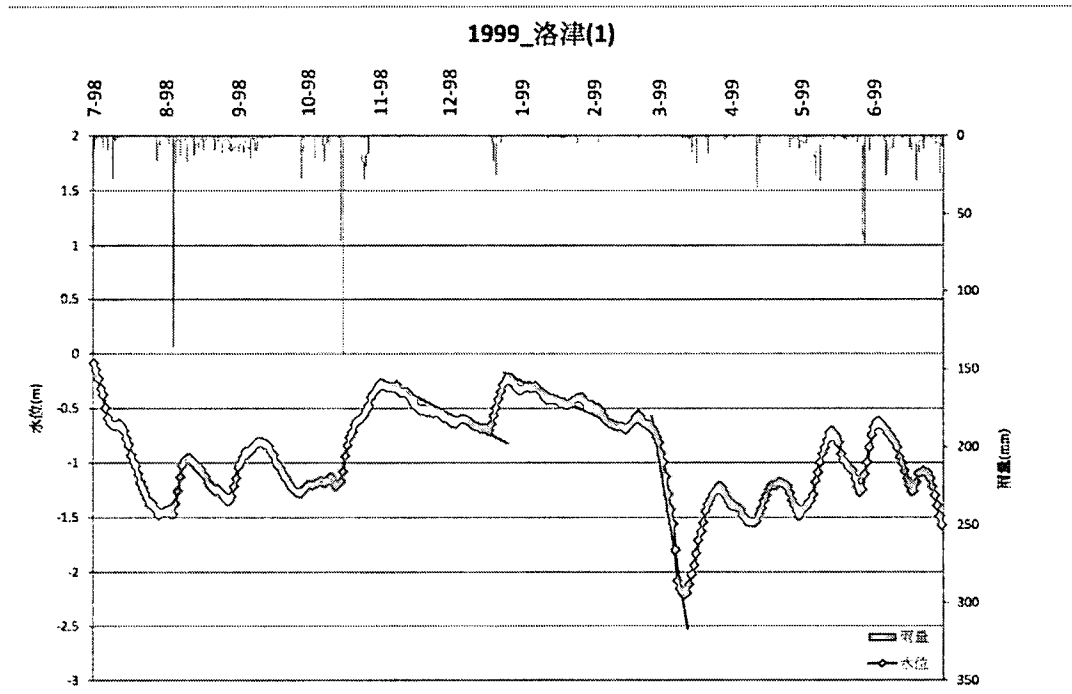


圖 3.4-3 水位歷線、枯水期及一期稻作退水線圖(洛津(1))

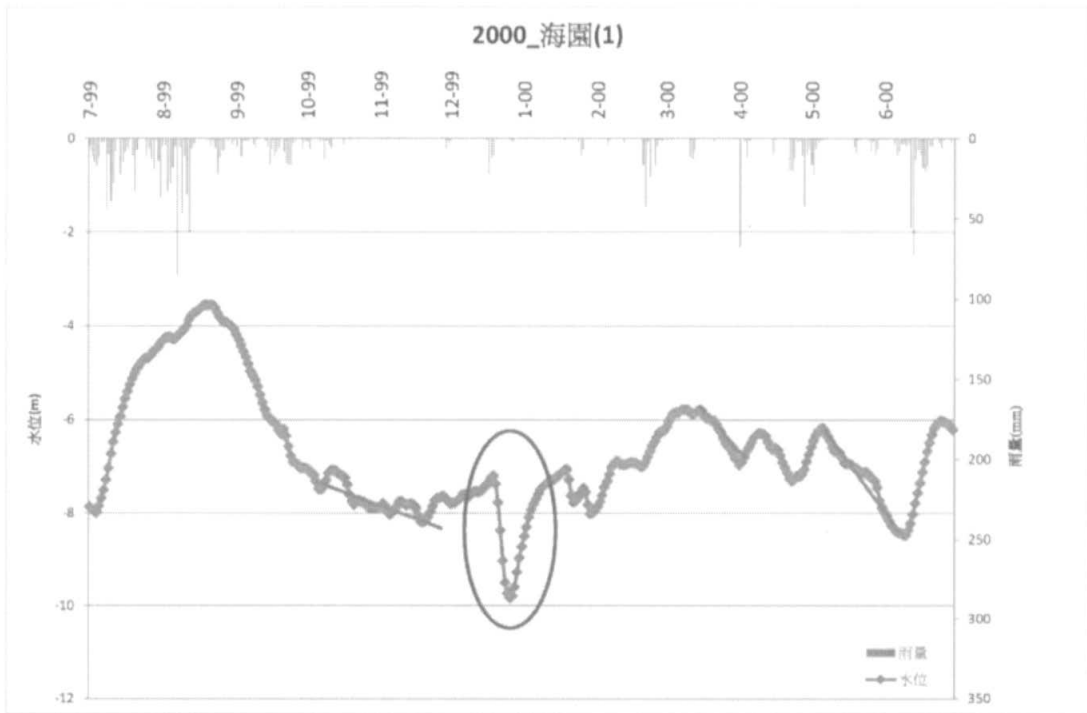


圖 3.4-4 短期且急遽之退水線圖(海園(1))



圖 3.4-5 Google Earth 空照圖(海園(1))

表 3.4-2 濁水溪沖積扇表層水井枯水期退水線列表

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
		2003		2006		2007		2008		2009	
7020111	洛津(1)	1997/12/12,1998/1/10 2002/12/31,2003/2/8	1998/11/4,1998/12/17, 1998/12/28,1999/2/14	1999/10/11,1999/11/5	2000/12/23,2001/1/25	2001/11/13,2008/12/19	2001/10/12,2001/11/28, 2001/12/21,2002/2/1				
7040111	線西(1)	1997/10/1,1998/1/12 2002/12/14,2003/1/29	1998/11/11,1998/12/2, 1998/12/25,1999/1/31 2006/12/16,2007/1/11	1999/12/27,2000/1/28		2008/10/20,2008/11/14					
7050111	全興(1)	1997/9/22,1998/1/15 2002/10/1,2002/12/21, 2002/12/28,2003/3/4	1998/11/12,1999/3/3 2006/9/14,2006/10/26 2006/11/29,2007/1/19	1999/10/13,2000/1/27	2000/11/5,2001/3/9	2008/11/3,2009/1/24	2001/10/16,2002/1/16, 2002/1/14,2002/3/11				
7060111	文昌(1)	1997/11/17,1998/1/14 2002/11/2,2002/12/15, 2002/12/24,2003/2/8	1998/10/31,1998/12/18, 1998/12/27,1999/2/21	1999/11/8,2002/2/18	2000/12/19,2001/1/27	2008/11/11,2009/1/25	2001/11/2,2002/2/9				
7080111	花壇(1)	2002/10/4,2002/12/15, 2002/12/23,2003/2/8	1998/10/31,1998/12/18, 1998/12/27,1999/2/10	1999/9/3,1999/12/2	2000/9/18,2000/10/26, 2000/11/6,2000/12/6, 2000/12/17,2001/1/19	2001/10/3,2002/1/26					
7120111	田中(1)	1997/12/8,1998/1/14 2002/11/17,2003/2/26	1998/12/3,1999/2/16 2006/9/12,2006/11/3	1999/10/20,2000/2/12	2000/10/10,2001/1/26	2008/11/8,2008/12/16	2001/10/21,2002/3/10				
7180111	二水	1997/10/12,1998/1/14 2002/11/2,2003/2/7	1998/11/5,1999/2/9 2006/10/9,2007/2/5	1999/10/15,2000/3/20	2000/9/26,2000/10/30, 2000/12/5,2001/1/25	2001/10/11,2002/1/15, 2002/2/10,2002/5/14					
7200211	香田(1)	1997/9/22,1998/1/13 2002/9/28,2003/1/12	1998/10/30,1999/2/11 2006/9/12,2006/10/26 1998/11/3,1998/12/12, 1998/12/28,1999/2/12	1999/12/11,1999/12/11, 1999/12/23,2000/2/8	2000/9/15,2000/10/30, 2000/12/3,2001/1/17	2001/10/11,2002/1/26					
7210111	田尾(1)	2002/10/15,2003/1/13 1997/10/9,1998/1/8 2002/9/27,2002/11/13	2006/9/8,2006/10/19 1998/11/1,1998/1/8 2006/9/18,2006/10/31	1999/10/15,1999/11/1	2000/11/4,2001/1/19	2001/10/20,2002/1/28					
7220211	合興(1)			2007/11/18,2007/2/10 2007/11/19,2008/1/18	2008/11/21,2008/12/15						
				1999/10/22,2000/1/12	2000/12/20,2001/1/25						
				2007/11/13,2007/2/19 2007/11/20,2008/3/20	2008/11/9,2008/12/14						

(續前頁)

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
7250111	竹塘(1)	2002/10/1,2002/11/12	2006/9/19,2006/10/30	1998/11/3,1999/1/17	1999/9/27,1999/11/7, 1999/11/23,1999/12/29	2000/9/6,2000/10/30	2000/9/6,2000/10/30	2002/11/14,2008/12/31	2002/11/14,2008/12/31	2002/11/14,2008/12/31	2002/11/14,2008/12/31
		1997/10/31,1998/1/13 2002/9/21,2003/3/1	1998/11/15,1999/2/5 2006/9/16,2007/2/17	1999/10/16,2000/2/19 2007/11/26,2008/3/17	1999/11/9,2000/2/20 2007/10/7,2008/3/8	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26	2000/9/6,2000/10/30, 2000/11/17,2001/1/26
7260111	柑園(1)	1997/11/10,1998/1/11 2002/9/28,2003/1/14	1998/10/20,1999/1/24 2006/9/8,2006/10/28	1998/10/19,1999/1/27 2006/11/22,2007/1/11	1999/11/4,2000/1/31 2007/11/5,2007/12/6	2000/8/28,2001/1/22	2000/8/28,2001/1/22	2001/10/17,2001/12/2	2001/10/17,2001/12/2	2001/10/17,2001/12/2	2001/10/17,2001/12/2
9010112	溪州(1)	2002/10/26,2003/1/29	1998/11/1,1998/12/3, 1998/12/28,1999/1/31	1998/11/1,1998/12/3, 1998/12/28,1999/1/31	1999/10/25,2000/1/31	2000/11/5,2001/1/3, 2001/2/1,2001/3/17	2000/11/5,2001/1/3, 2001/2/1,2001/3/17	2001/10/13,2001/11/28, 2001/12/6,2002/1/17	2001/10/13,2001/11/28, 2001/12/6,2002/1/17	2001/10/13,2001/11/28, 2001/12/6,2002/1/17	2001/10/13,2001/11/28, 2001/12/6,2002/1/17
9020111	溫厝(1)	2002/9/29,2002/11/28	2006/9/28,2006/11/9 2006/11/24,2007/1/9	2006/9/28,2006/11/9 2006/11/24,2007/1/9	2007/10/27,2008/1/6	2008/10/14,2008/12/10	2008/10/14,2008/12/10	2008/10/14,2008/12/10	2008/10/14,2008/12/10	2008/10/14,2008/12/10	2008/10/14,2008/12/10
9040111	西螺(1)	2002/10/16,2002/12/13	1998/11/1,1999/3/7 2006/9/3,2006/10/29	1998/11/1,1999/3/7 2006/9/3,2006/10/29	1999/10/5,2000/2/13 2007/10/9,2008/3/10	2000/9/15,2000/11/30, 2000/12/20,2001/1/24	2000/9/15,2000/11/30, 2000/12/20,2001/1/24	2001/11/9,2002/1/3, 2002/2/15,2002/3/14	2001/11/9,2002/1/3, 2002/2/15,2002/3/14	2001/11/9,2002/1/3, 2002/2/15,2002/3/14	2001/11/9,2002/1/3, 2002/2/15,2002/3/14
9040211	九隆(1)	2002/10/6,2002/12/17, 2003/1/21,2003/3/1	1998/11/7,1998/12/17, 1999/1/25,1999/3/4 2006/9/23,2006/11/7	1998/11/7,1998/12/17, 1999/1/25,1999/3/4 2006/9/23,2006/11/7	1999/10/10,2000/2/16 2007/12/1,2008/1/18	2000/9/14,2000/10/30, 2000/11/13,2000/12/12, 2001/2/2,2001/3/22	2000/9/14,2000/10/30, 2000/11/13,2000/12/12, 2001/2/2,2001/3/22	2001/10/30,2001/12/8	2001/10/30,2001/12/8	2001/10/30,2001/12/8	2001/10/30,2001/12/8
9050111	宏崙(1)		1998/10/21,1999/1/10 2006/9/25,2006/11/10	1998/10/21,1999/1/10 2006/9/25,2006/11/10	1999/12/27,2000/2/15 2007/10/27,2008/1/2	2000/11/5,2000/12/8	2000/11/5,2000/12/8	2001/10/30,2001/12/30	2001/10/30,2001/12/30	2001/10/30,2001/12/30	2001/10/30,2001/12/30
9070111	東和(1)	1997/10/22,1998/1/13 2002/10/14,2003/1/10	1998/10/21,1999/1/9, 1999/1/19,1999/4/4 2006/11/22,2007/2/11	1998/10/21,1999/1/9, 1999/1/19,1999/4/4 2006/11/22,2007/2/11	1999/10/15,2000/1/16 2007/12/7,2008/2/6	2000/10/21,2000/12/6	2000/10/21,2000/12/6	2001/10/16,2002/1/19	2001/10/16,2002/1/19	2001/10/16,2002/1/19	2001/10/16,2002/1/19
9070211	拱腳(1)	2002/10/6,2002/11/24, 2003/1/13,2003/2/7	1998/11/9,1998/12/20, 1999/2/19,1999/3/14 2007/11/12,2007/2/3	1998/11/9,1998/12/20, 1999/2/19,1999/3/14 2007/11/12,2007/2/3	1999/10/25,1999/11/28, 2000/1/1,2000/1/30 2007/12/13,2008/1/10	2000/11/29,2001/1/10	2000/11/29,2001/1/10	2001/11/10,2001/12/16, 2002/3/5,2002/5/6	2001/11/10,2001/12/16, 2002/3/5,2002/5/6	2001/11/10,2001/12/16, 2002/3/5,2002/5/6	2001/11/10,2001/12/16, 2002/3/5,2002/5/6

(續前頁)

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
9070311	古坑(1)	1997/10/4,1998/1/4	1998/11/1,1999/4/13	1999/10/13,2000/2/5	2000/9/21,2000/10/29	2001/10/8,2002/5/1					
		2002/10/9,2002/12/31,2003/1/15,2003/4/1	2006/10/17,2007/2/4	2007/11/4,2008/2/15	2008/11/24,2009/1/22	2000/9/17,2000/10/26,2000/11/13,2000/12/10	2001/10/30,2002/1/15				
9080211	舊庄(1)	1997/10/1,1998/1/4	1998/12/28,1999/1/23	1999/10/16,2000/1/11	2000/9/17,2000/10/26,2000/11/13,2000/12/10	2001/10/30,2002/1/15					
		2002/9/26,2002/11/11	2006/12/24,2007/1/27	2007/11/1,2008/1/18	2008/11/20,2008/12/20	2000/11/8,2000/12/1,2001/2/1,2001/3/24	2001/10/5,2001/11/30,2001/12/10,2002/4/10				
9090211	荊桐(1)	2002/10/5,2003/3/21	2006/9/8,2006/10/17	2007/10/22,2008/1/15	2008/11/7,2009/1/30						
		1997/10/1,1998/1/13	2006/11/19,2007/1/20	1998/10/18,2000/1/29	2000/11/8,2000/12/1,2001/2/1,2001/3/24	2000/9/9,2001/1/24	2001/10/12,2002/3/17				
9100121	烏塗(2)	2002/10/2,2003/3/7	2006/9/21,2007/1/27	2007/10/28,2008/2/5	2008/10/8,2009/1/25						
		1997/10/21,1998/1/10	1998/10/30,1998/12/15,1998/12/25,1999/2/16	1999/10/11,2000/1/19	2000/9/11,2000/10/26,2000/11/5,2000/12/11,2000/12/19,2001/1/20	2001/11/5,2002/1/17					
9120111	豐榮(1)	2002/8/12,2003/1/26	2006/9/22,2006/11/11	2007/10/26,2008/1/18	2008/11/8,2009/1/25						
		1997/12/3,1998/1/13	1998/11/26,1999/3/14	1999/11/16,2000/1/23	2000/12/18,2001/3/21	2001/10/14,2001/12/22,2002/1/13,2002/3/17					
9150111	田洋(1)	2002/10/14,2003/3/21	2006/11/16,2007/1/15	2007/11/21,2008/1/15	2008/11/7,2008/12/8						
			1998/11/13,1998/12/12	1999/10/8,1999/11/21	2000/9/30,2000/10/28,2000/11/16,2000/12/10,2000/12/30,2000/11/21	2001/10/10,2001/11/18,2002/2/11,2002/4/8					
9160111	海園(1)	2002/9/26,2002/11/8	2006/11/11,2006/12/8	2008/1/12,2006/8/1/31,2008/9/21,2008/10/11							
			1998/11/9,1998/12/19	1999/10/16,1999/12/15	2000/10/3,2000/10/28,2000/11/9,2000/12/11,2000/12/22,2001/1/21	2001/10/5,2001/10/31					
9180111	箔子(1)	2002/9/2,2002/10/19	2006/9/8,2006/10/27	2007/10/31,2008/1/8,2008/12/31,2009/2/23							

(續前頁)

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
			2003		2006		2007		2008		2009
9180311	明德(1)		1999/1/7,1999/2/16		1999/10/11,1999/11/30				2000/9/19,2000/10/25		2001/10/20,2001/12/10
		2002/9/28,2002/11/28									
9180411	東光(1)	1997/12/7,1998/1/13	1998/11/4,1998/12/14, 1998/12/23,1999/2/2		1999/11/2,1999/12/16			2000/11/11,2000/12/11, 2000/12/28,2001/1/24			2001/12/15,2002/1/25
		2002/12/27,2003/1/26	2006/9/20,2006/10/30		2007/10/19,2008/1/13			2008/11/12,2008/12/24			
10040111	三和(1)		1998/10/31,1998/12/1		1999/10/8,1999/11/20			2000/9/27,2000/11/2			2001/10/12,2001/11/21
		2002/10/31,2002/11/13, 2002/11/24,2002/12/18									
10050111	東榮(1)				2000/1/14,2000/2/18			2000/9/16,2000/10/28, 2001/2/1,2001/3/26			2001/10/9,2001/11/14
		2002/10/1,2002/11/18									
10070111	安和(1)		1998/11/3,1998/12/18		1999/10/8,1999/11/8, 1999/11/20,2000/1/13			2000/9/4,2000/10/20, 2000/11/8,2000/12/12			2001/11/14,2002/1/10
		2002/10/24,2002/12/18									

表 3.4-3 濁水溪沖積扇表層水井一期稻作退水線列表

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
7020111	洛津(1)	1998/3/20,1998/4/12	1999/2/28,1999/3/14	2000/3/1,2000/3/12	2001/2/16,2001/3/9	2002/2/23,2002/3/13					
		2003/2/22,2003/3/9	2006/2/23,2006/3/11	2007/2/15,2007/3/5	2008/2/16,2008/3/11						
		1998/5/8,1998/5/25	1999/4/29,1999/5/14	2000/4/22,2000/4/30	2001/3/30,2001/4/19	2002/4/10,2002/4/26, 2002/5/1,2002/5/12					
7040111	線西(1)	2003/4/27,2003/5/14									
7050111	全興(1)										
7060111	文昌(1)	1998/2/22,1998/4/3	1999/2/25,1999/3/11	2000/2/27,2000/3/11	2001/2/22,2001/3/8	2002/2/23,2002/3/9					
		2003/2/11,2003/3/6									
7080111	花壇(1)	1998/2/21,1998/3/9, 1998/3/16,1998/4/4	1999/2/22,1999/3/6, 1999/5/10,1999/5/25	2000/2/29,2000/3/28	2001/1/29,2001/2/24	2002/2/19,2002/2/28, 2002/4/13,2002/5/6					
		2003/4/15,2003/5/1		2007/4/7,2007/5/1	2008/5/5,2008/5/16	2009/4/20,2009/5/12					
7120111	田中(1)										
7180111	二水										
7200211	香田(1)	1998/3/21,1998/4/12	1999/2/13,1999/3/3	2000/2/13,2000/2/22	2001/1/23,2001/2/16	2002/2/14,2002/2/28					
		2003/2/2,2003/2/21		2007/1/19,2007/3/2	2008/1/26,2008/3/5	2009/2/6,2009/3/1					
7210111	田尾(1)	1998/3/2,1998/3/9, 1998/3/15,1998/4/11	1999/2/23,1999/3/10	2000/2/29,2000/3/9, 2000/3/15,2000/3/30, 2000/4/4,2000/4/21	2001/2/1,2001/2/21	2002/2/7,2002/2/27					
		2003/2/11,2003/3/7, 2003/4/10,2003/5/13									
		1998/2/28,1998/3/9, 1998/3/12,1998/4/10	1999/1/26,1999/3/10	2000/2/4,2000/2/22	2001/2/4,2001/3/15	2002/2/2,2002/3/6					
7250111	竹塘(1)	2003/4/15,2003/6/6									
		1998/2/4,1998/2/10	1999/1/19,1999/2/4	2000/1/16,2000/2/19	2001/2/2,2001/2/7	2002/1/21,2002/3/17					
7260111	柑園(1)	2003/1/24,2003/3/9									

(續前頁)

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
		2003		2006		2007		2008		2009	
7260211	溪州(1)										
9010112	虎溪(1)	1998/1/19,1998/2/17, 1998/3/16,1998/4/10	1999/2/19,1999/3/5, 1999/3/19,1999/4/19	2000/2/27,2000/3/28, 2000/4/6,2000/4/22, 2000/5/3,2000/5/25	2001/1/29,2001/3/3	2002/1/27,2002/3/13, 2002/3/29,2002/5/14					
		2003/2/4,2003/3/3, 2003/4/16,2003/5/1		2007/1/28,2007/3/14	2008/1/23,2008/3/1	2009/4/23,2009/5/6					
9020111	溫厝(1)	1998/3/15,1998/4/13	1999/2/19,1999/3/8	2000/2/29,2000/3/31, 2000/4/5,2000/5/20	2001/4/22,2001/4/30	2002/2/14,2002/3/22, 2002/4/10,2002/5/13					
		2003/2/2,2003/2/12, 2003/4/24,2003/5/13									
9040111	西螺(1)										
9040211	九隆(1)	1998/3/14,1998/4/8	1999/4/12,1999/4/27, 1999/5/9,1999/5/22	2000/2/25,2000/3/26, 2000/4/4,2000/4/19, 2000/4/28,2000/5/17	2001/3/28,2001/4/2, 2001/4/24,2001/5/7	2002/1/30,2002/2/25					
		2003/4/10,2003/5/3, 2003/5/19,2003/6/2		2007/4/18,2007/5/14							
9050111	宏崙(1)	1998/3/14,1998/3/31	1999/1/19,1999/3/10	1999/12/28,2000/2/12, 2000/2/22,2000/3/27, 2000/5/1,2000/5/23	2001/1/31,2001/3/15, 2001/4/20,2001/5/4	2002/1/19,2002/3/21					
		2003/1/29,2003/3/1, 2003/4/13,2003/5/8		2007/1/24,2007/3/13	2008/1/19,2008/3/21	2009/4/27,2009/5/5					
9070111	東和(1)	1998/1/22,1998/2/18	1999/4/13,1999/4/30	2000/1/19,2000/3/6	2001/1/6,2001/2/8	2002/1/24,2002/5/13					
		2003/1/15,2003/3/8									
9070211	崁腳(1)										
9070311	古坑(1)										
9080211	舊庄(1)	1998/1/17,1998/2/3, 1998/3/12,1998/4/10	1999/1/26,1999/2/9, 1999/3/26,1999/4/11, 1999/4/16,1999/4/25	2000/1/21,2000/2/10, 2000/4/8,2000/4/19, 2000/5/5,2000/5/20	2001/1/28,2001/2/18, 2001/3/3,2001/3/25, 2001/4/11,2001/5/7	2002/1/18,2002/1/27, 2002/4/4,2002/5/7					
		2003/1/12,2003/2/4, 2003/4/12,2003/5/8		2007/4/13,2007/5/13	2008/5/2,2008/5/18	2009/4/19,2009/5/6					

(續前頁)

井號	井名	1998		1999		2000		2001		2002	
		2003		2006		2007		2008		2009	
9090211	莉桐(1)										
9100121	烏塗(2)										
9120111	豐榮(1)	1998/3/19,1998/4/15, 1998/5/1,1998/5/14	1999/2/20,1999/3/3, 1999/3/17,1999/4/12, 1999/5/13,1999/5/27	2000/1/30,2000/2/20, 2000/3/16,2000/3/31, 2000/5/3,2000/6/7	2001/1/29,2001/3/17	2002/2/16,2002/3/5					
		2003/2/7,2003/2/28, 2003/4/17,2003/5/13		2007/5/21,2007/5/30	2008/4/25,2008/5/13	2009/4/21,2009/5/12					
9150111	田洋(1)	1998/2/22,1998/3/8, 1998/3/15,1998/4/12									
		1998/3/21,1998/4/12	1999/3/22,1999/4/12	2000/3/18,2000/4/4, 2000/5/9,2000/6/6	2001/4/25,2001/5/9						
9160111	海園(1)	2003/2/23,2003/3/20, 2003/4/19,2003/5/15		2007/2/4,2007/2/15	2008/2/16,2008/2/24	2009/1/21,2009/2/3					
		1998/3/16,1994/4/11	1999/2/21,1999/4/10, 1999/4/18,1999/4/29, 1999/5/13,1999/5/26	2000/2/29,2000/3/31, 2000/4/7,2000/4/23, 2000/5/2,2000/6/4	2001/2/25,2001/3/7, 2001/4/21,2001/5/4	2002/2/22,2002/3/6					
9180111	箔子(1)	2003/2/15,2003/3/3, 2003/4/21,2003/5/15									
		1998/3/26,1998/4/25 2003/2/23,2003/4/3	1999/3/2,1999/4/19	2000/3/25,2000/6/11	2001/2/25,2001/4/4	2002/2/20,2002/5/17					
9180311	明德(1)	1998/3/17,1998/4/9	1999/2/9,1999/3/7, 1999/5/11,1999/5/25	2000/1/21,2000/2/17, 2000/3/15,2000/3/31, 2000/4/4,2000/4/23, 2000/5/2,2000/5/29	2001/2/15,2001/3/21, 2001/4/21,2001/5/4	2002/2/9,2002/2/24					
		2003/1/31,2003/2/18, 2003/4/17,2003/5/11		2007/1/19,2007/2/27	2008/4/2,2008/5/16	2009/1/21,2009/2/3					
9180411	東光(1)	1998/3/27,1998/5/5	1999/1/5,1999/2/3, 1999/4/13,1999/5/9	2000/1/9,2000/2/18	2001/1/4,2001/2/2, 2001/2/16,2001/3/18, 2001/4/18,2001/5/18	2002/1/6,2002/2/1, 2002/3/27,2002/4/11					
		2003/1/6,2003/3/6, 2003/3/25,2003/4/10, 2003/5/12,2003/5/25									
10040111	三和(1)										

10050111	東榮(1)	1998/1/18,1998/2/7 2003/1/15,2003/3/7				2002/2/1,2002/3/6, 2002/4/6,2002/5/17
10070111	安和(1)	1998/3/10,1998/4/10 2003/1/7,2003/3/14	1999/1/15,1999/2/17, 1999/3/9,1999/4/5	2000/1/31,2000/2/16, 2000/2/23,2000/3/20, 2000/4/30,2000/5/31	2001/1/29,2001/3/14, 2001/4/20,2001/4/30	2002/1/27,2002/3/6, 2002/3/27,2002/5/9

3.4.2 水位歷線法分析結果

本計畫除了使用原始型水位歷線法外，更提出修正型水位歷線法進行水平流通量評估，並比較分析兩者之差異。表 3.4-4 與表 3.4-5 分別為原始型及修正型之系統水平衡分析表，其中平均年儲蓄改變量、平均年補注量與平均年抽水量之結果幾近相同，而平均年流失量之結果則修正型皆比原始型約多 9 百萬噸。以修正型之分析為例，1998~2009 之平均儲蓄改變量約-0.46 億噸，平均抽水量約 7.89 億噸，平均補注量約 7.43 億噸，平均年流失量約 4.54 億噸，顯示其 10 年間地下水系統之儲蓄量仍持續下降中。

表 3.4-6、表 3.4-8 與表 3.4-7、表 3.4-9 分別為原始型及修正型以各站平均年補注量與單位面積日補注量進行排序，輸出各井平均年抽水量、年補注量、單位面積日抽水量與單位面積日補注量，兩類排序表中前 14 順位之水井皆為非受壓水井，其中東光站之儲水係數高達 0.289，故雖然控制面積不大，但仍有相當可觀的補注量。

圖 3.4-6 為平均枯水期退水線斜率等值圖，表 3.4-10 為各井枯水期與一期稻作退水線斜率列表，從圖面顯示退水線斜率較陡者為古坑(1)、東和(1)、二水與海園(1)，其斜率分別為-0.061、-0.051、-0.049 與-0.048(m/day)，古坑(1)、東和(1)與二水為非受壓水井，而海園(1)為受壓水井。由於受壓水井之儲水係數遠小於非受壓水井，故其單位面積抽水量仍小(詳見於表 3.4-9)。古坑(1)、東和(1)與二水為非受壓水井，因此對應之單位面積抽水量分別為 2.5275、2.6498 與 1,9809(m/year)。圖 3.4-7 與圖 3.4-8 為分別原始型與修正型之單位面積長期平均補注量等值圖，兩圖皆顯示單位面積補注量較大分別為東光(1)、古坑(1)、東和(1)與二水。

表 3.4-11 為各徐昇氏多邊形的的平均年水平淨交換量列表，其平均年水平淨交換量約在正負數百萬噸間，圖 3.4-9 是以顏色呈現正交換量與負交換量，圖中顯示負交換量多邊形多位於上游扇頂處，負交換量表示水量向外流出，符合扇頂往扇尾流動之特性。

原始型與修正型水位歷線法於前述幾項分析結果，如平均年補注量與平均年流失量(表 3.4-12、表 3.4-13)，皆呈現兩者數值差異不大之結果(如表 3.4-14 所示)，而兩者最大差異在於修正型水位歷線法增加水平交換量之推估，雖然其數值約僅在正負數百萬間，相較於補注量、抽水量等項目而言來的小，但修正了水平淨交換量，則更能符合現況之補注量空間分布之推估。

表 3.4-4 系統水平衡分析表(原始型)

年份	年儲蓄改變量	年抽水量	年補注量	年流失量	降雨量
1998	89	608	697	512	2,497
1999	-102	679	575	504	1,724
2000	-63	800	735	232	1,622
2001	103	806	908	318	2,131
2002	-172	842	668	287	1,369
2003	-172	915	742	202	1,134
2006	-10	673	662	597	2,420
2007	81	794	874	536	2,452
2008	19	795	809	627	2,691
2009	-230	979	764	609	1,742
平均	-46	789	743	443	1,978
水量單位： 10^6 (m ³)；降雨量單位：(mm)					

表 3.4-5 系統水平衡分析表(修正型)

年份	年儲蓄改變量	年抽水量	年補注量	年流失量	降雨量
1998	89	608	697	522	2,497
1999	-102	679	575	513	1,724
2000	-63	800	735	244	1,622
2001	103	806	908	327	2,131
2002	-172	842	668	300	1,369
2003	-172	915	742	215	1,134
2006	-10	673	662	608	2,420
2007	81	794	874	550	2,452
2008	19	795	809	638	2,691
2009	-230	979	764	622	1,742
平均	-46	789	743	454	1,978
水量單位： 10^6 (m ³)；降雨量單位：(mm)					

表 3.4-6 各井平均年補注量排序列表(原始型)

順位	井名	儲水係數	平均年抽水量 ($10^6 m^3$ /year)	平均年補注量 ($10^6 m^3$ /year)
1	明德(1)	0.2002	1752.5	1654.1
2	東和(1)	0.2002	1045.2	969.8
3	洛津(1)	0.2002	941.4	933.5
4	田中(1)	0.2002	757.0	694.6
5	烏塗(2)	0.1520	662.9	620.4
6	合興(1)	0.2250	556.0	521.5
7	二水	0.1990	463.6	435.4
8	古坑(1)	0.2002	355.4	325.0
9	東光(1)	0.2890	323.4	320.0
10	柑園(1)	0.1200	254.0	234.0
11	竹塘(1)	0.2002	225.1	216.1
12	溪州(1)	0.2160	151.5	139.4
13	西螺(1)	0.2002	163.9	138.2
14	全興(1)	0.2002	81.0	77.0
15	舊庄(1)	0.0018	23.9	23.9
16	豐榮(1)	0.0018	23.0	22.5
17	箔子(1)	0.0018	22.3	22.4
18	線西(1)	0.0045	14.8	14.8
19	宏崙(1)	0.0018	13.0	12.8
20	九隆(1)	0.0018	12.2	12.0
21	香田(1)	0.0018	10.1	9.4
22	文昌(1)	0.0018	7.8	7.7
23	花壇(1)	0.0018	7.4	7.5
24	田尾(1)	0.0018	5.6	5.4
25	田洋(1)	0.0019	4.9	4.7
26	虎溪(1)	0.0018	4.6	4.5
27	溫厝(1)	0.0018	4.0	3.9
28	海園(1)	0.0002	2.3	2.3
29	崁腳(1)	0.0018	1.3	1.5
30	荊桐(1)	0.0007	0.8	0.7
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-7 各井平均年補注量排序列表(修正型)

順位	井名	儲水係數	平均年抽水量 ($10^6 m^3 / year$)	平均年補注量 ($10^6 m^3 / year$)
1	明德(1)	0.2002	1752.5	1650.2
2	東和(1)	0.2002	1045.2	1028.2
3	洛津(1)	0.2002	941.4	914.4
4	田中(1)	0.2002	757.0	713.1
5	烏塗(2)	0.1520	662.9	623.0
6	合興(1)	0.2250	556.0	483.6
7	二水	0.1990	463.6	455.4
8	古坑(1)	0.2002	355.4	328.4
9	柑園(1)	0.1200	254.0	324.0
10	東光(1)	0.2890	323.4	316.9
11	溪州(1)	0.2160	151.5	176.2
12	竹塘(1)	0.2002	225.1	151.2
13	西螺(1)	0.2002	163.9	121.8
14	全興(1)	0.2002	81.0	75.3
15	田尾(1)	0.0018	5.6	59.0
16	九隆(1)	0.0018	12.2	29.7
17	舊庄(1)	0.0018	23.9	28.4
18	田洋(1)	0.0019	4.9	27.3
19	荊桐(1)	0.0007	0.8	23.1
20	箔子(1)	0.0018	22.3	12.8
21	宏崙(1)	0.0018	13.0	12.8
22	崁腳(1)	0.0018	1.3	9.5
23	線西(1)	0.0045	14.8	8.2
24	文昌(1)	0.0018	7.8	1.6
25	花壇(1)	0.0018	7.4	0.7
26	溫厝(1)	0.0018	4.0	-11.1
27	海園(1)	0.0002	2.3	-13.8
28	豐榮(1)	0.0018	23.0	-16.9
29	虎溪(1)	0.0018	4.6	-34.4
30	香田(1)	0.0018	10.1	-63.9
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-8 單位面積平均年補注量排序列表

順位	井名	控制面積 (m ²)	單位面積抽水量 (m/year)	單位面積補注量 (m/year)
1	東光(1)	7,063,538	4.5785	4.5300
2	東和(1)	39,964,436	2.6153	2.4265
3	古坑(1)	14,065,190	2.5268	2.3108
4	二水	23,402,815	1.9811	1.8603
5	洛津(1)	58,267,892	1.6157	1.6021
6	田中(1)	51,231,102	1.4777	1.3558
7	烏塗(2)	50,399,691	1.3152	1.2309
8	明德(1)	158,641,605	1.1047	1.0427
9	合興(1)	73,669,839	0.7547	0.7079
10	柑園(1)	45,120,137	0.5628	0.5187
11	竹塘(1)	48,919,414	0.4601	0.4417
12	溪州(1)	32,588,859	0.4647	0.4278
13	西螺(1)	46,228,652	0.3546	0.2990
14	全興(1)	29,778,213	0.2719	0.2585
15	舊庄(1)	96,647,290	0.0248	0.0247
16	箔子(1)	102,101,224	0.0219	0.0220
17	線西(1)	72,983,267	0.0203	0.0202
18	豐榮(1)	144,838,492	0.0159	0.0155
19	九隆(1)	91,086,334	0.0134	0.0131
20	宏崙(1)	99,606,284	0.0130	0.0128
21	崁腳(1)	13,912,089	0.0094	0.0111
22	虎溪(1)	50,545,738	0.0092	0.0089
23	溫厝(1)	55,004,900	0.0072	0.0072
24	香田(1)	133,195,972	0.0075	0.0071
25	花壇(1)	119,478,845	0.0062	0.0062
26	文昌(1)	129,239,096	0.0060	0.0060
27	田尾(1)	91,029,277	0.0062	0.0059
28	田洋(1)	87,563,447	0.0056	0.0054
29	海園(1)	74,109,523	0.0031	0.0030
30	荊桐(1)	38,311,604	0.0021	0.0019
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-9 單位面積平均年補注量排序列表(修正型)

順位	井名	控制面積 (m ²)	單位面積抽水量 (m/year)	單位面積補注量 (m/year)
1	東光(1)	7,063,538	4.5785	4.4866
2	東和(1)	39,964,436	2.6153	2.5729
3	古坑(1)	14,065,190	2.5268	2.3346
4	二水	23,402,815	1.9811	1.9459
5	洛津(1)	58,267,892	1.6157	1.5694
6	田中(1)	51,231,102	1.4777	1.3920
7	烏塗(2)	50,399,691	1.3152	1.2361
8	明德(1)	158,641,605	1.1047	1.0402
9	柑園(1)	45,120,137	0.5628	0.7182
10	合興(1)	73,669,839	0.7547	0.6565
11	溪州(1)	32,588,859	0.4647	0.5407
12	竹塘(1)	48,919,414	0.4601	0.3090
13	西螺(1)	46,228,652	0.3546	0.2635
14	全興(1)	29,778,213	0.2719	0.2529
15	崁腳(1)	13,912,089	0.0094	0.0680
16	田尾(1)	91,029,277	0.0062	0.0648
17	荊桐(1)	38,311,604	0.0021	0.0604
18	九隆(1)	91,086,334	0.0134	0.0326
19	田洋(1)	87,563,447	0.0056	0.0312
20	舊庄(1)	96,647,290	0.0248	0.0294
21	宏崙(1)	99,606,284	0.0130	0.0128
22	箔子(1)	102,101,224	0.0219	0.0126
23	線西(1)	72,983,267	0.0203	0.0112
24	文昌(1)	129,239,096	0.0060	0.0012
25	花壇(1)	119,478,845	0.0062	0.0006
26	豐榮(1)	144,838,492	0.0159	-0.0117
27	海園(1)	74,109,523	0.0031	-0.0186
28	溫厝(1)	55,004,900	0.0072	-0.0202
29	香田(1)	133,195,972	0.0075	-0.0480
30	虎溪(1)	50,545,738	0.0092	-0.0681
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-10 各站枯水期與一期稻作退水線斜率列表

站號	井名	X	Y	枯水期退水斜率 (m/d)	一期稻作退水斜率 (m/d)
7020111	洛津(1)	191220	2661365	-0.011	-0.046
7040111	線西(1)	195062	2669966	-0.015	-0.024
7050111	全興(1)	199630	2674365	-0.007	
7060111	文昌(1)	190120	2656250	-0.011	-0.017
7080111	花壇(1)	202725	2658257	-0.011	-0.011
7120111	田中(1)	207088	2639188	-0.035	
7180111	二水	210242	2634428	-0.049	
7200211	香田(1)	185725	2641405	-0.009	-0.019
7210111	田尾(1)	201045	2643280	-0.012	-0.017
7220211	合興(1)	194000	2643600	-0.012	-0.016
7250111	竹塘(1)	190948	2639823	-0.007	-0.015
7260111	柑園(1)	201662	2635696	-0.022	
7260211	溪州(1)	198371	2639267	-0.010	
9010112	虎溪(1)	199331	2624542	-0.007	-0.032
9020111	溫厝(1)	199400	2617408	-0.009	-0.031
9040111	西螺(1)	194891	2632723	-0.008	
9040211	九隆(1)	191168	2627781	-0.011	-0.042
9050111	宏崙(1)	182680	2620675	-0.008	-0.050
9070111	東和(1)	205251	2620504	-0.051	-0.044
9070211	崁腳(1)	202021	2612378	-0.022	
9070311	古坑(1)	204980	2615932	-0.061	
9080211	舊庄(1)	188020	2614870	-0.014	-0.089
9090211	荊桐(1)	197886	2628381	-0.014	
9100121	烏塗(2)	208141	2629528	-0.043	
9120111	豐榮(1)	178954	2632222	-0.016	-0.048
9150111	田洋(1)	178717	2624989	-0.009	-0.015
9160111	海園(1)	165467	2624551	-0.048	-0.062
9180111	箔子(1)	162598	2614898	-0.026	-0.096
9180311	明德(1)	167485	2617020	-0.021	-0.016
9180411	東光(1)	174905	2616870	-0.017	-0.102
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年					

表 3.4-11 各站平均年累積水平淨交換量列表

井號	井名	水平淨交換量 ($10^6 m^3 / year$)	井號	井名	水平淨交換量 ($10^6 m^3 / year$)
7020111	洛津(1)	1.91	9040111	西螺(1)	1.64
7040111	線西(1)	0.66	9040211	九隆(1)	-1.77
7050111	全興(1)	0.17	9050111	宏崙(1)	0.00
7060111	文昌(1)	0.61	9070111	東和(1)	-5.85
7080111	花壇(1)	0.67	9070211	崁腳(1)	-0.79
7120111	田中(1)	-1.86	9070311	古坑(1)	-0.33
7180111	二水	-2.00	9080211	舊庄(1)	-0.46
7200211	香田(1)	7.34	9090211	荊桐(1)	-2.24
7210111	田尾(1)	-5.36	9100121	烏塗(2)	-0.26
7220211	合興(1)	3.80	9120111	豐榮(1)	3.94
7250111	竹塘(1)	6.50	9150111	田洋(1)	-2.26
7260111	柑園(1)	-9.01	9160111	海園(1)	1.61
7260211	溪州(1)	-3.68	9180111	箔子(1)	0.96
9010112	虎溪(1)	3.90	9180311	明德(1)	0.39
9020111	溫厝(1)	1.51	9180411	東光(1)	0.31
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年					

表 3.4-12 各站平均年抽水量、補注量與流失量列表(原始型)

井號	井名	抽水量 ($10^6 m^3/year$)	補注量 ($10^6 m^3/year$)	流失量 ($10^6 m^3/year$)
7020111	洛津(1)	94.14	130.70	37.35
7040111	線西(1)	1.48	3.42	1.95
7050111	全興(1)	8.10	14.74	7.04
7060111	文昌(1)	0.78	2.19	1.42
7080111	花壇(1)	0.74	1.53	0.78
7120111	田中(1)	75.70	85.92	16.46
7180111	二水	46.36	61.00	17.47
7200211	香田(1)	1.01	1.26	0.32
7210111	田尾(1)	0.56	1.48	0.94
7220211	合興(1)	55.60	121.43	69.28
7250111	竹塘(1)	22.51	34.32	12.71
7260111	柑園(1)	25.40	30.71	7.31
7260211	溪州(1)	15.15	23.11	9.17
9010112	虎溪(1)	0.46	1.54	1.09
9020111	溫厝(1)	0.40	1.07	0.68
9040111	西螺(1)	16.39	32.02	18.20
9040211	九隆(1)	1.22	3.23	2.03
9050111	宏崙(1)	1.30	4.11	2.83
9070111	東和(1)	104.52	127.42	30.45
9070211	崁腳(1)	0.13	0.34	0.18
9070311	古坑(1)	35.54	46.78	14.28
9080211	舊庄(1)	2.39	4.61	2.23
9090211	荊桐(1)	0.08	0.13	0.06
9100121	烏塗(2)	66.29	86.52	24.49
9120111	豐榮(1)	2.30	4.08	1.83
9150111	田洋(1)	0.49	0.96	0.49
9160111	海園(1)	0.23	0.37	0.14
9180111	箔子(1)	2.23	3.58	1.33
9180311	明德(1)	175.25	301.39	135.98
9180411	東光(1)	32.34	56.03	24.03
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-13 各站平均年抽水量、補注量與流失量列表(修正型)

井號	井名	抽水量 ($10^6 m^3/year$)	補注量 ($10^6 m^3/year$)	流失量 ($10^6 m^3/year$)
7020111	洛津(1)	94.14	129.40	37.96
7040111	線西(1)	1.48	3.08	2.26
7050111	全興(1)	8.10	14.64	7.11
7060111	文昌(1)	0.78	1.93	1.77
7080111	花壇(1)	0.74	1.20	1.12
7120111	田中(1)	75.70	87.22	15.90
7180111	二水	46.36	62.21	16.67
7200211	香田(1)	1.01	0.04	6.43
7210111	田尾(1)	0.56	5.98	0.08
7220211	合興(1)	55.60	118.94	70.57
7250111	竹塘(1)	22.51	30.37	15.25
7260111	柑園(1)	25.40	37.28	4.87
7260211	溪州(1)	15.15	25.34	7.72
9010112	虎溪(1)	0.46	0.43	3.87
9020111	溫厝(1)	0.40	0.63	1.74
9040111	西螺(1)	16.39	31.14	18.96
9040211	九隆(1)	1.22	4.37	1.40
9050111	宏崙(1)	1.30	4.11	2.83
9070111	東和(1)	104.52	131.65	28.83
9070211	崁腳(1)	0.13	1.01	0.07
9070311	古坑(1)	35.54	46.97	14.14
9080211	舊庄(1)	2.39	4.92	2.07
9090211	荊桐(1)	0.08	2.32	0.01
9100121	烏塗(2)	66.29	86.67	24.37
9120111	豐榮(1)	2.30	2.31	4.01
9150111	田洋(1)	0.49	3.10	0.36
9160111	海園(1)	0.23	0.04	1.42
9180111	箔子(1)	2.23	2.99	1.71
9180311	明德(1)	175.25	301.13	136.11
9180411	東光(1)	32.34	55.82	24.13
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年				

表 3.4-14 原始型與修正型之各站平均年補注量與流失量差異分析表

井號	井名	補注量差異 ($10^6 m^3/year$)	流失量差異 ($10^6 m^3/year$)
7020111	洛津(1)	1.30	-0.61
7040111	線西(1)	0.35	-0.31
7050111	全興(1)	0.10	-0.07
7060111	文昌(1)	0.27	-0.34
7080111	花壇(1)	0.33	-0.34
7120111	田中(1)	-1.30	0.56
7180111	二水	-1.20	0.80
7200211	香田(1)	1.22	-6.11
7210111	田尾(1)	-4.51	0.86
7220211	合興(1)	2.50	-1.30
7250111	竹塘(1)	3.95	-2.55
7260111	柑園(1)	-6.57	2.43
7260211	溪州(1)	-2.24	1.44
9010112	虎溪(1)	1.12	-2.78
9020111	溫厝(1)	0.44	-1.06
9040111	西螺(1)	0.88	-0.76
9040211	九隆(1)	-1.14	0.63
9050111	宏崙(1)	0.00	0.00
9070111	東和(1)	-4.23	1.62
9070211	崁腳(1)	-0.67	0.12
9070311	古坑(1)	-0.19	0.14
9080211	舊庄(1)	-0.30	0.15
9090211	荊桐(1)	-2.19	0.06
9100121	烏塗(2)	-0.15	0.11
9120111	豐榮(1)	1.77	-2.17
9150111	田洋(1)	-2.14	0.13
9160111	海園(1)	0.33	-1.28
9180111	箔子(1)	0.58	-0.38
9180311	明德(1)	0.26	-0.13
9180411	東光(1)	0.20	-0.10
年份：1998~2003 年與 2006~2009 年			

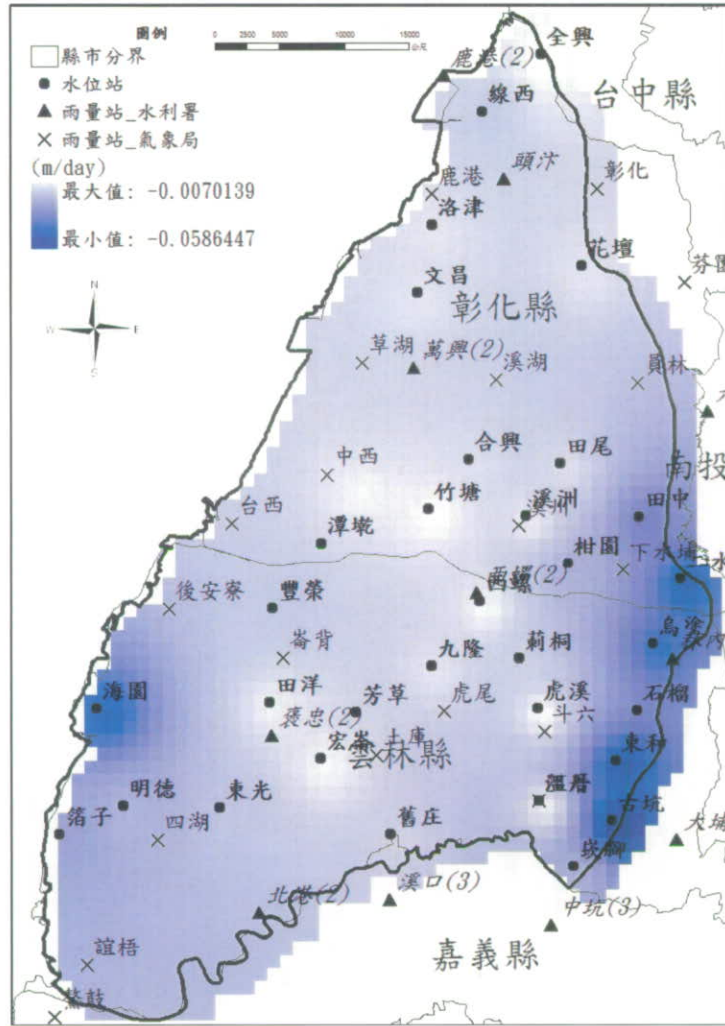


圖 3.4-6 平均枯水期退水線斜率分布圖

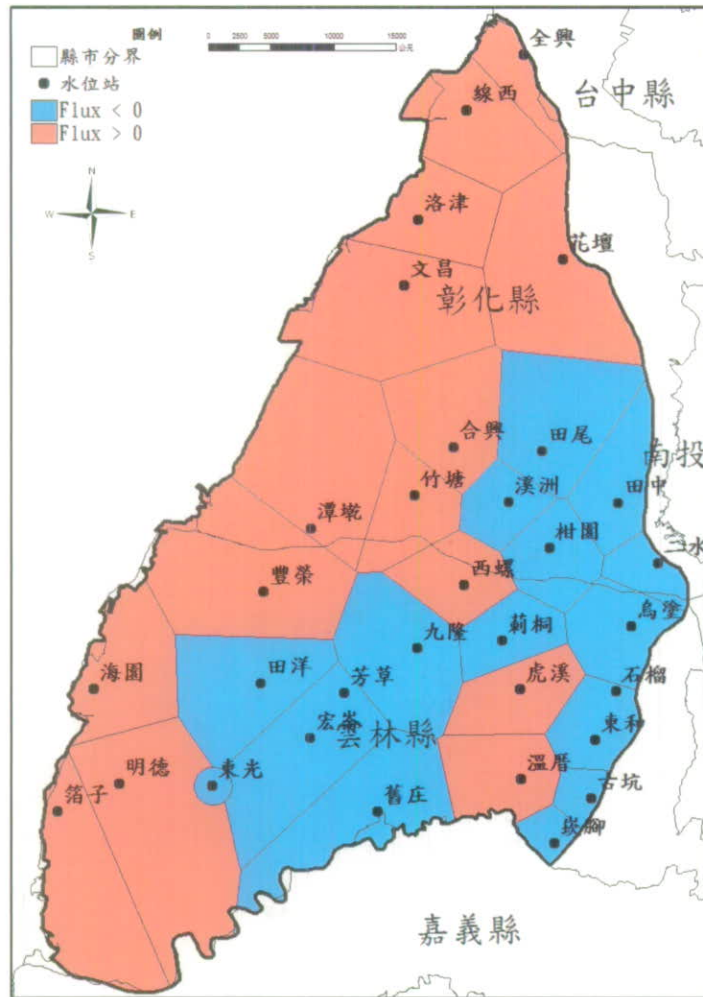


圖 3.4-9 徐昇氏多邊形水平淨交換量

前述已分別針對 1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年進行日補注量、抽水量與流失量之推估，如將其中連續數日之降雨是為一降雨事件，將降雨事件之累積降雨量與累積補注量進行比較，圖 3.4-10 呈現水位歷線法推估結果之降雨事件累積降雨量及累積補注量關係圖，圖中分別以一次線性迴歸與二次多項式迴歸進行模擬，兩者結果均極佳，迴歸式之 R^2 均高於 0.83 以上。降雨事件無分乾季與雨季，因此所得迴歸式並不考慮乾季或雨季臨前條件之影響，故可作為濁水溪沖積扇補注係數之參考。

水位歷線法是以水位站之觀測資料作為評估依據，因此所估算之水量已穿越未飽和層進入含水層中，並非傳統所述之入滲量。此外，本方法之時間精度為日，其精度短於雨季之降雨事件長度，因此補注量與流出量分別描述降雨事件中與後之進出水量，因此若以可用之水資源量為觀點，補注量扣除流出量方為有效補注量。相對於傳統以月為單位而言之數值模式或其他方法，由於時間

精度長於單一降雨事件，故傳統方法所採用之補注量已為有效補注量了，後續比較則以有效補注量與其他研究之補注量進行分析比較。表 3.4-15 為「臺灣地區地下水補注量估算」計畫之九大地下水區補注量推估表，表中顯示濁水溪沖積扇之補注量為 13.8 億噸，與本計畫之推估補注量為 7.43 億噸相比較，本計畫所推估之補注量明顯偏小。

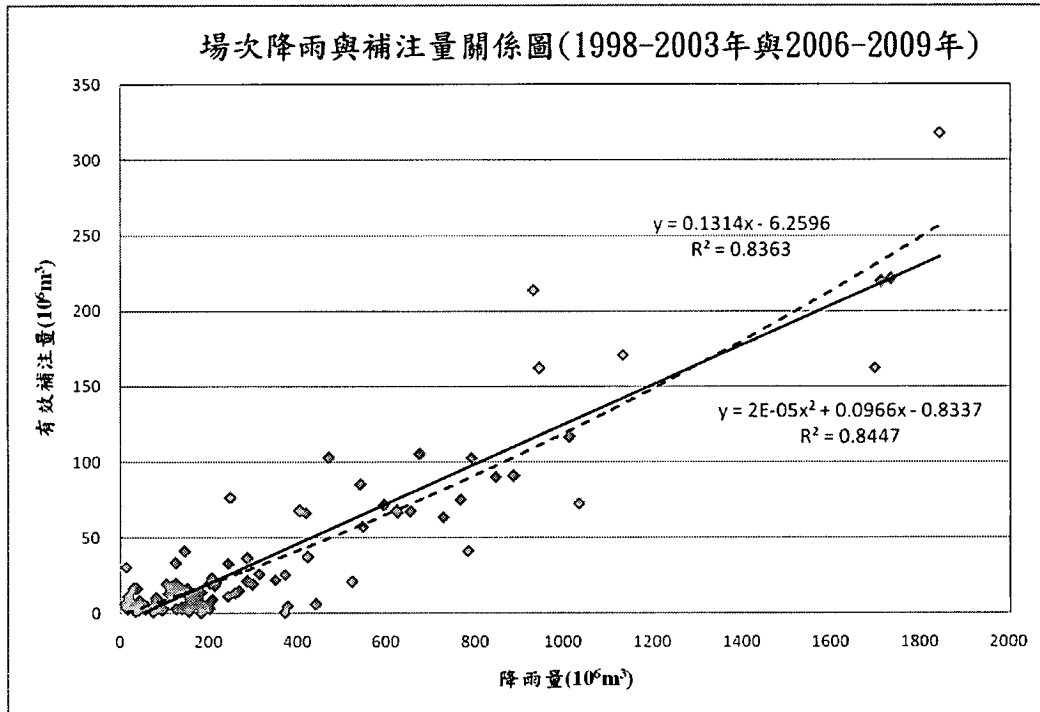


圖 3.4-10 降雨事件累積降雨量與累積補注量關係圖

表 3.4-15 其他研究之地下水補注量推估

	補注量 ($10^6 m^3$)	水區面積 (km^2)
台北盆地	51	240
桃園中壢台地	343.2	760
新苗地區	435	900
台中地區	555.4	1,180
濁水溪沖積扇	1,380.7	2,000
嘉南平原	852.8	2,520
屏東平原	777.8	1,130
蘭陽平原	304.2	400
花東	351.8	930
全台總補注量	5,051.9	10,060
節錄自水資源局委託能邦顧問公司「臺灣地區地下水補注量估算」 平水年補注量。		

第四章 地下水補注潛勢評估作業與主要補

注區劃分

本計畫建立一套完整的地下水補注潛勢評估流程，並將之應用於濁水溪沖積扇之地下水補注潛勢評估。4.1 節說明地下水補注潛勢評估作業程序，其中說明所使用之因子，綜合所有因子分別估算「地下水補注潛勢」與「地下水資源潛能」兩者。4.2 節與 4.3 節則說明「地下水補注潛勢」與「地下水資源潛能」之各項因子原始屬性建立與圖層繪製。4.4 節則進行補注潛勢作業檢討，藉由水位歷線法之成果，輔助訂定補注潛勢流程所使各項參數，降低主觀決定導致之不確定性。4.5 節與 4.6 節則將原始屬性轉換為因子分數。最後於 4.7 節綜合「地下水補注潛勢」與「地下水資源潛能」兩者進行主要補注區與地下水保育區之劃分。

4.1 地下水補注潛勢評估作業程序建立

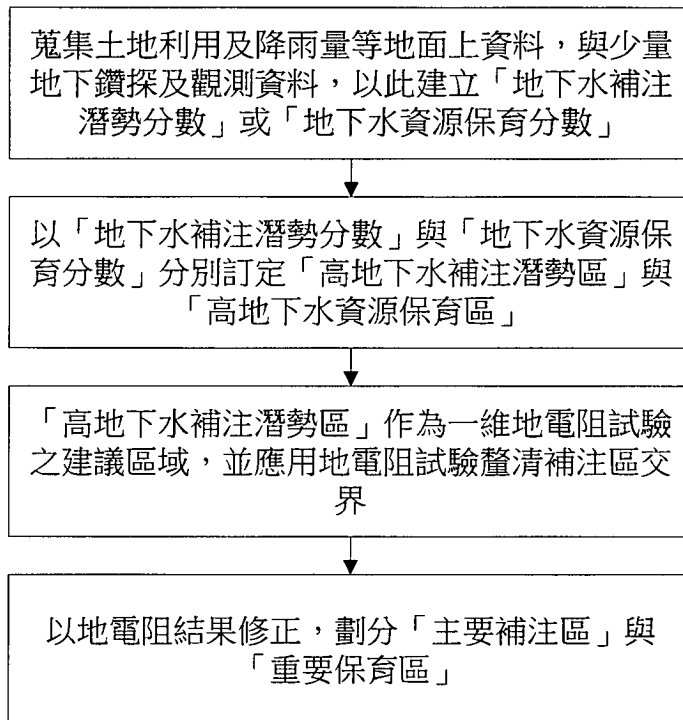


圖 4.1-1 「主要補注區」與「重要保育區」劃分作業流程圖

本章節將訂定補注潛勢評估作業，以此作業最終目的在於劃定「主要補注區」與「重要保育區」，主要補注區是純以補注能力之大小作為劃分依據，是故

主要補注區即為補注能力較高之區域，然實質上補注能力僅能代表淺層之流通特性。而重要保育區則是同時綜合考量淺層特性與深層特性，除了流通性外，對於地下水蘊藏量多寡、出水能力高低或上下游關係均需納入考量，找出最關鍵之區域以便進行保護與保育。

圖 4.1.1 為「主要補注區」與「重要保育區」之劃分作業流程圖，首先選定數項土地利用或降雨量等地上資料，以及部分地下之鑽探或觀測資料，以此建立研究區域之補注潛勢分數或地下水資源潛能等；其次，再以高補注潛勢區邊界作為後續地電阻試驗之試驗建議區，主管單位可視研究區域之重要性、發展性與地下水資源管理策略，適時施作二維地電阻現地試驗；最後，二維地電阻試驗結果可找出主要補注區邊界交界面，試驗結果搭配補注潛勢結果，可進一步修正「主要補注區」與「重要保育區」範圍。

本計畫針對濁水溪沖積扇之水文地質特性，參考地下水補注潛勢相關之研究報告與文獻資料，提出地下水補注潛勢評估作業程序，補注潛勢評估之流程架構如圖 4.1-2 所示。本項目之研究成果可作為後續地下水補注區劃分，以便進行地下水保育之用，地下含水層為待保育之對象，在保育與否之考量上，除了針對區域補注能力之強弱外，需兼顧該區域地下水資源蘊藏量之多寡，本計畫在此分別以「地下水補注潛勢分數」與「地下水資源潛能分數」分別呈現補注能力與蘊藏量多寡之空間分布，綜合兩者之特性即為「地下水資源保育分數」。

在「地下水補注潛勢」之組成因子選擇方面，參考相關文獻資料，配合濁水溪沖積扇之水文地質特性，並綜合各合作單位之意見，採用「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢影響因子(如表 4.1-1 所示)，其考量範圍(深度)為淺層含水層或其上之特性。

在「地下水資源潛能」之組成因子，以「地下水蘊藏量」、「地下水出水潛能」、「各層阻水層範圍」與「地下水上下游」(如表 4.1-2 所示)，以此界定深層含水層之系統特性。

地下水補注潛勢評估作業程序如圖 4.1-2 所示，首先需針對補注潛勢定義影響因子，在此本計畫以前述七個因子進行補注潛勢估算。此外，並針對研究區域蒐集各類點位資料與圖層資料。其次，將所蒐集之相關資料，經過初步地簡單處理後，即為該因子之原始屬性。接著，訂定原始屬性與細部分數之轉換規則或轉換表，可將原始屬性轉換為 0 至 100 分之因子分數，此階段以一公里見方之網格呈現。最後，為呈現不同因子對於補注之影響程度，在此需針對因子權重進行訂定，再依據所訂定之權重，進行加權加總之計算，所得即為補注潛勢。

在因子權重之訂定方面，Shaban et al. (2006) 與 Yeh et al. (2008)認為各項影響因子之間，具有相依相存之關係，可以「因果關係邏輯圖」呈現該項關係，並顯現各因子影響力之差異，進而訂定因子權重，本計畫以此方式評估不同影響因子間權重比例。圖 4.1-3 為補注潛勢影響因子間的因果關係邏輯圖，其中補注潛勢影響因子互以實線或虛線連接，實線代表主要影響，而虛線則代表次要影響，箭頭方代表被影響方，箭尾方向則代表影響方。

舉例說明，「降雨與地下水位變化相關性」及「單位蓄水量變化」之間有主要影響關係，其方向由「降雨與地下水位變化相關性」指往「單位蓄水量變化」，代表「降雨與地下水位變化相關性」為因，「單位蓄水量變化」為果。若由物理現象來探討，假設降雨與地下水位變化相關性高時，地下水位將明顯受到雨量之影響，進而明顯地影響其地下水之蓄水量變化。例如當一區域雨量豐沛時，其長期地下水位會較為穩定，若有雨季與旱季之分則其水位變動則較大，因此「降雨與地下水位變化相關性」因子為高相關性時，會影響地下水位之標準差，而「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與儲水係數之乘積，因此將到影響，故「降雨與地下水位變化相關性」對於「單位蓄水量變化」的關係視為主要影響。

表 4.1-1 地下水補注潛勢影響因子表

因子種類	影響因子	說明
地層內因	土地利用	地表土地使用性質、植被覆蓋。
	表層土壤種類	表層土壤種類分布狀況。
	透水係數	透水係數 K 值。
水文外因	平均年降雨量	長期平均年降雨量。
	河系密度	每一網格內河川所佔面積比例。
綜合因素	降雨與地下水位變化相關性	降雨事件期間「降雨量」與「地下水位上升量」迴歸統計之 R^2 。
	單位蓄水量變化	長期地下水位變化(標準差)與儲水係數之乘積。

表 4.1-2 地下水資源潛能影響因子表

因子種類	評估因子	說明
系統內因	地下水蘊藏量	決定各含水層中的多寡(主要含水層厚度(F2,F3)*孔隙率)
	地下水出水潛能	決定各含水層(F2,F3)中可開發量(地下水可開發潛勢大小)的多寡(依據儲水係數 S 或比出水量 Sy)
	各層阻水層範圍	決定含水層上對下的垂直影響(依據阻水層邊界線)
	地下水上下游	地下水水流上下游特性，位於上游者乃視為保護重點。(依據地下水位等水位線)

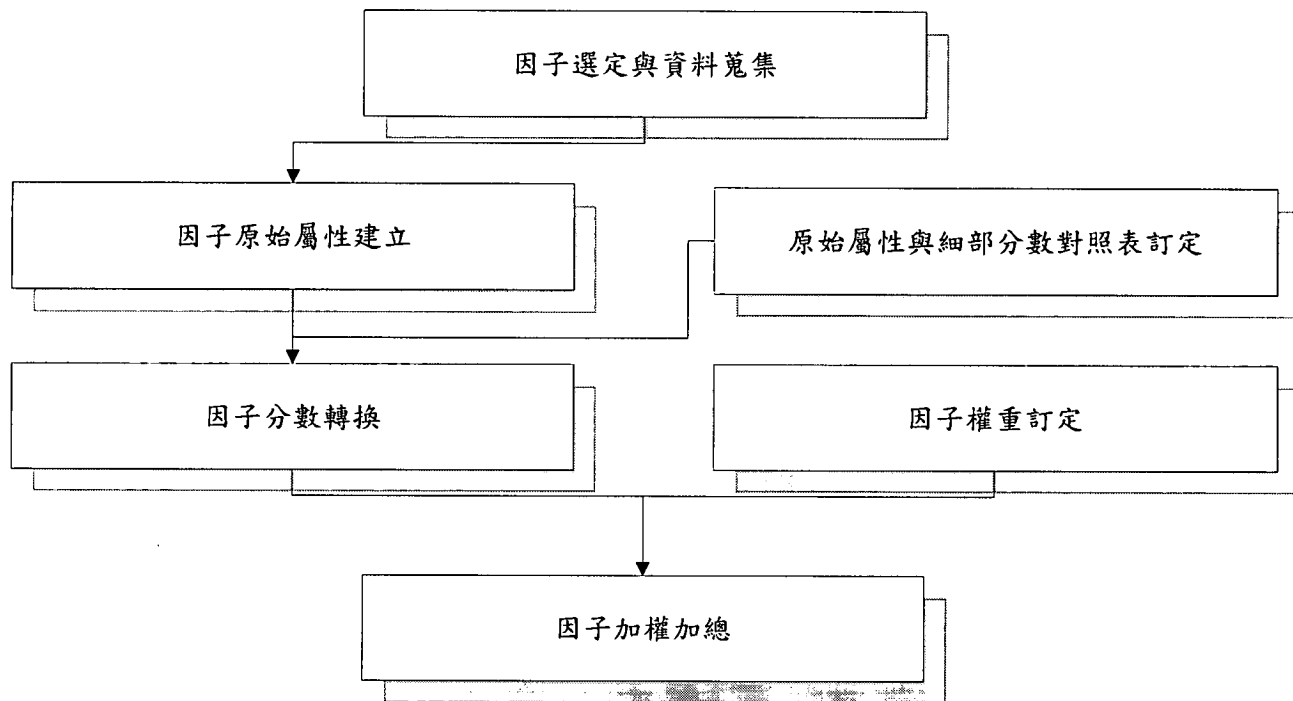


圖 4.1-2 地下水補注潛勢評估作業程序

- ▶ 對補注存在主要影響
- ▶ 對補注存在次要影響

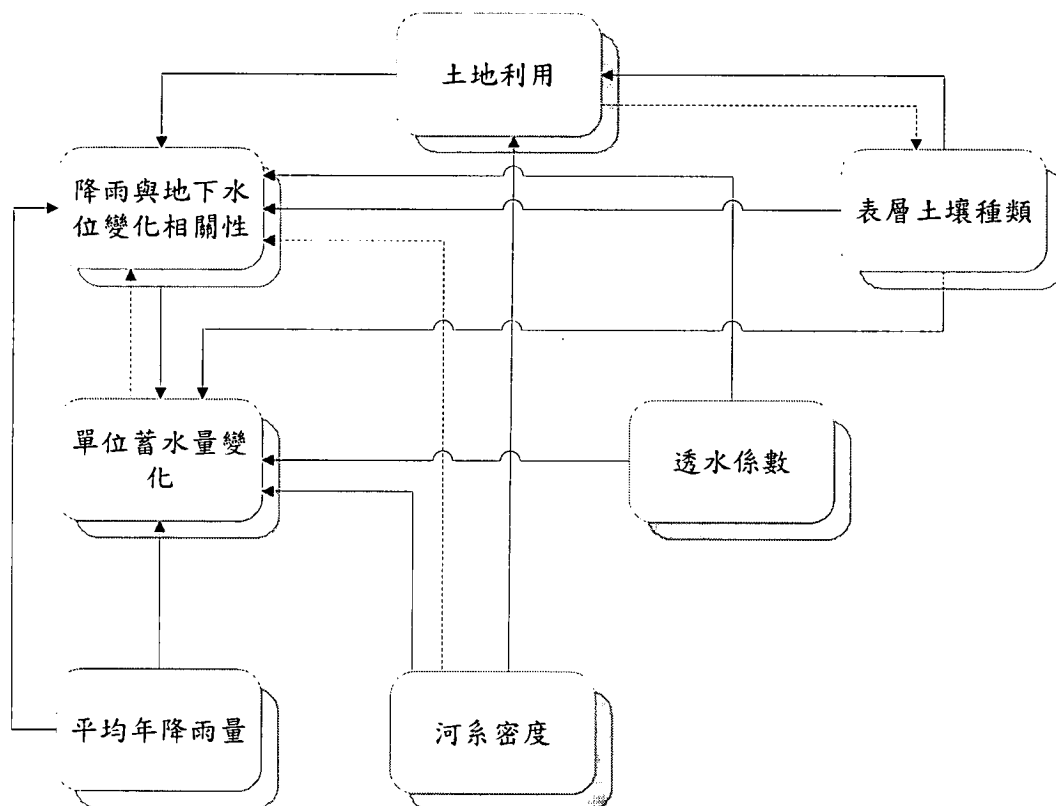


圖 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子關係圖

在「單位蓄水量變化」對「降雨與地下水位變化相關性」為次要影響部分，「單位蓄水量變化」為因，「降雨與地下水位變化相關性」為果。「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與儲水係數之乘積，而此兩項中僅儲水係數會影響到地下水位，但對於「降雨與地下水位變化相關性」因子而言，此兩項因素皆無法對其明確而直接的影響。比較前述兩種例子，其影響程度有所差異，故分為主要影響與次要影響兩種。由圖 4.1-3 為本研究之補注潛勢影響因子邏輯關係圖，為探討不同影響因子影響力的大小比例，本計畫因為主要影響給予較大的權重值，Shaban 建議主要影響權重應為 1.0，而次要影響權重為 0.5。其計算公式如式 4.1-1 所示。

$$\omega_i = \frac{N_i^{maj} \times 1 + N_i^{min} \times 0.5}{\sum_{i=1}^7 (N_i^{maj} \times 1 + N_i^{min} \times 0.5)} \times 100\% \dots\dots\dots (式 4.1-1)$$

其中， ω_i 代表第 i 種因子的因子權重； N_i^{maj} 與 N_i^{min} 分別代表第 i 種因子的主要影響關係數與次要影響關係數。

圖 4.1-3 為本研究之補注潛勢影響因子邏輯關係圖，可以明顯表示各項影響因子間之影響關係。以「土地利用」因子為例，其有一個主要影響箭尾與一個次要影響箭尾，因此其權重值即為 1.5。完成定義各影響因子之間的權重後，接下來將定義影響因子內部分類之分數。表 4.1-3 為本研究藉由 Shaban 建議之方法訂定之因子權重表，後續於 4.4 節時，將藉由前述水位歷線法推估之補注量，檢討 Shaban 建議之因子權重與其他相關參數之正確性。

表 4.1-3 地下水補注潛勢影響因子權重計算表

地下水補注潛勢影響因子	計算方式	權重值	權重百分比
土地利用	1(1)+1(0.5)=1.5	1.5	12%
表層土壤種類	3(1)=3.0	3.0	24%
降雨與地下水位變化相關性	1(1)=1.0	1.0	8%
平均年降雨量	2(1)=2.0	2.0	16%
單位蓄水量變化	1(0.5)=0.5	0.5	4%
透水係數	2(1)=2.0	2.0	16%
河系密度	2(1)+1(0.5)=2.5	2.5	20%
	總分	12.5	100%
主要影響(1.0)，次要影響(0.5)			

在因子分數轉換方面，土地利用與表層土壤兩項因子以區塊(Polygon)形式呈現之資料，亦即不同區塊中有其各自之屬性，因此可視屬性對於補注之影響能力給予分數，例如：不透水類之土地利用型態對於補注並無幫助，因此可給予低分甚至零分；反之，水田或裸土類之土地利用型態則有助於補注，應給予高分。如此一來，該區塊之代表分數即可依據屬性進行給分(如式 4.1-2 所示)，然本計劃是以一公里見方之網格呈現，網格中涵蓋不同屬性之多個區塊，因此可藉由區塊面積，進行分數之加權加總(如式 4.1-3 所示)，即可決定網格之代表分數。

除土地利用與表層土壤屬性外之其他因子則多半為連續資料呈現，可透過線性正規化方式將原始屬性轉換成 0 至 100 分之因子分數，例如：平均年降雨量因子可利用最大年降雨量與最小年降雨量進行線性正規化。

$$G_i^m = \bar{G}_i^k, \text{ if } F_i^m = \bar{F}_i^k, \text{ for } k=1, \dots, N \text{ for } i=1,2 \dots \dots \dots \text{(式 4.1-2)}$$

$$G_{i,j} = \frac{\sum Area_i^m \times G_i^m}{\sum Area_i^m}, \text{ } m \in Cell_j \dots \dots \dots \text{(式 4.1-3)}$$

$$G_{i,j} = [F_{i,j} - F_i^{\min}] / [F_i^{\max} - F_i^{\min}] \times 100 \text{ for } i=3, \dots, 7 \dots \dots \dots \text{(式 4.1-4)}$$

其中， $G_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的因子分數； F_i^m 代表位於第 m 個區塊中第 i 種因子的原始屬性； \bar{F}_i^k 為第 i 種因子於第 k 組的原始屬性； \bar{G}_i^k 代表第 i 種因子於第 k 組對應的因子分數； $Area^m$ 代表第 m 個區塊的面積，其位於第 j 個網格中； $F_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的原始屬性。 $F_{i,j}$ 代表第 j 個網格第 i 種因子的原始屬性； F_i^{\max} 與 F_i^{\min} 分別代表 $F_{i,j}$ 數列中的最大值與最小值。

$$RP_j = \sum_{i=1}^7 \omega_i \times G_{i,j} \dots \dots \dots \text{(式 4.1-5)}$$

最後，式 4.1-5 可用於不同因子分數之加權加總，其結果為補注潛勢。其中， $G_{i,j}$ 代表第 i 種因子於第 j 個網格之的因子分數； ω_i 代表第 i 種因子的因子權重； RP_j 代表第 j 個網格之補注潛勢分數。

4.2 地下水補注潛勢原始屬性建立

本計畫項目所使用之軟體詳列於表 4.2-1。在資料取得方面，其中土地利用、表層土壤種類及河系可直接取得相關之圖層資料；其餘因子則需蒐集研究區域現地觀測之點位資料，並搭配距離倒數平方法(Inverse Distance to a Power)或克力金法(Kriging)，將點位資料內插至一公里見方之網格上。本計畫選取之七項地下水補注潛勢因子可依據其性質大致區分為三大種類，第一類為地層內因，包含

土地利用、表層土壤種類以及透水係數；第二類為水文外因，包含河系密度和平均年降雨量；第三類為綜合因素，包含降雨與地下水位變化相關性、單位蓄水量變化。以下各小節將針對這三大種類補注潛勢因子說明選取的原因、資料來源及圖層製作處理過程。

表 4.2-1 圖資製作工具

工具類別	軟體名稱
桌上型 GIS 軟體	SuperGIS 2.2
3D 科學繪圖軟體	SURFER 8.0
空間分析模組	Spatial Analyst Extension for SuperGIS
空間統計分析模組	Spatial Statistics Analyst Extension for SuperGIS
TWD 67/97 座標轉換模組	TWD 67-97 Coordinates Transform Extension for SuperGIS

4.2.1 地層內因

此類因子顧名思義是和地層本身相關之因子，分別為土地利用、表層土壤種類以及透水係數，以下將分別介紹：

一、土地利用

土地利用是影響地下水補注過程中很重要之因素，此因素包括居住區域分佈以及植被覆蓋。人造建築物如房屋、道路以及堤防等都阻礙了地下水補注(Bou Kheir et al.,2003)，雖然高密度植被覆蓋會增加蒸散率，減少水滲透至地表，但有研究指出另外三項見解，(1)植物根部的生化分解有助於鬆散岩石或土壤，使得水更容易滲透地表，(2)植被區帶可避免土壤水分直接蒸發，(3)植物根部有吸附水分能力，可減少水分隨逕流帶走，故植被覆蓋仍是有效提供地下水補注(Shaban et al., 2006)。綜合考量前述文獻之結論，本計畫將土地利用納入地下水補注潛勢因子。

在圖層建立上，本計畫透過內政部國土測繪中心申請取得之圖層為 TWD 97 之 Shapefile 格式檔案，但本計畫使用的座標系統為 TWD 67，因此需使用 SuperGIS 之 TWD 67/97 座標轉換模組進行座標轉換。由於取得的原始圖層資料是台灣地區的土地利用圖層，且該圖層被分割為數百個大小不等的小範圍圖層，因此該圖層製作時，須將所有小範圍圖層合併成單一圖層，再以地下水區的圖層裁剪之，即為濁水溪沖積扇之土地利用圖層(如圖 4.2-1 所示)。又因圖層

是國土測繪中心分區委託不同單位製作(如表 4.2-2 所示)，例如本計畫期中報告的水區會包含到彰化、雲林、南投、嘉義等縣市。國土測繪中心在 95 年度委託財團法人工業技術研究院製作南投嘉義的土地利用圖層，96 年度委託亞興測量有限公司製作彰化、雲林等地的土地利用圖層。不同的單位在細部的格式上有所不同，所以還需將檔案轉換或調整，才能順利合併圖層使用。

表 4.2-2 95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表

年度	委託生產單位	範圍
95	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區(新竹縣、新竹市、苗栗縣、宜蘭縣)
95	財團法人工業技術研究院	第 2 作業區(嘉義縣、嘉義市、南投縣、部分花蓮縣)
95	亞興測量有限公司	第 3 作業區(屏東縣、臺東縣、部分花蓮縣、澎湖縣)
96	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區(臺北縣、臺北市、桃園縣、基隆市)
96	亞興測量有限公司	第 2 作業區(彰化縣、雲林縣、部分臺南縣及部分高雄縣)
96	中華民國航空測量及遙感探測學會	第 3 作業區(臺南市、高雄市、部分臺南縣、部分高雄縣)

二、表層土壤種類

表層土壤種類主要是以顆粒大小的不同來劃分，粒徑大小會造成土石間的孔隙大小不同，同時也會影響降雨入滲到地下水中的效率。故本計畫將表層土壤種類納入地下水補注潛勢因子。本計畫從行政院農業委員會農業試驗所取得之圖層為早期 ArcInfo 之交換格式(exchange file, e00)，與目前通用之 Shapefile 格式不符，因此需先將其轉換。圖層所載資訊包含地表至地表下 30(cm)深度、30(cm)至 60(cm)深度、60(cm)至 90(cm)深度與 90(cm)至 150(cm)深度土壤分布(如圖 4.2-2 所示)。

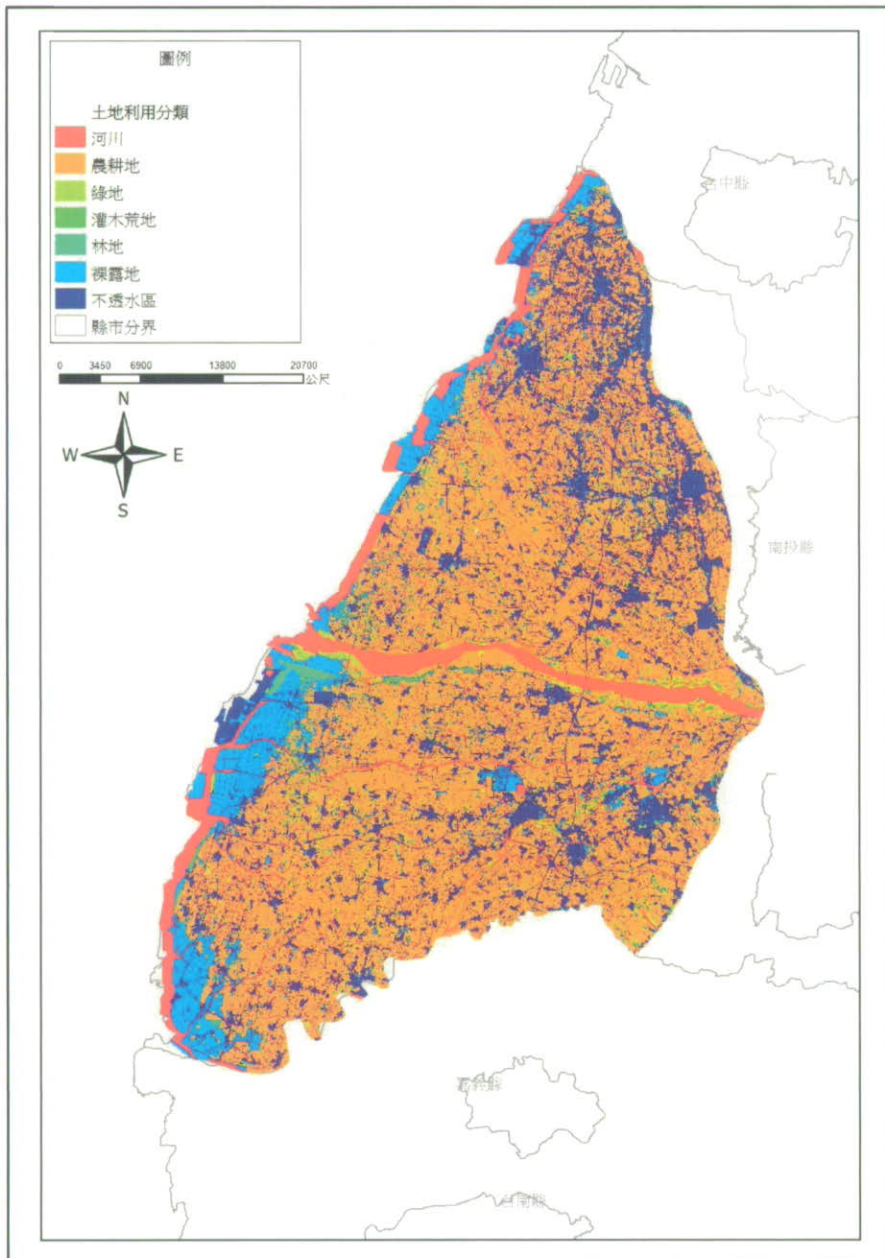
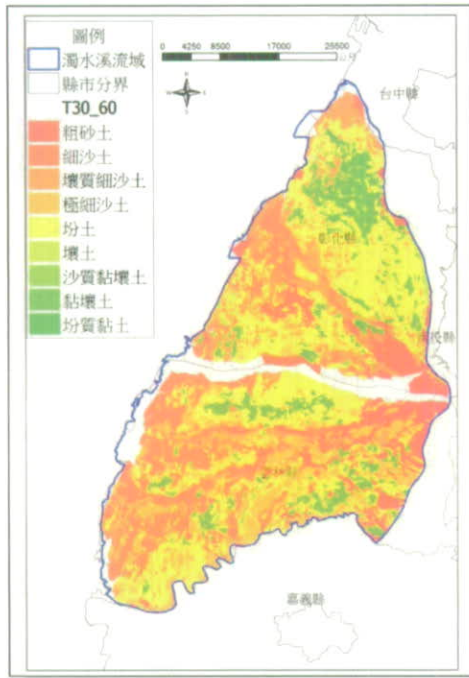
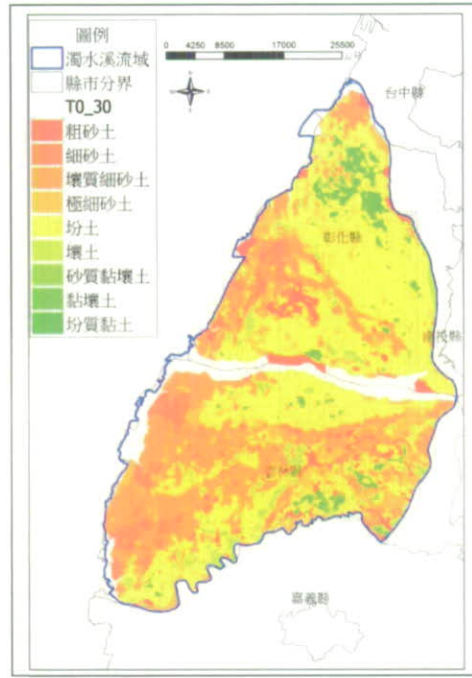


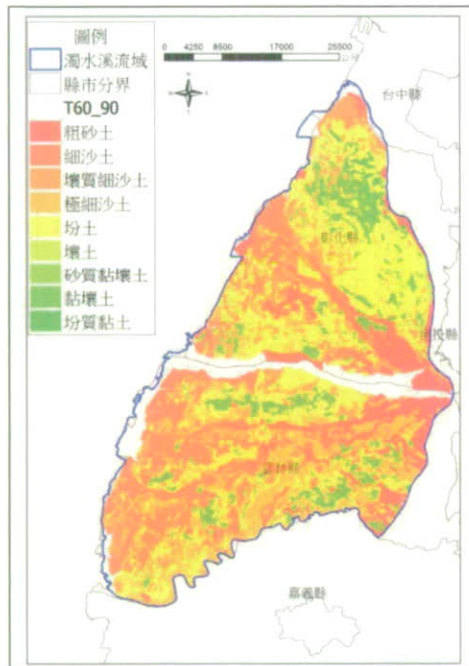
圖 4.2-1 濁水溪沖積扇土地利用計畫分類圖層



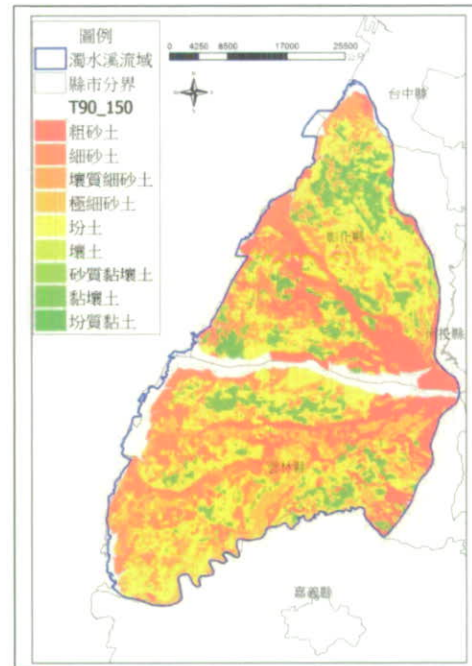
(a) 0~30cm 深度土壤種類



(b) 30~60cm 深度土壤種類



(c) 60~90cm 深度土壤種類



(d) 90~150cm 深度土壤種類

圖 4.2-2 表層土壤種類原始圖層

三、透水係數

透水係數 K (hydraulic conductivity) 可描述水穿越不同含水層容易程度，於補注機制中扮演相當重要之因素，因此本研究將透水係數列為補注潛勢因子之

一。本計畫使用之透水係數 K 值取自「台灣地區地下水觀測網整體計畫_地下水觀測網之建立及運作管理_地下水觀測井建置及相關試驗」，並藉由地質鑽探所獲得之水文地質剖面圖，劃分出濁水溪沖積扇之概念分層含水層一、二、三、四(F1~F4)及阻水層一、二、三、四(T1~T4)，取出位於地下含水層一(F1)深度內 30 口地下水位觀測井。再將各井位之 K 值資料以 Surfer 軟體內建之距離倒數平方(Inverse Distance to a Power)內插至各網格，並依此資料建置透水係數之 GIS 圖層，如圖 4.2-3 所示。濁水溪沖積扇 K 值最大約為 0.08~0.1(m/min)，位於竹塘(1)及合興(1)。

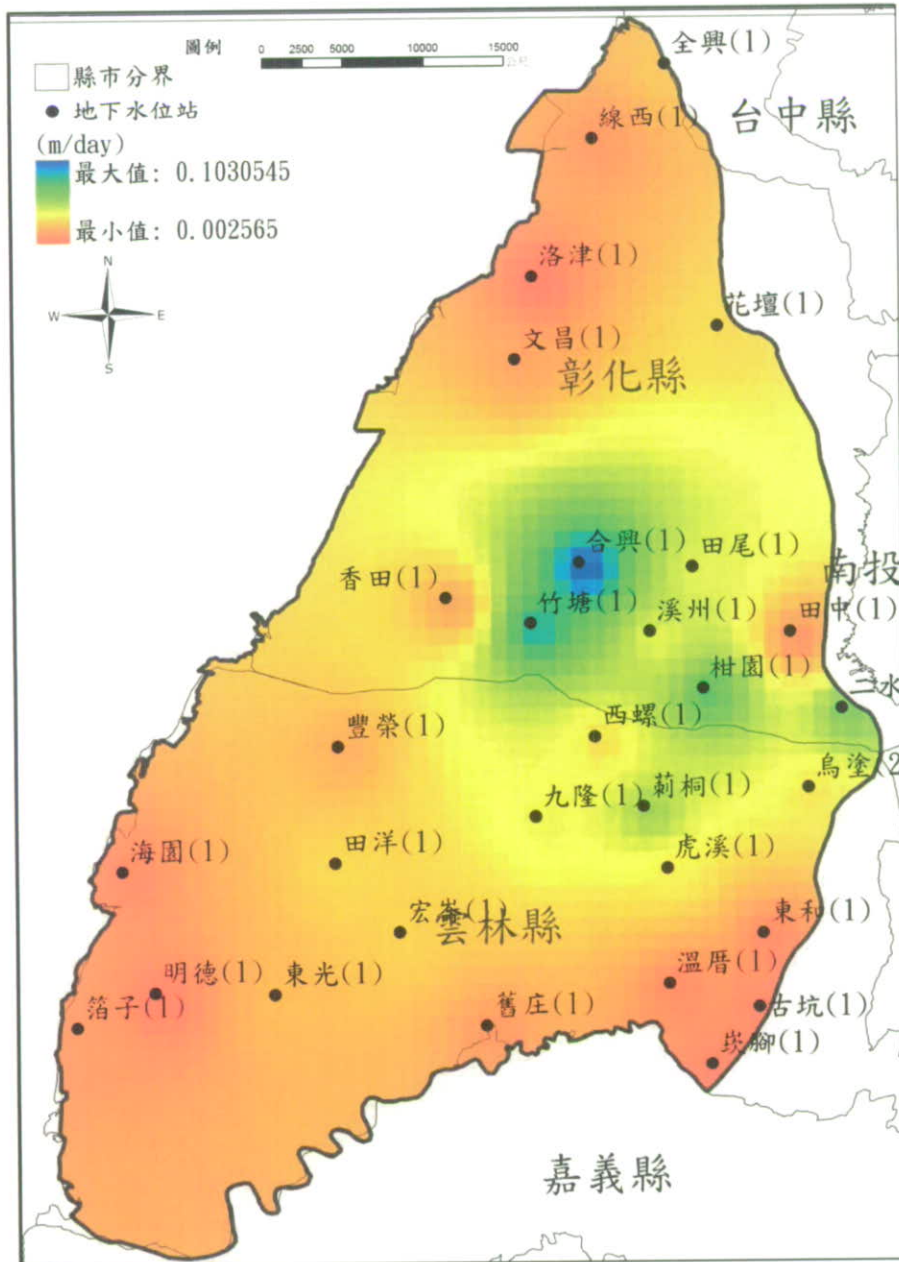


圖 4.2-3 濁水溪沖積扇含水層一(F1)透水係數分布圖

4.2.2 水文外因

水文外因是指受到外在影響之因子，包含河系密度、平均年降雨量。以下將分別描述：

一、河系密度

濁水溪沖積扇地下水補注主要來源為降雨與河川補注，因此不能忽視河川補注對此區域地下水補注之重要性。故本計畫亦將河系密度納入地下水補注潛勢因子。本計畫以水系 GIS 圖資(Polyline 線形資料)(如圖 4.2-4)，其因次為單位面積之河系線段長度，由於本研究網格以為一公里見方之正方形，即代表單位面積，故此分別累計網格中的河段長度即可。



圖 4.2-4 濁水溪流域河系圖

二、平均年降雨量

台灣位在歐亞大陸及太平洋的交界處，獨特的地理位置加上季風、颱風及周遭海流的交互影響，使台灣的降雨一直有著複雜的變化型態。地下水的補注來源主要以天然降雨入滲為主，故本計畫亦將年平均降雨量納入地下水補注潛勢因子。

本計畫雨量資料取自中央氣象局雨量站，選出位於濁水溪沖積扇及其周圍之雨量站作分析，所選擇之 20 站如圖 4.2-5 所示，使用資料為 1995-2009 年各年年雨量平均所得之各站平均年雨量。本計畫以前述 1 公里見方之濁水溪沖積扇格網為基礎，將各點之平均年雨量資料利用克力金法(Kriging)內插到各網格，內插完成後之等值線圖如圖 4.2-6 所示。

4.2.3 綜合因素

綜合因素並非直接測得的各種地層或水文數值，而是經人工額外運算而得。例如降雨與地下水位變化相關性因子並非單純的代表降雨量與地下水位的量多寡，而是經由迴歸方法統計判斷降雨是否為地下水補注之主要原因。另外，單位蓄水量變化，也並非單純蓄水量的值，而是將地下水位變化標準差乘上儲水係數，以反應含水層蓄水量變化。以下將分別對兩個因子進行詳細說明：

一、降雨與地下水位變化相關性

此補注潛勢因子乃是經由迴歸統計方式，探討地下水位變化是否受降雨之影響，其概念為取出降雨事件發生期間之「降雨量」與「地下水位上升量」，將兩個量進行迴歸統計，並以其統計結果 R-squared value (以下稱 R^2) 代表降雨與地下水位變化相關性。當一格網對應之 R^2 值越接近 1 時，代表該站附近之地下水位變化與降雨量相關性越高，因此給予之補注潛勢分數越高。

雨量資料採用中央氣象局位於濁水溪沖積扇之雨量站共計 20 站，如圖 2.2-2 所示。資料蒐集期距自西元 1997/01/01 至 2009/12/31 之每日觀測數據。地下水位資料採用經濟部水利署濁水溪沖積扇內之地下水井，共計 30 口井，如圖 4.2-7 所示，資料蒐集期距自西元 1997/01/01 至 2009/12/31 之每日觀測數據。

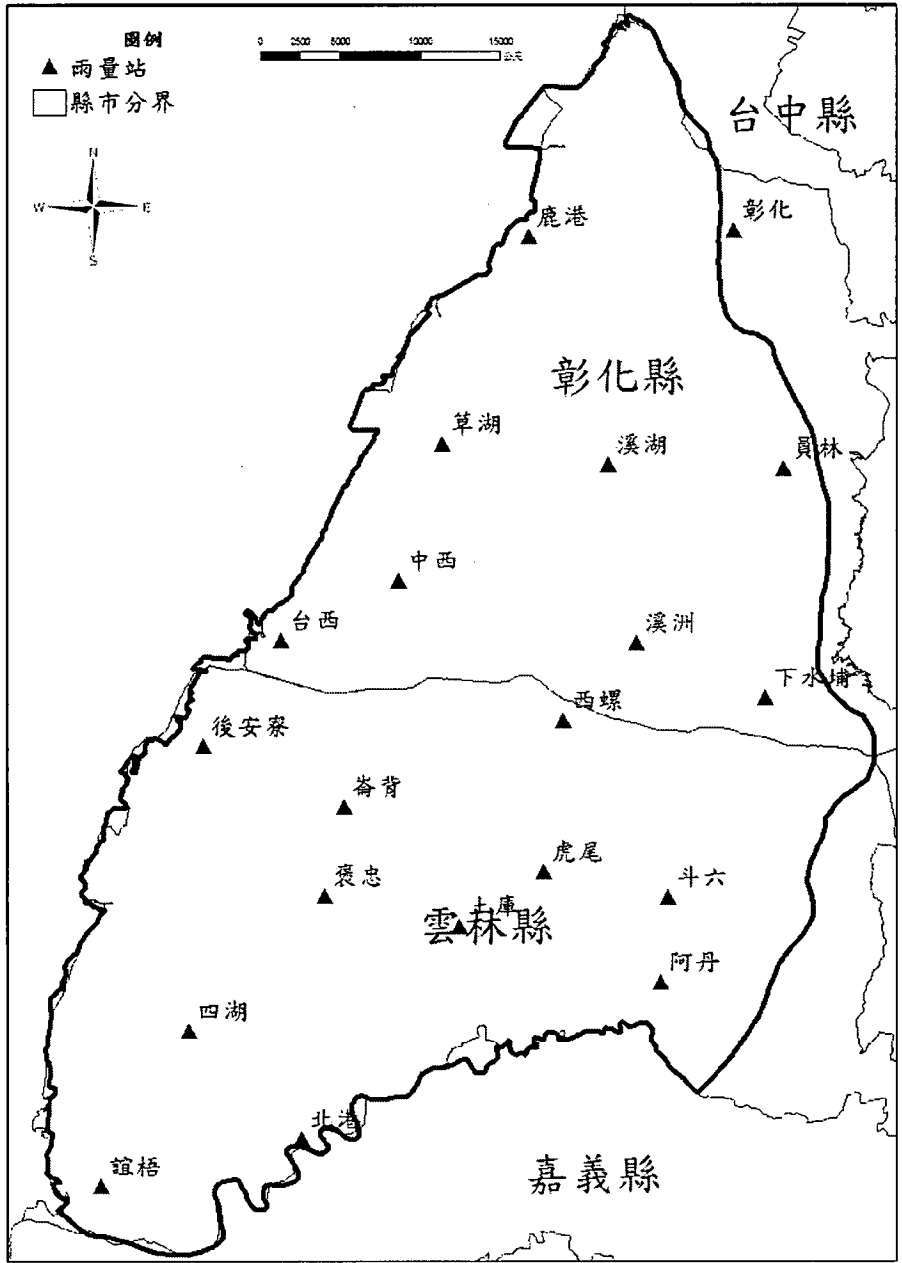


圖 4.2-5 平均年降雨量因子選取之雨量站

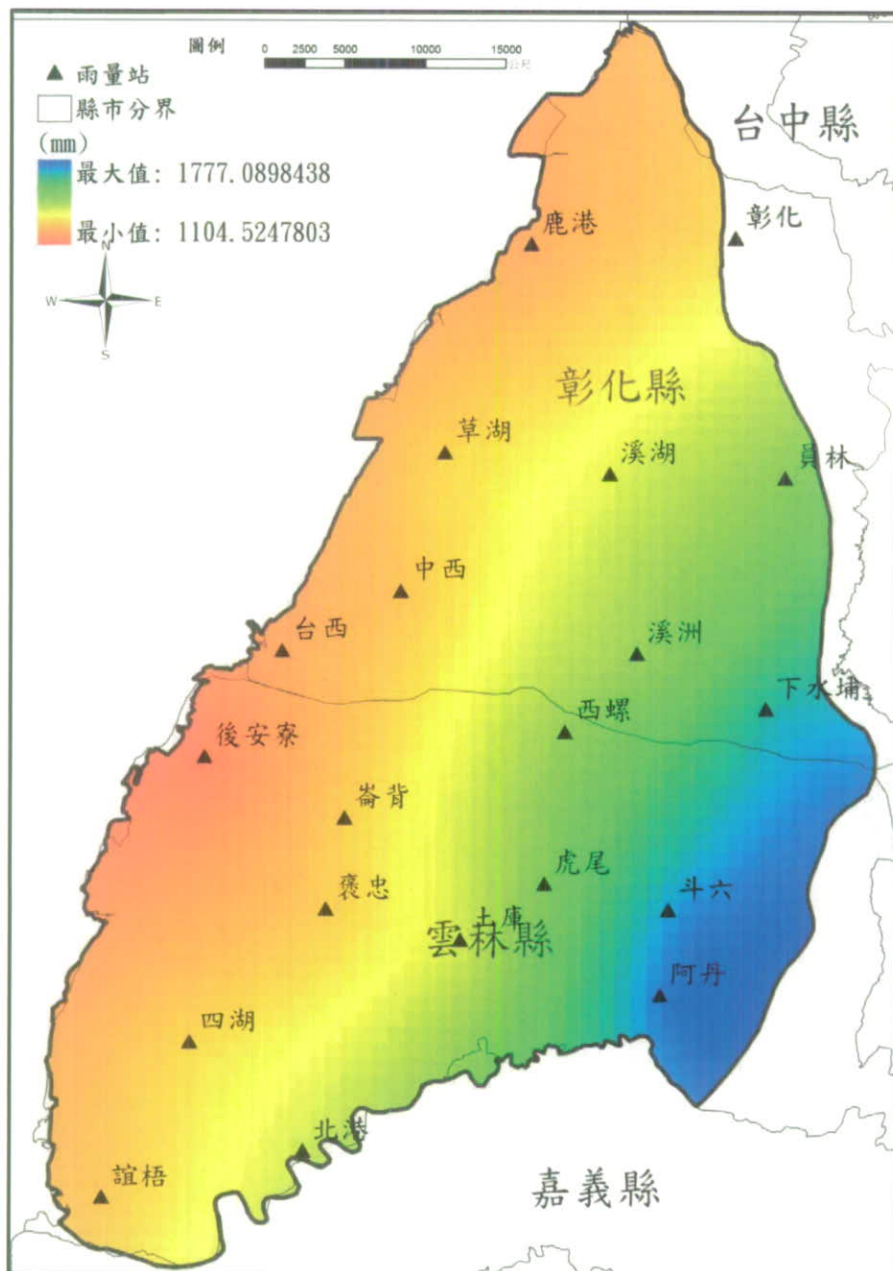


圖 4.2-6 本計畫選取雨量站之平均年降雨量分布圖

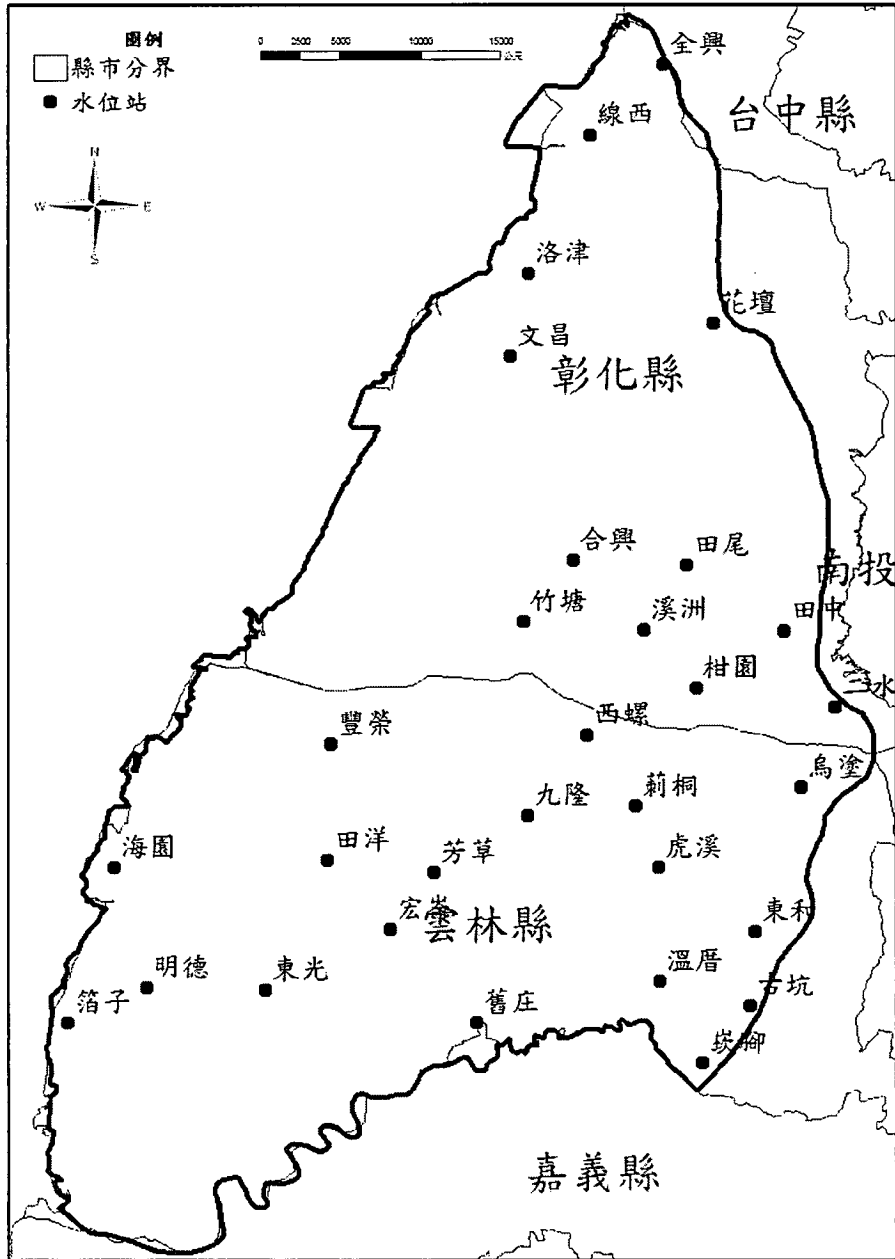


圖 4.2-7 濁水溪沖溪扇地下水位站分布圖

為考量濁水溪沖積扇降雨與各站水位之相關性，本研究將濁水溪沖積扇區分為「扇頂」、「扇央」與「扇尾」三區，分別考量三區降雨對地下水位之影響。「扇頂區」降雨資料係以地表高程 30 公尺以上之雨量站，應用徐昇氏法搭配面積加權平均方式計算區域內的平均降雨強度，扇頂區降雨可能會透過集流面積，由集集攔河堰處從河道或地下伏流水方式流入濁水溪沖積扇，扇頂區降雨將影響的是整個濁水溪沖積扇的地下水井水位；「扇央區」降雨資料則是以地表

高程 10 公尺以上、30 公尺以下之雨量站，再以加權平均計算得之，扇央區降雨將影響的是扇央與扇尾區的地下水井水位；「扇尾區」則是以地表高程 10 公尺以下之雨量站，再以加權平均計算得之，扇尾區降雨將影響的是扇尾區的地下水井水位。計算「扇頂區」、「扇央區」、「扇尾區」之每日平均雨量公式如下：

$$R_{AV} = \sum_{i=1}^N W_i R_i \dots\dots\dots (式 4.2-1)$$

R_{AV} ：區域每日平均降雨量

W_i ：面積權重，以第 i 個雨量站之徐昇氏網格控制面積與全區總面積之比值

R_i ：第 i 個雨量站之雨量

N ：雨量站總數

表 4.2-3 各雨量站徐昇氏網格之控制面積

站號	雨量站站名	X	Y	控制面積(m ²)
C1G630	彰化	203931.85	2664054.22	137151336.5
C0G650	員林	207023.17	2649369.9	141683916.2
C1G690	下水埔	205876.81	2635129.51	139357422.9
C1K310	斗六	199833.73	2622720.66	98061267.65
C1K320	阿丹	199362.14	2617461.73	77503584.11
C0G640	鹿港	191247.82	2663700.73	135159971.3
C1G660	溪湖	196138.16	2649621.88	137537843.1
C1G680	草湖	185908.43	2650925.27	110365208.5
C1G670	溪州	197851.16	2638540.35	97182574.15
C1K230	西螺	193389.64	2633727.16	107794309.1
C1G700	中西	183182.68	2642354.16	119459497.2
C0G710	台西	175836.68	2638698.26	51280954.32
C1K260	後安寮	171018.58	2632139.89	95378713.59
C1K250	崙背	179748.2	2628372.33	96974833.08
C0K330	虎尾	192134.96	2624318.28	75048071.29
C1K340	土庫	186936.57	2620863.55	111901334.8
C1K270	褒忠	178587.84	2622748.07	98471778.74
C0K280	四湖	170128.52	2614423.91	156881521.8
C0K290	誼梧	164686.64	2604794.46	83547110.3
C1K350	北港	177181.24	2607680.41	80506548.98

在迴歸方法上乃將各地下水井之「地下水位上升量」與「降雨量」做線性迴歸。以地下水井-豐榮(1)為例，其線性迴歸結果顯示，該站地下水位與扇頂區降雨相關性最差 $R^2=0.569$ ，扇央區次之 $R^2=0.813$ ，扇尾區最佳 $R^2=0.833$ ，如圖 4.2-8 所示。

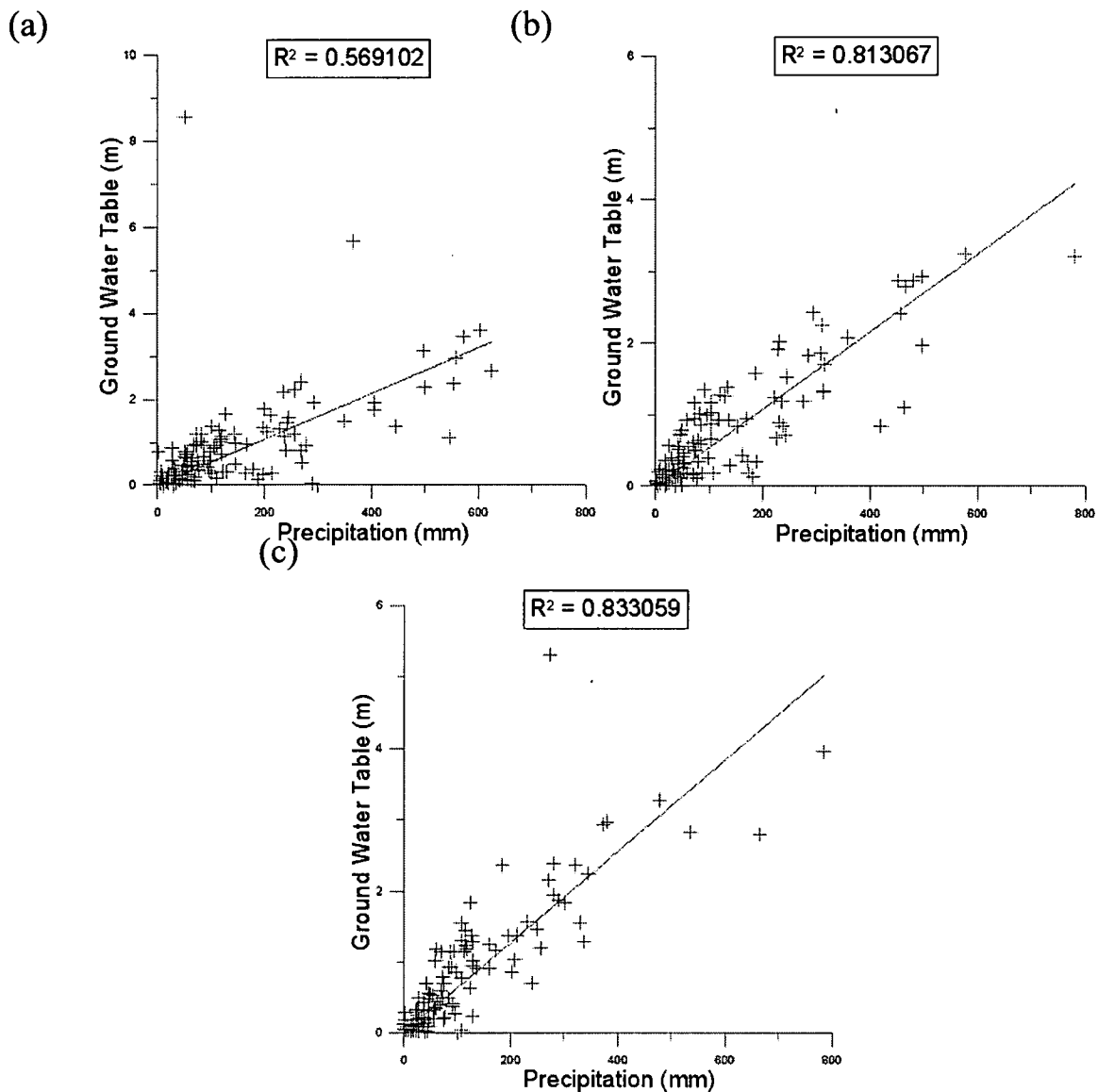


圖 4.2-8 豐榮(1)地下水位上升量與各區平均降雨量線性迴歸(a)扇頂區(b)扇央區(c)扇尾區

「扇頂區」地下水井之水位變化對「扇頂區」之平均降雨求得各井之 R^2 值如圖 4.2-9 所示；「扇央區」地下水井之水位變化對「扇頂區」、「扇央區」之平均降雨可求得 2 組不同之 R^2 值，各井之比較如圖 4.2-10 所示；「扇尾區」地下水井之水位變化對「扇頂區」、「扇央區」、「扇尾區」之平均降雨可求得 3 組不同之 R^2 值，各井之比較如圖 4.2-11 所示，由圖可知各區域之地下水位受到同區之降雨影響較高，而由圖 4.2-11 又可發現扇央區降雨對扇尾的影響高於扇頂區降雨，因此研判在各區域之降雨對於該區之地下水應具有較高之補注潛勢，且區域愈遠之降雨對補注之影響愈小。但由於空間分佈及區域水文地質特性不同，各口井之地下水位，對不同區域之降雨相關性也不同，此補注因子僅考慮其水

位變化是否受降雨所影響，故僅取出該井求得 R^2 值之最大者，利用距離倒數平方方法(Inverse Distance to a Power)內插出各網格之數值，完成後之等值線圖如圖 4.2-12 所示。

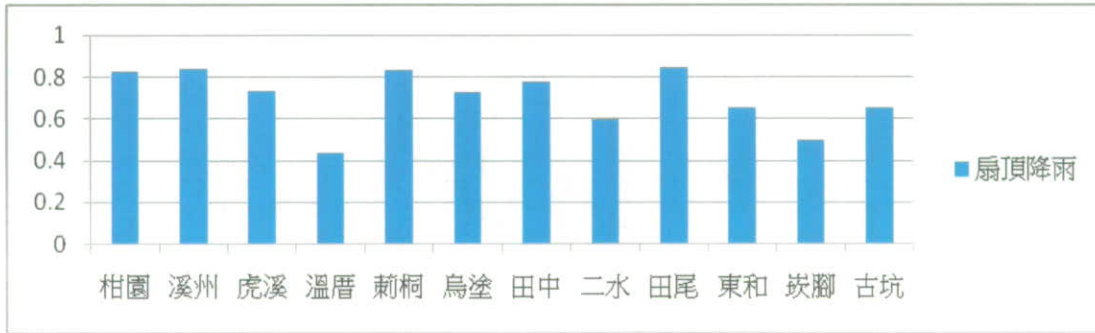


圖 4.2-9 扇頂區降雨對扇頂區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖

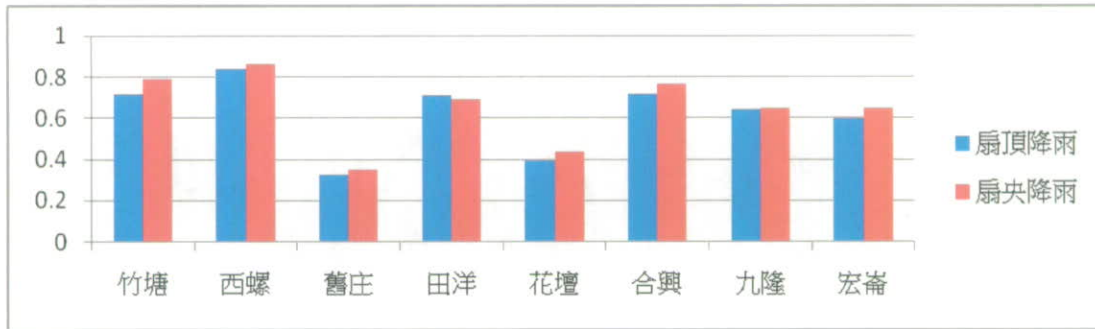


圖 4.2-10 扇頂區與扇央區降雨對扇央區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖

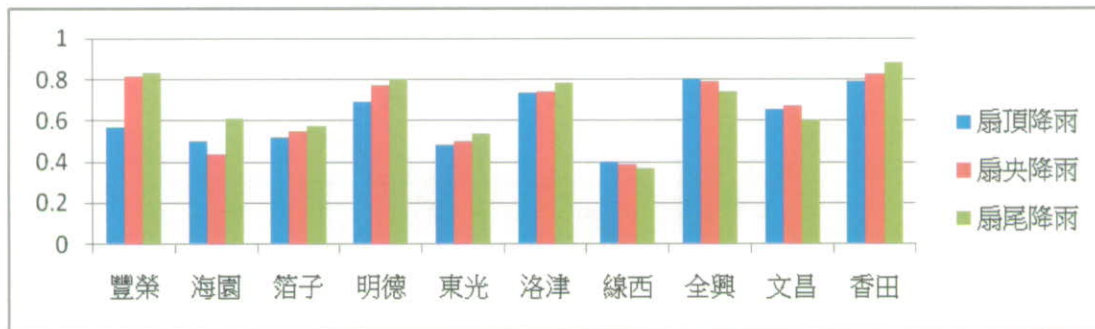


圖 4.2-11 扇頂區、扇央區與扇尾區降雨對扇尾區地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖

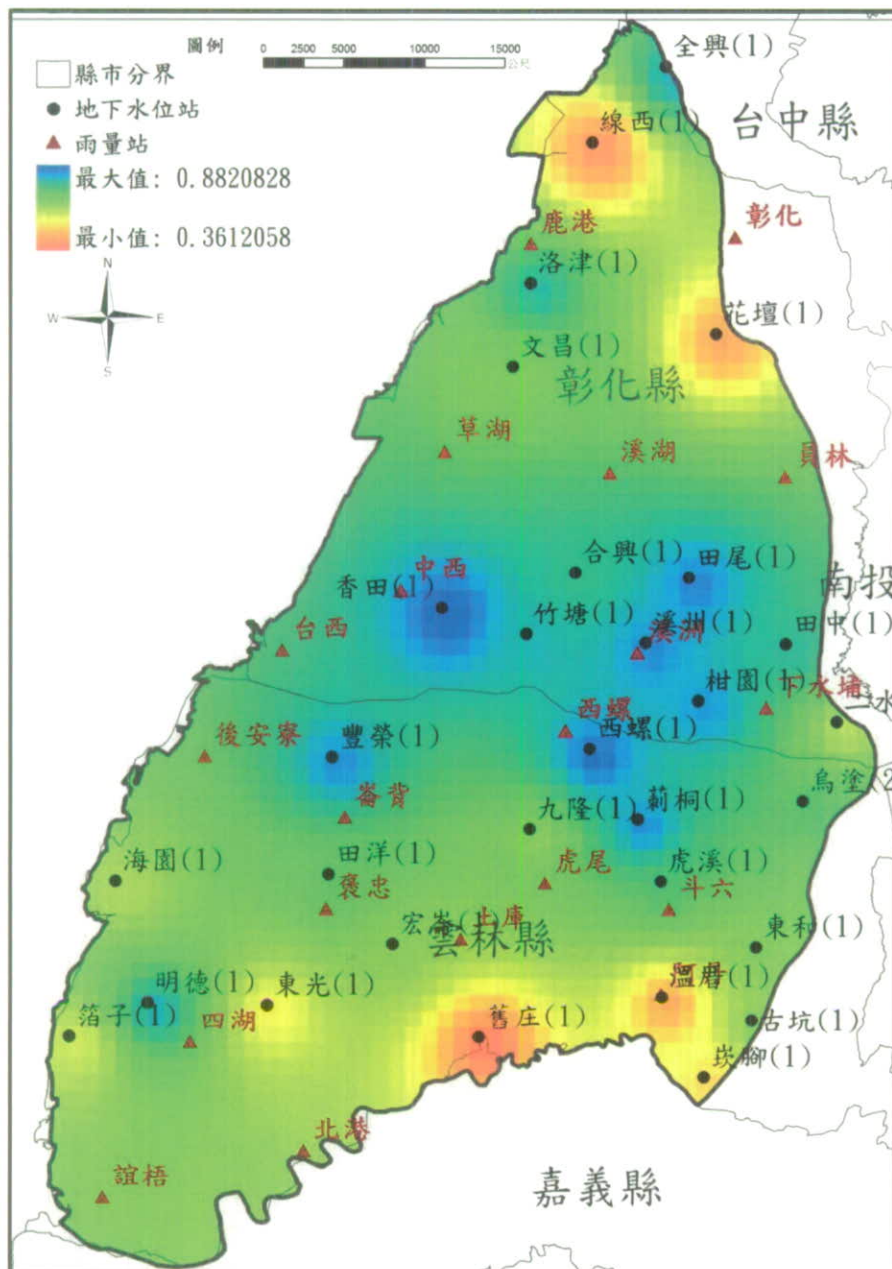


圖 4.2-12 降雨與地下水位變化相關性分布圖

二、單位蓄水量變化

儲水係數為含水層蓄水量估算重要參數，藉由儲水係數可評估含水層補注潛勢之高低，本計畫針對蒐集之儲水係數進行分析，於濁水溪沖積扇上游補注區擁有較高之儲水係數。各含水層蓄水量之增減，主要是由扇頂非受壓地下水層地下水面之升降，亦即非受壓含水層地下水飽和含水體積之增減來儲存或支

出；其餘受壓含水層部分則屬於彈性蓄水，其蓄水量變化極小。若考慮受壓地下水層，假設其儲水係數約 1.91×10^{-4} ，其低估水量僅約 1%左右(江崇榮等，2004b)。在實用上，以最上部非受壓地下水層之歷線分析所得之地下水收支量，可代表地下水區整體之地下水收支量。前述說明亦反應出地下水儲蓄量才是反應出整個含水層地下水進出的整體效應，事實上補注的結果即是含水層蓄水量的變化，因此，本計畫乃以蓄水量變化，即地下水位之變化與儲水係數之相乘積(單位面積且高度為含水層厚之土柱蓄水量變化)，而非地下水位或蓄水係數個別之變化來反應補注潛勢之大小，其中地下水位之變化乃以水位標準差代表，如式 4.2-2 所示。

若僅只考慮最上部非受壓含水層之井，以其單位蓄水量變化值進行內插，會導致此內插值在受壓含水層區域之值過高，高估補注潛勢，因此本計畫取位於淺層非受壓及受壓含水層的井，如圖 4.2-7 所示，其井名、儲水係數(參考自中央地質調查所彙刊第十九號圖六及表二)、各站水位標準差及單位蓄水量變化如表 4.2-4 所示。以 Surfer 軟體內建之距離倒數平方(Inverse Distance to a Power)內插得各格網之單位蓄水量變化值，並以此資料建立單位蓄水量變化之 GIS 圖層。濁水溪沖積扇之單位蓄水量變化等值圖如圖 4.2-13 所示，由圖中可知在扇頂二水站及古坑站處有較高之單位蓄水量變化，其相對之補注潛勢也較高。

$$\bar{S} = \sigma \times S \dots\dots\dots (式 4.2-2)$$

\bar{S} ：單位蓄水量變化

σ ：地下水位標準差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}$$

S ：受壓含水層為儲水係數(S)，非受壓含水層為比出水率(S_y)

表 4.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化

井名	well_name	S	Sy	水位標準差	單位蓄水量變化 (m)
竹塘(1)	Jhutang		0.200	0.767	0.1534
柑園(1)	Ganyuan		*0.120	1.522	0.1827
溪州(1)	Sijhou		*0.216	0.914	0.1974
虎溪(1)	Husi	0.00218		0.879	0.0019
溫厝(1)	Wuncuo	0.00218		0.920	0.0020
西螺(1)	Siluo		0.200	0.897	0.1793
舊庄(1)	Jiouhuang	0.00218		0.842	0.0018
荊桐(1)	Cihtong	*0.00071		1.146	0.0008
烏塗(2)	Wutu		*0.152	2.775	0.4217
豐榮(1)	Fongrong	0.00218		1.889	0.0041
田洋(1)	Tianyang	*0.00188		0.693	0.0013
海園(1)	Haiyuan	*0.00019		2.326	0.0004
箔子(1)	Bozih	0.00218		1.769	0.0039
明德(1)	Minde		0.200	1.205	0.2411
東光(1)	Dongguang		*0.289	1.613	0.4662
洛津(1)	Luojin		0.200	0.581	0.1161
線西(1)	Siansi	*0.00448		0.453	0.0020
全興(1)	Cyuansing		0.200	0.416	0.0832
文昌(1)	Wunchang	0.00218		0.562	0.0012
花壇(1)	Huatan	0.00218		0.341	0.0007
田中(1)	Tianjhong		0.200	2.300	0.4601
二水	Ershuei		*0.199	3.158	0.6284
香田(1)	Xiangtian	0.00218		0.933	0.0020
田尾(1)	Tianwei	0.00218		0.663	0.0014
合興(1)	Hesing		*0.225	1.050	0.2362
九隆(1)	Jiulong	0.00218		0.934	0.0020
宏崙(1)	Honglun	0.00218		1.009	0.0022
東和(1)	Donghe		0.200	3.912	0.7823
坎腳(1)	Kanjiao	0.00218		4.107	0.0090
古坑(1)	Gukeng		0.200	5.142	1.0284

*表示雙井抽水試驗時測值，其餘無實測資料之站以平均值給定，柑園站為本年度計畫實測結果。

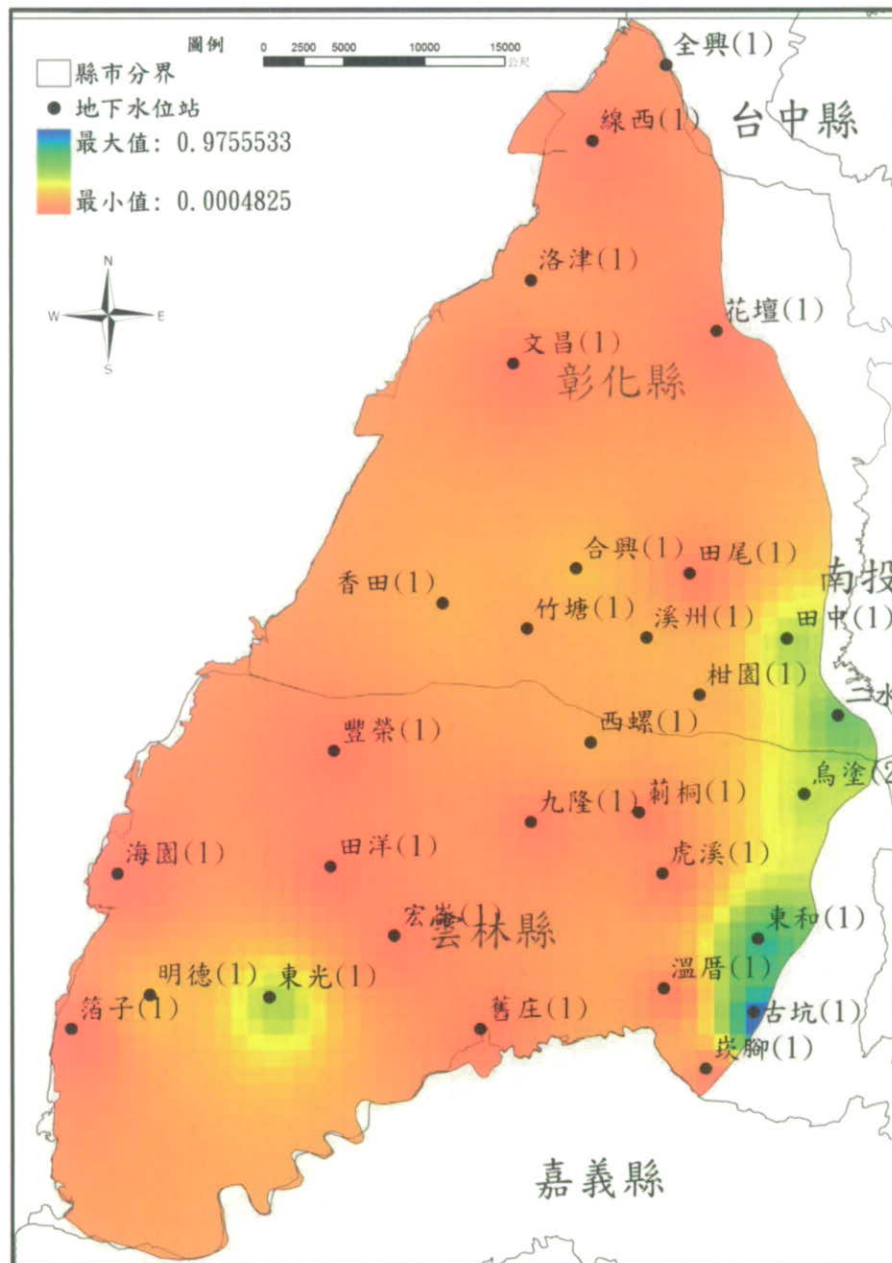


圖 4.2-13 單位蓄水量變化分布圖

4.3 地下水資源潛能原始屬性建立

4.3.1 地下水蘊藏量

從保育的觀點，如欲進行保育區域之挑選，高地下水儲藏量區域應具有較高之優先順序，因此本研究以地下水層厚度作為地下水蘊藏量豐枯情況之依據。計算方式是以將濁水溪沖積扇各地下水站之概念分層含水層一、二、三至

四厚度之和，再將點位型態的厚度和以 Surfer 軟體內建之距離倒數平方(Inverse Distance to a Power)內插至各網格，並以此資料建立地下水蘊藏量之 GIS 圖層。濁水溪沖積扇之地下水蘊藏量分布圖如圖 4.3-1 所示，濁水溪沖積扇以扇頂烏塗與二水兩站附近最厚。

4.3.2 地下水出水潛能

儲水係數或比流出率分別代表拘限含水層與非拘限含水層在減少一單位水頭下，所抽出之水量。亦即在相同系統變化下，即相同水頭變化下，較高之儲水係數或比流出率者可得到較多之水量，顯現該區域之出水潛能較高，應針對高出水潛能區域進行保育。本研究以四層含水層之儲水係數平均值或比流出率平均值做為評估出水潛能的標準，各井之儲水係數或比流出率如表 4.3-1 所示，以 30 個地下水位站為基準，將整個濁水溪沖積扇依據徐昇氏網格劃分為 30 個區域，每個地下水位站的平均儲水係數或平均比流出率，即代表該站所在徐昇氏網格範圍內整體的儲水係數值，並以此資料建立地下水出水潛能之 GIS 圖層。濁水溪沖積扇之地下水出水潛能分布圖，如圖 4.3-2 所示，圖中顯示東光與合興兩處有較大之出水潛能。

表 4.3-1 各井之儲水係數或比流出率列表

站名	S	S _y	站名	S	S _y
竹塘(1)		0.200	洛津(1)		0.200
柑園(1)		0.120	線西(1)	0.00448	
溪州(1)		0.216	全興(1)		0.200
虎溪(1)	0.00218		文昌(1)	0.00218	
溫厝(1)	0.00218		花壇(1)	0.00218	
西螺(1)		0.200	田中(1)		0.200
舊庄(1)	0.00218		二水		0.199
荊桐(1)	0.00071		香田(1)	0.00218	
烏塗(2)		0.152	田尾(1)	0.00218	
豐榮(1)	0.00218		合興(1)		0.225
田洋(1)	0.00188		九隆(1)	0.00218	
海園(1)	0.00019		宏崙(1)	0.00218	
箔子(1)	0.00218		東和(1)		0.200
明德(1)		0.200	崁腳(1)	0.00218	
東光(1)		0.289	古坑(1)		0.200

4.3.3 各層阻水層範圍

阻水層為泥質所構成之水層，水層之透水係數極低，可以避免土表汙染物往下污染，如同地下水系統之防護層，因此如有越多層防護層之網格，天然代表受污染之可能性越小。反之，若如無防護層之網格，如地表存在污染源，將輕易造成下方含水層之污染。圖 4.3-3 為濁水溪沖積扇之阻水層數量分布圖，圖中顯示烏塗、二水與柑園等區域並無阻水層存在，其餘由一至四不等。

4.3.4 地下水位值

基於水往低處流的特性，上游的水會流往下游，因此如上游受到污染，下游區域亦受污染之可能性；反之，下游區域如受到污染，由於水往低處流之特性，因此上游並不會受到影響。基於此一概念，上游應具有較高之資源保育重要性。本研究取 1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年 30 個地下水位站之平均水位，以 Surfer 軟體內建之距離倒數平方(Inverse Distance to a Power)內插至各網格，並以此資料建立地下水位值之 GIS 圖層。濁水溪沖積扇之地下水位分布圖如圖 4.3-4 所示，圖中顯示地下水位以東和、古坑與炭腳等斗六丘陵一帶最高，逐步往海邊遞減，以海園與明德等最低，部分已經低於海平面。

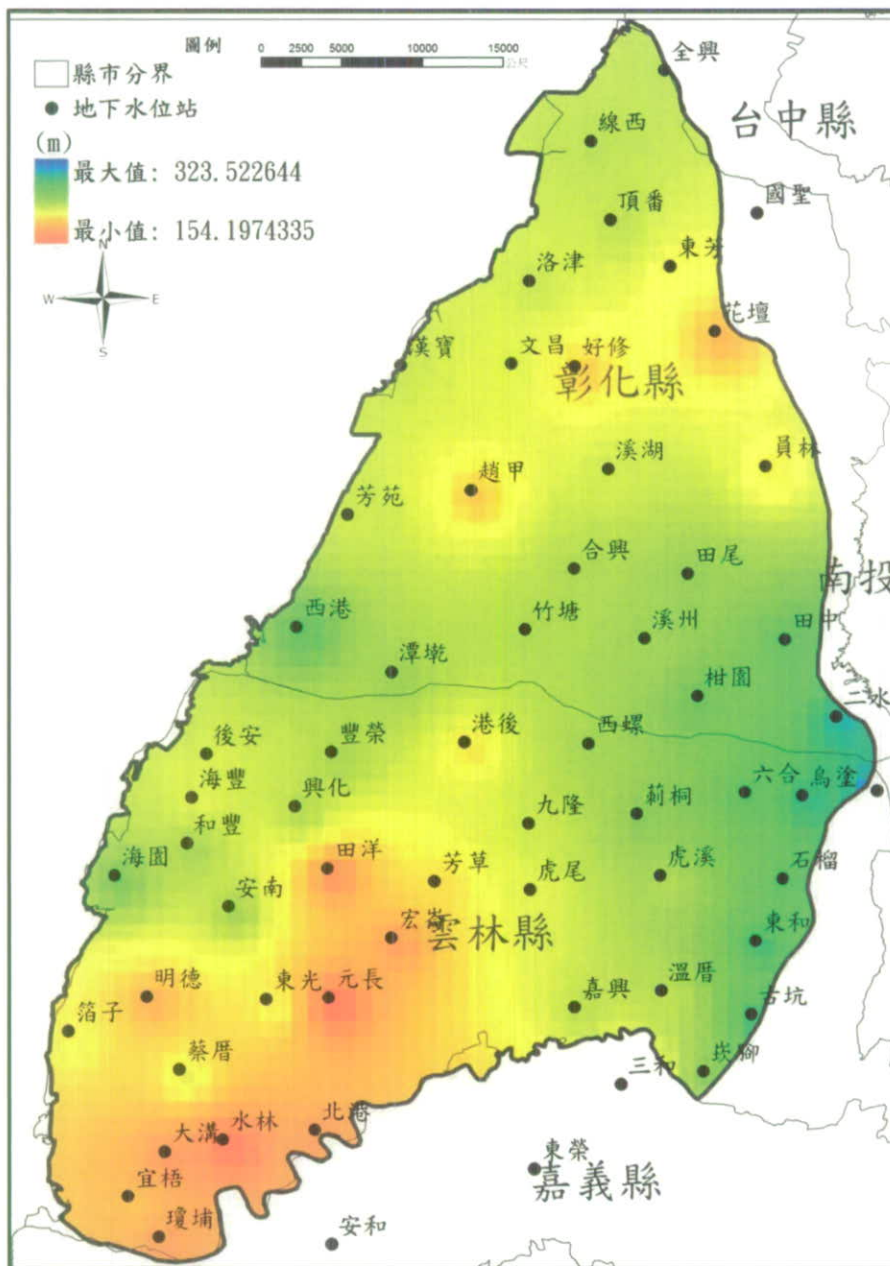


圖 4.3-1 地下水蘊藏量分布圖

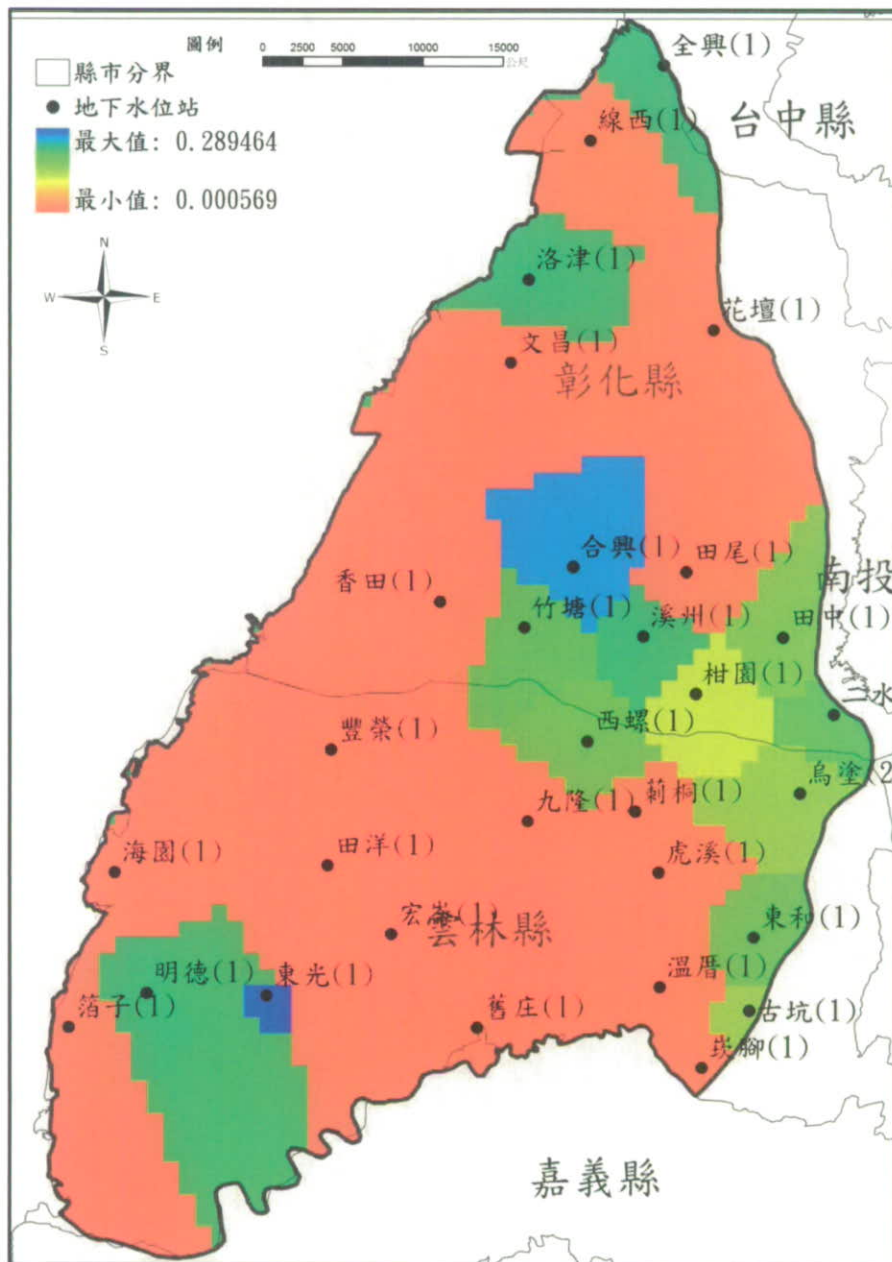


圖 4.3-2 地下水出水潛能分布圖

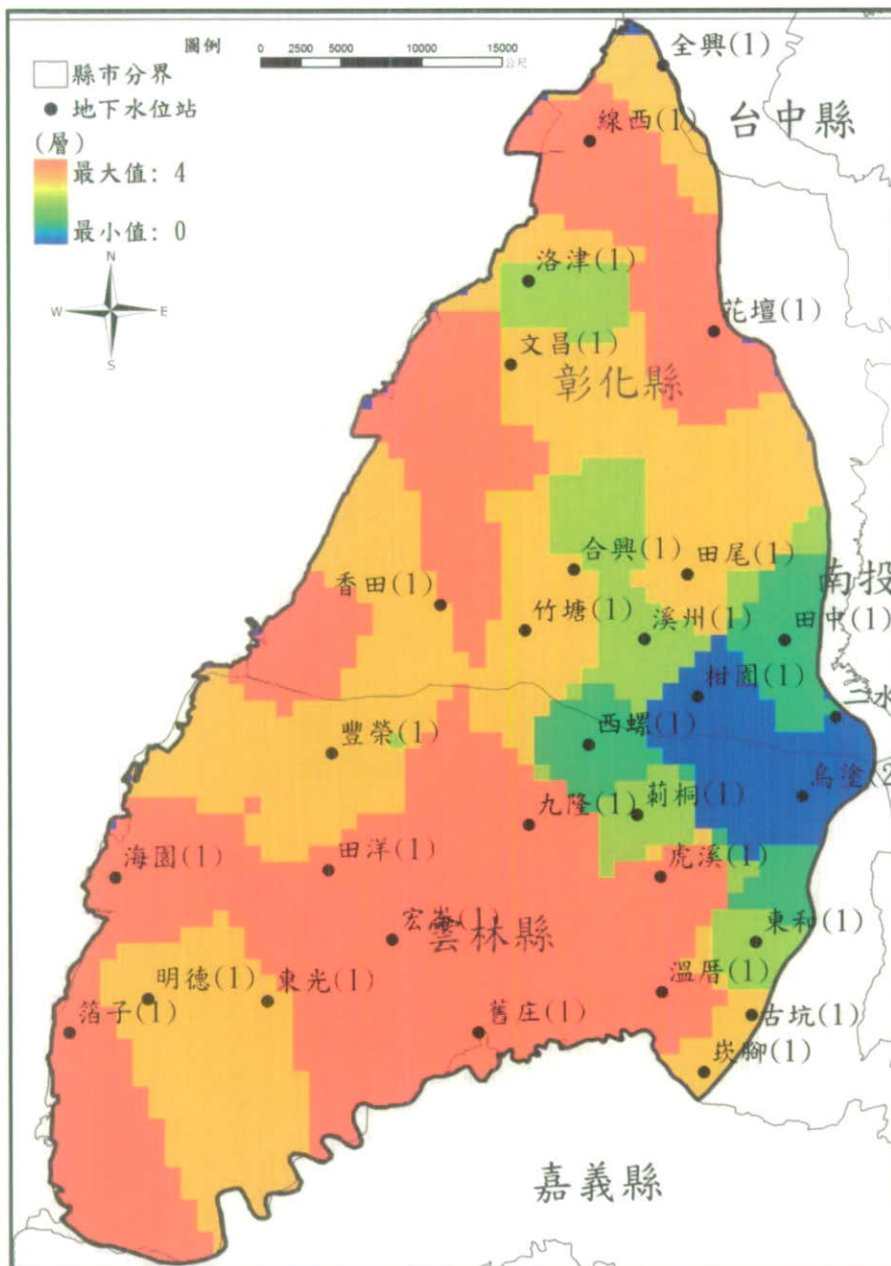


圖 4.3-3 阻水層層數分布圖

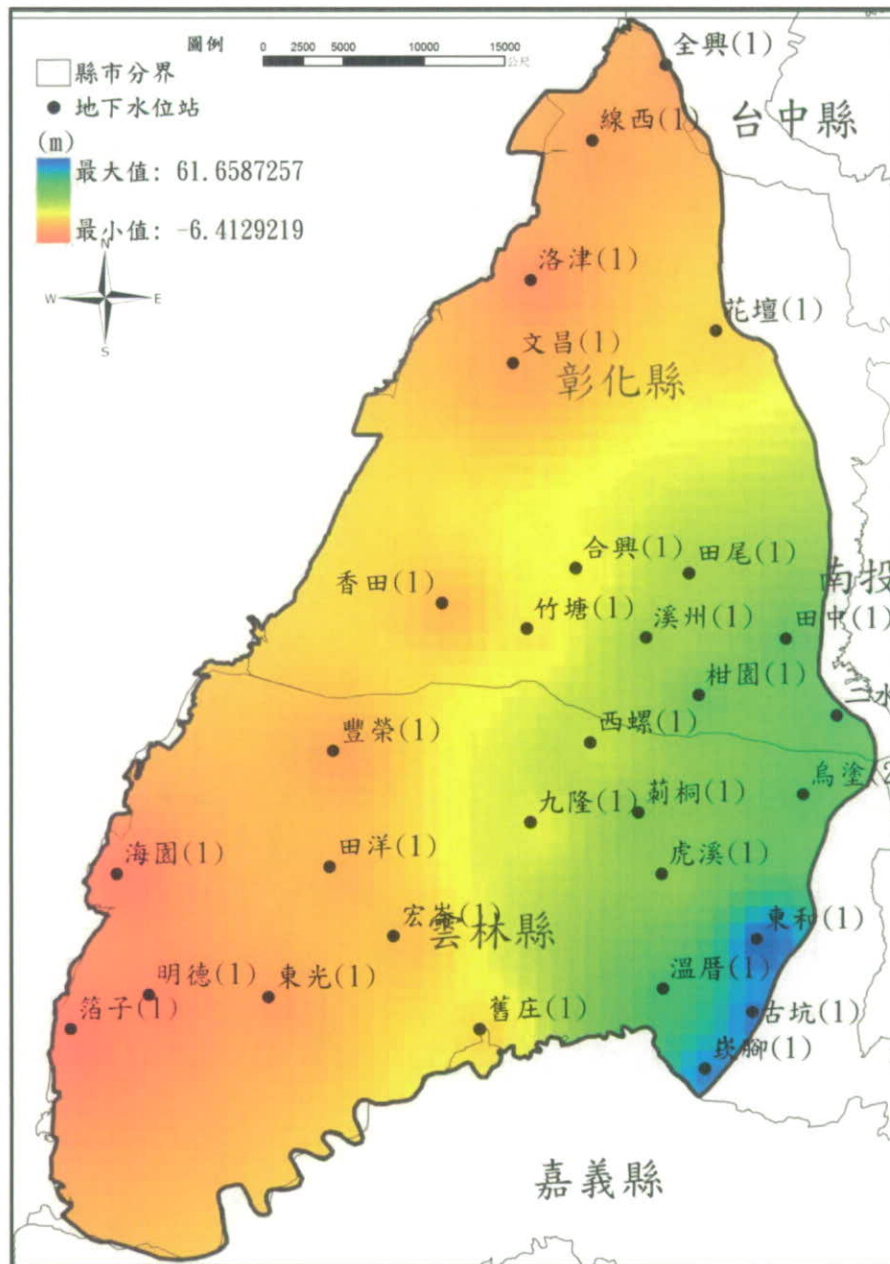


圖 4.3-4 地下水位值分布圖

4.4 地下水補注潛勢評估作業檢討

前述 4.1 小節已說明補注潛勢評估作業之步驟與理論，其中因子間權重則利用 Shaban 理論訂定，而土地利用與表層土壤兩項因子之分數轉換，則需要人為主觀給定，後續作法流程圖如圖 4.4-1 所示，首先將於 4.4.1 節將藉由第三章之水位歷線法成果進行土地利用與表層土壤分數之檢定分析，其成果將作為後續之基礎，4.4.2 節則檢定因子間權重，並與 Shaban 理論建議之權重進行比較。

4.4.1 土地利用與表層土壤分數檢討

前述 4.2 節已說明土地利用圖層之來源，其中土地利用屬性高達 103 種(如表 4.4-1 所示)，難以直接應用於補注潛勢之估算上，本計劃依據其對補注之特性，歸納為 7 種土地利用重分類類別，重分類類別如表 4.4-2 所示，表中亦同時呈現本計劃去年度土地利用分數建議值，其決定方式係以主觀認定方式決定。表 4.4-3 呈現表層土壤之分類類別與對應之分數建議值，分數決定方式亦與土地利用相同。圖 4.4-2 為土地利用或表層土壤之分數檢定流程圖，其以遺傳演算法調整土地利用或表層土壤之屬性分數，將分數帶入計算土地利用或表層土壤之網格分數，其是以面積加權的方式計算，本檢定過程是以遺傳演算法進行檢定。

前述第三章以說明水位歷線法之理論與實際應用，其中完成 1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年合計共十年之補注量推估分析，各站之每日單位面積平均補注量呈現濁水溪沖積扇補注量之空間分布，由於補注潛勢與補注量應具有相同之空間分布趨勢，因此水位歷線法成果可用於檢定之用。

圖 4.4-3 為各站井之每日單位面積補注量，其中非拘限含水層與拘限含水層站井之補注量因次差異極大，基於本研究之目的在於找出高補注區位，因此在土地利用或土壤之檢定上，主要著重於非拘限含水層之檢定，故此僅採用非拘限含水層站井進行。

檢定之決策變數為各分類對應之分數，其數值為 0 至 100 之間，決策變數帶入式 4.4-2 與 4.4-3 可得濁水溪沖積扇所有網格之因子分數，挑選非拘限含水層站井所在網格，以每日單位面積補注量與因子分數之相關係數絕對值最高為目標函數(如式 4.4-1 所示)。檢定上，土地利用與表層土壤兩者分開檢定。檢定結果如表 4.4-4 與 4.4-5 所示。

$$\max_{\{G_i\}} |Cor(\{G_i\}, \{R\})| \dots\dots\dots (式 4.4-1)$$

s.t.

$$G_i^m = \bar{G}_i^k, \text{ if } F_i^m = \bar{F}_i^k, \text{ for } k=1,\dots,N \text{ for } i=1,2 \dots\dots\dots (式 4.4-2)$$

$$G_{i,j} = \frac{\sum Area^m \times G_i^m}{\sum Area^m}, \quad m \in Cell_j \dots\dots\dots (式 4.4-3)$$

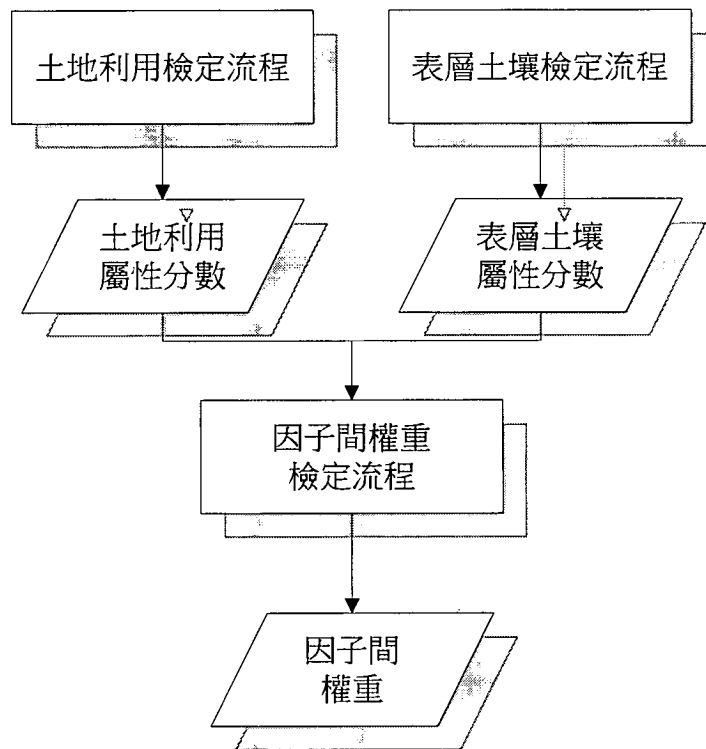


圖 4.4-1 地下水補注潛勢評估作業檢討流程圖

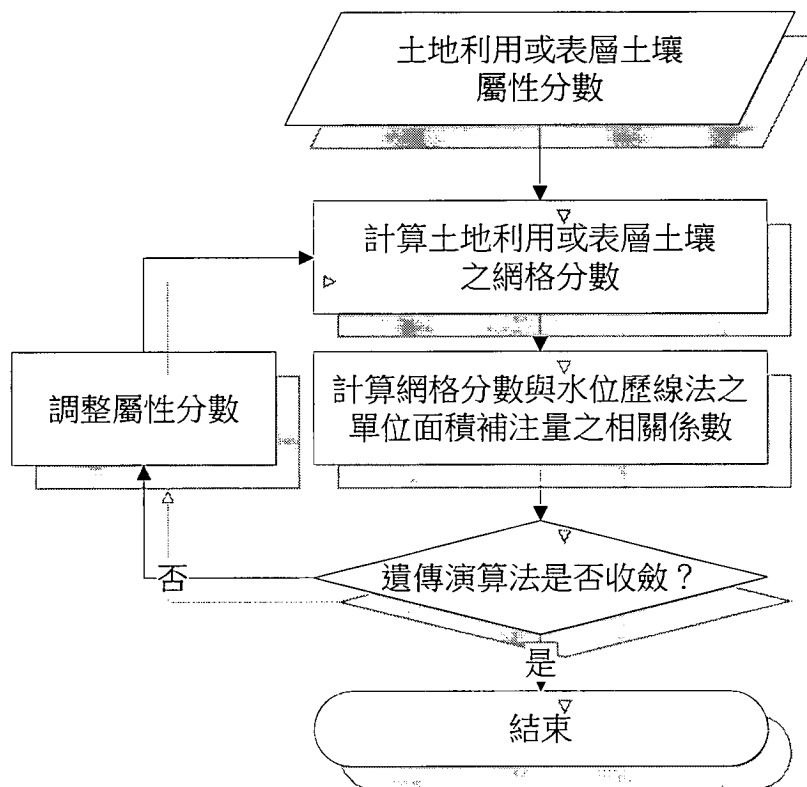


圖 4.4-2 土地利用與表層土壤分數檢定流程圖

表 4.4-1 土地利用屬性與重新分類表

屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼	屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼
稻作	10101	2	鐵路相關設施	30203	7
旱作	10102	2	國道	30301	7
果樹	10103	2	省道、快速道路	30302	7
廢耕地	10104	3	一般道路	30303	7
水產養殖	10200	6	道路相關設施	30304	7
畜禽舍	10301	6	商港	30401	1
牧場	10302	3	漁港	30402	1
溫室	10401	6	專用港	30403	1
倉儲設施	10402	7	其他港口相關設施	30404	1
農產品展售場	10403	7	河川	40101	1
其他設施	10404	6	減河	40102	1
天然針葉樹純林	20101	5	運河	40103	1
天然闊葉樹純林	20102	5	堤防	40104	1
天然竹林	20103	5	溝渠	40200	1
天然竹針闊葉混淆林	20104	5	水庫	40301	1
人工針葉樹純林	20201	5	湖泊	40302	1
人工闊葉樹純林	20202	5	其他蓄水池	40303	1
人工竹林	20203	5	人工湖	40304	1
人工竹針闊葉混淆林	20204	5	水道沙洲灘地	40400	1
伐木跡地	20301	6	水閘門	40501	1
苗圃	20302	5	抽水站	40502	1
防火線	20303	6	水庫堰壩	40503	1
土場	20304	6	地下取水井	40504	1
機場	30100	7	其他設施	40505	1
一般鐵路	30201	7	防汛道路	40600	1
高速鐵路	30202	7	海面	40700	1
零售批發	50101	7	法定文化資產	70101	7
服務業	50102	7	一般文化設施	70102	6
純住宅	50201	7	其他文化設施	70103	7
兼工業使用住宅	50202	7	公園綠地廣場	70201	3
兼商業使用住宅	50203	7	遊樂場所	70202	7
兼其他使用住宅	50204	7	體育場所	70203	7
製造業	50301	7	礦場	80101	6
倉儲	50302	7	礦業相關設施	80102	6

屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼	屬性別	原始屬性代碼	重分類代碼
宗教	50401	7	土石採取場	80201	6
殯葬設施	50402	7	土石相關設施	80202	6
興建中	50403	6	鹽田	80301	6
其他	50404	6	鹽業相關設施	80302	6
政府機關	60100	7	軍事用地	90100	7
幼稚園	60201	7	溼地	90200	6
小學	60202	7	草生地	90300	3
中學	60203	7	灘地	90401	6
大專院校	60204	7	崩塌地	90402	6
特種學校	60205	7	礁岩	90403	6
醫療保健	60300	7	裸露空地	90404	6
社會福利設施	60400	7	灌木荒地	90500	4
氣象	60501	7	災害地	90600	6
電力	60502	7	營建剩餘土石方	90700	6
瓦斯	60503	7	未使用地	90801	6
自來水	60504	7	人工改變中土地	90802	6
加油站	60505	7	測量標	90803	7
環保設施	60600	7			

表 4.4-2 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表(98 年度建議值)

代碼	重分類	因子分數
1	河川	100
2	農耕地	90
3	綠地	70
4	灌木荒地	60
5	林地	40
6	裸露地	20
7	不透水區	0
因子分數為本計劃 98 年度建議值		

表 4.4-3 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表(98 年度建議值)

代碼	分類	細部描述	因子分數
1	粗砂土	粗砂土，砂土	90
2	細砂土	細砂土，壤質粗砂土，壤質砂土	80
3	壤質細砂土	壤質細砂土，粗砂質壤土，砂質壤土， ，細砂質壤土	70
4	極細砂土	極細砂土，壤質極細砂土，極細砂質壤土	60
5	粉土	粉土，粉質壤土	50
6	壤土	壤土	40
7	砂質粘壤土	砂質粘壤土	40
8	粘壤土	粘壤土，粉質粘壤土	30
9	粉質粘土	粉質粘土	20
10	粘土	粘土	10
11	石礫	石礫	100

因子分數為本計劃 98 年度建議值

表 4.4-4 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表(檢定結果)

代碼	重分類	因子分數
1	河川	100.0
2	農耕地	100.0
3	綠地	70.1
4	灌木荒地	70.1
5	林地	70.1
6	裸露地	35.0
7	不透水區	0.0

表 4.4-5 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表(檢定結果)

代碼	分類	細部描述	因子分數
1	粗砂土	粗砂土，砂土	74.0
2	細砂土	細砂土，壤質粗砂土，壤質砂土	73.7
3	壤質細砂土	壤質細砂土，粗砂質壤土，砂質壤土，細砂質壤土	73.7
4	極細砂土	極細砂土，壤質極細砂土，極細砂質壤土	73.7
5	粉土	粉土，粉質壤土	73.7
6	壤土	壤土	37.4
7	砂質粘壤土	砂質粘壤土	19.2
8	粘壤土	粘壤土，粉質粘壤土	10.9
9	粉質粘土	粉質粘土	5.9
10	粘土	粘土	4.4
11	石礫	石礫	100.0

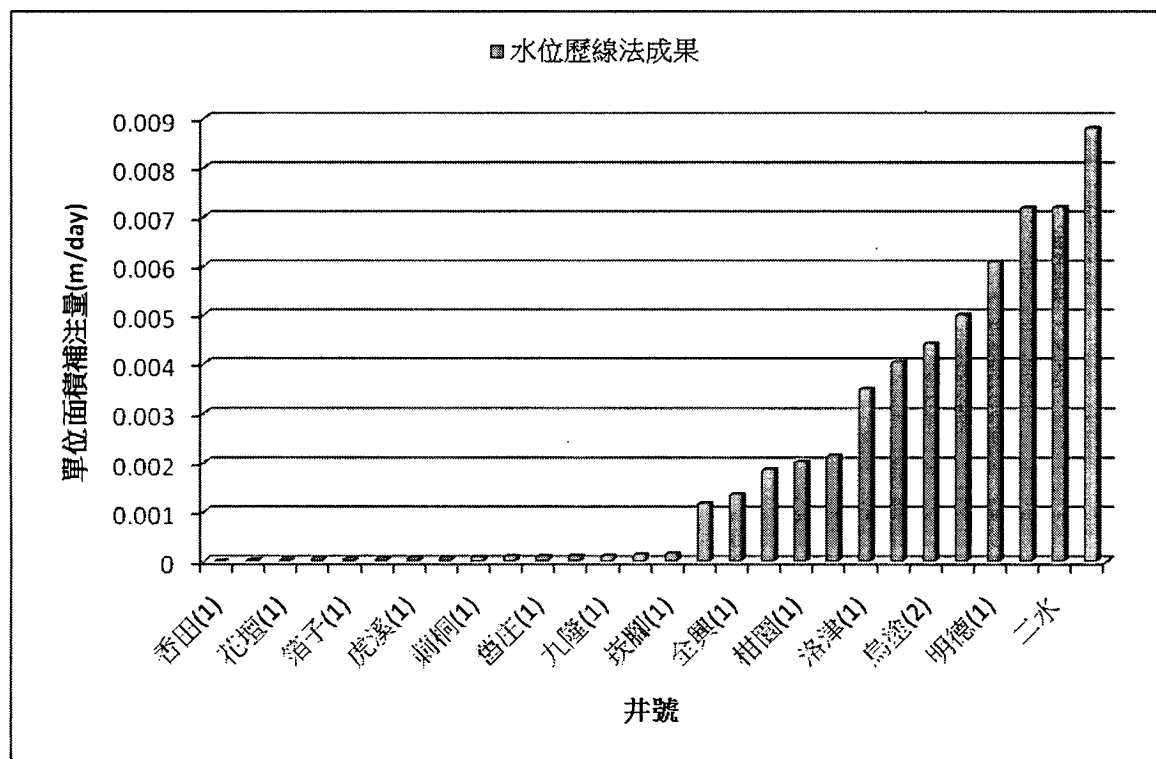


圖 4.4-3 濁水溪沖積扇各站井單位面積補注量(1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年水位歷線法成果)

4.4.2 因子間權重檢討

前述以 Shaban et al. (2006)提出之因子邏輯關係圖進行因子權重之訂定，其估算方程式如式 4.4-4 所示。然在該理論中，相較於直接主觀訂定，Shaban 理論較為理論化也較客觀化，然因子邏輯關係圖之繪製仍舊參雜建置者之主觀意見。為探究因子間權重之比重大小，本研究以多變量線性迴歸建立因子間權重之檢討。

$$\omega_i = \frac{N_i^{maj} \times 1 + N_i^{min} \times 0.5}{\sum_{i=1}^7 (N_i^{maj} \times 1 + N_i^{min} \times 0.5)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (式 4.4-4)$$

由於水位歷線法需藉由觀測水位方可計算，因此觀測井不可能位於河道上，故所在網格之河系密度多為 0，對整個檢定過程而言，觀測井所在網格之河系密度值與單位面積補注量並無關係。此外，相對於整個濁水溪沖積扇，河道寬度最多僅橫跨 1 至 2 個網格，對於大部分網格之河系密度均為 0，因此該因子以加權加總的方式與其他因子疊加，實是降低非河道區域之補注潛勢分數。此外，由於非拘限含水層與拘限含水層受到上方阻水層之影響，兩者單位面積補注量差異極大，故含水層型態之判釋結果亦應納入考量，使得不同含水層型態下之區域，應用不同之權重值計算。故在此修改前述以七項因子直接加權加總之方式，修改後計算流程分為三大部分：首先，依據判釋結果將網格進行分類；其次，改以除河系密度外之六項因子進行加權加總，所採用之權重則依不同含水層型態而有不同；最後，加總結果再與河系密度分數進行比較，取兩者之大者為最終補注潛勢分數。

在此計算方式下，檢定流程則著重於除河系密度外的六項因子，式 4.4-5 至 4.4-7 為因子間權重之檢定方程式，式 4.4-6 為六變數之多變量線性迴歸式，目標函數即為水位歷線法之單位面積補注量(O_j)與迴歸值(S_j)之方均根誤差(RMSE)最小，目標函數即為多變量線性迴歸式中的七項權重(\bar{a} 與 b)。

$$\max_{\bar{a}, b} RMSE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (S_j - O_j)^2 \quad \dots\dots\dots (式 4.4-5)$$

s.t.

$$S_j = a_1 G_{1,j} + a_2 G_{2,j} + a_3 G_{3,j} + a_4 G_{4,j} + a_5 G_{5,j} + a_6 G_{6,j} + b \quad \dots\dots\dots (式 4.4-6)$$

$$\bar{a} = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5 \quad a_6] \quad \dots\dots\dots (式 4.4-7)$$

檢定資料中，由於東光站之單位面積補注量數值過於極端，在此視為極端值(outlier)，不納入檢定流程。其多變量線性迴歸檢定結果如式 4.4-8 與 4.4-9 所示，圖 4.4-4 同時將觀測值繪於 X 軸上，而模擬值繪於 Y 軸上，如迴歸值與觀測值無任何誤差，所有點位座落於圖面上之 45 度線上，從圖面看來雖略有偏離，但掌握到整體趨勢，迴歸結果位於可接受範圍內。圖 4.4-5 則以直條圖方式同時呈現非拘限站井之觀測值與迴歸值之差異。

$$S_j^{confined} = \begin{bmatrix} 8.22 \times 10^{-7} & 6.85 \times 10^{-8} & 0 & 6.17 \times 10^{-7} & 1.03 \times 10^{-6} & 3.42 \times 10^{-7} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_{1,j} \\ G_{2,j} \\ G_{3,j} \\ G_{4,j} \\ G_{5,j} \\ G_{6,j} \end{bmatrix} + 4.25 \times 10^{-6} \quad \text{..... (式 4.4-8)}$$

$$S_j^{unconfined} = \begin{bmatrix} 4.27 \times 10^{-5} & 4.18 \times 10^{-6} & 2.12 \times 10^{-6} & 1.17 \times 10^{-5} & 2.59 \times 10^{-5} & 7.12 \times 10^{-6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_{1,j} \\ G_{2,j} \\ G_{3,j} \\ G_{4,j} \\ G_{5,j} \\ G_{6,j} \end{bmatrix} + 1.00 \times 10^{-5} \quad \text{..... (式 4.4-9)}$$

由於本檢定目的是為了決定補注潛勢各項影響因子之因子權重，因此多變量線性迴歸式之六項斜率參數(\bar{a})並無法直接應用於補注潛勢評估中，六項因子間權重必須等於 1(如式 4.4-11 所示)，因此可應用非拘限迴歸式之六項斜率參數(\bar{a})和為分母，等比例得出非拘限含水層與拘限含水層之因子間權重($\omega_i^{unconfined}$ 與 $\omega_i^{confined}$)，其計算方式如式 4.4-12 與 4.4-13 所示。由於迴歸式之斜率參數是分別由非拘限站井與拘限站井之單位面積補注量檢定所得，因此不同類型站井之補注潛勢分數之差異，亦如同補注量一樣，數值上有極大之差異。

$$\sum_{i=1}^6 \omega_i^{unconfined} = 1 \quad \text{..... (式 4.4-11)}$$

$$\omega_i^{unconfined} = \frac{a_i^{unconfined}}{\sum_{i=1}^6 a_i^{unconfined}} \quad \text{..... (式 4.4-12)}$$

$$\omega_i^{confined} = \frac{\alpha_i^{confined}}{\sum_{i=1}^6 \alpha_i^{unconfined}} \dots\dots\dots (式 4.4-13)$$

圖 4.4-6 至 4.4-7 分別為原始計算方法與修正後計算方法之補注潛勢分數分布圖，圖 4.4-8 則為兩者分數之組體圖，組體圖中顯示原始方法之分數位於 20 至 70 之間，難以區分出表層之拘限含水層與非拘限含水層區域；反觀修正後之分數則呈現兩個峰值，0 至 10 以下之網格多為拘限含水層網格，其餘者即為非拘限含水層網格，顯現修正後作法較能充分顯現非拘限含水層具有較高補注潛勢之特性。

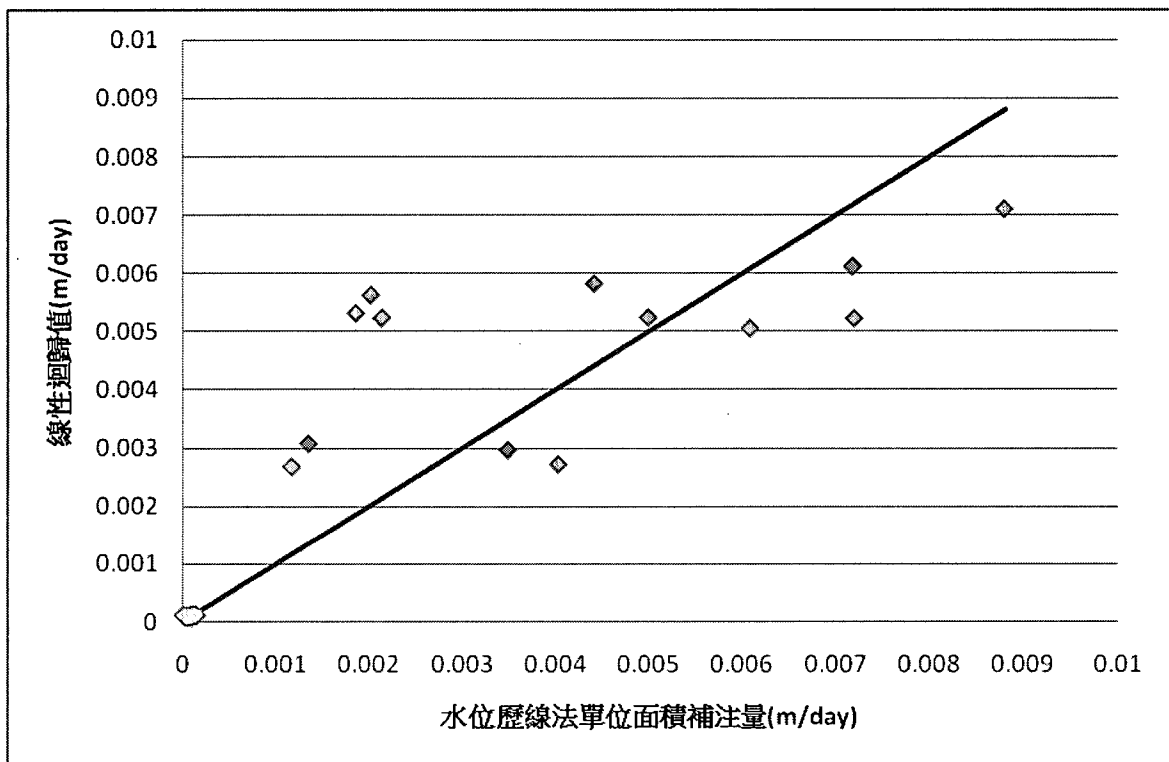


圖 4.4-4 水位歷線法單位面積補注量與線性迴歸值檢定圖



圖 4.4-5 濁水溪沖積扇非拘限站井單位面積補注量(1998 年至 2003 年與 2006 年至 2009 年水位歷線法成果與多變量線性迴歸值)

表 4.4-6 因子間權重值列表

因子別	非拘限權重	因子別	拘限權重
1	0.93075	1	0.00007
2	0.00568	2	0.00001
3	0.00284	3	0
4	0.01589	4	0.00005
5	0.03519	5	0.00009
6	0.00965	6	0.00003

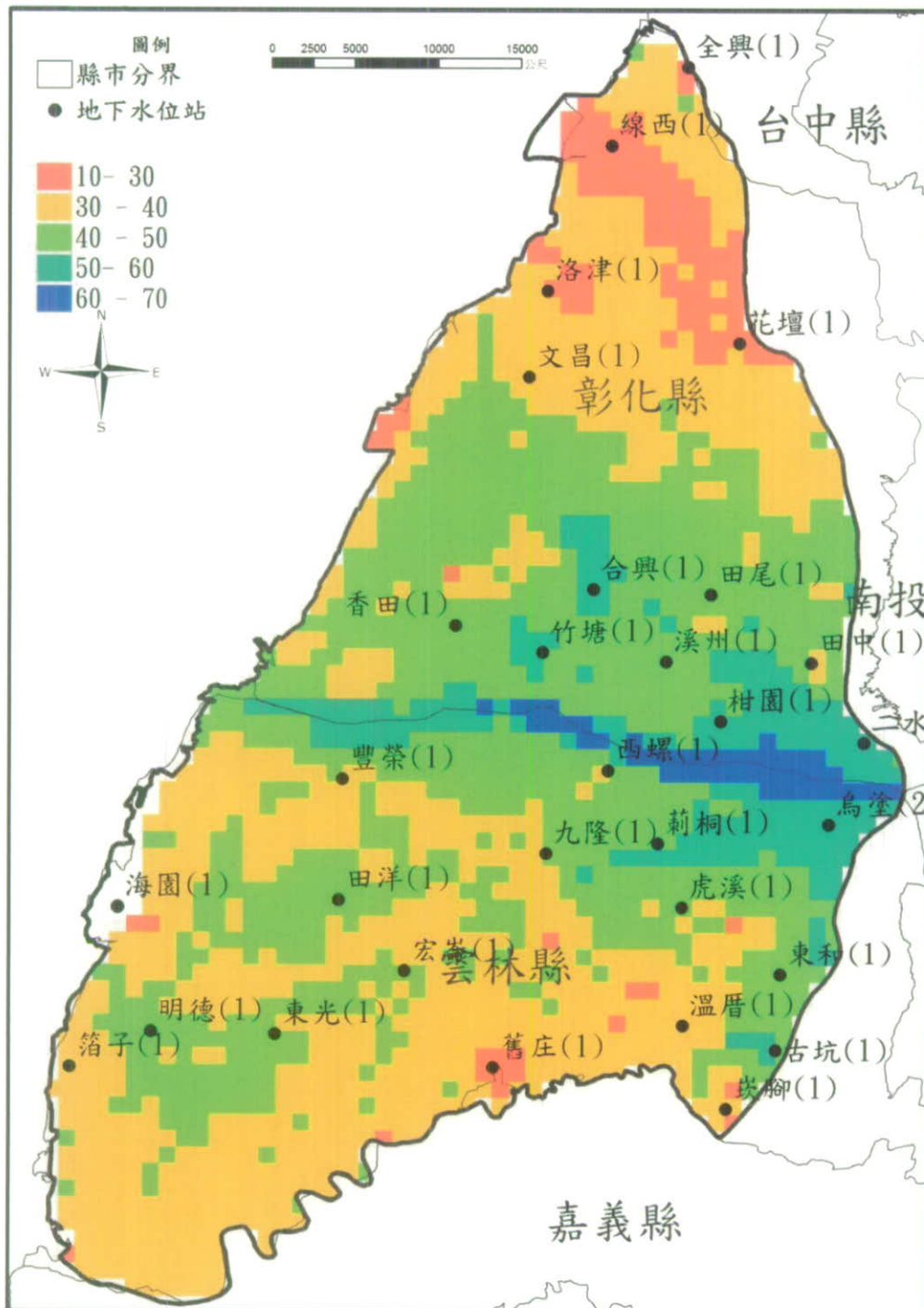


圖 4.4-6 補注潛勢分數分布圖(原始計算方法)

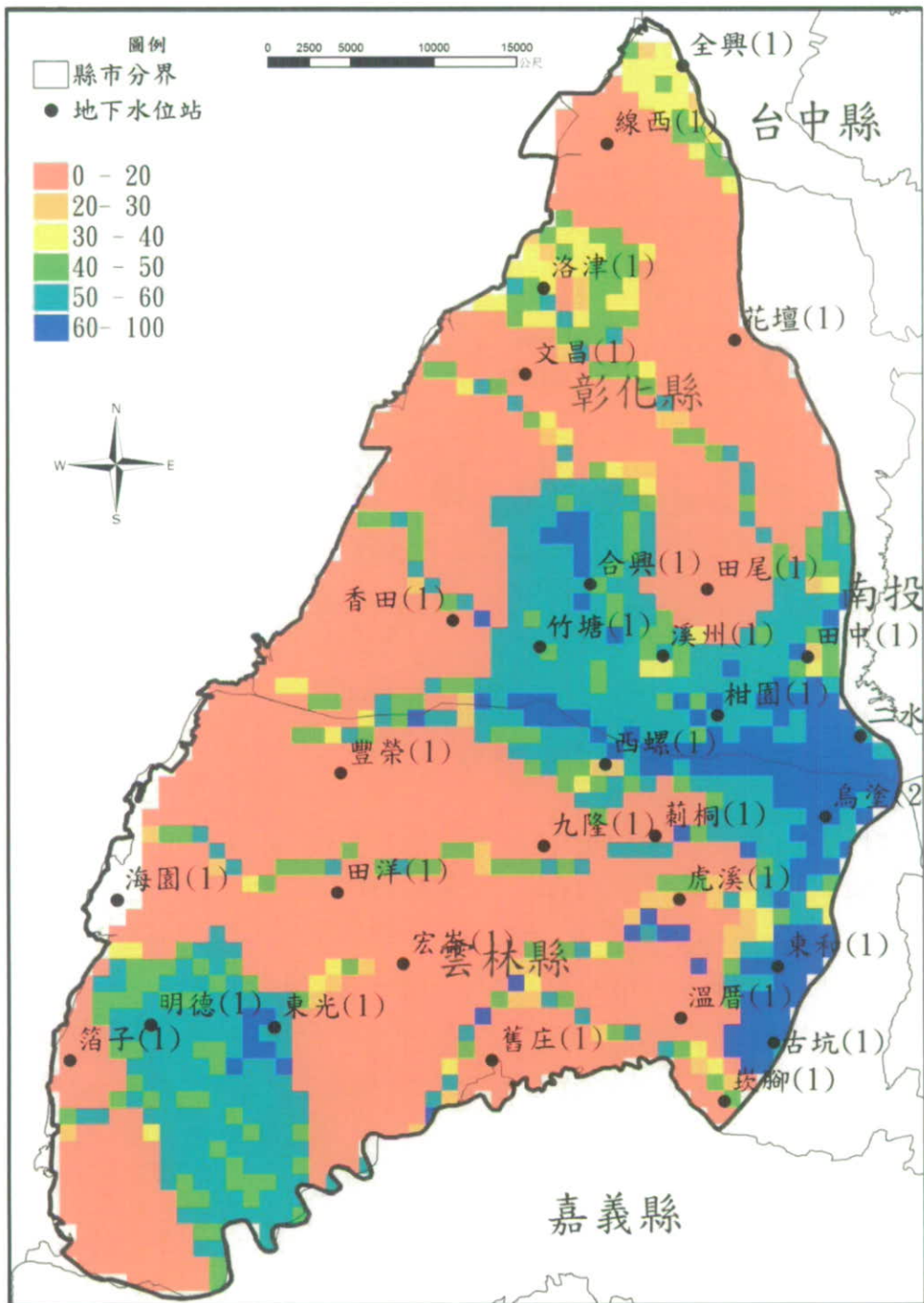


圖 4.4-7 補注潛勢分數分布圖(修正後計算方法)

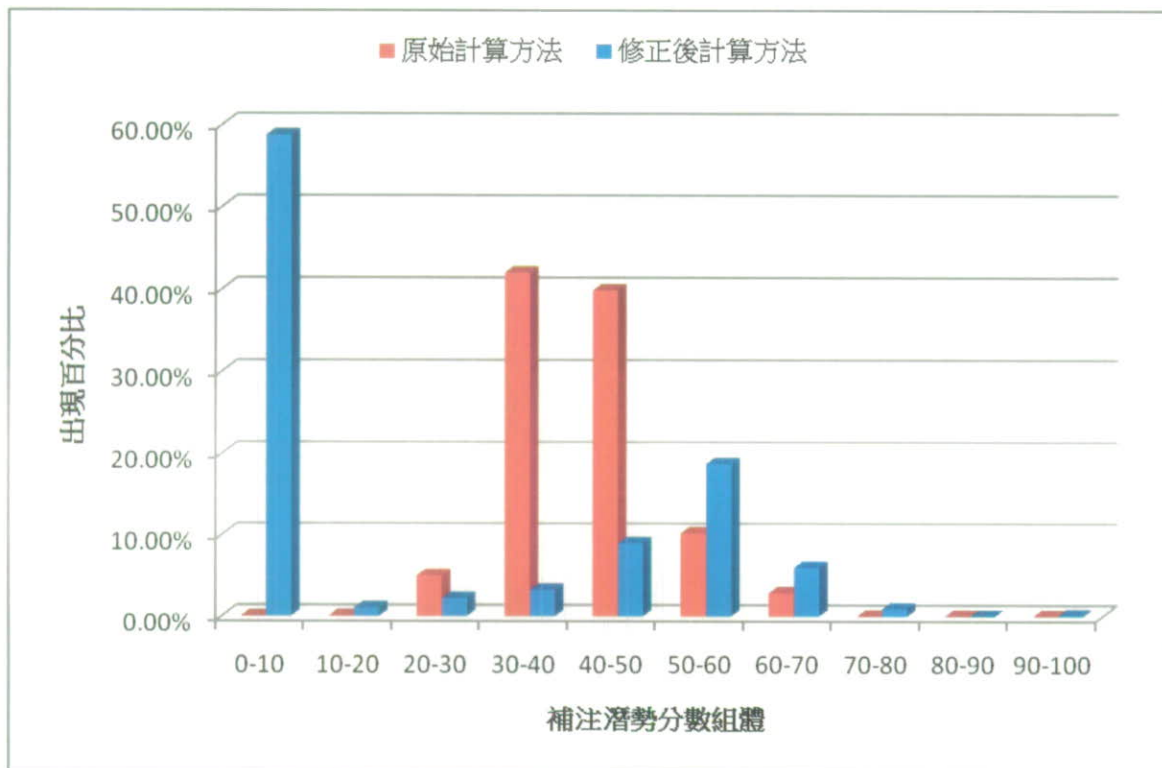


圖 4.4-8 補注潛勢分數組體圖

4.5 地下水補注潛勢分析成果說明

於 4.1 節已經說明如何由原始屬性決定因子分數，其中式 4.1-2 與 4.1-3 是用於非連續型之因子，如土地利用與表層土壤，其餘連續型因子則以式 4.1-4 進行計算。4.2 節展示地下水補注潛勢之七種因子原始屬性，後續將依據原始屬性對於地下水補注能力之強弱，給予 0 至 100 之因子分數。

土地利用與表層土壤屬於非連續型的因子，其分數分別採表 4.4-4 與 4.4-5 之因子分數，圖 4.5-1 與 4.5-2 分別為土地利用與表層土壤之潛勢分數分布圖。此外，由於表層土壤原始圖層在濁水溪河道上無土壤資料記錄，為呈現河道應有較高之補注潛勢，故經評估後直接給予最高分。

降雨與地下水位變化相關性、平均年降雨量、單位蓄水量變化、透水係數與河系密度等其他五項因子屬於連續型之資料格式，圖 4.5-3 至 4.5-8 分別為五項因子之潛勢分數分布圖。

於 4.4.2 小節提出修正作法，首先區分拘限含水層與非拘限含水層網格，其次加權加總除河系密度外之六項因子，最後取六項因子加權加總和與河系密度之較大者，以此作法所得之補注潛勢組體分布，不致於完全集中於 30 分至 50 分之間。表 4.4-6 為六項因子之因子間權重列表，藉由該表可得圖 4.5-8，為地下水補注潛勢整體分數分布圖

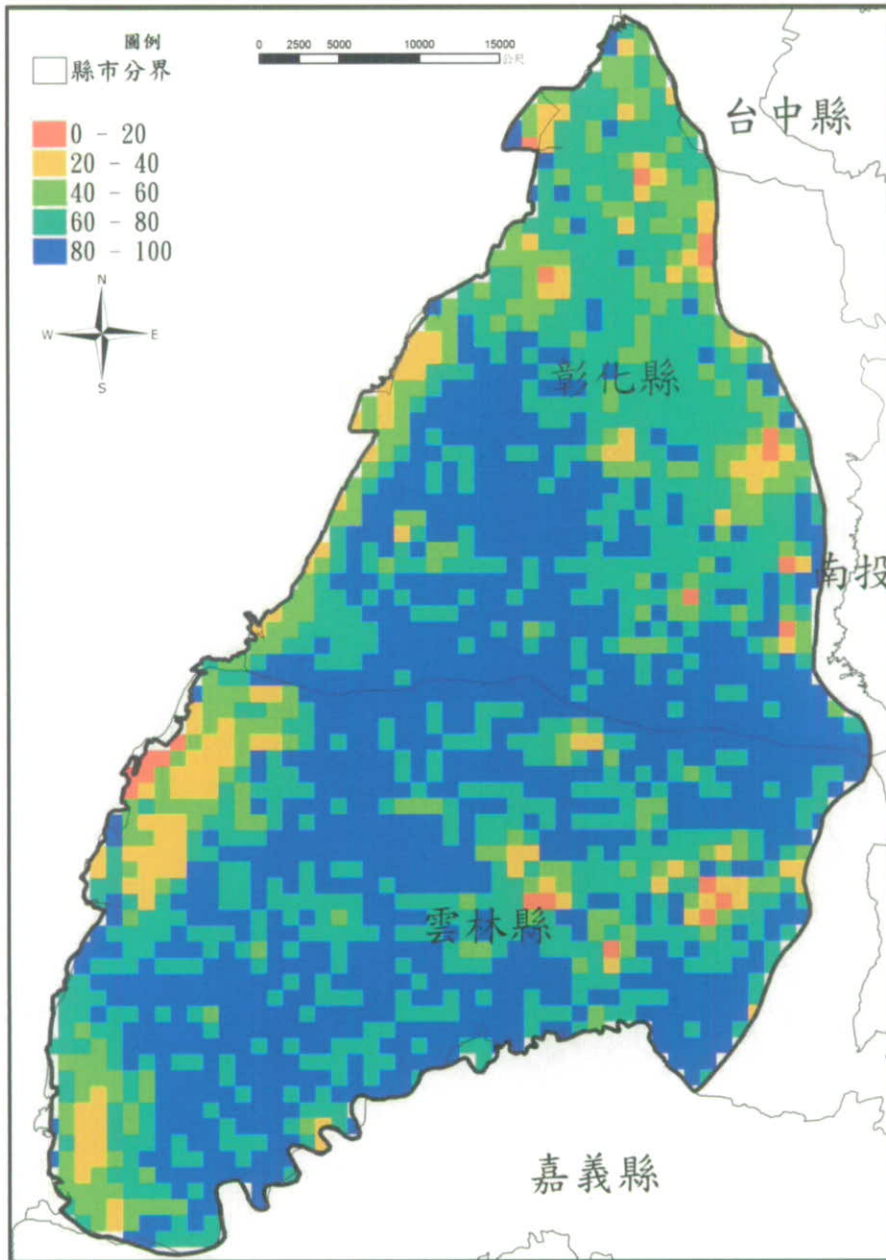


圖 4.5-1 土地利用分數分布圖

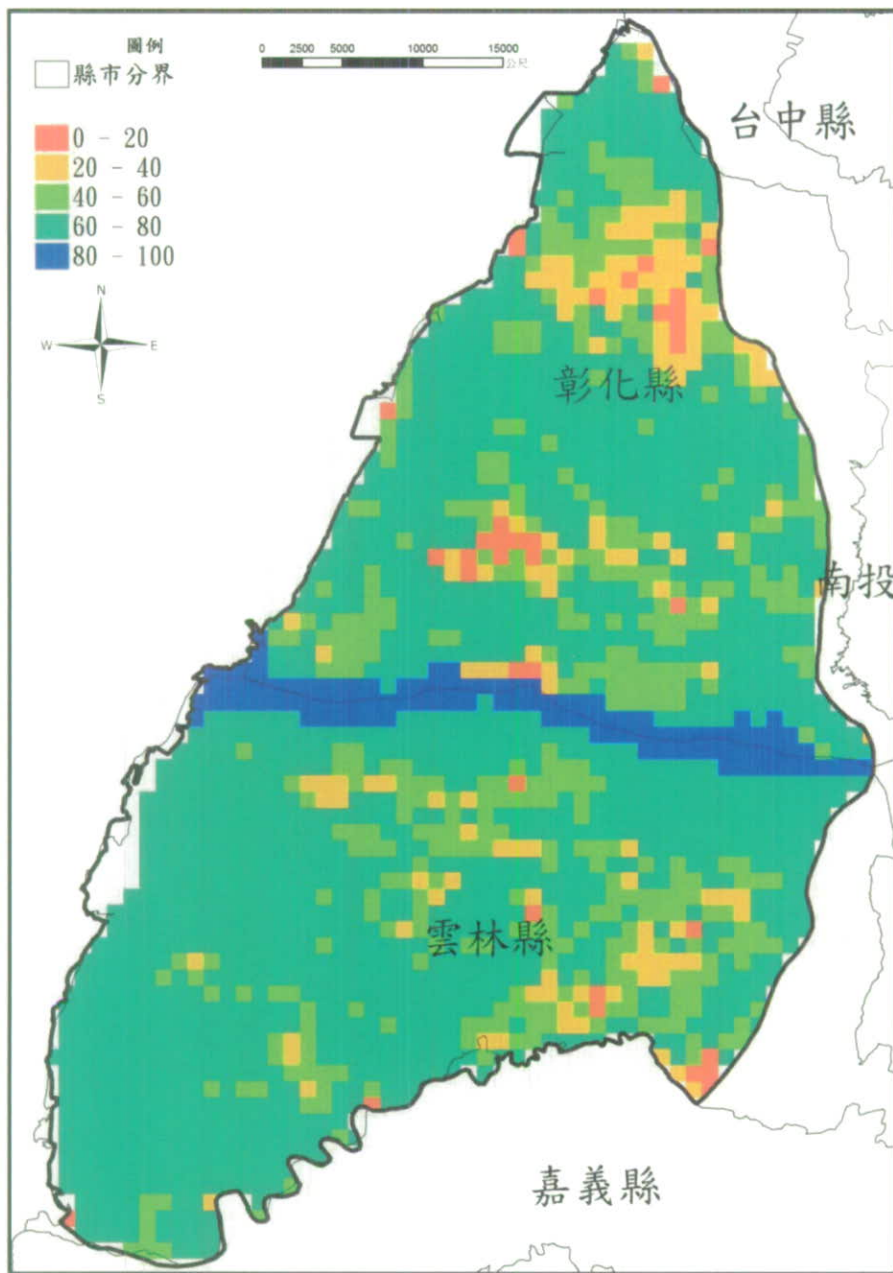


圖 4.5-2 表層土壤種類分數分布圖

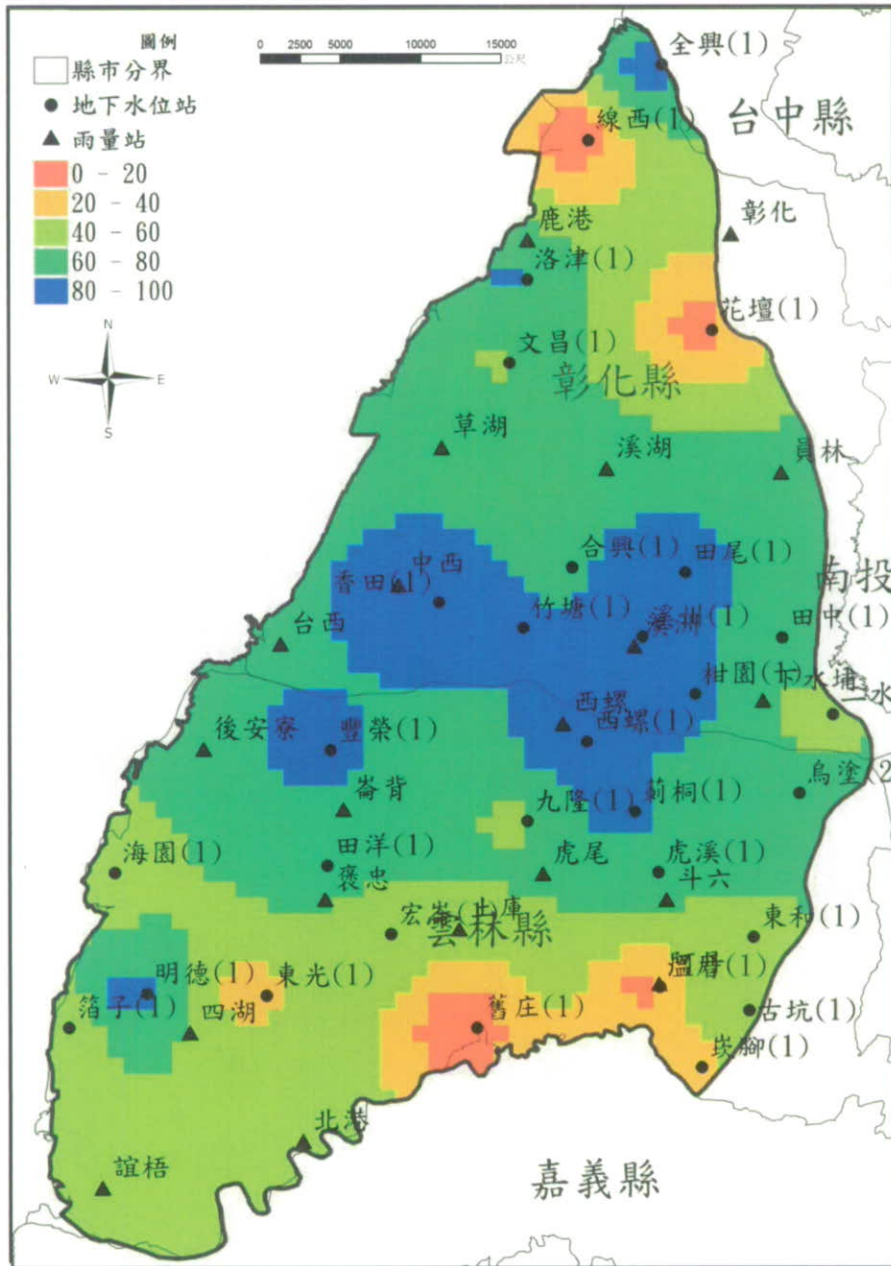


圖 4.5-3 降雨與地下水位變化相關性分數分布圖

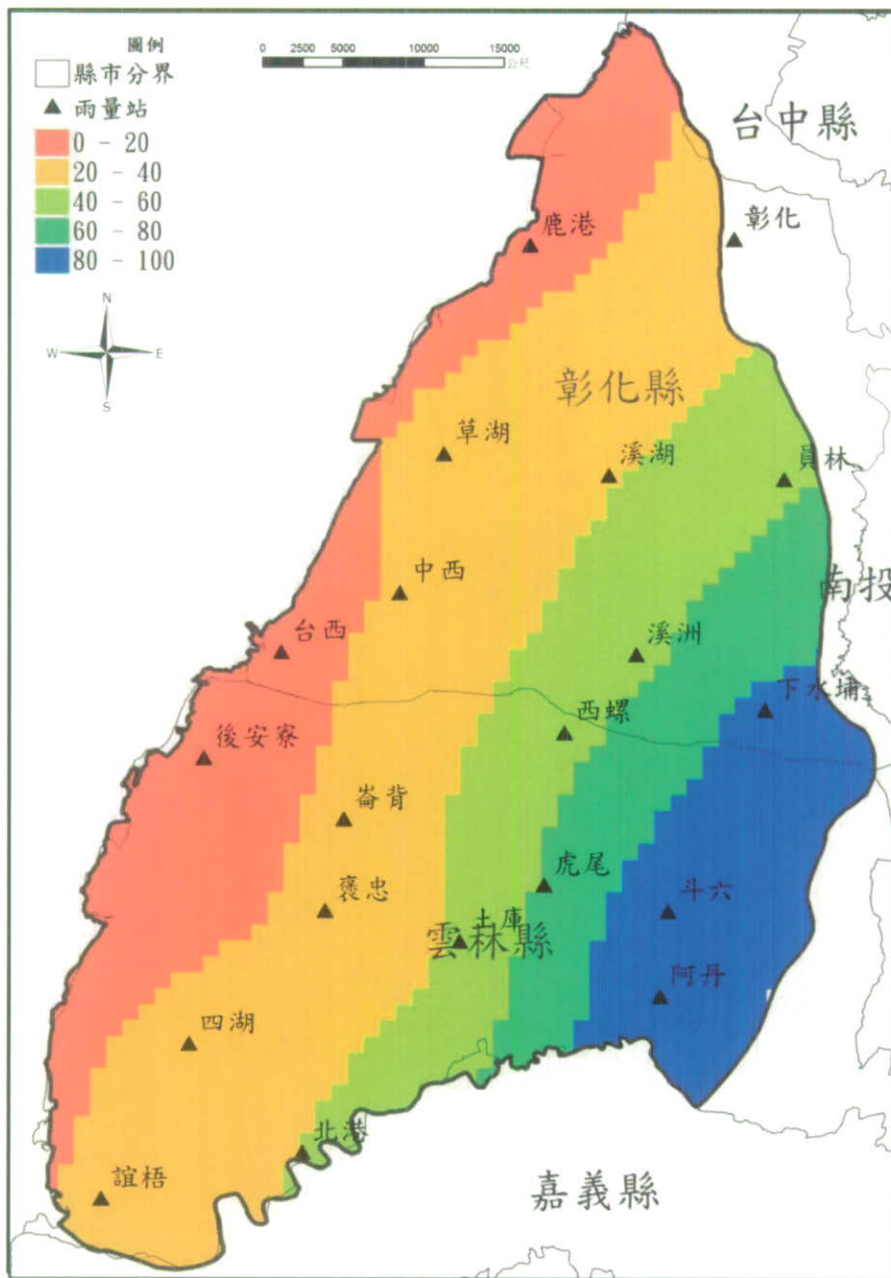


圖 4.5-4 1993~2008 年平均年降雨量分數分布圖

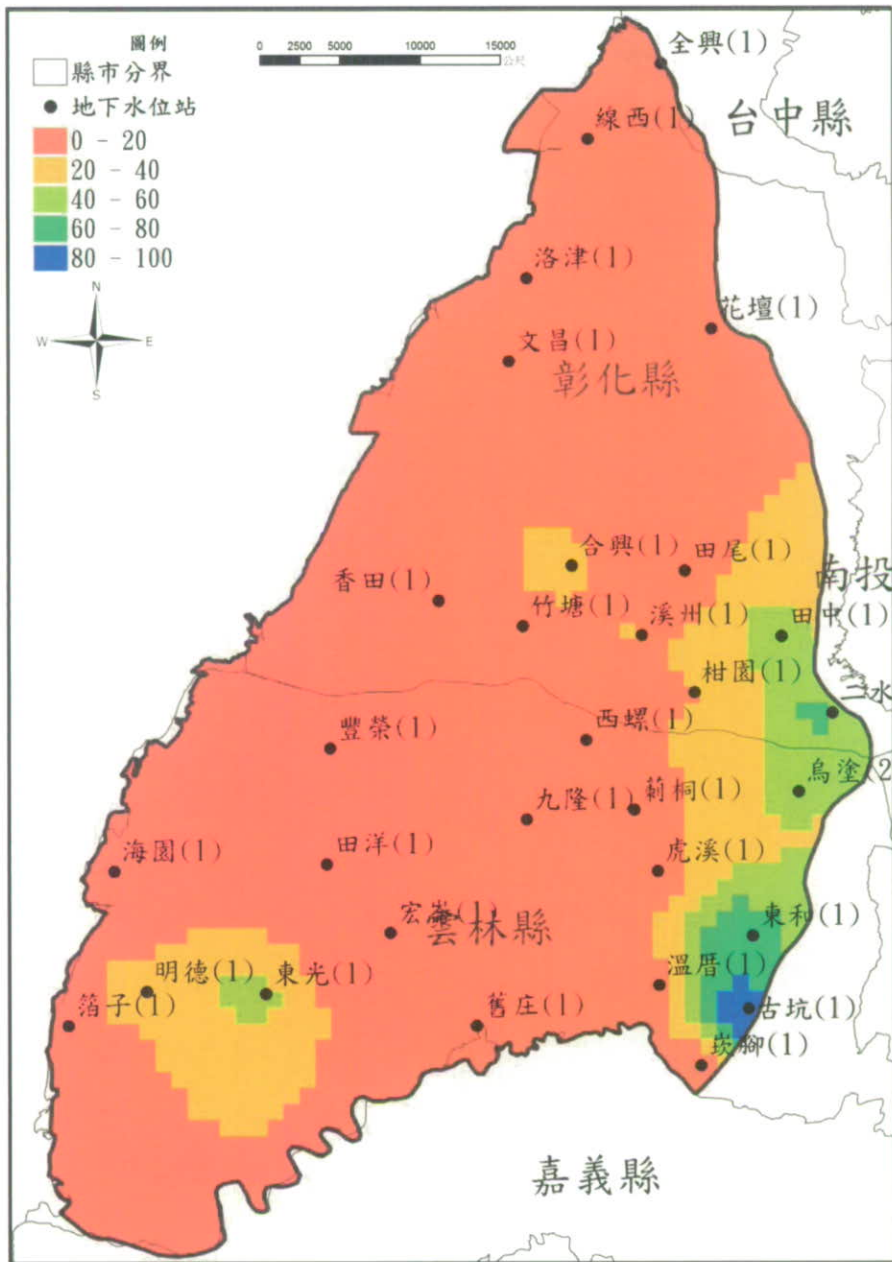


圖 4.5-5 單位蓄水量變化分數分布圖

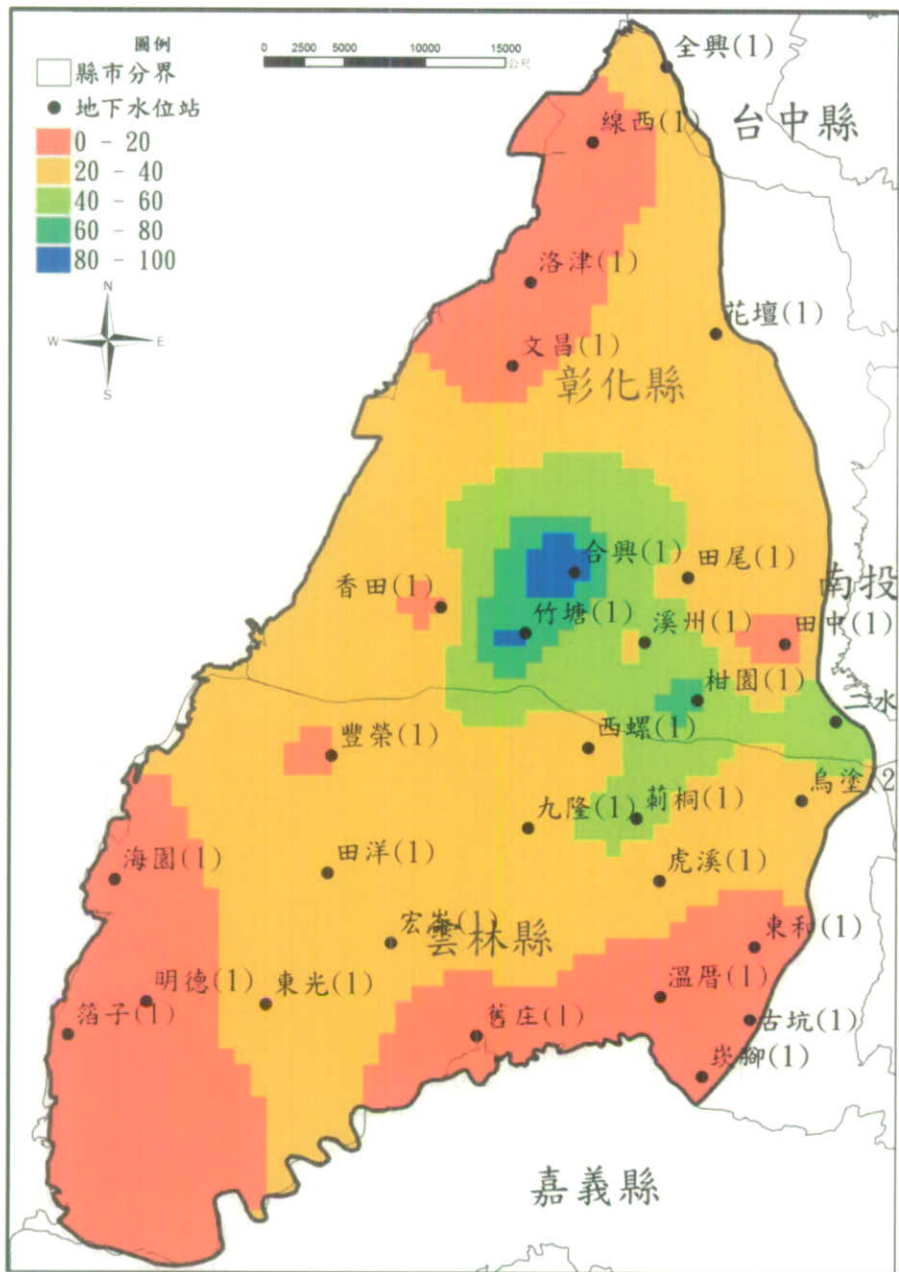


圖 4.5-6 透水係數分數分布圖

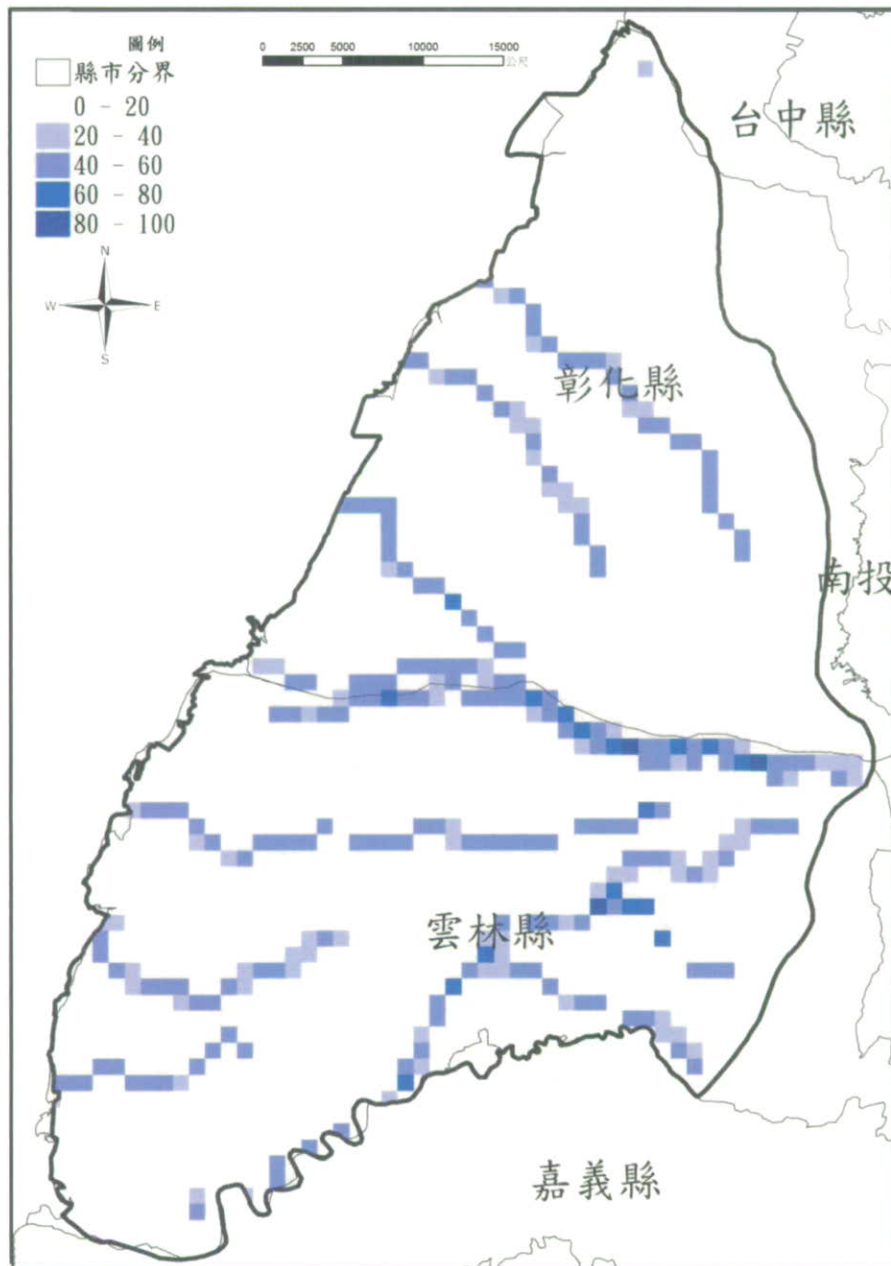


圖 4.5-7 河系密度分數分布圖

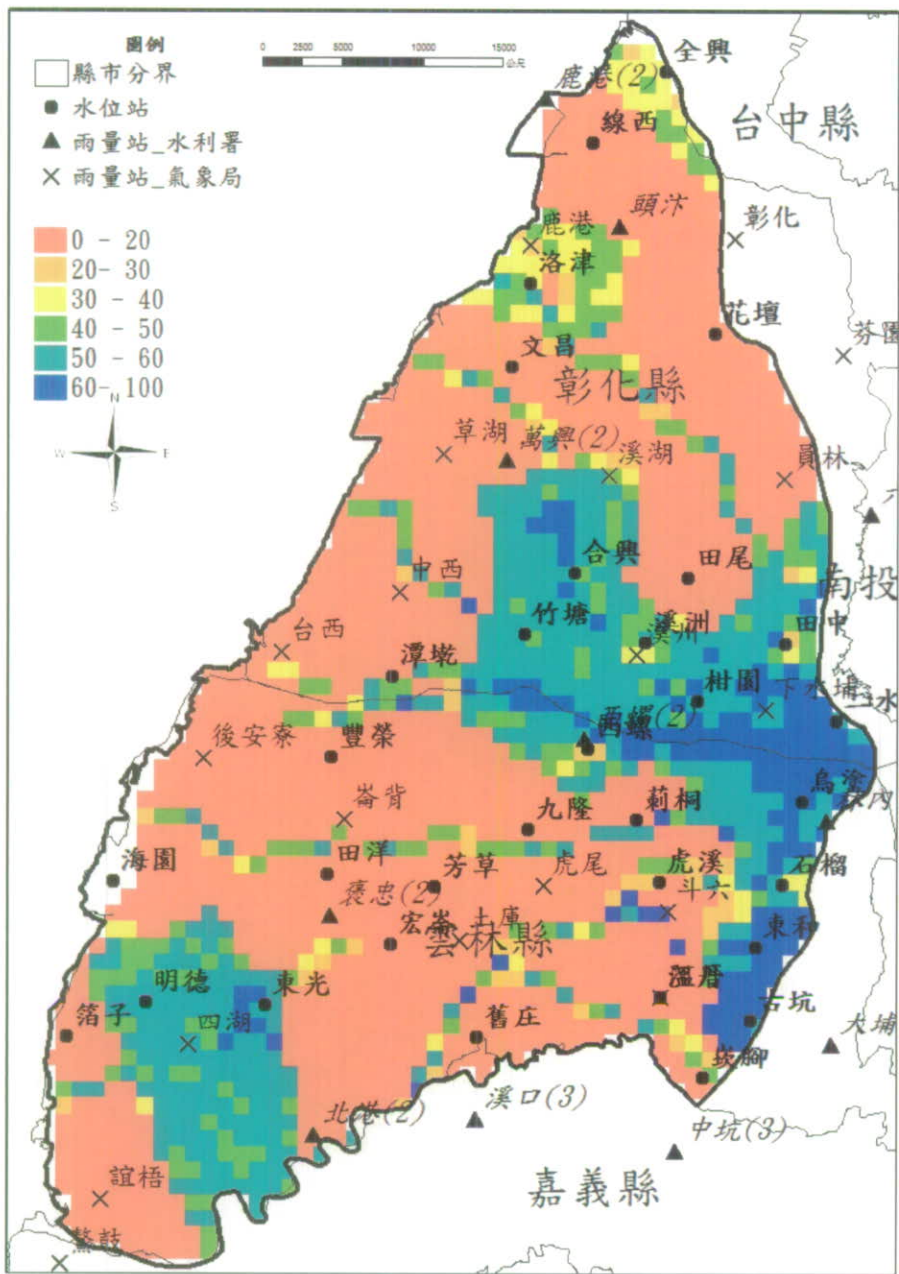


圖 4.5-8 地下水補注潛勢整體分數分布圖

4.6 地下水資源潛能分析成果說明

於 4.3 節已經展示四種因子的原始屬性，後續將依據原始屬性對於地下水資源保育之重要程度，給予 0 至 100 之因子分數，以下將依據因子原始屬性之資料特性進行分類，可分為連續型與非連續型兩種。

4.6.1 地下水蘊藏量

本因子屬於連續型之資料格式，進行線性之正規化轉換。圖 4.6-1 為本因子之潛勢分數分布圖。

4.6.2 地下水出水潛能

出水潛能以儲水係數或比流出率做為評估標準，並依徐昇氏網格為各井之範圍邊界，各井範圍內之儲水係數即為各井之儲水係數值。本因子屬於非連續型之資料格式，進行線性之正規化轉換。圖 4.6-2 為本因子之潛勢分數分布圖。

4.6.3 各層阻水層範圍

本因子屬於非連續型之資料格式，無阻水層給予最高分 100 分，一層為 75 分、二層為 50 分、三層為 25 分以及四層為 0 分。圖 4.6-3 為本因子之潛勢分數分布圖。

4.6.4 地下水位值

本因子屬於連續型之資料格式，進行線性之正規化轉換。圖 4.6-4 為本因子之潛勢分數分布圖。由圖可知斗六丘陵處的地下水位值最高，且往西邊海岸方向遞減。

由各因子之分布圖可觀察到，地下水蘊藏量、阻水層範圍與地下水位值等三項因子的最高分都是在扇頂附近，可推判扇頂區域應為水資源潛能較大之處，此推斷與整體分數分布之結果相符，如圖 4.6-5 所示。

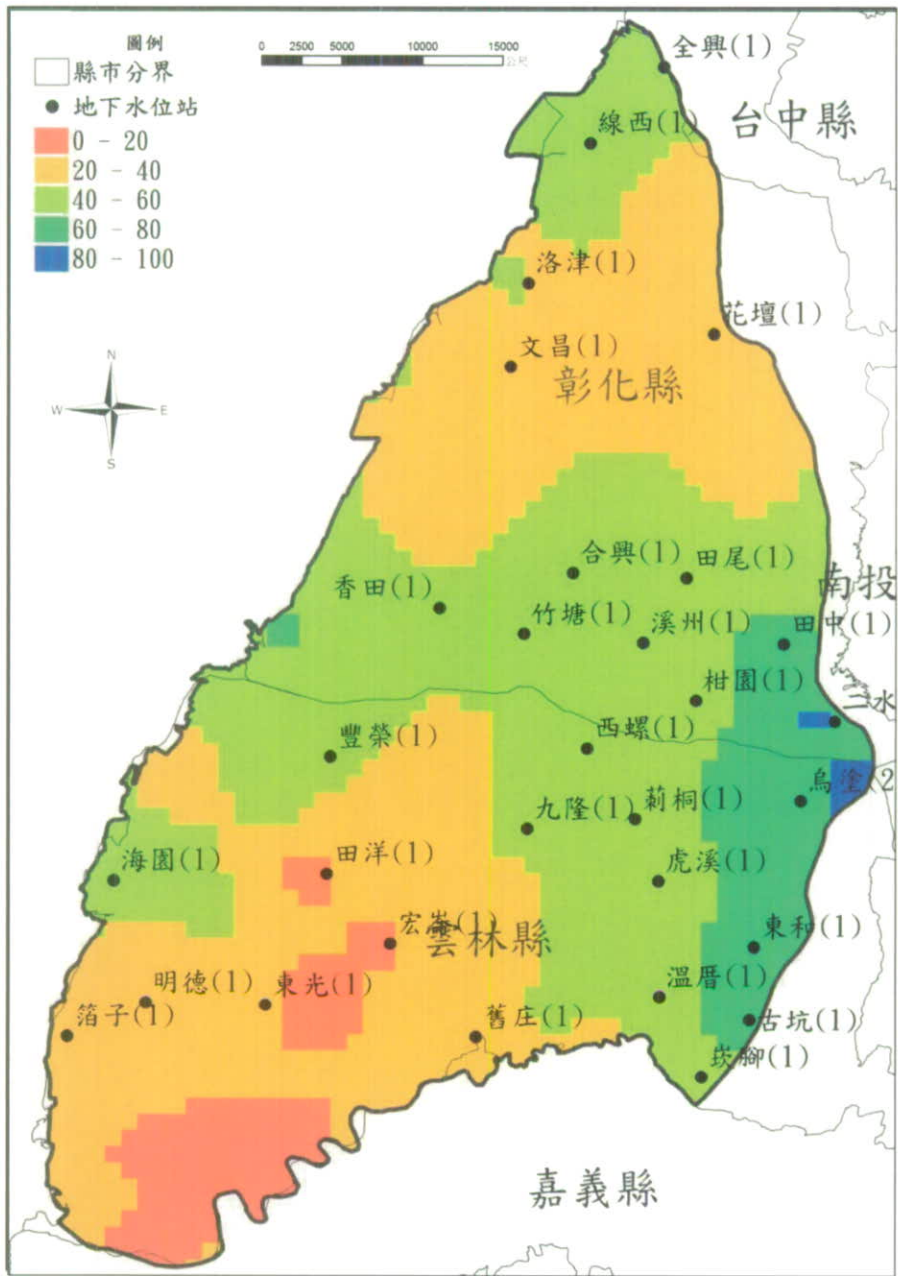


圖 4.6-1 地下水蘊藏量分數分布圖

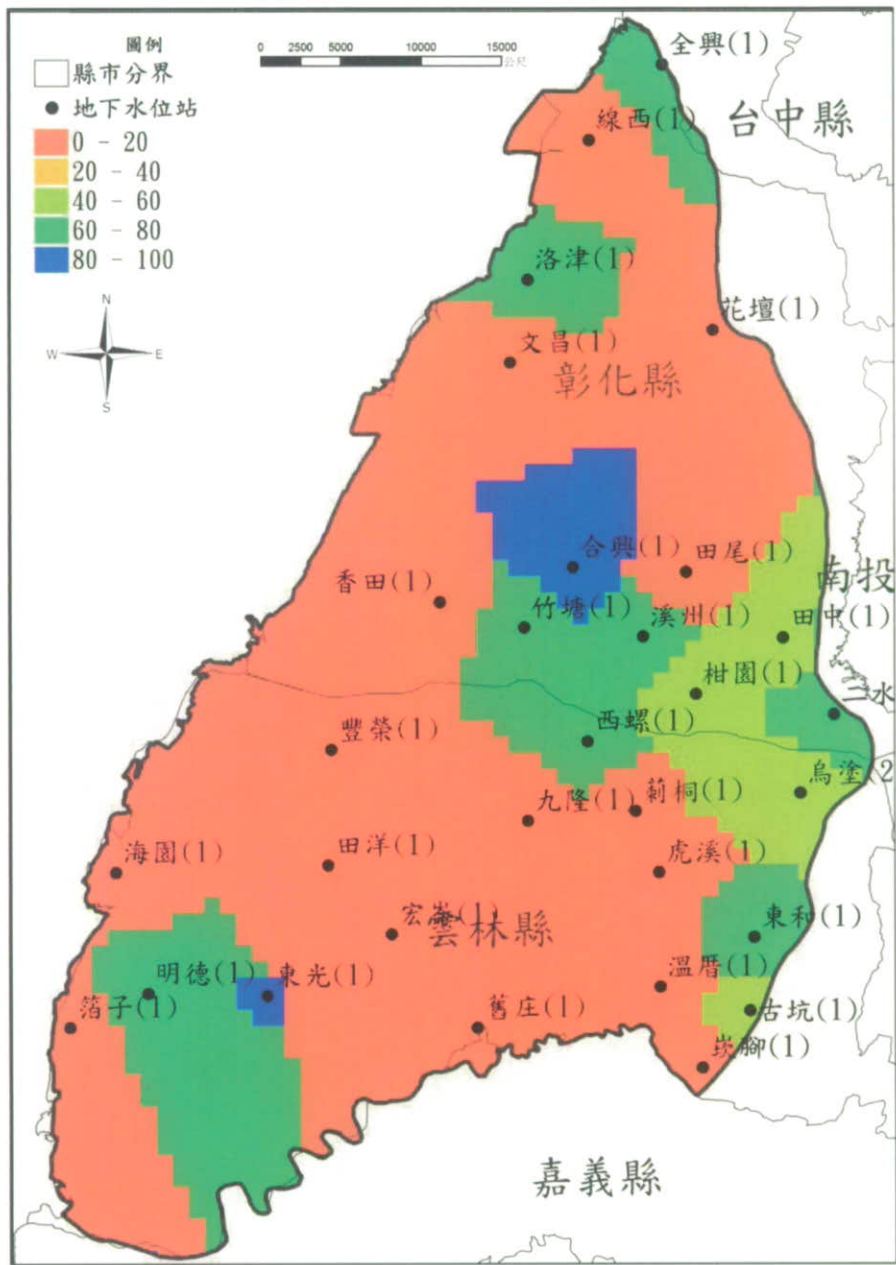


圖 4.6-2 地下水出水潛能分數分布圖

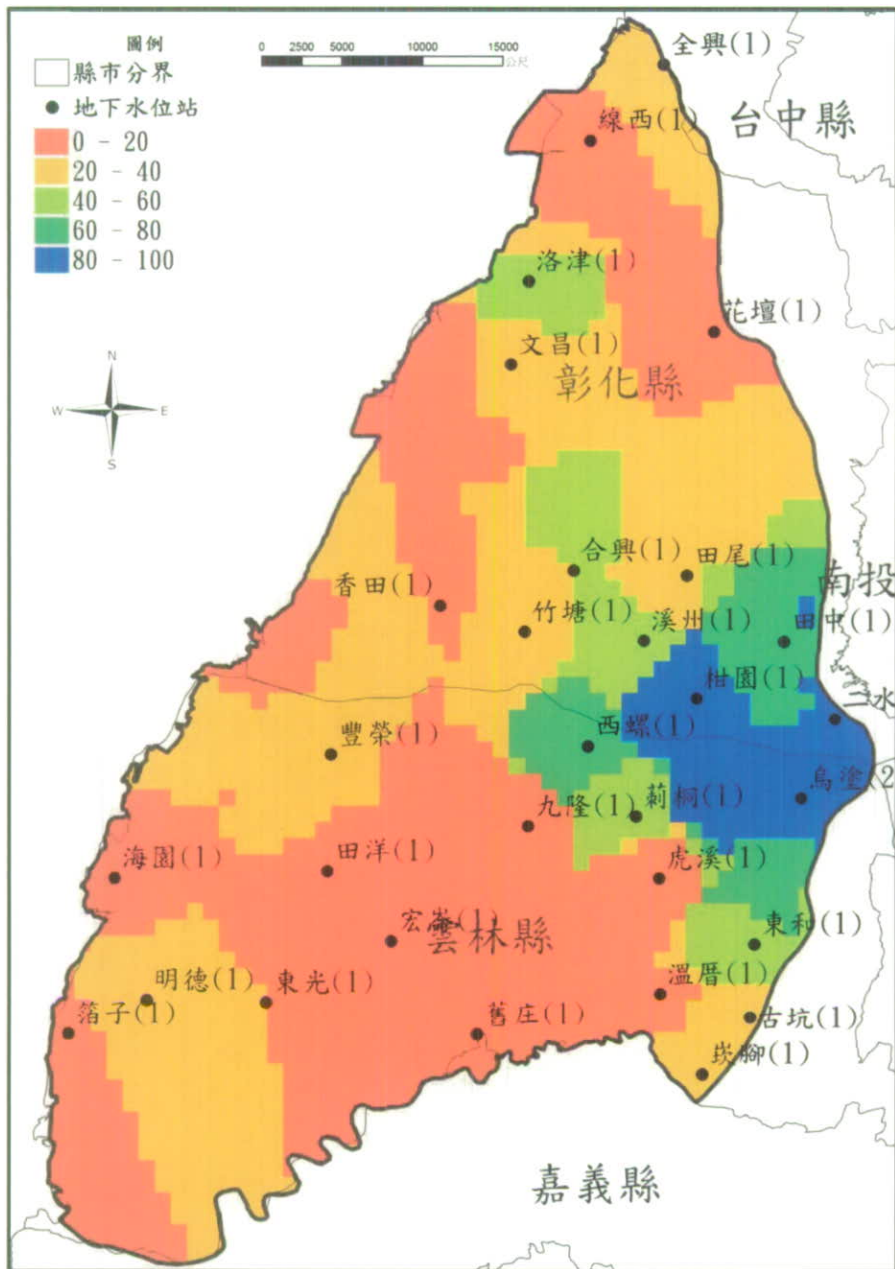


圖 4.6-3 各層阻水層範圍分數分布圖

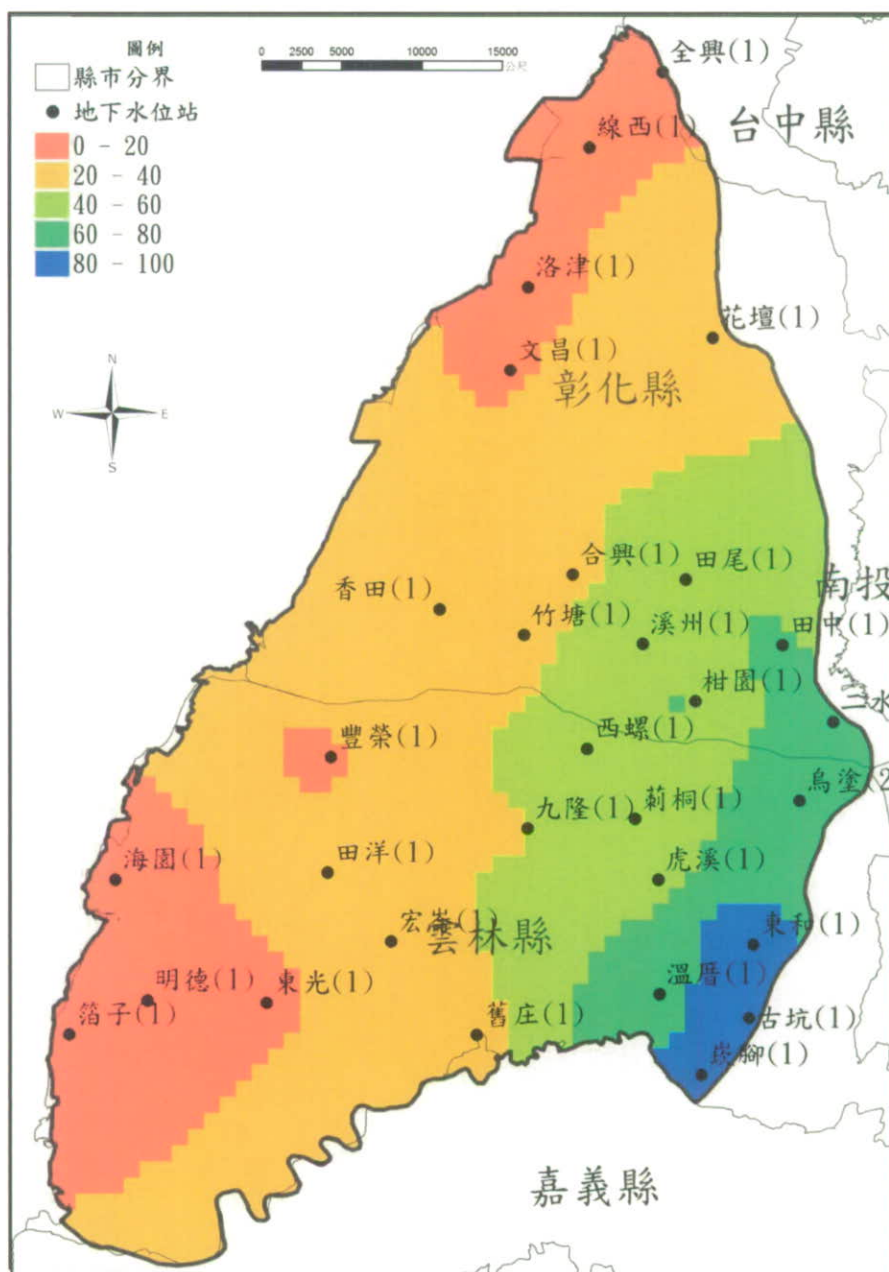


圖 4.6-4 地下水位值分數分布圖

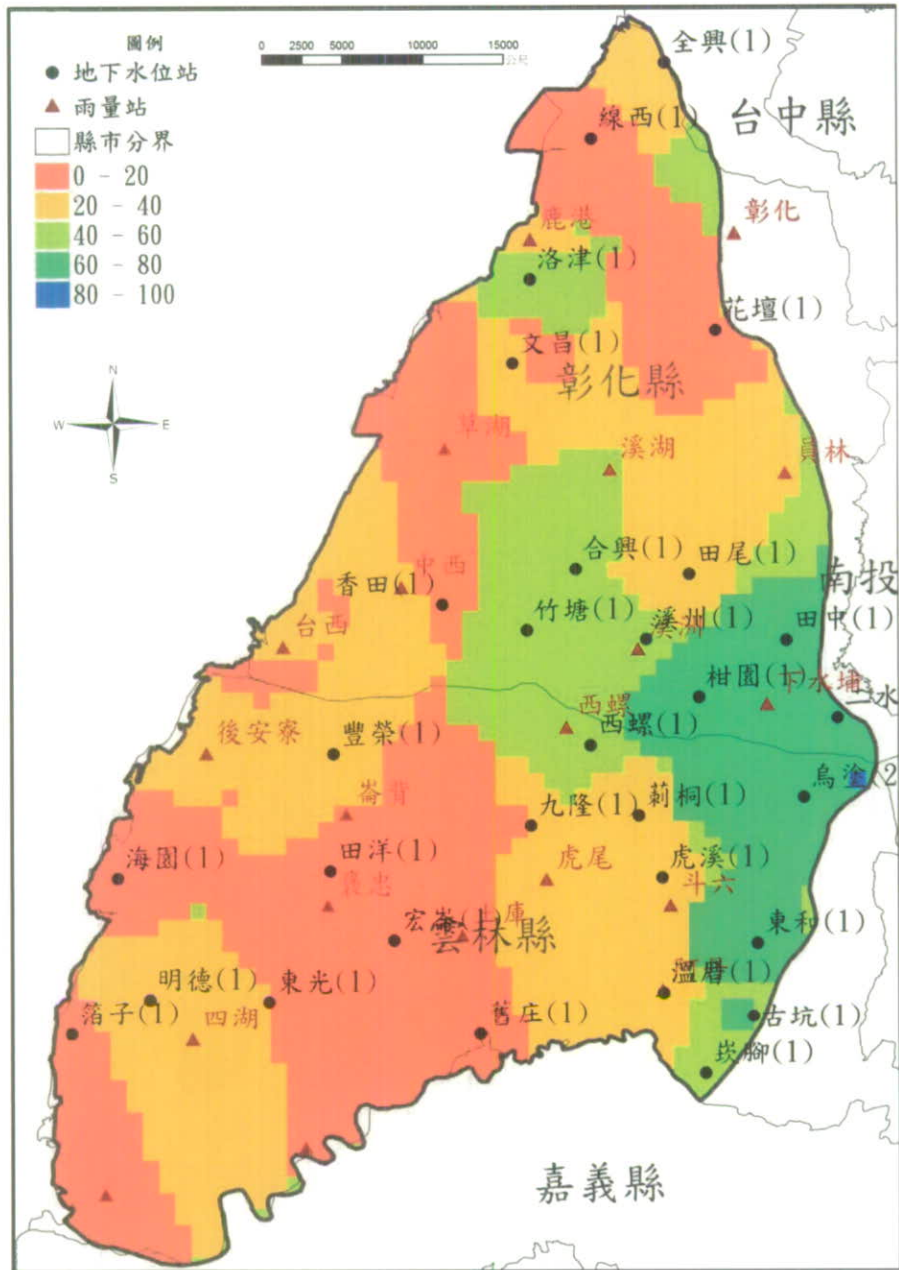


圖 4.6-5 地下水資源潛能整體分數分布圖

4.7 地下水主要補注區與重要保育區初步劃分

前述 4.5 節與 4.6 節已完成濁水溪沖積扇地下水補注潛勢與地下水資源潛能之估算，綜合兩者即可得地下水資源保育分數。如將 50 作為高補注潛勢分數與高水資源保育分數之門檻，以此重繪高「地下水補注潛勢分數」與高「地下水資源保育分數」分布區域。

圖 4.7-2 為濁水溪沖積扇高補注潛勢區與地電阻推測補注交界面

圖。圖上亦會出二維地電阻推測補注交界面(如綠線所示)。南岸部分二維地電阻劃分範圍大於高補注潛勢區，可直接地電阻結果修正。反之，北岸部分地電阻所繪交界面，反演結果較難直接證實交界面，故不予以修訂。圖上紅線即為綜合補注潛勢與地電阻結果之「主要補注區」。主要補注區多數分布於扇頂區域與少部分之扇央地區與扇尾地區，扇頂部分包含之二水鄉、田中鎮、社頭鄉、北斗鎮、溪州鄉、林內鄉、荊桐鄉、斗六市及古坑鄉，與少部分之虎尾鎮及斗南鎮，扇央部分包含竹塘鄉、埤頭鄉與二林鎮，扇尾部分包括四湖鄉、水林鄉與北港鎮等。

圖 4.7-3 為濁水溪沖積扇高地下水資源潛能分數與地電阻推測補注交界面圖，圖 4.7-4 為前述因應地電阻試驗結果修正區域之地下水資源潛能分布圖，前述南岸修正的主要補注區域，雖然其補注能力高，但是由地下水資源潛能分析指出，該區域之水資源潛能低，造成兩者之和亦低，是故重要保育區仍與高地下水資源保育區範圍相同

(如圖 4.7-3 紅線所示)。重要保育區多數分布於扇頂區域與少部分之扇央地區，扇頂部分包含二水鄉、田中鎮、社頭鄉、溪州鄉、林內鄉，與部分荊桐鄉、斗六市及古坑鄉，扇央部分包含埤頭鄉與二林鎮。

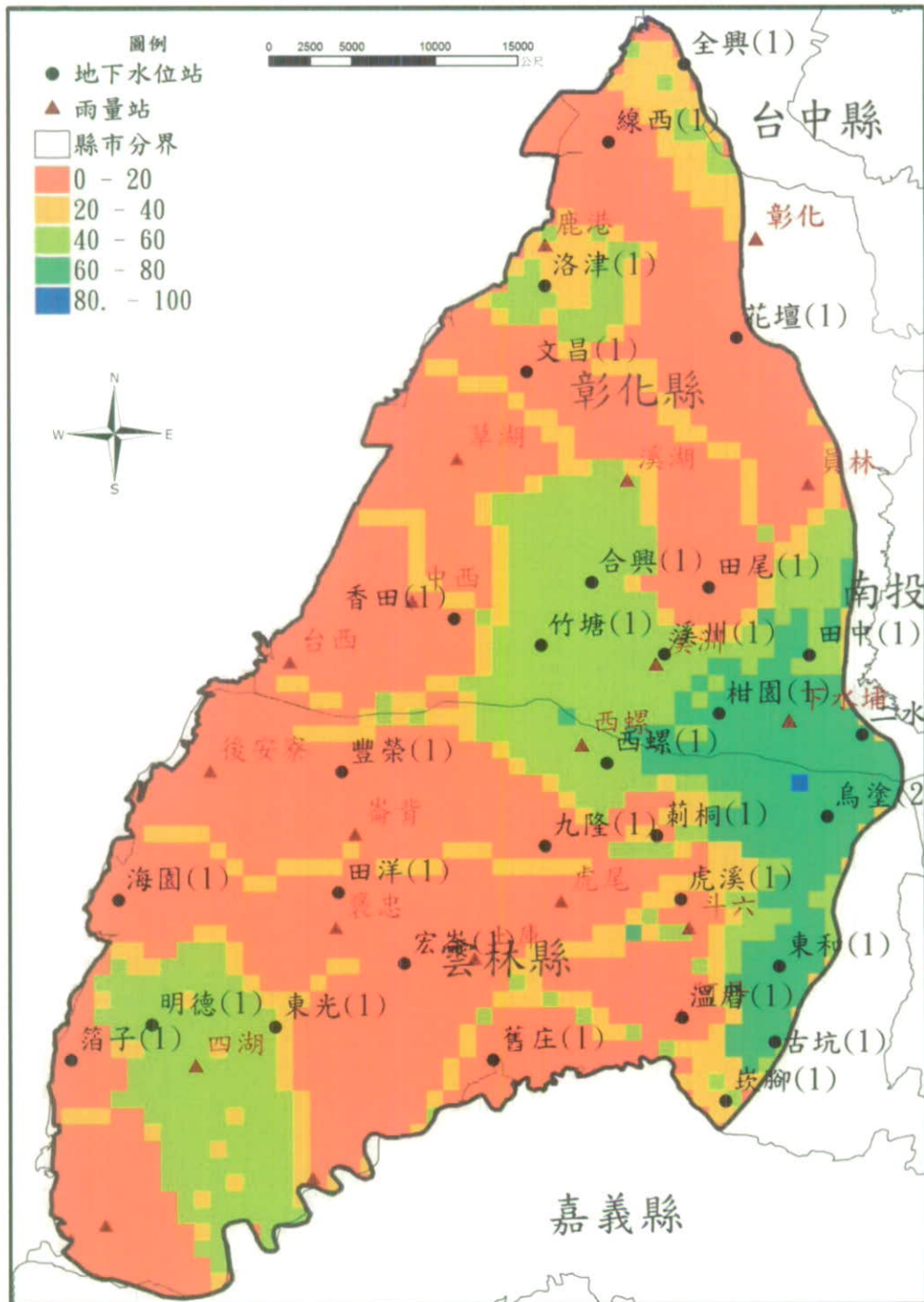


圖 4.7-1 地下水資源保育整體分布圖

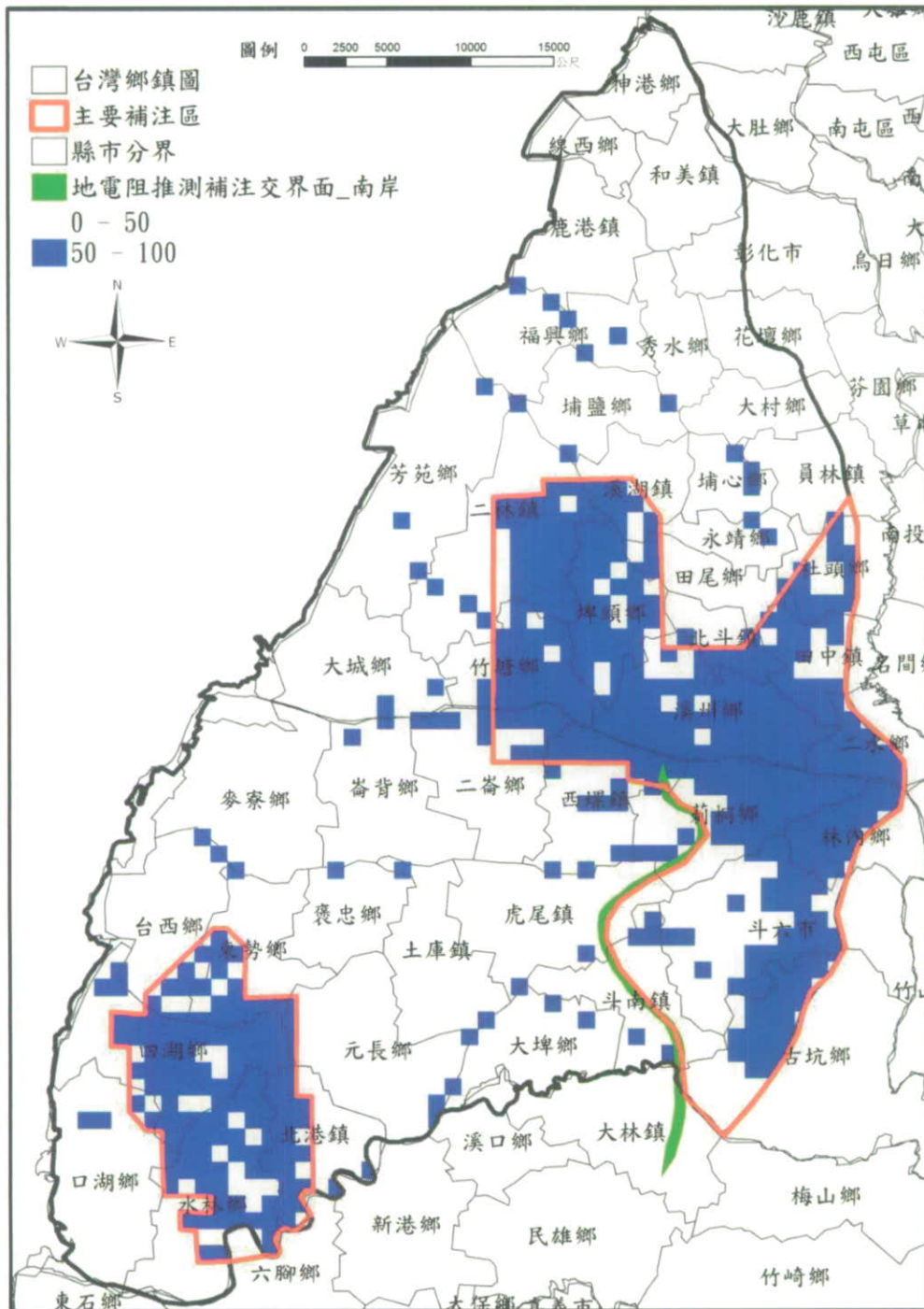


圖 4.7-2 高補注潛勢區與地電阻推測補注交界面圖

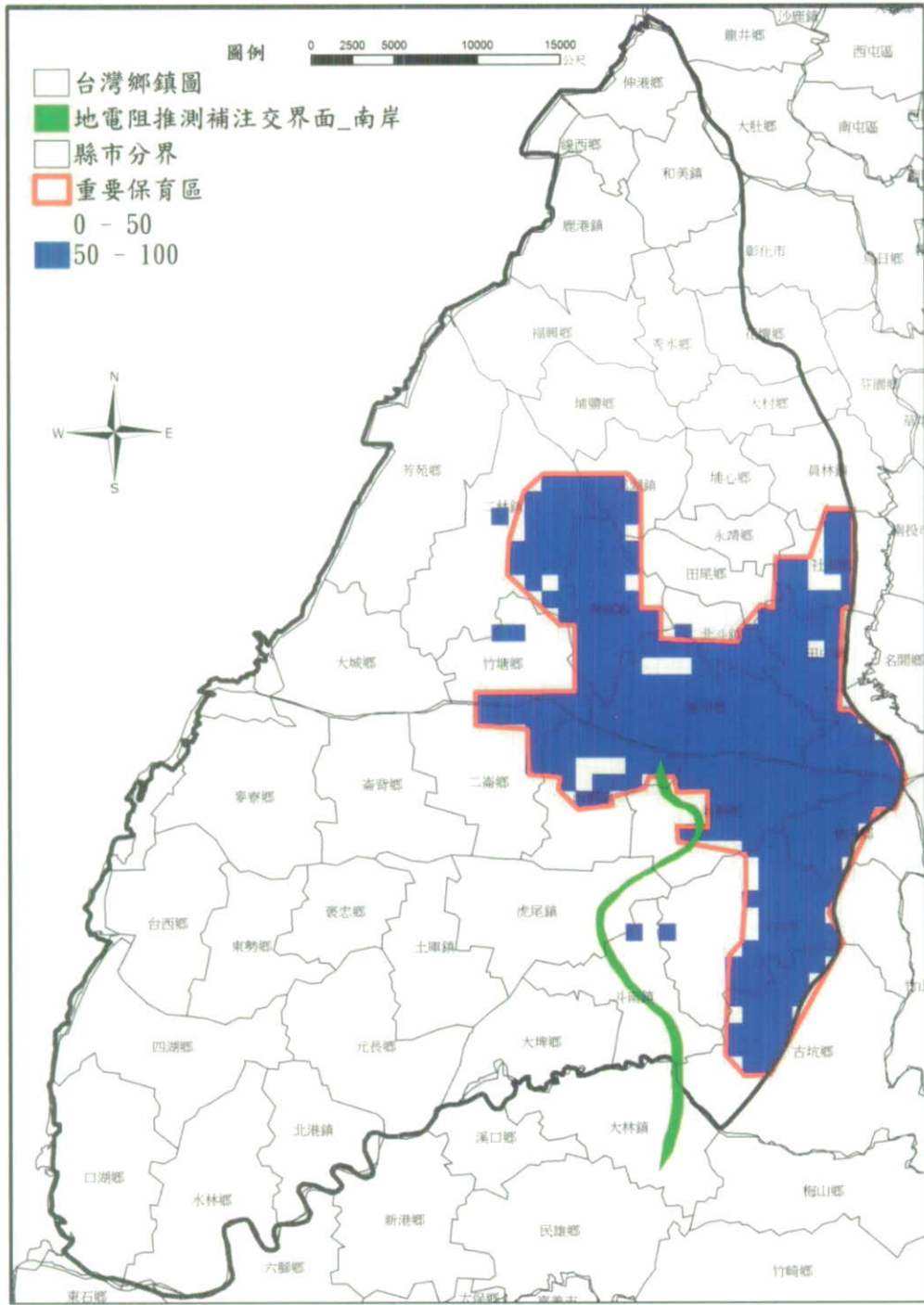


圖 4.7-3 高地下水資源潛能分數與地電阻推測補注交界面圖

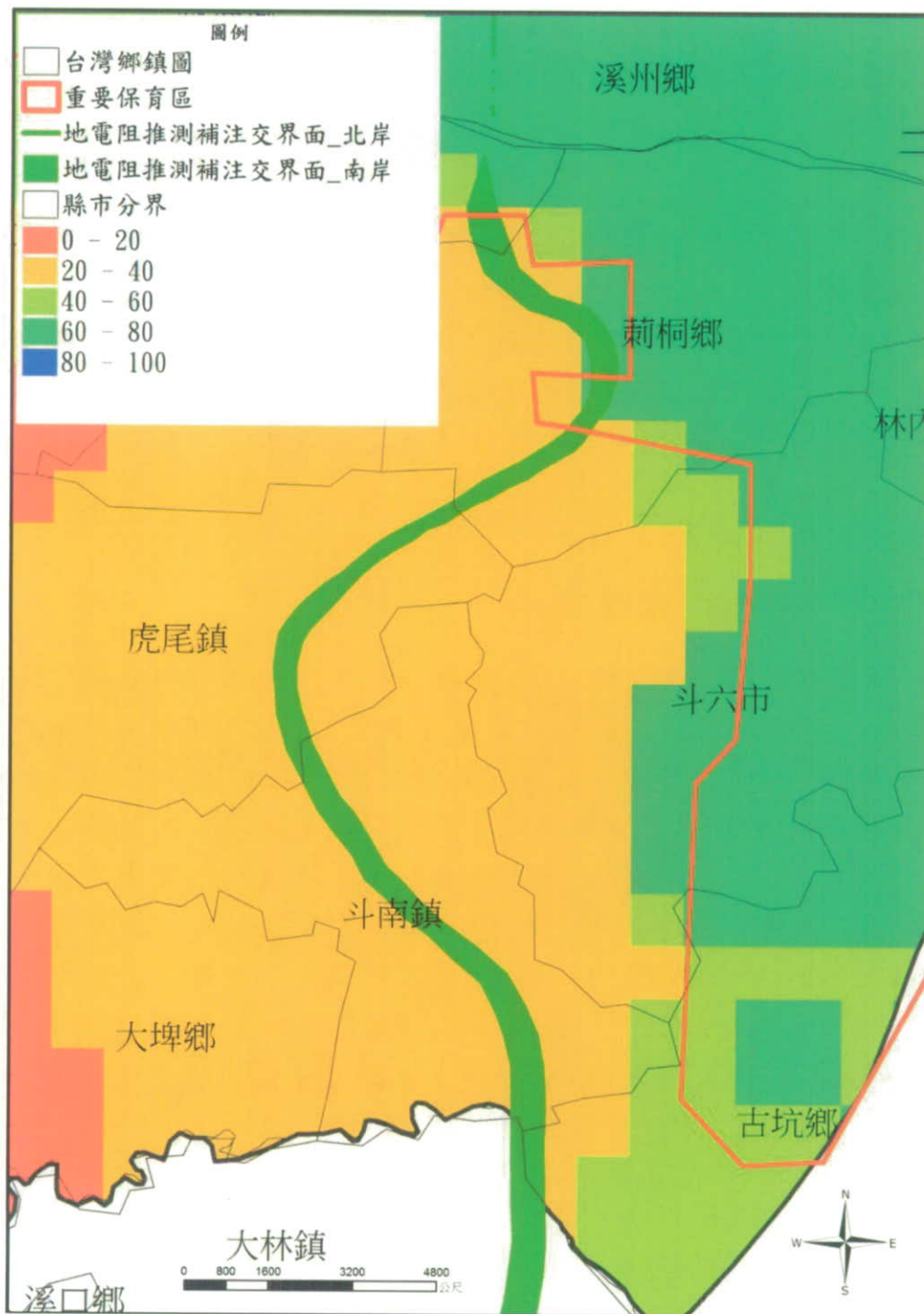


圖 4.7-4 南岸因應地電阻試驗修訂區域之地下水資源潛能分數分布圖

第五章 濁水溪沖積扇地下水暫態數值模式

建置與參數檢定

本章將說明濁水溪沖積扇之地下水暫態數值模式建置與參數檢定流程及步驟。首先在 5.1 節簡介本計劃所採用之地下水數值模式 MODFLOW 之發展歷程，5.2 節說明本計劃地下水數值模式之建置流程及步驟，5.3 節介紹本計畫採用之參數檢定系統及檢定之流程，5.4 節介紹去年度計畫所建置之濁水溪沖積扇之地下水流穩態模式，5.5 節則說明本年度計畫，建置濁水溪沖積扇之地下水流暫態數值模式。

5.1 地下水數值模式發展簡介

地下水數值模擬模式自 1950 年代末期推出一維地下水模式後，即不斷推陳出新，電腦硬體效能大幅成長與數值方法不斷改進，於 1970 年代中期即發展出包括可以同時模擬非飽和層與飽和層變化之三維地下水水流數值模擬程式。

MODFLOW 是美國地質調查局(U.S.G.S)發展之地下水模擬程式，該程式可求解二維及三維之飽和層地下水流問題，含水層種類可分為非受壓、受壓、半受壓含水層，依地質特性分類可為均質、非均質及等向性、非等向性含水層。並可搭配 MOC3D、MT3D 及 MT3DMS 等水質模式，可進行水質傳輸模擬。另外。亦可搭配 MODFLOWP、PEST 及 UCODE 等參數優選模式(Inverse modeling)，藉以檢定由 MODFLOW 所建立之地下水流模式中的水文地質參數。美國地質調查局於 1983 年提出 MODFLOW 初版，至 1987 年更新為 MODFLOW 88 版本，再於 1996 年再更新 MODFLOW 96 版本，而最新版本為 MODFLOW-2005。MODFLOW 由於其程式具備概念簡明、架構具彈性、易於添加其它功能模組，以及程式源碼公開等優點，因此成為目前使用最廣之地下水流模擬程式，有多種支援其前後端資料處理的套裝軟體，其中較著名的有 PM(Processing MODFLOW)、Visual MODFLOW、Groundwater Vistas 及 GMS 等。

本計畫目前使用 Groundwater Vistas 5.0 進行 MODFLOW 模式建立。Groundwater Vistas (GV)由 Environmental Simulations International (ESI)所開發，其為一套圖形使用者介面軟體，用以幫助使用者建立 3D 地下水模式，目前使用版本可支援至 MODFLOW2005。

當在 GV 上建置地下水模式後，可將 GV 的檔案格式轉換為 MODFLOW 所使用的檔案格式，並執行 MODFLOW 程式進行模擬。而 MODFLOW 的模擬結果，亦可再傳回 GV 進行後端處理，並可分析計算結果及以圖形檔案格式輸出。

以區域地下水資源的觀點而言，任何地表入滲的水量，均至少要能到達區域的淺層含水層，才是對地下水系統有效的補注量，從另一觀點而言，大部份地表補注皆需經過非受壓含水層，而欲完整描述此種流動機制與過程，必須借重地下水數值模式之模擬，因此本年度將採用美國地質調查局(U.S.G.S)發展的 MODFLOW 程式，先建立濁水溪沖積扇數值模式之架構，未來將再配合修正型地下水位歷線法推估之補注量及抽水量，作為數值模式之輸入值。

5.2 地下水數值模式建置流程

MODFLOW 的輸入資料包括一般地下水模式必需包含的初始條件、邊界條件與地下含水層地文參數（透水係數、含水層厚度等）。輸出項則主要為每一層地下含水層之水頭分佈，其他細節部分則包含了特定位置的洩降、模式水平衡等。茲將本模式所需之重要工作流程整理條列分為三大項：邊界條件與格網劃分、模式之輸入資料及參數檢定(如圖 5.2-1 所示)。

本年度計劃將建置濁水溪沖積扇之地下水暫態數值模式，以下小節將說明建置此模式所需之工作內容。

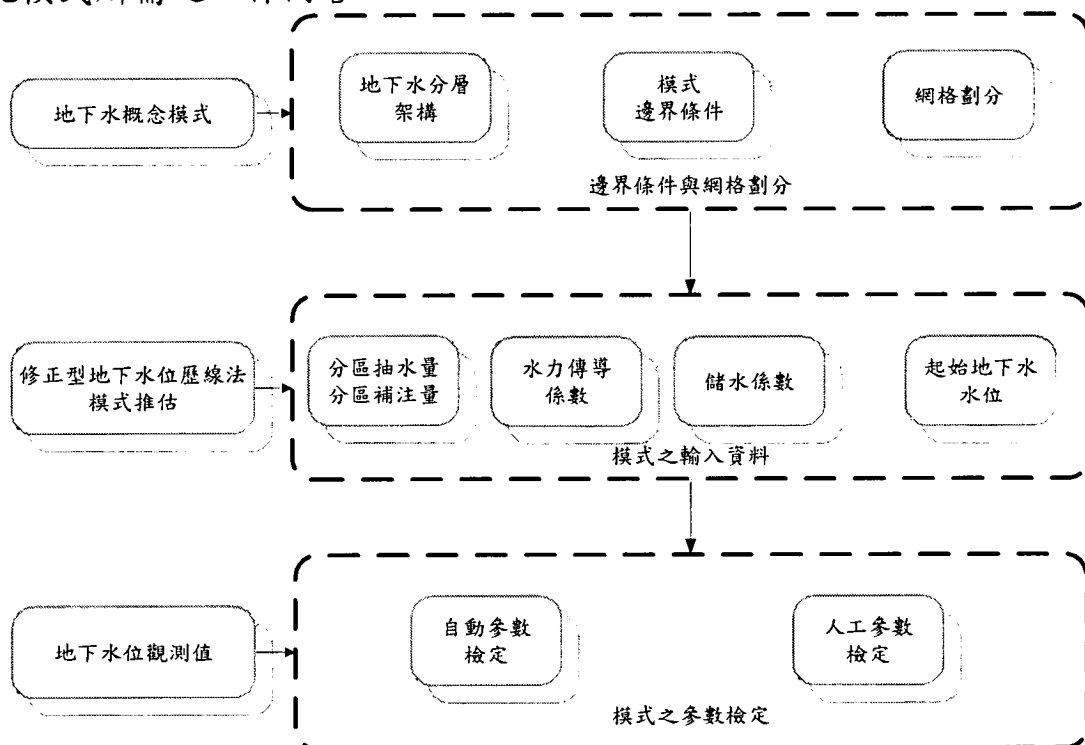


圖 5.2-1 地下水數值模式建置流程示意圖

5.3 參數檢定系統流程簡介

(一)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字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，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。

本年度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，濁水溪地下水模式之資訊，才能在此兩種系統中流通使用。圖 5.2-1 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。

(二)專家系統介紹

專家系統為一模仿人類專家且具有決策能力的智慧型電腦系統，本年度計畫採用 CLIPS(C Language Integrated Production System)建立地下水模式參數檢定專家系統，CLIPS 為一方便採用物件導向概念，用以建立專家系統之工具。在本計畫中，地下水模式以分區為概念進行參數檢定，一個分區即為一個物件，在 CLIPS 中則以建立實例(instance)的方式應用物件導向概念。在每個實例(物件)中，則有若干屬性(slot)代表各分區的特性，如水力傳導係數值、所在分層、淨補注量或抽水量、模擬水位與觀測水位誤差及各種參數調整依據。

建立之專家系統，乃將熟悉地下水模式參數檢定之人類專家所具有之經驗及知識轉換成規則(Rule)並將之存放於知識庫(Knowledge Base)，當專家系統對

地下水模式進行參數檢定時，專家系統依據所輸入之情況並透過推理機 (Inference Engine)對知識庫內之規則進行規則推論(Rule Inference)，其推理結果即為所輸入問題之答案。

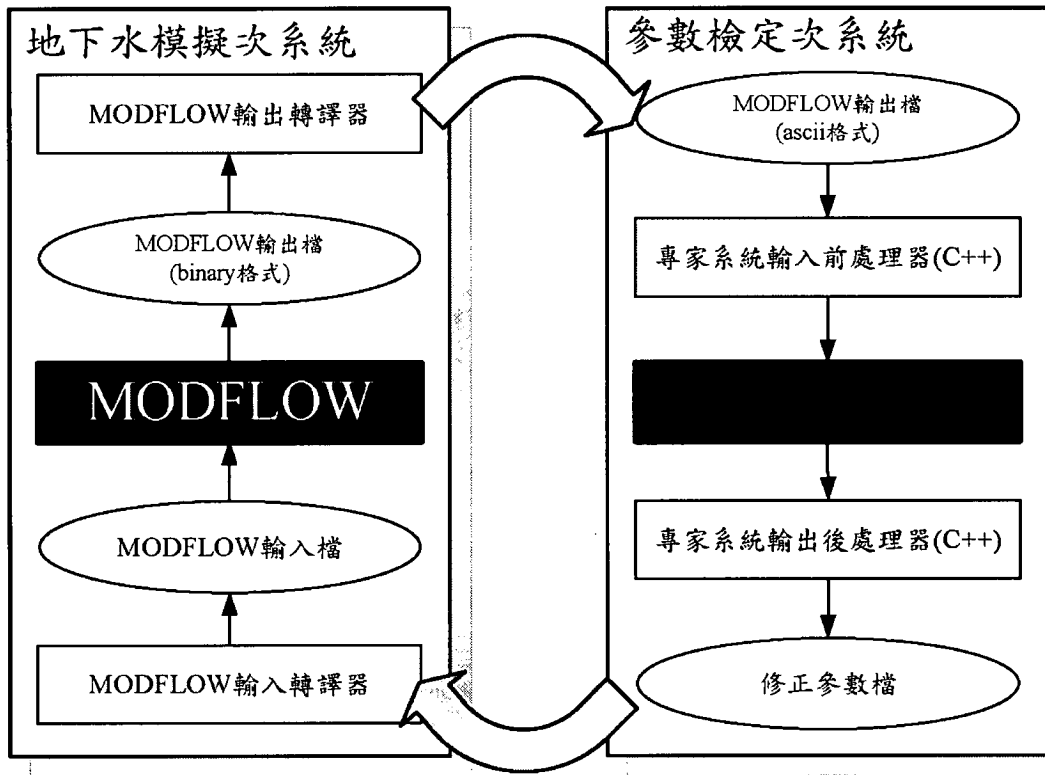


圖 5.3-1 地下水參數檢定系統架構圖

(三) 知識庫之規則建立

在建立專家系統之前，必須先擷取參數檢定之經驗及知識。對於一般參數檢定之經驗，可歸類為以下：

一般地下水流模式中，由於受到流線的影響，使得上游進行調整時，會對下游影響較大；而下游進行調整時，對上游影響較小。因此模式大多會從上游開始往下游調整。

在多層地下水模式檢定中，由於表層補注量的大小對於下層含水層抽水量有顯著的影響，因此進行人工檢定時，通常會先進行表層抽水、補注量檢定，再依序往下層進行抽水量檢定。

在人工檢定地下水模式時，通常會以迭代方式來回調整各分區參數，使各區之檢定誤差逐漸縮小。

基於上述概念，經由反覆測試，將其歸納成更具體的參數調整原則，詳細說明如下所示：

在進行參數調整前，各分區應先設定初始修正量，作為參數調整幅度之基準。

開始調整時，需判別修正方向。當觀測水位大於模擬水位時，往正方向調整，即增加水量；當觀測水位小於模擬水位時，往負方向調整，此時應減少水量。

判別修正方向後，接著應判斷修正量，其判斷方法為比較本次檢定與上次檢定時之修正方向。若修正方向相同，表示參數修正持續向同方向進行，則修正量不變；若修正方向相反，表示參數調整震盪，則修正量減半。

經多次調整後，參數修正量會逐漸縮小，然而因多分區同時進行調整，各分區會受相鄰分區影響，可能使得調整量縮小過快，造成檢定速度趨緩，若此時，各分區之最大誤差仍大於容許誤差，則將各分區調整量設定為同時放大一定倍數。

（四）參數檢定流程

利用專家系統進行參數檢定流程如圖 5.4-2 所示，在參數檢定開始後，系統首先初始化參數值，即淨補注量及抽水量，並讀入相關參數的設定資訊，如分區設定、觀測井位置、觀測水位等。在完成初始參數設定後，接著執行地下水模式 MODFLOW，獲得各個時刻之模擬地下水位，下一步則判斷第一個時刻各分區之觀測水位與模擬水位之誤差(以下稱為檢定誤差)是否均小於容許誤差，本計畫以 2 公尺為容許誤差。

當有一分區之檢定誤差超過容許誤差，則會取出各分區的相關資訊，傳入專家系統進行推論分析。專家系統依據知識庫中之規則集合(Rules)，並搭配推理機(Inference engine)之運作，而推論出各區的參數修正量。當各區待檢定之參數，由專家系統分析出修正量後，再將各修正量依據 MODFLOW 輸入檔格式，對 MODFLOW 輸入檔進行更新。接著再次執行 MODFLOW，計算出更新參數後的模擬地下水位，再次判斷第一個時刻各分區檢定誤差是否均小於容許誤差，若是則進入下一個時刻的參數檢定，若否則反覆執行上述步驟，直至該時刻所有分區檢定誤差均小於容許誤差。當所有時刻的各分區檢定誤差均小於容許誤差，則完成參數檢定的流程。

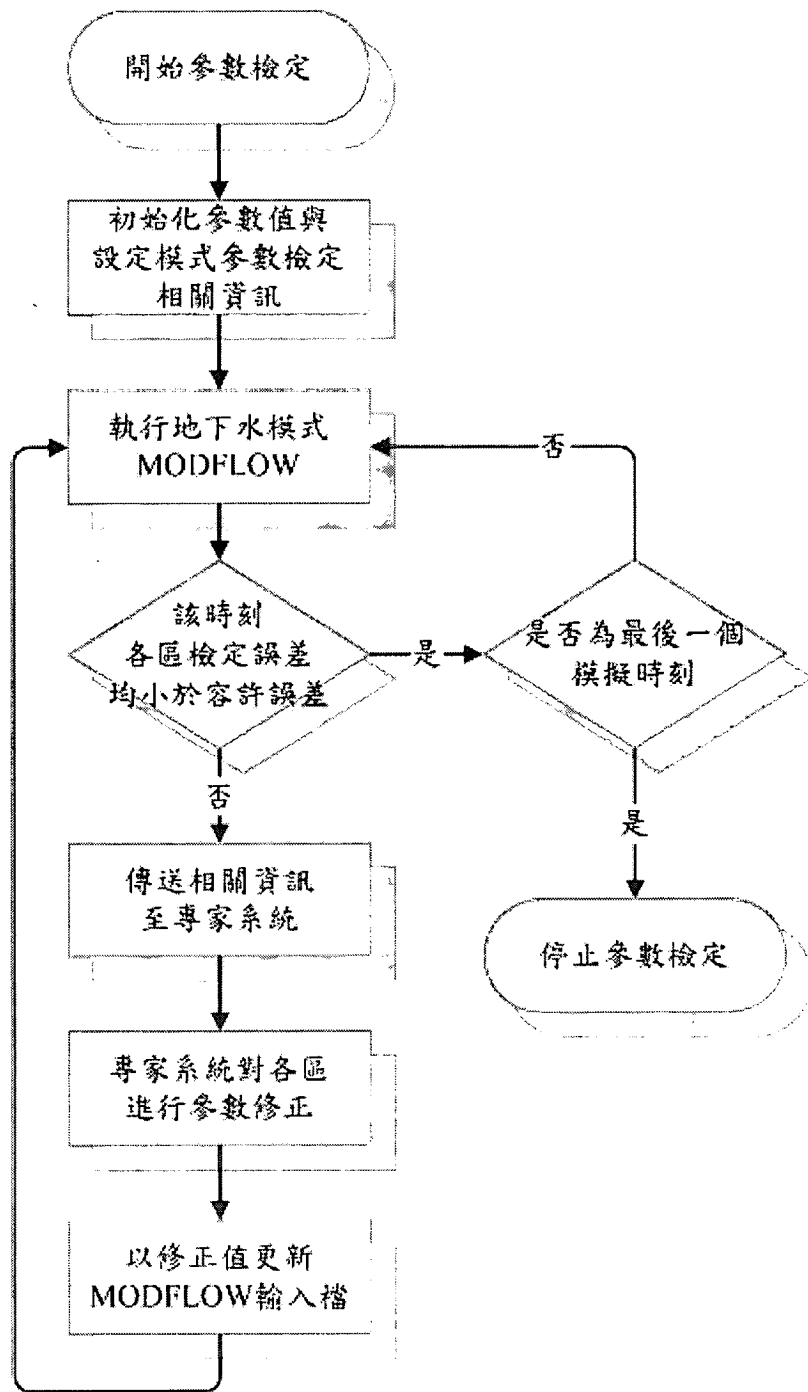


圖 5.3-2 參數檢定流程圖

5.4 濁水溪沖積扇地下水穩態數值模式建置與參數檢定

一、邊界條件與格網劃分

(一) 地下分層架構

MODFLOW 模擬的設定上，可將地下分層設定為受壓或非受壓含水層，並需輸入各分層之上部和底部之高程值。於經濟部中央地質調查所於西元 1999 年完成之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告」中，以濁水溪沖積扇 72 站地層柱狀圖，完成平原地區水文地質剖面一至十二（深度至 300 公尺左右），再依據丘陵及河谷區之 8 站地層柱狀圖，繪製水文地質剖面十三至十五（深度約達 250 公尺左右），劃分出濁水溪沖積扇概念分層，依深度分別為含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三、阻水層三及含水層四，濁水溪沖積扇模式共分為第一至七分層，如圖 5.4-1 所示。

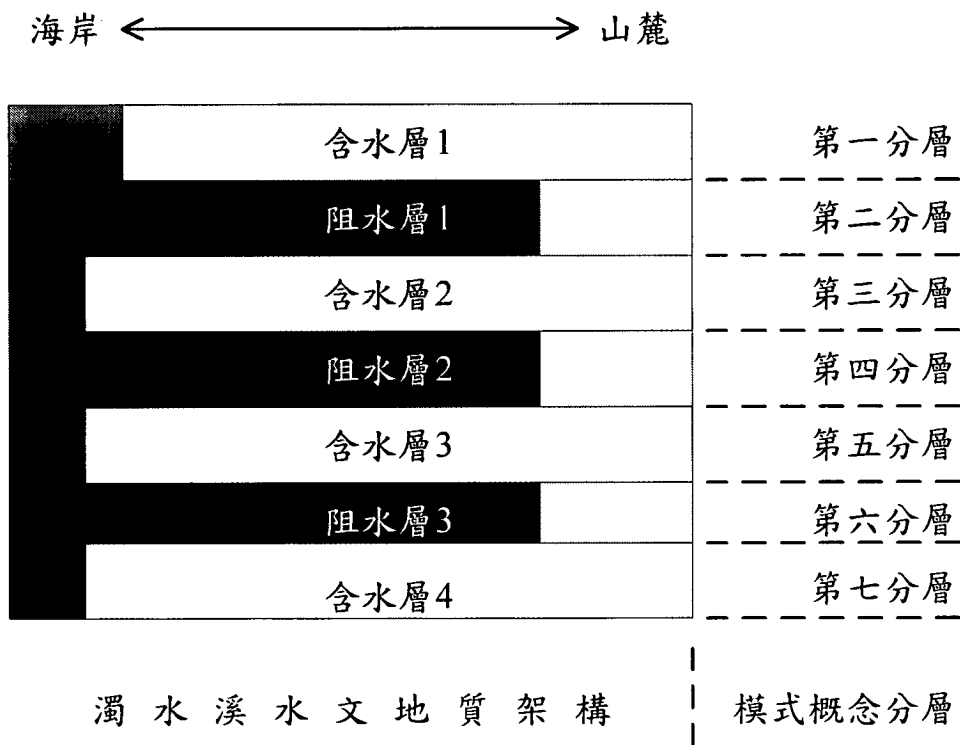


圖 5.4-1 濁水溪沖積扇概念分層

(二) 模式邊界條件

根據中央地質調查所(1999)對於濁水溪沖積扇地下水邊界分析研判，提出概念性之邊界，如圖 5.4-2。

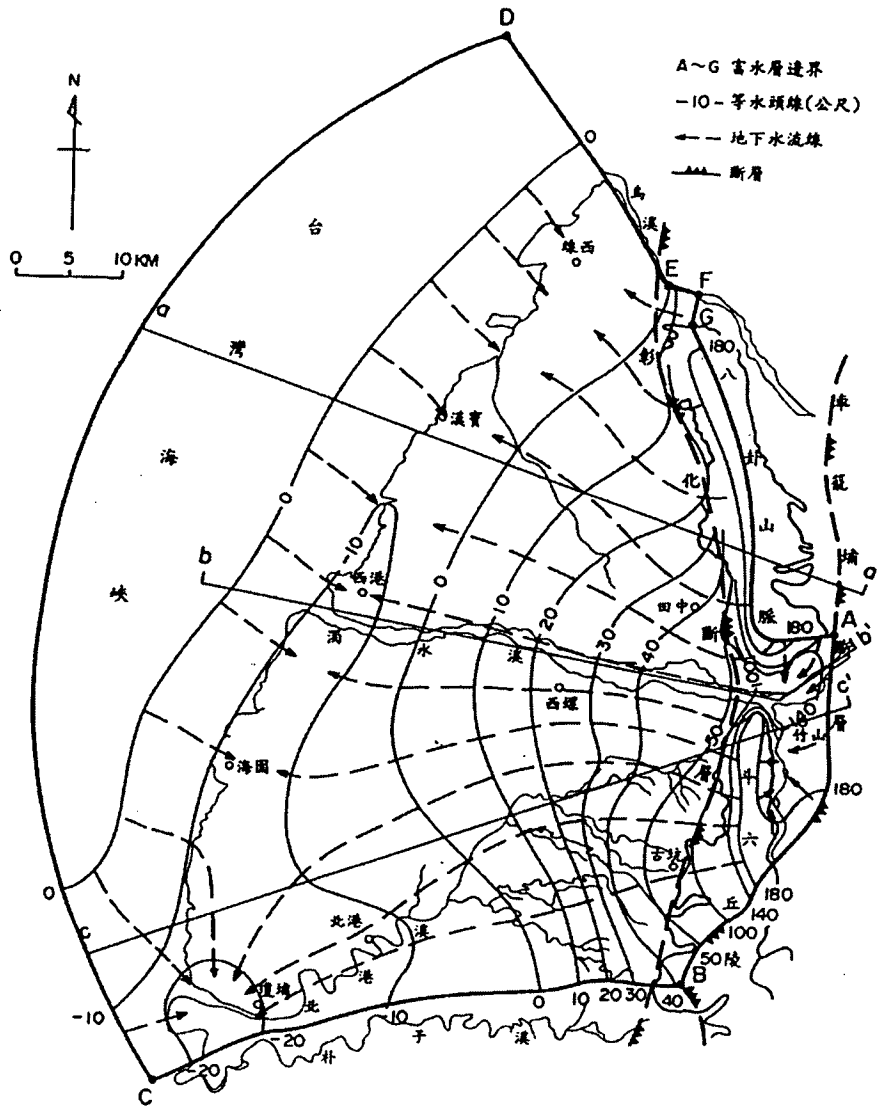


圖 5.4-2 濁水溪沖積扇地下水邊界之概念圖

a. AB 段

位於車籠埔斷層上，斷層以東除河床表層厚約 10 公尺之河道沉積礫石層有地下水伏流以外，均為透水及含水不佳之砂頁岩，屬於零流邊界(No flow boundary)；惟位於此邊界上之濁水溪和清水溪河床伏流量相當可觀，為側向補注入地下水區之點源(Pointsource)。

b. BC 段

本邊界位於濁水溪沖積扇之南側邊緣上，含水層沉積物粒徑及厚度均

顯著變小，然而並未尖滅，因此無實體之阻隔為界，然而從地下水流網分布型態，顯示 BC 段與地下水流線大致平行，於本身即可認定為一條流線，故亦屬於零流邊界。海岸附近之洩降錐，其在邊界南北之形狀及大小若相當，則不影響零流邊界之假設。

c. CD 段

此段為含水層尖滅封閉於阻水層之位置，屬於零流邊界。

d. DEF 段

本段與 BC 段相似，含水層可向北延伸而與台中盆地地下水系統相接，缺乏實體之阻隔，惟與地下水流方向大致平行，故認定為零流邊界。EF 段位於和美沖積扇頂上，河水可由河床入滲補注地下水。

e. FG 段

本段邊界大致與地下水等水位線平行，隨時間之不同水位有昇降變化。

f. GA 段

本段位於頭嵙山層之中，為八卦山台地之地下水分水線 (Groundwater divide)。

(三)格網劃分

模式格網以 1 公里乘 1 公里之格網建構，所以每一層格網為南北方向 85 列與東西方向 75 行，共七層格網。如圖 5.4-3 所示。上述邊界條件設定於 MODFLOW 模式中，東部之八卦山地區有八卦山背斜，斗六丘陵有內林背斜及斷層經過，以此為東邊邊界，且設為零流量之邊界條件。北部邊界為烏溪，南部邊界為北港溪，各層皆為零流量之邊界。西邊含水層一以海岸線向外延伸兩公里設為定水頭邊界(如圖 5.4-4 所示)，其餘含水層延伸 5 公里後尖滅，設為零流量之邊界條件(如圖 5.4-5 所示)。圖中藍色網格為定水頭邊界，灰色網格為零流量。圖 5.4-6 所示 AA' 為剖面圖，水平向長度為垂向長度 30 倍。

東部八卦山脈與斗六丘陵部分有山區側向補注，但其多半僅能定性描述，而無法定量正向給定。故本研究將側向補注量以抽水模組(Well Package)的方式給定，數值大小則搭配參數檢定系統進一步決定。由於山區側向補注已藉由抽水模組給定，故邊界部分則設定為零流量邊界，以避免山區側向補注量重複計算。

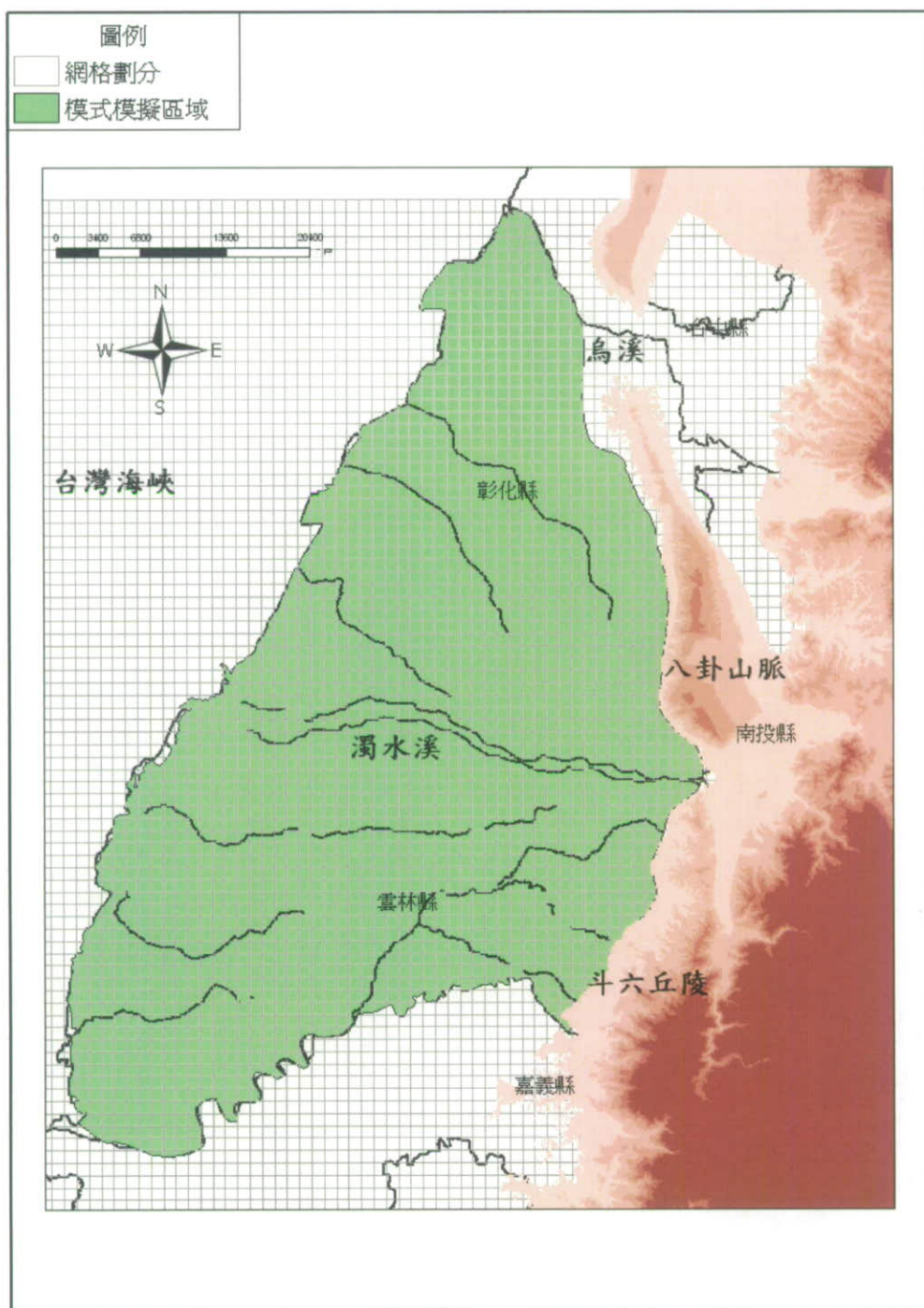


圖 5.4-3 濁水溪沖積扇模式之格網劃分

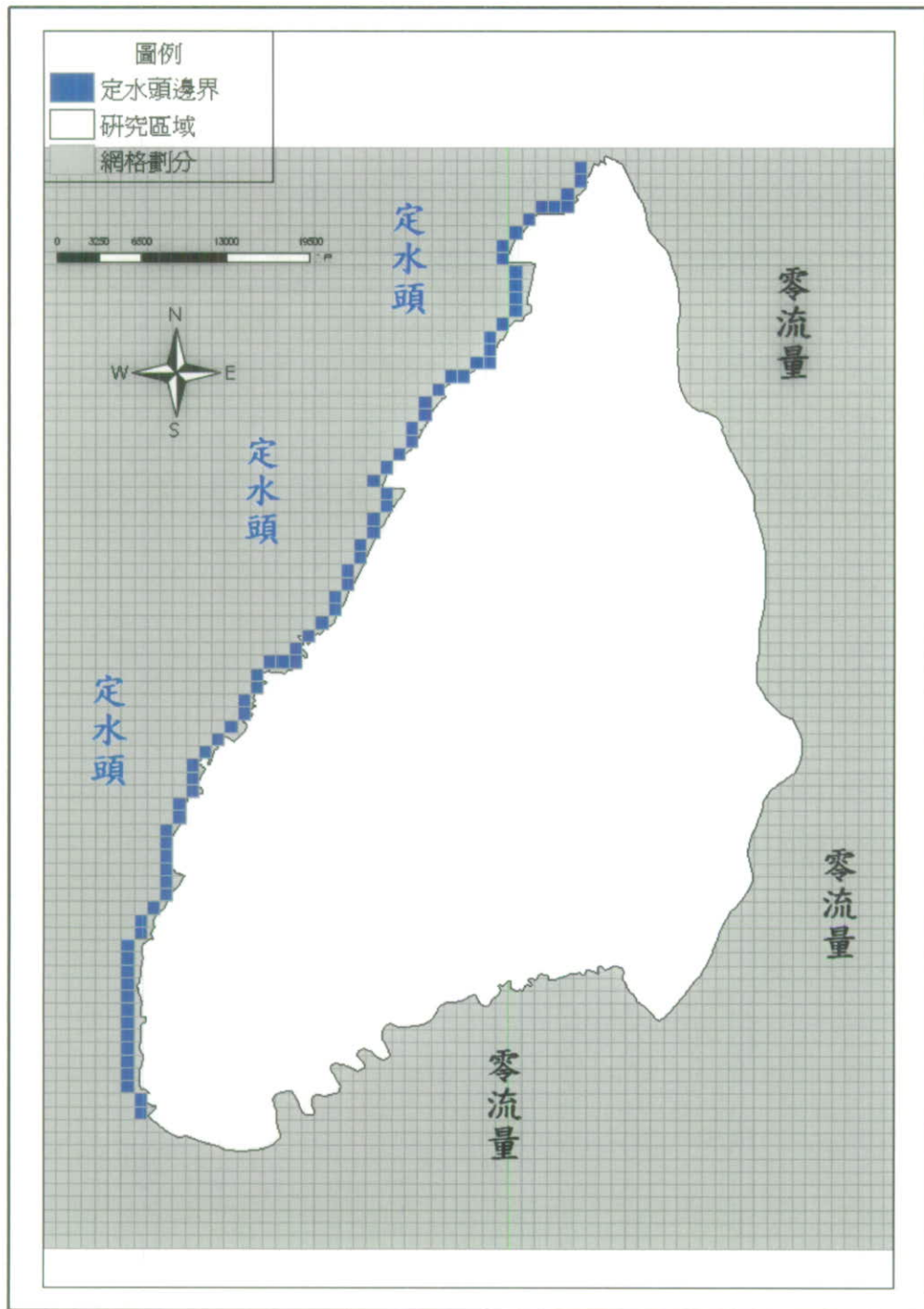


圖 5.4-4 濁水溪沖積扇模式第 1 分層格網劃分

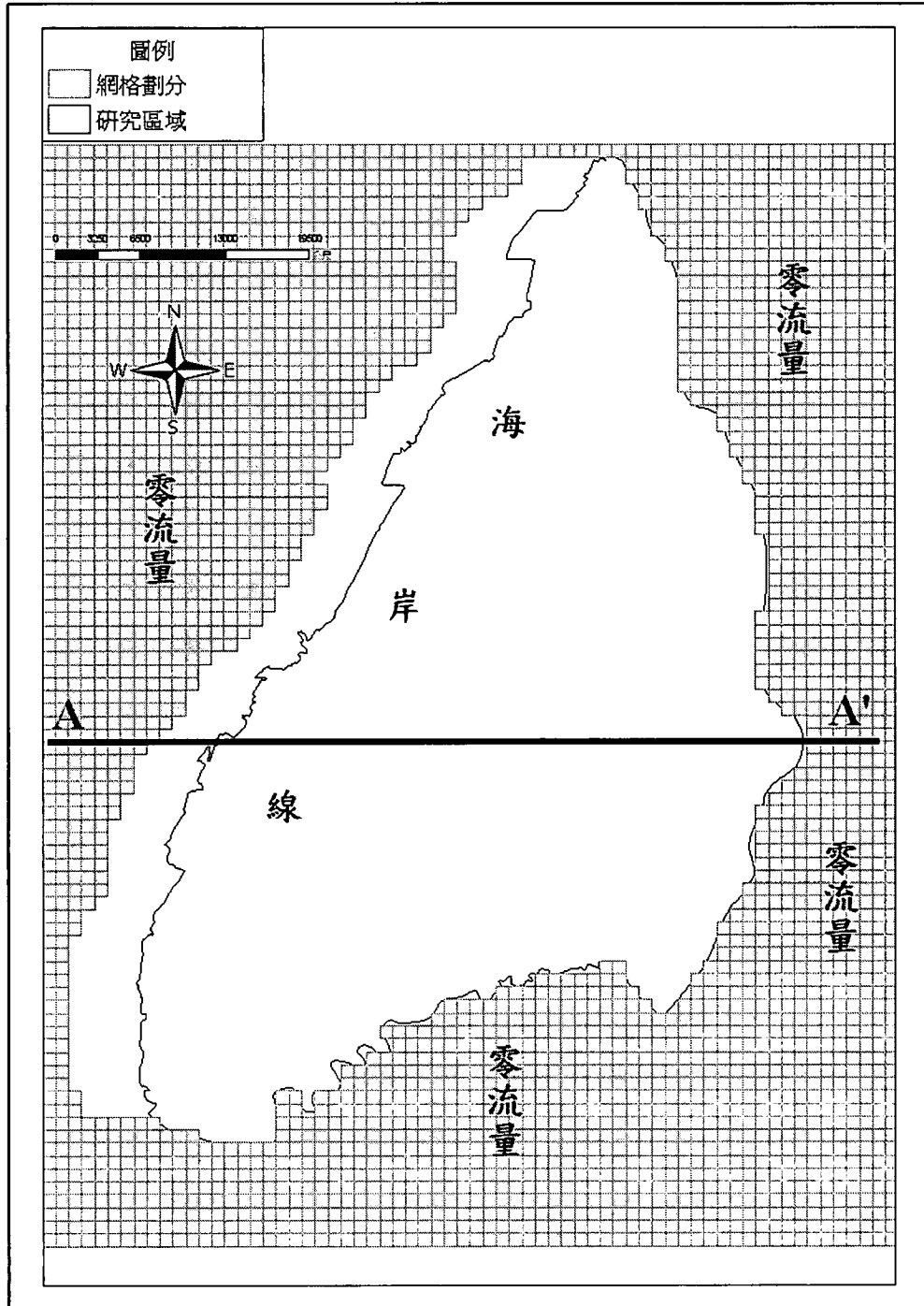


圖 5.4-5 濁水溪沖積扇模式第 2~7 分層格網劃分

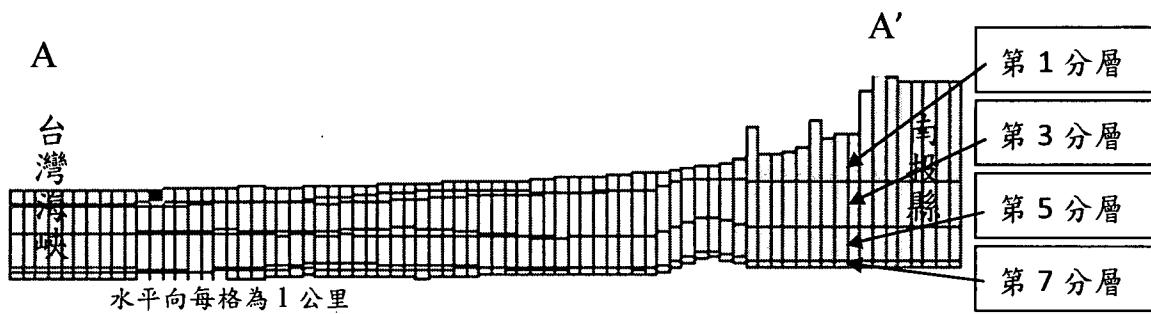


圖 5.4-6 濁水溪沖積扇模式 AA'段剖面圖

二、模式之輸入資料

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。以下將以濁水溪沖積扇為例，說明 MODFLOW 模式所需模式架構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：

(一)水力傳導係數

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透水係數 (Transmissivity, T 值) 現地試驗值，但因 MODFLOW 模式所需參數為水力傳導係數 (Hydraulic Conductivity, K 值)，因此台灣地區地下水觀測網第一期計畫所得之透水係數，再除以含水層厚度 (b) 即可轉換求得水力傳導係數，後續再以徐昇氏法分區將點位型式之數值推估至整個沖積扇，圖 5.3-7~圖 5.3-10 分別為模式第 1、3、5 及 7 分層之徐昇氏網格分區圖。而概念分層中之第 2、4 及 6 分層為阻水層，其分布範圍位於下游扇尾區域，模式於扇尾區域之水力傳導係數參考 Schwartz 與 Zhang (2003) 中建議之值域，在此設定為 4×10^{-3} (公尺/天)。此外，由於抽水試驗所得結果為水平向之水力傳導係數，垂向水力傳導係數在此假設為水平向之 1/10。

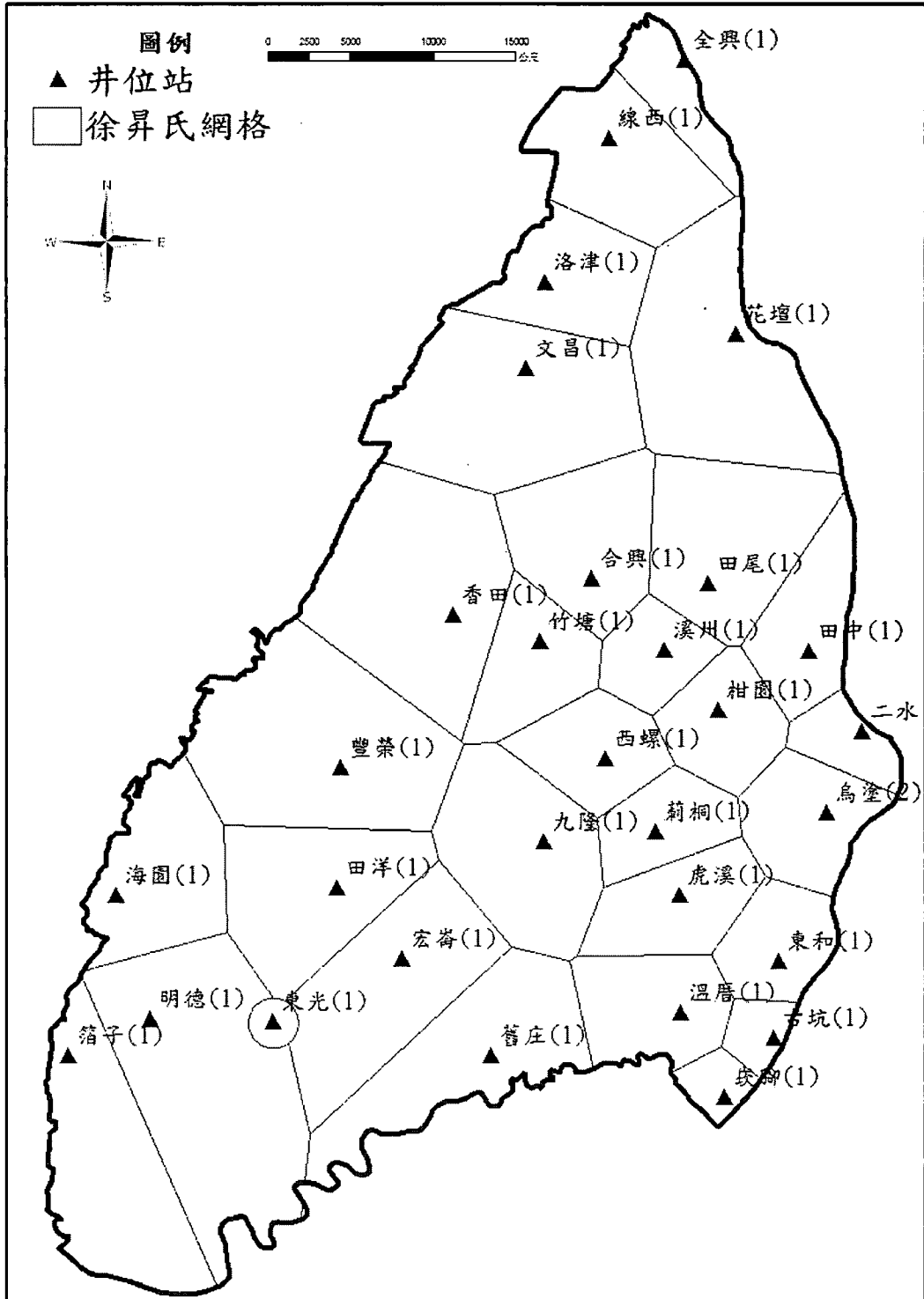


圖 5.4-7 濁水溪沖積扇模式第 1 分層徐昇氏網格分區

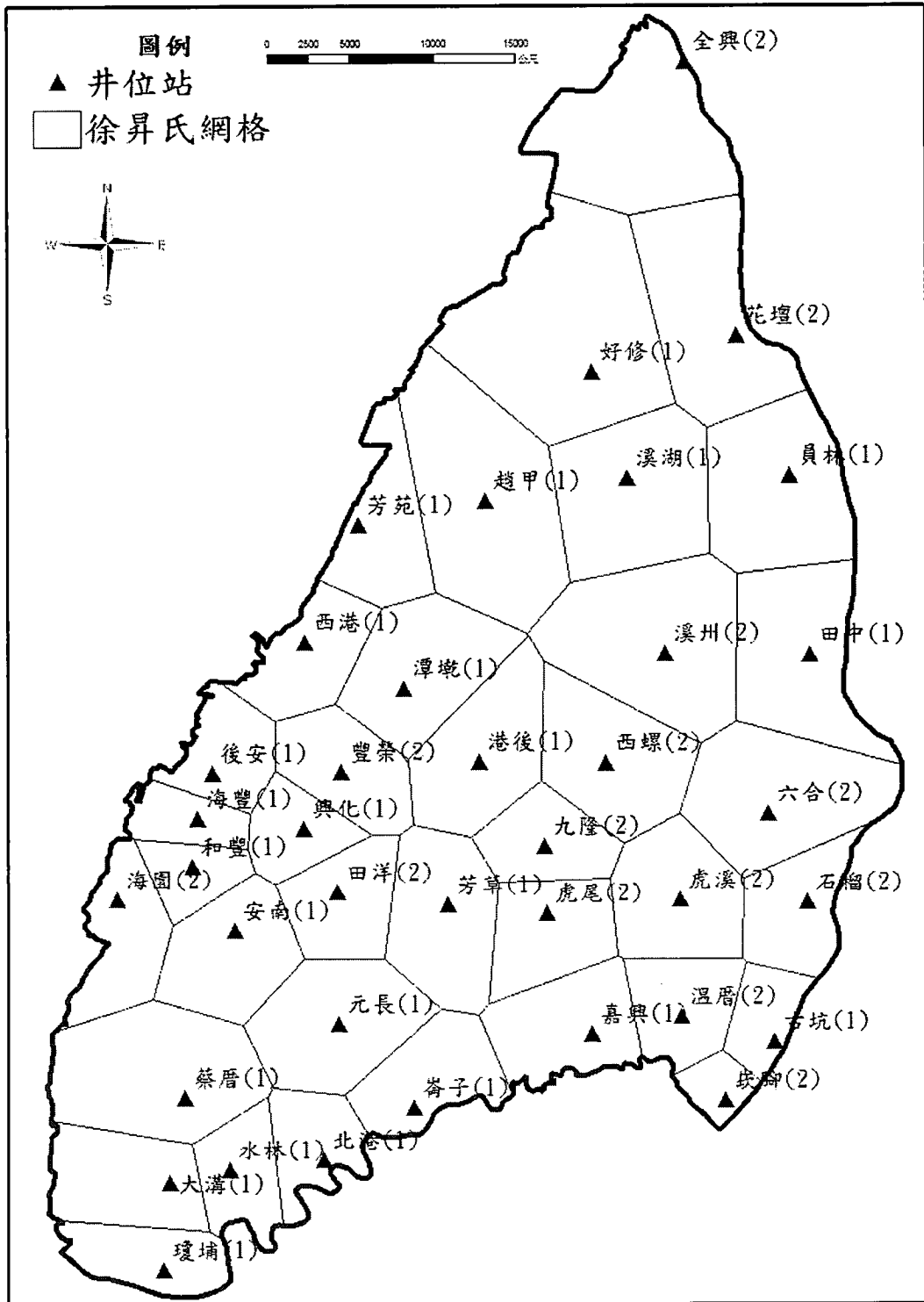


圖 5.4-8 濁水溪沖積扇模式第 3 分層徐昇氏網格分區

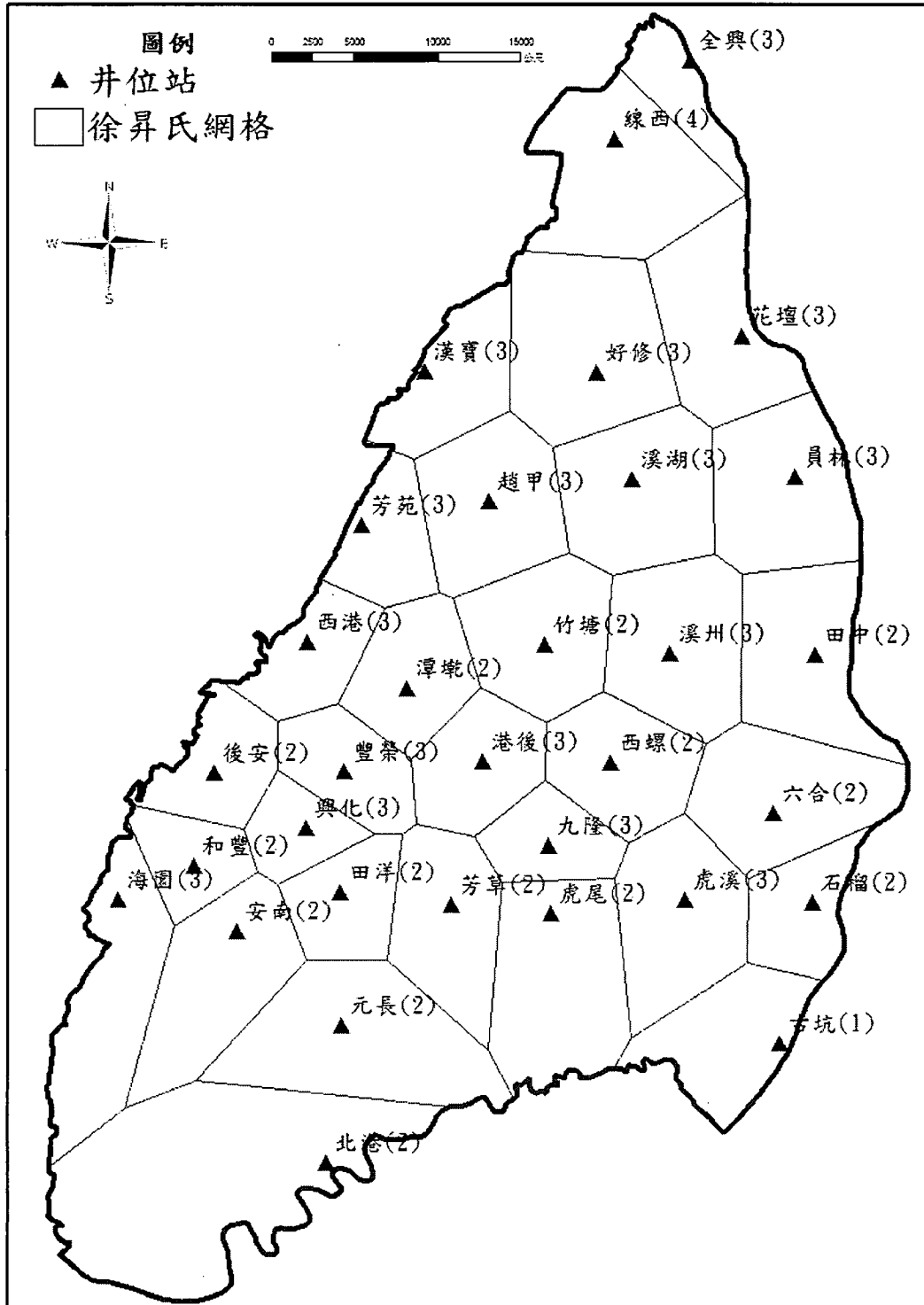


圖 5.4-9 濁水溪沖積扇模式第 5 分層徐昇氏網格分區

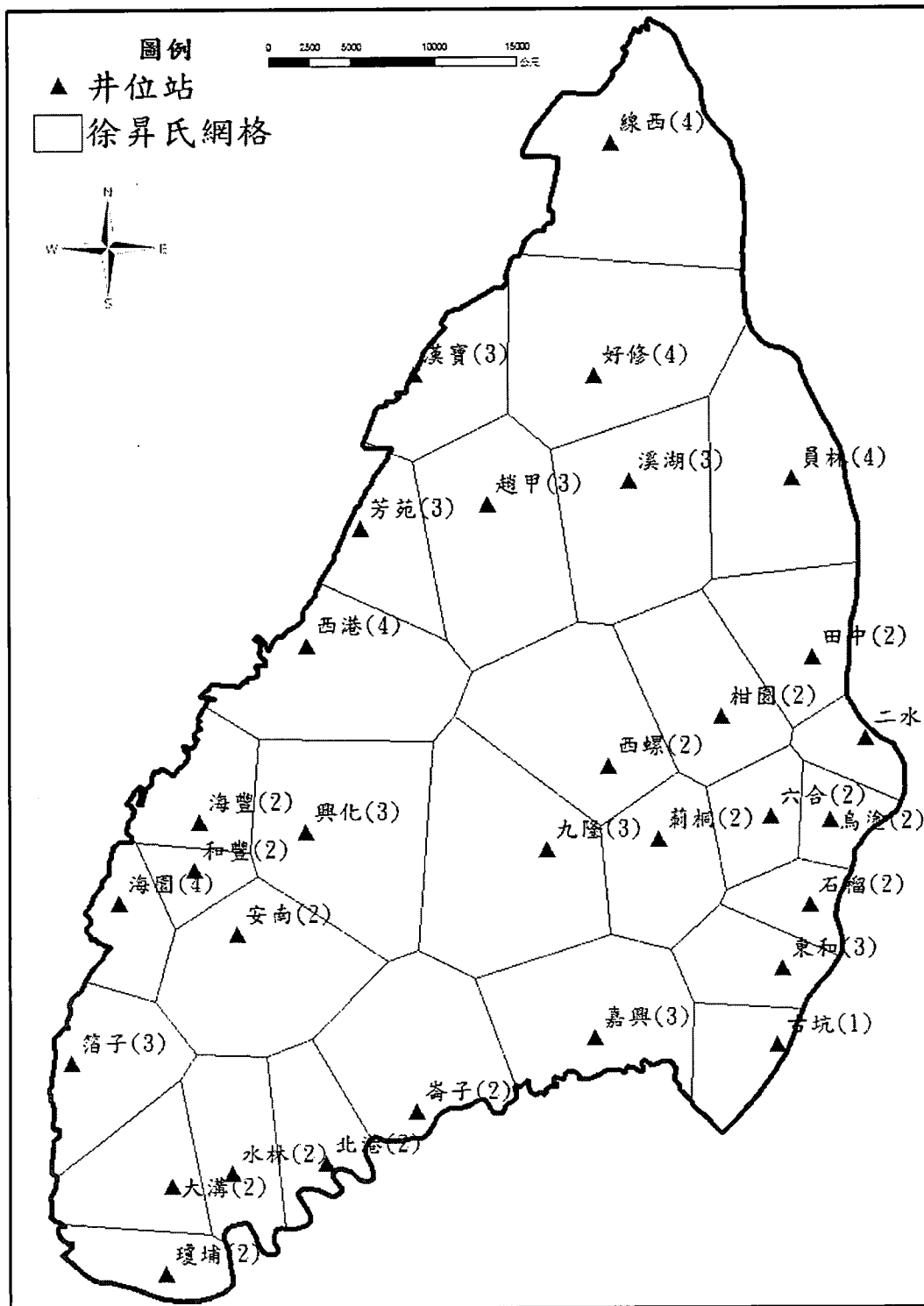


圖 5.4-10 濁水溪沖積扇模式第 7 分層徐昇氏網格分區

(二) 起始地下水水位

由於穩態模擬之初始地下水位，僅作為求解前之初始猜值，對於模擬結果而言影響極小，在穩態模式中所有分層之初始地下水位皆給定 50 公尺。

(三)抽水量、補注量

由於現地抽水量資料並不足夠，初步以西元 2002 年水利署之「地下水資源整體營運規劃與綜合評估」報告中之濁水溪沖積扇模式之抽水量及補注量作為初始輸入值，後續依據觀測水位進行抽水量與補注量之檢定。

三、穩態模式參數檢定之成果

去年度穩態模式經過參數檢定後，模式模擬結果獲得之水位線如下圖 5.4-11 至圖 5.4-13 所示，分別為濁水溪沖積扇第一層、第三層、第五層之水位等值圖，其中藍色實線為觀測水位，灰色虛線為檢定後之模擬水位。圖上顯示，觀測水位與檢定後之模擬水位相當接近，且空間分佈幾乎一致。另外，圖 5.3-14 則為各觀測點之觀測水位與檢定後之模擬水位之比較圖，橫座標為觀測水位，縱座標為檢定後之模擬水位，圖上各點之分佈接近於 45 度線，檢定實際案例之淨補注量與抽水量成效良好。

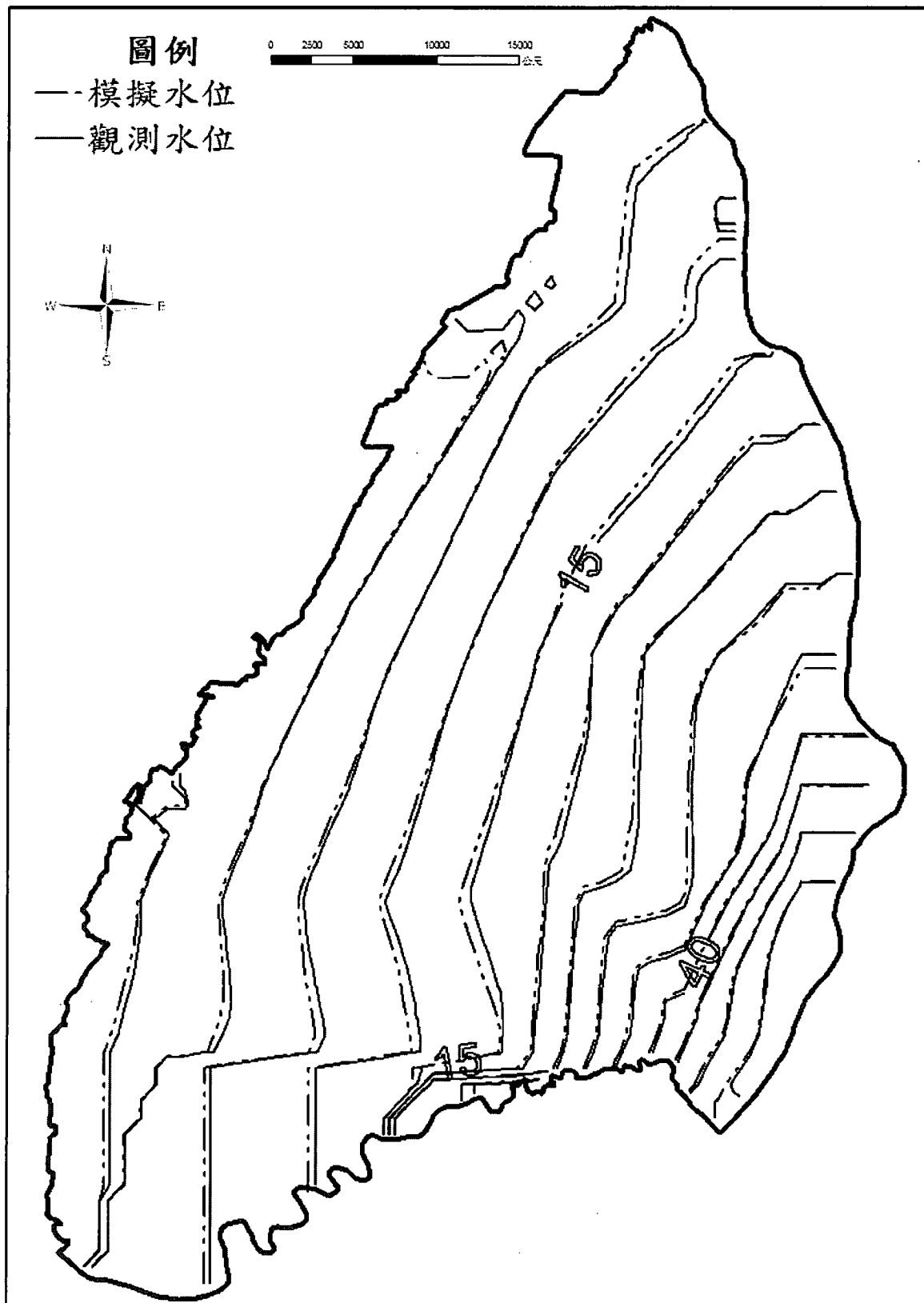


圖 5.4-11 第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

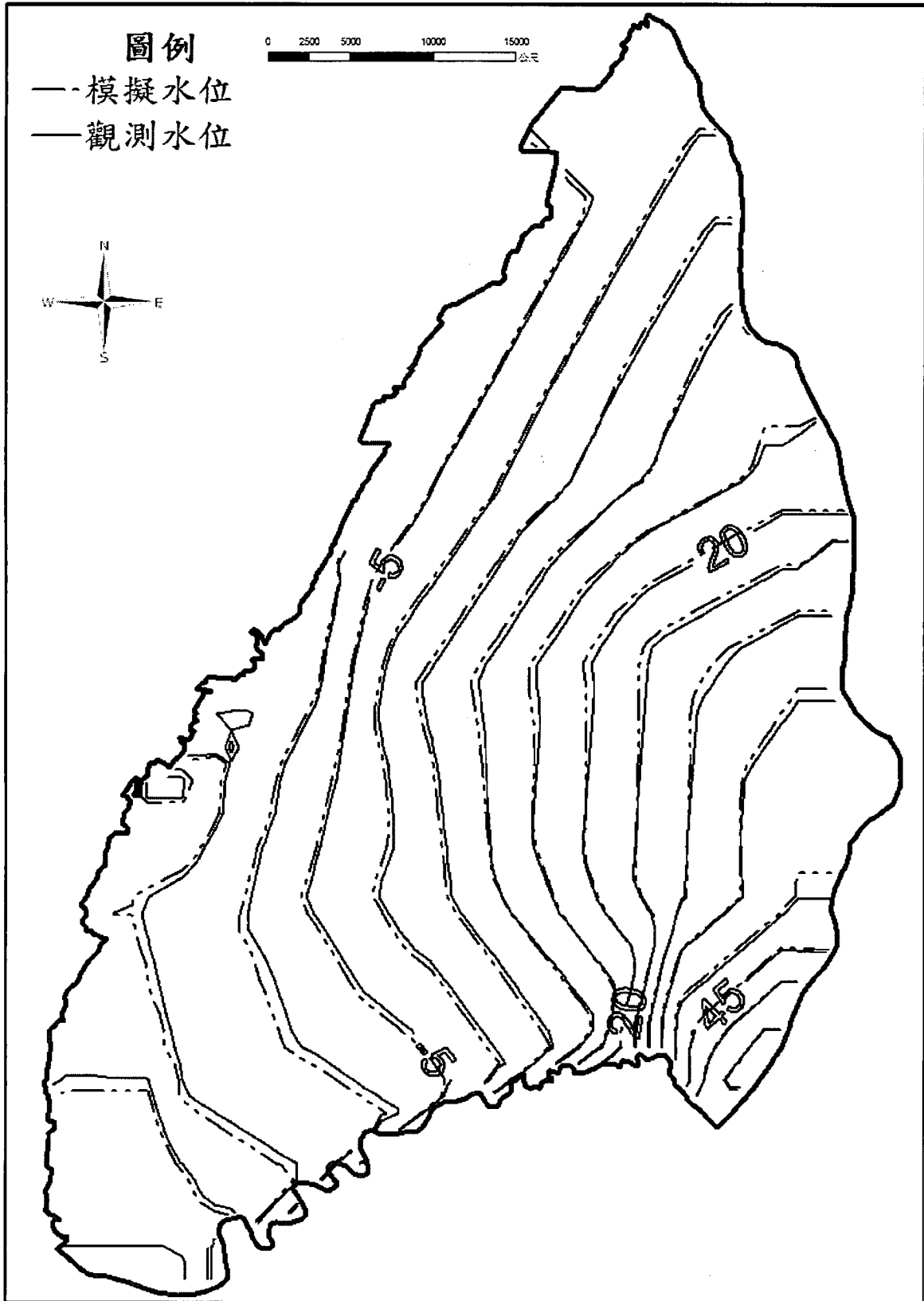


圖 5.4-12 第三層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

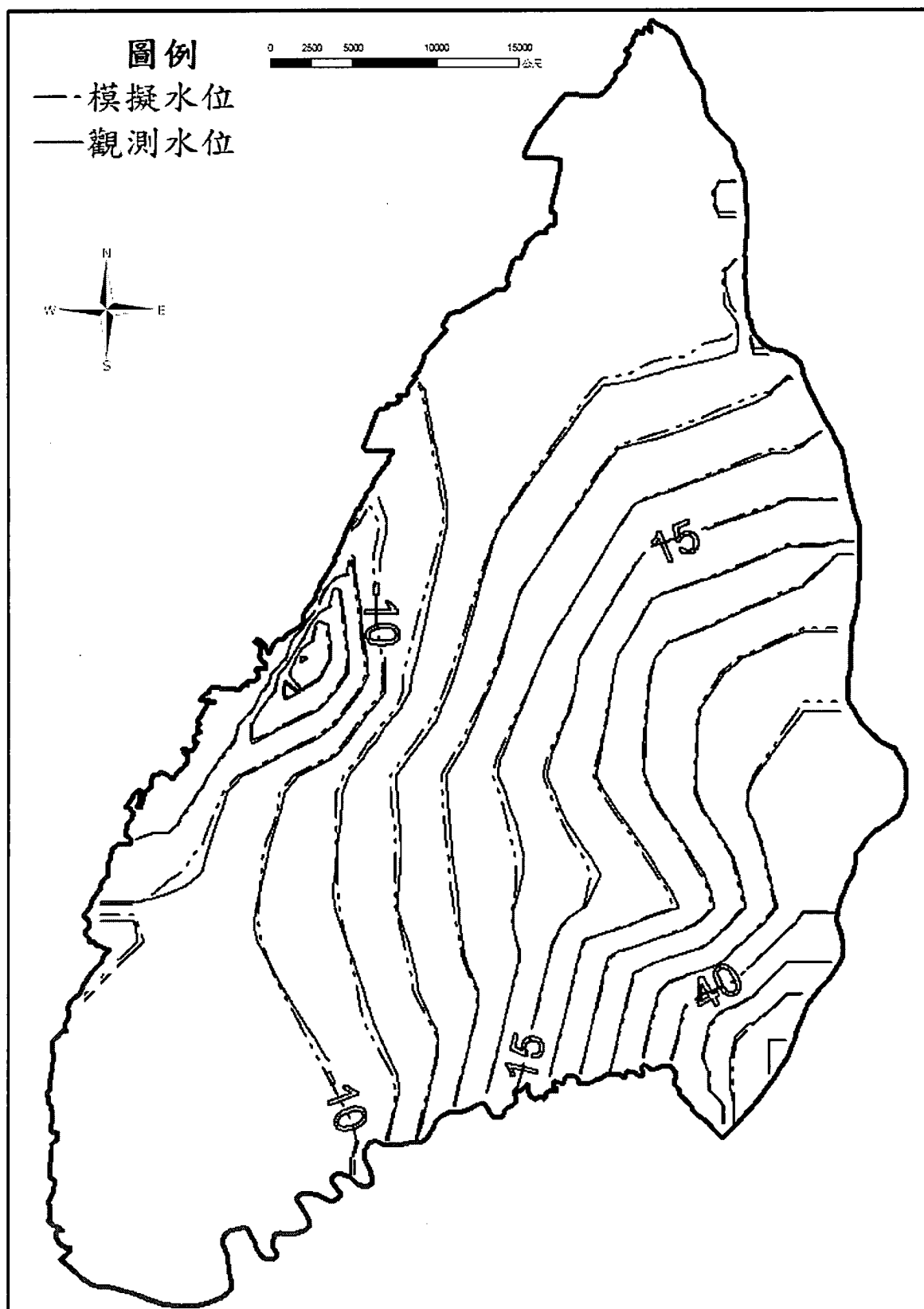


圖 5.4-13 第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

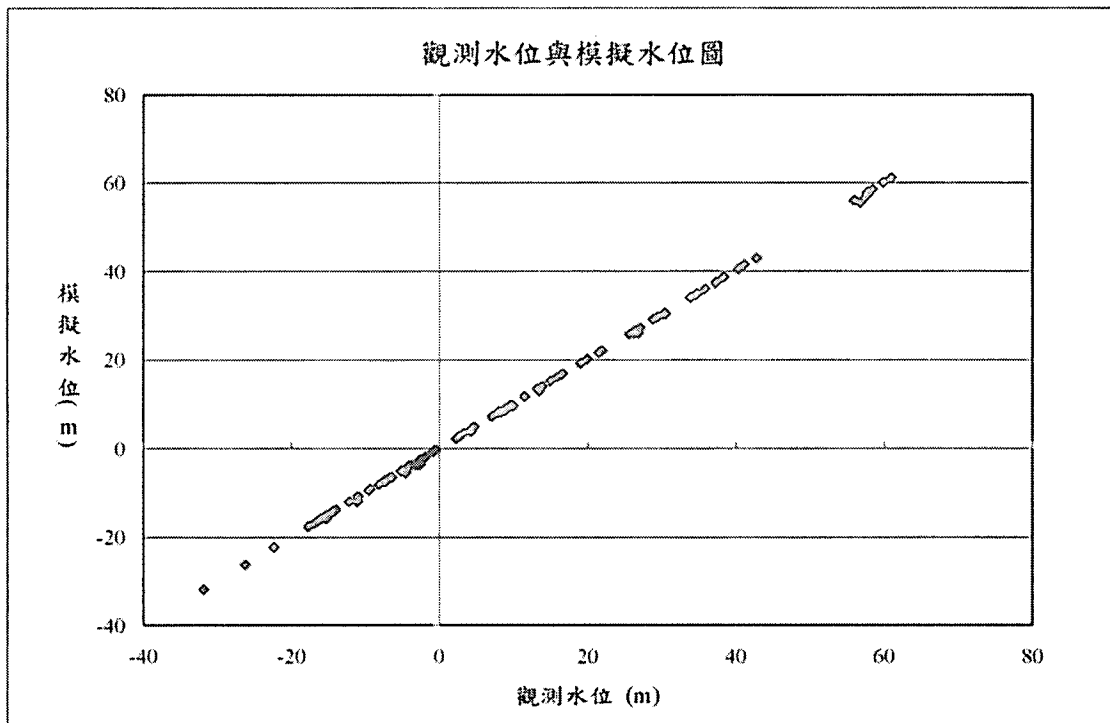


圖 5.4-14 觀測水位與檢定後模擬水位關係圖

5.5 濁水溪沖積扇地下水暫態數值模式建置與參數檢定

本年度計畫建置濁水溪沖積扇地下水暫態數值模式，依照前述章節之介紹，模式建置流程主要分為：邊界條件與網格劃分以及模式之輸入資料兩個部份。除了主要流程步驟之外，暫態模式與穩態模式最顯著之差異為暫態模式將模擬地下水位隨著時間變化之情形，加入了時間的變數，故本計畫之暫態模式必須額外設定 MODFLOW 中關於時間之變數，其中包括了時間單位、模擬期數、以及各時期之模擬長度等設定。

本年度計畫預計推估濁水溪沖積扇各個月份中各地區的抽水、補注量，由於西元 2004 年以及 2005 年地下水位資料缺漏過多，無法進行參數檢定，故模擬時間略過這兩年，模擬時段分為兩段時間：西元 1998 年至 2003 年以及 2006 年至 2009 年。

主要模式建置流程以下分別說明之：

一、邊界條件與網格劃分

此部份工作流程項目包括設定地下分層架構、模式邊界條件以及網格劃分，此三項基本模式設定，延續穩態模式之建置架構。

二、模式之輸入資料

(一)時間參數

暫態模式中，模擬時間單位設定為天，且模擬期數設定為 12 期，分別代表一年中的 12 個月份，各期之模擬長度則是設定為相對應月份所擁有之天數，例如：第一期模擬長度為 31 天、第二期為 28 天，依此類推，如此一來，模式模擬出各個時期之抽水、補注量，則能分別推估出各個月份的抽水、補注量。

(二)水力傳導係數

由於水力傳導係數為水文地質參數，其特性不應隨著時間而改變，亦不受穩態或暫態之影響，故暫態模式之水力傳導係數則完全沿用前述穩態模式之數值。

(三)儲水係數

由於穩態模式並無需給定儲水係數。此外由於儲水係數必須進行複井抽水試驗才能求得，因此在儲水係數之現地試驗數量，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。

儲水係數輸入方式與水力傳導係數相同，皆採用徐昇氏網格分區將點位型式之資料給定至整個沖積扇。在數值方面，有現地試驗值之徐昇氏網格則直接給予試驗值；其他無現地試驗值者，給予下列的計算方式之數值：

1. 在受壓含水層之儲水係數給定方面，直接以濁水溪沖積扇之受壓含水層平均現地試驗值給定。
2. 在非受壓含水層給定方面，藉由經濟部中央地質調查所提供之岩心資料庫，取得各水井之鑽探剖面，可得知該處各式土壤之分佈深度以及厚度，再以各式土壤經驗比流出率(例如礫石應為 0.09, 中粗砂應為 0.12, 細砂應為 0.15), 搭配厚度加權的方式計算推估，再將儲水係數輸入至相對應之分區。

(四)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，本計畫使用西元 1998 至 2009 年之年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。

(五)抽水量、補注量

在暫態模式中，不同時刻之水位均不一樣，因此對應之各時刻抽水量與補注量亦不同。模式之表層補注量直接以前述修正型地下水位歷線法之結果給定，由於其以觀測水位進行補注量之計算，如前所述部分山區站井之補注量已包含山邊側流量，因此山區部分之邊界部分可直接給予無流量邊界。

在抽水量部分，上游扇頂無明顯阻水層區域之水位下降，實為不同分層抽水之綜合效應；然下游扇尾有明顯阻水層區域之水位下降，則僅受到淺層含水層抽水之影響，因此難以應用水位歷線法之成果直接給定，故在此留待後續參數檢定決定。

(一)暫態模式參數檢定之成果

表 5.5-1 統計了西元 1998 至 2003 年以及 2006 至 2009 年之間濁水溪地區的平均年降雨量，模式暫態參數檢定之成果，採用模擬時間之中的豐水年、枯水年以及平水年來做成果之展示，成果展示部份將分為三個部份：檢定成果之空間分布、檢定成果之時間分布以及各分層抽水量與補注量統計分析來說明。

表 5.5-1 濁水溪地區各年平均年降雨量列表

年份	全區平均年降雨量(mm)	備註
1998	2497	
1999	1724	
2000	1622	
2001	2131	
2002	1369	
2003	1134	枯水年
2006	2420	
2007	2452	
2008	2691	豐水年
2009	1742	平水年

1. 檢定成果之空間分布：

此部份主要呈現檢定結果在空間上的分佈，本研究以模式第一層與第五層之分層進行檢定成果之探討。圖 5.5-1 ~ 5.5-6 分別為枯水(2003)、平水(2009)

及豐水年(2008)在濁水溪沖積扇第一層與第五層之觀測水位與模擬水位等值圖，其中藍色實線為觀測水位，黑色虛線則是檢定後之模擬水位，等值線的間距為 5 公尺。圖中顯示觀測水位與模擬水位值相近，且空間分佈幾乎一致。如以時間作為區分，枯水年(即 2003 年)之檢定成果最差，平水年次之，豐水年檢定結果最好。此外，在不同分層中，第一層模擬結果比第五層較好。

此外，如將 2009 年之觀測水位與模擬水位同時畫於圖面上，橫座標為觀測水位，縱座標為模擬水位，如圖 5.5-7 所示，圖中各點之分佈皆接近於 $x=y$ 之直線上，檢定成果良好。

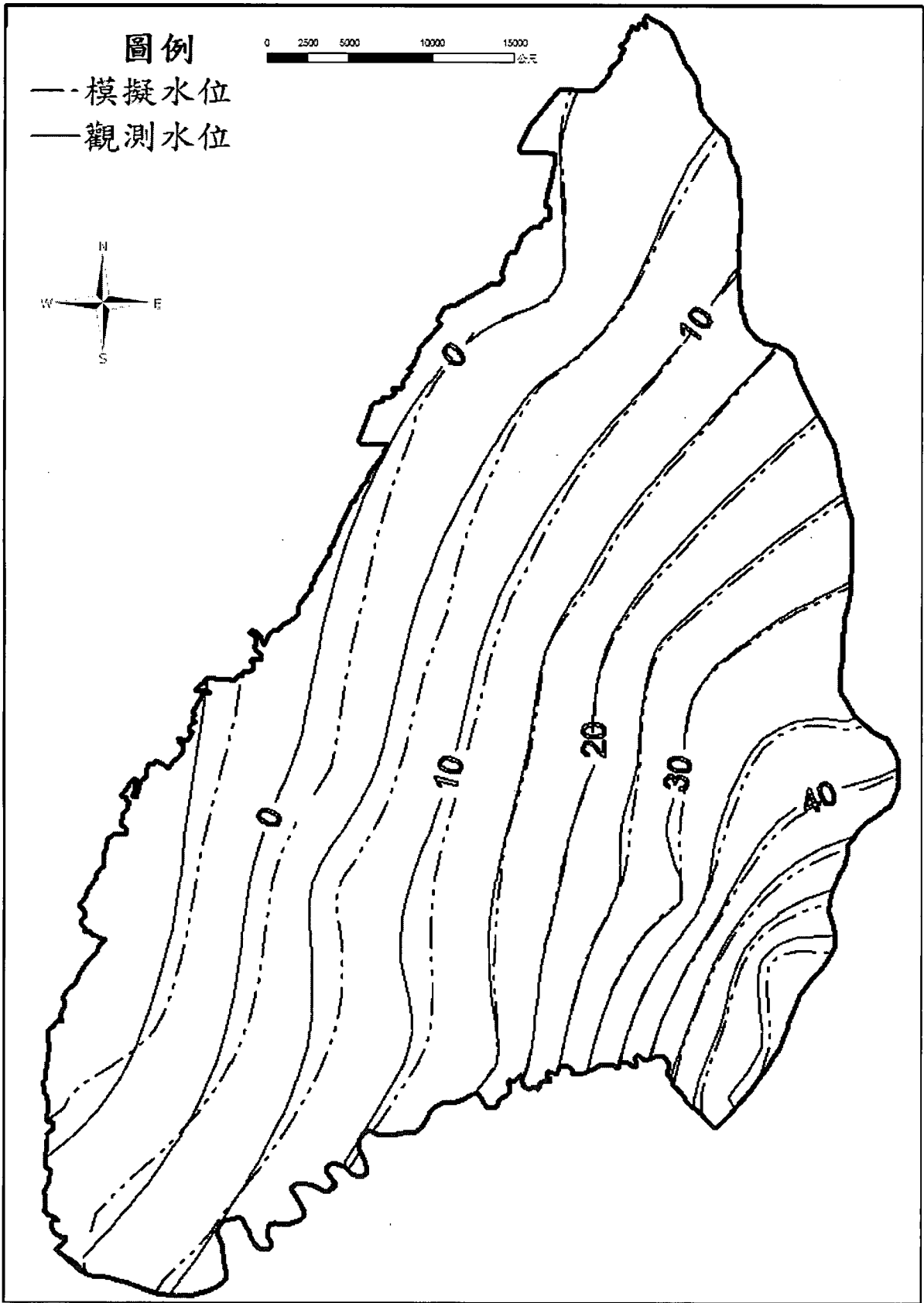


圖 5.5-1 2003 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

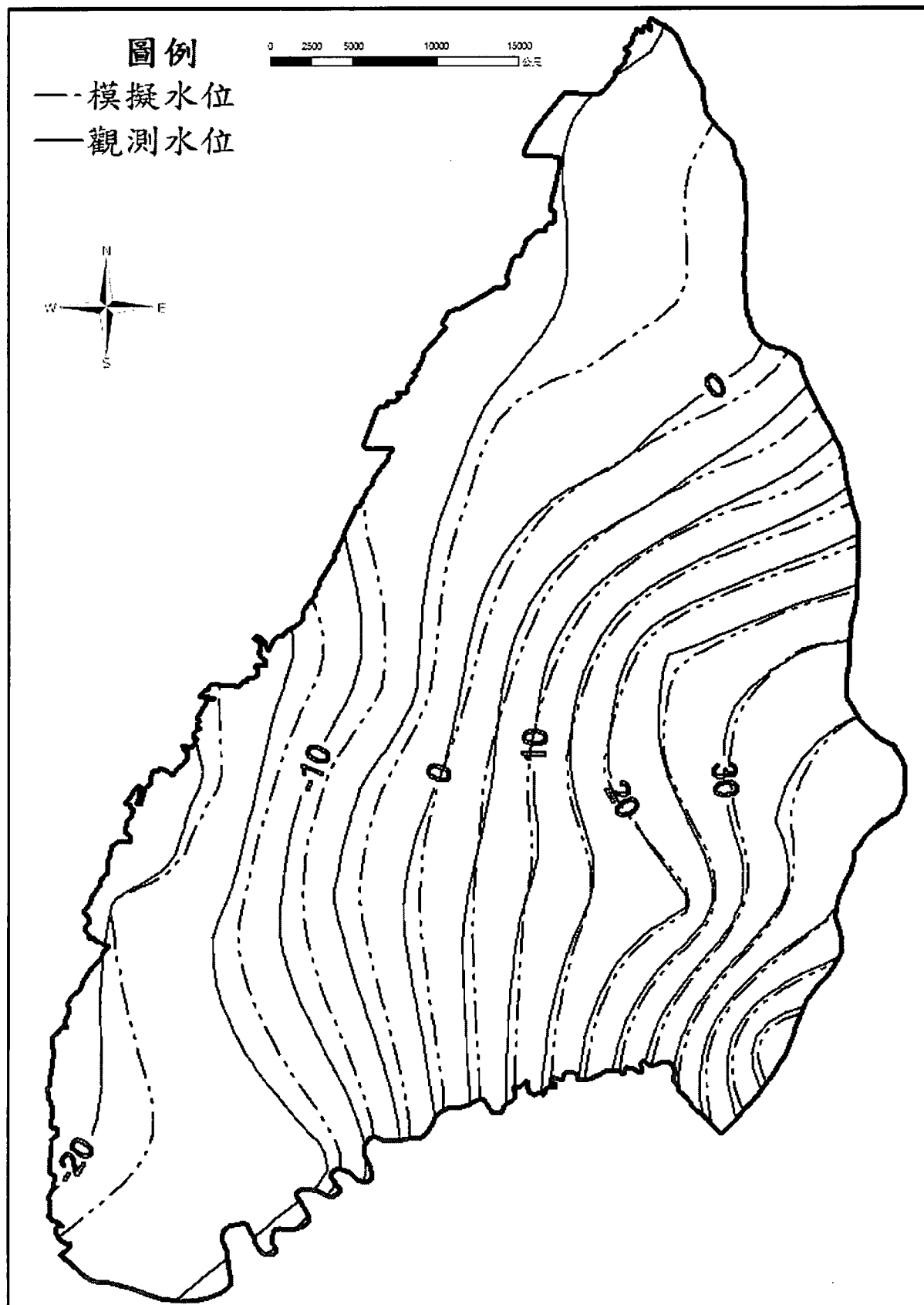


圖 5.5-2 2003 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

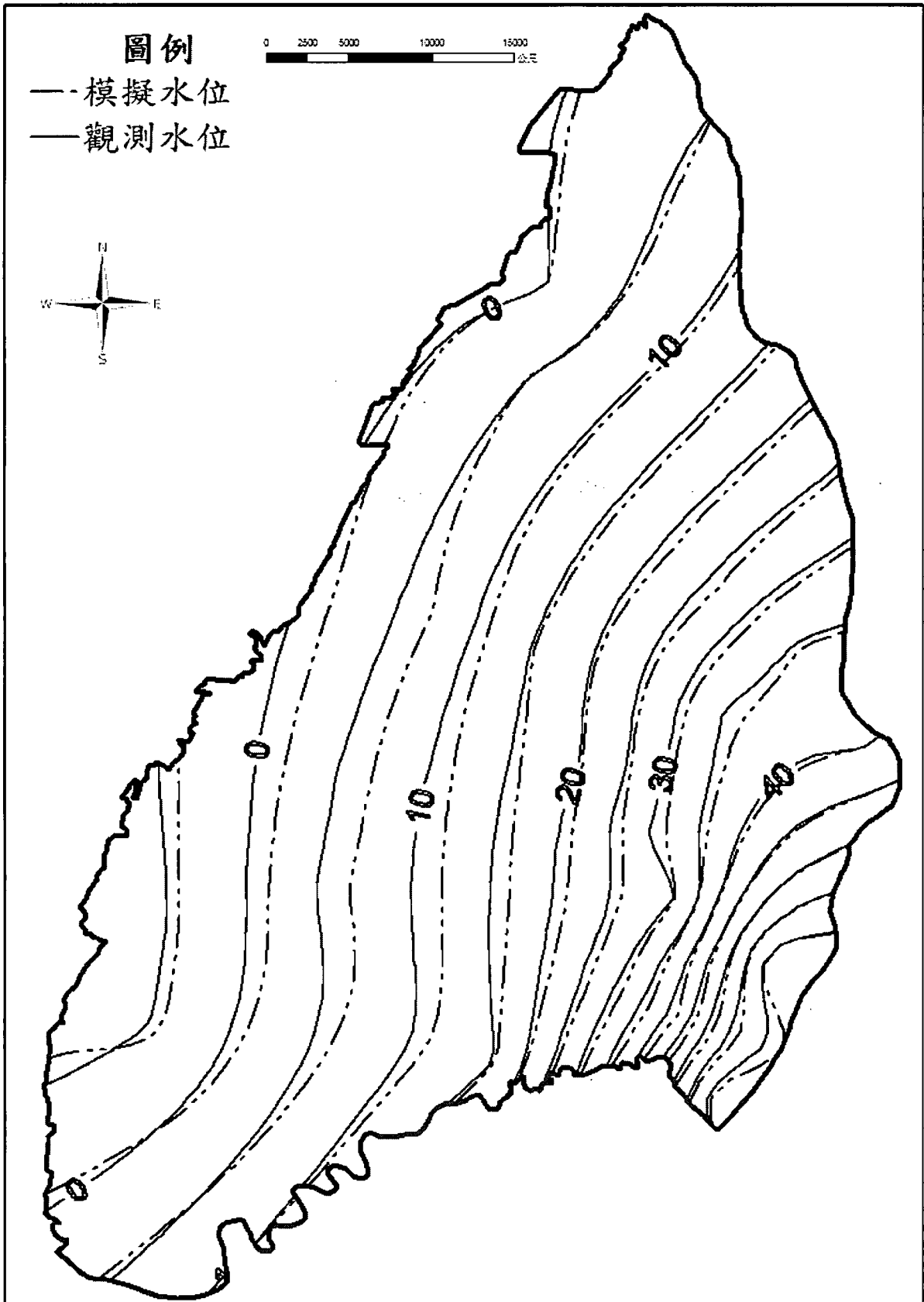


圖 5.5-3 2009 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

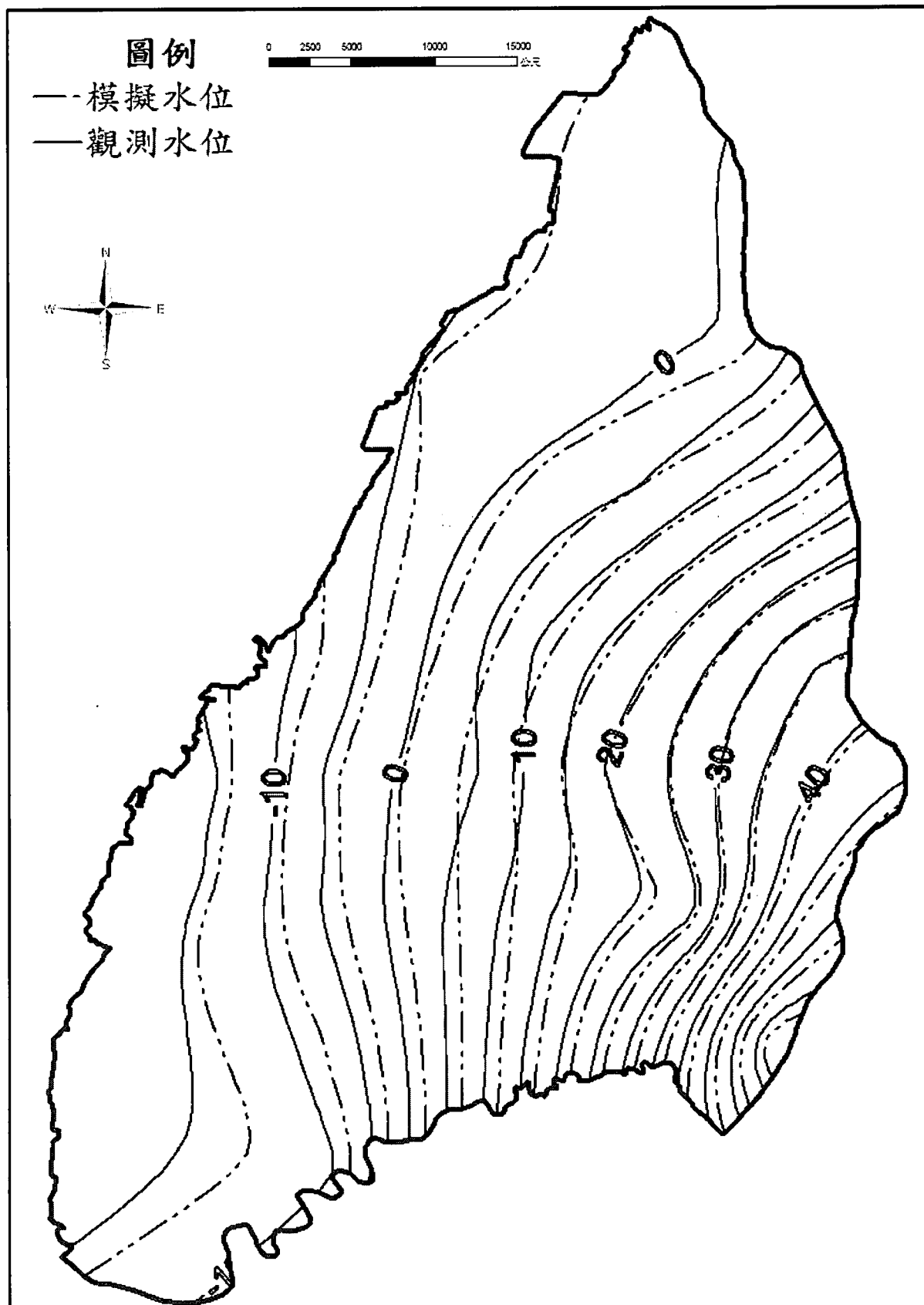


圖 5.5-4 2009 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

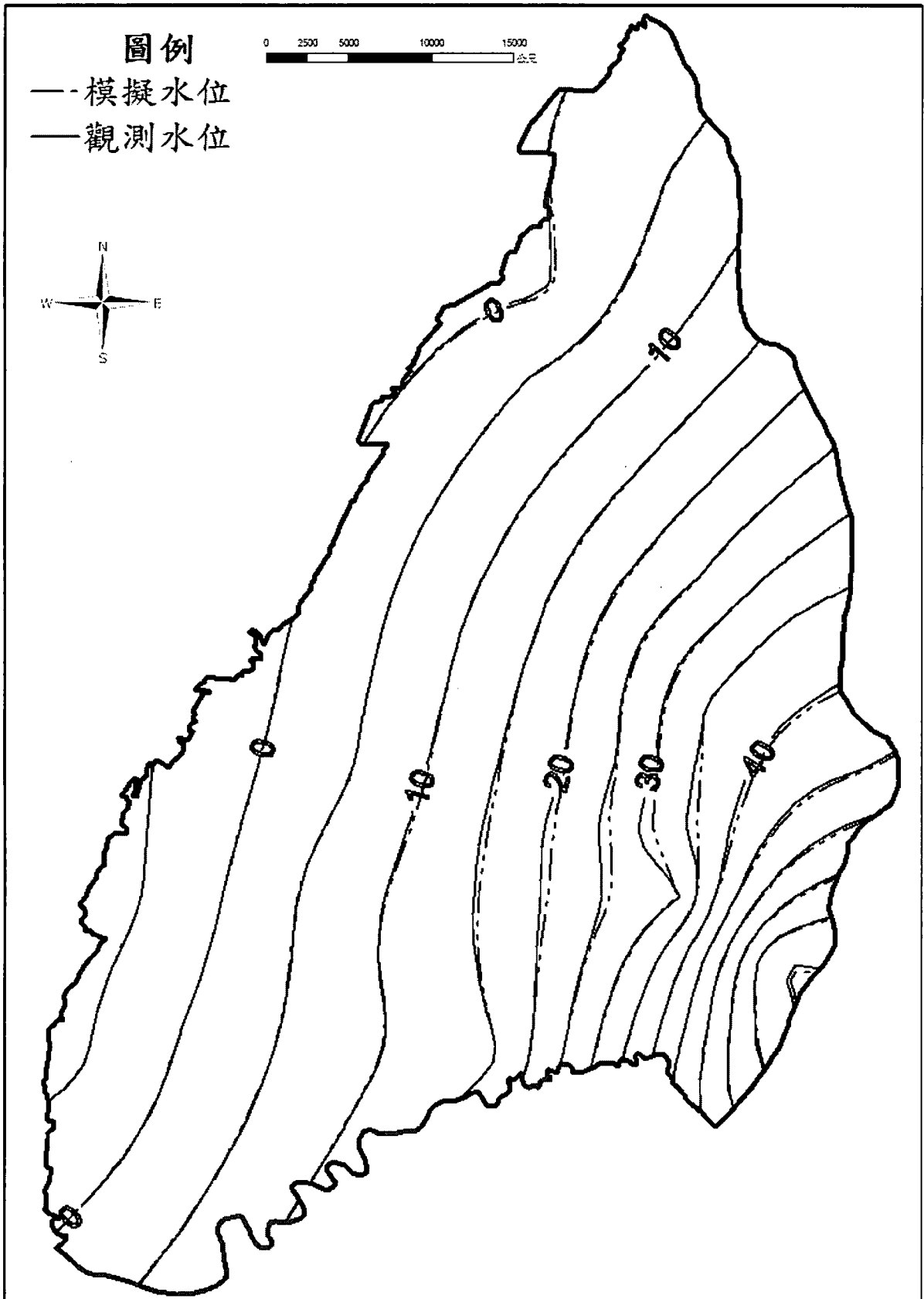


圖 5.5-5 2008 年第一層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

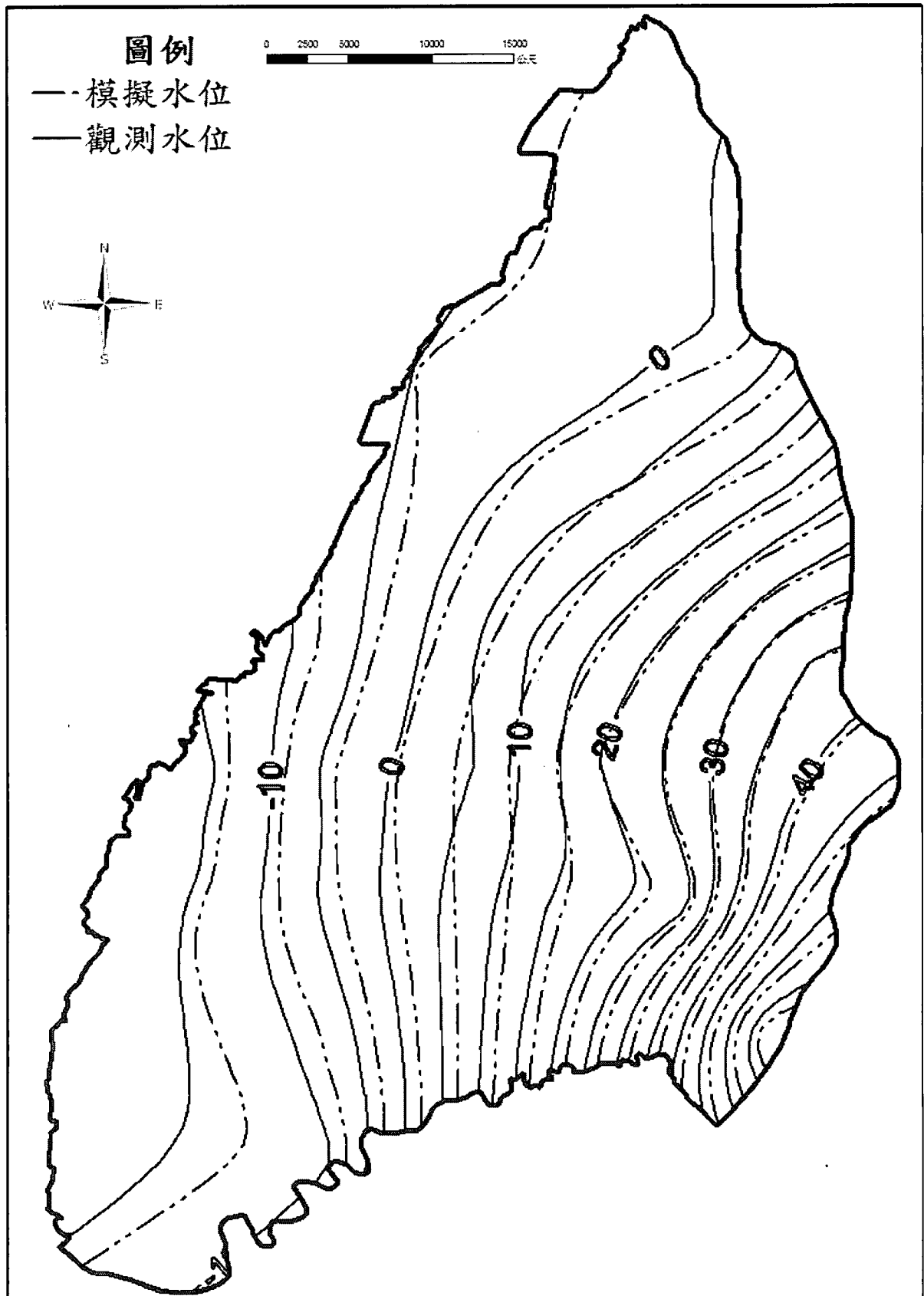


圖 5.5-6 2008 年第五層觀測水位與檢定後模擬水位等值圖

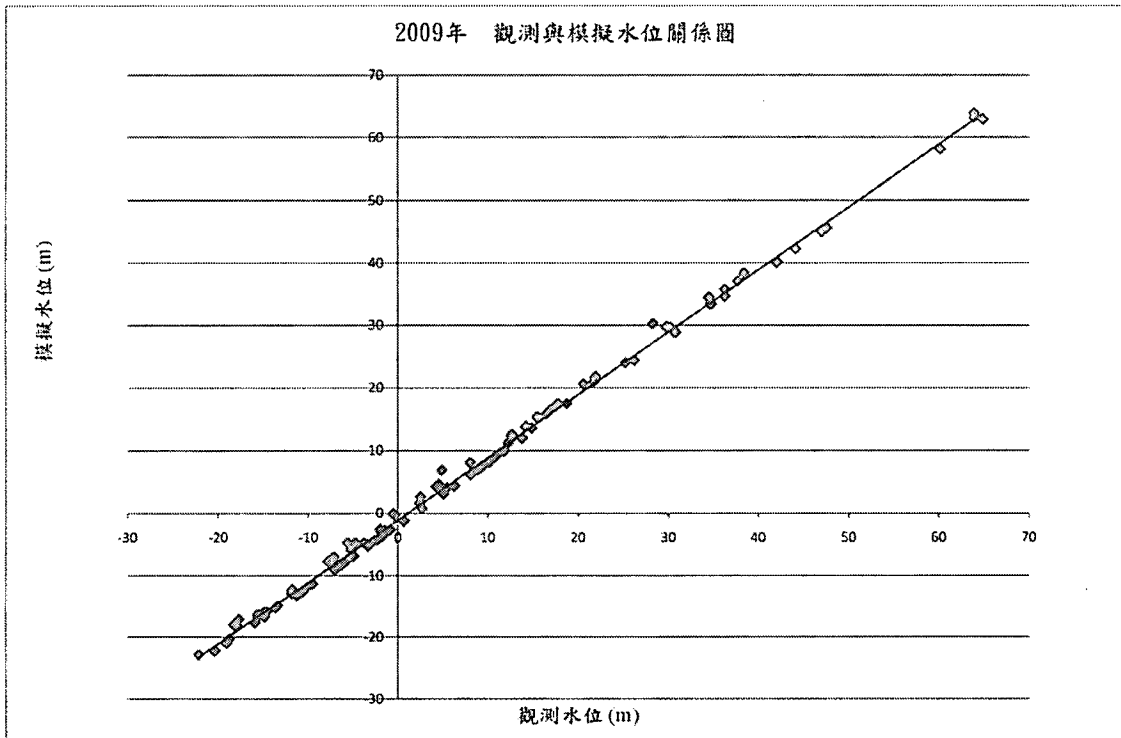


圖 5.5-7 2009 年 觀測水位與檢定後模擬水位關係圖

圖 5.5-8 與 5.5-9 則是將為 2009 年合計共 12 個模擬時刻，取第一層與第五層的 12 個模擬時刻之均方根誤差繪製成等值圖，圖 5.5-8 顯示在模式第一層，均方根誤差最大值約為 1.47 公尺，主要分布在濁水溪沖積扇南邊邊界地帶。而在模式第五層部分，由圖 5.5-9 顯示最大均方根誤差為 1.7 公尺，均方根誤差值較第一層略大，主要分布在濁水溪沖積扇的南邊邊界以及東北方靠近八卦山脈地帶。

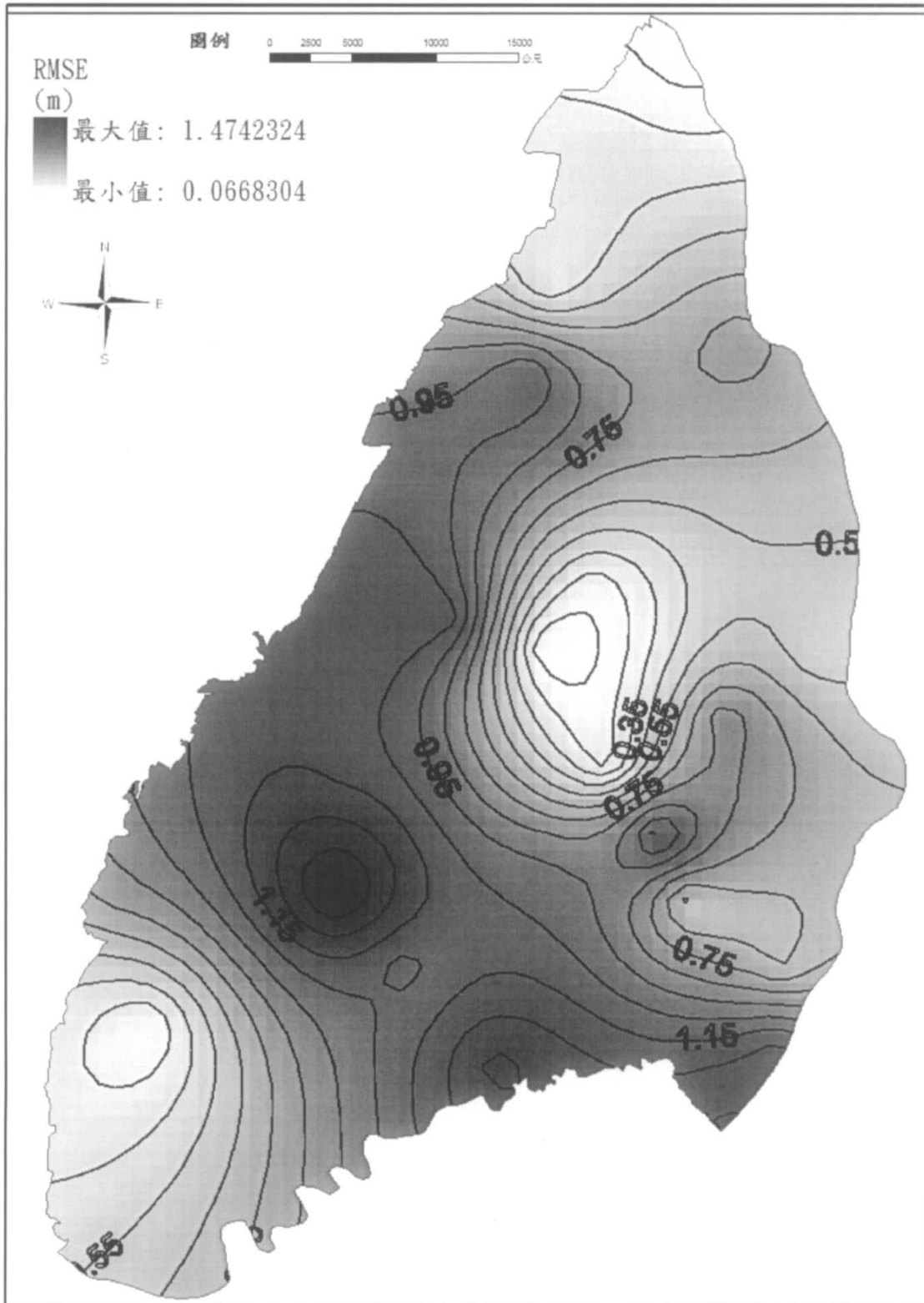


圖 5.5-8 2009 年模式第一層均方根誤差分布圖

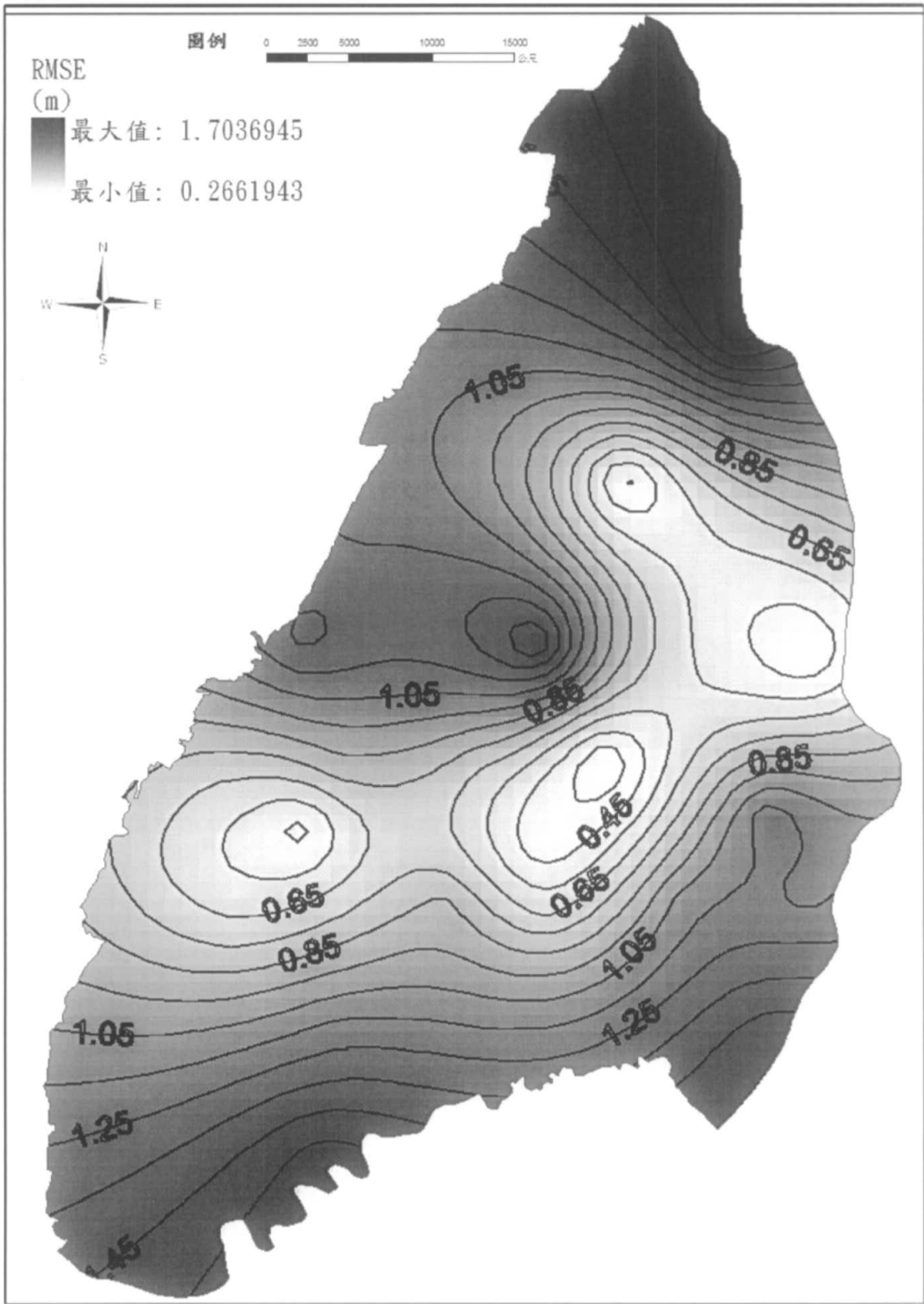


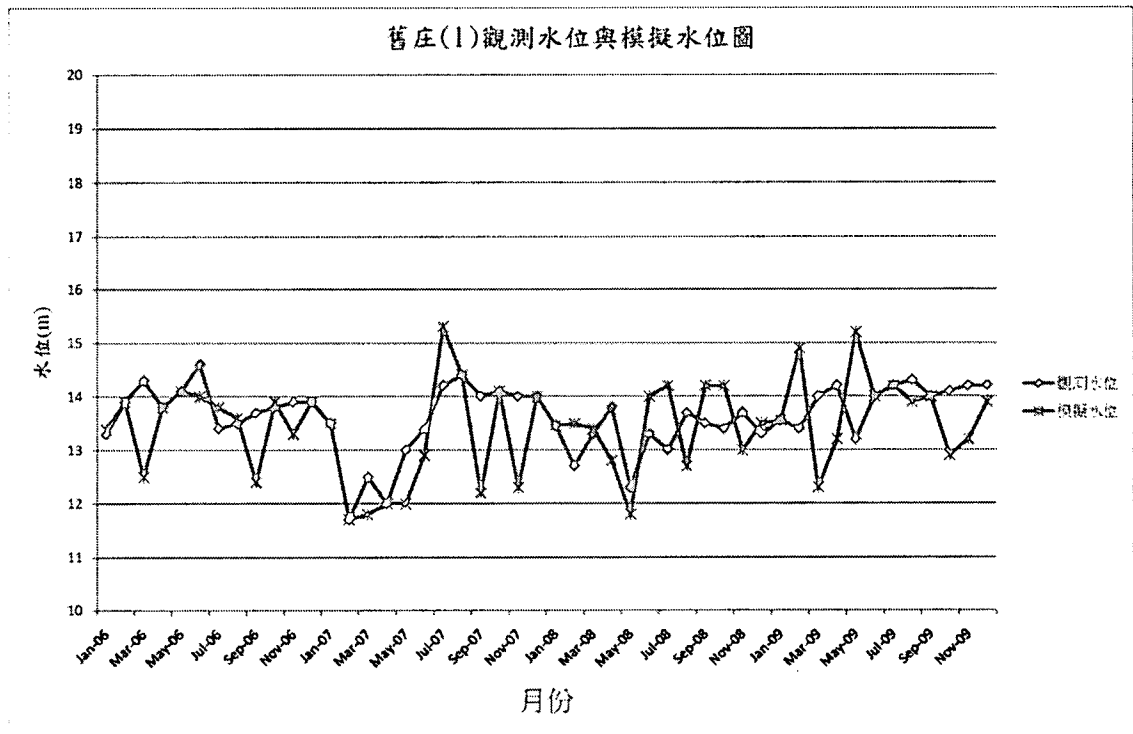
圖 5.5-9 2009 年模式第五層均方根誤差分布圖

2. 檢定結果之時間分布：

由於不同水位站與不同分層之檢定誤差不斷變化，為呈現檢定結果之優劣，本計劃以 2006 至 2009 年(合計共四年)進行成果展示，以各站四年水位之均方根誤差進行排序，分別挑選出第一層及第五層之均方根誤差最大、中等以及最小的觀測站，分別繪製觀測水位與模擬水位隨時間變化之水位圖，其中藍色線條為觀測水位值，紅色線條為模擬水位值，橫座標為月份，縱座標則是水位值。

圖 5.5-10 ~圖 5.5-12 分別為舊庄(1)、柑園(1)、溪州(1)三個觀測站，舊庄(1)均方根誤差值為第一層最大，該站位於濁水溪沖積扇之南方，緊鄰北港溪，水位值較容易受系統外的影響，在模式模擬中無法反應出此種影響，所以誤差值較大。

圖 5.5-13 ~ 圖 5.5-15 則為第五層之觀測站，分別為竹塘(2)、海園(2)、西螺(2)，其中竹塘(2)的誤差值雖然最大，但觀測水位與模擬水位仍呈現相同的趨勢。



圖

圖 5.5-10 舊庄(1)觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第一層均方根誤差最大之觀測站)

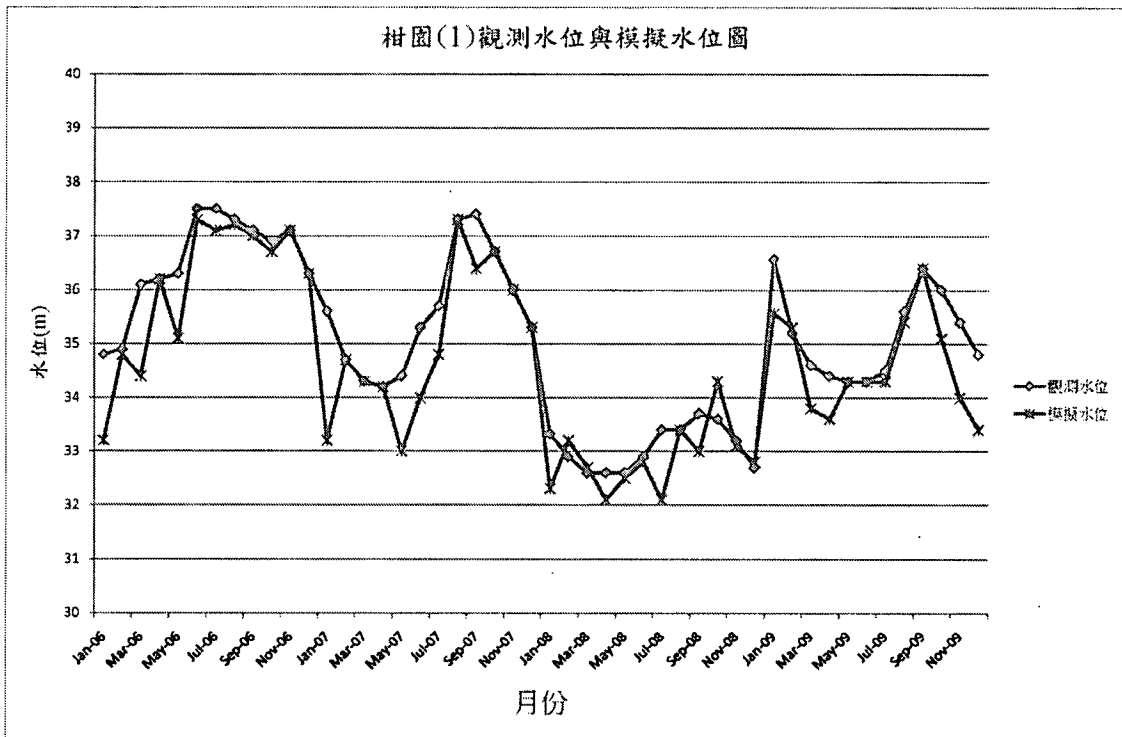


圖 5.5-11 柑園(1) 觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第一層均方根誤差中等之觀測站)



圖 5.5-12 溪州(1) 觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第一層均方根誤差最小之觀測站)



圖 5.5-13 竹塘(2)觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第五層均方根誤差最大之觀測站)



圖 5.5-14 海園(2) 觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第五層均方根誤差中等之觀測站)

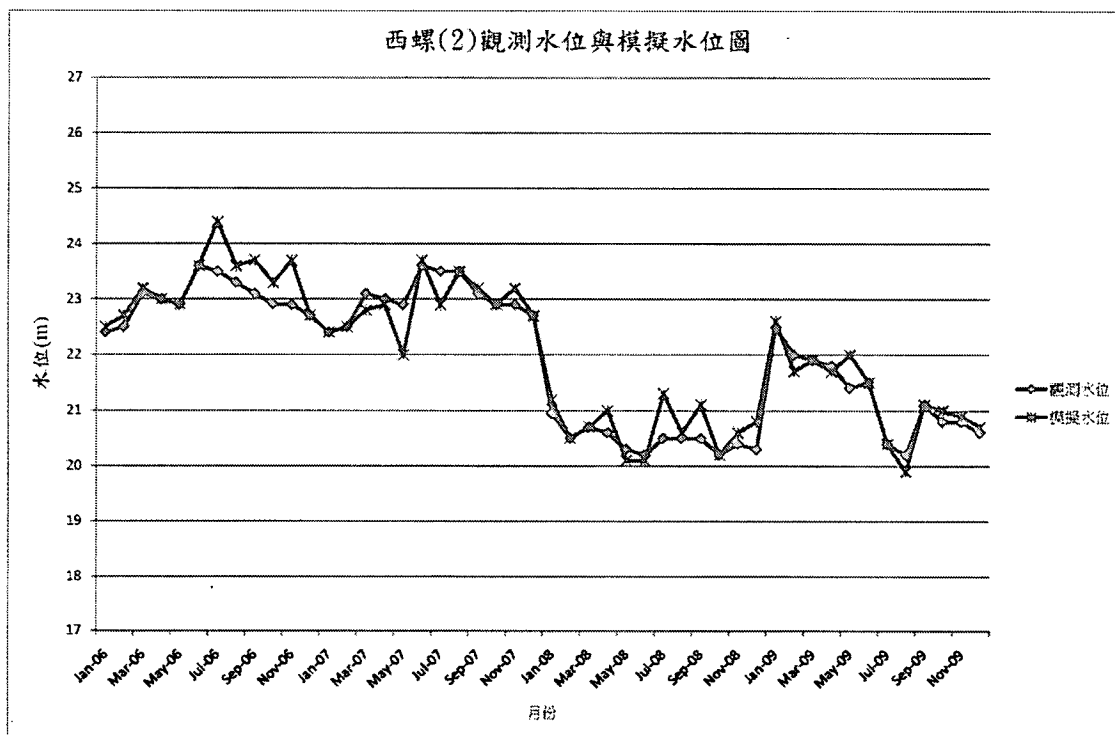


圖 5.5-15 西螺(2) 觀測水位與模擬水位圖(2006 至 2009 年第五層均方根誤差最小之觀測站)

3. 各分層抽水量與補注量統計分析

表 5.5-2 與 5.5-3 列出 1998 至 2003 及 2006 至 2009 年之各層抽水量、補注量與邊界流入量檢定結果，其中由於表層補注量是直接以水位歷線法結果給定。此外由於補注量是由外界穿越未飽和層，進入第一層含水層，下方含水層受到第一層含水層阻隔，因此不給定補注；由於第一層含水層與海相鄰處。以定水頭邊界條件給定，邊界流入量即為邊界處交換之水量。

由列表顯示，平均年補注量為 7.5 億噸，平均邊界流入量為 0.21 億噸，平均年抽水量約 8.05 億噸，其中以第一、第三層最多（分別為 2.3 及 2.25 億噸），第五層次之（2.07 億噸），第七層之抽水量（1.43 億噸）則較少。

以下分析僅針對豐水年(2008)、平水年(2009)以及枯水年(2003)作討論，在補注量部分，豐水年、平水年與枯水年之補注量依序為 8.09 億噸、7.8 億噸與 7.64 億噸，符合降雨之年度特性。在抽水量部分，枯水年的抽水量最多，平水年次之而豐水年最少，與補注量之分布相反，顯示當降雨量減少，會改由地下水系統抽取提供。而在總量部分，枯水年的抽水量大於補注量，呈現超抽的情況。

表 5.5-2 暫態模式各層補注量、抽水量與邊界流入量表

年份	第一層 補注量	第一層 抽水量	第三層 抽水量	第五層 抽水量	第七層 抽水量	邊界流 入量	備註
1998	699	197	177	159	108	26	
1999	584	209	187	175	118	15	
2000	744	256	224	202	131	16	
2001	913	233	217	209	153	18	
2002	671	241	253	208	159	27	
2003	764	245	268	255	178	24	枯水年
2006	669	213	199	192	101	21	
2007	872	212	231	210	154	24	
2008	809	219	224	215	143	18	豐水年
2009	780	276	268	246	183	21	平水年
平均	750	230	225	207	143	21	
單位：10 ⁶ (m ³)							

表 5.5-3 暫態模式水平衡分析表

年份	總補注量	總抽水量	淨補注量	備註
1998	699	642	83	
1999	584	689	-90	
2000	744	813	-53	
2001	913	812	119	
2002	671	861	-163	
2003	764	946	-159	枯水年
2006	669	706	-16	
2007	872	807	89	
2008	809	801	25	豐水年
2009	780	974	-173	平水年
平均	750	805	-34	
單位：10 ⁶ (m ³)				

第六章 扇頂補注區現地補充調查及分析

濁水溪是台灣最重要的地下水資源區之一，與屏東平原共同提供了全台超過 60% 的地下水抽用量。此兩區大都由沖積扇所組成，扇頂的巨厚礫石層構成了主要的補注區，以濁水溪沖積扇為例，扇頂補注區即佔全區約 57% 的地下水補注來源（江崇榮等，2006）。濁水溪沖積扇補注區的西邊界約沿著田中、柑園、荊桐、虎溪、及古坑；東邊界應沿著八卦台地及斗六丘陵的分水嶺。扇頂區除了是地下水資源豐富的區域，也是本區地下水的源頭，若有污染滲入，將對地下水資源產生很大的衝擊。許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區（Critical Aquifer Recharge Area）、喬治亞州的 GRAD 區（Groundwater Recharge Area District），但台灣尚在起步階段，所以極需進行此基礎調查研究（City of Issaquah，2009）。

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考，本項工作補充調查分為三大工作：(1) 以地球物理探測方法，調查扇頂水文地質分界帶；(2) 調查補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制；(3) 六合站鑿建抽水井及抽水試驗分析，調查相關水文地質參數。

6.1 雲林地區扇頂補注邊界地電阻測勘

本調查工作採用地電阻調查方法，在由地質鑽井岩心與地表調查等資料判定之彰化地區濁水溪沖積扇補注區邊界，由北至南沿扇頂向扇尾方向，分區完成四組二維地電阻影像剖面測線，每組二維地電阻影像測線總長度約為 1 公里，以協助補注區之劃設。由於目前一般補注區劃設之工作，均依據鑽井與地質鑽探之資料進行，而由於鑽井地點與經費之限制，無法由密集之鑽井資料判斷補注區之確切分佈範圍，因此往往造成許多爭議。由於扇頂補注區地質主要為厚層之礫石層所組成，因此常形成良好之入滲通道，使得天水與地表水可沿礫石層較疏鬆之間隙而補注至淺層之非拘限含水層(Unconfined aquifer)，甚至是較深層之受壓拘限含水層(Confined aquifer)；而漸至沖積扇尾地區，近地表之沉積物則逐漸轉變為厚層之泥層，形成良好之難透水層(Aquitard)。由沉積物之導電特性來看，飽和之礫石層與泥層具有截然不同的反應，一般而言，礫石層具有較高之電阻率(約 10~100 Ohm-m)，而泥層則電阻率極低(約 1~10 Ohm-m)，由於上述礫石層與泥層之空間分佈特性，因此可以快速的由地電阻剖面上辨識出沖積

層之礫石與泥層分布之情況，配合地區已有之鑽井資料，可以快速的協助判斷及確定厚層礫石所形成的補注區域的範圍。預期在四組測線完成後，配合區域的鑽井資料，能建立一套快速且經濟的補注區範圍判釋做法標準，並且提供本地區之基礎地下探測資料，協助未來繼續進行補注區域範圍劃設之作業。

6.1.1 地電阻調查原理及施作方法

一、電阻率測勘原理

一般影響地下地層電阻的因素有岩性、礦物組成、含水量、孔隙率、孔隙水組成及溫度等，當地層層序變化造成有明顯的層間電阻率對比，或是欲探測地下不同電阻率目標之存在，例如隧道、埋藏金屬物、未爆彈(UXO)等，就適用於地電阻方法作為探測工具。地電阻法之測勘原理，乃利用直流電或低頻交流電流經由一對電極(A、B)通入地下，於地下建立人工電場。並利用另一對電極(M、N)測量電場在M、N間之電位差(如圖 6.6-1)，而據此計算地層的視地電阻率(Apparent Resistivity)，進而再運用反推計算方法推求地層真實地電阻率(True Resistivity)。

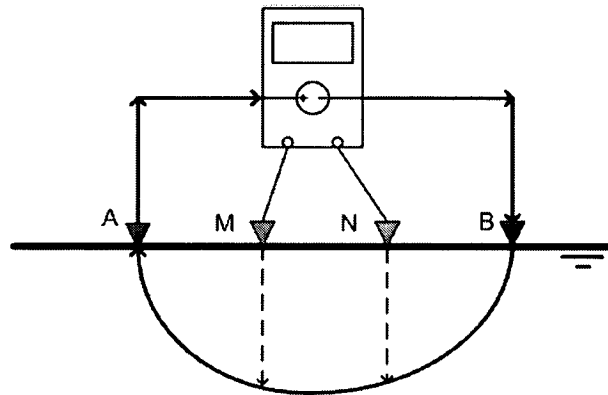


圖 6.1-1 地電阻探測儀器示意圖

根據歐姆定律，電流(I)與電壓(V)成正比，而與電阻(R)成反比

$$V = IR \dots \dots \dots (式6.1-1)$$

當電流通過不同的地質材料時會因為電阻性質不同，而測得不同的電位差；而電阻性質的大小則又決定於電流流過地質材料之流線長度和流線之總截面積，以及物質的內部性質(即電阻率(ρ))有關，可進一步表示為

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(\text{式 6.1-2})$$

$$\rho = R \frac{A}{l} \dots\dots\dots(\text{式 6.1-3})$$

上式中，R為電阻， ρ 為電阻率， l 為電流流線的長度， A 為電流線的總截面積。在任一均質的地表通入電流強度為 I 之直流電，因為空氣為絕緣體，因此電流會同經由導入點呈放射狀向外流出，成為一個半球面(如圖6.1-3)體。而電流是等量的分配在每一個地方，所以距通入電流 r 處，電位(V)也相等，且在均質的地表定義極薄的殼層為 dr 。

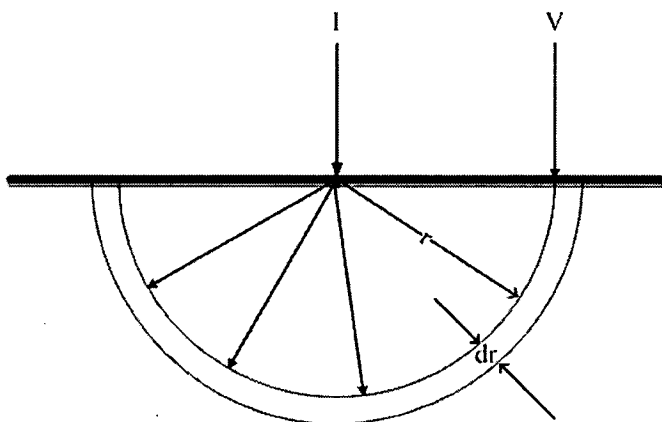


圖 6.1-2 電流流動示意圖

透過歐姆定律(3.1)式定義電位差穿過此殼層電位差為

$$dv = I(R) = I \left(\rho \frac{l}{A} \right) = I \left(\rho \frac{dr}{2\pi r^2} \right) \dots\dots\dots(\text{式 6.1-4})$$

故距單電流極 D 之任一點其電位為

$$\begin{aligned} V &= \int_D^\infty dv \\ &= \frac{I\rho}{2\pi} \int_D^\infty \frac{dr}{r^2} \dots\dots\dots(\text{式 6.1-5}) \\ &= \frac{\rho I}{2\pi D} \end{aligned}$$

運用上述原理，可進行地電阻法(Geoelectric Resistivity Method)之測勘，其原理為：假設在均質的地面上任意布上四根電極(A, M, N, B)，經由一對電極(A, B)導入直流電或低頻之交流電，於地下建立人工電場；並利用另一對電極(M, N)測量電場在 M, N 間之電位差如圖 6.6-2，據此即可計算該地層的視電阻率 (Apparent Resistivity) 由(式 6.1-5)推出

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_{\overline{AM}} - V_{\overline{AN}}) - (V_{\overline{BM}} - V_{\overline{BN}}) \\ &= \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right] \\ \rho &= \frac{\Delta V 2\pi}{I} \left[\left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right]^{-1} \dots\dots\dots(\text{式6.1-6}) \end{aligned}$$

(式6.1-6) $K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right]^{-1}$ 可進一步縮寫為下式：

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \dots\dots\dots(\text{式6.1-7})$$

ΔV ：電位差，

$V_{\overline{AM}}$ 、 $V_{\overline{BM}}$ 、 $V_{\overline{AN}}$ 、 $V_{\overline{BN}}$ ：電流極對電位極的絕對電位，

\overline{AM} 、 \overline{BM} 、 \overline{AN} 、 \overline{BN} ：電極至電極間的距離，

K ：幾何排列因子(Geometric Factor)。

但往往視電阻率並不能代表地下地層的真實電阻率(True Resistivity)，而是表示在對應之電極排列下，所有小於此深度的電性地層的綜合效應，而要求得地下地層的真實電阻率及深度需經過反演計算(逆推)的軟體處理才可求得，並繪出地層的電性影像，綜合上述的結果統稱為“地電阻率的剖面影像法”。

二、維地電阻影像剖面方法

地電阻量測可以藉由改變上述電極排列方式以及施測之位置與順序，以測得不同解析度、不同測深範圍之地電阻率剖面。常見的地電阻測勘的電極排列法甚多，各有其探測上的優點與限制，野外施測所選定使用的方法，則視欲探測目標及施測地點的地形而異。一般基本之常用電極排列有：施蘭卜吉排列(Schlumberger Array)、溫奈排列(Wenner Array)、雙偶極排列(Dipole-dipole Array)及雙極排列(Pole-pole Array)等。

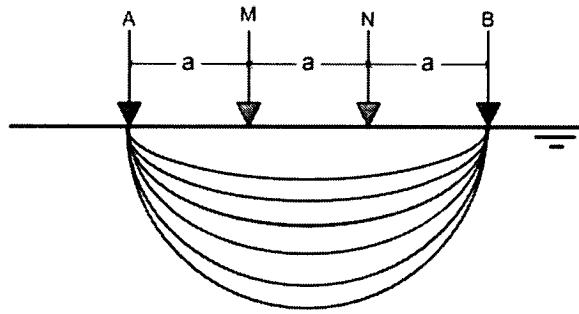


圖 6.1-3 溫奈排列 (Wenner Array) 示意圖

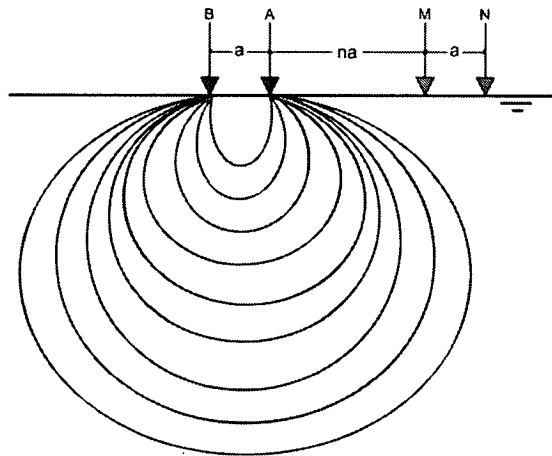


圖 6.1-4 雙偶極排列 (Dipole-dipole Array) 示意圖

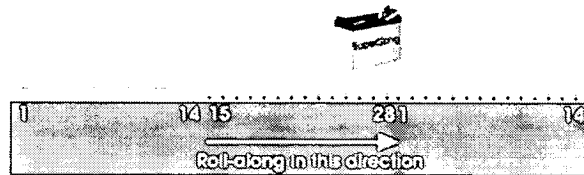


圖 6.1-5 二維地電阻剖面影像探測示意圖

目前一般現地地電阻測量方式則是運用上述之電極排列法，於地表沿一直線測線，順序改變電極間距與電極位置，如此可以測得沿測線之不同深度、不同位置之視電阻率分佈，此種方法稱之為(二維)地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling, RIP)。由於地電阻影像剖面法需逐次移動電流與電位之電極，因此施測上往往極為耗費時間。對於中小範圍的環境監測與地下測勘，可以於地表以一定間距佈設電極，運用地電阻儀器內建之自動調變頻道功能，依預先選定之順序，逐次選用不同位置之四處電極分別作為電流與電位極，如此可大幅減少移動電極之時間，另外由於可以運用反饋疊加訊號，因此可減少訊號中之

雜訊並提高解析度與增加施測深度，大幅提高影像解析度。

本工作所採用的儀器為美國 Advanced Geosciences, INC.(AGI)公司之 SuperSting R1/IP 地電阻儀，並連接可由電腦程式控制調變頻道之 SmartCable 系統，此系統可選用特製之水下電極進行湖盆或海底地電阻探測，最多可以同時接連 256 根電極，進行快速、高密度之地電阻影像剖面量測。本研究所採用的反演算數值軟體為 AGI 所開發出之二維地電阻影像逆推反算程式 EarthImager 2D™。EarthImager 2D/3D 之反算程式可根據各種不同電極排列，與施測位置順序等資料，自動反推計算出半球面空間中的二維地電阻模型，並可根據已知資料如透地雷達測勘資料等，設定起始模型，最後產生地電阻影像剖面模型。

6.1.2 本年度工作項目

本調查工作預計採用地電阻調查方法，在由地質鑽井岩心與地表調查等資料判定之雲林地區濁水溪沖積扇補注區邊界。沿扇頂向扇尾方向，分為四個區域調查；並以放射狀施作，各區域均由扇頂至扇尾施作約 1 公里的平移式二維地電阻影像剖面測線。

去年度(98)工作中係以輪替式測線之做法調查北岸之地下水補注區邊界，輪替式測線之做法是採用兩條固定間距之二維電極陣列(Electrode array)，沿一條測線方向，以交互輪替移動的方式進行施測(如圖 6.1-6)。由於二維地電阻影像方法之測深決定於電極陣列之長度，因此聯合兩條電極陣列可達之測深遠較單一電極陣列較大，而輪替式的方式則每次移動僅需移動一條電極陣列，在時間上較有效率。輪替式的施測方式，運用單次 400 公尺之施測方式，根據圖 6.1-6 之做法交替中一半之電極佈設位置，逐漸向測線延展方向進行長距離之施測。如此可以進行一條極長之地電阻測線，以提供補注區範圍劃設之用。

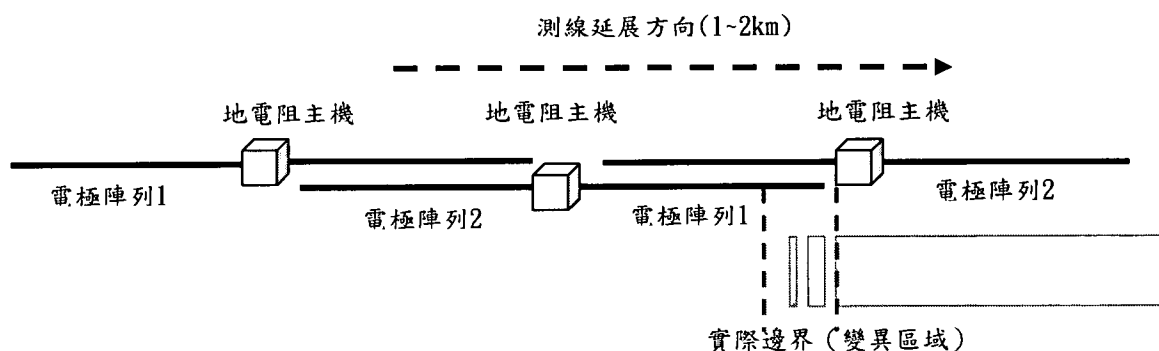


圖 6.1-6 地電阻輪替式(Roll-along)陣列施測方式示意圖

但是根據去年度(98)於彰化地區施測之經驗，本區由於人為開發之密集，

很難沿一連續測線進行施測。因此本年度(99)計畫以改良式的平移測線設計，沿扇頂往扇尾或扇尾往扇頂方向進行平移式二維施測(如圖 6.1-7)，並視人為構造物分布規劃測區測線以減少不必要干擾。平移式測線是傳統的二維地電阻影像剖面測線施作方式，但以本年度的雲林地區工作而言是較有效率的。這種施測方式主要是針對尋找地表下構造或岩性不連續邊界時所使用。初次測點開始進行地電阻施測後，若從反演算影像研判初次測點並未找到地表下變異邊界，則平移方向指向疑似區域進行第二測點之施作。若第二測點之反演算影像特性已和初次測點完全迥異，則平移至第一測點及第二測點連線之中點，藉以包夾、逼近地表下構造或岩性不連續邊界並予以劃定。

預計採用之每條電極陣列之電極間距為 10 公尺，陣列長度為 200 公尺，因此聯合兩條電極陣列之單次施測長度約為 400 公尺，估計測深約可達 50-70 公尺，根據目前本區之鑽探資料顯示，近地表發現之約 10 公尺厚之泥層一般已被視作具有足夠阻水特性之難透水層，因此上述之測線設計應已足夠作為扇頂補注區劃設調查之用。

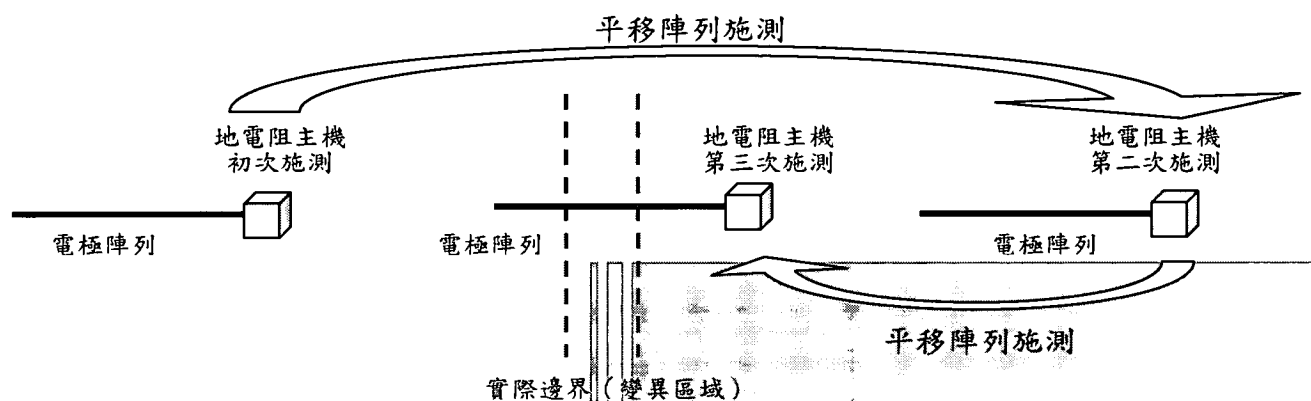


圖 6.1-7 地電阻平移式陣列施測方式示意圖

根據去年度(98)之二維地電阻剖面工作成果，發現所研判之補注區邊界，較原先由彰化地區一維地電阻之 50 公尺半展距分佈圖 50 Ohm-m 視電阻率等值線之邊界要更往扇頂靠近，大約相當於 50 公尺半展距分佈圖視電阻率 60 Ohm-m 等值線之分佈位置。因此由過去雲林地區一維地電阻、地質鑽探及地下水井井測資料，初步大致沿 50 公尺半展距分佈圖視電阻率 60 Ohm-m 等值線分佈研判本區之扇頂補注區邊界(如圖 6.1-8)。

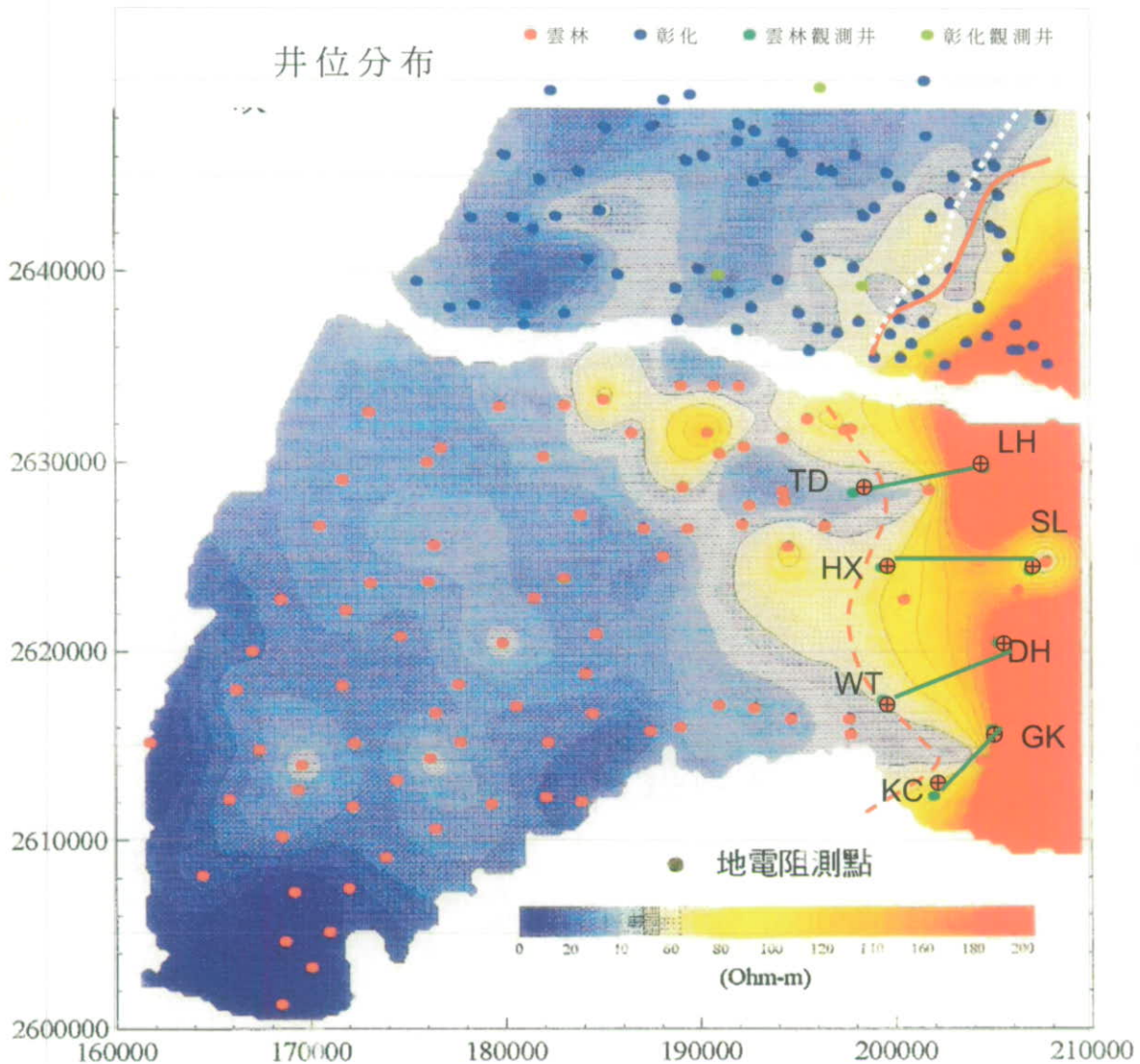


圖 6.1-8 彰化地區 50 公尺半展距一維地電阻分布圖與本年度地電阻預定測線及推測補注區界線位置圖(白色虛線為由 50 Ohm-m 等值線推測之扇頂補注區邊界，紅色實線為 98 年度二維地電阻探測工作研判之邊界，紅色虛線為沿 60 Ohm-m 等值線推測之雲林地區扇頂補注區邊界。紅色圓圈為邊界附近觀測井位置：TD：荊桐，LH：六合，HX：虎溪，SL：石榴，WT：溫厝，DH：東和，KC：崁腳，GK：古坑。)

本年度 (99) 調查工作預計於濁水溪南岸的雲林地區，於荊桐、六合、虎溪、石榴、溫厝、東和、崁腳、古坑等地下水觀測井測站連線附近(如圖 6.1-8 及圖 6.1-9)，進行長距離(1 公里以上)地電阻施測。根據去年度(98)結果顯示扇頂補注區界限帶之位置(如圖 6.1-8)，可能比先前由觀測井鑽井資料及一維地電阻施蘭卜吉(Schlumberger)測深法所推測之界限要再向扇頂側偏移約 300-800 公尺。故本次劃設預設補注區邊界時有向上扇偏移的考量。



圖 6.1-9 彰化地區地電阻預定測線位置分佈圖

本調查工作 99 年度預計完成以下工作項目：

1. 完成四條地電阻平移測線野外施測

去年度 (98) 水利署彰化地區地下水觀測井中，我們以竹塘及柑園兩處做為標準剖面之控制點，並於竹塘觀測井南側約 500 公尺處，與柑園觀測井南側約 5 公尺處分別施測 300 公尺之長距離雙偶極距地電阻法，並利用反演算建立影像剖面。結果顯示低電阻泥質地層大部分電阻率在 20 Ohm-m 以下，可判斷主要為泥質地層組成。側向延伸在局部有為垂直較高電阻率構造斷開之現象，但仍可大致判斷此層之延伸情形，而砂質與礫石地層則電阻率均在 30 Ohm-m 以

上，可據以判斷泥質地層之延伸界線分佈。而且，泥質地層之延伸界線為一過渡帶，並非一陡變界線。

本年度預計利用 3-4 個月之時間，沿濁水溪南岸雲林縣境內，自扇頂往扇尾或扇尾往扇頂方向，在初步分析判定之補注區邊界附近施作四組總長度 1 公里以上之地電阻平移式測線，四組測線的延展方向與長度之決定，為由初次測點開始進行地電阻施測，若從反演算影像研判初次測點位於厚層泥層區域，則平移方向指向扇頂進行第二測點之施作。若從反演算影像研判初次測點位於厚層礫石層區域，則平移方向指向扇尾進行第二測點之施作。如此以平移測線的方法，包夾、逼近補注區邊界，測線之平移延展終點之決定為跨過礫石層或泥層漸變交界界線再延伸約 150 公尺處。

2. 重點區域地電阻補充調查

由於二維測線沿著由扇尾至扇頂方向之測線進行施測調查，因此在邊界分佈之調查中，可能有部分區域之地層分佈須再進行詳察驗證，因此重點區域補充調查係為補足前述四組測線在空間中涵蓋之不足部分或有疑義之部分進行補充，並比對本年度新鑽井與現有觀測井之岩心紀錄，以增加分析之可信度。由四組地電阻長測線之結果加以分析研判，再針對有疑義之區域進行更詳細之調查，利用較高解析度之地電阻影像協助辨識分析補注區之劃設範圍。本工作預計利用 3-4 個月完成。

3. 運用沖積扇地電阻率之不同分佈協助劃設補注區之分析

利用上述之野外工作之成果，配合當地之鑽井與地質鑽探資料，可進一步運用繪出二維與三維之電性空間分布圖，並進一步交叉比對其他水文地質資料，研擬出運用地電阻率之空間分布劃設補注區邊界之標準分析做法。

6.1.3 資料分析結果

本調查工作已於濁水溪沖積扇彰化地區完成(1)兩條提供與鄰近觀測井之 400 公尺之地電阻率影像標準參考剖面，以及(2)沿圖 6.1-7 之荊桐-六合連線位置，總長度為 1390 公尺之地電阻剖面量測(分佈位置如圖 6.1-10)。量測之初步判釋結果敘述如下：

一、電阻率標準剖面建立與觀測井岩性比對

根據前一(98)年度之二維地電阻剖面工作成果，由沉積物之導電特性初步判斷，飽和之礫石層與泥層具有截然不同的反應，概括而言，沖積扇補注區域主要為礫石層之分佈，而形成難透水層的則多為泥層或含泥較多之砂層所組成。而礫石層一般之電阻率(約 50~100 Ohm-m) 較泥層(約 1~10 Ohm-m)為高，為確定濁水溪沖積扇地區礫石層與泥層具有預期之空間分佈特性，而能由地電阻率剖面上鑑別出來，並且協助決定本地區泥層與礫石層之反應差別。

根據前一(98)年度之二維地電阻剖面工作成果，觀察柑園觀測井地電阻影像剖面，在觀測井所在位置(位於測線相對位置約 95 公尺處)附近之測線旁約 1 公尺處存在另一口民用抽水井(位於測線相對位置約 90 公尺處)，而其相對位置之地電阻影像呈現一明顯之較高電阻率垂直構造，研判此處之地電阻影像因受抽水干擾而呈現此一抽水引起之較高電阻率垂直構造，若將井測資料與 50 公尺外之地電阻率垂直分佈剖面比對，則兩者垂直變化之趨勢與數值均相當一致，地表至 12-15 公尺深附近為電阻率較高之未飽和層，電阻率在 200 Ohm-m 以上，而 12-15 公尺至約 50-55 公尺深處則為電阻率在 30 Ohm-m 以上之飽和砂礫層，50-55 公尺深以下則又為電阻率在 200 Ohm-m 以上之飽和礫石層。顯示地電阻剖面法能有效反映地下構造之分布情形。

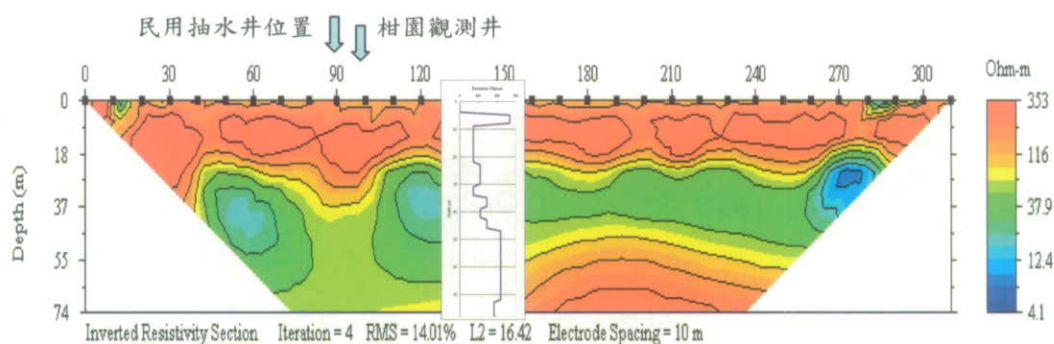


圖 6.1-10 柑園剖面與柑園觀測井測資料(64''電阻井測) 對比結果

本年度(99)工作選定水利署彰化地區地下水觀測井中，荊桐以及六合兩處做為標準剖面之控制點，並於荊桐觀測井南側約 500 公尺處，與六合觀測井北側約 100 公尺處分別施測 400 公尺之長距離雙偶極距地電阻法，並利用反演算建立影像剖面。

荊桐觀測井位於荊桐市區荊桐國小內，因為市區住宅及人為建物密集，為減少不必要的干擾及考慮到實際可行測量點位，原標準測線施測位址向南平移

至荊桐國中附近（圖 6.1-11）。測線約以省道一號（台一線）以東約 400 公尺為左界，向東北沿農用道路延伸約 400 公尺。

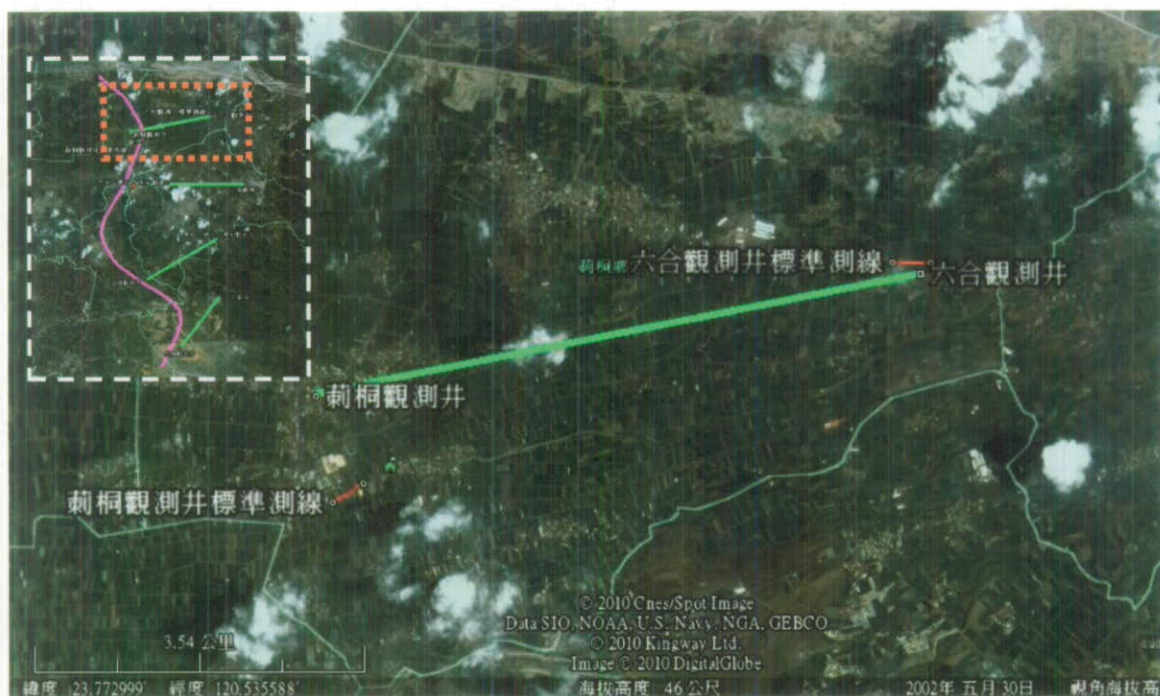


圖 6.1-11 荊桐與六合觀測井標準測線與觀測井的相對位置。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此趨相對雲林地區的位置。



圖 6.1-12 為荊桐觀測井標準測線之佈設位置圖，施測方式選用 Dipole-dipole 方法。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對荊桐區測線的位置。

由先前鑽探岩心及地下水位觀測研究，荊桐站已位於扇頂補注區之外，故選擇荊桐站觀測井作為對比之原因。根據荊桐地區 400 公尺地電阻影像標準剖面所顯示圖 (6.1-13)，電阻率有一較低(約在 20 Ohm-m 以下)之地層分佈於整個標準剖面，深度約為 16-48 米之位置。但是比對荊桐地區之 400 公尺地電阻影像標準剖面以及荊桐觀測井之 64”電阻井測對比資料，觀察發現兩種資料呈現了不一致的情形。

但若比對於南側 2.5 公里處的虎溪觀測井垂直電阻率分佈、64”電阻井測資料與此站鑽探岩心資料，所顯示在約 21-44 米左右為厚泥層。虎溪觀測井的井測之資料也顯示有一層較低電阻值之地層存在於高電阻地層之上，而兩層之交界約在 44 米左右。

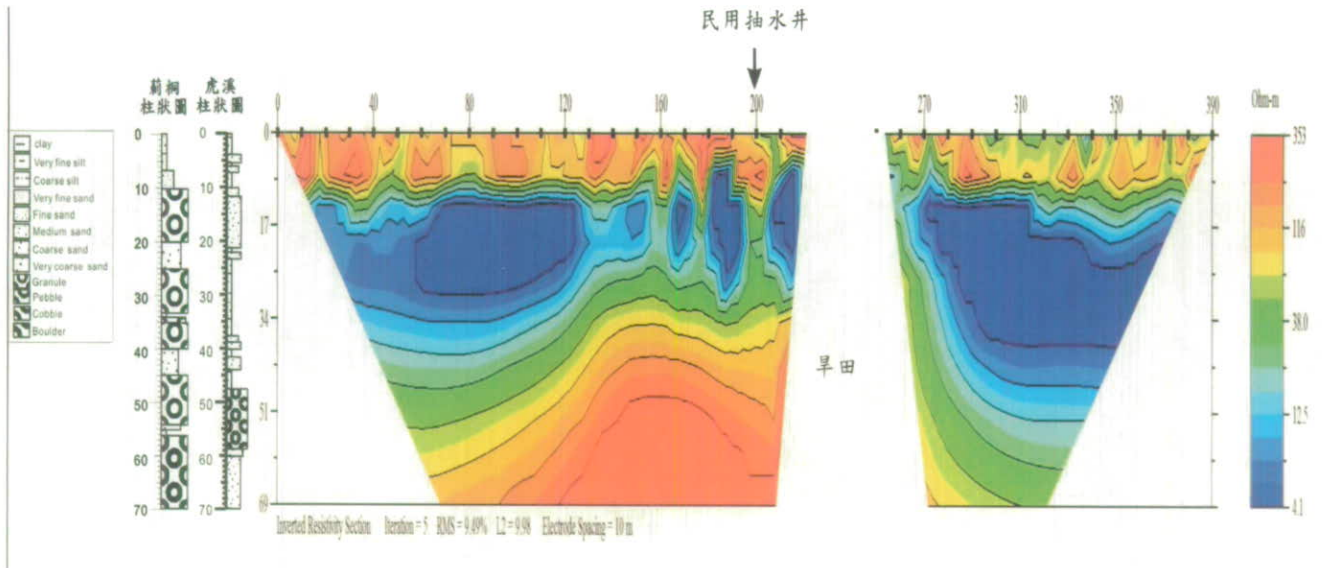


圖 6.1-13 荊桐剖面與荊桐、虎溪觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果

由此觀察發現，越過荊桐市區後，荊桐地電阻影像標準剖面測定地點的特性已經接近虎溪觀測井。這在自然界的沉積作用中所產生的非線性幾何構造分布情形，尤其是沖積扇所形成的舌狀（指狀）、透鏡體泥質沉積構造在垂直水流方向的測向變異上是可以接受的。由先前鑽探岩心及地下水位觀測研究，虎溪觀測井亦位於扇頂補注區之外。且此站鑽探岩心資料所顯示在 16-44 米左右存在一層厚層泥層，其下則為一層礫石層。

依照去年度（98）實作經驗，形成難透水層多為泥層或含泥較多之砂層所組成。而礫石層一般之電阻率(約 50~100 Ohm-m) 較泥層(約 1~10 Ohm-m)為高，虎溪觀測井和荊桐地電阻影像標準剖面在比對後的特徵亦相符。

另一口觀測井--六合觀測井位於荊桐鄉六合國小內（圖 6.1-14），標準測線施測於六合觀測井北方約 100 公尺的農用道路北側的稻田內。測線約平行 154 號鄉道以六合觀測井為中心東西向延伸 400 公尺。

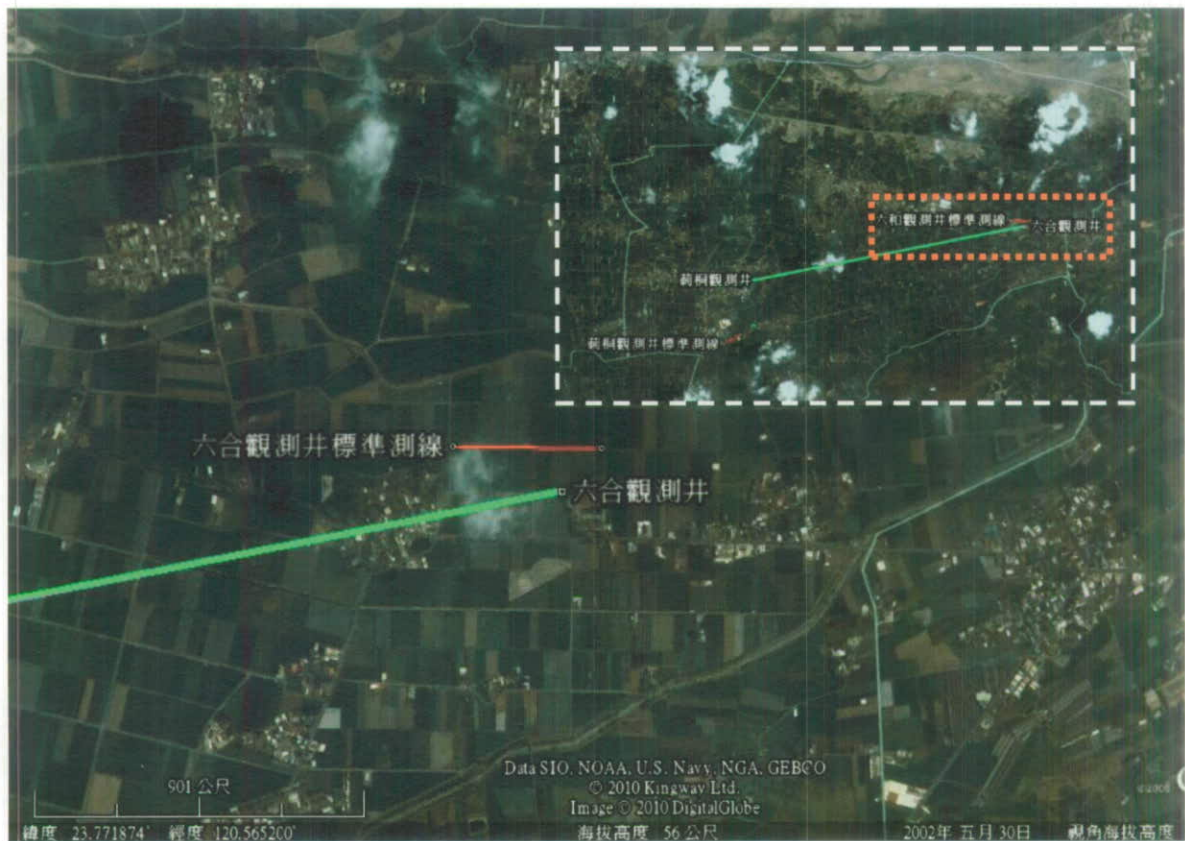


圖 6.1-14 為六合觀測井標準測線之佈設位置圖，施測方式選用 Dipole-dipole 方法。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對荊桐區測線的位置。

而圖 6.1-15 則顯示六合地區之 400 公尺地電阻影像剖面以及六合觀測井之 64'' 電阻井測對比資料，由於六合觀測井鑽探岩心資料所顯示在其井下幾乎為厚層之礫石層分佈，因此可作為距離補注區邊界最近之典型礫石層之代表，以作為與地電阻剖面對比之依據。

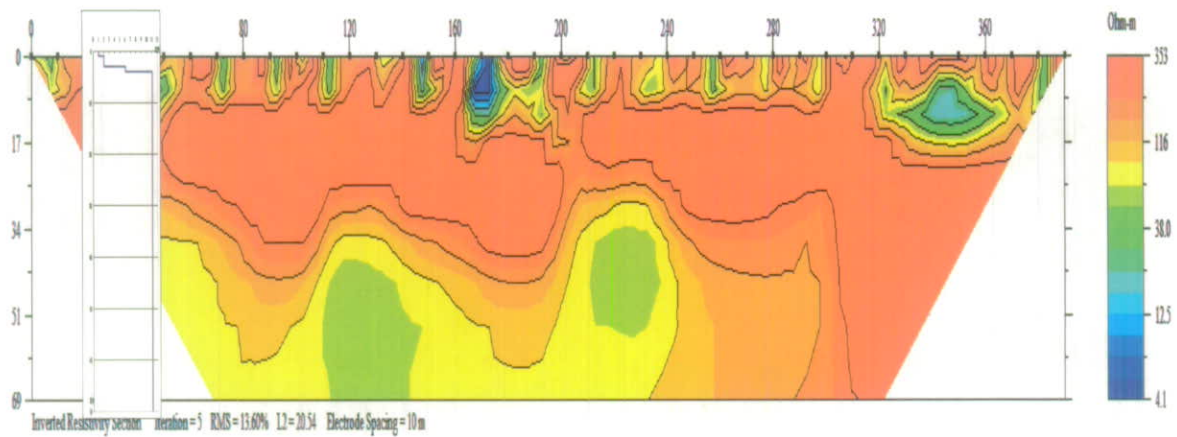


圖 6.1-15 六合剖面與六合觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果

二、區測線二維地電阻反演影像剖面測勘

荊桐區測線二維地電阻反演影像剖面測勘，自扇頂往扇尾方向，沿著刺桐-六合觀測井連線上，以東西向施作多次地電阻測線。初次測線（荊桐-01 測線）如圖 6.1-16 約略為刺桐-六合觀測井連線中心，由東向西依次為荊桐-01、02、03 測線。

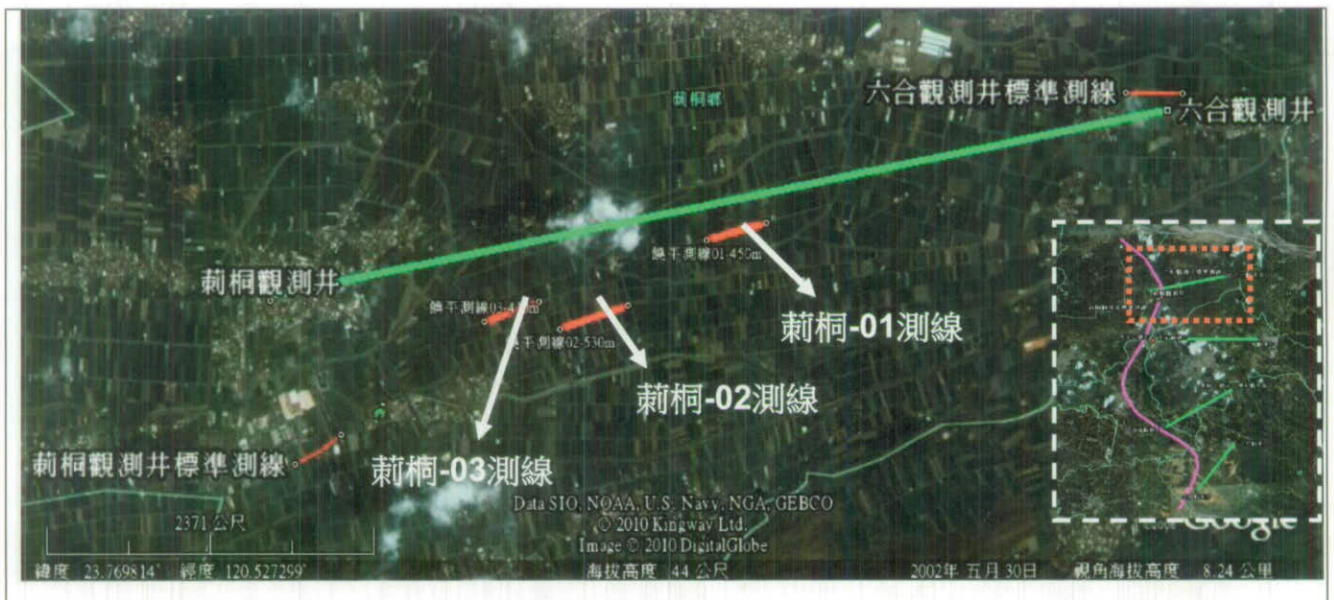


圖 6.1-16 荊桐區測線分布圖，由東向西依次為荊桐 01、02、03 測線。綠色線為六合與荊桐觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大區測線的位置。

若由反演算影像研判初次測點位於厚層礫岩層區域，則延展方向指向扇尾進行第二測點之施作。若從反演算影像研判初次測點位於厚層泥岩層區域，則平移方向指向扇頂進行第二測點之施作。如此以平移測線的方法，包夾、逼近補注區邊界。由於荊桐-六合觀測井連線經過人口密集處，故實際施測時測線設計必須避開人工建物等干擾源往南偏移。荊桐區測線施測方式則依現場狀況，分別選用 Schlumberger、Dipole-dipole、Pole-Pole、Wenner 等方法，藉以在人為建物所產生的雜訊中，求得最好的資料品質。

如圖 6.1-17、荊桐-01 測線（荊桐區測線）已避開人口密集區及大部份人為建物，由西向東施測，剖面方向約為東偏北 15 度。



圖 6.1-17 荊桐-01 測線（荊桐區測線）分布圖，測線長度 450 米。綠色線為荊桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對荊桐區測線的位置。

圖 6.1-18 (a)(b)(c) 分別為 荊桐區 荊桐 -01 測線之 Schlumberger、Dipole-dipole、Pole-Pole 二維地電阻反演影像剖面。由三種不同電極陣列所測量後的資料，經過反演算處理後的剖面影像上均可發現，深度約 14-55 公尺之地下為高電阻率約 30-80 Ohm-m 連續的訊號出現。依照去年度（98）實作經驗，形成難透水層多為泥層或含泥較多之砂層所組成。而礫石層一般之電阻率（約 50~100 Ohm-m）較泥層（約 1~10 Ohm-m）為高。比對荊桐觀測井深度 20-60 米處均有沙質及少量泥質出現（圖 6.1-11），這和二維地電阻反演影像剖面上 14-55 公尺之地下為出現相對較低電阻率（約 30-50 Ohm-m）的現象是吻合的。

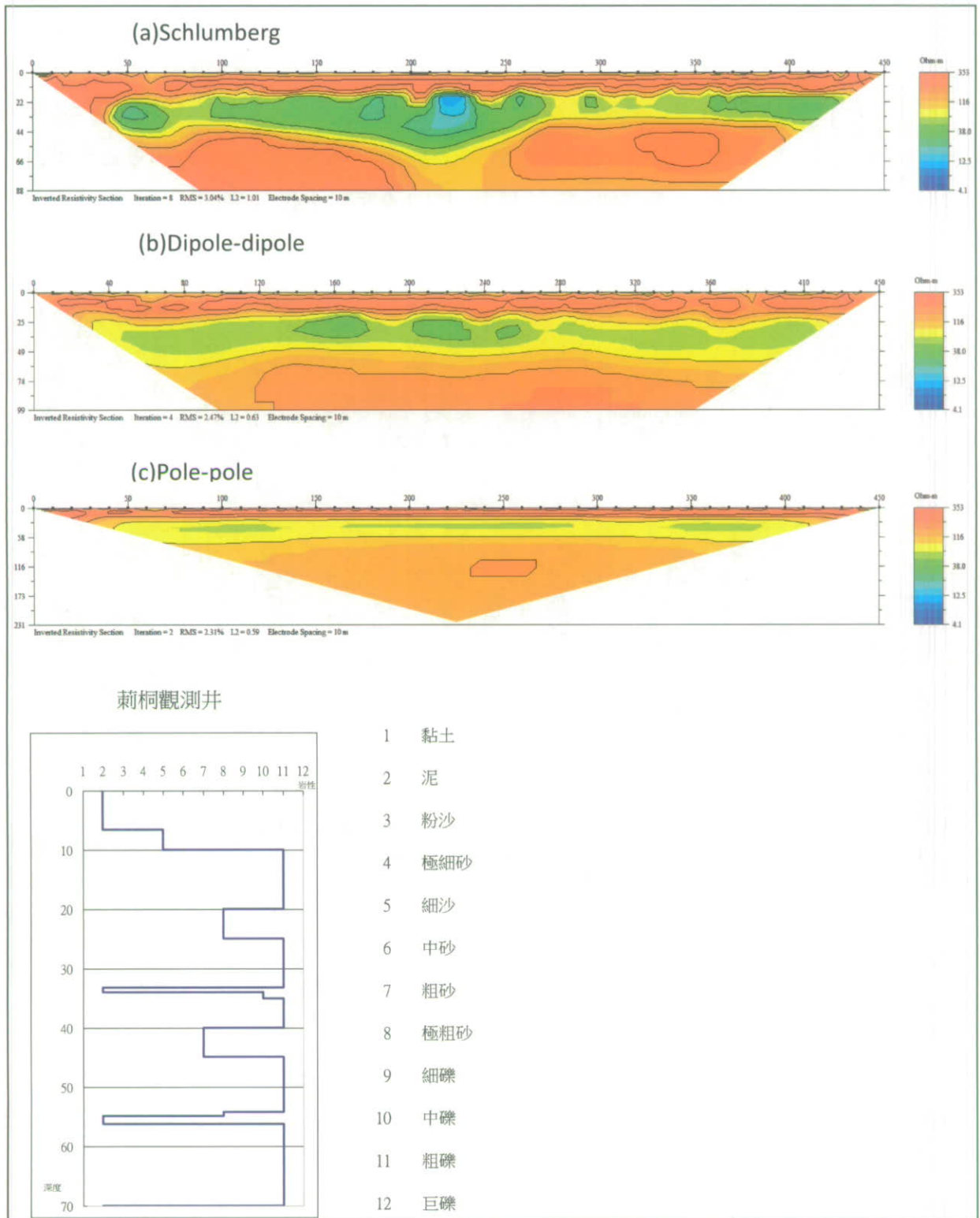


圖 6.1-18 (a)(b)(c)分別為荊桐區荊桐測線-01 之 Schlumberger、Dipole-dipole、Pole-Pole 二維地電阻反演影像剖面。

但是依照荊桐-01 測線剖面資料及去年度 (98) 在竹塘及柑園所做的地電阻影像標準剖面判斷，難透水層多為泥層或含泥較多之砂層所組成。荊桐-01 測線剖面中尚未有泥層(約 1~10 Ohm-m)的特徵出現，故研判本測線尚未進入補注區

邊界或超越補注區。因此若要標訂出補注區邊界，必須要往下扇方向施作下一條測線。

圖 6.1-19 為荊桐-02 測線佈設位置圖。原則上因為刺桐地電阻標準剖面已出現厚層泥層，並判斷該剖面已位於補注區之外，故荊桐-02 測線規劃亦大致沿著刺桐-六合觀測井連線，並偏向刺桐標準剖面方向。荊桐-02 測線在規畫上已避開人口密集區及大部份人為建物，由西向東施測，剖面方向約為東偏北 15 度。

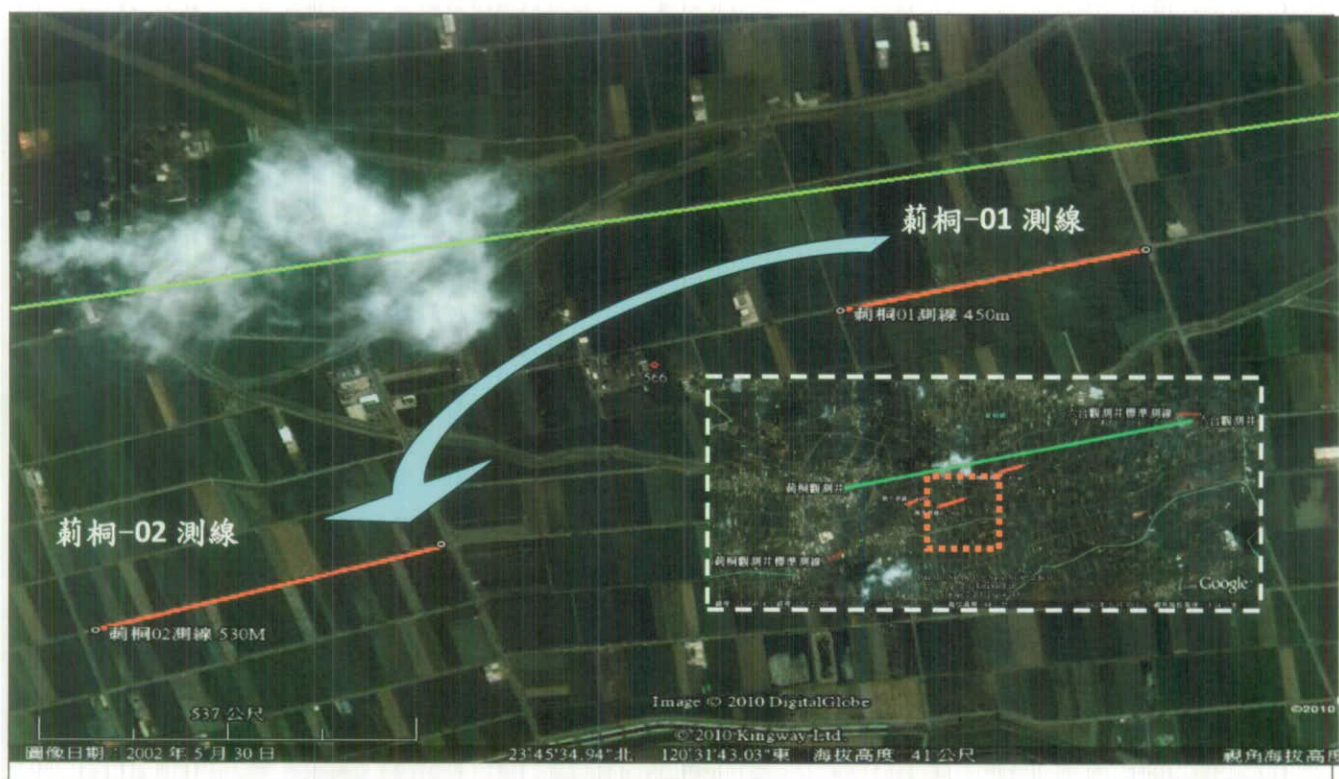


圖 6.1-19 荊桐-02 測線佈設位置圖，測線長度 450 米。綠色線為刺桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對刺桐區測線的位置。

因本區野外場地狀況良好，且測線沿線附近無人為建物干擾，且 Schlumberge 方法已足以提供本區調查所需解析，故施測方式僅選用 Schlumberge 方法。圖 6.1-20 為荊桐-02 測線二維地電阻反演影像剖面，以 Schlumberger 法施測。在荊桐-02 測線二維地電阻反演影像剖面上已經可以發現在 150 公尺、200 公尺、350 公尺、400 公尺、500 公尺處，深度約 14-55 公尺之地下有斷斷續續的低電阻率訊號出現(約 12-20 Ohm-m)但仍未小於 10 Ohm-m；位址於西側 0-90，測線深度約 14-55 公尺之地下，代表泥層(約 1~10 Ohm-m)的低電阻率已經開始明顯出現。

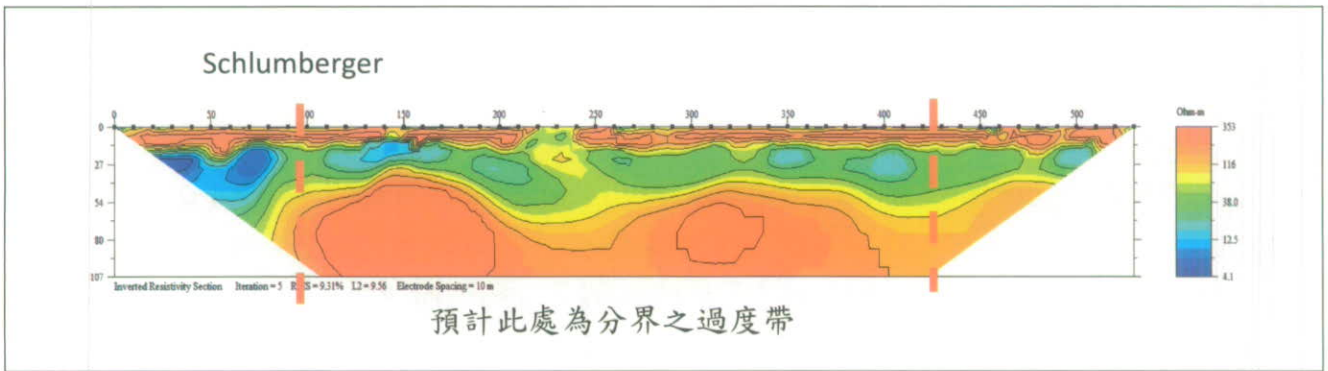


圖 6.1-20 荊桐-02 測線二維地電阻反演影像剖面，以 Schlumberger 法施測

經由荊桐-01 測線和荊桐測線-02 的測向改變可以發現，低電阻的特徵有由東到西，也就是由上扇到下扇持續增加的情形。泥質的訊號特徵(約 1~10 Ohm-m)已經出現在荊桐-02 測線的最西側，故研判本測線已經在補注區邊界的過度帶上。預計再往西進行地電阻測線量測，將會超越補注區邊界並找到厚泥層。因此若要描繪出補注區邊界在荊桐區測線附近變化的情形，必須要往下扇方向(西方)施作下一條測線。饒平測線-02 由於接近民宅之緣故，無法連續進行施測，因此繼續向扇尾方向施作平移式二維地電阻反演影像剖面探測(荊桐-03 測線)。如圖 6.1-21。



圖 6.1-21 荊桐-03 測線佈設位置圖，測線長度 410 米。綠色線為刺桐與六合觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對刺桐區測線的位置。

圖 6.1-21 為荊桐-03 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Schlumberger (圖 6.1-22(a)) 及 Dipole-Dipole (6.1-22(b)) 法施測。圖 6.1-19(a) 表示以 Schlumberger 陣列在荊桐-03 測線量測到的二維地電阻反演影像剖面。圖 6.1-22(b) 表示以 Dipole-Dipole 陣列在荊桐-03 測線量測到的二維地電阻反演影像剖面。相較起來，Schlumberger 法所獲得的雜訊是小於 Dipole-Dipole 法的。

但是基本上，圖 6.1-22 顯示荊桐-03 測線深度約 14-55 公尺之地下反應幾乎全為低電阻率 (10 Ohm-m 以下) 之構造分布。而且這層出現的較低電阻率地層側向延伸性持續變高，顯示泥層之出現頻率變高。

比對荊桐標準剖面之電阻率，推測此層低電阻率地層大致應可延伸至荊桐標準剖面。此一低電阻地層大部分電阻率在 10 Ohm-m 以下，可判斷主要為泥質地層組成。顯示應已完全進入補注區域範圍外。二維地電阻反演影像剖面均可在深度約 14-55 公尺處發現到低電阻率，此泥層判斷為補注區外的阻水層。

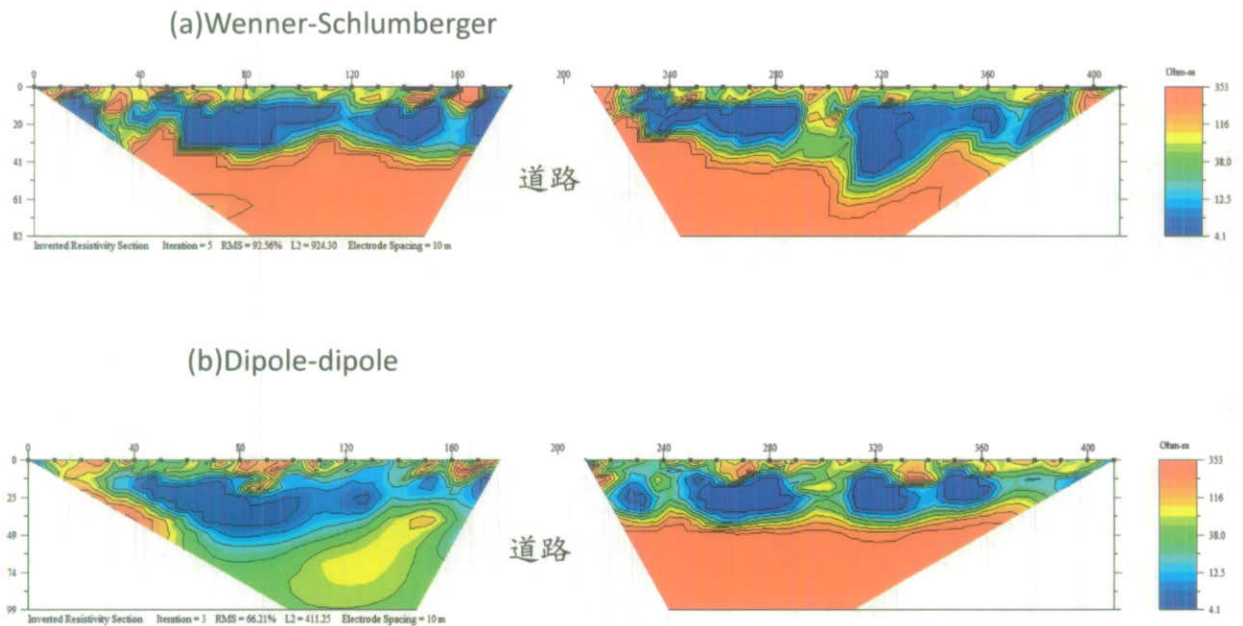


圖 6.1-22 荊桐-03 測線西側 20 公尺的荊桐-03 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Schlumberger-Wenner 及 Dipole-Dipole 法施測

本區測線所觀察到之垂直的高電阻率構造，根據先前柑園試測井之經驗推論，係由於抽水井干擾所造成，並有高度之相關性。因此我們判斷多數之垂直高電阻率構造為抽水干擾之影響，但是這並不會干擾本年度在補注區邊界的判斷。

根據荊桐區測線二維地電阻反演影像剖面觀察，泥質的訊號特徵(約 1~10

Ohm-m)已經出現在荊桐測線-02 的最西側，故研判本測線已經在補注區邊界的過渡帶上（圖 6.1-23）。

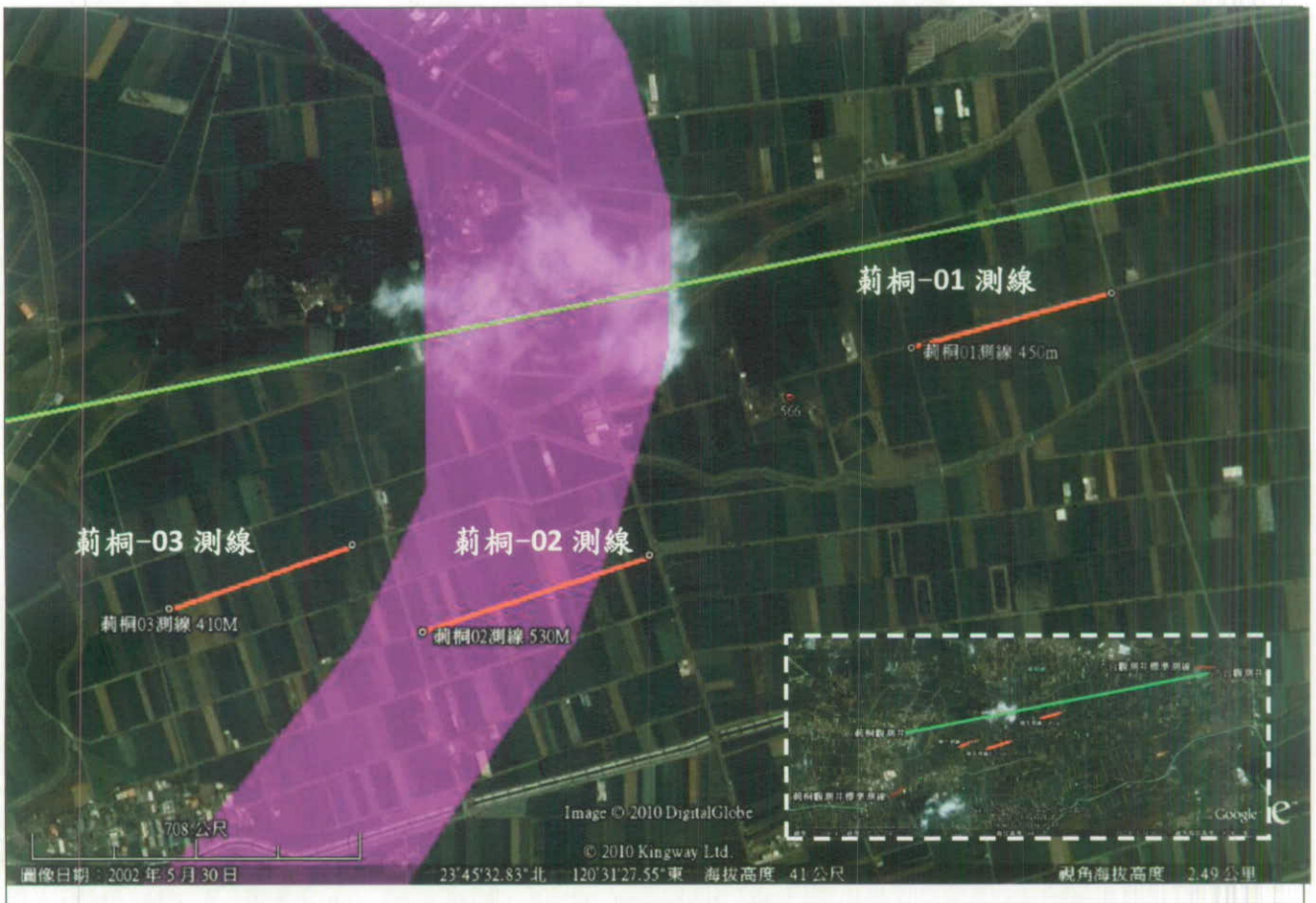


圖 6.1-23 荊桐測線-02 測線已經在補注區邊界的過渡帶上。

6.1.4 斗六測線二維地電阻反演影像剖面測勘

斗六北區測線二維地電阻反演影像剖面測勘，自扇頂往扇尾方向，沿著石榴-虎溪觀測井連線上，以東西向施作多次地電阻測線。由於石榴-虎溪觀測井連線穿越數個人口密集區（如圖 6.1.24 所示），密集的人工建物如道路、房舍、灌溉渠道皆成為施測時主要干擾來源，並且因此限制測線的長度。

初次測線（斗六-01 測線）位於斗六市北區鎮北路 278 巷（如圖 6.1-25），約略為石榴-虎溪觀測井連線中心，由東向西依次為虎尾溪 01、02、03、04 號測線。由於測線附近之人為建物不少，為減低來自人為構造物之雜訊，施測方式選用 Wenner 方法進行。

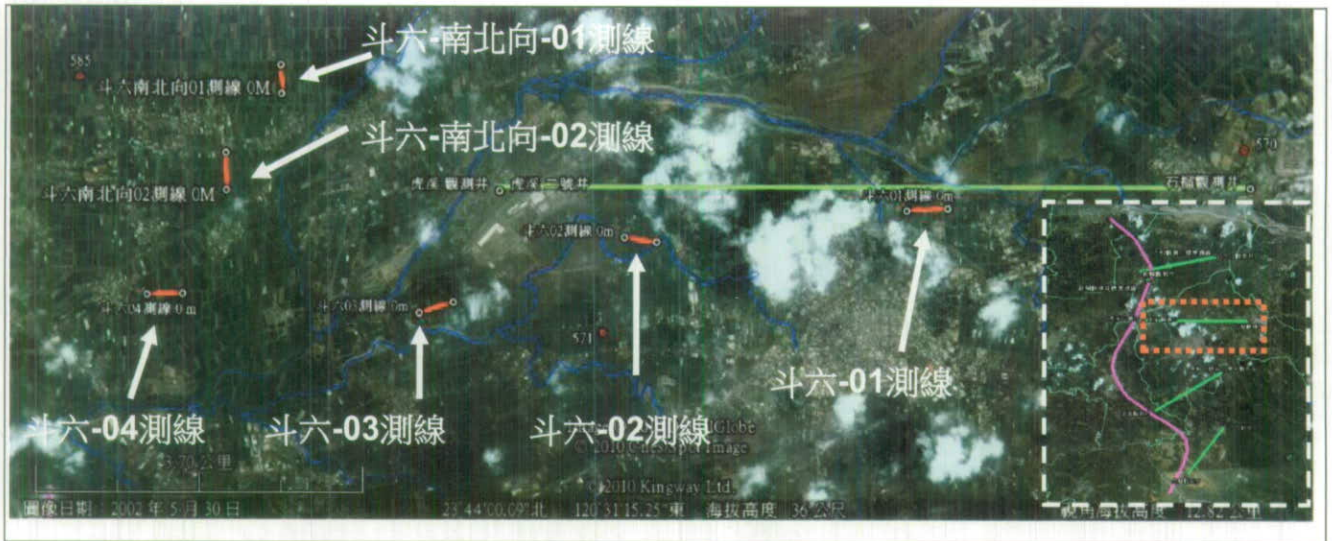


圖 6.1-24 斗六區測線分布圖，由東向西依次為斗六 01、02、03、04 號測線，由北向南依次為斗六南北向 01、02 號測線。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。

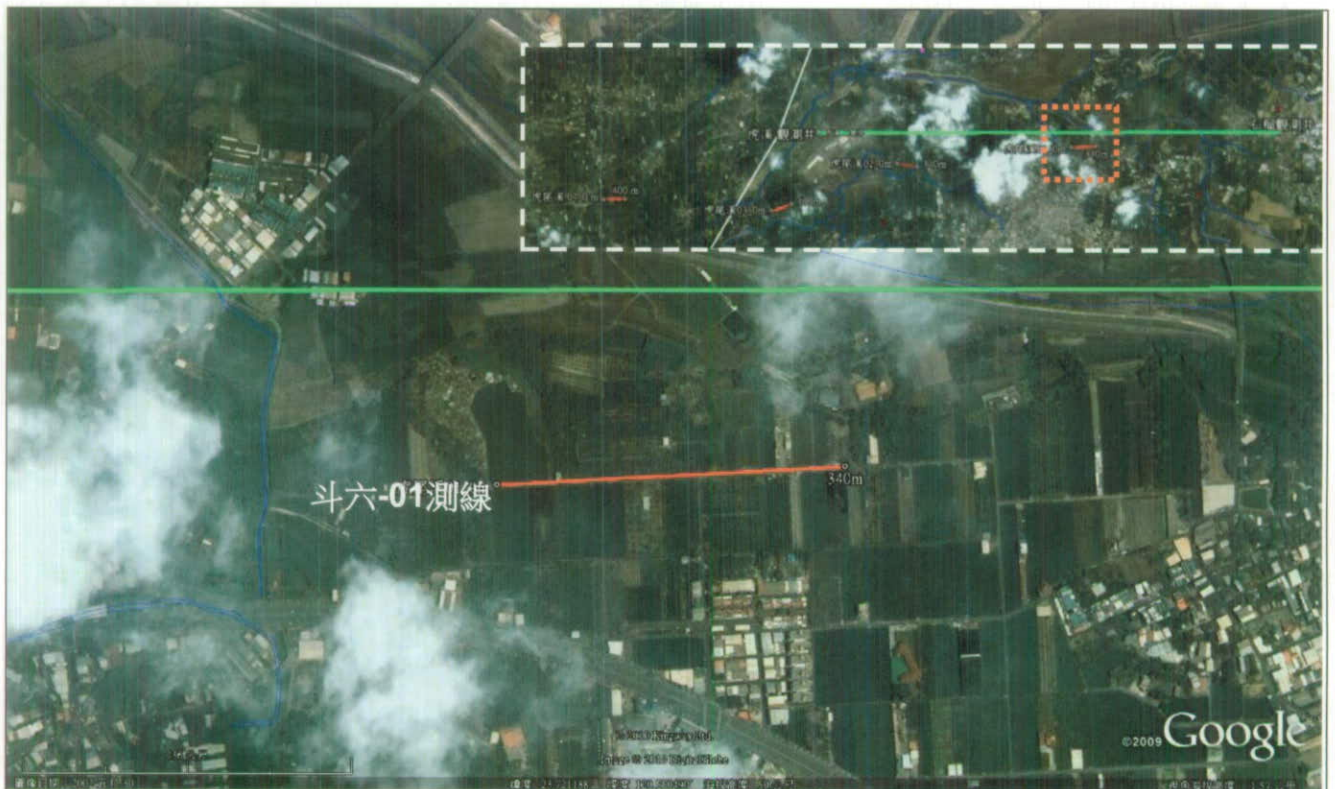


圖 6.1-25 斗六-01 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 340 米。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。

圖 6.1-26 二維地電阻反演影像剖面左側為西邊靠下扇方向，右側為東邊靠

上扇方向。測線於地表附近為竹林及早田交互分佈，現地紀錄也顯示地表多為鬆軟的腐植層，導致電極接觸狀況不佳，只能藉由澆灌鹽水增加導電率。因此，在二維地電阻反演影像剖面上，近地表深度 10 m 內多為高電阻的干擾，而由先前研究指出此種為近地表的干擾效應。

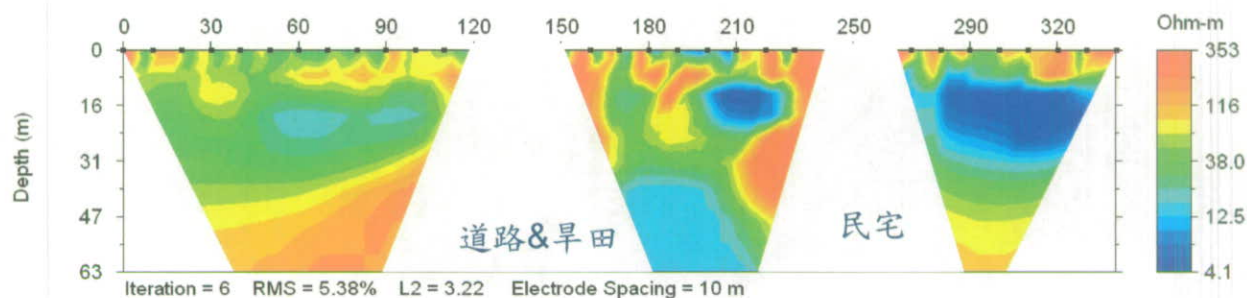


圖 6.1-26 斗六-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法施測，由圖上可看出人工建物對施測呈現的干擾。

二維地電阻反演影像剖面上深度 10-50 公尺處，電阻率皆為 20-60 Ohm-m，研判為砂質沉積物，泥值成份含量少。二維地電阻反演影像剖面上位於中段 120 m 處到 150 m 處為道路及早田所產生的八字型干擾，同樣的在尾段 210 m 到 260 m 處亦有此現象，是由民宅與周圍建物等所產生的干擾。二維地電阻反演影像剖面東側 260 m 到 330 m 處在深度 10 m 到 30 m 處有約小於 20 Ohm-m 的低電阻率現象；研判為泥質地層，此泥質層向東似有增厚之趨勢。因此若要找出補注區邊界在本區測線位置，必須要往下扇方向（西方）施作下一條測線。

斗六-02 測線（圖 6.1-27）測線長度 340 米。該測線北側緊鄰雲林科學園區，測線南側為虎尾溪支流，由於附近緊鄰村莊，為減低來自人為構造物之雜訊，施測方式選用 Wenner 方法進行。

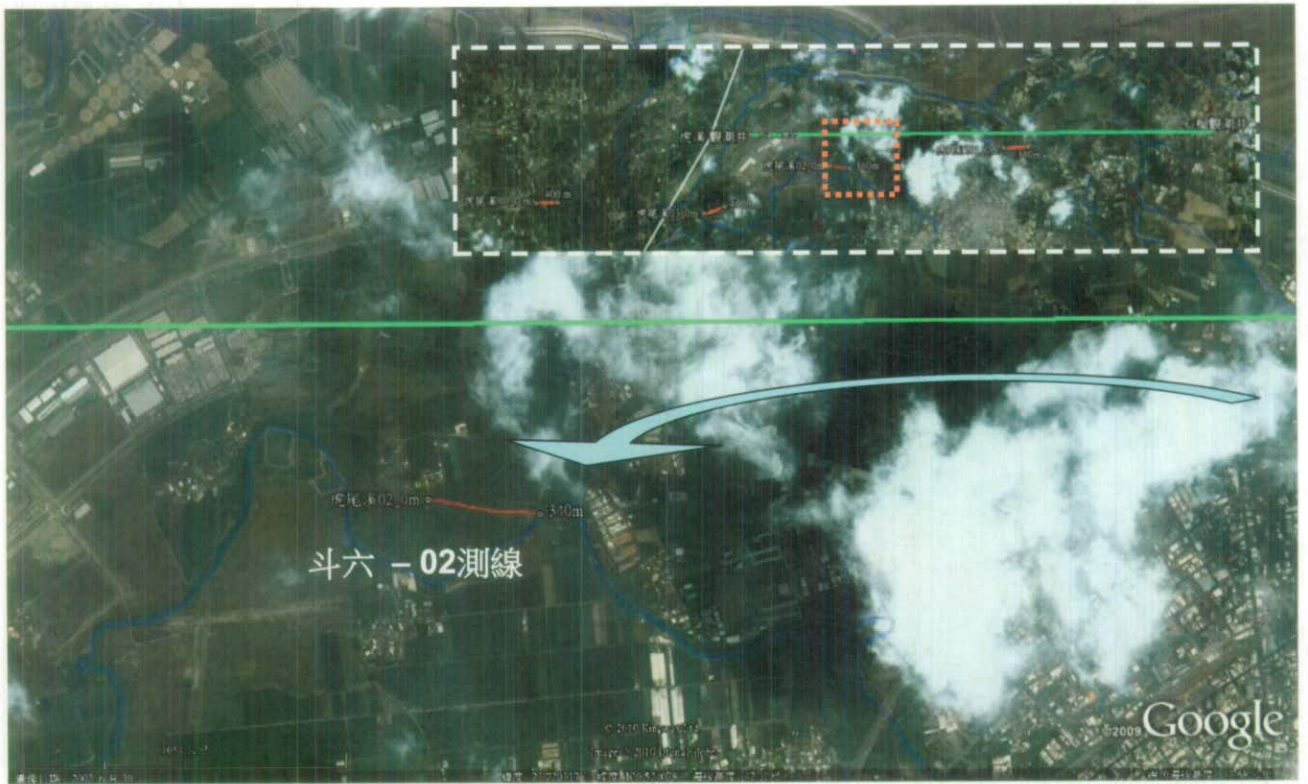


圖 6.1-27 斗六-02 測線（斗六北區測線）分布圖，測線長度 340 米。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。

圖 6.1-28 為斗六-02 測線二維地電阻反演影像剖面，施測方式僅選用以 Wenner 法施測。剖面左側為西邊靠下扇方向，右側為東邊靠上扇方向。測線於地表附近直接穿越稻田間之田埂，現地紀錄也顯示因此地為潮濕之稻田，地表電極接觸狀況狀況良好。

因此，二維地電阻反演影像剖面上，並沒有再出現斗六-01 測線（圖 6.1.21）中近地表的高電阻干擾。此處地電阻率反演剖面上於深度 10-50 m 處，電阻率皆為 20-60 Ohm-m。

由圖 6.1-28 可看出二維地電阻反演影像剖面 120 m 處因為測線跨越高壓電桿，受到高壓電桿下接地網影響，所造成之低電阻率現象，干擾效應亦呈八字型。測線尾部靠東側 340 m 處由於靠近虎尾溪支流部份低漥溼地，亦在地電阻率反演剖面淺處呈現低電阻率現象。但依照地電阻率反演剖面判斷，整體上來說，斗六-02 測線附近仍多為較高電阻率（20-60 Ohm-m）的沙質地層。若要找出補注區邊界在本區測線位置，必須要往下扇方向（西方）施作下一條測線。

斗六區測線中，斗六-03 測線（圖 6.1-29），測線長度 370 米。測線位於大北勢、苓德、埤寮三個人口聚集區的交界，北側靠近雲科路，周圍有極多人造

建物，而且依照測線現地紀錄顯示，測線附近有極大的高度落差，除稻田外有多處利用天然高度落差築堤圍塘，作為家禽養殖用水池。而此測線同樣靠近虎尾溪支流匯流處，地形上可以觀察到多處河階落差，並有部分古地形特徵符合點沙洲（Point Bar）的現象。

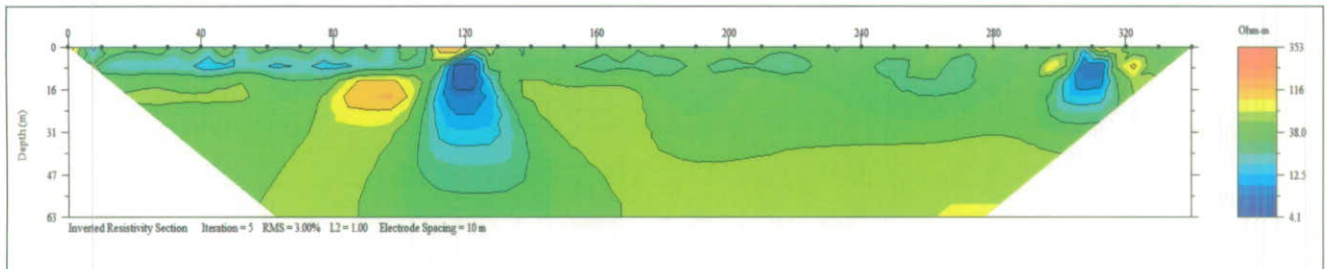


圖 6.1-28 斗六-02 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法施測，由圖上 120 m 處可看出高壓電桿下，接地網所造成之低電阻率現象對施測呈現的干擾。

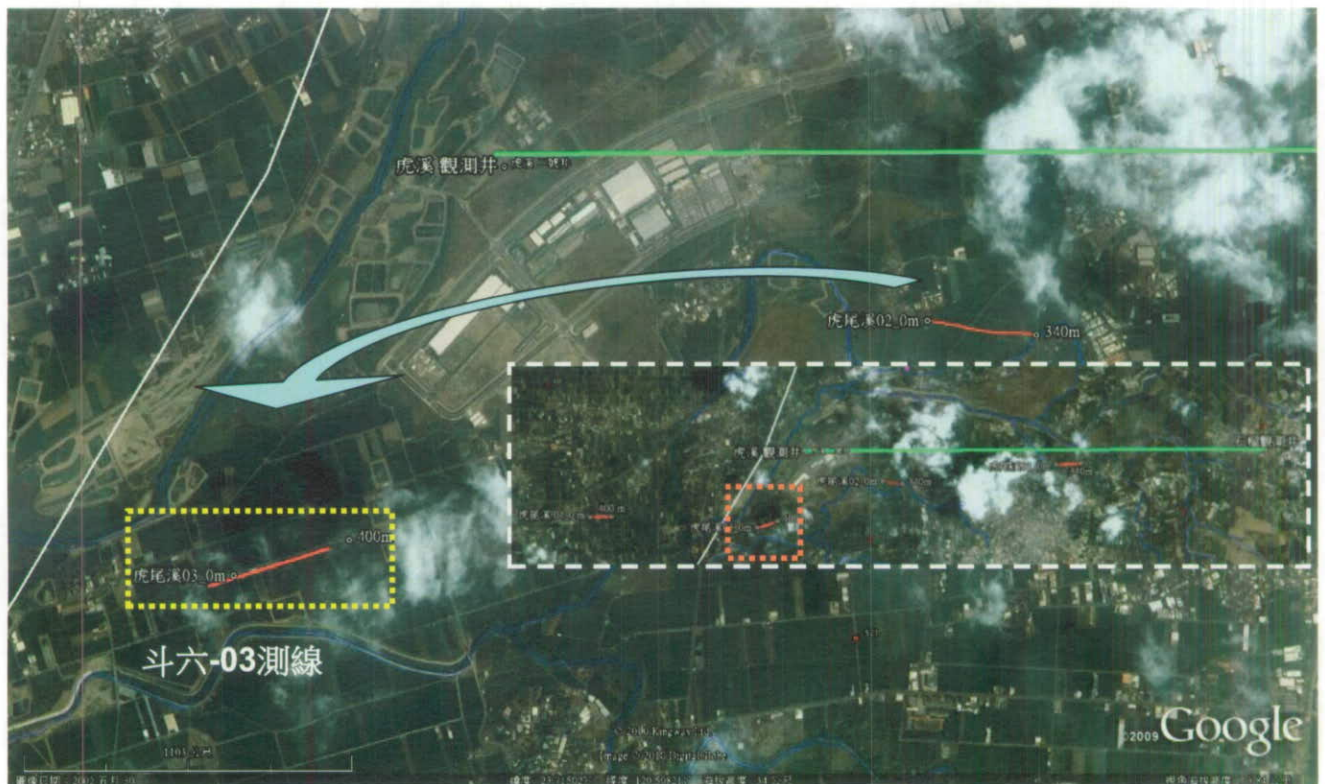


圖 6.1-29 斗六-03 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 380 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。

圖 6.1-27 為斗六-03 測線二維地電阻反演影像剖面，施測方式以

Schlumberger 法及 Wenner 法施測。剖面左側為西邊靠下扇方向，右側為東邊靠上扇方向。施測時感應電極直接佈於通過測線之稻田旁，現地紀錄顯示此測線附近為潮濕之稻田，而地表電極接觸狀況也因為地表潮濕而非常良好。由圖 6.1-27 上可見，Wenner 法在淺層（於 0 - 10 m 間）的二維地電阻反演影像剖面上 0-180 m 處，因為良好的電極接觸狀況，並沒有再出現斗六-01 測線(圖 6.1-23)中近地表的高電阻干擾，但在 180 - 380 m 處顯示出深度 0 - 20 m 處有高電阻的現象。

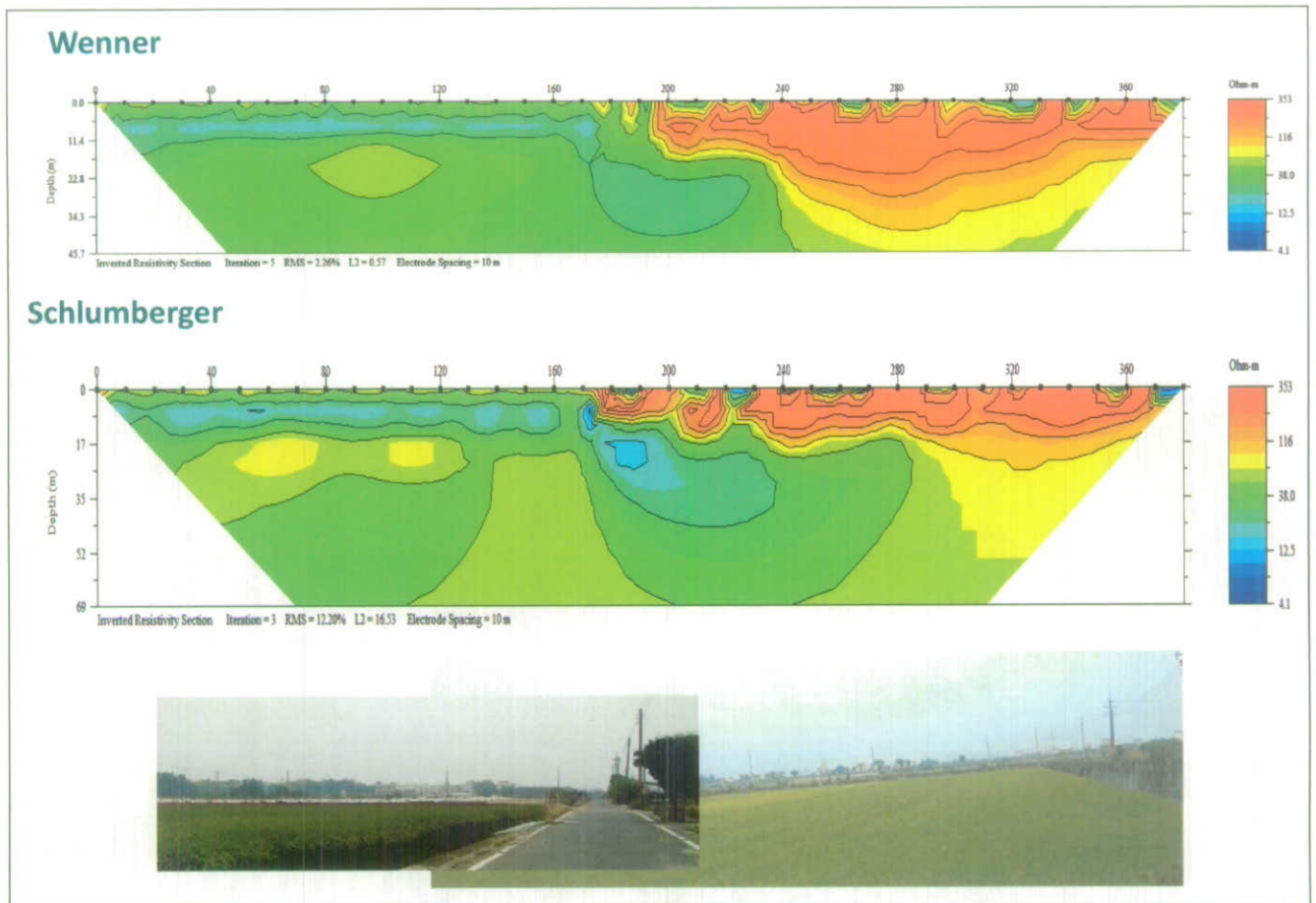


圖 6.1-30 斗六-03 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式以 Wenner 法及 Schlumberger 法施測，由圖上 200 m 處可看出持續的高電阻率現象對施測呈現的干擾。照片顯示該測線附近有極大的高度落差，除稻田外有多處利用天然高低差築起的養鴨場用養殖水池。

以垂直解析度更佳的 Schlumberger 法再重複施測發現，此高電阻現象是實際存在的，而且實際上高電阻只在二維地電阻反演影像剖面上約 0 - 10 m 處出現，並有厚度往東越來越厚的趨勢。此處二維地電阻反演影像剖面上於深度 10-50 m 處，電阻率皆為 20-60 Ohm-m。依照二維地電阻反演影像剖面判斷，整

體上來說，斗六-03 測線附近仍多為較高電阻率（20-60 Ohm-m）的沙質地層

比較現地記錄，測線尾部以東約 100 m 處為家禽養殖用水池，再往東則是古河階地所造成的落差，推斷此淺處 0-10 m 的高電阻現象即有可能是人為填土。為了耕種或養殖，人類常會藉由填土或圍堤改變地形。比對附近地形地貌與斗六-03 測線尾部近地表高電阻的現象，最合理的解釋可能為：斗六-03 測線尾部可能恰好通過古河道的河階附近，而斗六-03 測線正好座落在古虎尾溪支流河道中的點沙洲（Point Bar）上。若要找出補注區邊界在本區測線位置，必須要往下扇方向（西方）施作下一條測線。

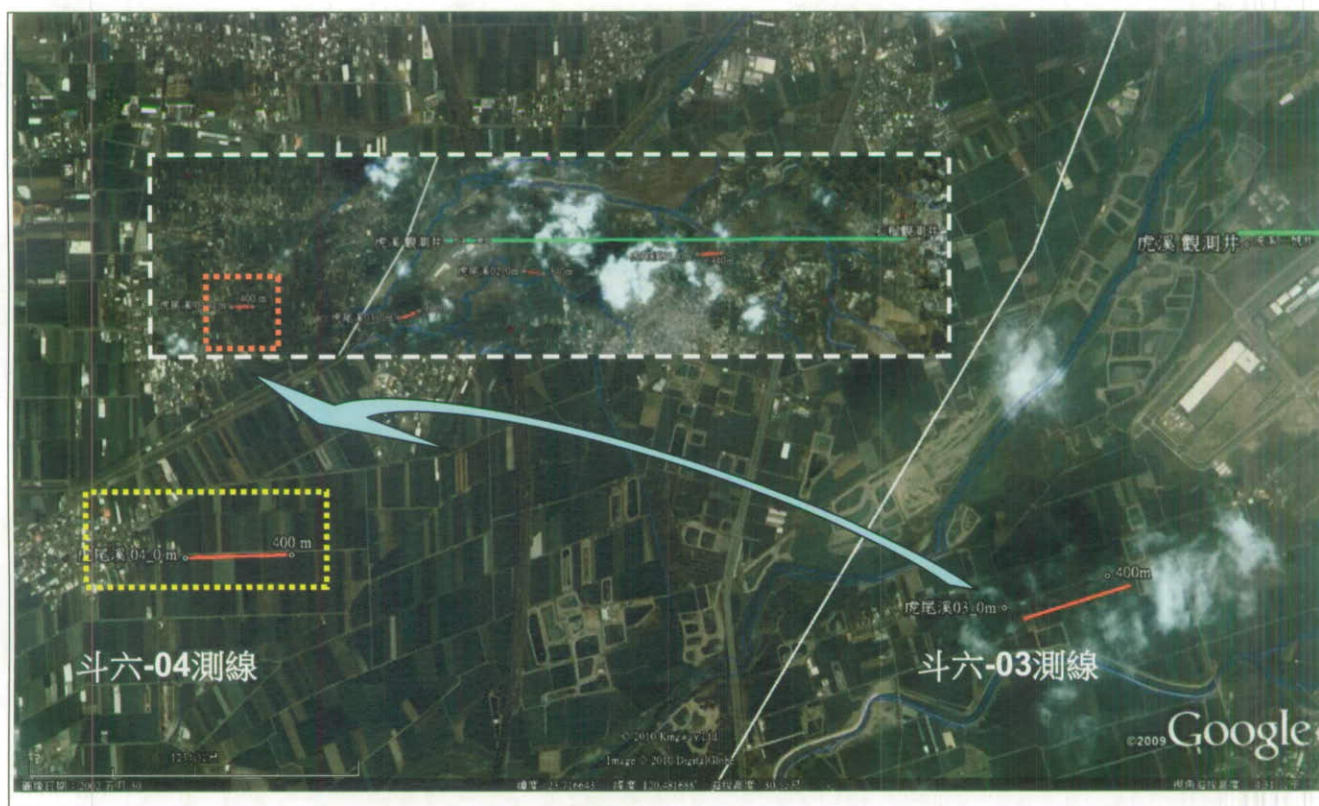


圖 6.1-31 斗六-04 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 390 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中黃色橢圓框表示此區相對斗六區測線的位置。

斗六區測線中，斗六-04 測線（圖 6.1-28），測線長度 390 米。測線西側緊鄰下掘頭，周圍有極多人造建物；測線東側靠近國道一號高速公路。依照測線現地紀錄顯示，測線施測地點除水稻田外多為旱田，施測現場附近並有抽水井正進行抽水灌溉。而此測線為虎尾溪流流域邊緣地帶，地形上仍可以觀察到和斗六-03 測線附近相似的河階落差，並也一樣有部分古地形特徵符合點沙洲（Point Bar）的現象。

圖 6.1-32、斗六-04 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Schlumberger 法施測，圖上 300 m 處為道路所造成之八字型干擾現象對施測呈現的干擾。測線上 30 m 到 40 m 處資料由於抽水井正進行抽水灌溉，導致該區域出現極高電阻值的干擾，已於資料處理時加以移除，也因此於剖面西側於資料反演時出現資料失準的現象。

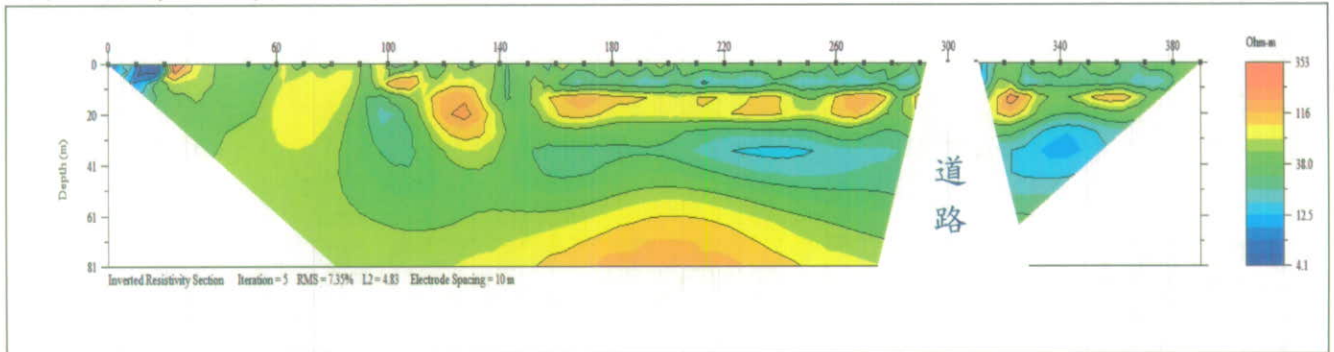


圖 6.1-32 斗六-04 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Schlumberger 法施測，圖上 300 m 處為道路所造成之八字型干擾現象對施測呈現的干擾。

但在二維地電阻反演影像剖面上深度 20 m 到 50 m 處可以觀察到普遍存在一厚度約在 20 m 以下，側向斷續延伸出現之低電阻層，電阻率小於 20 Ohm-m 以下。整體上來說此側向斷續延伸出現之低電阻層於此區域是存在的。

濁水溪沖積扇南側斗六附近有虎尾溪穿越其中，虎尾溪的沖積作用對濁水溪沖積扇上阻水層泥質沉積層的分布也造成影響。由二維地電阻反演影像剖面判斷，荊桐區測線所劃定的補助區邊界應界於荊桐-02 測線與荊桐-03 測線之間。但由斗六區的二維地電阻反演影像剖面判斷，該區的補助區邊界應位於斗六-04 測線附近。

可是這兩區（荊桐區與斗六區）之間南北平行距離僅約 4 Km，但所劃定的補助區邊界東西向平行距離差異達到了 5 Km 以上，這牽涉到了虎尾溪的沖積作用對濁水溪沖積扇中之阻水泥層的分布在該區域可能有部分的影響力。因此為了釐清斗六區測線中補注區邊界與荊桐區測線附近補注區邊界空間上的延伸關係，以及更清楚定位斗六區測線中補注區邊界位置，於是規劃了斗六區測線-斗六南北向測線。

圖 6.1-33 斗六南北向-01 測線（斗六區測線），北邊靠近中園，西側約 300 m 為國道一號高速公路，南側為崁子腳。測線已盡量避開人口密集區及人為建物。但此地仍有大量抽水井及抽水井機房，而且電力供應設施（如電線桿）密集設立於此區。為了避免抽水井機房及電力供應設施（人為建物）干擾施測結

果，測線選於較空曠的道路另一測施作。測線 105 m 處有一寬約 1 m 深約 1.5 m 的水泥溝，而且測線 230 m 處有道路穿越。



圖 6.1-33 斗六南北向-01 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 310 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗六區測線的位置。

由圖可見到斗六南北向測線-01 二維地電阻反演影像剖面（圖 6.1-34）上雖然有排水溝及道路干擾，但明顯已經有連續的低電阻訊號出現。其低電阻值大多約為 1~10 Ohm-m，深度位於 10 m 到 30 m 間。

由此可判斷，此泥層在南北向延續良好，但與位於荊桐觀測井附近的標準測線相比，泥層明顯較淺且較薄。荊桐觀測井標準測線所顯示電阻率較低(約在 20 Ohm-m 以下)之難透水層分佈於該標準剖面約 16 m 至 48 m 米深度之位置，厚度近 30 m。但是此地的難透水層深度僅位於 10 m 到 30 m 間，厚度僅約 20 m。此種泥層（難透水層）厚度的側向變化在沖積扇所形成的舌狀（指狀）、透鏡體泥質沉積構造上，對於垂直水流方向的測向變異上是可以接受的。由此二維地電阻反演影像剖面可得知，斗六南北向測線-01 底下仍存在著阻水層。測線往西則可能有泥層（難透水層）變厚的趨勢，往東則可能會有泥層尖滅的現

象。

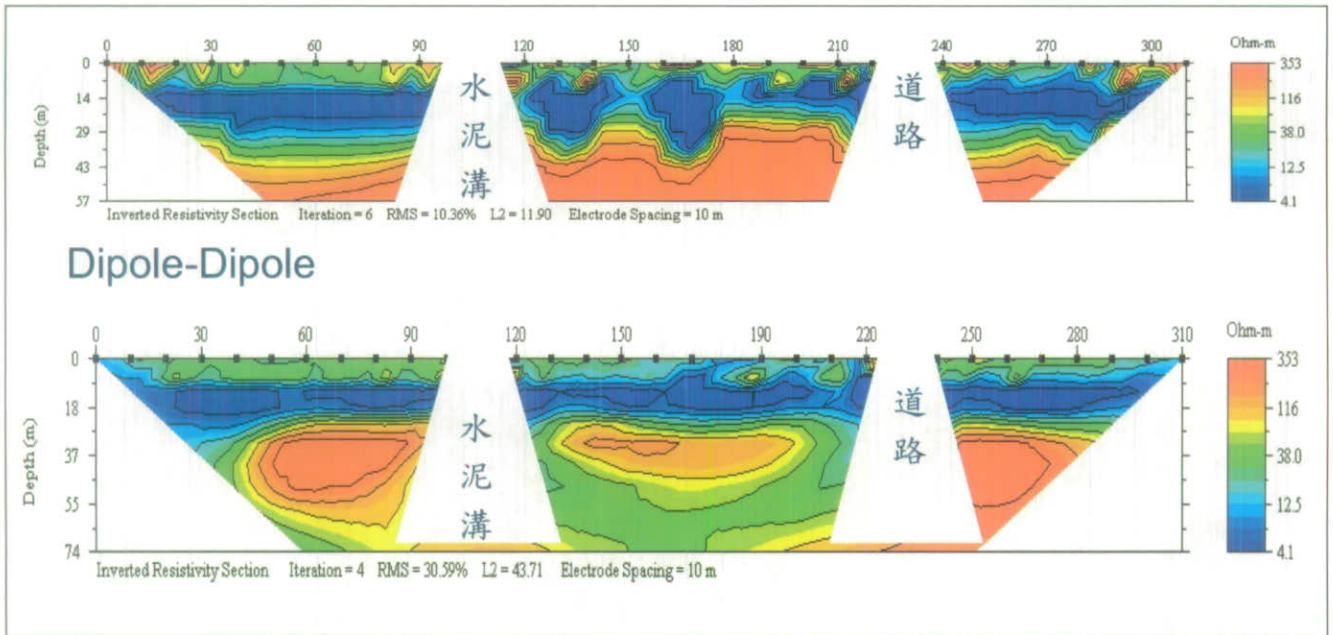


圖 6.1-34 斗六南北向測線-01 二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法及 Dipole-Dipole 法施測，圖上 300 m 處為道路所造成之八字型干擾現象對施測呈現的干擾。

藉由目前觀察到的泥層（難透水層）厚度側向改變現象，再回頭檢視斗六-04 測線二維地電阻反演影像剖面（圖 6.1-29），剖面上深度 20 m 到 50 m 處可以觀察到普遍存在一厚度約在 20 m 以下，側向斷續延伸出現之低電阻層，電阻率小於 20 Ohm-m 以下。整體上來說此側向斷續延伸出現之低電阻層斗六-04 測線是存在的。也就是說該區的補助區邊界以呼之欲出，應位於斗六-04 測線附近。

藉著往南規劃，界於斗六-04 測線與斗六南北向-01 測線之間的斗六南北向-02 測線（圖 6.1-35），我們試圖更細微描繪此區域間的泥層（難透水層）變化。為避免進入人口密集區，並減少人為建物干擾，此測線已經越過國道一號高速公路東側，位於崁子腳與下竹圍子之間。

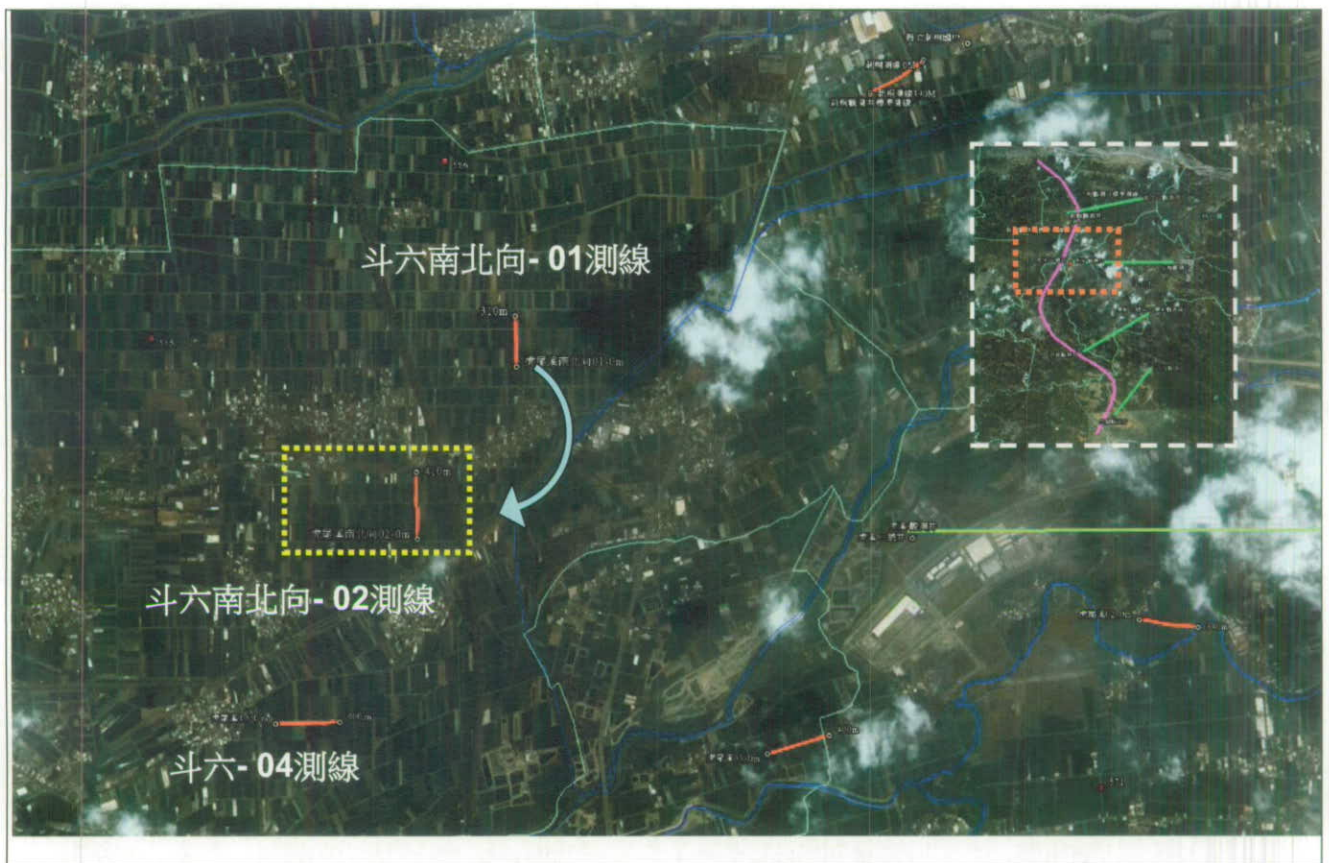


圖 6.1-35 斗六南北向-02 測線（斗六區測線）分布圖，測線長度 410 米。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為石榴與虎溪觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗六區測線的位置。

由圖可見到斗六南北向-02 測線二維地電阻反演影像剖面（圖 6.1-36）。Wenner 法所獲得的二維地電阻反演影像剖面可發現低電阻訊號出現，但值仍未低於 10 Ohm-m。比較 Dipole-Dipole 法所獲得的二維地電阻反演影像剖面，可發現低電阻訊號出現的位置大致與利用 Wenner 法所獲得的二維地電阻反演影像剖面符合。

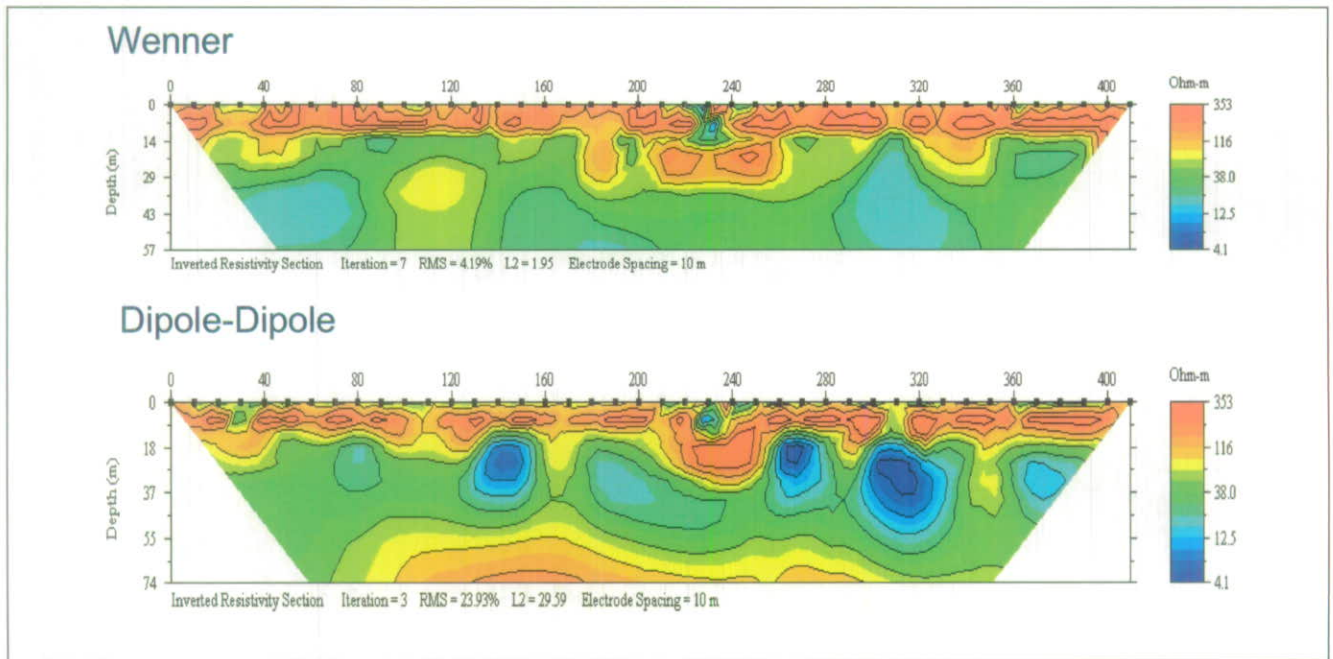


圖 6.1-36 斗六南北向-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Wenner 法及 Dipole-Dipole 法施測。

由 Wenner 法的基本特性得知，低電阻訊號雖然沒有完全分布在斗六南北向-02 測線上，但側向延伸的低電阻特徵已經被 Dipole-Dipole 法施測時感應到。所以比較斗六-04 測線與斗六南北向-01、02 測線以可以發現，泥層（難透水層）的低電阻訊號在這兩測線間是以由南到北、由東向西急速衰退的。

換句話說，以沙體存在的幾何型態觀點，在斗六區測線虎尾河流域上有一砂體由東向西侵入。此種現象，導致泥層（難透水層）在該區域的分布比起荊桐區測線還要往西。



圖 6.1-38 斗南區測線，由東向西依次為斗南-01、02、03 號測線。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。

斗南-01 測線（如圖 6.1-38），由於測線附近甚少人為建物，又施測當時正值夏季，考量人員及儀器安全，避免午後雷陣雨之雷擊，施測方式僅選用較快速的 Dipole-Dipole 法進行。

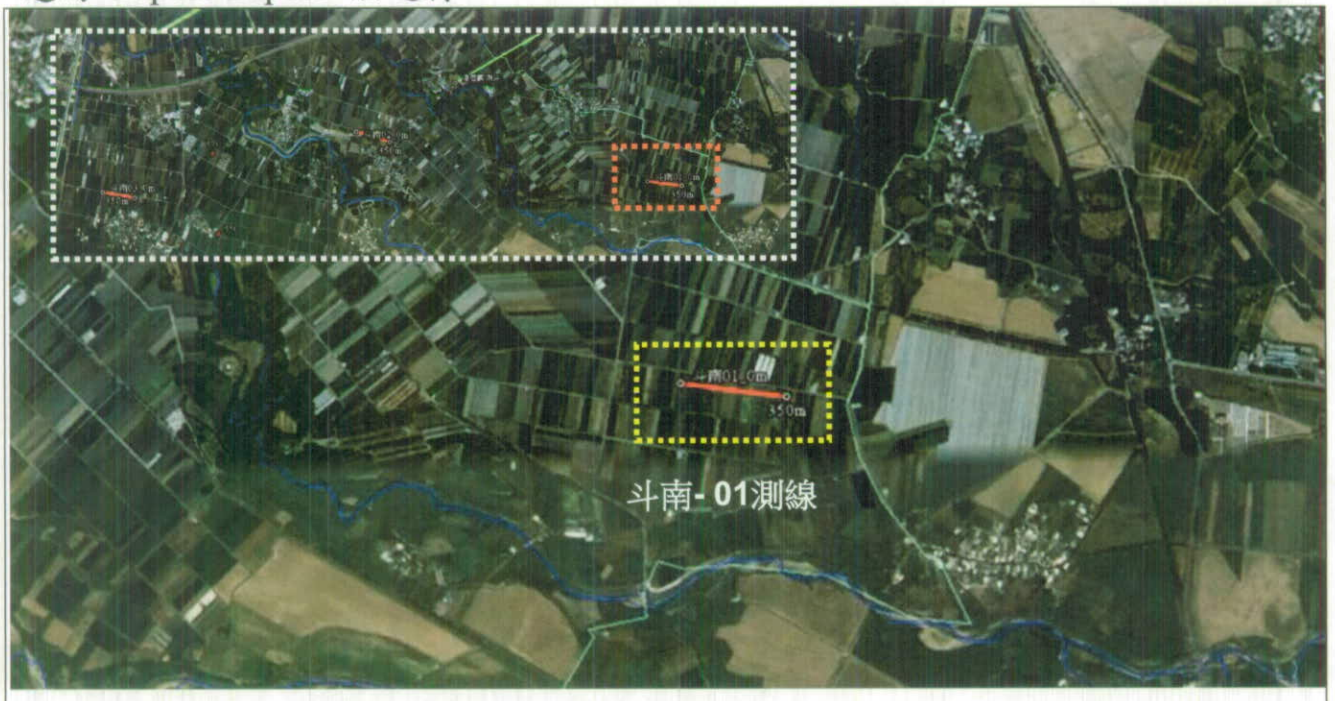


圖 6.1-39 斗南-01 測線分布圖（斗南區測線），測線長度 350 m。黃色虛線框為該測線位址。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框表示此區相對斗南區測線的位置。

圖 6.1-40 為斗南-01 測線二維地電阻反演影像剖面，施測方式僅選用以 Dipole-Dipole 法施測。剖面左側為西邊靠下扇方向，右側為東邊靠上扇方向。測線於地表附近直接穿越稻田間之田埂，現地紀錄也顯示因此地為潮濕之稻田，地表電極接觸狀況狀況良好。因此，在二維地電阻反演影像剖面上，並沒有出現太多的近地表的高電阻干擾。

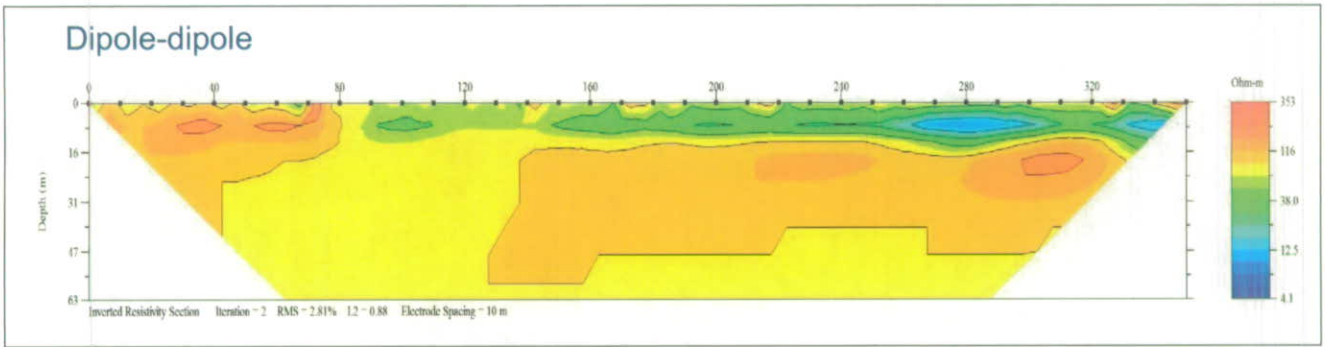


圖 6.1-40 斗南-01 測線二維地電阻反演影像剖面。施測方式僅選用以 Dipole-Dipole 法施測。

但此處二維地電阻反演影像剖面上於深度 0-20 m 處，電阻率多為 20-60 Ohm-m，鮮少出現低於 10 Ohm-m 地電阻率。而於二維地電阻反演影像剖面深度 20-50 m 處，電阻率皆為 80-150 Ohm-m。依照二維地電阻反演影像剖面判斷，整體上來說，斗南-01 測線附近仍多為較高電阻率 80-150 Ohm-m 的沙質地層。而表面淺層 0-20 m 經過資料處理確認，的確有一些電阻率為 20-60 Ohm-m 的地層訊號。

很明顯地，這裡（斗南-01 測線）確實沒有連續的泥層（難透水層）存在。因此為了尋找補注區邊界，測線繼續往西橫移，以期能找到低電阻的泥層（難透水層）訊號。如圖 6.1-41，斗南測線-02 位於溫厝觀測井西南方約 600 m 處，測線長度 350 m。

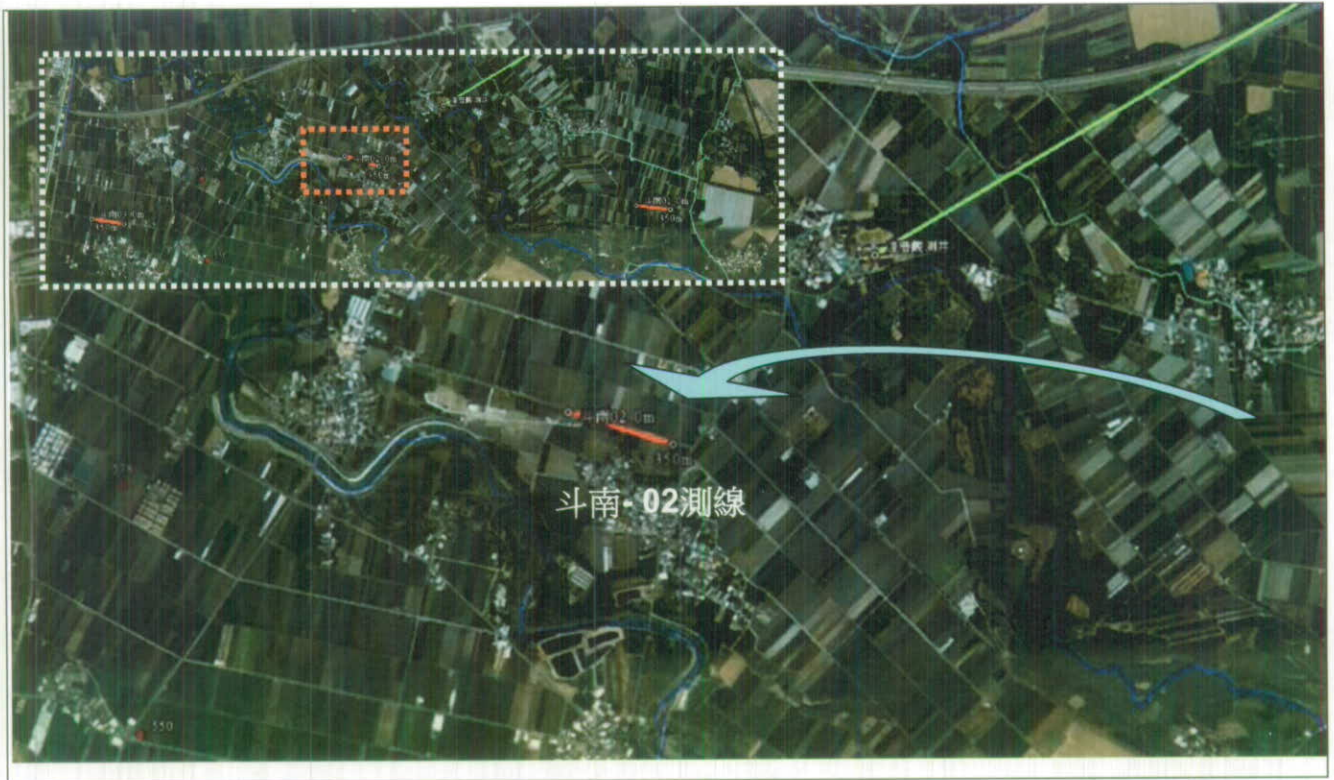


圖 6.1-41 斗南-02 測線（斗南區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為東和與溫層觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對斗南區測線的位置。

圖 6.1-42 為斗南-02 測線二維地電阻反演影像剖面，施測當時正值夏季午後雷陣雨鋒期，須在人員及儀器安全與資料質量上做權衡。因此施測方式優先選用較快速的 Dipole-Dipole 法，其次視天候狀況選擇測深較深、較不易受干擾的 Schlumberger 法進行量測。

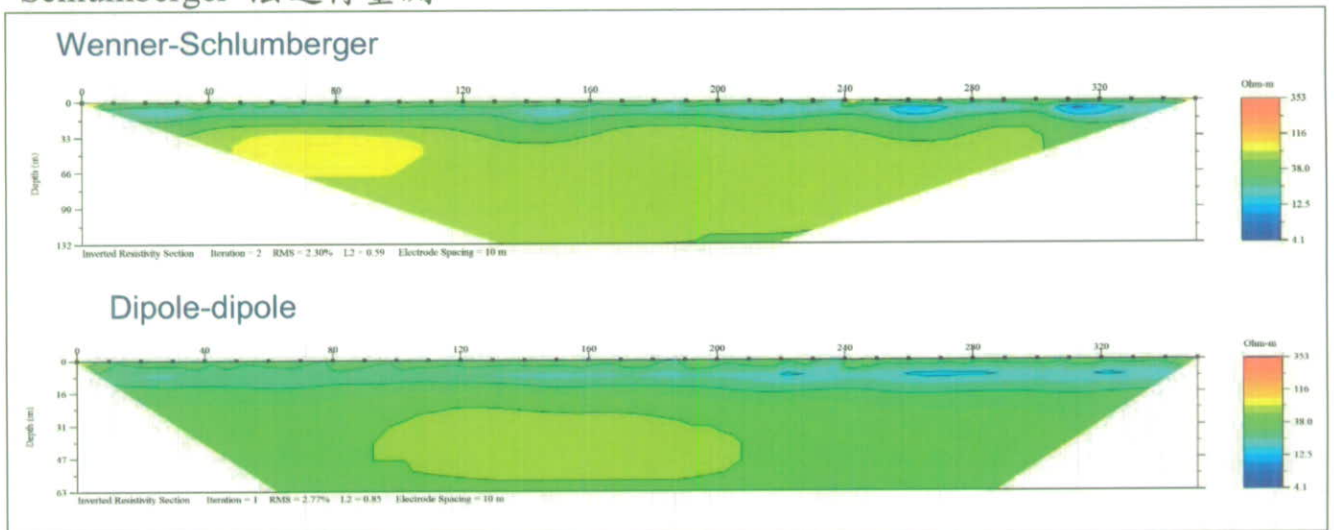


圖 6.1-42 斗南-02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Schlumberger 法

剖面左側為西邊靠下扇方向，右側為東邊靠上扇方向。Schlumberger 法與 Dipole-Dipole 法在二維地電阻反演影像剖面上，都沒有出現太多的近地表的高電阻干擾。可是在此處二維地電阻反演影像剖面上於深度 5-10 m 處，電阻率多為 5-15 Ohm-m；而於二維地電阻反演影像剖面深度 10-25m 處，電阻率皆為 15-30 Ohm-m，這兩組地層訊號連續性都非常良好。

這種現象已經表示補注區邊界，即低電阻的泥層（難透水層）訊號可能已經非常接近。為了尋找補注區邊界，斗南-03 測線繼續往西推移（如圖 6.1-43），以期能找到低電阻的泥層（難透水層）訊號。斗南-03 測線位於斗南鎮南方約 2 Km 處，測線長度 350 m。

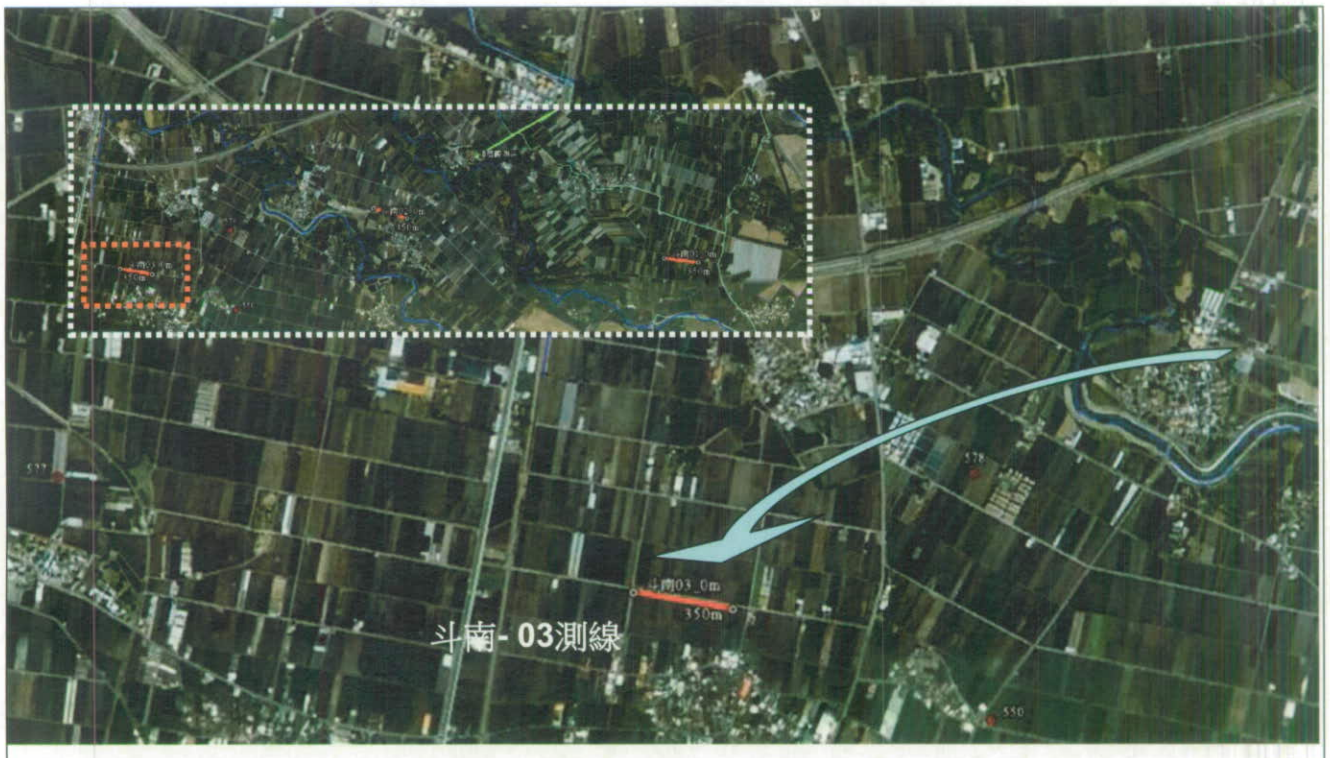


圖 6.1-43 斗南-03 測線（斗南區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為東和與溫厝觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對斗南區測線的位置。

圖 6.1-44、斗南-03 測線二維地電阻反演影像剖面。二維地電阻反演影像剖面上，電阻率低於 10 Ohm-m 的訊號在深度 5-15 m 處形成了連續的地層訊號。表面淺層的訊號經過資料處理再度確認，的確有連續的電阻率低於 10 Ohm-m 的地層訊號。

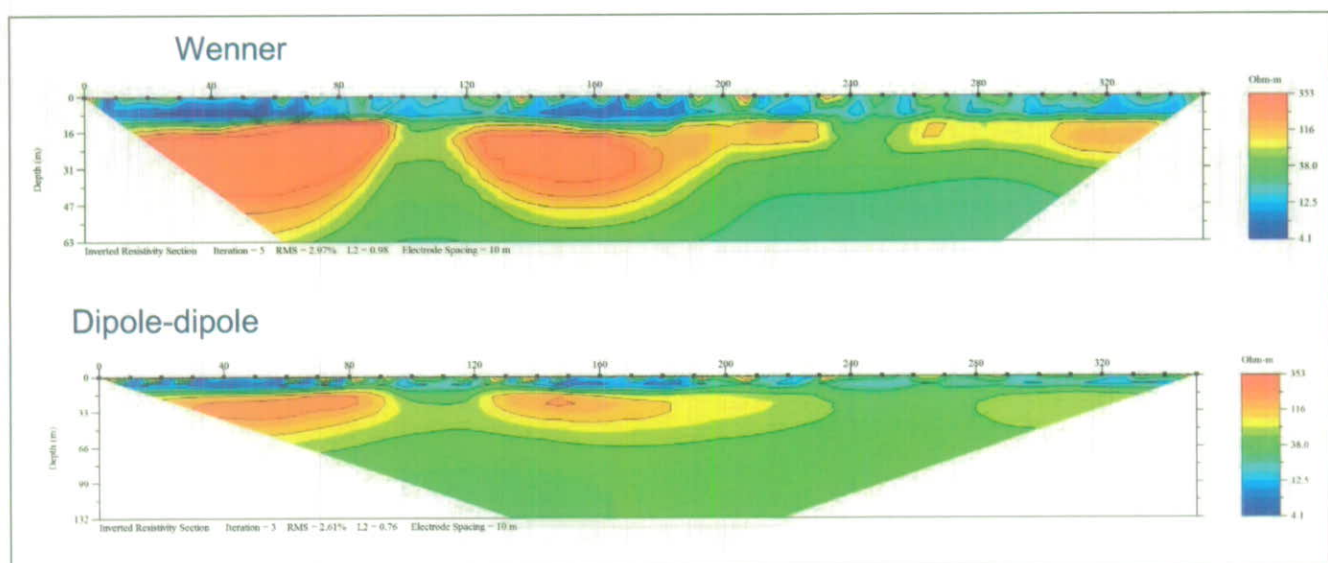


圖 6.1-44 斗南-03 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。

由 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法所獲得的地電阻反演剖面影像均顯示，這組地層訊號連續性非常良好。而這層地層以下，二維地電阻反演影像剖面深度 15-30m 處則是連續的 60-110 Ohm-m 的高電阻值訊號。

比對之前斗六區測線結果，斗南-03 測線二維地電阻反演影像剖面上低電阻訊號出現頻率比斗南-02 測線高，而且具連續性；但斗南-01 測線二維地電阻反演影像剖面上卻又沒有此低於 10 Ohm-m 的低電阻連續。斗南區測線內，具有低電阻值的地層訊號大多約為 1~10 Ohm-m，深度位於 5-10 m 間。針對此低電阻值的地層訊號，其實已經可以判斷其具有泥層（難透水層）的特性。但與位於斗六區測線所獲得的泥層厚度、所在深度相比，泥層明顯較淺且較薄。

可是此種泥層（難透水層）厚度的側向變化在沖積扇所形成的舌狀（指狀）、透鏡體泥質沉積構造上，對於垂直水流方向的測向變異上是可以接受的。所以其實整個斗南區系列測線已經經過了過渡帶的兩端。

斗南-03 測線已經是補注區外，往西則可能有泥層（難透水層）變厚的趨勢。而斗南-02 測線二維地電阻反演影像剖面往東則出現漸變現象，進而像斗南-01 測線二維地電阻反演影像剖面上泥層完全尖滅的現象。是故，本區泥層（難透水層）的過渡帶，即補注區邊界劃定，應以斗南-01 測線-01 與斗南-02 測線間為最佳。如圖 6.1-45 所示，斗南區測線補注區邊界過渡帶判斷為斗南測線-01 與斗南測線-02 上。

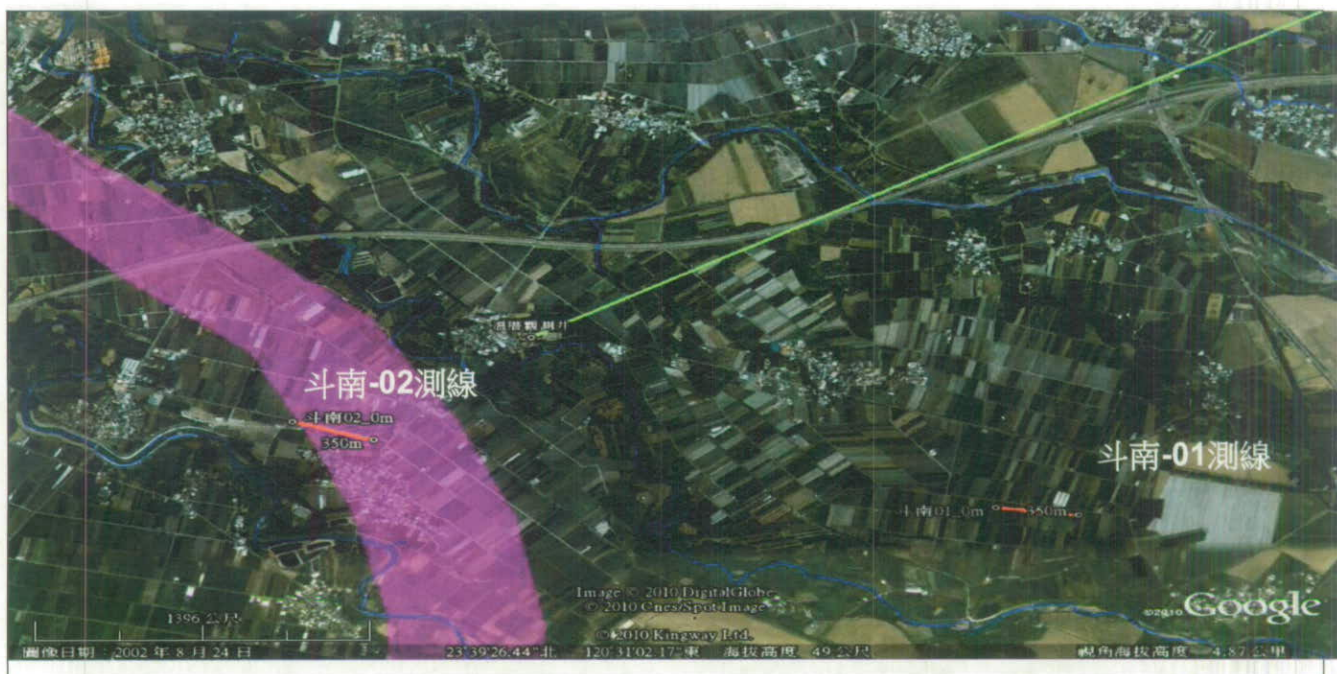


圖 6.1-45 斗南區測線補注邊界。補注區邊界的過渡帶判斷為斗南-01 測線與斗南-02 測線上。

6.1.6 崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面測勘

崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面測勘，自扇頂往扇尾方向，沿著古坑-崁腳觀測井連線上，以東西向施作多次地電阻測線。古坑-崁腳觀測井連線東北側穿越古坑市區，中間又經過永光市區，外圍環繞著國道三號高速公路，測線施作有一定困難性。

根據去年度(98)結果顯示，扇頂補注區界限帶之位置(如圖 6.1-8)，可能比先前由觀測井鑽井資料及一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所推測之界限要再向扇頂側偏移約 300-800 公尺，但其推測界限其實是在古坑-崁腳觀測井連線中心西南方。

而沿著古坑-崁腳觀測井連線往西南方延伸規劃測線，可以避開人口密集區密集的人工建物(如道路、房舍...等)干擾來源。考慮過各種原因及實地規劃，最後測線規劃沿著古坑-崁腳觀測井連線中心往西南方延伸，由東向西依次為崁腳-01、02、03 測線。(如圖 6.1-46 所示)



圖 6.1-46 炭腳區測線分布圖，由東向西依次為炭腳-01、02、03 測線。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對於濁水溪南岸主要四大測線區的位置。

初次測線--炭腳-01 測線位於下炭腳，如圖 6.1-47 所示，位於炭腳觀測井西北側 500 m 處。

整體來說，此區測線已經都在古坑-炭腳觀測井連線範圍以西之外了。考慮觀測井鑽井資料及一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所推測之界限的準確性，我們可能還需做部分驗證。

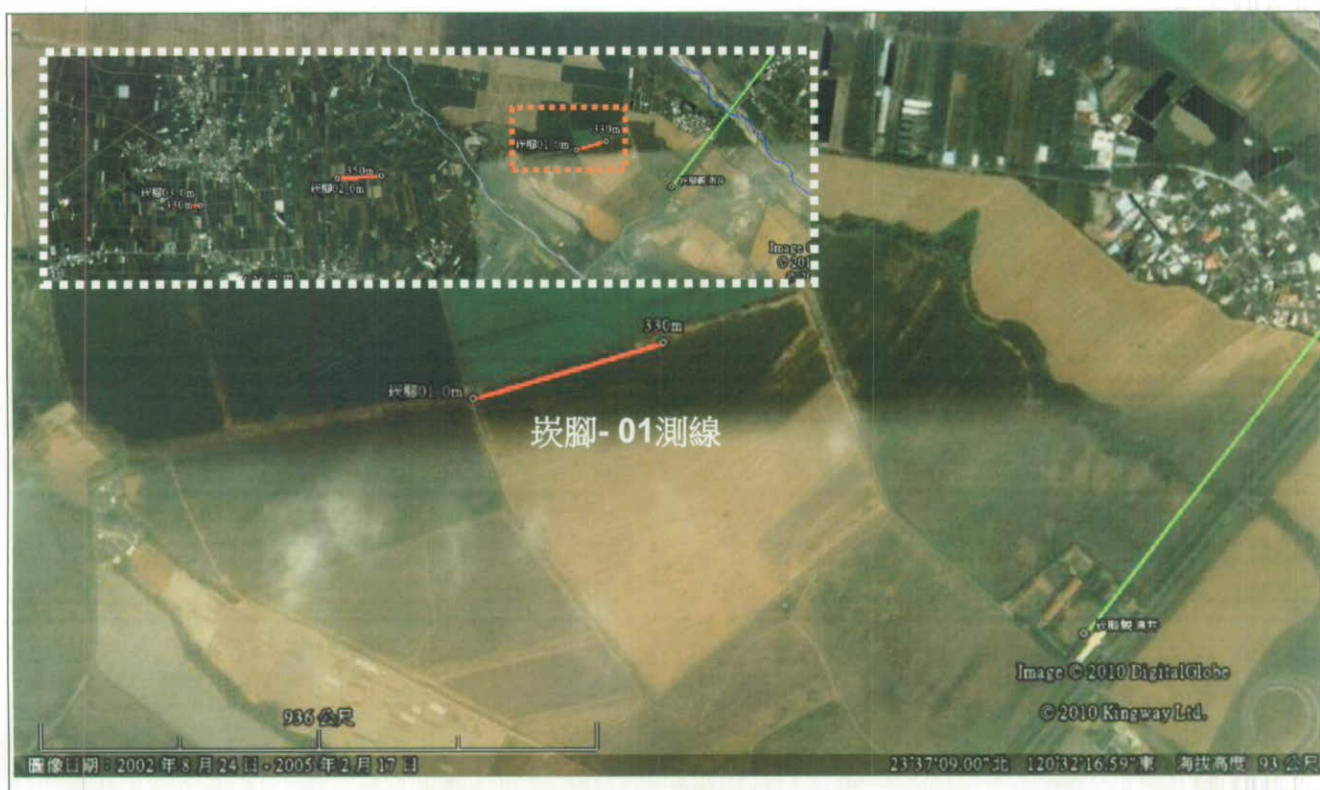


圖 6.1-47 炭腳-01 測線（炭腳區測線）分布圖，測線長度 330 m。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對炭腳區測線的位置。

我們已經知道，Pole-Pole 法是地電阻法中探測深度最深的電極排列法，雖然垂直向的解析度很差，但此法能再探測時，提供施測者該區域普遍的地質狀況。為了在本研究的野外為很快速地知道炭腳區預測補注區邊界初次測點的特性是否和去年度(98)所判定的扇頂補注區界限帶之位置(如圖 6.1-8)一致，炭腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面選用施測方式為 Wenner 法與 Pole-Pole 法。

炭腳-01 測線二維地電阻影像剖面（圖 6.1-46），深度 0 - 10 m 為高電阻值（ $> 50 \text{ Ohm} - \text{m}$ ），深度 10 - 45 m 顯示更高的電阻值（ $> 200 \text{ Ohm} - \text{m}$ ），而 45 m 以下電阻值仍為高電阻值（ $> 50 \text{ Ohm} - \text{m}$ ）。依據刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，礫石層一般之電阻率約 50~100 Ohm-m。依據去年經驗及荊桐資料研判，高電阻值（ $> 50 \text{ Ohm} - \text{m}$ ）為沙質或礫質的地層；更高的電阻值（ $> 200 \text{ Ohm} - \text{m}$ ）研判亦為礫質造成，且應該為礫質成分比例更高的地層。

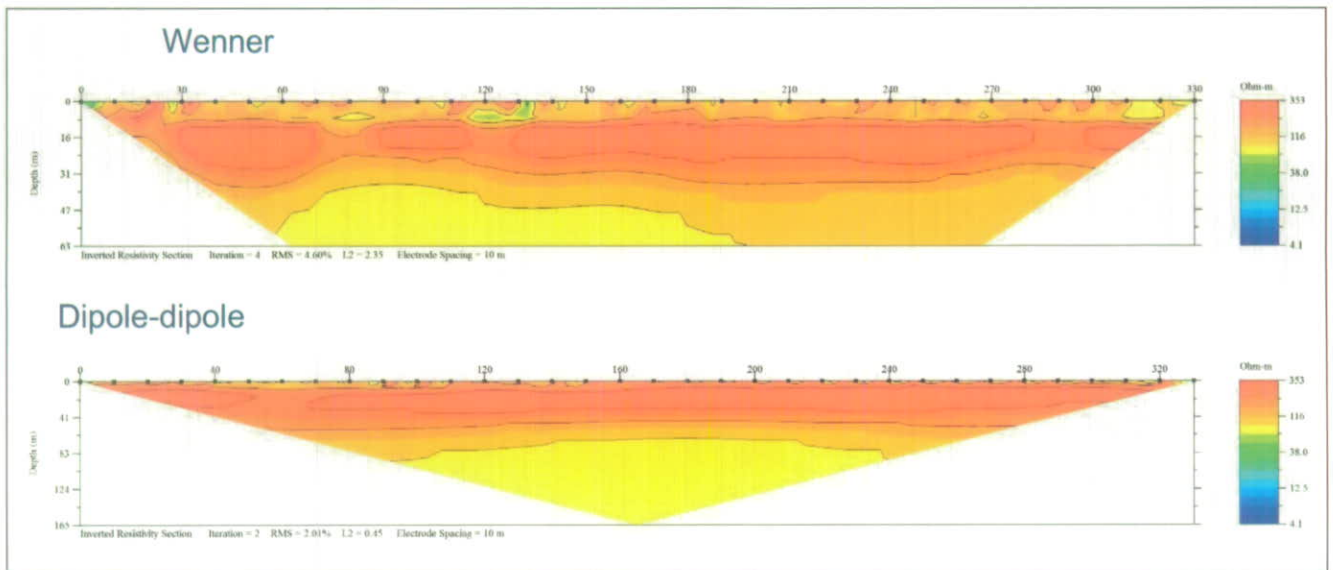


圖 6.1-48 崁腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Pole-pole 法。

由於在崁腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面上仍未發現泥層（難透水層）出現，測線繼續往東推移。如圖 6.1-49，崁腳-02 測線距離崁腳-01 測線西邊約 2 Km 處，北邊為下林頭，南邊為大埔美。因為地處空曠，受到人為建物的干擾也大幅減少。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-dipole 法。

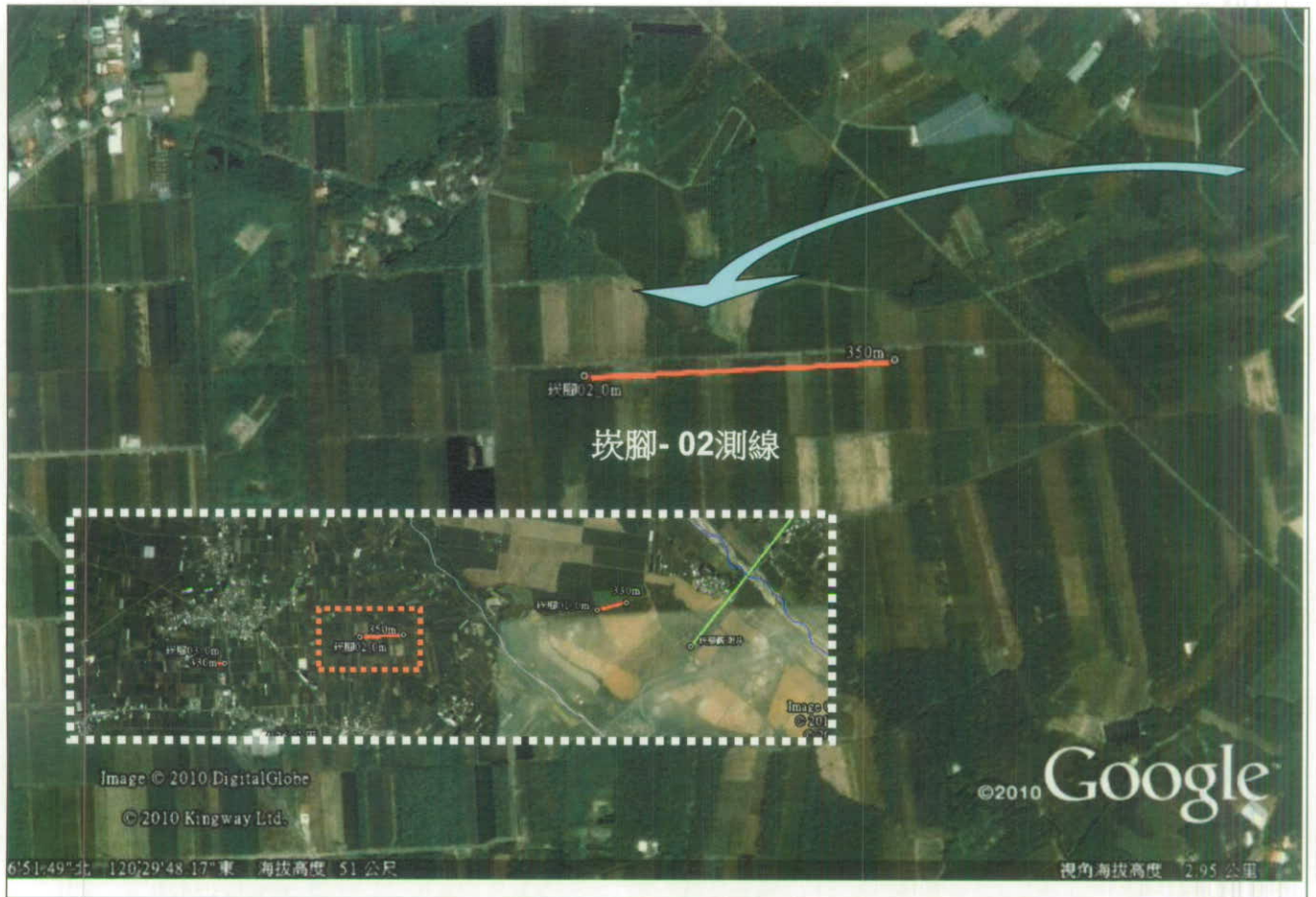


圖 6.1-49 崁腳-02 測線（崁腳區測線）分布圖，測線長度 350 m。綠色線為古坑-崁腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對崁腳區測線的位置。

圖 6.1-50 為崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面。由 Wenner 法與 Dipole-dipole 法所獲得的地電阻反演剖面影像均顯示，在剖面東半部深度 5-15 m 處有一電阻率偏低接近 10 Ohm-m 的斷續地層訊號。表面淺層的訊號經過資料處理再度確認，此兩剖面中東測電阻率低於 10 Ohm-m 的地層訊號的確是存在的，而非地表干擾。

而這層地層以下，深度 15-30m 處則是電阻值普遍大於 250 Ohm-m 的連續高電阻值訊號。依照去年工作經驗以及刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，該高電阻值的連續性地層應該為巨礫組成。深度 30 m 以下的二維地電阻反演影像剖面，電阻值平均分布在 60 -115 Ohm-m。參考刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，礫石層一般之電阻率約 50~100 Ohm-m，研判亦為礫質組成。

參考之前斗六區測線與斗南區測線結果，崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面上雖然有部份低於 10 Ohm-m 的低電阻連續現象出現在淺層。但連續性很低，只在測線東半部有這樣的特徵。如果要確認泥層（難透水層）完整出現，

描繪出補注區邊界，則需再往西側施作。

藉由崁腳-03 測線（圖 6.1-51）的施作，希望能在二維地電阻反演影像剖面上，可以發現連續低電阻訊號確認泥層（難透水層）完整出現。崁腳-03 測線於崁腳-02 測線西側約 2.5 Km，位於斗南鎮南側 2 Km 處，南靖厝北方。

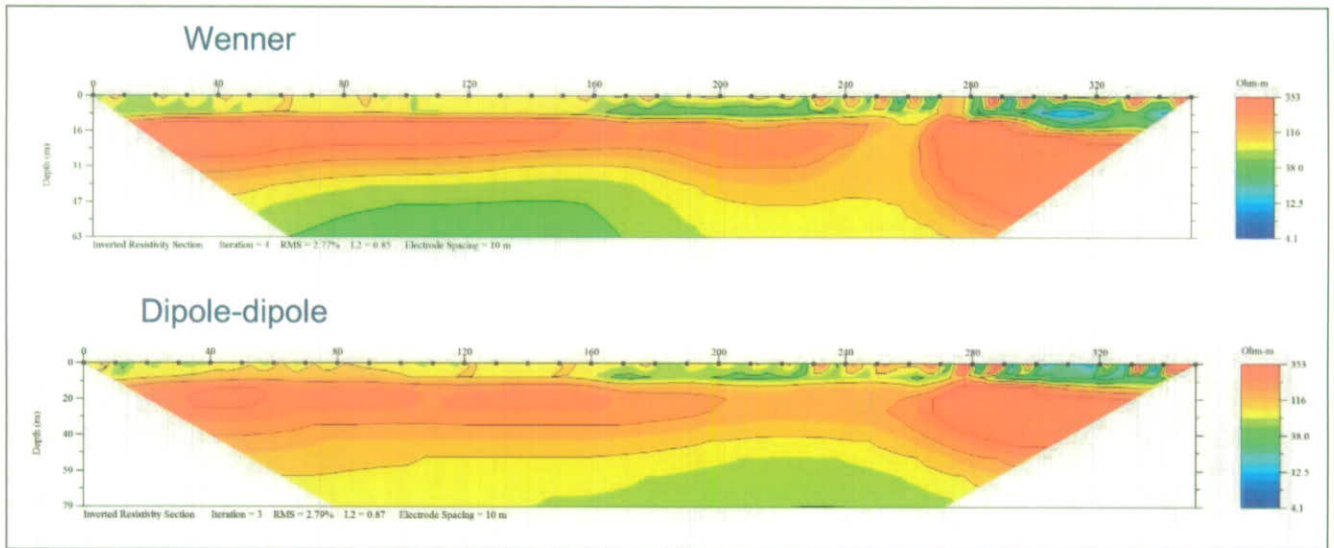


圖 6.1-50 崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。

而這層地層以下，深度 15-30m 處則是電阻值普遍大於 250 Ohm-m 的連續高電阻值訊號。依照去年工作經驗以及刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，該高電阻值的連續性地層應該為巨礫組成。深度 30 m 以下的二維地電阻反演影像剖面，電阻值平均分布在 60 -115 Ohm-m。參考刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，礫石層一般之電阻率約 50~100 Ohm-m，研判亦為礫質組成。

參考之前斗六區測線與斗南區測線結果，崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面上雖然有部份低於 10 Ohm-m 的低電阻連續現象出現在淺層。但連續性很低，只在測線東半部有這樣的特徵。如果要確認泥層（難透水層）完整出現，描繪出補注區邊界，則需再往西側施作。

藉由崁腳-03 測線（圖 6.1-51）的施作，希望能在二維地電阻反演影像剖面上，可以發現連續低電阻訊號確認泥層（難透水層）完整出現。崁腳-03 測線於崁腳-02 測線西側約 2.5 Km，位於斗南鎮南側 2 Km 處，南靖厝北方。



圖 6.1-51 炭腳-03 測線（炭腳區測線）分布圖，測線長度 330 m。綠色線為古坑-炭腳觀測井連線，白色虛線圖框中紅色虛線框框表示此區相對炭腳區測線的位置。

圖 6.1-52、炭腳測線-03 地電阻剖面影像。由 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法所獲得的地電阻反演剖面影像均顯示，在深度 5-15 m 處有一電阻率低於 10 Ohm-m 的連續的地層訊號。表面淺層的訊號經過資料處理再度確認，這電阻率低於 10 Ohm-m 的地層訊號的確是存在的，而非地表干擾。這組地層訊號連續性非常良好。而這層地層以下，地電阻率反演剖面深度 15-60m 處則是連續的高電阻值訊號，其電阻值普遍大於 60 Ohm-m。

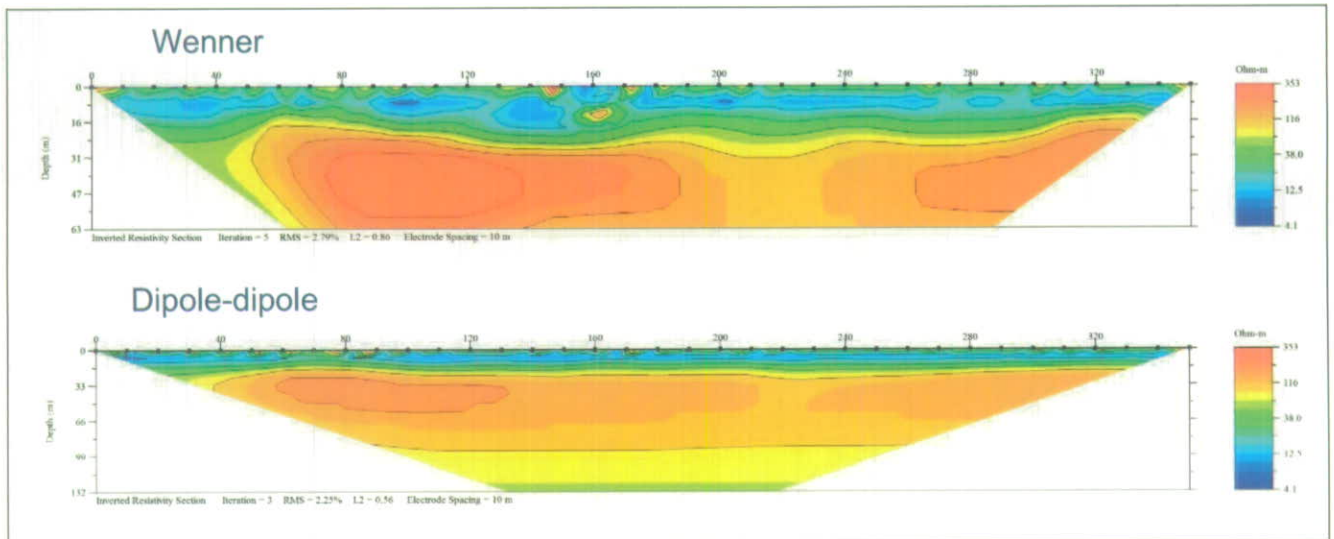


圖 6.1-52 崁腳測線-03 地電阻剖面影像。選用施測方式為 Wenner 法與 Dipole-Dipole 法。

比對之前斗六區測線結果，崁腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面上沒有低於 10 Ohm-m 的低電阻連續。但崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面上，雖然已開始漸有低電阻訊號發現，但連續性很低，只在測線東半部有這樣的特徵。而往西進入到崁腳-03 測線，在二維地電阻反演影像剖面上低電阻訊號的出現頻率高，而且具連續性，可以確認泥層（難透水層）完整出現。

崁腳區測線內，具有低電阻值的地層訊號大多約為 1~10 Ohm-m，深度位於 5-10 m 間。這點特徵和斗南區測線所發現的泥層（難透水層）特徵非常相似。崁腳區測線與斗南區測線的泥層（難透水層）與斗六區測線所獲得的泥層厚度（難透水層）所在深度相比，泥層明顯較淺且較薄。這是在濁水溪沖積扇上發生的普遍現象。

可是此種泥層（難透水層）厚度的側向變化在沖積扇所形成的舌狀（指狀）、透鏡體泥質沉積構造上，對於垂直水流方向的測向變異上是可以接受的。所以其實整個崁腳區系列測線已經經過了過渡帶的兩端。



圖 6.1-53 崁腳區測線補注邊界過渡帶判斷為崁腳-01 測線與崁腳-02 測線

如圖 6.1-53 所示，本區補注區範圍劃定：崁腳-03 測線已經是補注區外，往西則可能有泥層（難透水層）變厚的趨勢。而崁腳-02 測線二維地電阻反演影像剖面東半部出現部份泥層漸變現象；崁腳-01 測線二維地電阻反演影像剖面上泥層已經完全消失尖滅的。因此，本區泥層（難透水層）的過渡帶，即補注區邊界劃定，應以崁腳-01 測線與崁腳-02 測線間為佳。如圖 6.1-53 所示，崁腳區測線補注區邊界過渡帶判斷為崁腳-01 測線與崁腳-02 測線上。

6.1.7 驗證性剖面測勘(荊桐南北向-01、02 測線)

如圖 6.1-54，將荊桐區測線、斗六區測線、斗南區測線、崁腳區測線所定義的補注區邊界連接起來，即可得到濁水溪南岸—雲林區地下水補注區邊界。可以明顯發現，該補注區邊界在荊桐區有向東內凹的現象，或者是在斗六區有向西外凸的情形。



圖 6.1-54 濁水溪南岸（雲林區）地下水補注區邊界。塗上黃色線穿越區域為存疑性邊界。

不管是由泥層（難透水層）深度或者是厚度的比對，斗六區補注區邊界向西外凸的情形，先前已藉由該區東西向測線及斗六南北向測線討論，確認其特別的彎曲現象的確存在。

為確認補注區邊界在荊桐區有向東內凹的現象，而非圖上所示黃色線穿越

區域（存疑性邊界）。以荊桐南北向測線加以驗證。因此區介於荊桐與西螺間，屬於人口密集處，測線規劃亦須避開人為建物及河道。加上考慮到可能施測後可與斗六南北向測線有比對效果，所以荊桐區南北向測線作出如下規劃，如圖 6.1-55 由南向北依序為：荊桐南北向-01、02 測線。因為此二測線僅供驗證用，僅選取 Wenner 法施測避免干擾，並且節省時間與人力。

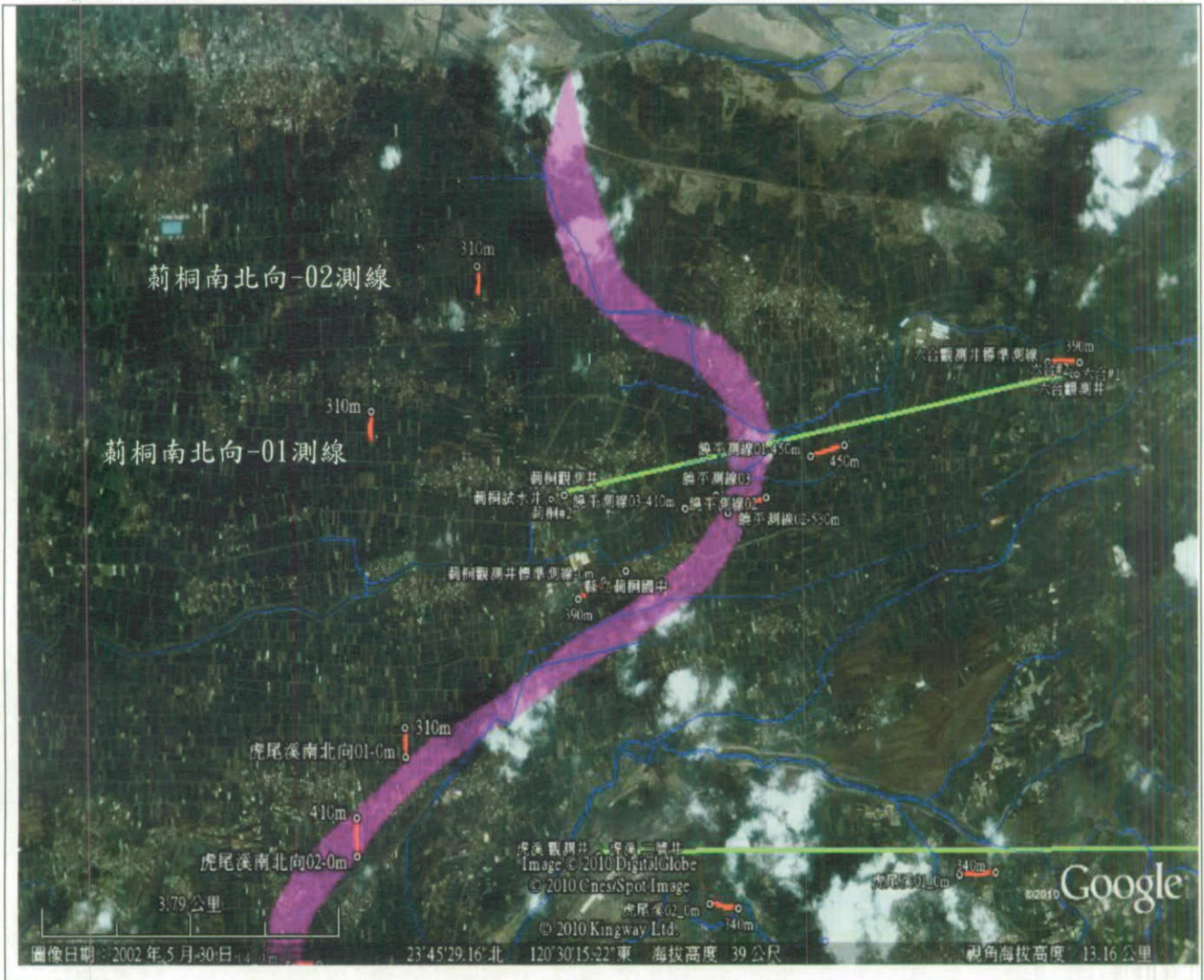


圖 6.1-55 荊桐區南北向測線，由南向北依序為：荊桐區南北向-01、02。

屏除地表人為建物干擾，由荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面(圖 6.1-56)可普遍觀測到深度約 15-55 公尺之地下反應幾乎全為低電阻率(10 Ohm-m 以下)之構造分布。這意味著其實這兩條測線都已經位於地下水補注區範圍之外。這證明我們質疑該補注區邊界在荊桐區有向東內凹的現象的正確是多餘的。儘管如此，單就荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面中低電阻部份作比較；很明顯的位於較北側荊桐南北向-02 測線中低電阻部分遠比荊桐南北向-01 測線還要低。

但若與荊桐區、斗六北區、斗南區、崁腳區測線地電阻剖面影像比較後即可發現，遠離濁水溪的區域如斗南區、崁腳區的阻水泥層厚度（約 10–15 m）普遍比靠近濁水溪的荊桐區測線地電阻剖面影像中所顯示出的（約 20–40 m）還要薄的多；而且在垂直深度上也有變淺的跡象，由地表深處（約 15–20 m）遞減到到（約 5–15 m）。

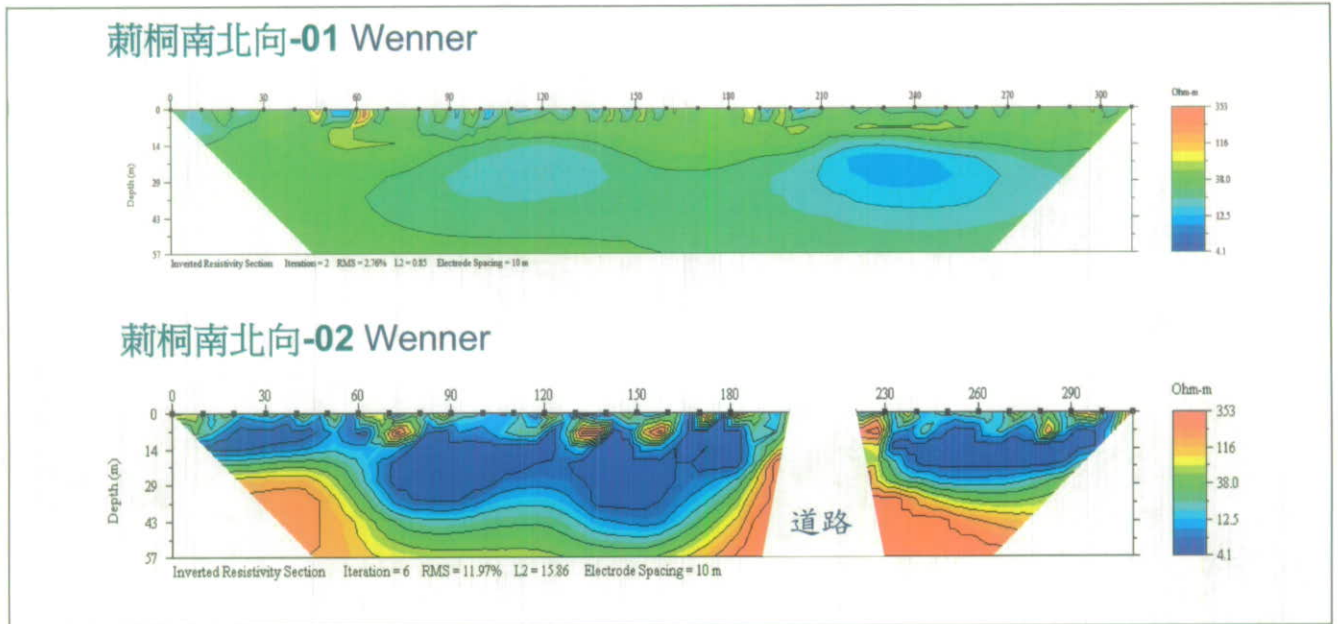


圖 6.1-56 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面。選用施測方式僅為 Wenner 法

但若與荊桐區、斗六區、斗南區、崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面比較後即可發現，遠離濁水溪的區域如斗南區、崁腳區的阻水泥層厚度（約 10–15 m）普遍比靠近濁水溪的荊桐區測線二維地電阻反演影像剖面中所顯示出的（約 20–40 m）還要薄的多；而且在垂直深度上也有變淺的跡象，由地表深處（約 15–20 m）遞減到到（約 5–15 m）。

重要的是，虎尾溪的作用在濁水溪沖積扇中可能是一個關鍵。該補注區邊界在斗六區有向西外凸的情形是存在的。由於虎尾溪的作用，將濁水溪南岸的補注區邊界複雜化了。泥質（難透水層）的分布，因為虎尾溪的作用，垂直濁水溪古水流方向或虎尾溪水流方向，泥質（難透水層）的尖滅現象有向西退後的現象。

換句話說，以砂體存在的幾何型態觀點，在斗六區測線虎尾河流域上有一砂體由東向西侵入。此種現象，導致泥層（難透水層）在該區域的分布比起荊桐區測線還要往西。因此本區的補注區劃分應該如圖 6.1-37 及圖 6.1-54 所示，

在斗六區有向西外凸的情形。

6.1.8 一維地電阻測點與資料分析比對

工研院(1984)曾於 1984 年在濁水溪與烏溪及八卦山以西的平原地帶完成了大範圍的一維地電阻水文地質調查探勘(如 6.1-57)。

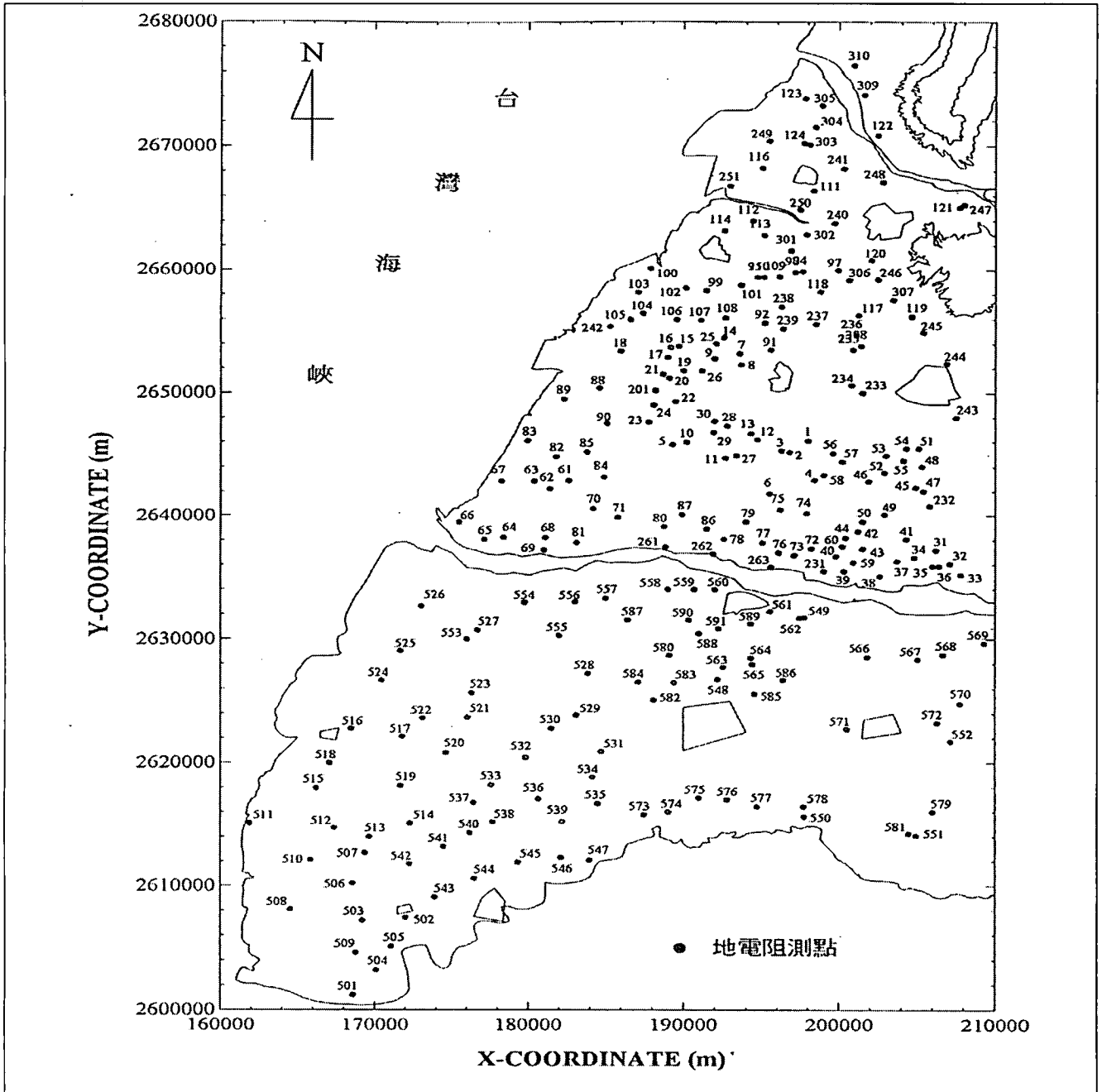


圖 6.1-57 一維地電阻測點(經建版座標 TWD67)位置 (工研院,1996)

當年使用半施蘭卜吉排列(Half-Schlumberger Array)地電阻法(圖 6.1-58)之測勘方法，利用低頻(1Hz~10Hz)交替直流電(Alternative Direct Current)通入地

下，並利用電流計量測電流強度。

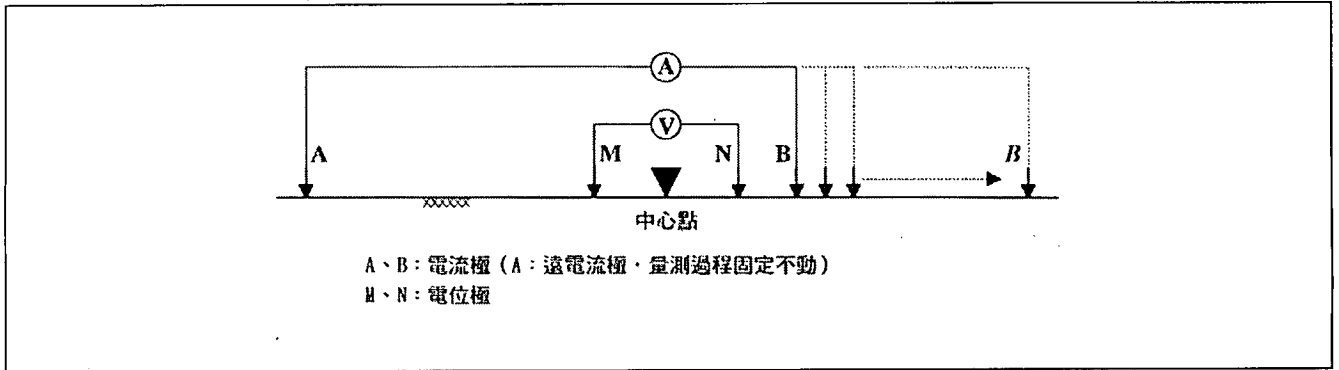


圖 6.1-58 半施蘭卜吉排列 (Half - Schlumberger Array) 示意圖 (工研院,1996)

所測量之電位差 V 與通入地下的電流強度 I 及電極之相對位置，而根據下列公式計算地層的電阻率 ρ_a 。

$$\rho_a = K(V/I)$$

式中 K 為幾何因子(Geometric Factor)，與電極排列之相對位置有關； ρ_a 稱為視電阻率(Apparent Resistivity)，通常不代表地層之實際電阻率，而是代表在此種電極排列情況下所有地層電性之綜合效應。電流極展距越大，其效應越接近下部地層之電性。由於是下方地層電性之綜合效應，實際深度約為其半展距之三分之二至二分之一左右。

雖然一維 Schlumberger 法電流極展距越大，其效應越接近下部地層之電性。但是既是下方地層電性之綜合效應，實際上也包含了電流極在施測時，電流極展距中涵蓋到的所有地層測項干擾。

所以一維地電阻測線電流極延展方向(圖 6.1-59)是否通過地表人口密集區(建物干擾)也與，資料之可信度有關。

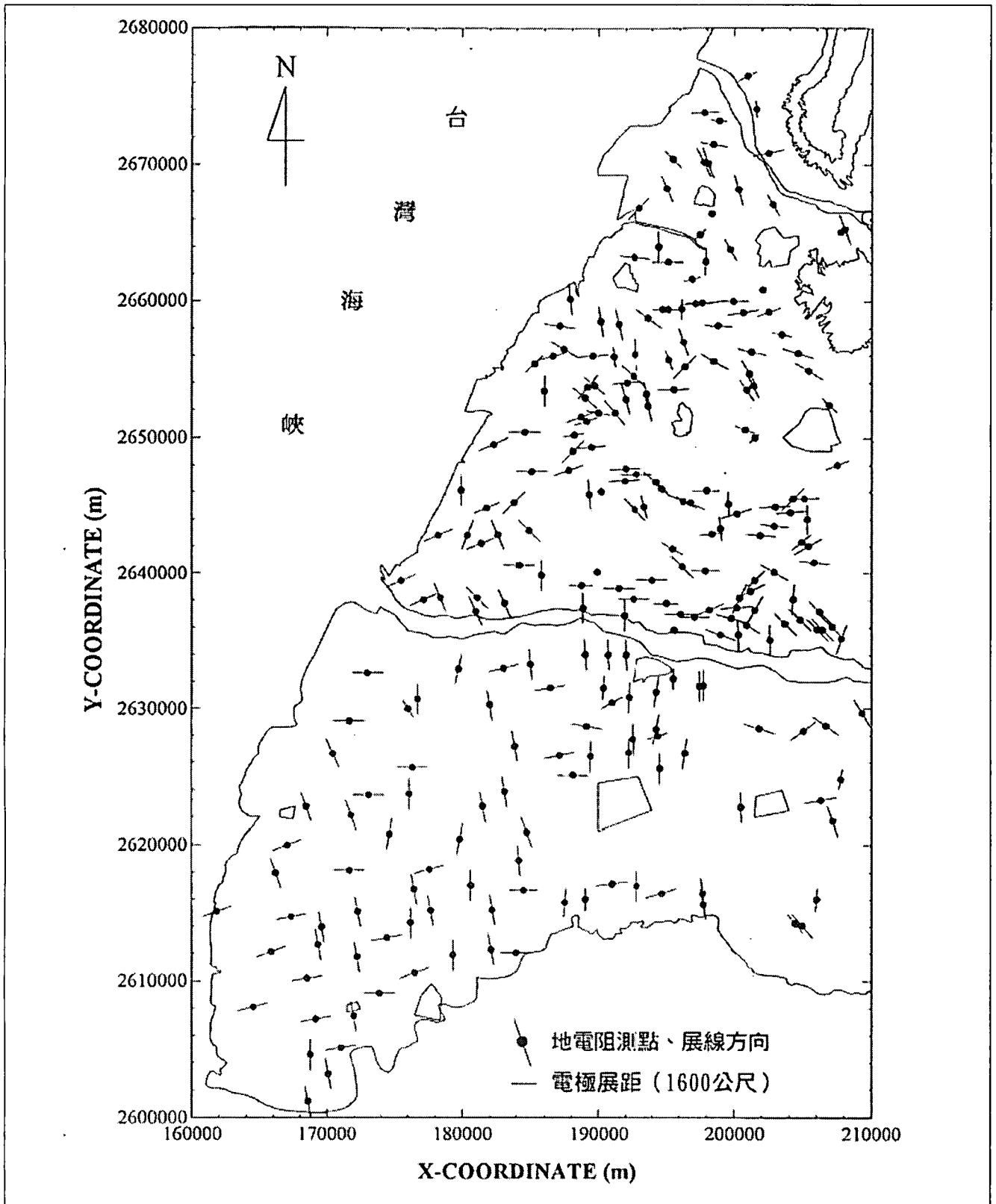


圖 6.1-59 一維地電阻測線座標(經建版座標 TWD67)及電流極延展方向 (工研院,1996)

若我們要將此資料納入本實驗中運用，以目前計算機技術已經可以將視電阻率逐項分層反演，藉以求出真實的電阻率的計算值。雖然這些資料反演算出來的計算值較接近真實的電阻率，但是還是有爭議的部份。因為畢竟資料蒐集方法為一維 Schlumberger 法，其方法本身的干擾來源我們仍須列入參考。如果原始資料的是電阻率已經是有收到干擾資料的，反演過後的資料也必定失真。但是須注意，此兩種方法其數值無法做絕對數值上的相比對，只能由各自本身數據的相對低值互相參照。

地電阻方法中，「二維地電阻方法」比起「一維 Schlumberger 法」是較有參考價值的。而未使用全區密集的「二維地電阻方法」施測是因為人力及成本考量。本節架構乃是由東向西藉由「二維地電阻方法」與「一維 Schlumberger 法」交互比對；以「二維地電阻方法」所測得數據為主，加輔以工研院 85 年在本區的「一維 Schlumberger 法」反演算後所得數值為參考，進行綜合解釋，以期能達到更精確的結果以達到更客觀、正確地區分此區之地下水補注區邊界。

經過反演算過之「一維 Schlumberger 法」資料解釋方向主要由東向西，比對「二維地電阻方法」所測得之低電阻值；雖然其數值無法做絕對數值上的相比，但是以各方法各自得到之相對低電阻區帶，劃定泥層（難透水層）的絕對位址。

一、井標準測線與地電阻一維測點比對

由於六和觀測井附近沒有一維 Schlumberger 測點，所以本研究取相對最近之測點資料作為比較。如圖圖 6.1-60，No.568 位於荊桐標準測線東南側 1.5 Km 處，而 No.567 位於二維地電阻六和標準測線西南側 1.5 Km 處。圖 6.1-61 顯示六合標準測線之 390 公尺地電阻影像剖面與地電阻測點 No.567 與 No.568 地電阻測點資料對比。

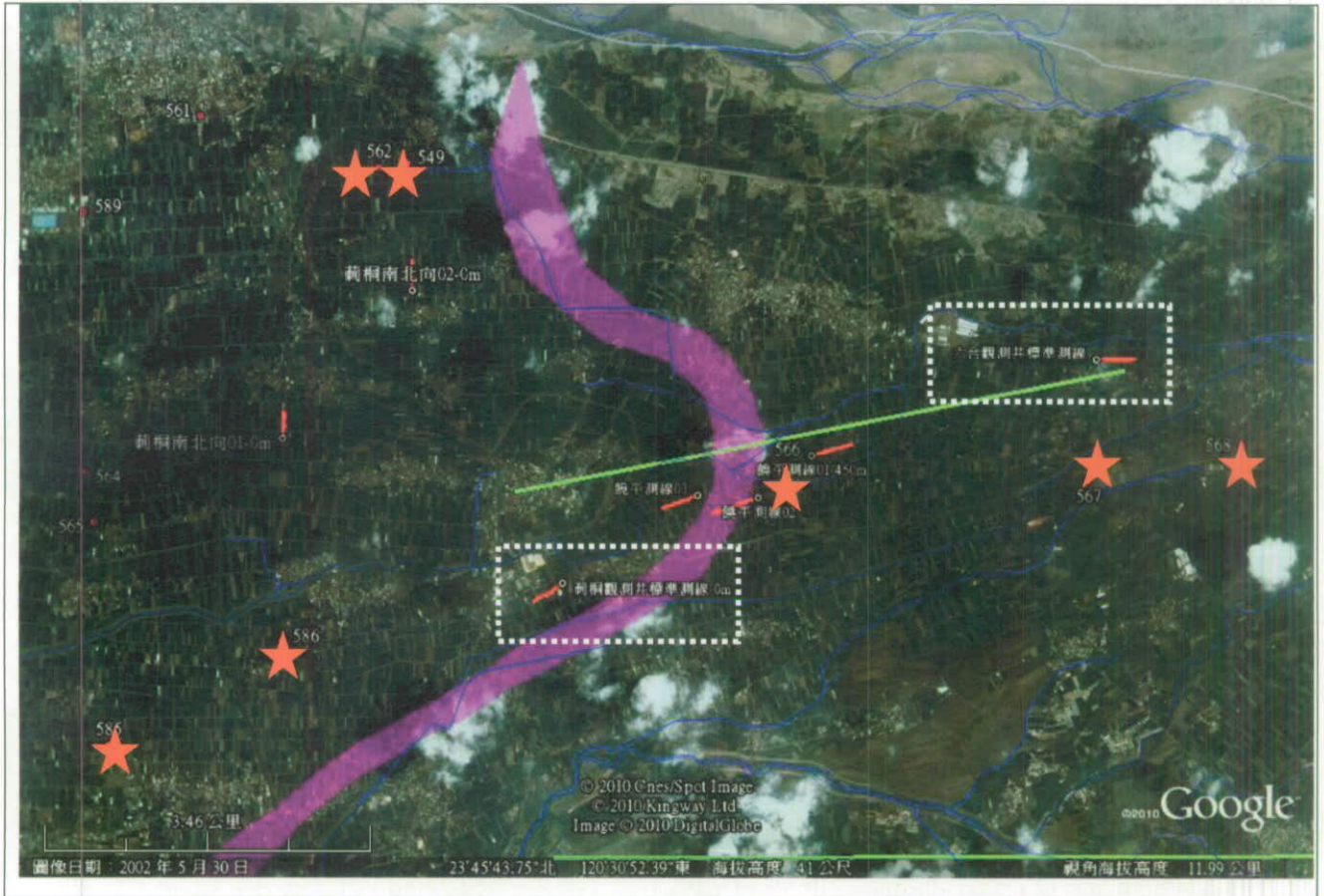


圖 6.1-60 荊桐區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點；白色虛線內分別為荊桐標準測線及六合國小標準測線。

圖 6.1-611 在六合標準測線東側 1.5 Km 處的 No.568 資料顯示此地區在深度 10 - 15 m 左右之位置，存在有一厚層之低電阻地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$)，但此低電阻層厚度僅約 5 m。其下深度 15 - 40 m 都是高電阻反應 ($> 200 \text{ Ohm-m}$)。而在六合標準測線二維地電阻反演剖面之相當位置，也反應有一較低電阻率之地層 ($< 10 \text{ Ohm-m}$) 分佈於剖面水平位置 320 - 360 m 處，深度約在 10 m 左右。

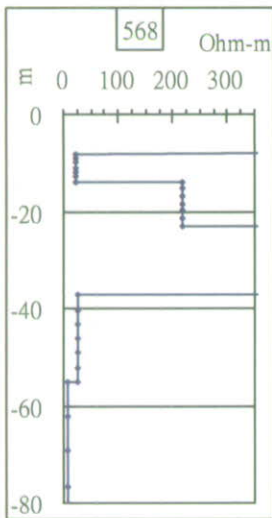
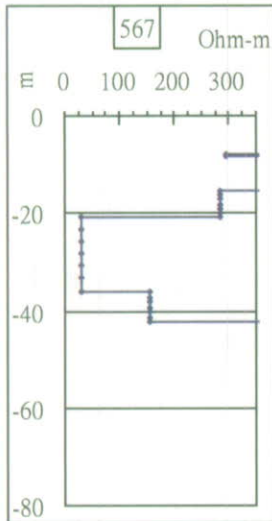
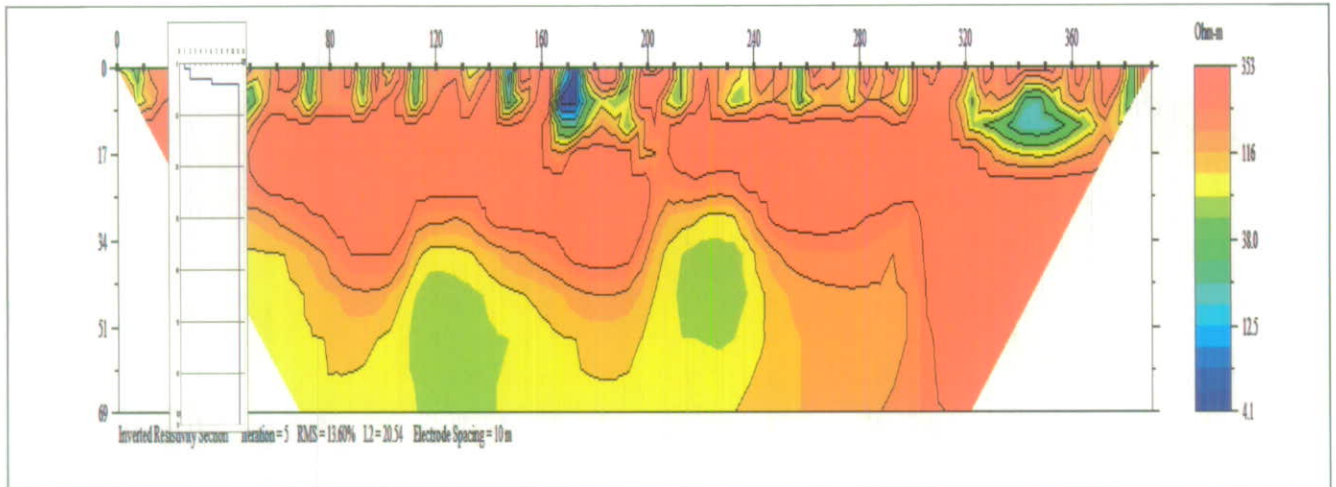


圖 6.1-61 六合剖面與六合觀測井測資料(64"電阻井測) 對比結果

接著看到六合觀測井西側 2.5 Km 的 No.567 資料(圖 6.1-61)，深度 0-20 m 都是高電阻反應 (> 200 Ohm-m)，但卻有低電阻率之地層 (< 50 Ohm-m) 分佈在 20-35 m 之間。

這種結果顯示，由 No.568 往西側 No.567 測點推進時，一維 Schlumberger

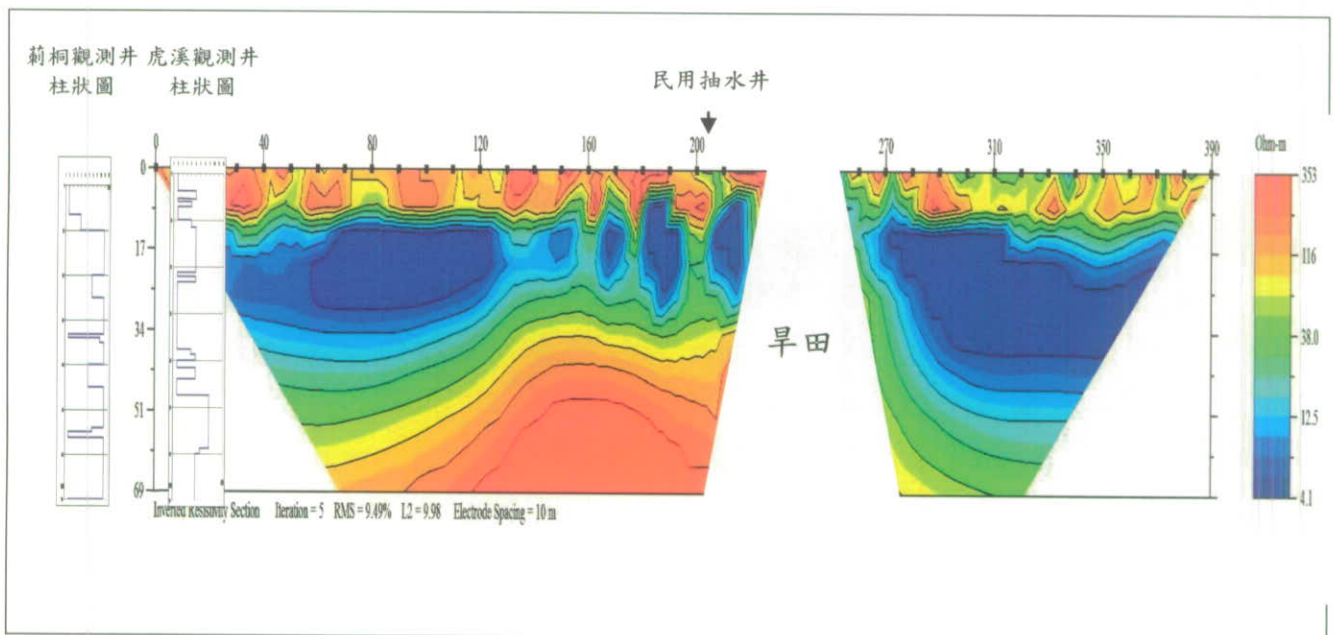
法所觀測到低電阻率之地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$) 分佈深度由 10 - 15 m 左右增加到 20 - 35 m 之位置，深度和厚度明顯增加。

同樣地，由於刺桐觀測井附近沒有一維 Schlumberger 測點 (圖 6.1-60)，所以本研究取相對最近之測點資料作為比較。圖 6.1-62 顯示荊桐標準側線之 390 公尺地電阻影像剖面與地電阻測點 No.586 與 No.566 地電阻測點資料對比。No.586 位於二維地電阻荊桐標準測線西側 2.5 Km 處，而 No.566 位於荊桐標準測線東側 2.5 Km 處 (圖 6.1-60)。

圖 6.1-62 在荊桐標準測線東側 2.5 Km 處的 No.566 資料顯示此地區在深度 5 - 10 m 有一厚層之低電阻地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$)，同樣地另一層低電阻地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$) 深度則在 15 - 40 m 以內之位置。

在荊桐觀測井西側 2.5 Km (越過判定之補注區邊界外) 的 No.586 資料顯示，低電阻率之地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$) 分佈深度第一層為 10 - 15 m 之位置，第二層增加為 25 - 60 m 之位置，厚度明顯增加。

而在荊桐標準測線二維地電阻反演剖面之相當位置，只反映有一較低電阻率之地層 ($< 10 \text{ Ohm-m}$) 分佈於整個剖面，深度約為 21 - 44 m 之位置。深度和 No.566 資料與 No.586 資料中所看到的第二層低電阻地層 ($< 50 \text{ Ohm-m}$) 深度幾乎一致。



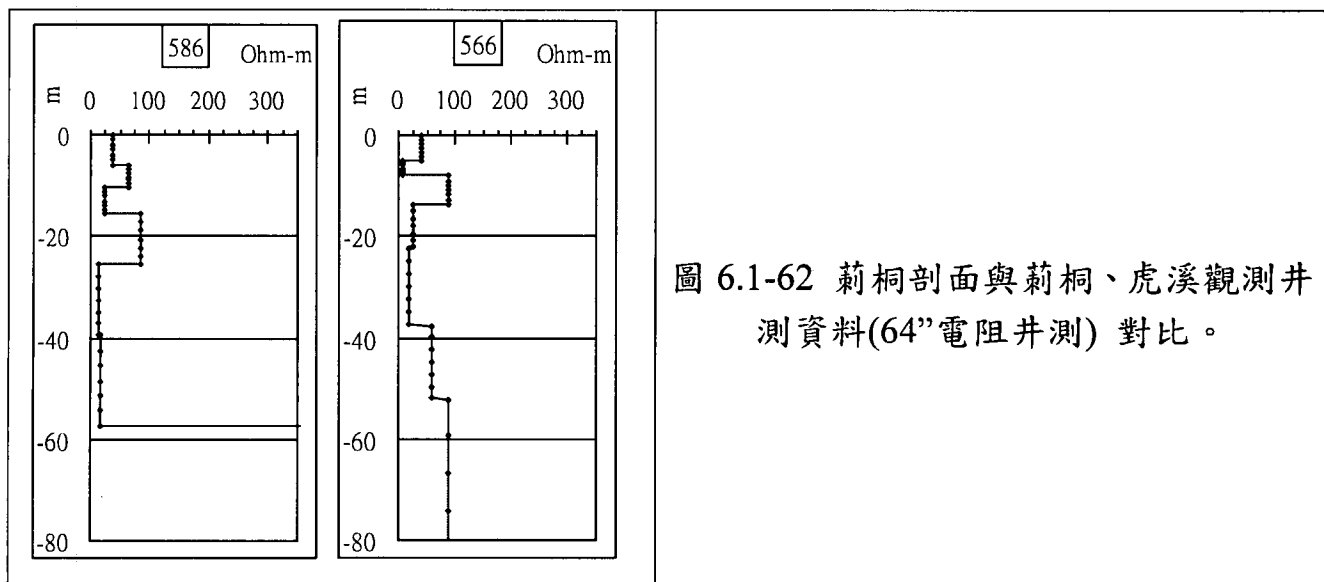


圖 6.1-62 荊桐剖面與荊桐、虎溪觀測井測資料(64"電阻井測) 對比。

相較於在六合標準測線西南側 1.5 Km 處的 No.567 資料(圖 6.1-61)·No.566 與 No.567 資料都在深度約為 20 - 40 m 之位置處反映有一較低電阻率之地層(< 50 Ohm-m) 訊號。

這種結果顯示，由 No.568 往西側 No.567 及 No.566 測點推進時，一維 Schlumberger 法所觀測到低電阻率之地層 (< 50 Ohm-m) 分佈深度由 10 - 15 m 左右增加到 20 - 35 m 之位置，深度和厚度明顯增加。

二、區測線與地電阻一維測點比對

荊桐區測線中，如圖 6.1-60 所示，一維 Schlumberger 測點 No.566 是最鄰近荊桐-01、02、03 測線的資料點。

由圖 6.1-63 可看到 No.566 測點資料在深度約為 20 - 40 m 之位置處反映有一較低電阻率之地層 (< 50 Ohm-m) 訊號。二維地電阻反演剖面上也在深度 14 - 55 的區域間都有低電阻的泥層(難透水層) 訊號，基本上是符合上一小節整個與標準測線比對的結果的。因此如果要以一維 Schlumberger 測點的資料判斷此區的資料應該是可行的。

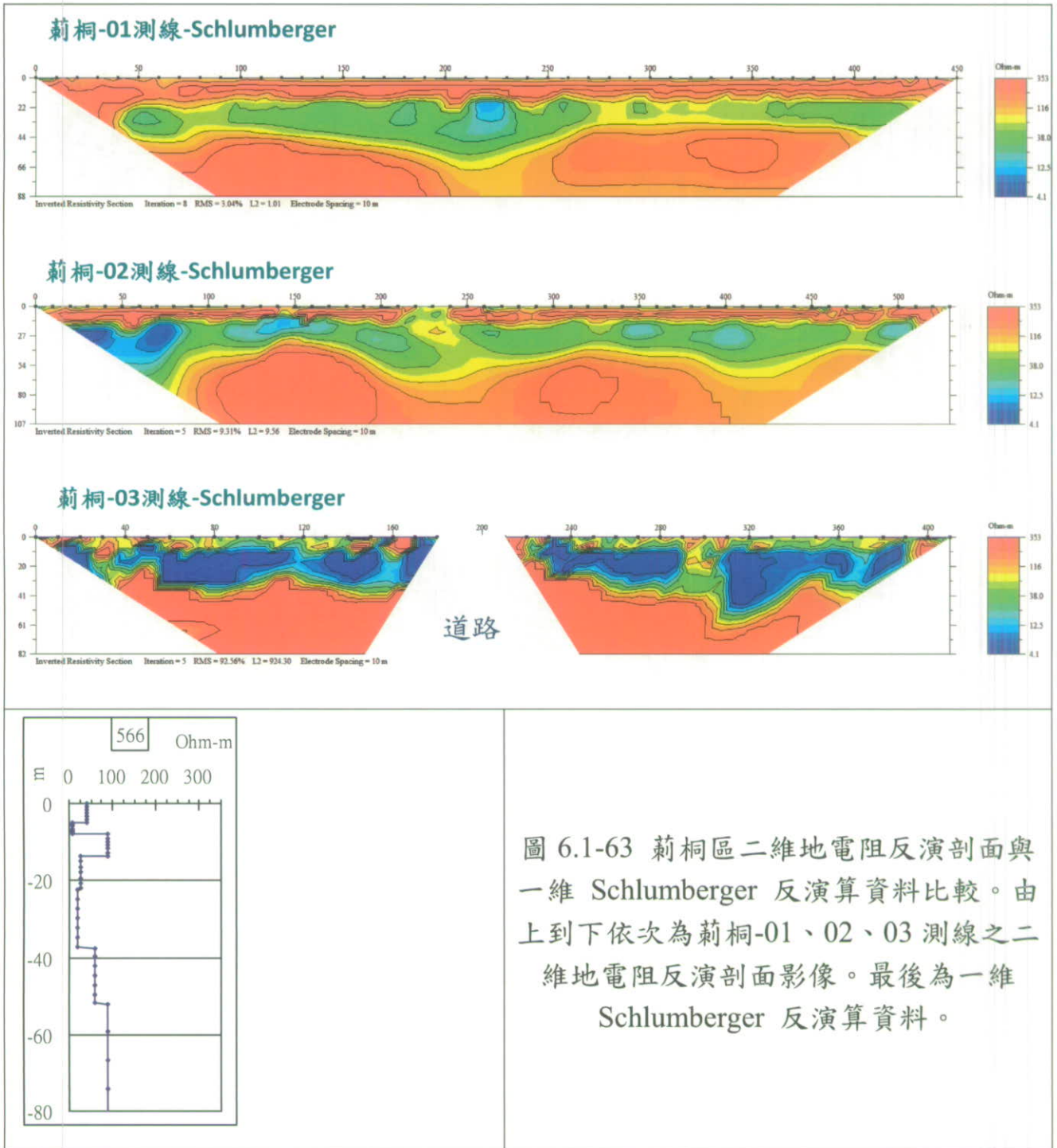


圖 6.1-63 荊桐區二維地電阻反演剖面與一維 Schlumberger 反演算資料比較。由上到下依次為荊桐-01、02、03 測線之二維地電阻反演剖面影像。最後為一維 Schlumberger 反演算資料。

本計畫執行時到接近尾聲時，為確認補注區邊界在荊桐區是否有向東內凹的現象，而非圖 6.1-49 上所示黃色線穿越區域（存疑性邊界），曾以荊桐南北向-01、02 測線加以驗證。雖然當時證明荊桐南北向-01、02 所在位置已在補注區範圍外，但我們仍可以檢視離該區域最近的一維 Schlumberger 測點 562 號與 549 號地電阻反演剖面影像比較（圖 6.1-64）。

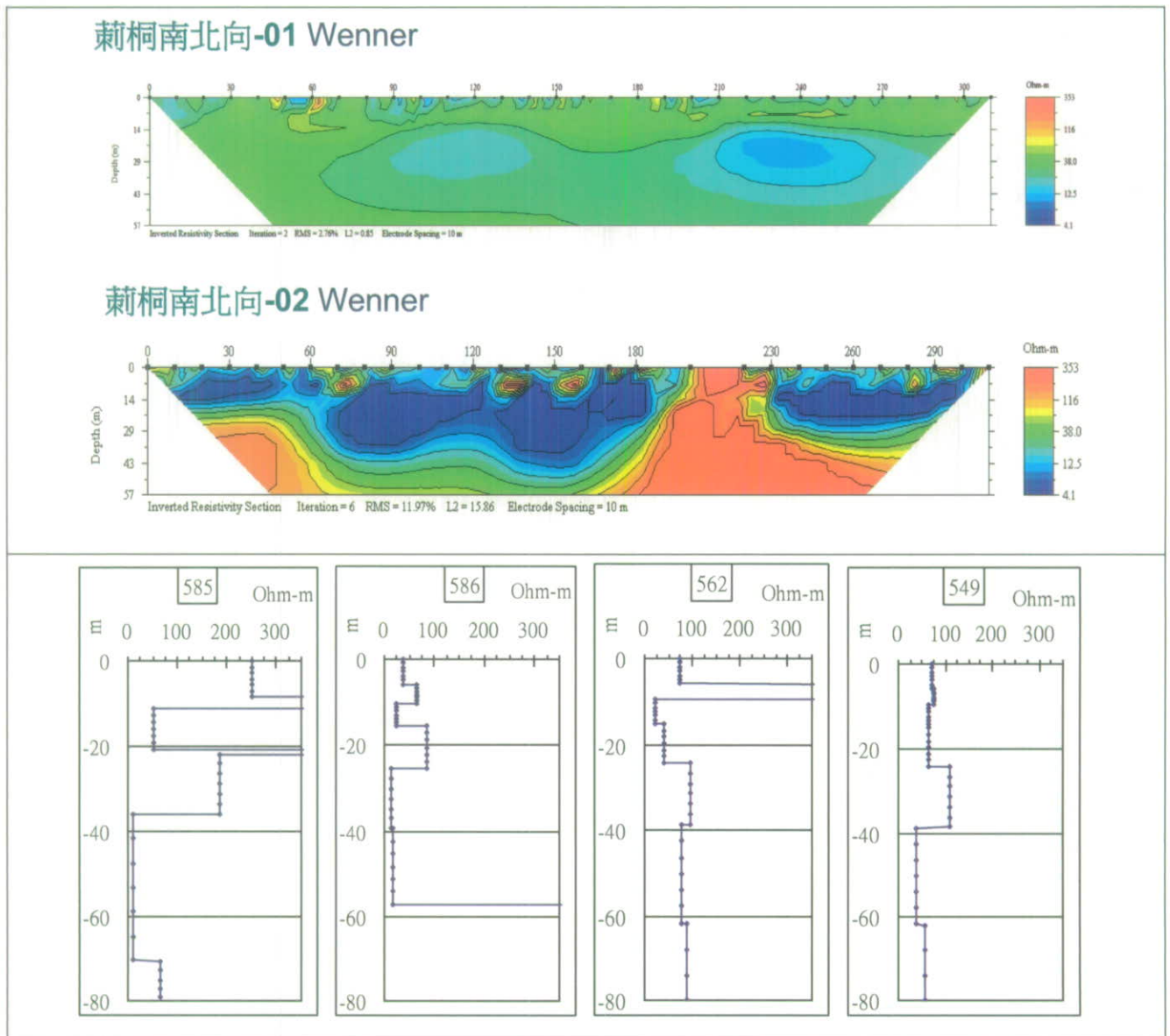


圖 6.1-64 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 562 號與 549 號地電阻反演剖面影像比較。

由荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面（圖 6.1-64）可普遍觀測到深度約 15-55 公尺之地下反應幾乎全為低電阻率（10 Ohm-m 以下）。而由整體雲林區觀測結果，亦判斷荊桐南北向-01、02 測線已在補注區邊界之外（如圖 6.1-54、55 所示）。

但一維 Schlumberger No.562 測點與 No.549 測點地電阻反演剖面影像卻沒有顯示出相對低電阻。No.549 測點，在 0 - 20 m 之間，幾乎是沒有改變的，電阻值幾乎落在 80 Ohm-m 之間。在 No.562 測點，在 10 - 25 m 之間，有一相對電阻率的低區，電阻值幾乎落在 20-50 Ohm-m 之間。

但是在仔細比較 No.562 測點與 No.549 測點的資料後可以發現，其深度與

電阻率的圖形趨勢十分相似。尤其是深度 25 m 以下的圖形，No.562 測點的資料比起 No.549 的資料值，明顯放大了將近一倍。而淺處 0 - 25 m 處，明顯的 No.562 測點的資料明顯 5 - 10 m 出現一極高電阻值，緊接在 10 - 25 m 出現低電阻。相距不到 400 m 的兩個一維 Schlumberger 測點反演資料會有這樣的差距，推測可能是因為這兩個測點已經很靠近西螺鎮外人口密集區（大茄冬區），所以可能已受到部份的人為建物干擾。如果原始資料的是電阻率已經是有收到干擾資料的，以這個假設來說，反演過後的資料也必定失真。

如果 No.562 測點與 No.549 測點的資料已經不可信，則需討論 No.586 測點與 No.585 測點的資料（圖 6.1-64）。在荊桐觀測井西側 2.5 Km（越過判定之補注區邊界外）的 No.586 資料顯示，第一層低電阻率之地層（ $< 50 \text{ Ohm-m}$ ）分佈深度為 10 -15 m 之位置；第二層低電阻率之地層（ $< 50 \text{ Ohm-m}$ ）分佈深度為到 25 -60 m 之位置，厚度明顯增加。

而 No.585 顯示，低電阻率之地層（ $< 50 \text{ Ohm-m}$ ）分佈深度為 10 -20 m 之位置；第二層低電阻率之地層（ $< 50 \text{ Ohm-m}$ ）分佈深度為到 35 -70 m 之位置，厚度明顯增加。

三、區測線與地電阻一維測點比對

斗六區測線中，如圖 6.1-65 所示，一維 Schlumberger 測點 No.572、No.571、No.585 是最鄰近斗六區測線的資料點。No.572 測點位於斗六-01 測線東南方 2 Km 處；No.571 測點位於斗六-02 測線南方約 1 Km 處。

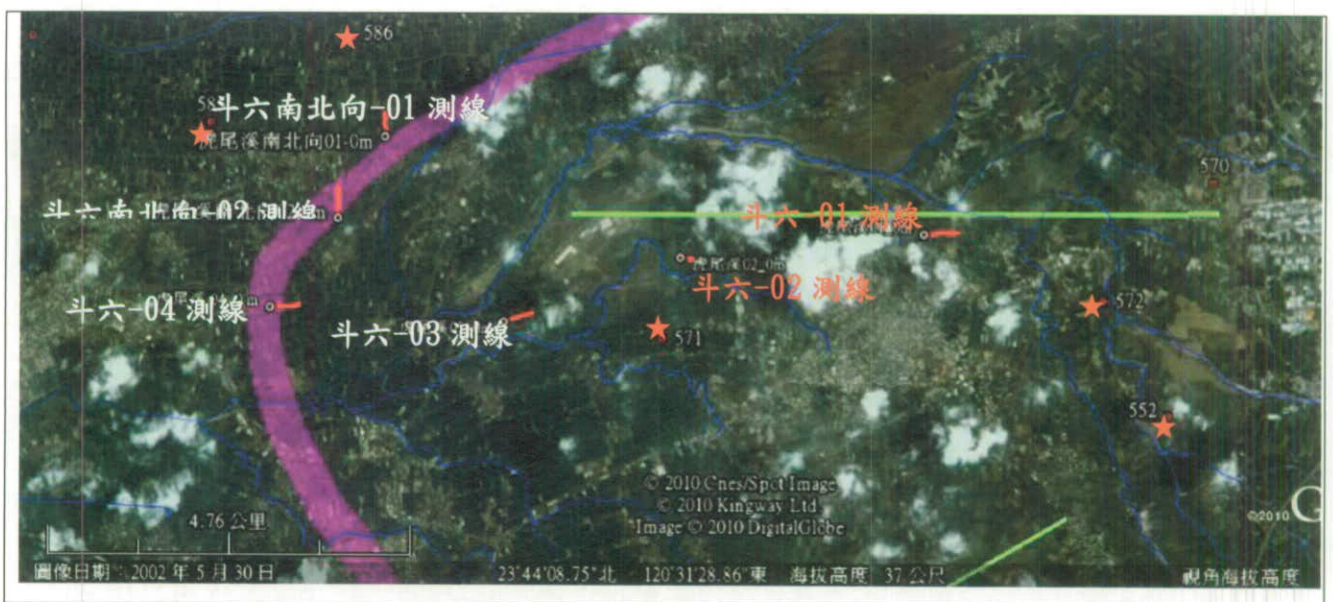


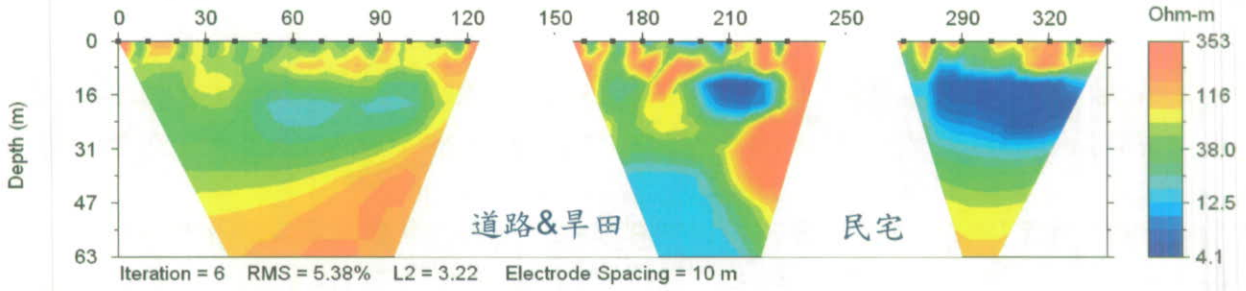
圖 6.1-65 斗六區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一

維 Schlumberger 地電阻測點。一維 Schlumberger 測點 No.572、No.571、No.585 是最鄰近斗六區測線的資料點。No.572 測點位於斗六-01 測線東南方 2 Km 處；No.571 測點位於斗六-02 測線南方約 1 Km 處。

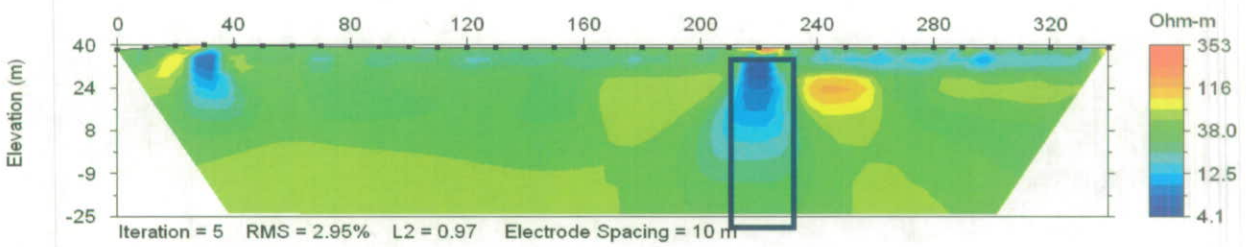
由斗六-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面（圖 6.1-66）可普遍觀測到剖面上於深度 10-50 m 處，電阻率皆為 20-60 Ohm-m。但一維 Schlumberger No.572 測點資料反應顯示出 15-35 m 深處是相對高電阻，相對低電阻出現在 10-15 m 處與 35-55 m 處，值均在 50 Ohm-m 以下。

斗六-02 測線二維地電阻反演影像剖面(圖 6.1-66)其實和一維 Schlumberger No.571 測點資料是有差異的。可以看到 No.571 測點資料深度在約 5 m 處有一非常薄的泥層，這在斗六-02 測線二維地電阻反演剖面影像可以看到這層隱約出現在極近地表的地方。雖然二維地電阻反演剖面上於深度 10-50 m 處，電阻率皆為 20-50 Ohm-m，但一維 Schlumberger 測點資料上卻欲向對低電阻，值均在 50 Ohm-m 以下。

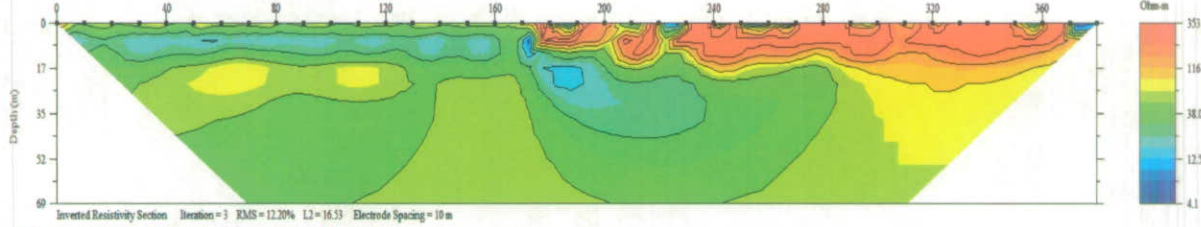
斗六-01測線 Wenner



斗六-02測線 Schlumberger



斗六-03測線 Schlumberger



斗六-04測線 Dipole-dipole

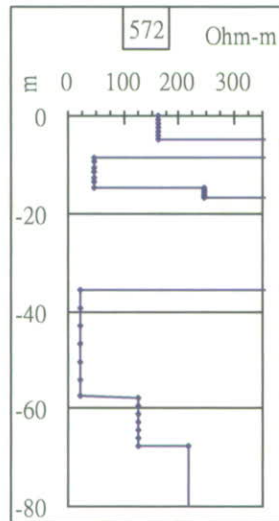
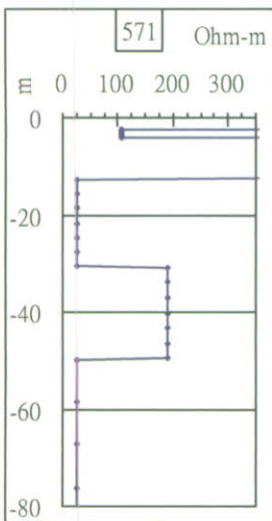
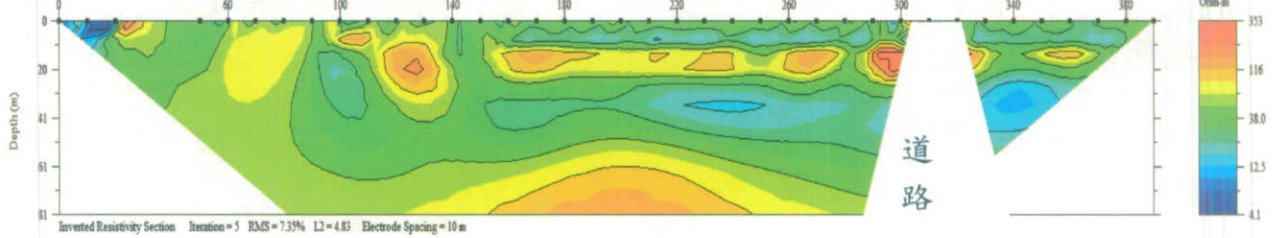


圖 6.1-66 荊桐南北向-01、02 測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 572 號與 No. 571 地電阻反演剖面影像比較。

四、區測線與地電阻一維測點比對

斗南區測線補注區邊界判定落在斗南-02 測線上（圖 6.1-67），且補注區邊界西側亦有由東向西依次 No.550、578、577 之一維 Schlumberger 測點。斗南-03 測線剛好位於這三個一維 Schlumberger 測點之間。



圖 6.1-67 斗南區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。補注區邊界判定落在斗南-02 測線上，且補注區邊界西側亦有由東向西依次 No.550、578、577 之一維 Schlumberger 測點。斗南-03 測線剛好位於這三個一維 Schlumberger 測點之間。

斗南-03 測線二維地電阻反演剖面上（6.1-68）具有低電阻值的地層訊號大多約為 1~10 Ohm-m，深度位於 5-10 m 間。這和一維 Schlumberger 測點 No.550、578、577 的資料是非常接近的，在 5-10 m 間的測點資料上都有值均小於 50 Ohm-m 的相對低電阻區。可是一維 Schlumberger 測點資料也在深度 20-40 m 間有小於 50 Ohm-m 的相對低電阻區，比對在二維地電阻反演剖面上的表現，其實是電阻值約 20 - 50 Ohm-m 的區域，研判為沙層。

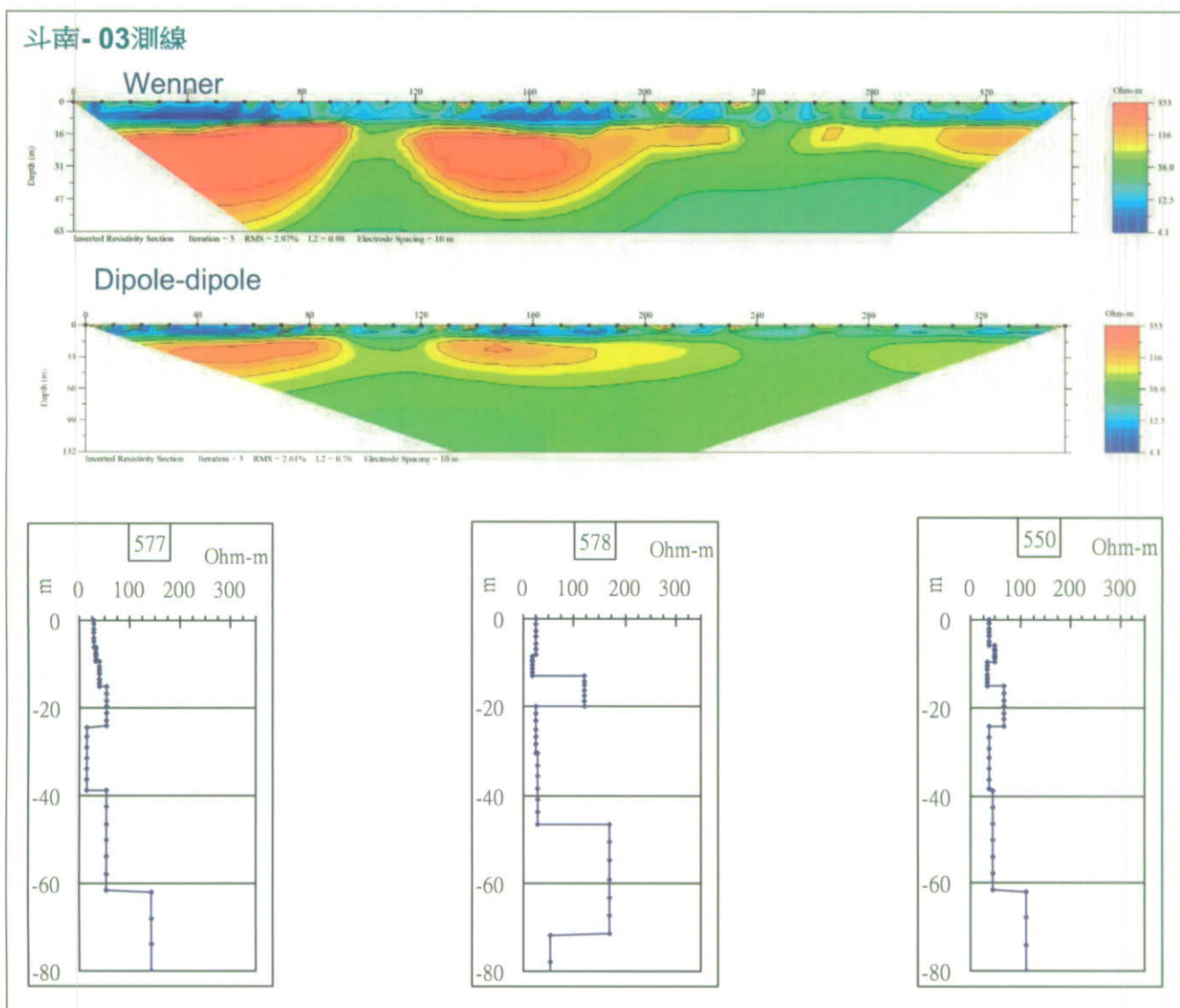


圖 6.1-68 斗南區測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 577、No. 578 與 No. 550 地電阻反演剖面影像比較。

五、區測線與地電阻一維測點比對

圖 6.1-69，崁腳區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。補注區邊界判定落在崁腳-02 測線上，只有補注區邊界東側有最靠近崁腳-02 測線的一維 Schlumberger 測點，由東向西依次為 No.579、551、581。

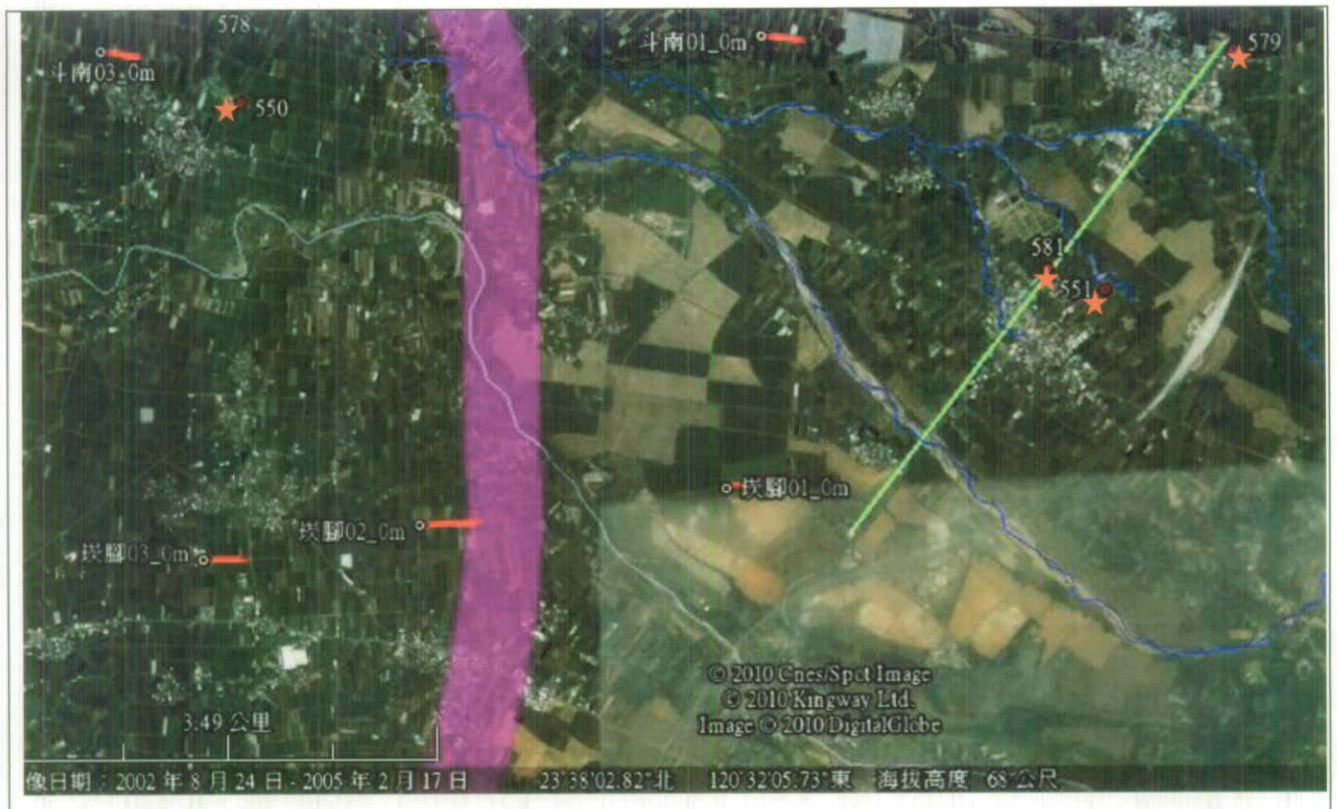


圖 6.1-69 崁腳區測線與一維 Schlumberger 地電阻測點位置關係圖。星號為一維 Schlumberger 地電阻測點。補注區邊界判定落在崁腳-02 測線上，只有補注區邊界東側有最靠近崁腳-02 測線的一維 Schlumberger 測點，由東向西依次為 No.579、551、581。

如圖 6.1-70、崁腳-01 測線二維地電阻影像剖面，深度 0 - 10 m 為高電阻值 ($>50 \text{ Ohm} - \text{m}$)，深度 10 - 45 m 顯示更高的電阻值 ($>200 \text{ Ohm} - \text{m}$)，而 45 m 以下電阻值仍為高電阻值 ($>50 \text{ Ohm} - \text{m}$)。依據刺桐標準剖面所獲得之地層電性對比，礫石層一般之電阻率約 50~100 Ohm-m。依據去年經驗及刺桐資料研判，高電阻值 ($>50 \text{ Ohm} - \text{m}$) 為沙質或礫質的地層；更高的電阻值 ($>200 \text{ Ohm} - \text{m}$) 研判亦為礫質造成，且應該為礫質成分比例更高的地層。

由一維 Schlumberger 地電阻測點 No. 551 反演資料可發現 (圖 6.1-70)，深度 10 - 45 m 為高電阻值 ($>353 \text{ Ohm} - \text{m}$)，深度 0 - 10 m 與 45 - 65 m 處為相對低電阻值。符合本區地質背景為沙岩或礫岩的認知。而且這樣的結果也和二維地電阻影像反演剖面相符。

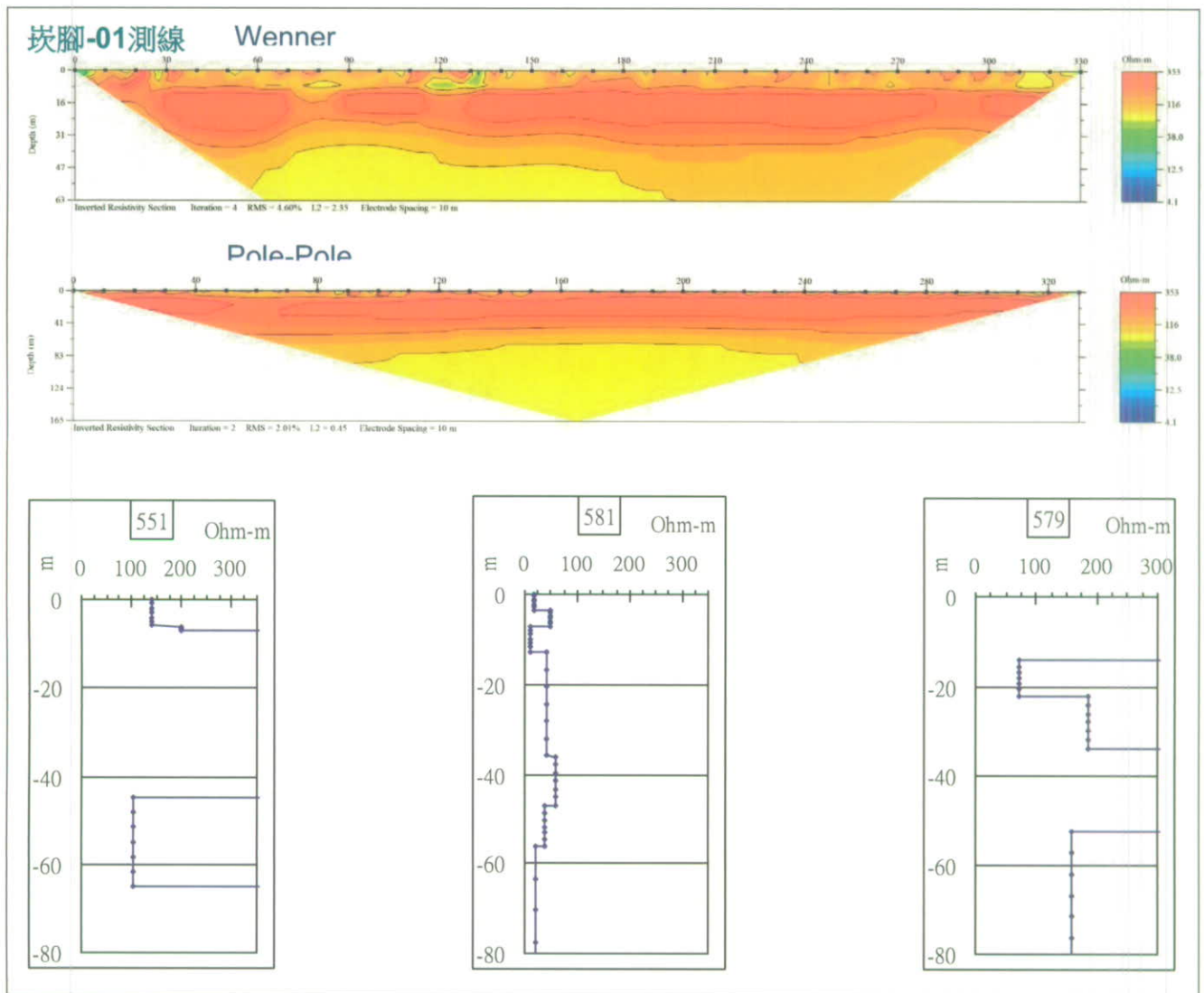


圖 6.1-70 崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面與鄰近之一維 Schlumberger 測點 No. 551、No. 581 與 No. 579 地電阻反演剖面影像比較。

可是一維 Schlumberger 地電阻測點 No. 581 反演資料發現（圖 6.1-70），整個剖面均為低電阻分布，這是非常不合理的。檢視現場航照圖可發現，該點位於虎尾河流域之河系分支。如果因為靠近永光市區，應該獲得的是高電阻值的人為建物所造成干擾現象。為解釋此現象，我們再檢視二維地電阻影像反演剖面，發現其地下水位面幾乎在深度 8 m 處。比起各區二維地電阻影像反演剖面，本區地下水未面是較高的，也就是說地下水面是較淺的。在補注區內，地下水與河水互為補注來源；整個一維 Schlumberger 二維地電阻反演影像剖面均為低電阻分布，加上附近二維地電阻影像反演剖面的反差，推論此現象為地下水或虎尾溪支流的影响。

檢視一維 Schlumberger 地電阻測點 No. 579 反演資料則可發現，整個剖面電阻直皆大於 50 ohm - m。可能也跟該測點較遠離虎尾溪支流的原因。

6.1.9 結論與建議

一、結論

由沉積學上來說，分隔深淺含水層之泥層並非延伸性良好的”單層”水平層，而應可能為不斷重疊出現或局部尖滅之凸鏡體狀構造。由各測區之測線結果來看，低電阻率所代表之泥層也有類似上述之局部尖滅或重疊出現之構造。因此就剖面影像解析度而言，大致上反映了地質分佈之狀況。也因此印證先前我們認為可以利用二維地電阻反演影像剖面描繪阻水層分佈之假設。

延續去年的工作成果，我們更確定補注區可能之邊界，並非一個明顯的界線(boundary line)，而是一個邊界帶(boundary zone)。由目前完成之二維地電阻反演影像剖面對比後發現，藉由高解析度(電極間距 10 公尺)左右所進行之側向長距離地電阻施測，可以有效協助補注區之邊界判釋。

依據二維地電阻反演影像剖面對比結果發現：荊桐區測線具有低電阻值的阻水層地層訊號大多約為 1~10 Ohm-m，是在二維地電阻反演影像剖面深度約 14-55 公尺處。斗六區測線有虎尾溪支流匯流處，地形上可以觀察到多處河階落差，並有部分古地形特徵符合點沙洲(Point Bar)的現象。此區補注區邊界受虎尾溪影響甚大，可以觀測到虎尾河流域上有一砂體由東向西侵入。此種現象，導致泥層(難透水層)在該區域的分布比起荊桐區測線還要往西。但與位於斗六區測線所獲得的泥層厚度、所在深度相比，泥層明顯較淺且較薄。崁腳區測線內，具有低電阻值的地層訊號大多約為 1~10 Ohm-m，深度位於 5-10 m 間。這點特徵和斗南區測線所發現的泥層(難透水層)特徵非常相似。崁腳區測線與斗南區測線的泥層(難透水層)與斗六區測線所獲得的泥層厚度(難透水層)所在深度相比，泥層明顯較淺且較薄。

荊桐區、斗六區、斗南區、崁腳區測線二維地電阻反演影像剖面比較後即可發現，遠離濁水溪的區域如斗南區、崁腳區的阻水泥層厚度(約 10-15 m)普遍比靠近濁水溪的荊桐區測線二維地電阻反演影像剖面中所顯示出的(約 20-40 m)還要薄的多;而且在垂直深度上也有變淺的跡象，由地表深處(約 15-20 m)遞減到到(約 5-15 m)。

重要的是，虎尾溪的作用在濁水溪沖積扇中可能是一個關鍵。該補注區邊界在斗六區有向西外凸的情形的確是存在的。由於虎尾溪的作用，將濁水溪南岸的補注區邊界複雜化了。泥質(難透水層)的分布，因為虎尾溪的作用，垂直濁水溪古水流方向或虎尾溪水流方向，泥質(難透水層)的尖滅現象有向西退後的現象。

換句話說，以砂體存在的幾何型態觀點，在斗六區測線虎尾河流域上有一砂體由東向西侵入。此種現象，導致泥層（難透水層）在該區域的分布比起荊桐區測線還要往西。因此本區的補注區劃分應該如圖圖 6.1-37 及圖 6.1-54 所示，在斗六區有向西外凸的情形。

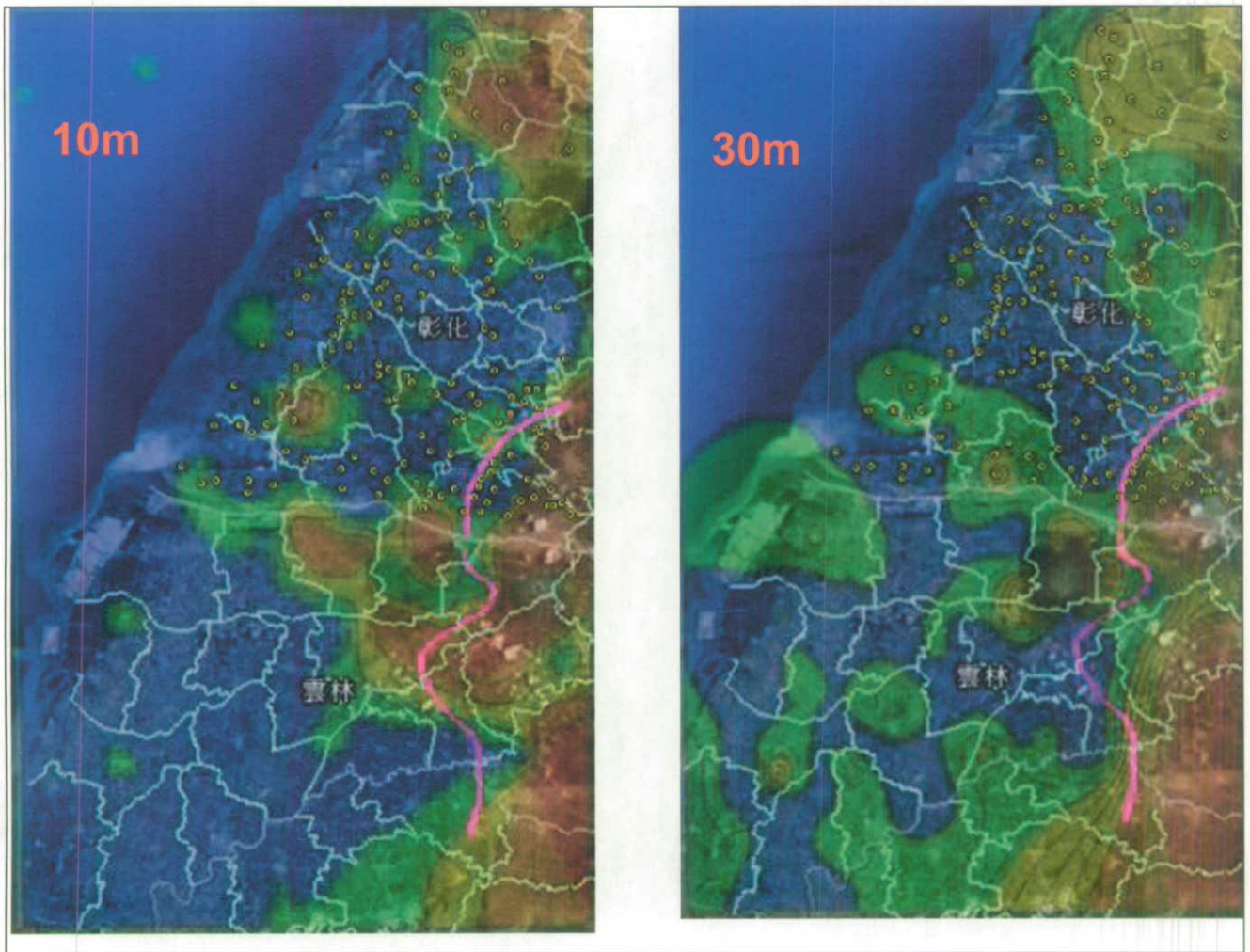


圖 6.1-71 一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法所獲得之反演資料，左為深度 10 m，右為深度 30 m

一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法的結果也支持這個說法（圖 6.1-71），可以看到彰化區補注區邊界與雲林區補注區邊界以一維地電阻反演資料深度 10 m 與 30 m 比較，彰化區因為單純受到濁水溪作用，所以以一維地電阻反演資料深度 30 m 來劃設的邊界與二維地電阻反演影像剖面比對所劃設之邊界最接近；但雲林區有虎尾溪干擾，在其流域上對濁水溪沖積扇淺層造成影響，導致在斗六區測線有一砂體由東向西侵入，且阻水泥層變薄的情形。

綜合一維地電阻反演結果判斷及實際二維地電阻反演影像剖面比對，可以

得到如圖 6.1-72 所示之雲林區地下水補注區邊界。



圖 6.1-72 濁水溪沖積扇由地電阻測深法及觀測井資料所推測之補注區界限(白色實線)，以及由二維地電阻反演影像剖面方法研判之補注區界限帶(桃紅色區域)。

二、未來研究建議

目前為止，本計畫去年度及今年度工作內容主要都是針對濁水溪沖積扇上扇到下扇阻水泥層的空間分佈來做探討。可是綜合比較濁水溪北岸(彰化)與南岸(雲林)的情形其實是有差異的。濁水溪北岸為很單純的沖積扇組成，主要沖積層為濁水溪營力所建構，當然泥層(難透水層)的分布相當單純。無論

以何種調查方法，其補注區邊界的偏移誤差是很小的。

但是反觀濁水溪南岸，雖然濁水溪沖積扇亦構成了雲林區廣大的平原區，但在其上又有分布於其上的虎尾河流域影響，如果也將虎尾溪的營力列入考慮，本區域已不在是單純的濁水溪沖積作用形成。在一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)測深法的結果中，反演影像剖面也可以發現斗六區測線有一砂體由東向西侵入。

是否可以將虎尾溪的沙體入侵視為作用在一個大型沖積扇上的小型沖積扇，亦或是虎尾溪的小型沖積扇中的泥層（難透水層）可以另行獨立分割出一個次要的補注區，這可能是未來必須考慮的重點。目前的藉由地電阻調查方法所做的補注區邊界劃定雖然已有非常良好的成效，但是畢竟一維或二維的地電阻探勘都非真正三維的調查，唯有增加該區域的調查工作才可以將本區的補注區邊界更準確的劃定。

6.2 彰雲地區扇頂地面水及地下水水質調查分析

濁水溪及屏東平原是台灣最重要的地下水資源區，兩者提供了全台超過 60% 的地下水抽用量。此兩區大都由沖積扇所組成，扇頂的巨厚礫石層構成了主要的補注區，以濁水溪沖積扇為例，扇頂補注區即佔全區約 57% 的地下水補注來源（江崇榮等，2006）。補注區的西邊界約沿著田中、柑園、荊桐、虎溪、及古坑；東邊界應沿著八卦台地及斗六丘陵的分水嶺。扇頂區除了是地下水資源豐富的區域，也是本區地下水的源頭，若有污染滲入，將對地下水資源產生很大的衝擊。許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區(Critical Aquifer Recharge Area)、喬治亞州的 GRAD 區(Groundwater Recharge Area District)，但台灣尚在起步階段，所以極需進行此基礎調查研究（City of Issaquah, 2009）。

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，本項工作補調查扇頂補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考。

第一年已對本區之水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，有四項初步結果。

(1) 彰雲扇頂區歷年導電度的變化顯示，有多口井有鹹化的趨勢，以濁水溪南岸較為嚴重。接近半數的井，其導電度已超過灌溉水標準 $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。彰雲橋溪水之導電度，很少超過 $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，但現今濁水溪扇頂有七成的觀測井，地下水導電度超過 $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，推測來自人類活動的影響，例如：以地下水灌溉、化肥、生活污水、工廠廢水等。扇頂區急需保護與復育。

(2) 連續監測顯示：降雨對荊桐、六合及柑園導電度有不同的影響。不論是否有上覆泥層，其導電度短期變化。荊桐一井及柑園一井，降雨使地下水導電度會短暫升高，六合一井降雨使地下水導電度短暫降低。雨水的導電度較小、但鄰近地層、地面土壤層或人為污染，可能使被雨水攜帶至含水層，而使地下水導電度變大。

(3) 彰雲扇頂區地下水水質可分為兩類：硫酸根—碳酸氫根—鈣離子水質及碳酸氫根—鈉離子為主，前者多為沖積層含水層，後者多為頭嵙山層含水層。前者與濁水溪溪水水質成份類似，顯示溪水滲入地下後，水質並無改變；後者水質演化為有機碳降解、硫酸根還原、陽離子交換及沉澱溶解等作用所控制。

(4) 2009 年硝酸鹽汙染監測顯示，新光及古坑井已超過環保署飲用水水源標準。

本年度除延續去年工作，持續監測彰雲扇頂區的地下水水質，因部份地下水已超過灌溉水標準，應評估調查該區地面水及農業灌溉之水質現況，並尋求因應之道。若鹽化情況與硝酸鹽汙染持續，也應評估對飲用水的影響。本年度之預期結果有四項：(1) 柑園及荊桐導電度連續監測。(2) 扇頂區的地下水水質現況及趨勢，例如導電度、主要離子成份等，有鹽化趨勢的井，是否持續鹽化？(3) 地下水中的硝酸鹽汙染之持續監測？(4) 扇頂區地面水的水質現況及趨勢，例如導電度、主要離子成份、硝酸鹽等，是否有污染的情況？是否影響地下水。

6.2.1 前期研究

濁水溪及屏東平原是台灣最重要的地下水資源區，兩者提供了全台超過 60% 的地下水抽用量。此兩區大都由沖積扇所組成，扇頂的巨厚礫石層構成了主要的補注區，以濁水溪沖積扇為例，扇頂補注區即佔全區約 57% 的地下水補注來源（江崇榮等，2006）。補注區的西邊界約沿著田中、柑園、荊桐、虎溪、及古坑；東邊界應沿著八卦台地及斗六丘陵的分水嶺。扇頂區除了是地下水資源豐富的區域，也是本區地下水的源頭，若有污染滲入，將對地下水資源產生很大的衝擊。許多國家已設立地下水水源保護區，例如美國華盛頓州的 CARA 區 (Critical Aquifer Recharge Area)、喬治亞州的 GRAD 區 (Groundwater Recharge Area District)，但台灣尚在起步階段，所以極需進行此基礎調查研究 (City of Issaquah, 2009)。

為了配合地下水補注潛勢研究，增加補注計算及補注區劃定的精度，本項工作補調查扇頂補注區的水質，探討水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考。

第一年已對本區之水質地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，有四項初步結果。(1) 彰雲扇頂區歷年導電度的變化顯示，有多口井有鹹化的趨勢，以濁水溪南岸較為嚴重。接近半數的井，其導電度已超過灌溉水標準 $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。彰雲橋溪水之導電度，很少超過 $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，但現今濁水溪扇頂有七成的觀測井，地下水導電度超過 $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，推測來自人類活動的影響，例如：以地下水灌溉、化肥、生活污水、工廠廢水等。扇頂區急需保護與復育。

(2) 連續監測顯示：降雨對荊桐、六合及柑園導電度有不同的影響。不論是否有上覆泥層，其導電度短期變化。荊桐一井及柑園一井，降雨使地下水導電度會短暫升高，六合一井降雨使地下水導電度短暫降低。雨水的導電度較小、但鄰近地層、地面土壤層或人為污染，可能使被雨水攜帶至含水層，而使地下水導電度變大。

(3) 彰雲扇頂區地下水水質可分為兩類：硫酸根—碳酸氫根—鈣離子水質及碳酸氫根—鈉離子為主，前者多為沖積層含水層，後者多為頭嵛山層含水層。前者與濁水溪溪水水質成份類似，顯示溪水滲入地下後，水質並無改變；後者水質演化為有機碳降解、硫酸根還原、陽離子交換及沉澱溶解等作用所控制。

(4) 2009年硝酸鹽污染監測顯示，新光及古坑井已超過環保署飲用水水源標準。

6.2.2 研究方法與步驟

地下水採樣與化驗：研究方法為文獻資料收集與統計分析、水質採樣分析、水質連續監測、及水質地化理論探討等。本研究的採樣點，主要為台灣地區地下水觀測網之觀測井（經濟部中央地質調查所，1995，1999；台糖公司地下水中心，1999-2004）。為了瞭解補注區的水質變化，將會對其中位於補注區的井詳加討論，預計扇頂 19 口井、3 處溪水（彰雲大橋、名竹大橋及南雲大橋）及 1 個雨水樣，共 23 個水樣（圖 6.2-1 及表 6.2-1）。

根據地下水水流方向及水文地質、彰雲扇頂區又可分為四個分區：濁水溪扇、斗六扇、上邊界及下邊界（圖 6.2-2）。濁水溪扇有二水、田中(1)、烏塗(2)、六合(1)及柑園(1)，此五站皆以礫石為主，為自由含水層。濁水溪扇的下邊界為田尾(1)、溪州(1)、西螺(1)及荊桐(1)，此四站淺處覆有泥層，屬於漏壓水層或受壓水層。上邊界有竹山(1)、新光(1)及社寮(1)，此三站皆為於丘陵區之頭嵛山層。斗六扇有石榴(1)、東和(1)、古坑(1)、崁腳(1)等站，地下水源自斗六山區，由東南往西北流，其來源與水質都與濁水溪扇有很大差異。

水質分析項目分為現場量測及室內分析。現場量測項目：溫度、導電度、

pH、溶氧、氧化還原電位。實驗室化驗項目：主要離子有氯離子、碳酸氫根、硫酸根、鈣、鎂、鈉、鉀等陽離子；微量成份有硝態氮、銨離子等（表 2-2）。採樣頻率為旱雨季各一次，採樣時間為五月（枯水期）及九月（豐水期）。水樣以貝勒管下至濾管深度採取，水樣以冰桶保存，於 24 小時內送回化驗室。初步的水質數據評估，參考環保署飲用水源水質標準及灌溉用水水質標準（表 2-3）。

導電度值隨著溫度上升而增加，因此國際慣例上，都校正為 25°C 時之導電度 (APHA, 1998)。沒有校正前的導電度稱為「視導電度」(apparent conductivity)，校正後的稱為「比導電度」(specific conductivity)。在不同溫度時量測的「視導電度」，可用以下公式校正為「比導電度」：

$$EC = EC_m / (1 + 0.019(t - 25))$$

EC 比導電度；

EC_m 視導電度；

t 測量時之水溫

舉例說明：廬山溫泉某溫泉井湧水時溫度為 85°C，此時量得導電度 4300 μS/cm，代入上式求得比導電度應為 2009 μS/cm，差異達兩倍以上。

趨勢分析：使用 Mann-Kendall 法 (Kendall, 1975)。顯著值 S 以公式 1 定義之：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_j - X_k) \dots\dots\dots(\text{式 6.2-1})$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = 1 \text{ 若 } X_j - X_k > 0$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = 0 \text{ 若 } X_j - X_k = 0$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = -1 \text{ 若 } X_j - X_k < 0$$

X_j 為時間 j 之數值、X_k 為時間系列之數值（共有 n 個值）。顯著值 S 為正值，表示有增加趨勢；若為負值，表示遞減之趨勢。其顯著性之分布機率 f(z) 可由標準化後之統計值 (Z 值) 及變異數 VAR(S) 來推算：

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \dots\dots\dots(\text{式 6.2-2})$$

n 為數據個數、g 群組數、t_p 為第 p 個群組之數據個數。標準化後之統計值 (Z 值)：

若 $S=0$ 則 $Z=0$

若 $S>0$ 則 $Z=(S-1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2}$

若 $S<0$ 則 $Z=(S+1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2}$ (式 6.2-3)

分布機率 $f(z)$

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \text{(式 6.2-4)}$$

一般以 90—95% 為顯著水平，本研究以 90% 為判斷是否有顯著趨勢。

水質連續監測：放置自記水質測棒，項目為水位、水溫及導電度三項，地點為柑園(1)及荊桐(1)。儀器為美國 In-Situ 公司的 Troll-200 型（圖 6.2-3），溫度範圍 -20—80°C、準確度 0.1°C、解析度 0.01°C；水壓範圍 0—100m、準確度 0.25%、解析度 0.005%；導電度範圍 5—100000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、準確度 0.5%、解析度 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；自記頻率預定為半小時一筆。

地面水的調查：沿扇頂區之主要水系及灌溉渠道，量測其導電度及離子成份，早雨季各一次。彰化區約 21 點，量測其導電度，其中 5 點化驗離子成份；雲林區約 16 點，量測其導電度，其中 5 點化驗離子成份。

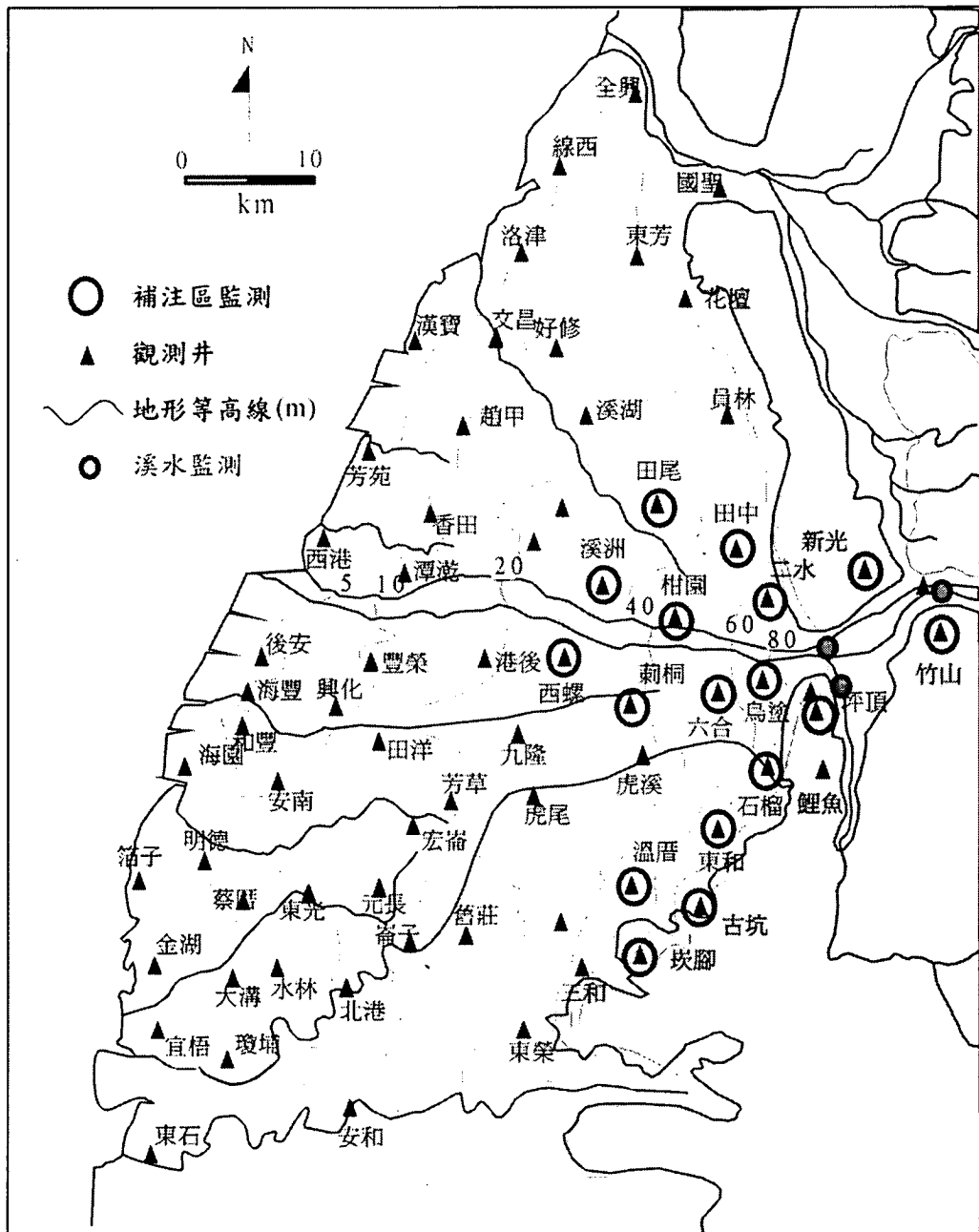


圖 6.2-1 彰雲地區觀測井地下水及溪水採樣位置圖

表 6.2-1 彰雲扇頂補注區觀測井之基本資料

井名	濾管起 m	濾管止 m	靜水位 m	X(m)	Y(m)	地表高程(m)
炭腳(1)	78	102	53.62	202021	2612378	110.11
古坑(1)	66	102	47.52	204980	2615932	100.67
溫厝(1)	14	32	7.54	199400	2617408	48.65
溫厝(2)	78	96	12.74	199400	2617408	48.65
東和(1)	21	57	14.43	205251	2620504	75.66
石榴(1)	9	15	7.37	206944	2624360	66.57

烏塗(2)	40	94	29.26	208141	2629816	72.31
六合(1)	24	54	17.21	204584	2629706	56.18
荊桐(1)	14	32	6.45	197886	2628381	37.62
西螺(1)	20	38	4.82	194891	2632723	29.49
社寮(1)	9	18	9.16	220800	2634163	176.07
竹山(1)	66	96	6.36	217282	2629020	150.95
新光(1)	78	120	53.1	215584	2638740	222.106
二水	72	108	39.15	210242	2634428	82.44
柑園(1)	14	32	9.4	201662	2635696	46.69
溪洲(1)	4	28	4.56	198371	2639267	34.18
田中(1)	98	134	11.48	207088	2639188	49.56
田中(2)	243	266	14.29	207088	2639188	49.56
田尾(1)	12	30	7.07	201045	2643280	32.55

靜水位指井口下之深度。座標為二度分帶。

表 6.2-2 本計畫水質化驗項目及方法

	項 目	檢 驗 方 法	偵測極限	單位
1	T(水溫)：溫度計法	現地檢測 NIEA W217.50 A	靈敏度 0.1	°C
2	pH：電極法	現地檢測 NIEA W424.50 A	靈敏度 0.01	
3	DO：電極法	現地檢測 APHA(20th) 4500 OG	0.20	mg/L
4	EC：導電度計法	現地檢測 NIEA W203.51 B	靈敏度 0.01	μS/cm
5	Alkalinity：滴定法	NIEA W449.00 B	15	mg/l
6	Cl ⁻ ：	NIEA W415.51 B	0.50	mg/l
7	SO ₄ ²⁻ ：離子層析法		0.50	mg/l
8	NO ₃ ⁻ -N：		0.05	mg/l
9	Ca：EDTA 滴定法	APHA(20th) 3500-Ca B	0.50	mg/l
10	Mg：EDTA 滴定法	NIEA W208.50 A	0.30	mg/l
11	Na：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-Na D	0.50	mg/l
12	K：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-K D	0.45	mg/l
13	NH ₃ -N：納氏比色法	NIEA W416.50 A	0.025	mg/l

NIEA 為台灣環保署公告之標準檢測方法；APHA 為美國公共健康協會公告之標準檢測方法。

表 6.2-3 飲用水源及灌溉用水質標準

檢測項目	單位	環保署飲用	環保署飲用	灌溉用水 水質標準
		水水源水質 標準 甲	水水源水質 標準 乙	
1. 水溫 T	°C	-----	-----	<35
2. 氫離子濃度 pH	-----	-----	-----	6.0-9.0
3. 氧化還原電位 ORP	mV(at25 °C)	-----	-----	-----
4. 溶氧 DO	mg/L	-----	-----	>3
5. 甲烷氣 CH ₄	ppm	-----	-----	-----
6. 導電度 (at25°C) EC	µS/cm	-----	-----	750
7. 大腸桿菌群 Coliform	CFU/100 ml	20000(消毒) 50(未消毒)	6(乙1) 50(乙2)	-----
8. 總溶解固體 TDS	mg/L	-----	500	-----
9. 鈣 Ca	mg/L	-----	-----	-----
10. 鎂 Mg	mg/l	-----	-----	-----
11. 硬度 Hard	mg/L	-----	-----	-----
12. 鉀 K	mg/L	-----	-----	-----
13. 鈉 Na	mg/L	-----	-----	-----
14. 總鹼度 Alk.	mg/L	-----	-----	-----
15. 氯鹽 Cl ⁻	mg/L	-----	250	175
16. 硫酸根 SO ₄ ⁻²	mg/L	-----	250	200
17. 硝酸鹽氮 NO ₃ ⁻ -N	mg/L	-----	10.0	-----
18. 氨氮 NH ₃ ⁻ -N	mg/L	1	0.1	總氮 3.0
19. 砷 As	mg/L	0.05	0.05	0.05
20. 鐵 Fe	mg/L	-----	0.3	5.0
21. 錳 Mn	mg/L	-----	0.05	0.2
22. 鋅 Zn	mg/L	-----	5.0	2.0
23. 銅 Cu	mg/L	-----	1.0	0.2
24. 鉻 Cr	mg/L	0.05	0.05	0.1
25. 總有機碳 TOC	mg/L	4	-----	-----
26. 硫化物 Sulfide	mg/L	-----	-----	-----
27. 鎘 Cd	mg/L	0.01	0.005	0.01
28. 鉛 Pb	mg/L	0.05	0.05	0.1

*甲類：自來水、簡易自來水 乙類：乙1：盛裝水、公共飲用之連續供水、
乙2：社區自設公共給水、包裝水

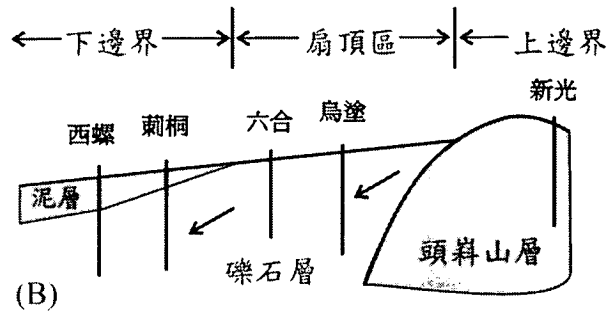
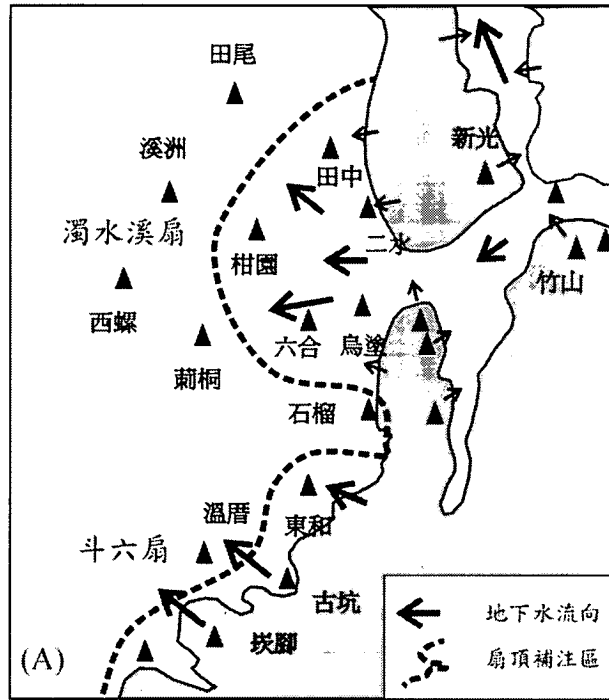


圖 6.2-2 (A) 扇頂補注區可分為濁水溪扇及斗六扇。(B) 水文地質剖面示意圖

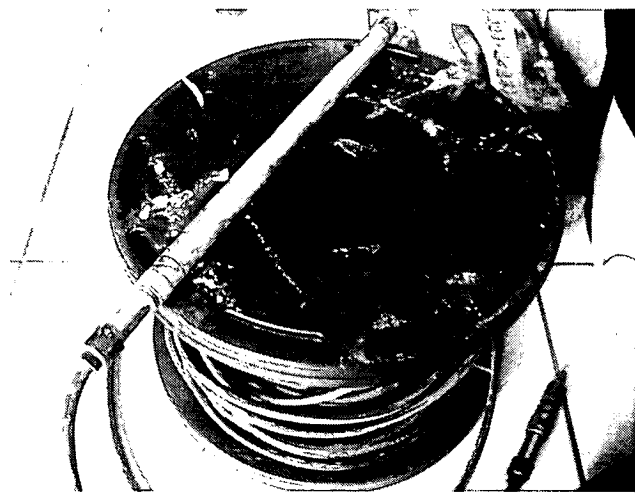


圖 6.2-3 美國 In-situ Troll-200 水壓水溫導電度三合一自記測棒

6.2.3 資料分析結果

以下分成五個部份討論：（1）井內導電度垂向分布；（2）導電度連續監測；（3）水質之歷年導電度及主要離子成份；（4）扇頂區硝酸鹽濃度；（5）地面水調查。

一、井內導電度垂向分布

本研究發現，調查區的觀測井，井內水的導電度有明顯的垂向差異。例如二水及柑園井（圖 6.2-4），二水井的上部導電度只有 200 μ S/cm，但下部約有 400-450 μ S/cm，兩層導電度相差一倍；柑園井上部約 250-800 μ S/cm，下部約 900 μ S/cm，兩層相差可達三倍。其餘井分層較明顯的有：古坑（圖 6.2-5）、竹山（圖 6.2-6）、荊桐及西螺（圖 6.2-7）。

井內上下層水導電度不同的原因，可能有三：（1）上層井管有破漏，淺層水經由破漏處入滲（國外的研究案例如 Michalski, 1989）；（2）流入井內水為不同密度，因此低密度往上浮、高密度者往下沉（Britt, 2005）；（3）井管內的停滯水發生化學變化。

以荊桐站為例，可證明井管破漏的可能性不大。荊桐二的上層水導電度有變小的趨勢，深度 10m 處導電度約 650 μ S/cm，如果井管破漏，深度 7-20m 處的地層水滲入，根據荊桐一的水質，此層的導電度應約為 1000-1200 μ S/cm，不應只有 650 μ S/cm（圖 6.2-8）。

井管內的停滯水發生化學變化的可能性也不大。例如（1）井管水的蒸發作用：但此作用，會使井內水導電度變大、而非變小。（2）硫酸根還原作用：但二水及柑園井為氧化環境，不利硫酸根還原。（3）溶解之二氧化碳散失：有可能損失部份碳酸氫根，但不致於使導電度相差一倍以上。

最有可能之原因，應為流入井內水為不同密度，因此低密度往上浮、高密度者往下沉。國外的實驗顯示，流入井內的水，密度差約 10^{-5} 即會產生分層，高密度者向井管下方流動、低密度者向上流（Britt, 2005）。

扇頂補注區的地下水有許多不同的來源，例如：河川、降雨、人為排水（生活污水及其它污染物）、深層補注（頭嵙山層側向來源）等，經過部份混合及地化作用，流入井內時，若沒有充份混合，仍有不同水質之分層，即可能進入井管後，產生不同密度分流之狀況（圖 6.2-9）

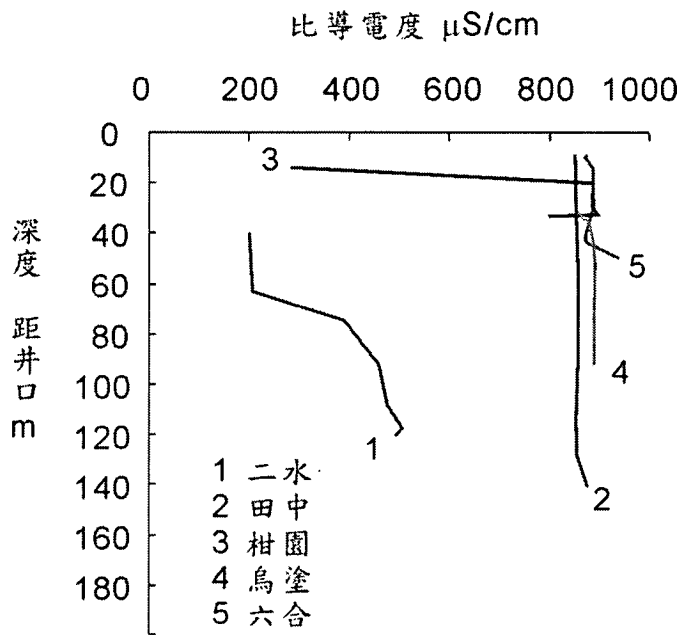


圖 6.2-4 濁水扇頂區井內水導電度井測結果

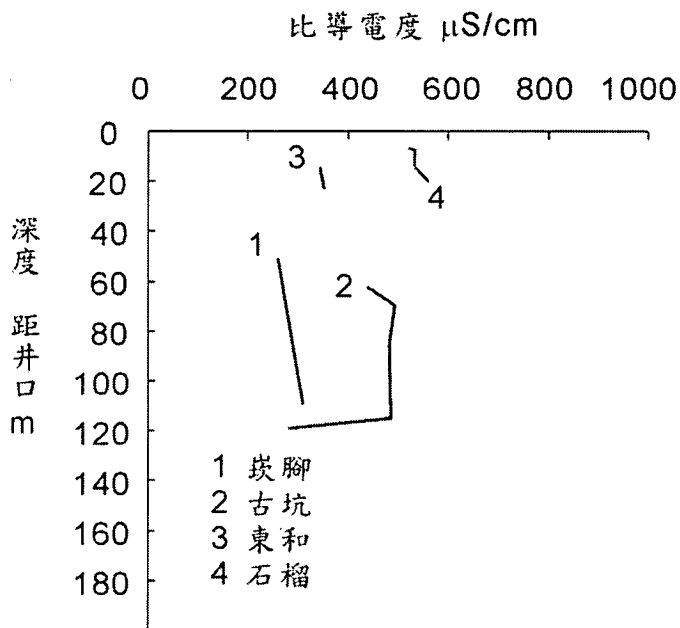


圖 6.2-5 斗六扇頂區井內水導電度井測結果

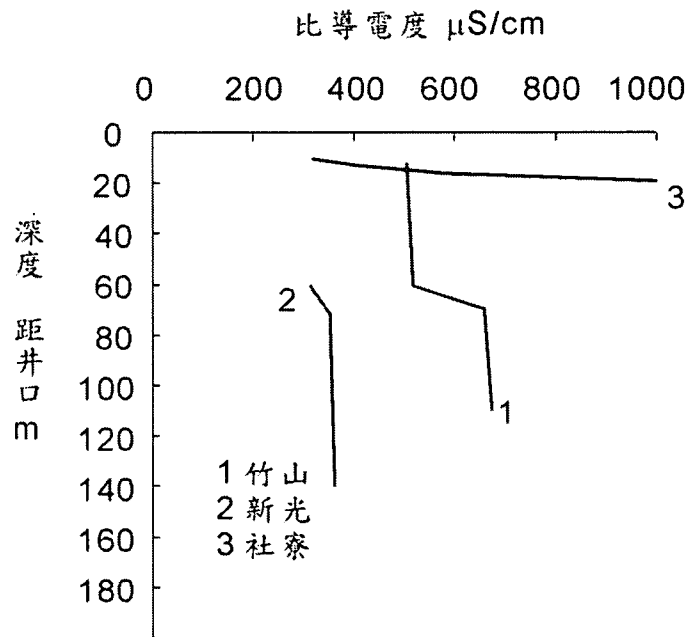


圖 6.2-6 上邊界地區井內水導電度井測結果

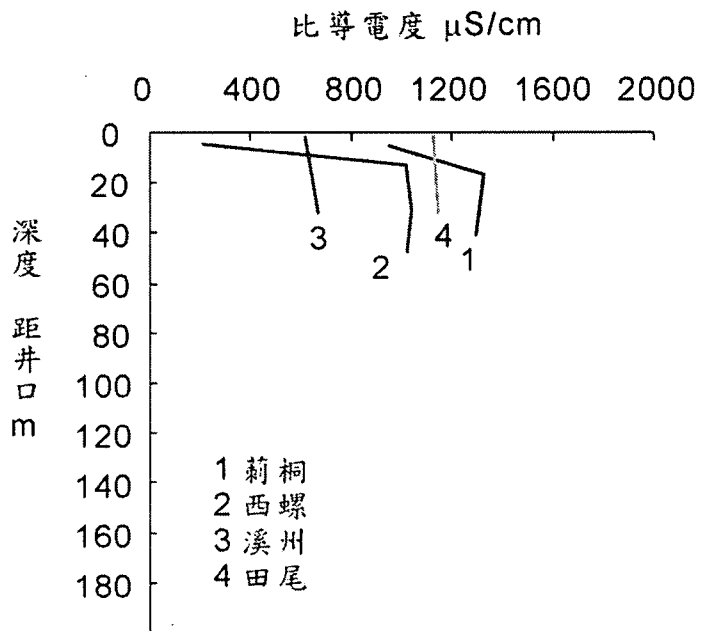


圖 6.2-7 下邊界地區井內水導電度井測結果

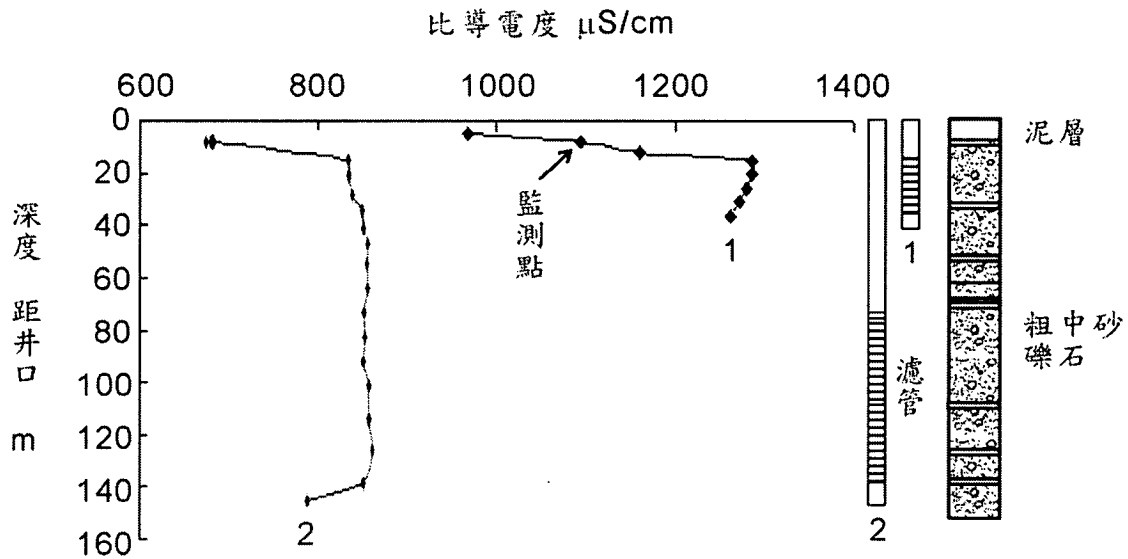


圖 6.2-8 荊桐站導電度井測 (2010 年 08 月 18 日)

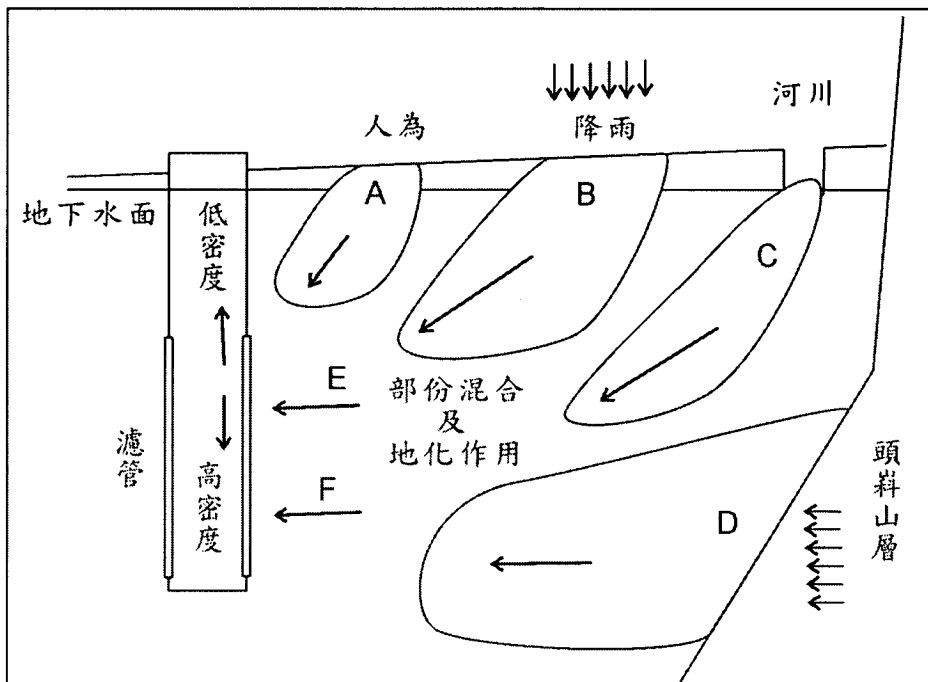


圖 6.2-9 觀測井井管中不同水質來源之解釋

二、導電度連續監測

荊桐一、六合一及柑園一於 2009 年開始監測，2010 年加入二水、田中及烏塗等井 (圖 6-2-10)。導電度連續監測目的在瞭解地下水是否有短期的變化？是否會受到降雨的影響？

有些觀測井的井內水質有明顯的分層，當分層之間導電度差異較大時，監測測點又位於分層之間，水位短暫的起伏，將造成導電度明顯改變。例如荊桐一井，井內水質在不同深度有相當的差異，濾管深度的導電度約 $1300\mu\text{S}/\text{cm}$ ，但深度 20m 以上，卻遞減至 $950\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 6-2-11)。此井的監測點約在井口下 12.5m 處，導電度約為 $1100\mu\text{S}/\text{cm}$ ，即此兩層水之漸變帶。當五月初水質採樣抽水時，上層水被抽掉、井內水都經由濾管的水補充，導電度都為 $1300\mu\text{S}/\text{cm}$ ，但抽水後，監測點的導電度開始緩降，至八月初、又降回約 $1100\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 6-2-12)，推測應有較淡的地下水補充。

荊桐一 2009 年有四月的春雨及兩次降雨比較多的颱風 (6/22 蓮花及 8/9 莫拉克)，約在兩週內、含水層的導電度升高 (圖 6-2-12)。春雨的單日雨量雖然不多、都在 50mm 以下，但含水層導電度明顯上升，約從 $1050\mu\text{S}/\text{cm}$ 增加至 $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ ，導電度在一週內又回到背景值。莫拉克颱風雖然單日降雨可達 400mm，但導電度的增加幅度並不大，約從 $1200\mu\text{S}/\text{cm}$ 增加至 $1400\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

荊桐一井上覆約 9m 的泥層 (圖 6-2-11)，理論上雨水應不至於很快進入含水層中，但監測數據卻顯示導電度隨著降雨而變化，推測是降雨造成水位上升，井內下層水往上移，而下層水導電度比較高，所以監測的導電度變高。

荊桐一井之導電度 2009-2010 年的變化如圖 3-2-4，2009 年平均約 $1200\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2010 年明顯較低、約 $1100\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

六合一井的井內水質也有明顯的分層，由上往下可分成 4 層：(a) $840-870\mu\text{S}/\text{cm}$ ；(b) $870\mu\text{S}/\text{cm}$ ；(c) $840-870\mu\text{S}/\text{cm}$ ；(d) $840-950\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 6-2-14)。監測點約在深度 25m 處、位於 ab 層的交界。2009 年 4 月春雨期間導電度明顯下降，從 $850\mu\text{S}/\text{cm}$ 降至 $790\mu\text{S}/\text{cm}$ ，約一週後又恢復正常 (圖 6-2-15；圖 6-2-16)。推測因為下方 c 層水較淡，降雨期間此層水往上升，造成監測點的導電度變小。

柑園一井的井內水質分層與荊桐一類似，導電度上層小 ($300-900\mu\text{S}/\text{cm}$)、下層較大 ($900\mu\text{S}/\text{cm}$)。監測點約在深度 15m，上下水層導電度差異很大 (圖 6-2-17)，所以水位變動，也造成導電度明顯的變化。2009 年 6 月的蓮花颱風及 8 月的莫拉克颱風，降雨皆造成導電度上升，從 $770\mu\text{S}/\text{cm}$ 升至 $850\mu\text{S}/\text{cm}$ ，然後緩降、經數月後降至 $760\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 6-2-18)。推測與荊桐一相同，因下層導電度大，水位上升，下層水往上移動，所以導電度變大。2010 年導電度在旱季比較低、雨季較高。

田中一的導電度垂向變化不大，但田中二的變化比較大，兩井的監測點皆在深度 80m 處，變化並不大 (圖 6-2-19 及圖 6-2-20)。

烏塗井的監測點約在井口下 70m 處，導電度有緩慢上升的趨勢 (圖 6-2-21)，

從 2009 年 6 月至 2010 年 9 月的垂向導電度數據發現，導電度也有上升的趨勢（圖 6-2-22）。六合二井從 2009 年 4 月至 2010 年 9 月的垂向導電度，也有上升的趨勢（圖 6-2-23）。

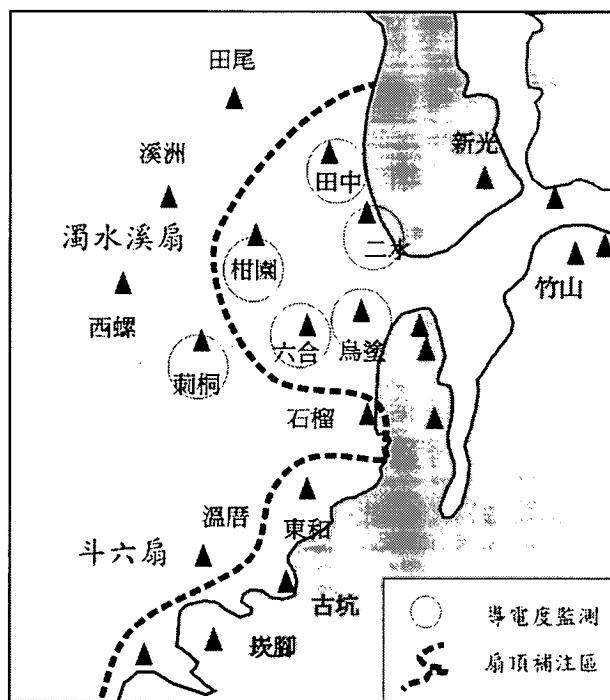


圖 6-2-10 導電度連續監測之井位

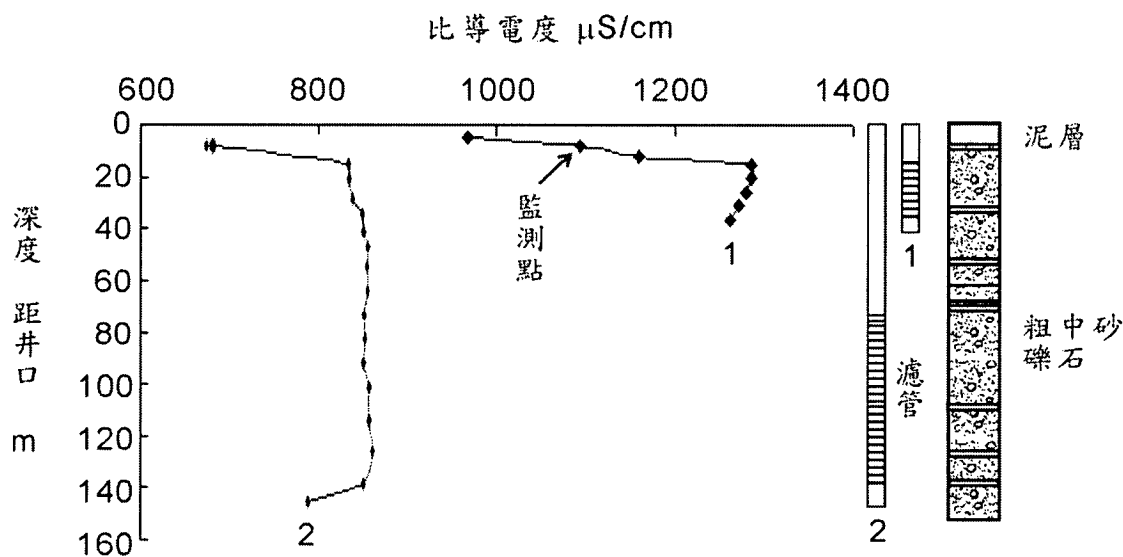


圖 6-2-11 荊桐站導電度井測 (2010 年 08 月 18 日)

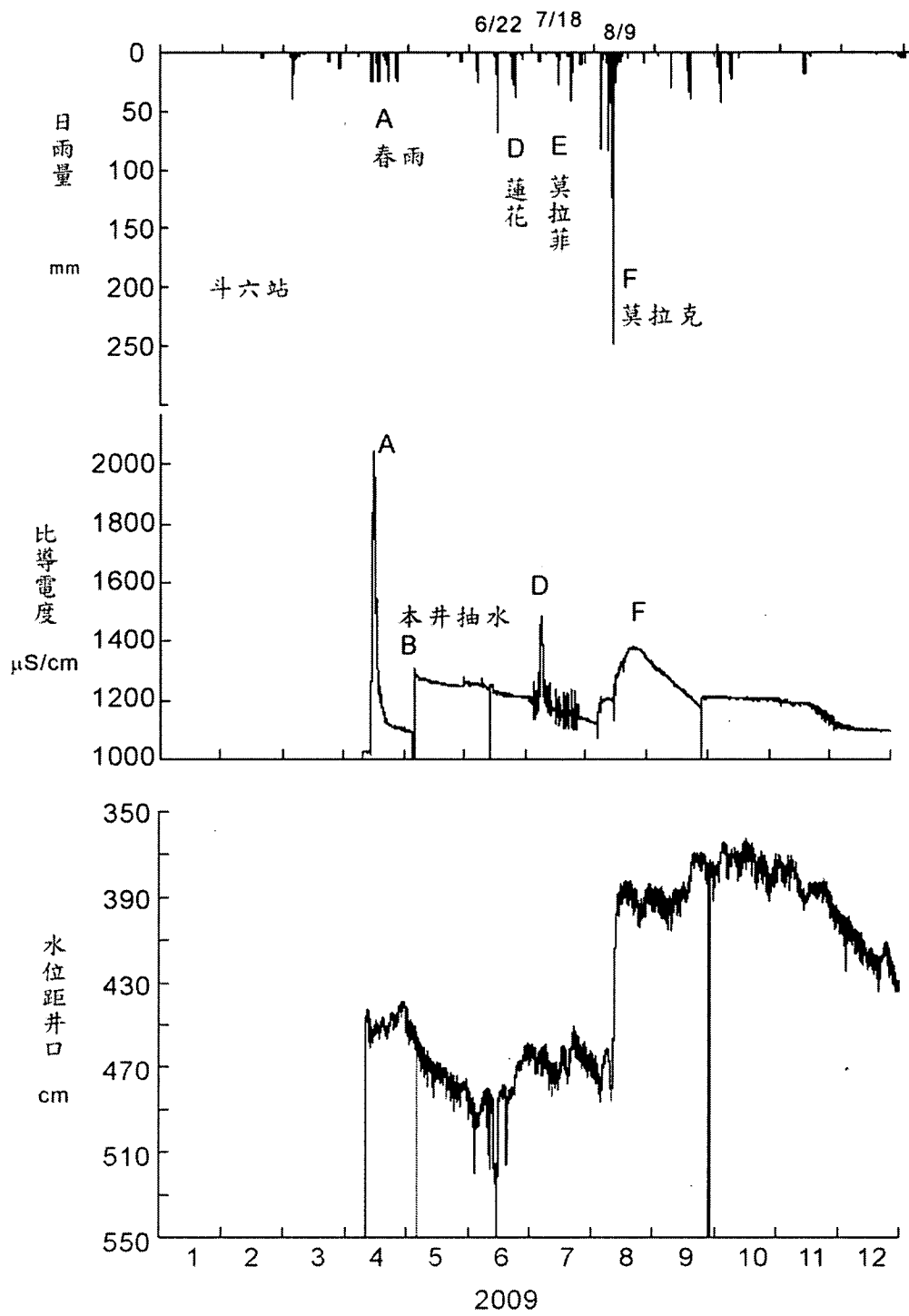


圖 6-2-12 荊桐一井 2009 年導電度連續監測數據

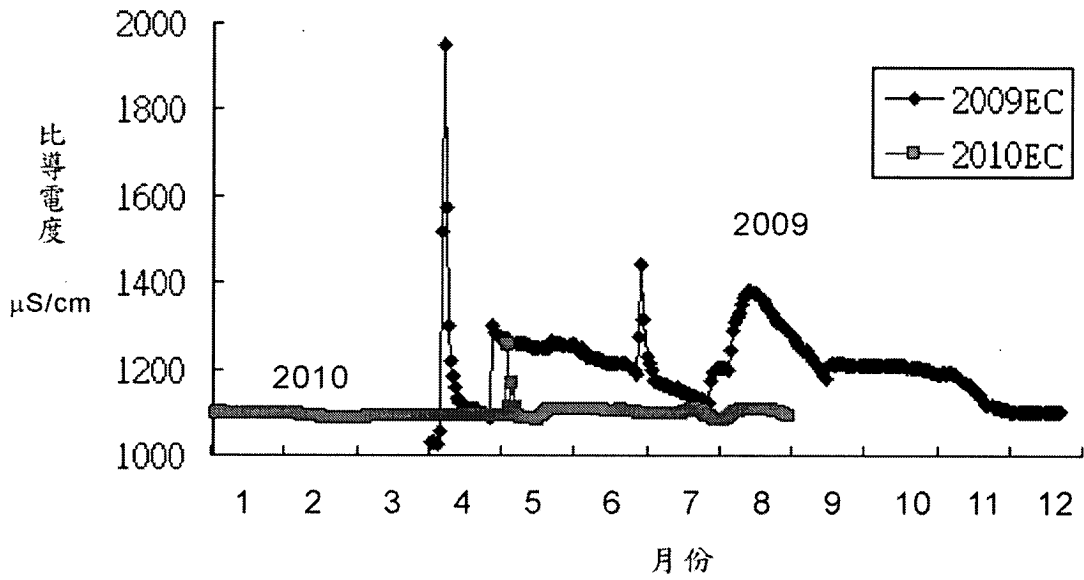


圖 6-2-13 荊桐一井 2009-2010 年導電度監測比較

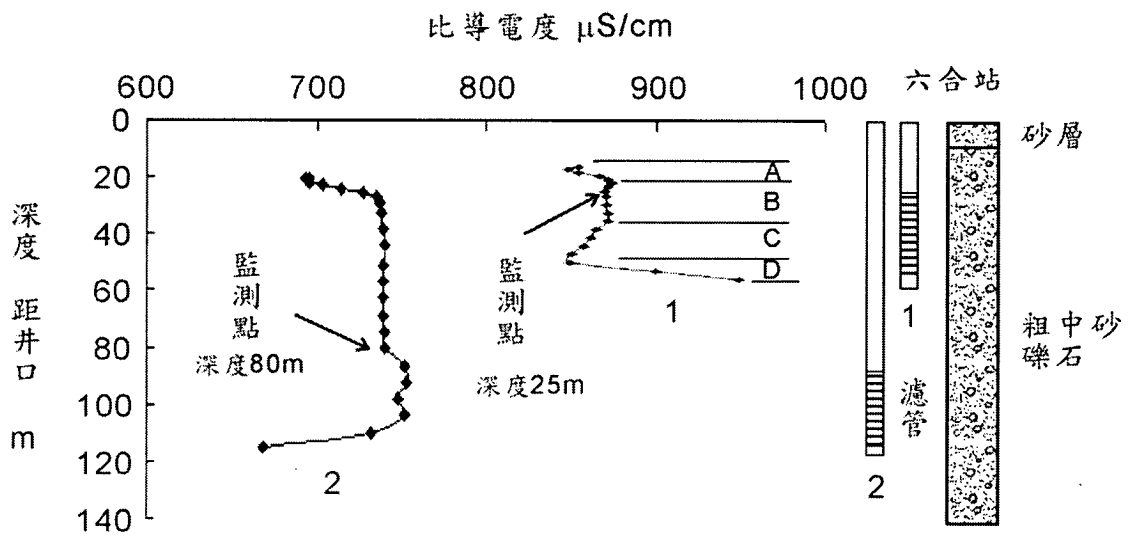


圖 6-2-14 六合站導電度井測 (2010 年 09 月 01 日)

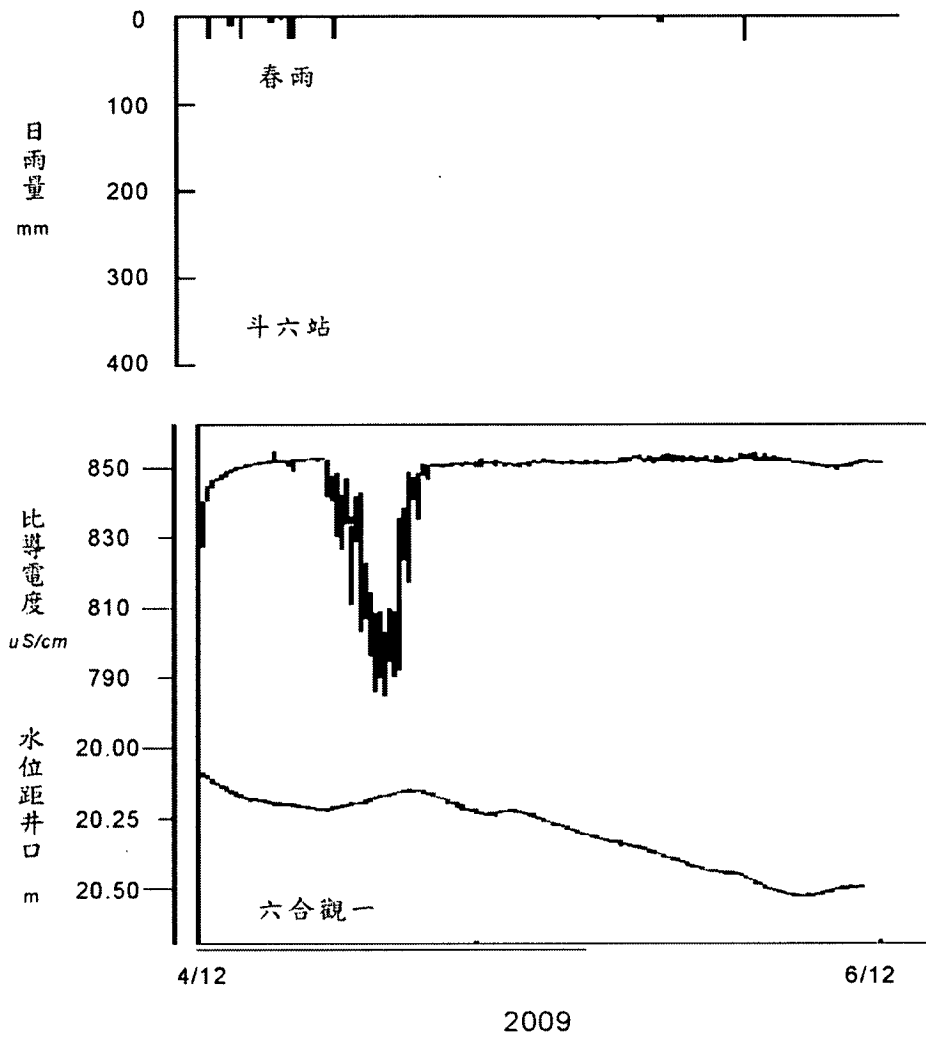


圖 6-2-15 六合一井 2009 年導電度連續監測數據

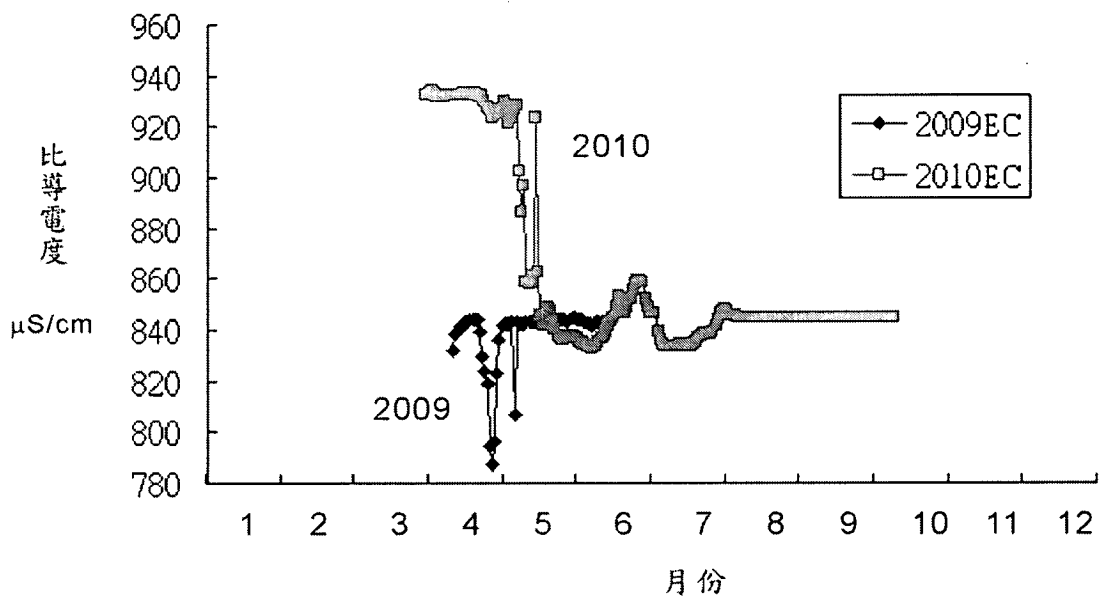


圖 6-2-16 六合一井 2009-2010 年導電度監測數據
比導電度 $\mu\text{S}/\text{cm}$

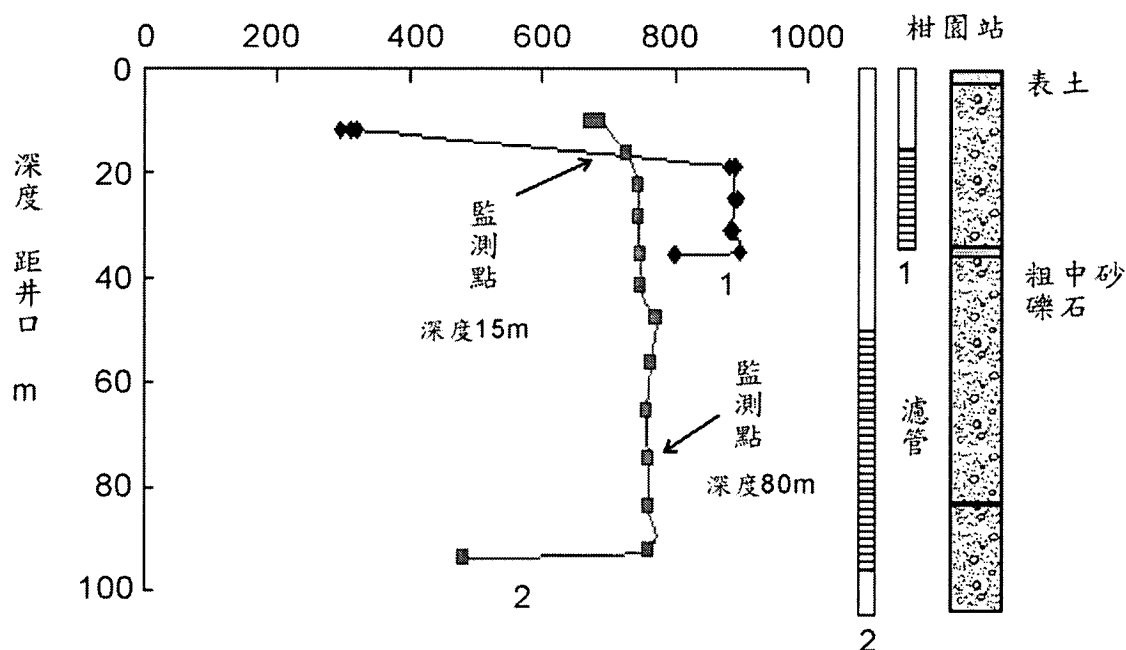


圖 6-2-17 柑園井導電度井測

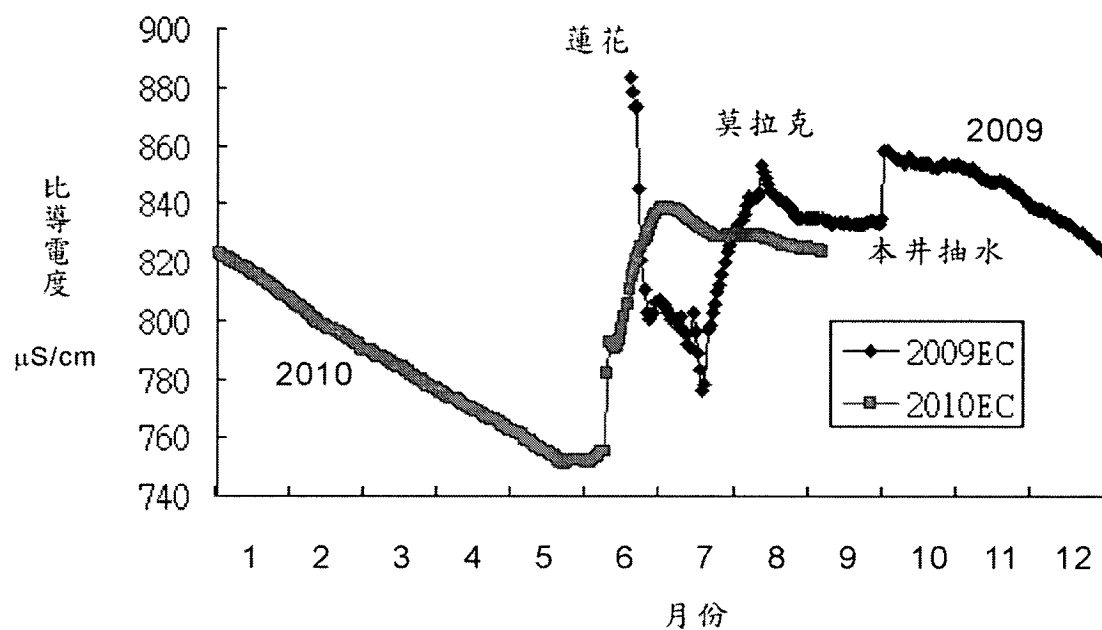


圖 6-2-18 柑園一井 2009-2010 年導電度連續監測

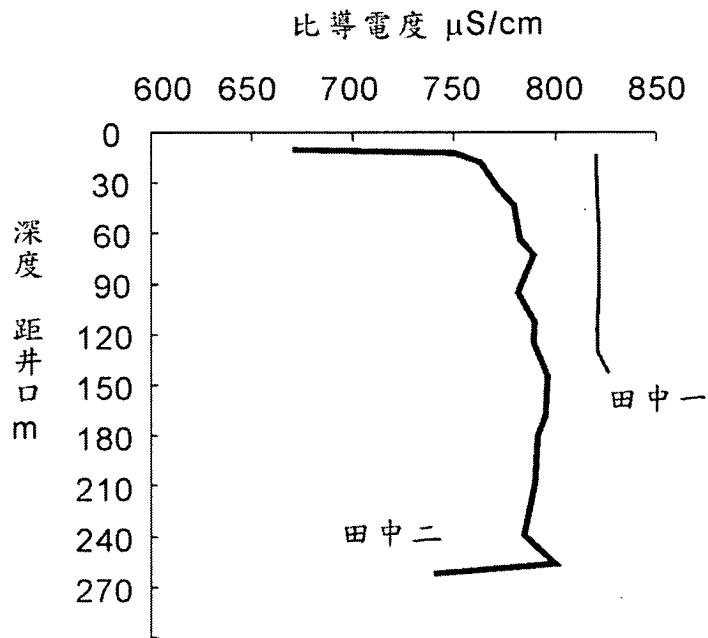


圖 6-2-19 田中導電度井測結果

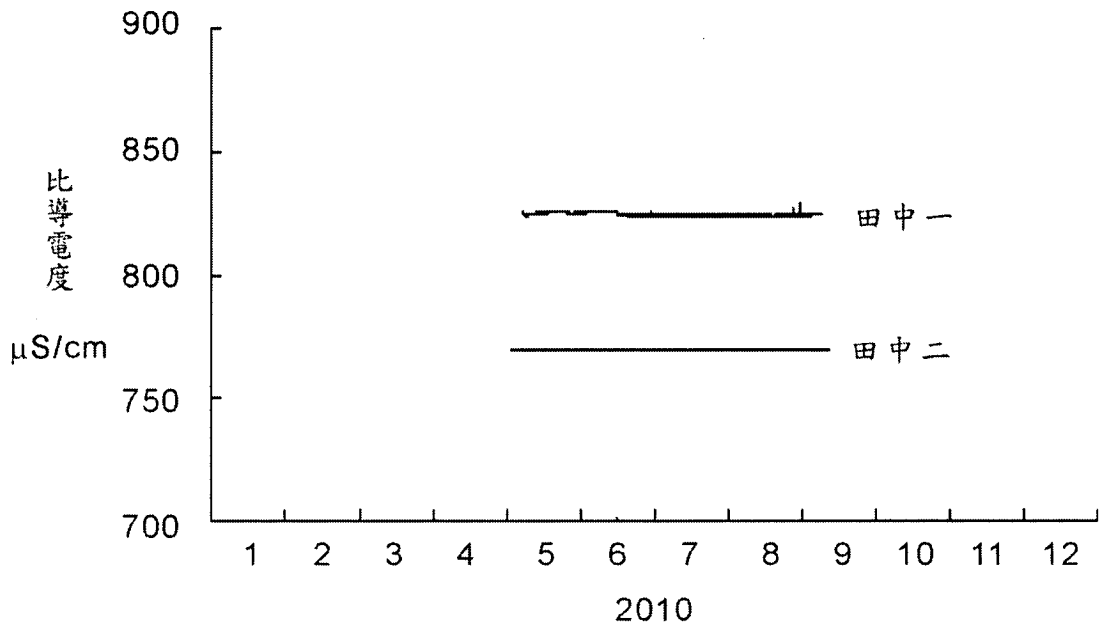


圖 6-2-20 田中站導電度連續監測結果 (監測點皆在 80m 深度)

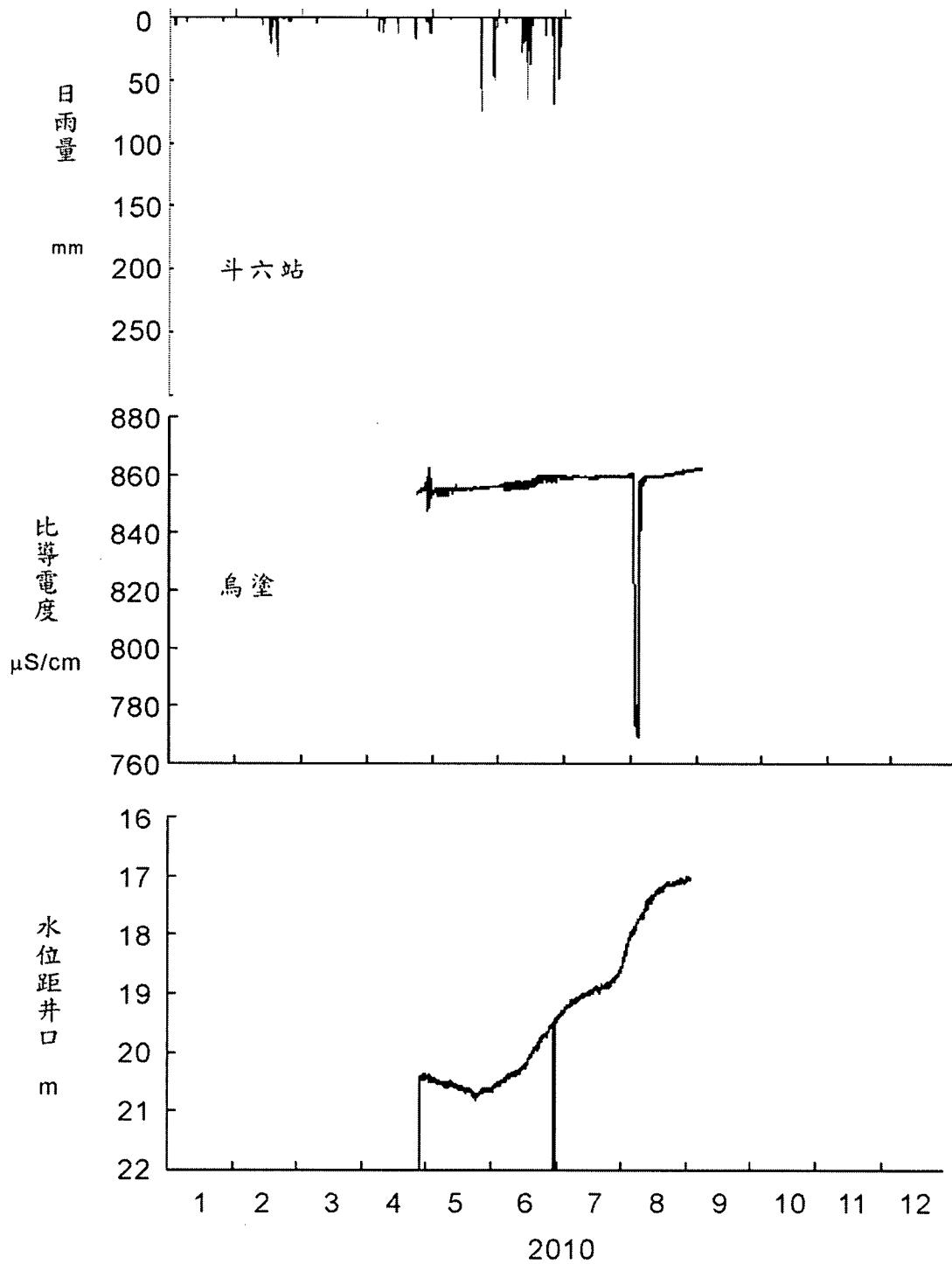


圖 6-2-21 烏塗井 2010 年導電度連續監測

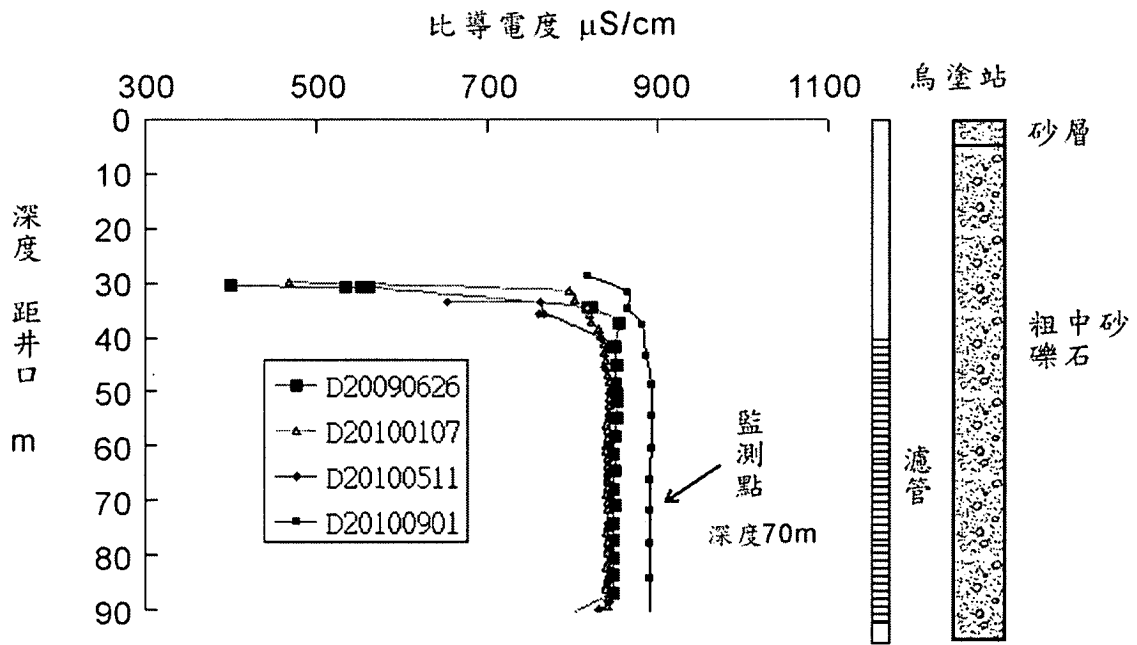


圖 6-2-22 烏塗井 2009-2010 年導電度井測

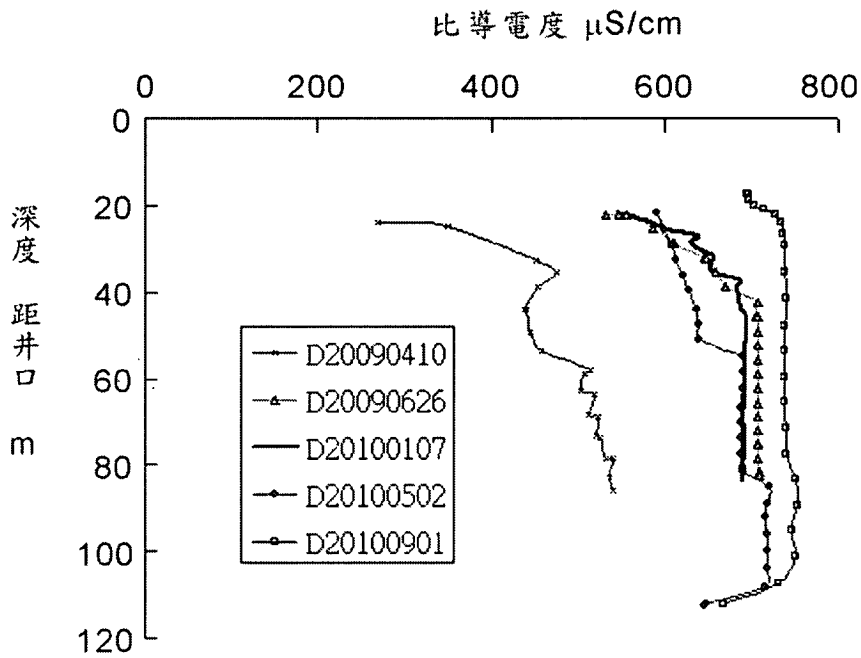


圖 6-2-23 六合二井 2009-2010 年導電度井測

三、扇頂區的地下水水質

歷年導電度：2010年5月及9月之採樣結果如表6-2-4及表6-2-5，歷年的數據比較如表6-2-6及表6-2-7。若以灌溉用水標準評估，大約三至四成的水樣，其導電度大於 $750\ \mu\text{S}/\text{cm}$ （表6-2-8），超過標準的水樣，大都分布於濁水溪沖積扇之扇頂區，如烏塗、六合、柑園、田中、荊桐、西螺及田尾等站（圖6-2-24）。1997年之前，只有1-2口井的導電度大於750，2003年已有6口井超過此標準，到2010年已有8口井超過。濁水溪沖積扇之扇頂區，除了二水井外，已全部超過標準（圖6-2-25）。

使用Mann-Kendall趨勢分析統計，16口井中有5口井有明顯的導電度升高趨勢，只有1口井（二水）為降低趨勢，其餘在統計上並無明顯趨勢（表6-2-9）。5口導電度升高的井為：六合、古坑、石榴、荊桐、西螺，其中古坑及石榴位於斗六沖積扇，雖然目前導電度仍低於 $750\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ，但有持續升高的趨勢，需加以注意。

主要離子濃度：2010年5月的水質檢驗結果如表3-3-7，陰離子以碳酸氫根為主、硫酸根次之，氯離子濃度大都低於10%（圖6-2-26）。陽離子以鈣及鎂離子為主，鈉及鉀離子濃度大都低於40%以下（圖6-2-27）。本區大部份的地下水都屬於碳酸氫鈣或鎂之分類（圖6-2-28）。

荊桐一、六合一及柑園一歷年導電度有上升的趨勢（圖6-2-29）。荊桐一地下水的成份，陰離子以碳酸氫根及硫酸根為主、陽離子以鈣離子為主（圖6-2-30及表6-2-12）。比較1999年及2009年的離子組成，1999年的導電度 $863\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 、2009年上升為 $1094\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ，增加約20%。碳酸氫根的比例變化很大，約從59%降為40%；硫酸根則從36%增為56%；但氯離子沒有明顯的變化。硫酸根的濃度變化很大，介於20-56%之間。硫酸根是化肥的主要成份之一，可能土壤中的化肥，被雨水溶解，進入含水層，因此導電度增加。

六合一井1999年的導電度 $643\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 、2009年上升為 $907\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ，增加約30%。但碳酸氫根的比例變化不大，約為62-61%；硫酸根只有些微的增加、從33%增為36%。陽離子的鈣離子有些微下降、從67%降為63%；鎂離子輕微上升、從25%增加為29%（表6-2-12）。導電度增加約30%，但各離子變化都不大，顯示可能為蒸發作用，只有水分被蒸發，造成離子濃度升高。依導電度變化及離子濃度比例變化，柑園一可能也是類似的作用。

表 6-2-4 扇頂區 2010 年 5 月水質採樣及量測結果

站名	導電度	pH	水溫	溶氧	氧化還原電位
	$\mu\text{S}/\text{cm}$		$^{\circ}\text{C}$	mg/l	mV
炭腳一	203	6.95	24.42	<0.50	-82
古坑一	395	6.82	24.18	5.67	105
溫厝一	342	7.53	23.95	<0.50	-145
溫厝二	385	7.14	24.62	<0.50	-56
東和一	192	7.21	24.35	0.92	-124
石榴一	430	6.82	24.12	<0.50	-187
烏塗一	782	7.15	24.35	3.85	136
六合一	970	7.28	24.14	5.88	95
荊桐一	1043	7.20	24.55	<0.50	-175
西螺一	1286	7.06	24.62	<0.50	-166
社寮一	1697	6.95	23.85	<0.50	-51
竹山一	578	6.98	25.35	3.54	65
新光一	296	6.84	23.42	<0.50	134
二水一	176	6.85	24.70	5.67	104
柑園一	1017	7.52	24.52	3.85	79
溪洲一	1082	7.44	24.16	<0.50	-152
田中一	838	7.36	24.77	1.87	170
田中二	808	7.15	24.36	3.24	162
田尾一	1110	7.22	24.57	<0.50	-202
名竹大橋	533	7.64	24.32	6.52	163
南雲大橋	334	7.72	25.78	7.16	172
彰雲大橋	604	7.52	25.87	7.57	151
雨水	48	6.65	27.95	7.34	177

表 6-2-5 扇頂區 2010 年 9 月水質採樣及量測結果

站名	導電度 $\mu\text{S/cm}$	pH	水溫 $^{\circ}\text{C}$	溶氧 mg/l	氧化還原電位 mV
炭腳一	216	6.84	24.58	<0.50	-142
古坑一	443	6.70	24.38	4.57	215
溫厝一	387	8.55	23.24	0.68	-276
溫厝二	403	7.79	24.62	4.78	303
東和一	334	7.32	24.73	0.55	-24
石榴一	509	7.20	24.52	0.49	-269
烏塗一	831	7.69	24.53	4.83	308
六合一	884	7.52	24.41	4.27	311
荊桐一	1186	7.66	24.55	0.78	-120
西螺一	1088	7.92	24.26	6.37	-310
社寮一	9528	3.64	23.42	2.44	587
竹山一	486	7.66	25.25	4.52	220
新光一	309	7.08	23.24	4.99	252
二水一	231	8.90	24.07	3.92	221
柑園一	948	7.51	24.25	4.57	237
溪洲一	663	7.42	24.61	0.63	-179
田中一	853	7.53	24.77	4.82	181
田中二	793	7.48	24.63	4.71	201
田尾一	1174	7.42	24.47	0.11	-258
名竹大橋	145	7.03	24.53	4.35	237
南雲大橋	405	8.07	25.57	4.56	186
彰雲大橋	270	7.03	25.48	1.37	217
雨水	21	7.25	27.55	5.09	264

表 6-2-6 扇頂區歷年地下水平均導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	濁水溪扇					斗六扇					
	烏塗一	六合一	二水一	柑園一	田中一	平均	炭腳一	古坑一	東和一	石榴一	平均
46 年	391	308	211	817	309	407	277	277	198	232	246
86 年度	696	620	389	721	601	605	197	366	346	216	281
88 年度	766	707	490	1014	842	764	319	366	390	308	346
89 年度	707	655	497	1069	846	755	244	367	429	325	341
90 年度	748	861	432	942	826	762	378	379	539	290	397
91 年度	780	748	372	862	1009	754	242	360	261	313	294
92 年度	728	733	320	821	804	681	244	359	248	359	303
93-4	699	1010	234	1083	1418	889	260	402	337	390	347
93-8	800	761	222	913	557	651	235	378	459	389	365
94-5	756	675	361	789	277	572	233	371	249	367	305
94-10	641	857	379	769	384	606	322	388	495	417	406
98-6	903	982	215	1073	898	814	233	438	342	435	362
98-9	621	907	217	1087	881	743	203	435	347	467	363
99-5	782	970	176	1017	838	757	203	395	192	430	305
99-9	831	884	231	948	853	749	216	443	334	509	375

表 6-2-7 扇頂之上下邊界歷年地下水平均導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)

	下邊界					上邊界			
	荊桐一	西螺一	溪洲一	田尾一	平均	竹山一	新光一	社寮	平均
46 年	603	680	631	708	656				
86 年度	800	761	580	1642	946	347	548	431	442
88 年度	941	1177	1376	1114	1152	602	228	781	537
89 年度	895	919	1272	1154	1060	668	180	807	552
90 年度	612	855	1554	1077	1025	636	217	846	566
91 年度	891	730	1250	1046	979	490	178	595	421
92 年度	804	871	1422	1078	1044	422	174	644	413
93-4	1062	1076	1756	1002	1224	438	229	639	435
93-8	938	881	1476	952	1062	378	202	600	393
94-5	985	683	1018	1213	975	358	205	563	375
94-10	959	917	975	1033	971	432	213	1137	594
98-6	1182	1308	1192	1209	1223	653	149	638	480
98-9	1094	1392	581	1246	1078	599	246	599	481
99-5	1043	1286	1082	1110	1130	578	296	1697	857
99-9	1186	1088	663	1174	1028	486	309	9528	3441

表 6-2-8 扇頂附近地下水水質評估結果

項目	評估標準*	超過個數			
		2009年6月	2009年9月	2010年5月	2010年9月
導電度	750 μ S/cm	8	6	10	9
氯離子	175 mg/l	0	0	1	0
硫酸根	200 mg/l	1	3	2	3

*灌溉用水水質標準；地下水水樣總數 19 樣

表 6-2-9 導電度 Mann-Kendall 趨勢分析結果

井名	數據量	最小值	最大值	S	Z	機率	趨勢
烏塗一	13	391	903	13	0.74	0.46	無
六合一	13	308	1010	44	2.62	0.009	高
二水一	13	211	497	-28	-1.65	0.099	低
柑園一	13	721	1087	14	0.79	0.43	無
田中一	13	277	1009	8	0.43	0.67	無
炭腳一	13	197	378	-22	-1.29	0.20	無
古坑一	13	277	438	45	2.69	0.007	高
東和一	13	198	539	12	0.67	0.50	無
石榴一	13	216	467	64	3.84	0.0001	高
荊桐一	13	603	1182	48	2.87	0.004	高
西螺一	13	680	1392	30	1.77	0.077	高
溪洲一	13	580	1756	-4	-0.18	0.85	無
田尾一	13	708	1642	6	0.30	0.76	無
竹山一	12	347	668	-4	-0.21	0.84	無
新光一	12	149	548	-10	-0.62	0.54	無
社寮	12	431	1137	-6	-0.34	0.73	無

數據時間：1957—2009

S 統計值 (Mann Kendall Statistic)

Z 標準化 (Normalized Test Statistic)

趨勢判定：90%顯著區間 (level of significance)

表 6-2-10 扇頂區 2010 年 5 月水質分析結果 (mg/l)

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
崁腳一	100	3.1	0.91	14.06	3.52	13.89	2.52
古坑一	150	10.66	50.8	29.18	11.63	22.14	1.56
溫厝一	200	6.28	1.84	34	11.94	17.75	1.7
溫厝二	150	8.08	64.37	38.41	9.44	20.31	1.56
東和一	100	6.62	7.64	15.32	5.35	12.79	0.71
石榴一	95	29.32	76.08	36.15	12.52	21.4	0.97
烏塗一	390	8.96	136.5	128.2	22.64	15.41	2.53
六合一	355	12.26	164.4	133.1	17.93	26.04	2.78
荊桐一	275	16.52	263.2	137.3	22.3	37.14	3.65
西螺一	305	30.17	310	187.3	20.91	43.27	2.88
社寮一	1100	289.1	79.26	48.91	326.6	7.93	5.35
竹山一	280	12.33	48.51	72.37	21.09	9.83	1.56
新光一	150	9.54	0.85	12.19	23.52	8.25	1.29
二水一	95	5.99	25.6	7.21	21.52	0.24	4.73
柑園一	400	7.29	180	155.4	16.03	27.8	3.04
溪洲一	610	20	140	147	62	15.8	3.92
田中一	300	11.1	136	119.6	16.92	22.52	2.11
田中二	275	8.76	136.2	106.3	14.42	21.39	1.93
田尾一	500	24.02	154.4	150.9	34.59	29.73	7.02
名竹大橋	125	0.89	126.3	58.02	12.41	16.15	2.08
南雲大橋	175	3.96	35.81	31.37	20.84	7.23	1.93
彰雲大橋	165	2.37	132.1	70.52	13.22	18.05	2.57
雨水	40	1.84	5.32	11.93	1.03	2.35	1.62

表 6-2-11 扇頂區 2010 年 9 月水質分析結果 (mg/l)

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
1. 炭腳一	130	4.45	1.00	14.00	8.75	15.00	2.00
2. 古坑一	175	11.00	60.00	41.25	16.54	21.54	2.00
3. 溫厝一	190	9.05	13.03	45.93	10.80	13.89	1.14
4. 溫厝二	145	8.61	64.85	45.36	12.52	16.51	0.94
5. 東和一	135	6.00	50.00	42.51	8.74	11.32	1.00
6. 石榴一	135	25.79	91.60	65.20	14.25	9.36	0.14
7. 烏塗一	305	40.00	80.00	76.35	38.21	15.24	1.00
8. 六合一	250	15.63	170.39	125.00	24.40	7.66	3.08
9. 荊桐一	250	12.61	305.27	160.09	36.30	3.20	2.66
10. 西螺一	245	26.01	277.10	119.79	39.81	3.73	1.67
11. 社寮一	300	1100	103.55	127.18	50.00	42.38	3.53
12. 竹山一	250	9.27	36.49	54.92	20.00	14.41	0.73
13. 新光一	120	10.11	1.77	13.99	10.00	17.52	0.96
14. 二水一	110	11.41	31.14	14.35	15.00	16.41	3.91
15. 柑園一	200	9.16	183.93	118.08	20.00	5.85	1.51
16. 溪洲一	350	30.04	68.55	67.16	50.00	5.90	3.62
17. 田中一	225	11.95	135.31	106.07	15.00	6.26	1.23
18. 田中二	185	9.05	139.49	95.53	13.00	5.46	0.92
19. 田尾一	430	21.56	194.64	146.35	50.00	4.83	2.19
20. 名竹大橋	90	8.00	10.88	18.45	10.00	2.29	0.88
21. 南雲大橋	110	10.97	60.08	35.97	12.00	12.17	1.45
22. 彰雲大橋	130	6.00	120.00	60.00	13.00	15.00	2.00
23. 雨水	5	1.22	3.46	0.29	0.06	0.58	0.07

表 6-2-12 柑園一六合一荊桐一之離子當量百分比

時間	站名	導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子
1999/6/1	六合一	643	62%	5%	33%	67%	25%	7%
	荊桐一	863	59%	5%	36%	69%	23%	7%
	柑園一	911	56%	4%	39%	72%	23%	5%
2009/6/1	六合一	982	61%	3%	36%	65%	28%	7%
	荊桐一	1182	70%	10%	20%	83%	12%	4%
	柑園一	1073	59%	3%	38%	65%	27%	6%
2009/9/1	六合一	907	61%	3%	36%	63%	29%	7%
	荊桐一	1094	40%	4%	56%	60%	32%	7%
	柑園一	1087	61%	2%	37%	70%	25%	5%

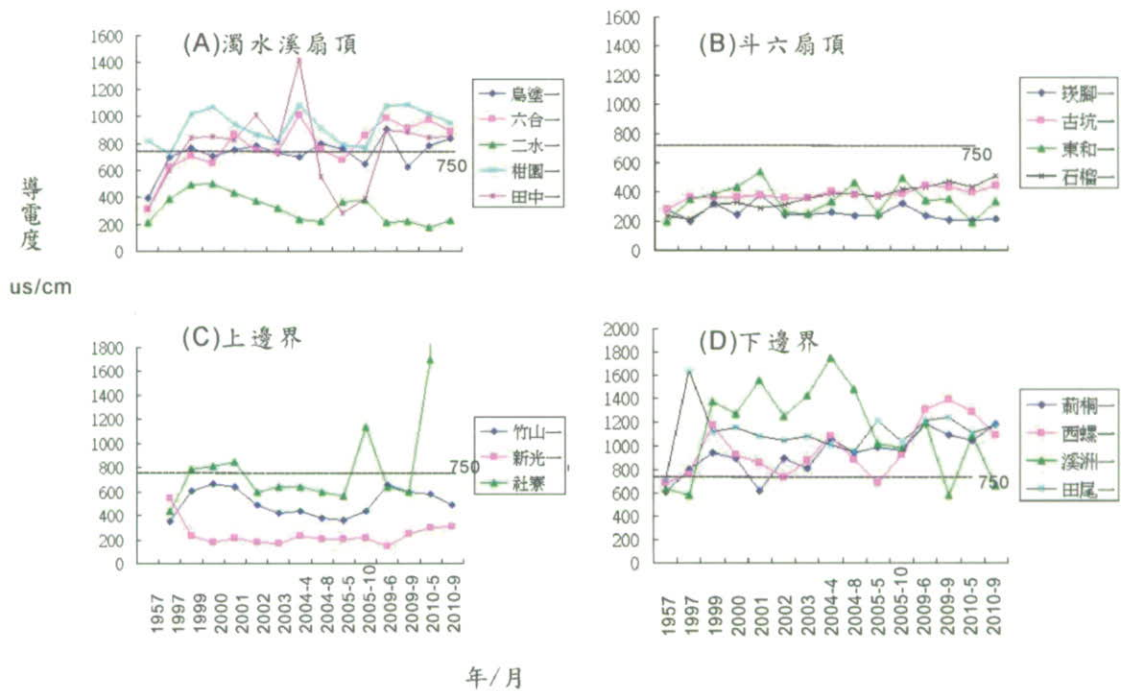


圖 6-2-24 歷年之導電度數據

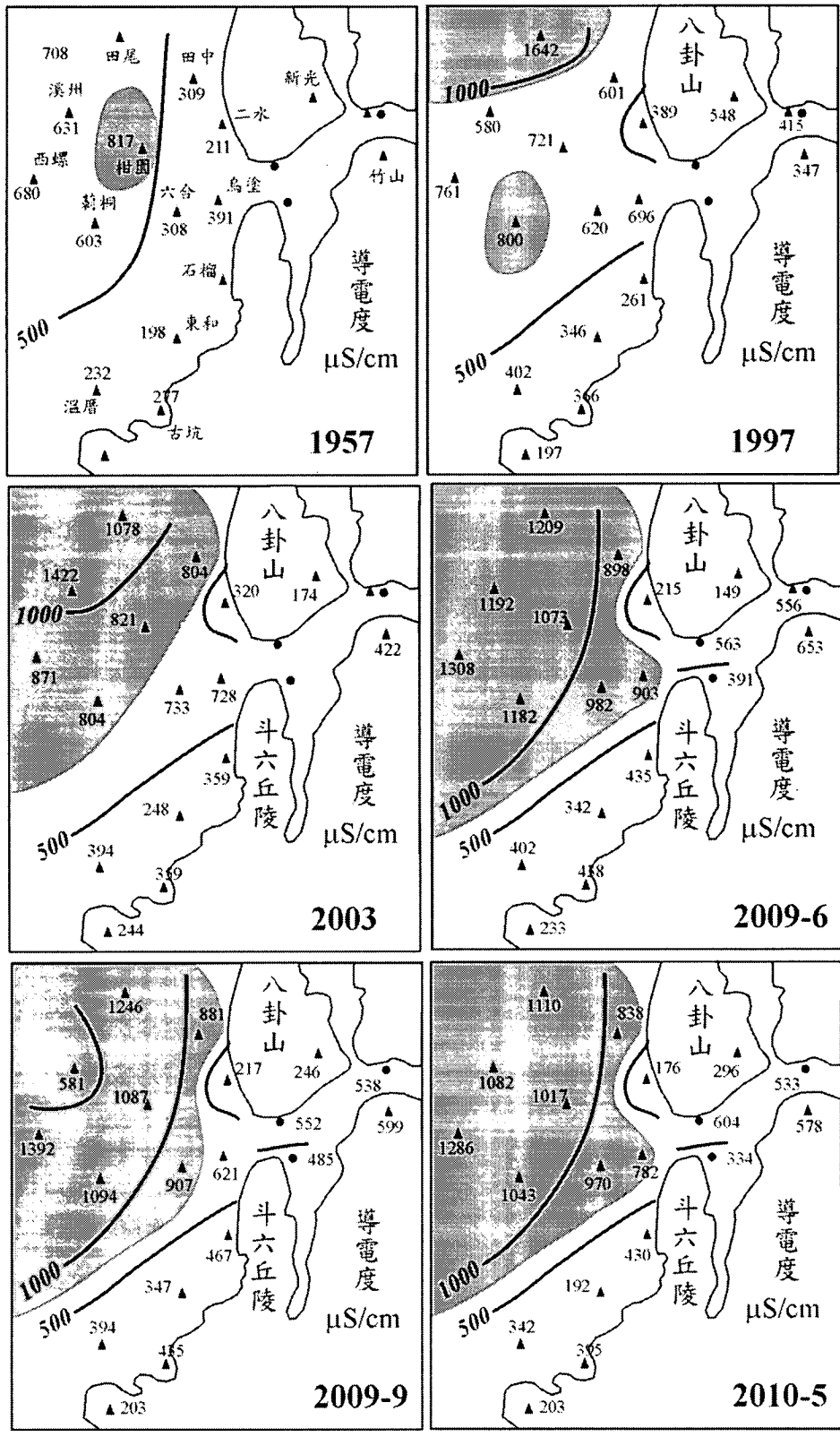


圖 6-2-25 歷年之導電度之平面分布 (灰色部份為大於 $750 \mu\text{S/cm}$)

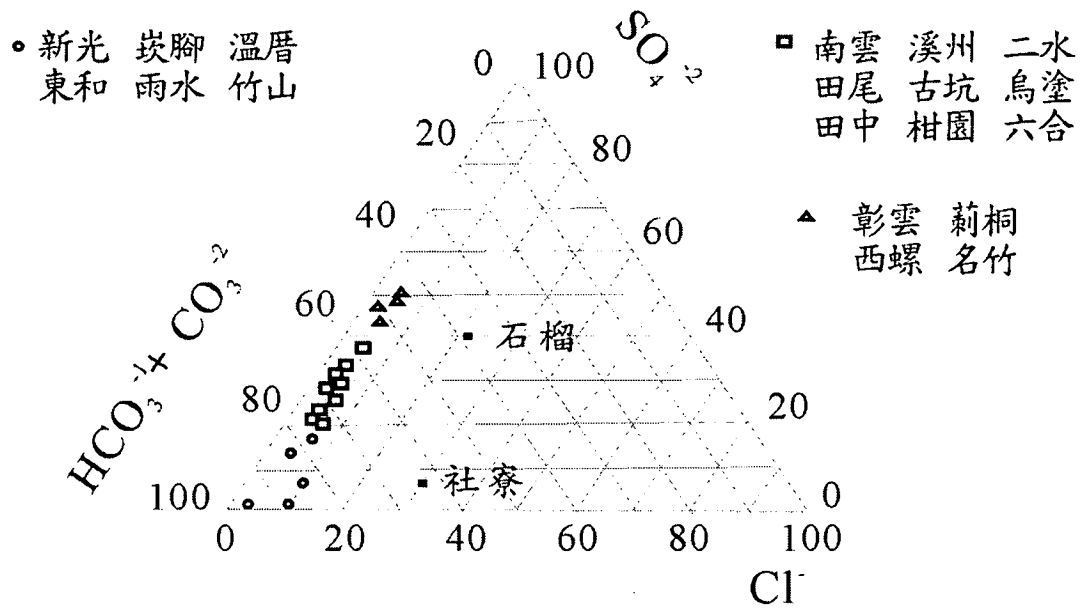


圖 6-2-26 主要陰離子濃度分類 (數據為 2010 年 5 月)

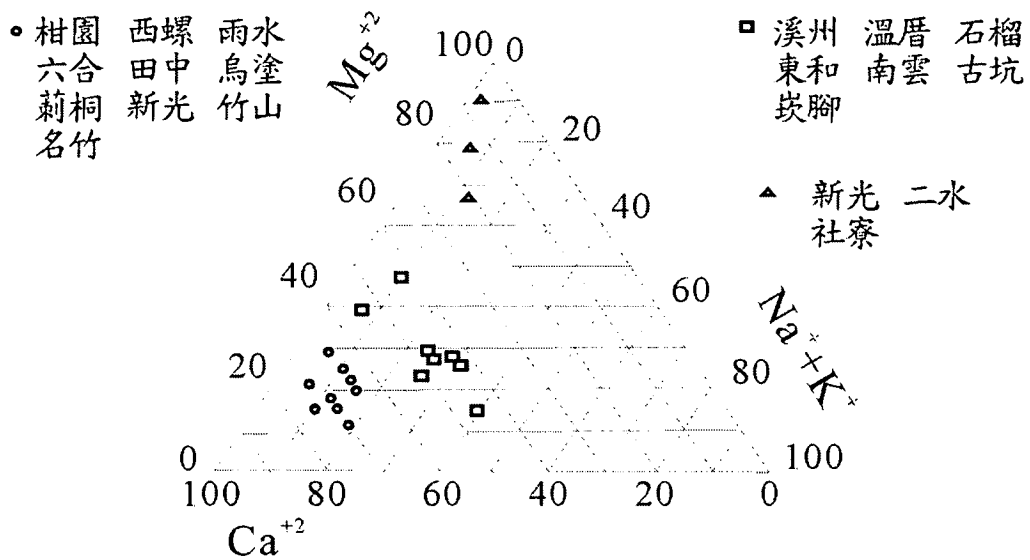


圖 6-2-27 主要陽離子濃度分類 (數據為 2010 年 5 月)

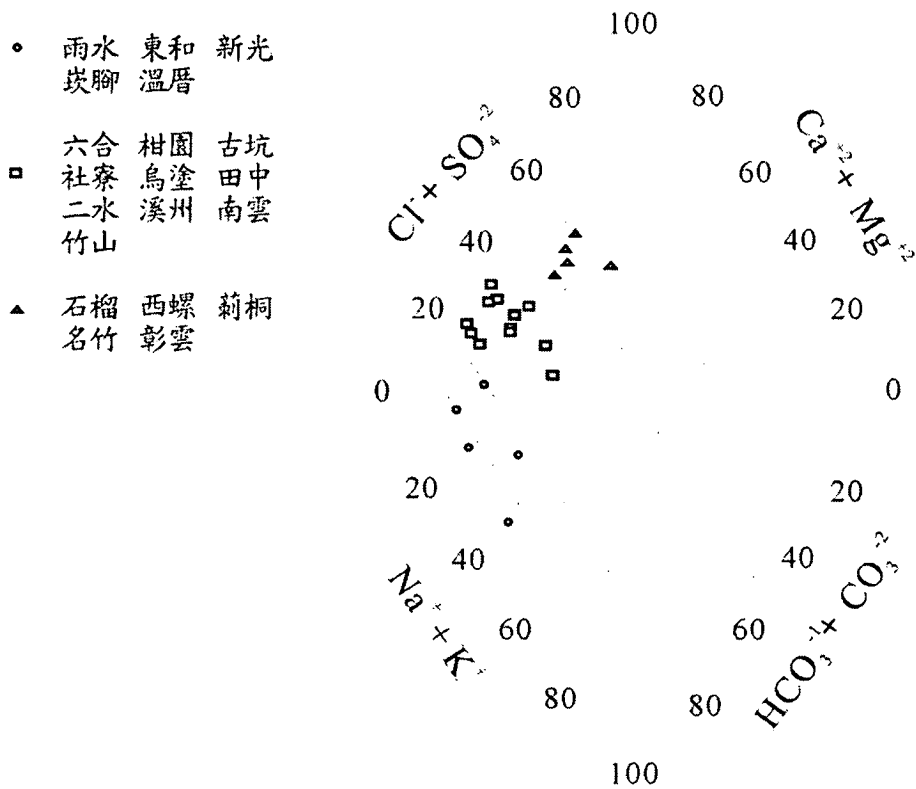


圖 6-2-28 主要離子成份分類 (數據為 2010 年 5 月)

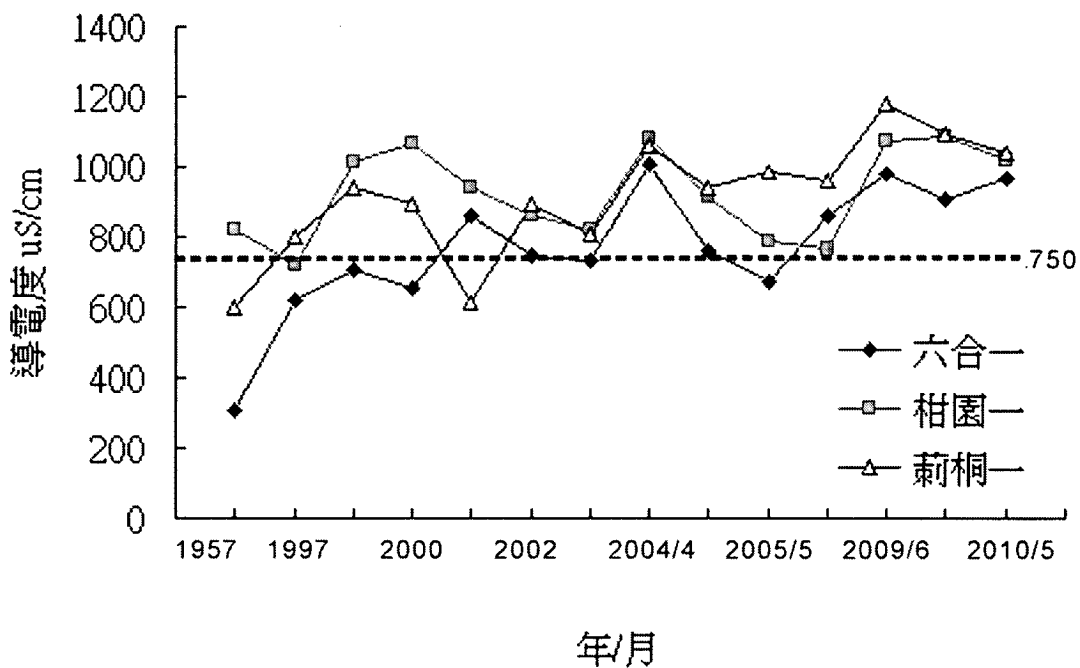


圖 6-2-29 柑園一六合一荊桐一之歷年導電度

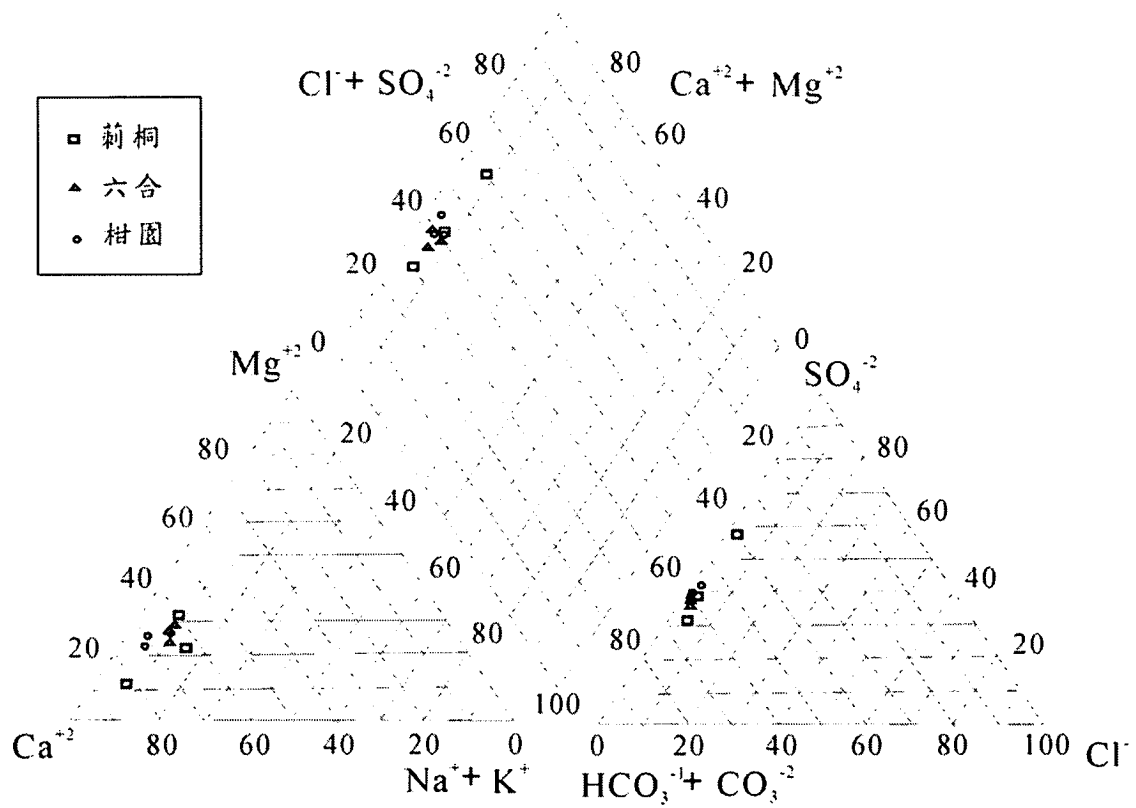


圖 6-2-30 柑園—六合—荪桐—之離子組成

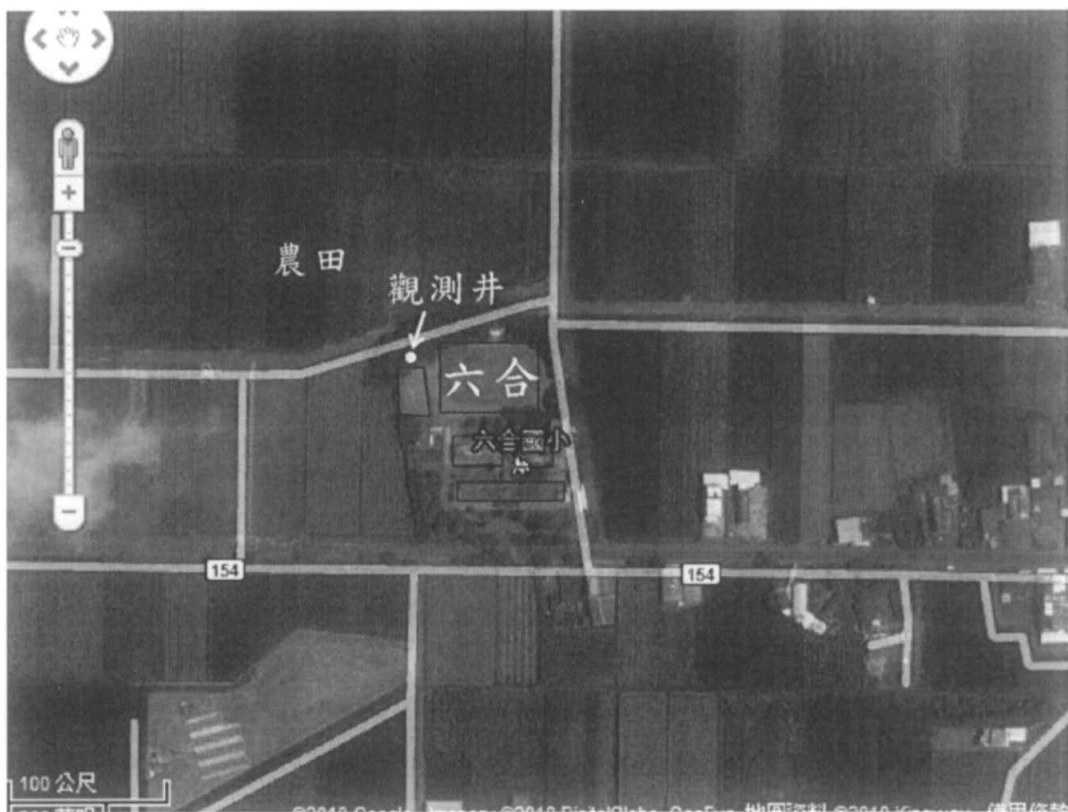


圖 6-2-31 六合及荊桐站附近之土地利用概況

四、扇頂區的硝酸鹽濃度

前人研究指出，補注區中較重要的微量元素污染為硝酸鹽。硝酸鹽的濃度除了受氧化還原作用影響外，濃度有時也會有季節變化。雨季時、降雨及河川水的補注，因稀釋而使硝酸鹽濃度降低，但在乾季時、因土壤水份蒸發，造成淺層地下水的硝酸鹽濃度升高。地下水往中下游流動，硝酸鹽因脫硝作用，濃度降低至檢測下限以下（陳文福等，2003；陳文福與呂學諭，2009）。

彰雲扇頂 1997—2010 年地下水監測顯示，約 10% 觀測井的硝態氮濃度偏高，多位於扇頂補注區（表 6-2-13）。曾超過環保署飲用水限值 10 mg/l 的井有：東和、坪頂、社寮、古坑、二水、新光、田中等 7 口，其中又以新光及古坑井超過限值的次數最多，2010 年該兩口井也超過限值。溪水的硝酸鹽濃度，名竹大橋、南雲大橋及彰雲大橋溪水的硝態氮、除一次外、都大於 1mg/l，是否有農業汙染，值得注意。

本計畫採樣化驗之硝態氮濃度與農工中心（2009）之結果比對（表 3-4-2），有些值相差很大，例如崁腳一、六合一、新光一等，但歷年的採樣發現硝態氮的值有時變化很大，例如新光一 2009 年 6 月與 9 月分別為 0.59 及 14.4mg/l，農工中心（2009）為 26.6mg/l，但 2010 年 5 月也測出 24.2mg/l。因為本計畫與農工中心的採樣，方法不同（前者為定點採、後者為抽水採），季節也不同（前者為 6 月及 9 月、後者為 2-5 月），但大致結果都在可解釋的範圍。

表 6-2-13 濁水溪扇頂補注區之歷年硝態氮濃度 (NO₃-N mg/l)

井名	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2009 2009 2010 2010			
										6月	9月	5月	9月
崁腳一	2.45	0.66	0.38	1.18	0.37	0.72	0.77	1.73	0.54	0.19	<0.05	1.48	1.50
古坑一	3.15	7.41	12.20	17.80	10.46	12.63	13.70	14.77		6.57	12.9	15.4	13.5
溫厝一	0.18	0.24	0.20	0.23	0.31	0.36	0.15	0.23	0.11	0.69	<0.05	1.61	1.85
溫厝二	1.14	3.10	2.32	1.82	1.57	2.43	1.69	2.54	2.91	1.63	3.21	4.92	4.15
東和一	13.76	0.10	3.57	3.91	0.34	0.23	0.34	0.29	0.10	0.07	<0.05	0.37	<0.05
石榴一	0.08	0.14	0.26	0.05	0.07	0.12	0.10	0.12	0.24	0.05	<0.05	0.16	<0.05
烏塗一	2.12	7.05	6.87	4.01	2.84	0.31	3.90	2.36		2.75	0.51	3.19	2.05
六合一	6.46	3.46	7.99	4.15	5.02	5.82	4.58	8.52	8.67	5.06	5.28	11.4	6.35
荊桐一	0.02	0.10	0.13	1.27	0.06	0.03	0.10	0.11	1.92	<0.05	<0.05	0.08	<0.05
西螺一	0.74	0.10	0.17	0.57	0.09	0.26	0.10	0.12	0.17	<0.05	<0.05	0.46	<0.05
社寮一	0.47	2.13	13.40	14.10	6.74	6.4	9.33	2.36		3.07	2.39	0.41	<0.05
竹山一	0.02	7.24	7.05	7.81	3.09	2.29	1.44	2.27	9.77	5.34	5.82	5.26	2.15
新光一	1.55	8.99	9.94	10.20	9.77	11.35	14.50	18.59	23.2	0.59	14.4	24.2	15.4
二水一	3.65	8.47	12.70	3.32	3.21	1.24	0.10	0.33		0.50	<0.05	2.33	3.75
柑園一	1.99	4.80	5.30	0.72	0.59	1.35	2.37	0.59	6.07	<0.05	4.88	4.55	5.42
溪洲一	0.16	0.26	0.18	0.66	0.14	0.11	0.10	0.10	0.04	<0.05	<0.05	0.36	<0.05
田中一	2.36	6.79	5.75	5.96	6.61	10.47	3.29	2.08	7.65	6.66	5.90	7.04	7.25
田中二	0.06	7.16	2.95	2.95	2.31	5.18	3.09	5.02	8.02	6.62	6.57	6.29	7.15
田尾一	0.10	0.12	0.14	0.10	0.37	0.15	0.10	0.10	0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
名竹大橋										3.21	1.37	0.35	4.35
南雲大橋										2.78	0.83	2.52	2.18
彰雲大橋										3.26	1.33	0.94	8.10
雨水										<0.05	<0.05	0.79	<0.05

1. 2003-2004 年數據為每月加總之年平均值。

2. 2007 年數據引自農業工程研究中心 (2007)，空白：無採樣。

3. 2009-2010 年本研究採樣。

表 6-2-14 本計畫採樣化驗之硝態氮濃度與農工中心（2009）之結果比對

井名	本計畫 2009 6月	本計畫 2009 9月	農工中心 2009 2-5月
崁腳一	0.19	<0.05	9.31
古坑一	6.57	12.9	12.1
溫厝一	0.69	<0.05	0.10
溫厝二	1.63	3.21	4.33
東和一	0.07	<0.05	0.30
石榴一	0.05	<0.05	0.13
烏塗一	2.75	0.51	0.03
六合一	5.06	5.28	10.4
荖桐一	<0.05	<0.05	0.05
西螺一	<0.05	<0.05	0.03
社寮一	3.07	2.39	2.30
竹山一	5.34	5.82	8.17
新光一	0.59	14.4	26.6
二水一	0.50	<0.05	0.11
柑園一	<0.05	4.88	5.64
溪洲一	<0.05	<0.05	0.03
田中一	6.66	5.90	8.04
田中二	6.62	6.57	9.08
田尾一	<0.05	<0.05	0.03

五、地面水水質監測

濁水溪沖積扇扇頂地面水調查，大致可分為灌溉渠道及排水渠道。灌溉渠道的水源引自濁水溪，導電度約 400-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。排水渠道則較上游，靠近山邊，導電度較小，約 300-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；越往下游、導電度變大，約 500-700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （表 6-2-14、圖 6.2-32 及圖 6.2-33）。

雲林扇頂調查結果，以靠近斗六工業區的竹圍 3 號橋水質最差，導電度達 1714 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，水質有臭味、並偏紅色。烏塗及六合地下水的導電度約 806-861 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，但臨近的地面水導電度約 519-709 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，可能因灌溉過程的蒸發作用，約有 25%的水份蒸發，使地下水的導電度變高。彰化地區的田中和柑園也可能為相同的作用。

二水站的地下水導電度則明顯偏低、約 217 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，鄰近的灌溉水為 400-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，因此地下水的補注水源應來自八卦台地，而非濁水溪的灌溉水。二水站北方的柳坑至復興，都為乾溪無水，但更北邊的清水橋導電度約 306 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。八卦台地上的新光站地下水約 149-296 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，導電度與二水站接近，應可證明此一解釋。

表 6-2-15 扇頂之地面水導電度（2010 年 1 月）

雲林			彰化		
編號	橋名	比導電度	編號	橋名	比導電度
1	乾溪	321	1	八寶	395
2	林內	851	2	惠民	511
3	頂庄	444	3	柳坑	無水
5	仁愛	519	4	有水	無水
6	烏塗	624	5	合和	無水
7	和興	522	6	大樹	無水
8	湖子	636	7	復興	無水
9	東興	522	8	和平	480
10	竹圍	709	9	清水	306
11	萬年	612	10	崙雅	490
12	竹圍 2	528	11	太平	512

雲林			彰化		
13	竹園 3	1714	12	田中	475
14	梅林	540	13	大社	505
15	大湖	472	14	溪底	574
16	湖本	434	15	四腳亭	613
			16	烏橋	522
			17	秋永	656
			18	過圳	643
			19	國小	520
			20	大庄	511
			21	大港	565

比導電度為校正 25°C 之值

表 6-2-16 扇頂之地面水導電度 (2010 年 9 月)

雲林			彰化		
編號	橋名	比導電度	編號	橋名	比導電度
1	乾溪	260	1	八寶	565
2	林內	845	2	惠民	550
3	頂庄	438	3	柳坑	無水
5	仁愛	513	4	有水	無水
6	烏塗	548	5	合和	無水
7	和興	484	6	大樹	無水
8	湖子	463	7	復興	191
9	東興	440	8	和平	485
10	竹圍	584	9	清水	285
11	萬年	725	10	崙雅	510
12	竹圍 2	517	11	太平	530
13	竹圍 3	1260	12	田中	515
14	梅林	1020	13	大社	481
15	大湖	429	14	溪底	580
16	湖本	307	15	四腳亭	585
			16	烏橋	520
			17	秋永	460
			18	過圳	563
			19	國小	575
			20	大庄	490
			21	大港	479

比導電度單位 $\mu S/cm$ 為校正 $25^{\circ}C$ 之值

表 6-2-17 地面水之主要離子成份

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
1 月							
清水地	150	6.07	9.33	30.05	8.12	14.72	1.17
清水泉	150	5.87	9.23	29.29	7.93	14.4	1.09
太平灌	145	1.7	140	60.4	17.69	13.17	2.36
太平排	135	2.18	142.5	59.72	16.95	15.71	3.14
田中灌	150	1.89	143.9	68.21	17.19	13.35	2.47
竹圍三	255	89.66	366.6	38.87	36.86	218.3	3.48
梅林	155	50.73	25.99	21.53	4.05	64.91	9.27
竹圍二	95	4.23	91.79	43.92	10.55	11.74	4.05
六合溝	185	2.21	124.8	71.27	15.35	14.83	2.88
六合橋	145	2.85	131.9	60.63	16.3	14.96	2.97
9 月							
14.梅林	300	115	68.85	148	10.15	20.76	6.74
10.竹圍	150	35.14	110	40.77	30.59	25.9	0.7
1.乾溪	85	4.88	38.18	29.02	4.66	5.98	1.77
9.東興	100	1.76	106.6	48.49	12.73	7.66	1.43
6.烏塗	95	7.2	131.6	58.5	13.21	2.96	0.37
9.清水	105	4.93	12.25	22.87	5.54	8.14	0.73
12.田中橋	85	1.56	119.7	48.51	9.25	7.25	1.4
11.太平	75	1.81	116.3	48.78	9.5	7.77	1.92
19.國小	75	1.18	108.5	48.78	9.45	7.35	1.29
5.含瑄	85	5.64	14.36	9.92	4.22	20.92	1.38
1.八寶	125	4.38	101.8	62.48	11.5	4.98	1.55

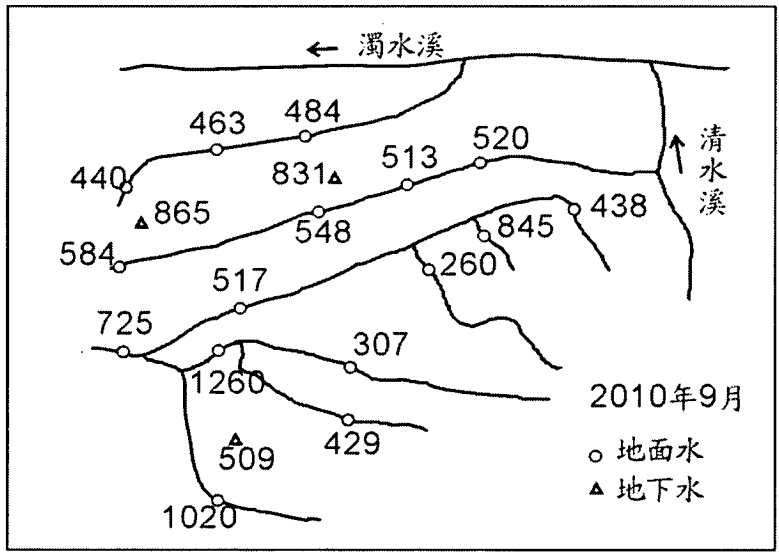
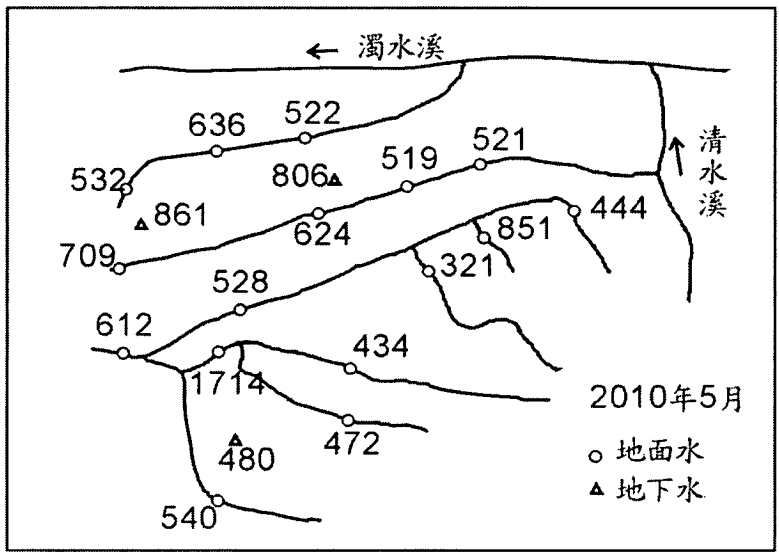
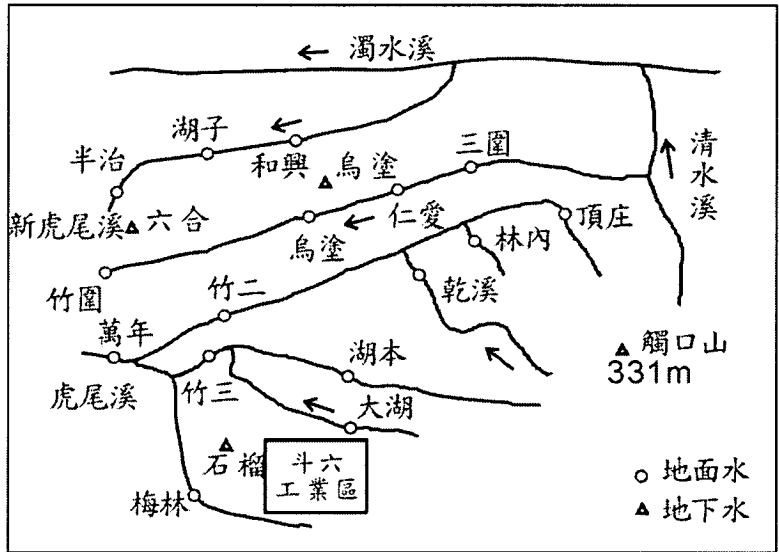


圖 6.2-32 雲林扇頂地面水導電度

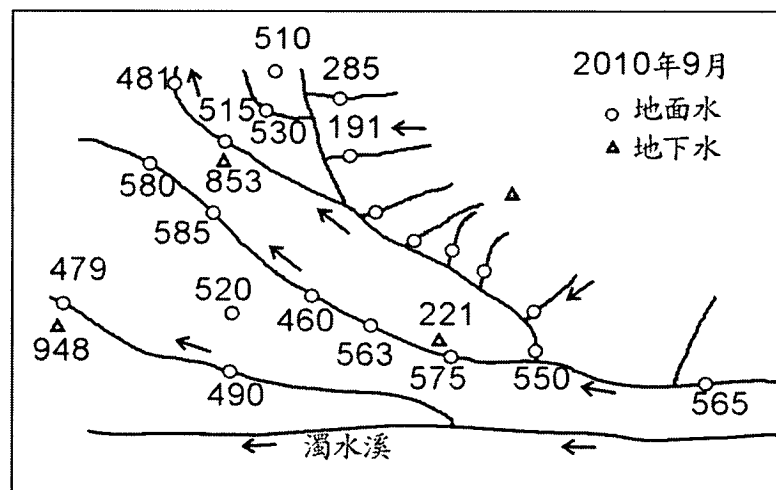
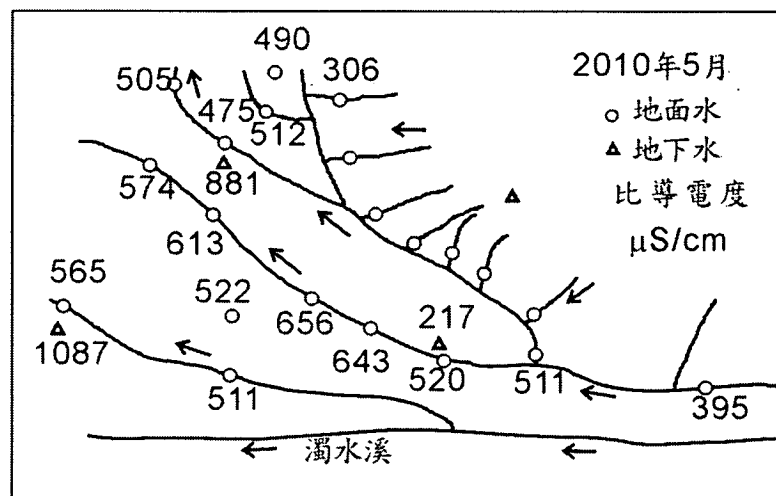
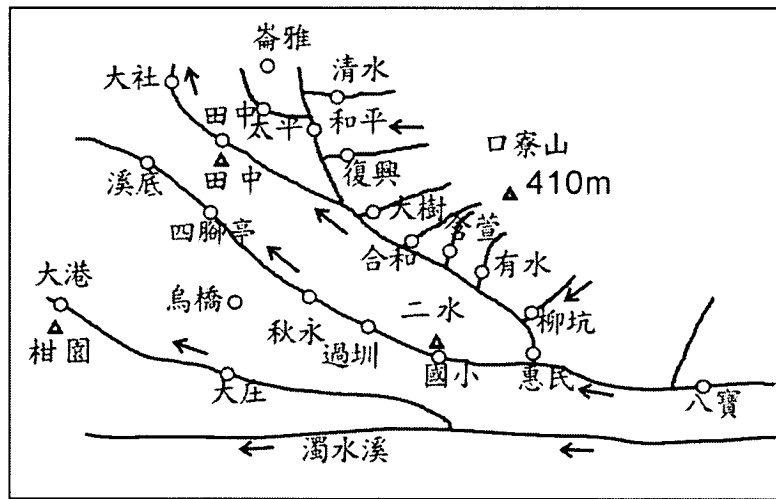


圖 6.2-33 彰化扇頂地面水導電度

6.2.4 結論

本年度除延續去年工作，持續監測彰雲扇頂區的地下水水質，因部份地下水已超過灌溉水標準，故評估調查該區地面水及農業灌溉之水質現況，並尋求因應之道。結果如下：（1）部份觀測井之井內水質，垂直方向有明顯的導電度差異，可能因地層中有不同來源之水源；（2）導電度連續監測顯示，井內垂直向水質差異大，則導電度變化也較大，較大降雨造成水位起伏，使井內導電度發生變化；（3）扇頂區的地下水水質，以導電度評估，至少有四成的井水超過灌溉用水標準（ $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ ），以濁水溪沖積扇的扇頂鹽化較明顯。分析主要離子成份，鹽化趨勢至少有兩類型：可能因蒸發作用、離子比例不變，及硫酸根增加（可能因農業化肥）。（4）地下水中的硝酸鹽污染仍存在，2010年有兩口硝態氮大於 $10\text{mg}/\text{l}$ ，應持續監測。（5）扇頂區地面水的水質現況及趨勢，只有少數點有人為污染，大多數的灌溉及排水的水質導電度均小於 $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6.3 六合站抽水井鑿建及複井抽水試驗

以地下水觀測井網現有井為觀測井，本(99)年度於六合站(六合國小)鑽鑿抽水井，以上部地下水層(F1)為主，埋設 12 吋 PVC 管進行複井抽水試驗以求取儲水係數。

六合站鑿建抽水井已於四月初開始進行相關作業，由於本站地層屬極堅硬地層，施工時直接以 20 吋鑽頭進行井孔鑽鑿，於 4 月 28 日當鑽鑿深度至 20m 附近，鑽具被井壁掉落之礫石卡住而打撈，經數天打撈未成，5 月 2 日井孔內泥漿水因比重降低而失壓，導致井孔壁崩塌、鑿井工具埋陷於內，已於 5 月 5 日移位重鑿。因地層質地相當堅硬，鑽鑿進度緩慢，常造成井孔內泥漿水嚴重失水、鑽具磨損嚴重需常停工焊補及鋼索損耗過度而斷裂更換等因素，影響鑽鑿進度頗鉅，以目前每日 2~3 公尺的施工進度，預計可在 5 月底前完成井體建置。

本(99)年度抽水試驗於六合站(雲林縣莿桐鄉)施作，共進行抽水試驗井(抽一)分級試水及觀測井(觀一、抽一)雙井抽水試驗各 1 組。於抽水試驗井(抽一)安裝抽水機進行試驗，雙井抽水試驗於觀一、觀二進行分層水位觀測，於 6 月下旬完成六合站抽水試驗。

6.3.1 井體建置

一、井測分析原理

孔內地層電測內容主要包括自然電位(SP)、電阻率(包括 64"正長距、16"正短距)及自然伽瑪(γ)等三種曲線(共四條)，分析說明如下：

1. 左邊曲線是自然電位(SP)，曲線顯示的電位差值受地層水、泥漿液及不同岩性間之離子濃度不同所造成。正常狀況下(地層水導電度大於孔內泥漿水之導電度)遇含水層(砂、礫石)SP曲線向左偏折，遇不透水層(黏土、頁岩)SP曲線向右偏折，是為正常型態之井測曲線。
2. 中間二條曲線分別為正短距(16")電阻率及正長距(64")電阻率。正常狀況下遇含水層(砂、礫石)曲線呈高電阻反應，遇不透水層(黏土、頁岩)曲線呈低電阻反應。
3. 右邊曲線是自然伽瑪(γ)，一般地質材料含放射性物質愈多則自然伽瑪值愈大。泥質地層中之黏土顆粒常含放射性鉀等元素，故自然伽瑪質較大，而砂或礫質地層中黏土顆粒含量極少，所含放射性物質少，故自然伽瑪值偏低。

另自然伽瑪值易受井徑大小影響，故研判時須與其他曲線小心對照，以免誤判。

自然電位 (SP)、電阻率及自然伽瑪 (γ) 三種曲線亦受到套管之影響，故分析時應先了解井測時之井況。

二、井測分析與鑽探成果

本站在保護套管以內，即地表下 17 公尺以上皆以鑽頭將地層打碎，除淺層 2-3m 以泥層為主外，其餘 3-17m 之礫石皆為鑽頭打成粗砂狀；地表下 17 公尺開始以 balier (鑽筒) 取樣，一直持續到 49 公尺深，主要以砂質粗礫為主 (表 1 為每公尺所量測之最大礫石粒徑)；地表下 49~60 公尺因地層結構較為緻密，故又改以鑽頭鑿穿地層，岩性推測仍為砂質粗礫 (圖 6.3.1)。

根據井測資料 (圖 6.3.2)，在井深 18-19 公尺附近，電阻率明顯由高約 500ohm-m 驟降至 250 ohm-m，顯示水位面就在附近；19-60 公尺之電阻率多位在 200~300 ohm-m 間，顯示岩性確實以礫石為主，但局部可能含砂泥較多。與民國 82 年之井測資料比較 (圖 6.3.3)，本次井測之兩條電阻率曲線明顯分開，這可能與施工方法有極大關係，因早期施工過程皆以鑽頭將礫石地層打碎，期間若為防止坍塌或吃水時，在鑽鑿同時常摻加許多泥塊進入井內，導致泥餅厚度大且深 (影響擴水洗井之效果)，故使得早期測得之兩條電阻率曲線極為接近。

表 6.3-1 六合站抽水井每公尺所量測之最大礫石粒徑

井深 \ 粒徑	長度 (cm)	寬度 (cm)	高度 (cm)
17-18m	18	9	9
18-19m	10	8	7
19-20m	14	12	8
20-21m	11	9	6
21-22m	12	9	7
22-23m	20	13	13
23-24m	12	10	6
24-25m	12	12	5
25-26m	9	11	8
26-27m	11	11	6
27-28m	19	17	11
28-29m	10	9	4
29-30m	10	8	7
30-31m	19	16	10
31-32m	14	9	6
32-33m	12	10	8
33-34m	26	15	11
34-35m	12	7	4
35-36m	10	9	4
36-37m	21	16	12
37-38m	23	16	11
38-39m	12	11	6
39-40m	13	6	6
40-41m	11	8	8
41-42m	11	7	6
42-43m	11	9	6
43-44m	21	17	9
44-45m	16	15	14
45-46m	23	18	18
46-47m	11	9	6
47-48m	11	9	6
48-49m	23	16	11

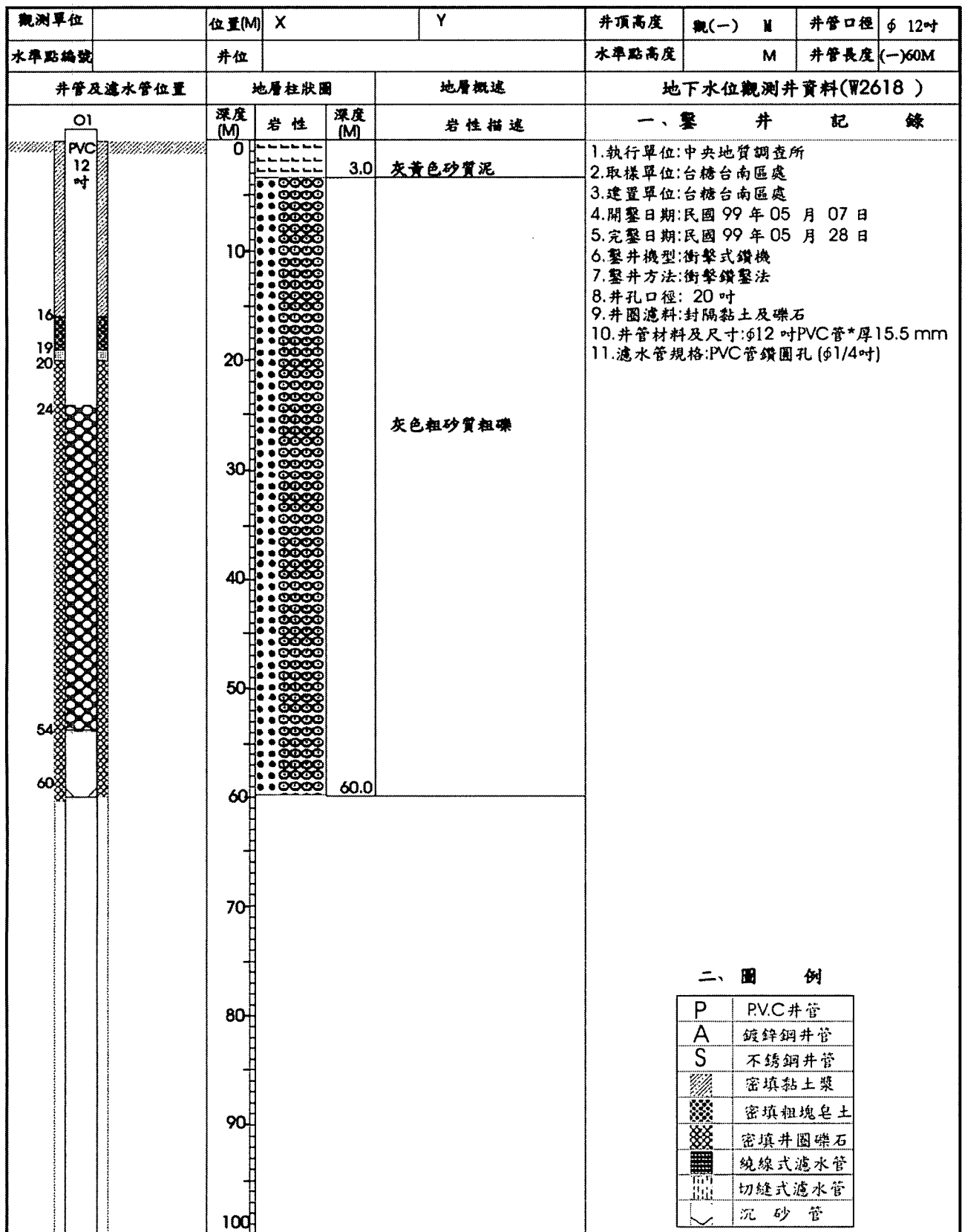
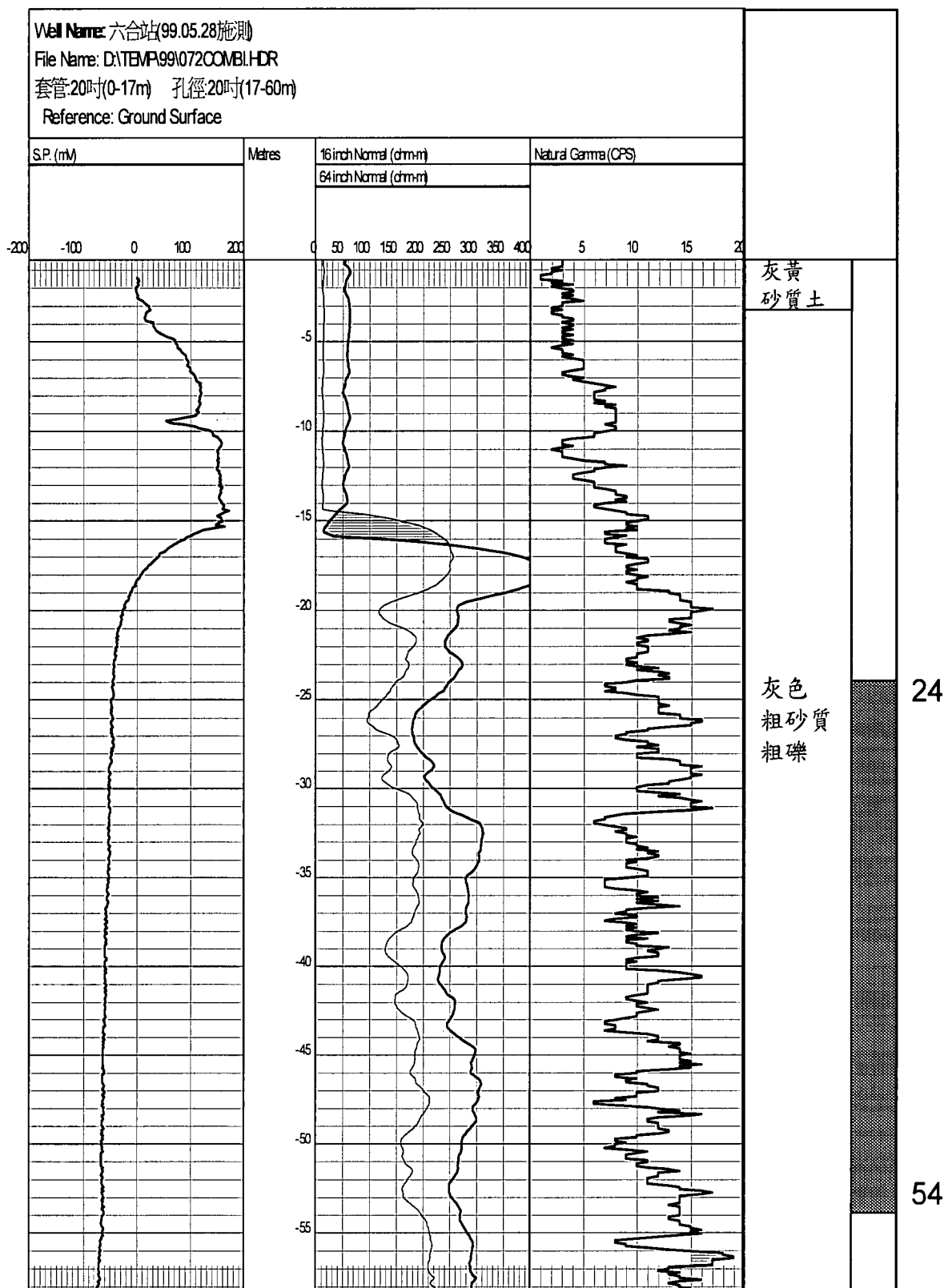


圖 6.3.1 六和站抽水井井體構造圖

圖 6.3.2 六合站抽水井井測圖



井 號：09090111 施測儀器：OYO GEOLOGGER 3030
 位 置：N 23° 46' 13" E 120° 33' 21" 測 棒：Combination Plobe
 地面標高：海拔 + 55.560 公尺 施測方式：向上 (置φ15"孔中心)
 施測時間：82年03月15日 10:54 AM 現場檔號：608COMBI

共 1 頁第 1 頁

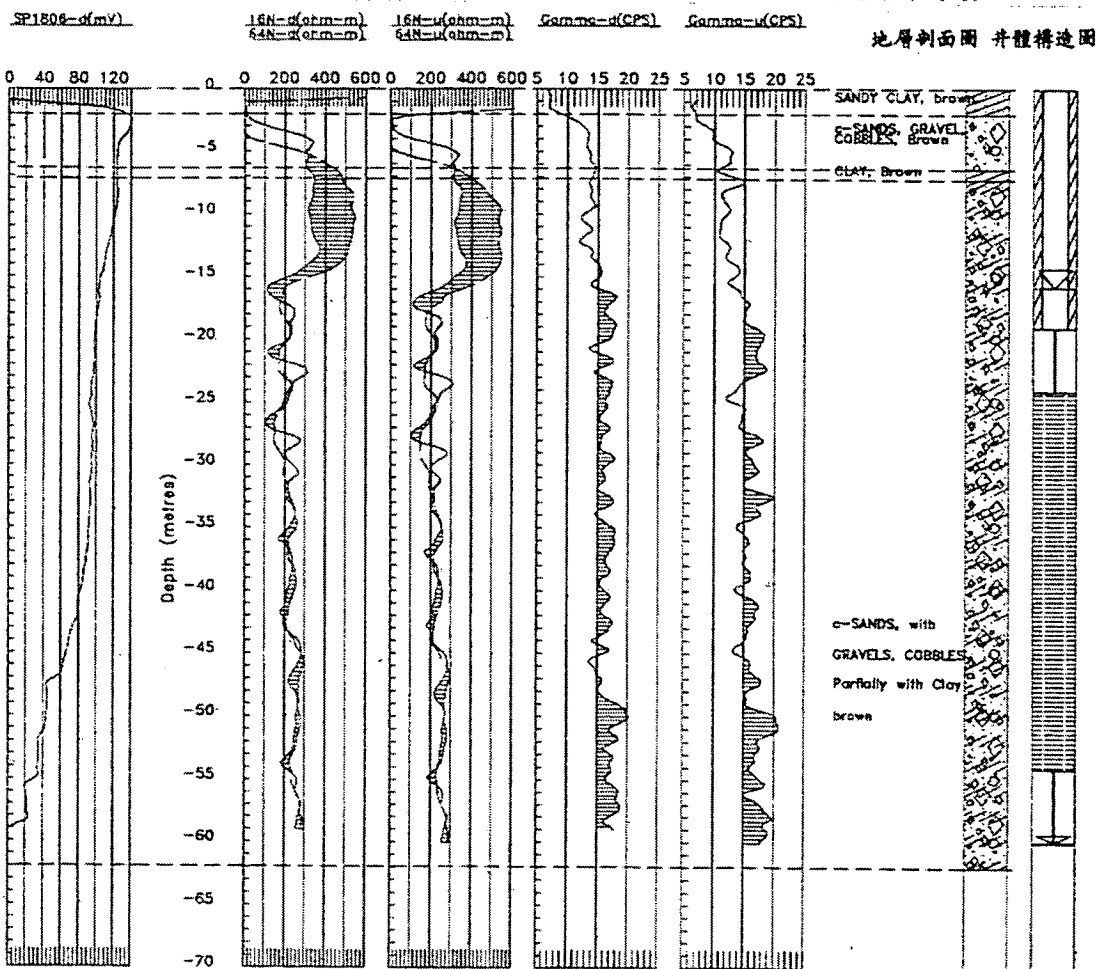


圖 6.3.3 82 年度六合站觀測井井測圖

6.3.2 抽水試驗

一、分級試水

單井分級試水其目的在於分析觀測井試驗所取的試驗數據，以求取井體單位洩降出水量(Q/s)、井性能曲線式、導水係數(T)等參數。其試驗方法、程序及結果分述如下：

(一) 試驗方法

分級試水採用連續抽水方式辦理。本計畫則將分級試水抽水量(Pumping Rate, Q)分成 5 級抽水量測試，依井中出水狀況作決定。由小而大(亦即 $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5$)，各級抽水量差概略相等(即 $Q_2 - Q_1 \doteq Q_3 - Q_2 \doteq Q_4 - Q_3 \doteq Q_5 - Q_4$)， Q_5 一般約為 Q_1 之 2.5 倍。各級之抽水時間應相等。試驗過程中則利用觀測設備記錄各級抽水量對應之時間(t)及洩降量(drawdown, s)，洩降量為動水位(Dynamic Water Level)與靜水位(Static Water Level)間之差值。每一級試驗約 100 分鐘，再調整抽水量至下一級。

(二) 參數計算與分析

以連續抽水作分級試水時，第 2 級以後各級抽水之洩降因包含之前各級抽水之累計洩降，故各級洩降值，需藉之前各級洩降與抽水時間對數值曲線之延長線予以校正。故依據疊合原理 (principle of superposition)，第 2 級之洩降，為第 1 級抽水量 $\Delta Q_1 = Q_1$ 所造成洩降，加上第 2 級增加抽水量 $\Delta Q_2 = Q_2 - Q_1$ 所造成之洩降；第 3 級之洩降為第 1 級 ΔQ_1 ，第 2 級增量 ΔQ_2 和第 3 級增量 $\Delta Q_3 = Q_3 - Q_2$ 所造成洩降之疊合；依此類推可得各級洩降之內部組成，試驗資料分析可由江崇榮 (2008a) 所推導之相等延時分級抽水試驗資料分解公式，分解成各級單獨抽水試驗資料。

除第一級試水採用實測洩降值 $s(Q_n, t)$ 外，其餘各級由實測洩降值 $s(Q_n, t)$ 計算修正洩降值 $s(Q_n, t')$ ，其修正方式如下：

$$s(Q_n, t') = s(Q_n, t) - \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{2.30 \Delta Q_i}{4\pi T} \log \frac{(n-i)\Delta t + t'}{t'} \right]$$

$s(Q_n, t')$ ：各級單獨抽水試驗井水位洩降(m)， Q_n 為第 n 級之抽水量 (m^3 / day)， t' 為時間 ($0 \sim \Delta t, min$)

$s(Q_n, t)$ ：分級抽水試驗井水位洩降(m)， t 為時間 ($0 \sim n\Delta t, min$)

ΔQ_i ：各級比前級增加之抽水量 (m^3 / day)， $\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$

T ：導水係數 (m^2 / day)

i ：分級抽水試驗第 i 級， $i=1 \sim n$

Δt : 各級抽水延時(*min*)

在分解得單獨抽水試驗資料後，進行井性能曲線(well performance curve)分析，江崇榮(2008b)建議可由 Birschenk(1963)或 Rorabaugh(1953)法分析，其程序為：

1. 先假設 $s = BQ + CQ^2$ 。 s 為單獨抽水試驗 100 分鐘之井水位洩降。
2. 因 $s/Q = B + CQ$ ，故 Q 對 s/Q 作圖應成直線；直線之斜率為 C ， $Q=0$ 時之截距為 B (Birschenk, 1963)。若 Q 對 s/Q 諸點分布確實呈直線，則分析工作到此結束。
3. 若 Q 對 s/Q 點分布明顯地偏離直線，而是向上彎之曲線，則應採用 $s = BQ + CQ^p$ 型式，以 Rorabaugh (1953) 方法重新分析。
4. 因 $\log(s/Q - B) = \log C + (p-1)\log Q$ ，故在雙對數座標上 Q 對 $(s/Q - B)$ 作圖，各點應該呈直線分布。
5. B 為未知，必須以 Rorabaugh (1953) 方法反覆嘗試求之。其方法是先用步驟 2 求得之 B 值代入步驟 4 之等式中，計算各組抽水試驗之 $(s/Q - B)$ 值，再點繪於雙對數座標上；若點呈向上彎之曲線，表示 B 值太小；改用較大 B 值重複計算和點繪，若得到向下彎之曲線，則表示 B 值太大；如此反覆試算 3 到 5 次可使各點呈直線分布，其 B 值為所求。
6. 由直線之斜率 $\frac{\log(s_2/Q_2 - B) - \log(s_1/Q_1 - B)}{\log Q_2 - \log Q_1} = p-1$ ，可得 p 值。 $\lg Q = \lg 1 = 0$ 時直線之截距等於 $\log C$ ，故 $\frac{\log(s/Q - B) - \log C}{\log Q - \log 1} = p-1$ ，可求得 C 值。

(三)分級試水結果

六合站抽(一)分級試水，靜水位為 21.170 m，由第 1 級分級試水之抽水量 $Q=79.8$ cmh 及洩降差 $\Delta s_l = 0.0556$ m/log，以 $T_1=4.375$ m²/min 進行分級試水分析，分級試水之第 1 級抽水量 $Q=79.8$ cmh，單位洩降出水量 (Q/s) 為 102.97 cmh/m；第二級 $Q=103.0$ cmh，單位洩降出水量 (Q/s) 為 91.78 cmh/m；第三級 $Q=130.3$ cmh，單位洩降出水量 (Q/s) 為 85.13 cmh/m；第四級 $Q=156.2$ cmh，單位洩降出水量 (Q/s) 為 76.08 cmh/m；第五級 $Q=190.0$ cmh，單位洩降出水量 (Q/s) 為 69.17 cmh/m。

以 Rorabaugh (1953) 方法分析，結果當 $B=0.005$ 時，其斜率 0.803，故得 $p = 1.803$ ；由截距 $\log C = -3.854$ ，得 $C = 1.40 \times 10^{-4}$ ；分析得井性能曲線式為 $s = 0.005 \cdot Q + 1.40 \times 10^{-4} \cdot Q^{1.803}$ 。

二、雙井抽水試驗

雙井抽水試驗其目的在於分析觀測井試驗所得的試驗數據，以推測含水層屬性，並選擇適當分析模式，求得含水層導水係數(T)及儲水係數(S)等參數。其試驗方法及程序分述如下：

(一)試驗方法

於試驗含水層建置分層抽水井(抽一)，由抽水井(抽一)裝置抽水機以定量抽水，並由圓縮口流量計控制抽水量；觀測井及抽試井各以測棒及自記式監

測儀紀錄時間與水位關係，以進行雙井抽水試驗。

(二) 試驗程序

雙井抽水試驗程序簡述如下：

- (1)分別於觀測井及抽水井安裝測棒並連線至自記式監測儀。
- (2)安裝圓縮口流量計。
- (3)完成自記式監測儀設定。
- (4)啟動抽水機及記錄抽水位，並於 2 分鐘內穩定控制抽水量。
- (5)於定量抽水結束，同時停抽及記錄回升水位。
- (6)完成試驗，拆除機具及設備。

(三) 雙井抽水試驗結果

六合站位於濁水溪南岸上游，靠近沖積扇頂部分，根據鑽井資料顯示，地面表土層約 2m 之下至 60m 為褐灰色粗砂礫卵石層，透水性佳。

六合站於抽一(P1)安裝抽水機，觀一(O1)、觀二(O2)、抽一各井量測水位，於 99 年 6 月 10 日開始進行雙井抽水試驗，至 6 月下旬完成試驗。茲將雙井抽水試驗結果說明如下（分析圖表參考附錄 A）：

六合站觀一（O1）雙井抽水試驗，O1 靜水位 10.24m，靜水位於試水期間為上升趨勢，以水位上升率為 4.812×10^{-5} m/min 修訂水位，抽水量 $Q = 190.0$ cmh，井距 $r = 12.66$ m，以 Neuman 法分析（ $\beta = 0.001$ ），得 $T = 11.28$ m²/min，以飽和水層厚度 50.21m，得 $K_x = 0.225$ m/min 與 $K_z = 0.00353$ m/min， $S = 0.000112$ ， $S_y = 0.1313$ 。

另以 Boulton 法（第一類）分析，前段（early-time） $r/B = 0.1$ ，得 $T = 10.08$ m²/min， $S = 0.000194$ ；後段（late-time） $r/B = 0.1$ ，得 $T = 10.08$ m²/min， $S_y = 0.148$ 。

第七章 地下水補注潛勢評估作業平台建置

「地下水補注潛勢評估作業平台」是提供使用者進行地下水補注區劃分之輔助工具，因此本平台除可進行相關評估計算外，以視覺展示方式呈現不同區位補注能力強弱，令使用者能迅速掌握補注潛勢在空間上之差異，乃是本平台最重要之功能及目的。圖 7-1 為地下水補注潛勢評估作業平台之系統架構圖，其中包括十項元件(詳述如 7.1 節)，本計劃 98(去)年度已完成地下水補注潛勢評估作業平台規劃與雛型建置，包括項目(1)地下水水位歷線法電腦程式與項目(3)補注潛勢計算電腦程式之開發、項目(4)基礎使用者介面與項目(5)資料上傳使用者介面之規劃與建置、項目(6)地下水水位資訊擷取元件及項目(7)資料庫之建立。

本年度預計進行項目(2)之修正型地下水水位歷線法電腦程式開發、項目(8)資料格式轉換、(9)模擬成果格式轉換與(10)模擬成果 GIS 展示等元件，完成地下水補注潛勢評估作業平台建置。另外，本年度針對項目(6)地下水水位資訊擷取元件開發一個管理介面，使管理者在更新資料庫的工作上較為簡易。

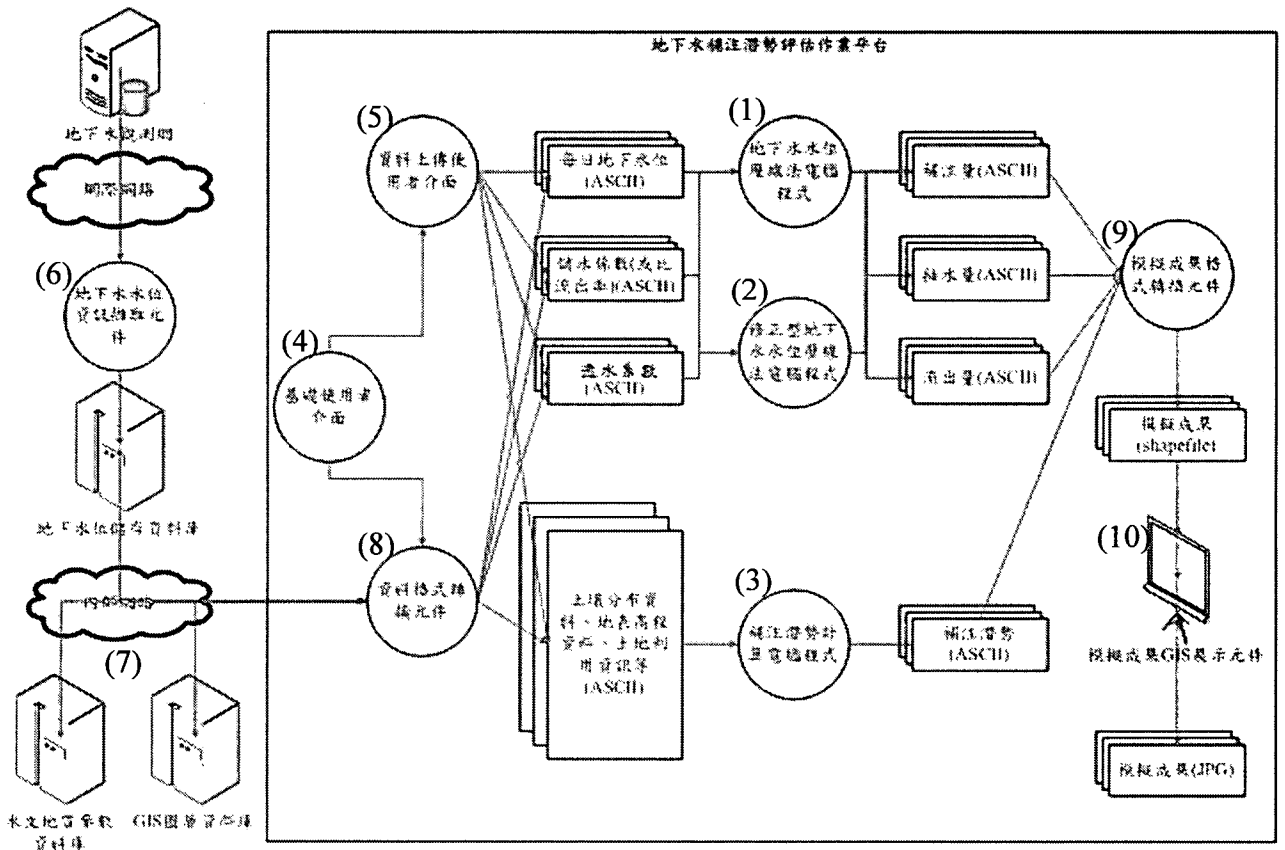


圖 7-1 地下水補注潛勢評估作業平台架構圖

7.1 地下水補注潛勢評估作業平台系統元件說明

本平台由十項元件所組成，第一至第三項元件為本平台之核心計算程式；第四至第八項元件則與使用者介面及輸入檔建立有關；而第九至第十項元件則是與電腦程式之輸出檔有關，作為視覺化呈現計算成果之用。系統元件十大項目分別為：

- (1) 地下水水位歷線法電腦程式。
- (2) 修正型地下水水位歷線法電腦程式。
- (3) 補注潛勢計算電腦程式。
- (4) 基礎使用者介面
- (5) 資料上傳使用者介面。
- (6) 地下水水位資訊擷取元件。
- (7) 地下水水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫。
- (8) 資料格式轉換元件。
- (9) 模擬成果格式轉換元件。
- (10) 模擬成果 GIS 展示元件。

第(1)至第(3)項元件之電腦程式為本計劃之核心工作項目，主要以 FORTRAN 程式語言進行撰寫開發，其輸入檔必須預先整理為 ASCII 文字檔，輸入檔內資料則需依特定格式排列。「地下水水位歷線法電腦程式」之輸入資料包含研究區域之每日地下水位與儲水係數或比流出率，而「修正型地下水水位歷線法電腦程式」則需再增加該地區之透水係數；「補注潛勢計算電腦程式」之輸入資料則需要研究區域各網格之表層土壤種類、土地利用、河系分布比例與面積、透水係數、平均年降雨量因子、降雨與地下水位相關性因子與單位蓄水量變化因子等考量之補注潛勢因子資訊。

第四項元件之「基礎使用者介面(Basic user interface)」係提供使用者決定待計算之電腦程式，依據選定之電腦程式不同，所需之輸入資料亦為不同，接著使用者仍須決定準備使用之資料輸入流程，如欲使用第一類輸入流程，其後則自行啟動第五項之「資料上傳使用者介面」；如欲使用第二類輸入流程，使用者可用勾選的方式選擇研究區域與時段，系統將透過第八項之「資料格式轉換元件」，其將自第七項之「地下水水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫」取得所需資料，並儲存為後續電腦程式之輸入檔。

第五項元件之「資料上傳使用者介面(Data upload user interface)」為第一類輸入流程所需之上傳介面，使用者需要依據各電腦程式定義之格式，自行建立

輸入檔，再由本介面上傳。

第六項之「地下水位資訊擷取元件」可由系統管理者定期啟動，自地下水觀測網網站上取得研究區域各水位觀測井之水位更新資料。

第七項之「地下水位儲存資料庫、水文地質參數資料庫與 GIS 圖層資料庫」則可建置於貴所內部網域中，儲存本平台所需之各類資料，包含研究區域之日地下水位資料、各項水文地質參數與相關所需之 GIS 圖層，其中「地下水位儲存資料庫」與「地下水水位資訊擷取元件」搭配使用，以儲存「擷取元件」所解析之地下水位更新資料；「水文地質參數資料庫」則儲存研究區域內各觀測井與其代表範圍所對應之透水係數與儲水係數等相關水文地質參數；「GIS 圖層資料庫」則儲存研究區域內相關所需之 GIS 圖層，其中包含表層土壤種類分布圖、土地利用圖與河系等圖層。

第八項之「資料格式轉換元件」則負責從第七項之各項資料庫中取得所需資料，並將資料依據第一至第三項之「電腦程式」所定義之格式輸出，自動建立輸入檔。因此第二類資料輸入流程需搭配第六至第八項元件運作，如此使用者僅需要勾選所需啟動之研究區域、時段與功能，系統將自行準備程式之輸入檔，再啟動電腦程式運算。

第九項之「模擬成果格式轉換元件」是將電腦程式輸出之 ASCII 格式模擬成果，包含補注量、抽水量、流出量、補注潛勢與地下水位等空間分布資訊，透過克利金(Kriging)或線性內插等內插方法，將點位資料轉換為平面資料，在此以地理資訊系統(GIS)作為空間資料展示之介面，因此選用 GIS 地理資訊系統檔案格式，此外由於國內常使用之 GIS 流通格式為 Shapefile(.shp)格式，因此 Shapefile 將是系統之內建檔案格式。

第十項之「模擬成果 GIS 展示元件」則以地理資訊系統軟體開啟瀏覽「模擬成果格式轉換元件」所製作之 Shapefile 檔案，由於 Shapefile 檔案為向量式圖檔，因此在地理資訊系統中，使用者可以任意的縮放圖面。此外，在顯示上亦可以任意搭配其他現有的圖層，例如縣市鄉鎮圖、土地利用圖、土壤分布圖、河川水系圖或道路路線圖等。另外，地理資訊系統軟體內建的匯出(Export)功能，可將模擬成果繪製成 JPG 形式之圖檔，方便使用者使用於文件或提高檔案交換的流通性。

7.2 地下水補注潛勢評估作業平台使用者介面

地下水補注潛勢評估作業平台工作項目中第(4)項基礎使用者介面與第(5)項資料上傳使用者介面兩者，均為評估作業平台之前處理使用者介面(User Interface, UI)。本計劃以崧旭資訊公司之 SuperGIS 軟體為基礎，介面表單開發使用 SuperGeo 客製化 VBA 開發工具，建立地下水補注潛勢評估作業平台，其中

依功能可區分為「水位歷線法補注評估」及「地下水補注潛勢評估」等計算模組，架構如圖 7.2-1 所示。在「基礎使用者介面」、「資料上傳使用者介面」與「資料格式轉換元件」方面，由於視窗版本之圖形化使用者介面與網際網路功能為其主要門檻，在此以 Visual Basic (VB) 程式語言撰寫。

上述兩種計算模組中均有「資料庫自動建立」與「使用者自行建立」兩類輸入方式：

1. 「資料庫自動建立」：該介面提供使用者簡易的幾項參數設定選項，選取後，作業平台則會自動透過電腦程式由前述建立之資料庫，補足計算所需之所有資料。
2. 「使用者自行建立」：該介面則是提供使用者開啟自行製作之輸入檔，給予程式進行計算之用，藉此在使用方便性與模擬彈性兩者間取得平衡。注意！此時開啟的輸入檔內之資料必須依照所需格式排列。

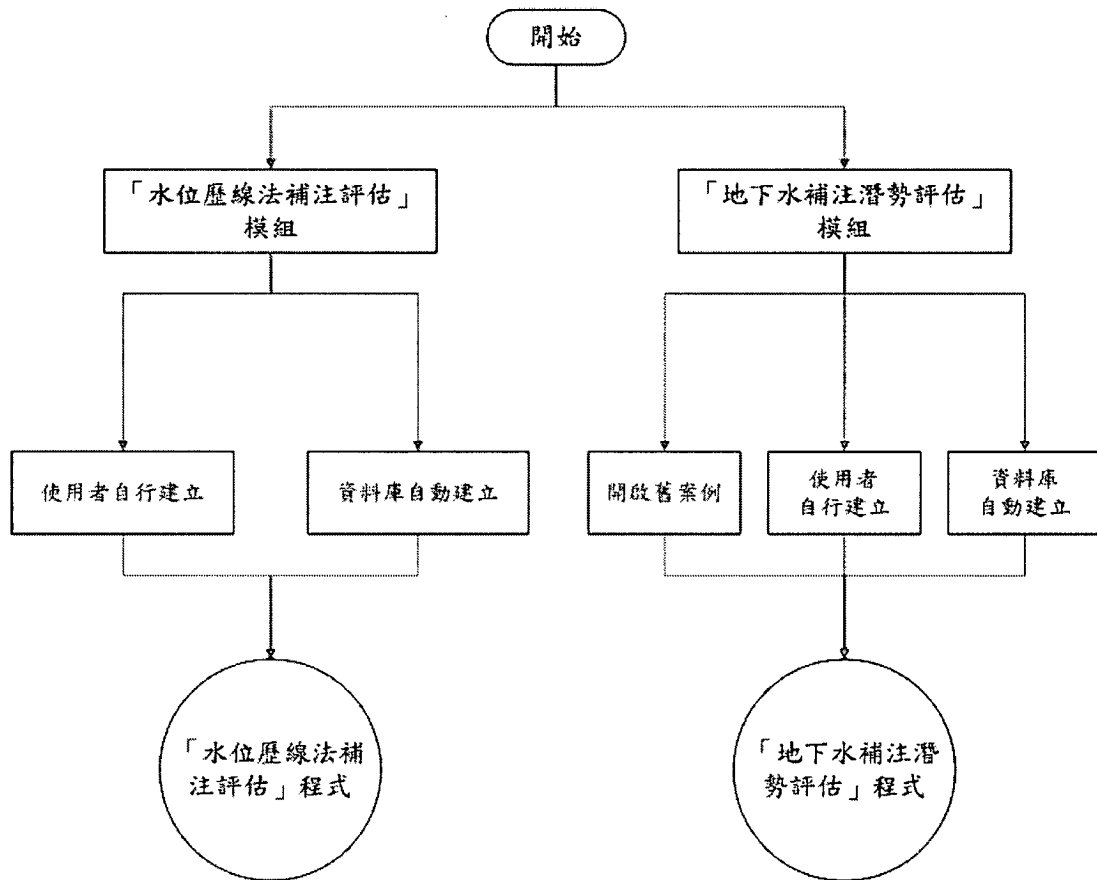


圖 7.2-1 地下水補注潛勢評估作業平台使用者介面執行流程圖

7.3 核心計算程式

本評估作業平台最重要的核心即為「地下水水位歷線法電腦程式」、「修正型地下水水位歷線法電腦程式」與「補注潛勢計算電腦程式」三支電腦程式，

其計算類型近似傳統土木水利領域之數值計算，而 FORTRAN 語言為傳統土木水利領域常用之程式語言，對於數值計算較為方便迅速，故本平台之核心計算程式皆採用 FORTRAN 語言撰寫，目前皆已開發完成。

因應核心計算程式所需之空間數據，以及在補注潛勢模擬成果展示方面，使模擬成果可以迅速地從畫面上一目了然，需有其他擴充模組以達到需求（空間內插及其他系統相關需求），因此除了「桌上型 GIS 軟體」外(崧旭資訊公司的 SuperGIS 軟體)，尚包含了「Spatial Analyst 空間分析模組」、「Spaital Staitistics Analyst 空間統計分析模組」與「67/97 座標轉換模組」，如表 7.3-1 所示。

表 7.3-1 GIS 專案相關軟體清單表

項次	項目
1	桌上型 GIS 軟體 (網路版權)
2	GIS 軟體擴充模組-Spatial Analyst 空間分析
3	GIS 軟體擴充模組-Spaital Staitistics Analyst 空間統計分析
4	GIS 軟體擴充模組-67/97 座標轉換

執行成果以 SuperGeo 空間分析元件 SGSA2.dll 做為成果展示工具。該元件可將離散的點位值，以內插方式(Interpolation)，計算出區域內的未知網格值。本案以反距離權重法(Inverse Distance Weight, IDW)為演算內插計算的方法。相關資訊如以負值呈現，該元件亦支援負值運算，不必另行處理。

計算的結果值，再以顏色表示數值的變化，便於以圖像方式，表達空間數值。透過顏色變化的呈現方式，輔助瞭解地下水位的分佈變化。在 GIS 中，相同的數值，也可以再利用等值線法(isopleths Map ,Contour Map)來表示。對於後續的相關疊圖分析(Overlay Analysis)，本元件提供了網格圖層之間計算的功能。可針算不同圖層，設定參數後，再輸出結果圖層。

7.4 資料庫建立

一、地下水位、雨量資料庫

經濟部水利署所維護之「水文水資源資料管理供應系統」

(<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>)，儲存長期且大量之地下水位及雨量資訊，如圖 7.4-1 所示。本計劃於 98(去)年度以 Microsoft Visual Studio 2005 作為開發環境，建立自動擷取程式下載網頁水文資料，如圖 7.4-2，並另外建立解析程式將下載之 HTML 格式之地下水位與雨量資料，以 Microsoft Access 資料庫軟體儲存

之，在資料表中建立時間與對應之時序值欄位，如圖 7.4-3 所示，其為雨量資料庫中特定雨量站之資料庫資料。此項時序地下水位資料庫與雨量資料庫之建立，以及對應之自動擷取程式，可確保未來資料之更新，並且當後續使用者應用此作業平台進行水位歷線法程式計算時，平台可自動從資料庫讀取對應之時序資料，供程式進行計算。

二、水文地質參數資料庫

同樣的，本計劃 98(去)年度將已收集之水文地質參數，如地下水井之座標、儲水係數及透水係數等，依各站建立對應之相關水文地質參數，供後續計算評估使用。

三、GIS 圖層資料庫

本計劃 98 年度已收集濁水溪沖積扇地下水區之所有 GIS 圖資，其中包含該區域的水區邊界圖及網格圖，以及土地利用、表層土壤種類、河系、平均降雨量、降雨與地下水位變化相關性、透水係數、單位蓄水量變化等七種圖層，其分別對應前述之七種補注潛勢影響因子，在此建立 GIS 圖層資料庫。方便後續使用者從系統中載入該區之地下水區各種 GIS 圖資，以利各水區之 GIS 圖資之儲存、管理與分享。

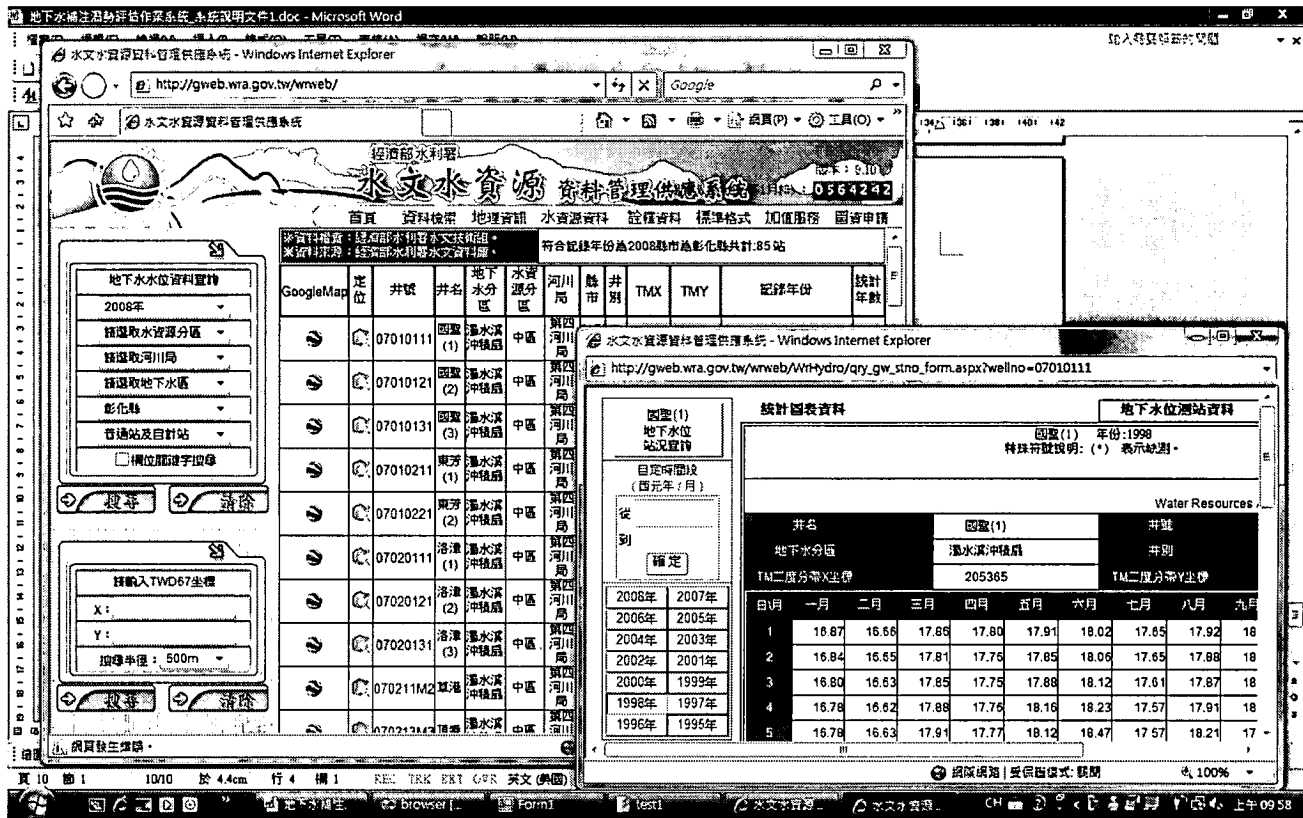


圖 7.4-1 經濟部水利署之水文水資源資料管理供應系統

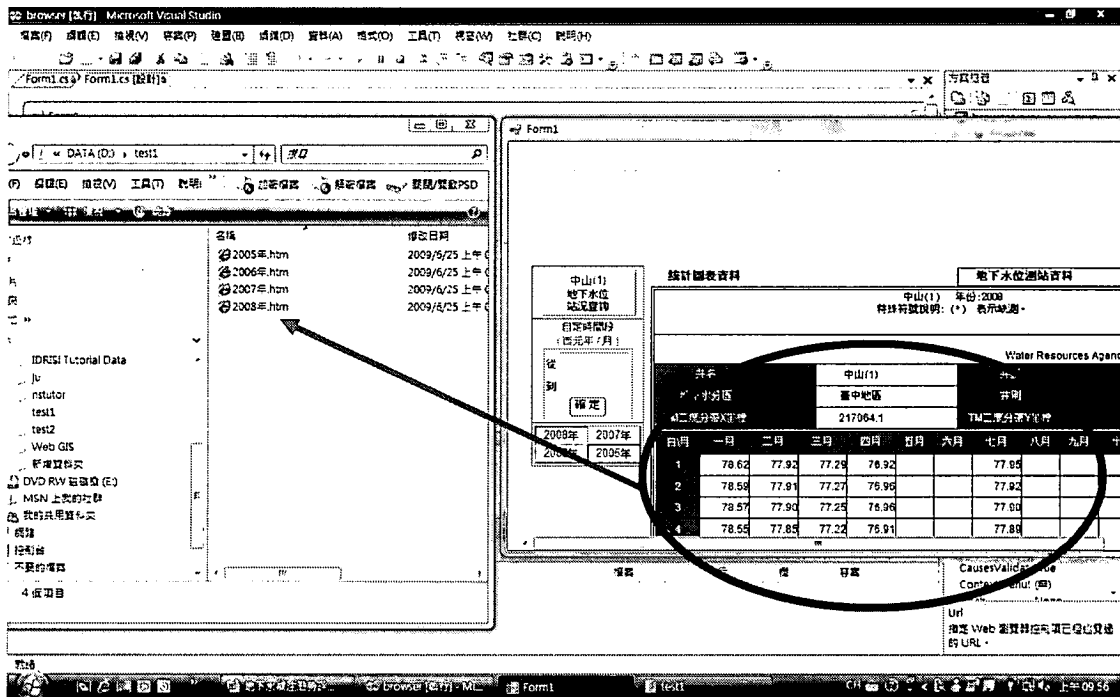


圖 7.4-2 將網頁內容轉存成檔案

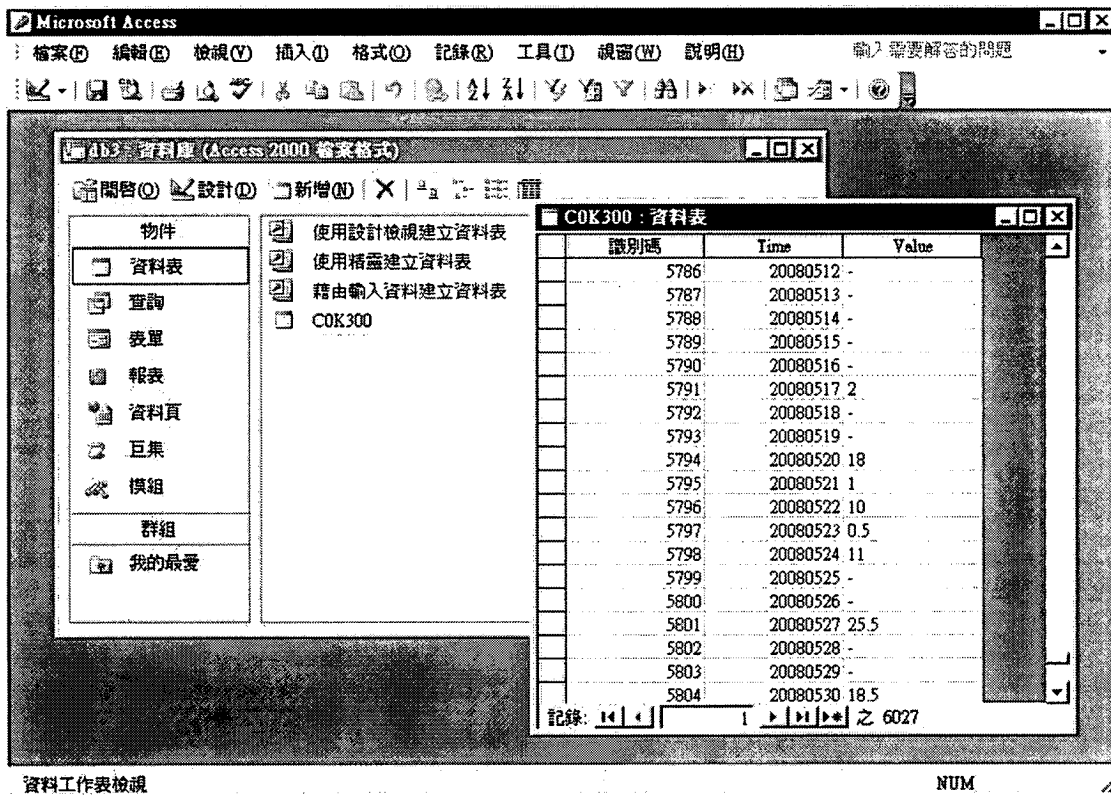


圖 7.4-3 雨量資料庫(COK300)範例

7.5 系統操作說明

7.5.1 補注潛勢評估作業平台操作介面及說明

一、開啟平台工具 SuperGIS 2.2 版

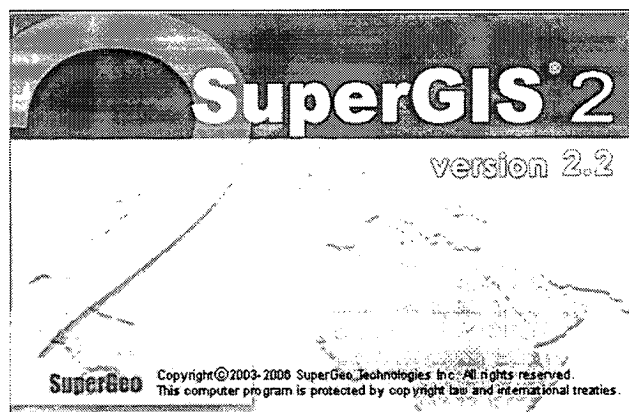


圖 7.5-1 SuperGIS 開啟畫面

二、系統安裝

為方便使用者安裝，本系統已將其安裝步驟精簡，使用者只須依照動作指令操作，便可輕鬆安裝。如圖 7.5-2。

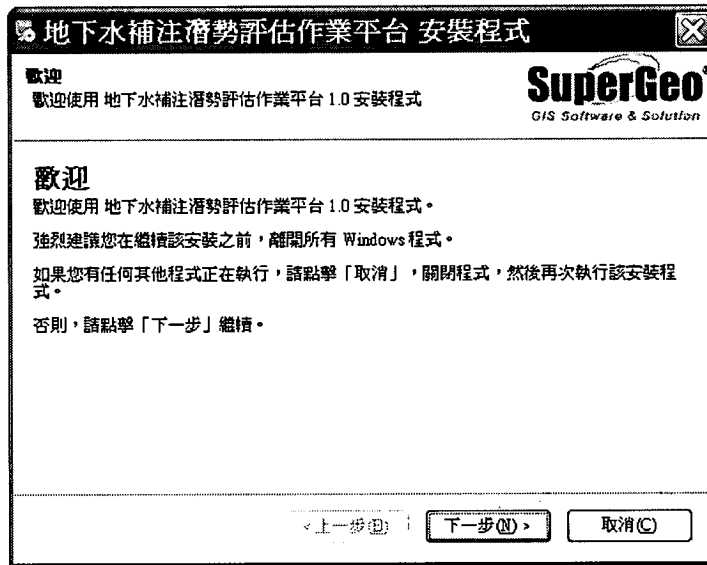


圖 7.5-2 地下水補注潛勢評估作業平台 安裝程式

設定資料庫路徑，本作業平台內含計算及分析功能，須從資料庫內抓取相關資料方能計算，因此作業平台須連結至資料庫才可使用。使用這於安裝步驟中，可自行選擇安裝後立即設定路徑，或是在之後啟動作業平台時再另行設定。

三、系統操作：

裝時設定資料庫路徑，系統將在開啟時自行跳出資料庫路徑設定畫面，如圖 7.5-3。

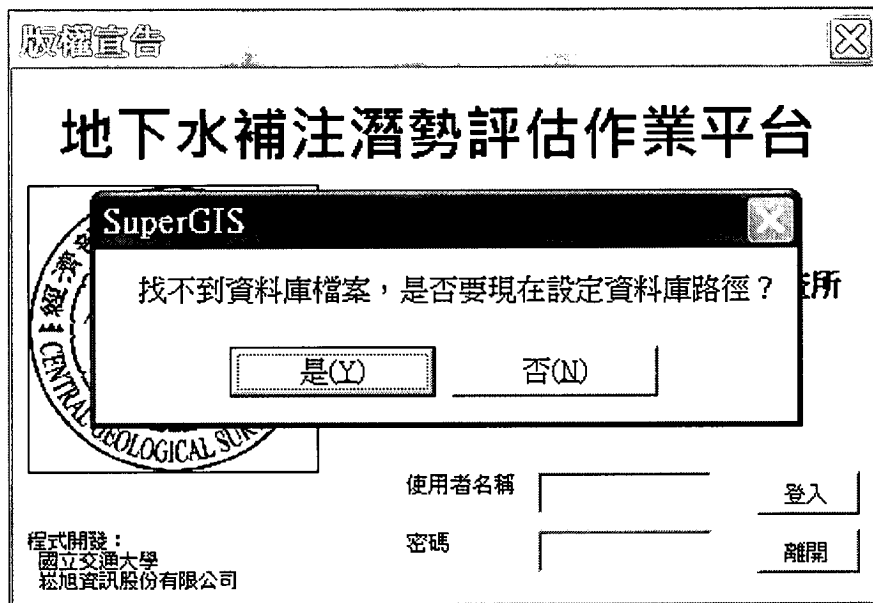


圖 7.5-3 地下水補注潛勢評估作業平台 資料庫路徑設定

評估作業系統之版權屬於經濟部中央地質調查所，使用者名稱及密碼目前預設可使用 guest 及 guest 登入。平台之基本圖層分為地下水位測站、濁水溪研究區域、縣市界圖層等三種。如圖 7.5-4。

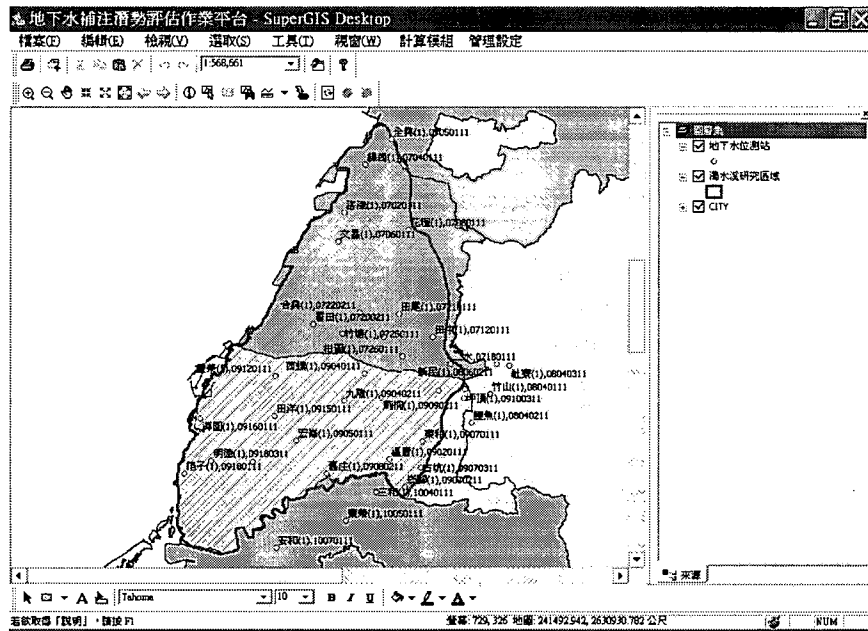


圖 7.5-4 地下水補注潛勢評估作業平台

四、選取「水位歷線法補注評估」

◆ 水位歷線法補助評估-資料庫自動建立：

本平台提供兩類資料輸入方案，第一類係由使用者提供定義所需之輸入檔，第二類則由系統平台自動準備其輸入檔。使用者若採取第二類資料輸入流程則在取得與更新地下水位資料上可有效減少工作量。當選擇資料庫自動建立時，操作方式需要由使用者以下拉式選單及勾選方式分別輸入「案例設定」、「地下水井井號設定」、「雨量資料設定」。如圖 7.5-5。

操作說明：

- (一) 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，另外輸入自訂之案例名稱。選擇「演算法」，可依需求勾選「水位歷線法」或「修正型水位歷線法」。以下拉式選單選取「計算年份」，年份設定自 1998 至 2003 年。
- (二) 地下水水井井號設定：自行選取內部建置之井號，可單獨選取亦可直接全部選取。

- (三) 雨量資料設定：選取雨量資料之類型，內建「全區平均雨量」、「山區平均雨量」、「平原區平均雨量」及「自選雨量站」，若於雨量站類型欄位選取「自選雨量」，則可自行選取雨量站站號。
- (四) 開始計算：計算結果產生成果圖表。如圖 7.5-6。
- (五) 成果圖表可分為資料類型(逐日資料、逐年資料、逐年區域總量)與圖表類型(補助量、抽水量、水停流通量、水位、降雨量)
- (六) 於圖表畫面中，使用者可將游標移置圖表上並雙點擊圖表，系統將自動將其圖表複製並存放於剪貼簿。
- (七) 水位歷線法補注評估成果圖表逐年資料中除了水位資料為平均值外，其餘的資料如累積補注量、累積抽水量、累積水平流通量皆為整年累積之統計值。
- (八) 逐年區域內累積總量，以表格方式呈現，如下表

表 7.5-1 逐年區域內累積總量表

年份	年儲蓄改變量	年平均流通量	年抽水量	年補注量	年流出量	年降雨量	滲水對率(乾季)	滲水對率(一期)
1998	116611619.654	0.000	1261727068.107	1742091140.400	363752452.638	1651.000	-2452727.996	-3258365.105
1999	-141851965.451	0.000	1355586796.088	1308418769.243	96998229.379	857.000	-2452727.996	-3258365.105
2000	-92649852.141	0.000	1316637707.470	1323821705.324	100784635.550	1234.000	-2452727.996	-3258743.978
2001	115309128.830	0.000	1348575764.176	1379090055.868	-86756454.356	1951.000	-2452727.996	-3034033.355
2002	-180173406.360	0.000	1432930543.300	713349886.651	-538755376.257	959.000	-2452727.996	-3096423.802
2003	-227405948.030	0.000	1410955796.165	642020943.666	-539334612.878	504.000	-2452727.996	-2991097.005

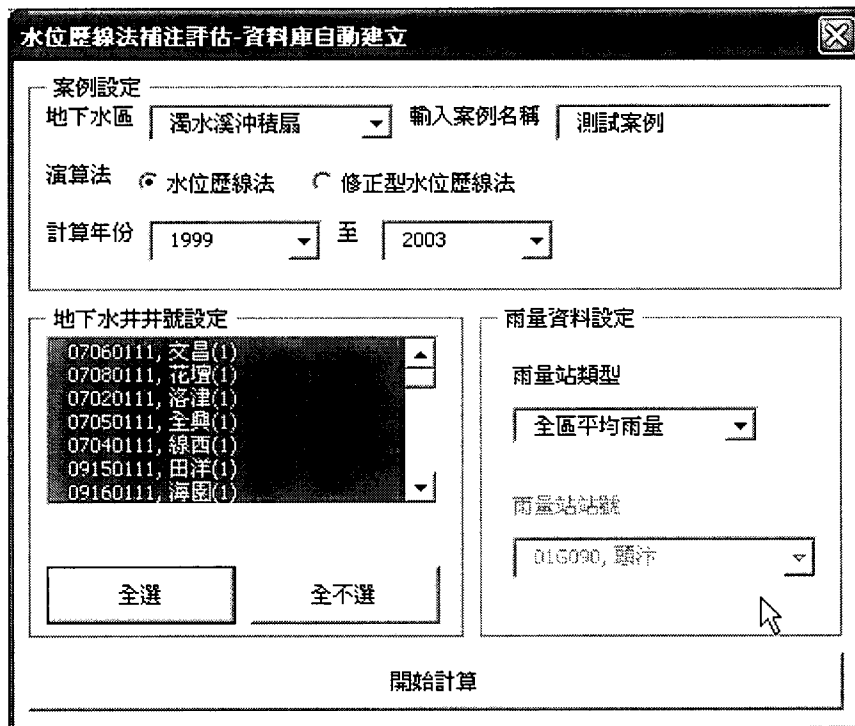


圖 7.5-5 水位歷線法補注評估-資料庫自動建立之畫面

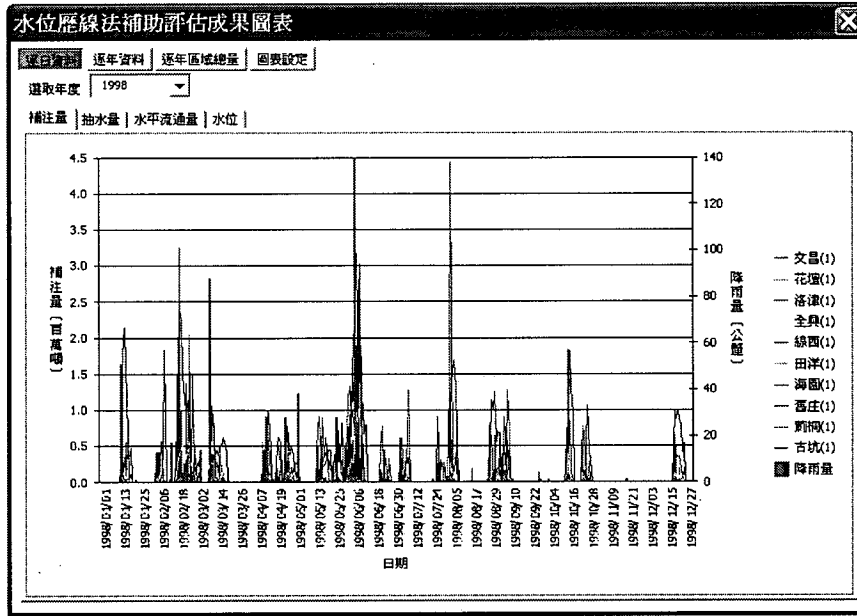


圖 7.5-6 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-補注量)

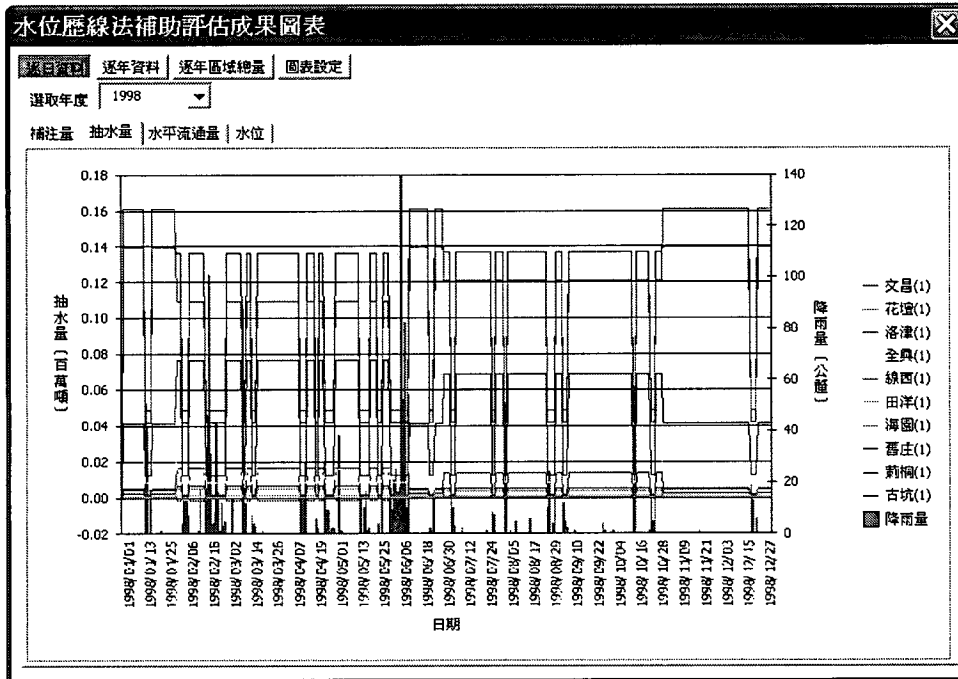


圖 7.5-7 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-抽水量)

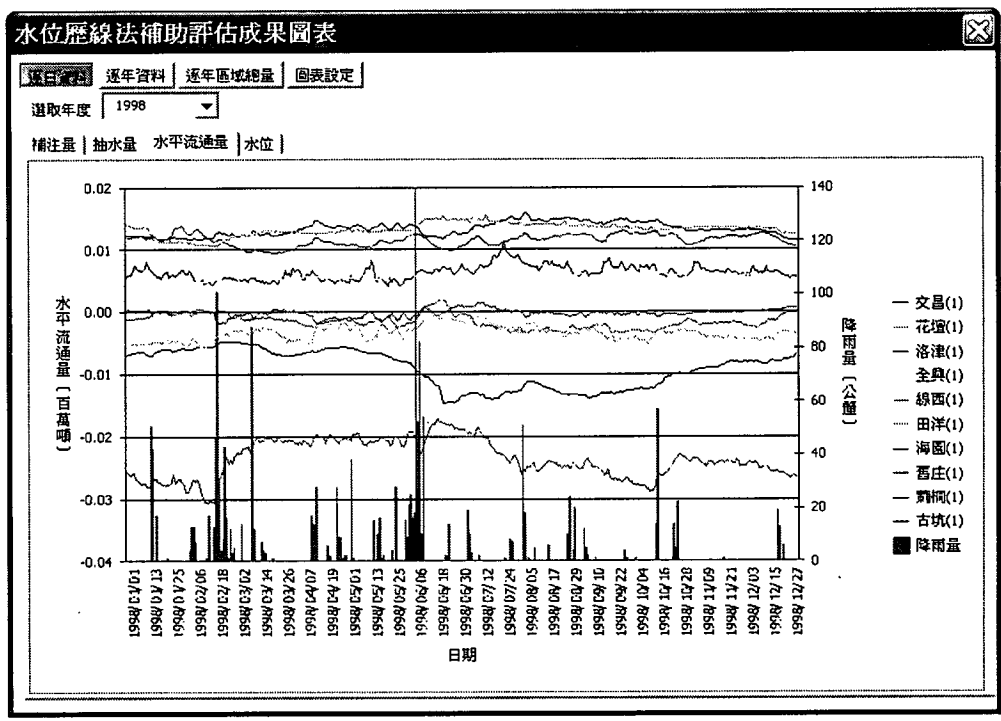


圖 7.5-8 水位歷線法補注評估成果圖表(逐日資料-水平流通量)

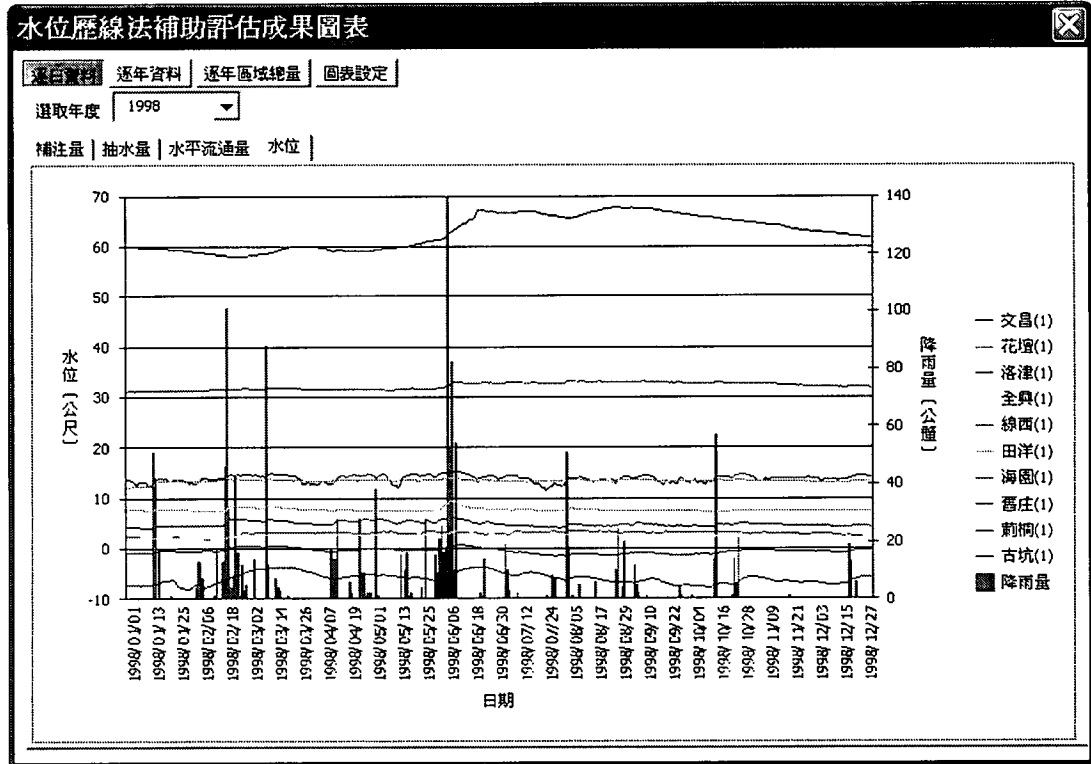


圖 7.5-9 水位歷線法補注評估成果圖表(水位)

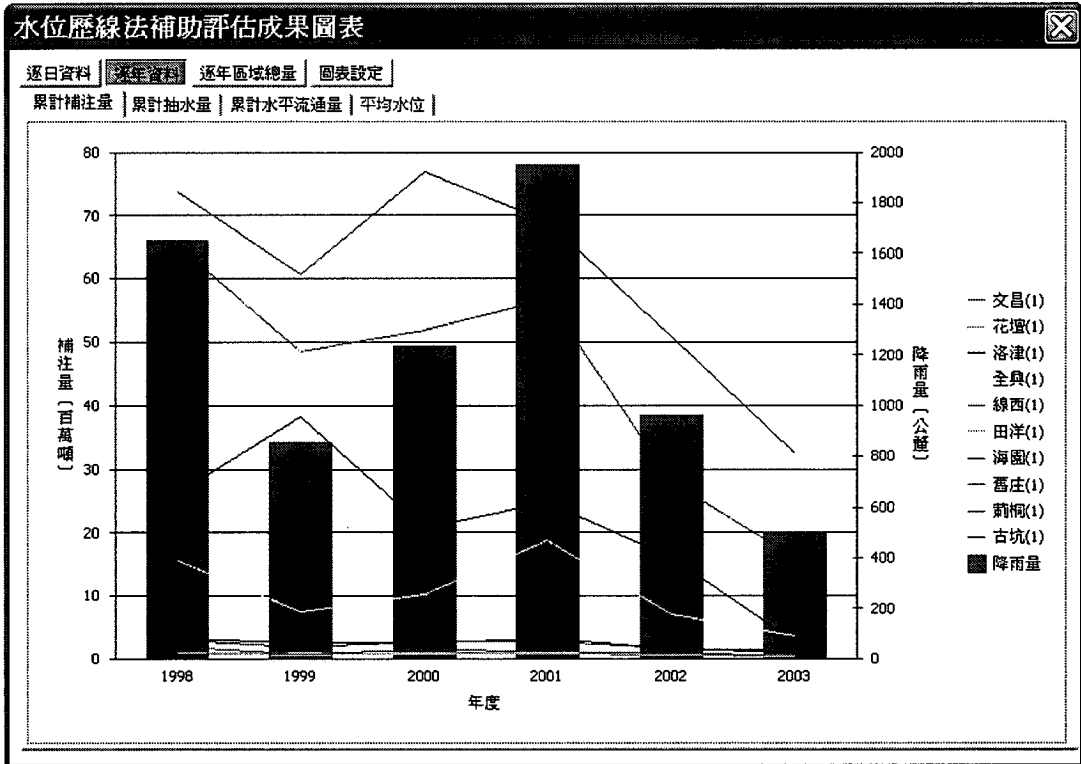


圖 7.5-10 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計補注量)

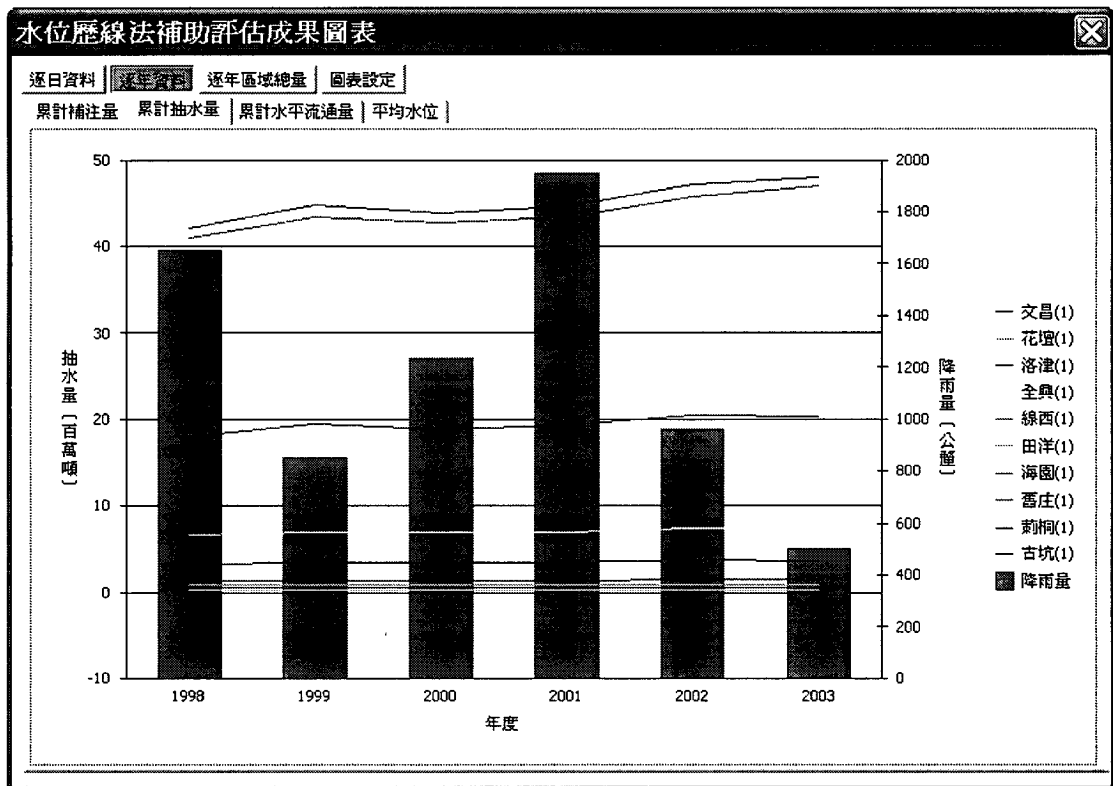


圖 7.5-11 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計抽水量)

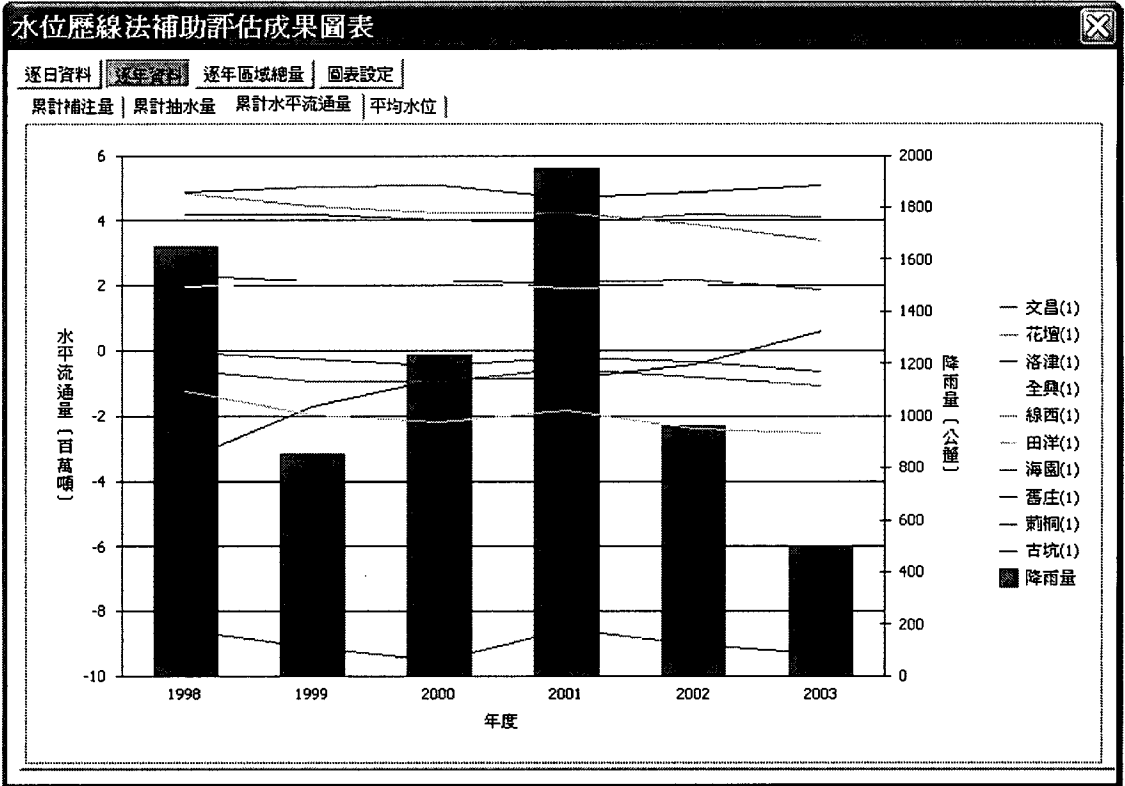


圖 7.5-12 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-累計水平流通量)

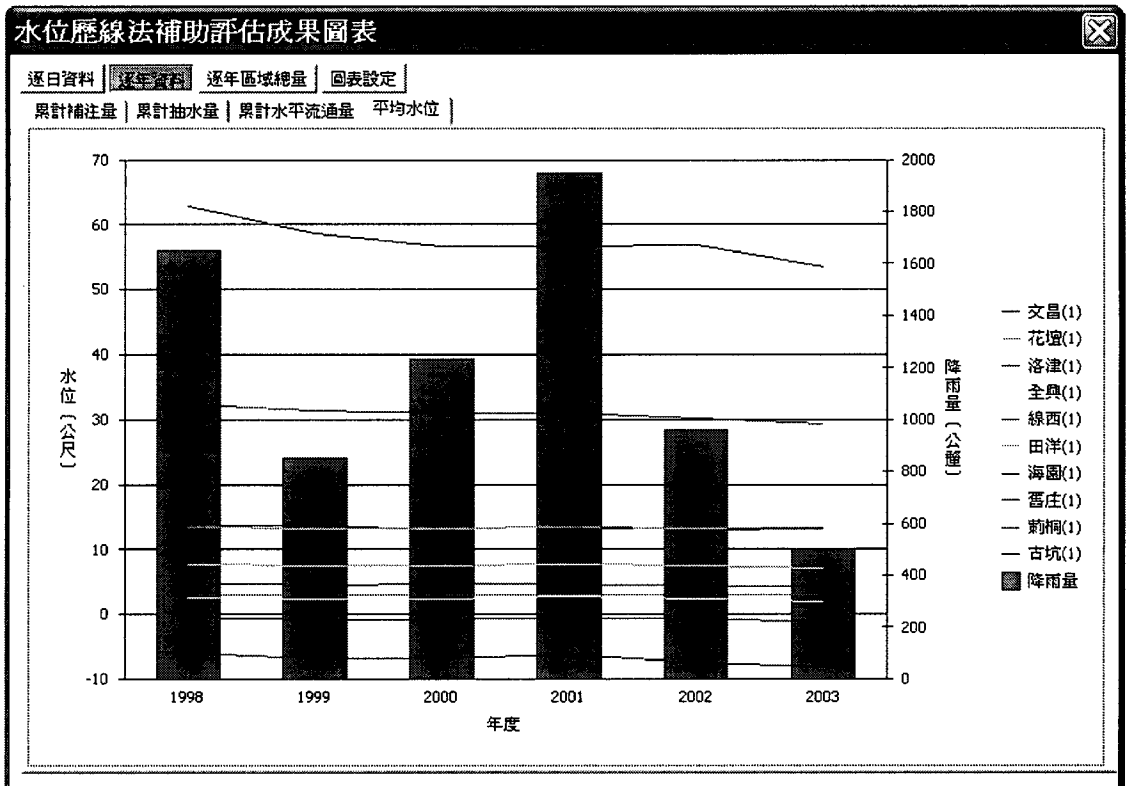


圖 7.5-13 水位歷線法補助評估成果圖表(逐年資料-平均水位)

◆ 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立：

當選擇使用者自行建立時，操作方式需要由使用者分別輸入「案例設定」及「輸入資料」，按下「開始計算」，如圖 7.5-6 所示。

操作說明：

- (一) 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，另外輸入自訂之案例名稱。
- (二) 輸入資料：依序輸入「水井資料」、「時序資料」、「相鄰水井資料」、「每年一二期稻作面積資料」。
- (三) 開始計算：計算結果以圖表方式呈現。

案例設定	
地下水區	濁水溪沖積扇
案例名稱	測試1

輸入資料	
水井資料	C:\WellData.txt
時序資料	C:\TSeriesData.txt
相鄰水井資料	C:\LinkData.txt
每年一二期稻作面積資料	C:\Irr_areaData.txt

開始計算

圖 7.5-14 水位歷線法補注評估-使用者自行建立之畫面圖

五、選取「地下水補注潛勢評估」

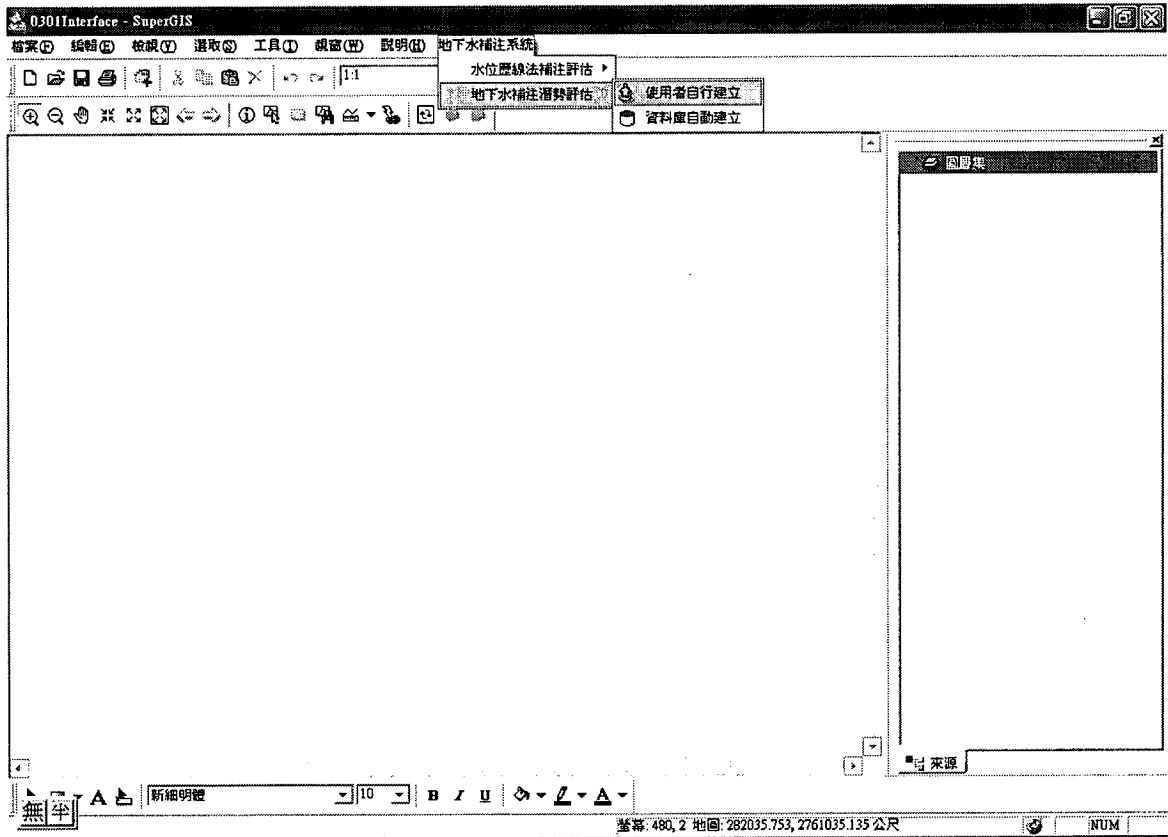


圖 7.5-15 選取「地下水補注潛勢評估」畫面

◆ 地下水補助潛勢評估-資料庫自動建立

資料庫自動建立提供使用者簡易地勾選所需之因子，由系統於背景中自動準備所需之輸入檔，包括「案例設定」、「因子選用設定」及「因子權重設定」，如圖 7.5-16 所示。

操作說明：

- (一) 案例設定：選擇「地下水區」，下拉式選單內可自行選擇「濁水溪沖積扇」或「屏東平原」，並輸入案例名稱（目前僅提供濁水溪區域）。
- (二) 因子選用設定：直接勾選內建之因子選項，可同時覆選多個項目。
- (三) 因子權重設定：設定各因子之權重值；
- (四) 更新百分比：根據各因子所佔之權重，自動計算其權重百分比。
- (五) 開始計算：計算結果產生彩色潛勢分數圖。

(六) 地下水補注潛勢評估之成果，系統將其計算結果以地圖方式呈現，並於子畫面中將其計算分數以不同顏色分級表示。如圖 7.5-17。計算結果資料及網格檔案將自動存放於資料夾中。

地下水補注潛勢評估-資料庫自動建立

案例設定

地下水區 輸入案例名稱

因子選用設定		因子權重設定		
		因子名稱	權重	百分比
<input type="checkbox"/>	01.土地利用	02.表層土壤種類	30	27.27%
<input checked="" type="checkbox"/>	02.表層土壤種類	04.平均年降雨量	30	27.27%
<input type="checkbox"/>	03.降雨與地下水位相關性	05.單位蓄水量變化	50	45.45%
<input checked="" type="checkbox"/>	04.平均年降雨量			0%
<input checked="" type="checkbox"/>	05.單位蓄水量變化			0%
<input type="checkbox"/>	06.透水係數			0%
<input type="checkbox"/>	07.河系密度			0%

全選 全不選 更新百分比

開始計算

圖 7.5-16 地下水補注潛勢評估-資料庫自動建立之畫面

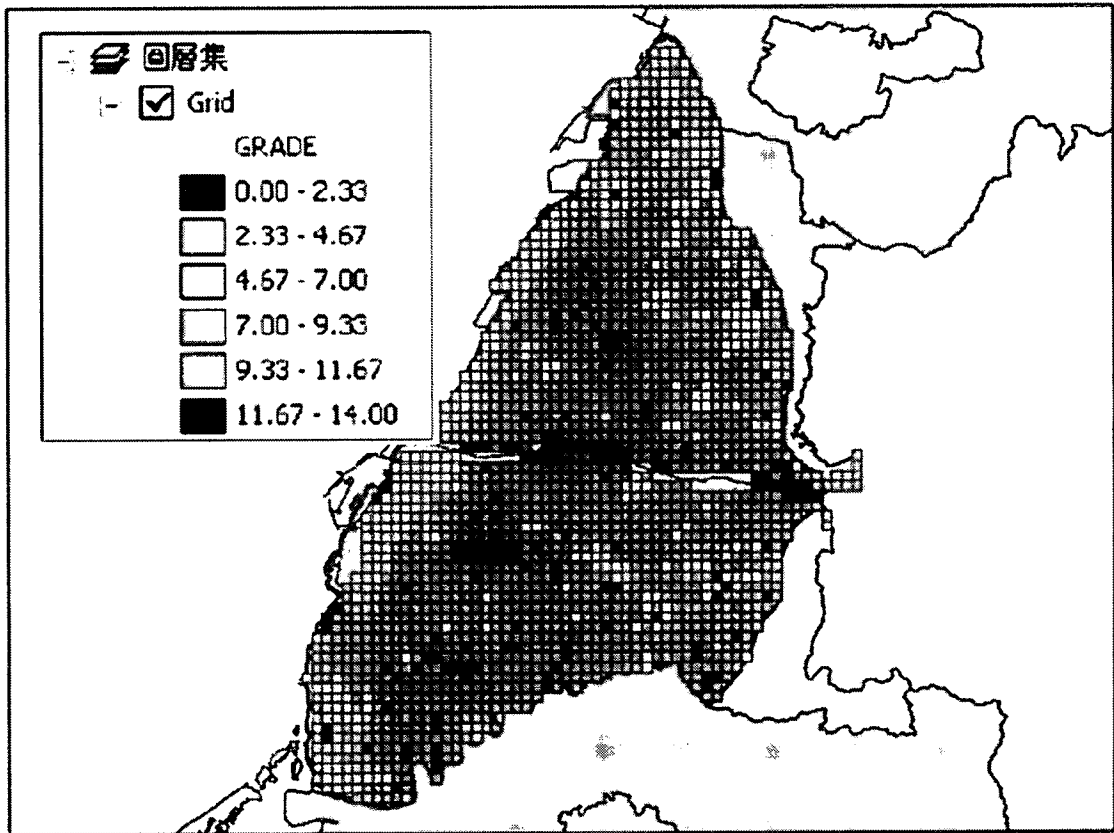


圖 7.5-17 地下水補注潛勢評估成果

◆ 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立

使用者需自行輸入「案例名稱」、「網格圖層」、「因子名稱」、「因子分數表」、「權重」等，如圖 7.5-18 所示。

操作說明：

- (一) 案例名稱：輸入自訂之案例名稱。
- (二) 網格圖層：開啟使用者自行準備之網格圖層 shapefile 檔。
- (三) 因子名稱：自行輸入因子名稱。
- (四) 因子分數表：選取使用者自行準備之因子分數表。
- (五) 因子權重設定：設定各因子之權重值。
- (六) 更新百分比：根據各因子所佔之權重，自動計算其權重百分比。
- (七) 開始計算：計算結果產生彩色潛勢分數圖，如圖 7.5-19 所示。

地下水補注潛勢評估-使用者自行建立

案例名稱: 測試3

網格式圖: C:\Grid_v2.shp

因子名稱	因子分數表	權重	百分比
因子1	C:\output_grade0 ...	20	16.67%
因子2	C:\output_grade0: ...	40	33.33%
因子3	C:\output_grade0 ...	60	50%
	...		0%
	...		0%
	...		0%
	...		0%
	...		0%
	...		0%
	...		0%

更新百分比

開始計算

圖 7.5-18 地下水補注潛勢評估-使用者自行建立之畫面

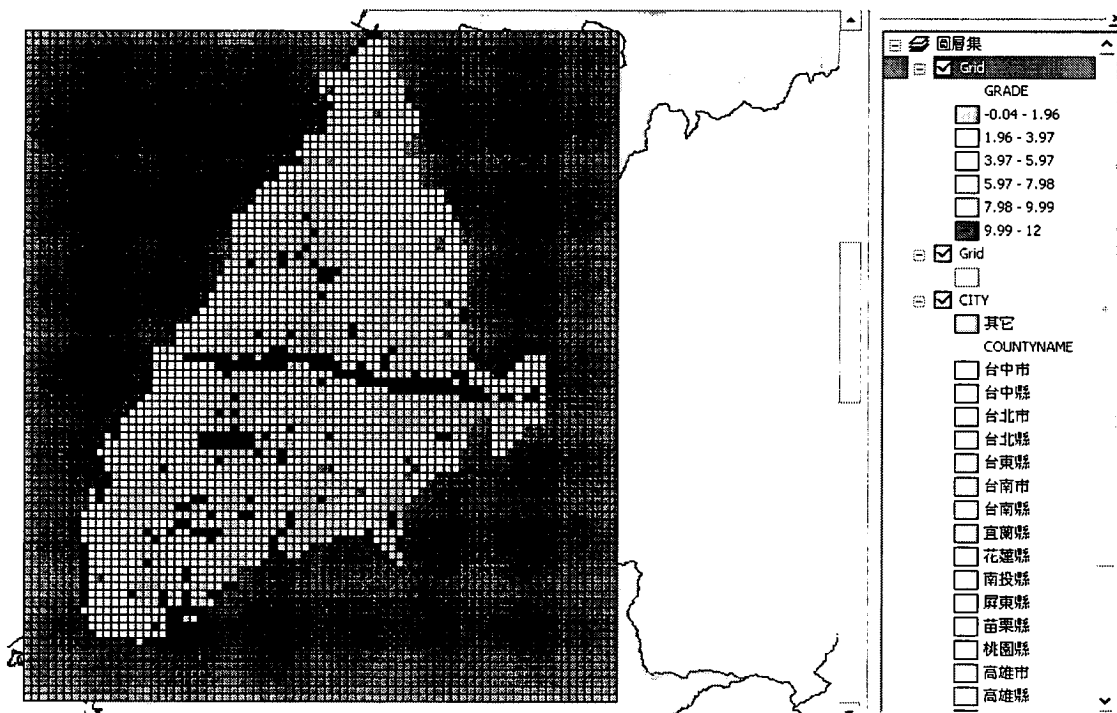


圖 7.5-19 補注潛勢評估計算結果自動產生之彩色潛勢分數圖

7.5.2 地下水水位資訊擷取元件操作介面及說明

為自動取得歷年地下水水位及雨量資訊，便於準備推估地下水補注模式之程式所需之資料，另以 Microsoft Visual Studio 2005 開發環境，開發應用系統。以自動化方式，取得經濟部水利署所公開「水文水資源資料管理供應系統」(<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>) 所公開的地下水水位及雨量資訊之資料。使用 Microsoft Visual Studio 2005 提供 Web Browser 控制項為一 ActiveX 元件，主要可以控制 Microsoft Internet Explorer 的網頁內容，系統開發畫面如圖 7.5-20 所示。該程式設計之介面，包含使用者點選的動作，以便模擬人工按鈕的作業模式，達到自動化下載水文資料庫的目的，概念圖如 7.5-21。

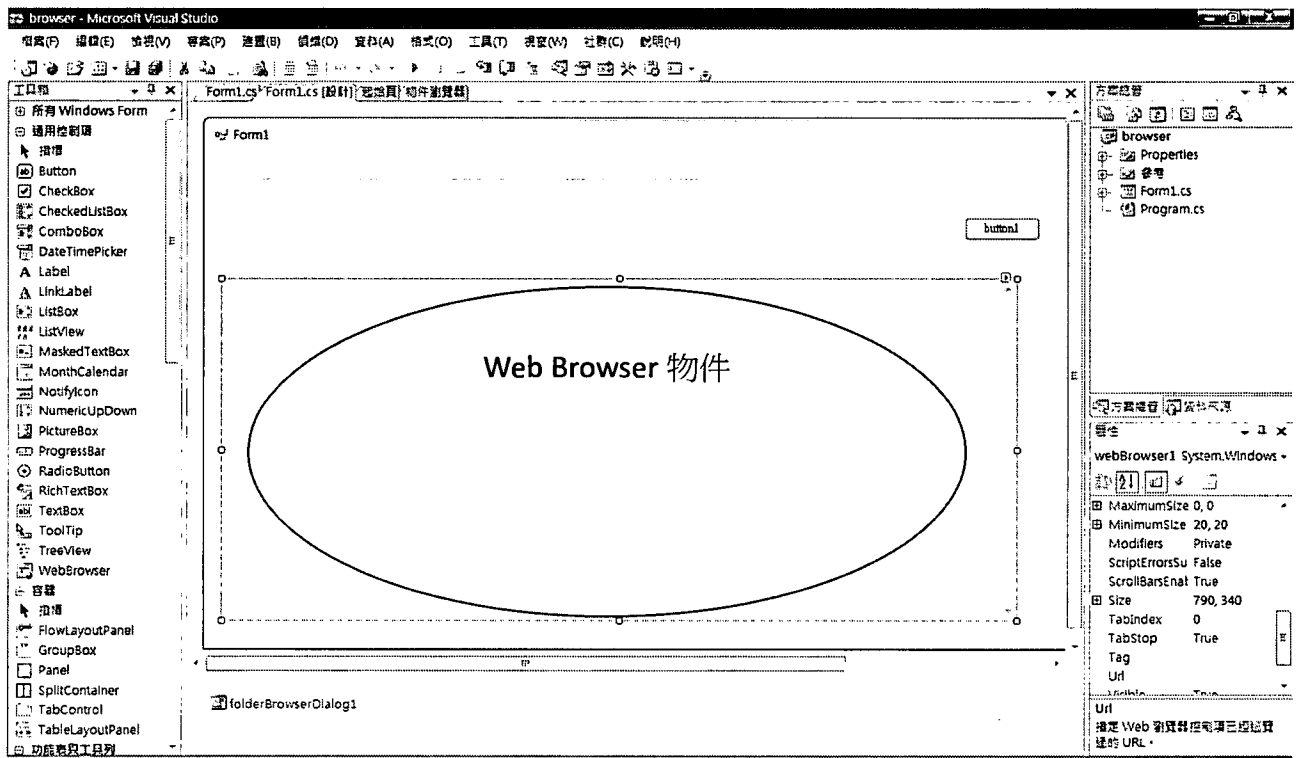


圖 7.5-20 水文資料庫自動記錄程式系統開發畫面

(四) 下載的資料會存進 Access 資料庫中，如圖 7.5-16 所示。地下水位測站資料存於「DB_UndW.mdb」、雨量測站資料存於「DB_Rainfall.mdb」。測站的基本資料存於資料表「地下水位基本測站資料」中，逐日水位資料則存於以對應之測站編號為命名的資料表中，如「07020111」。

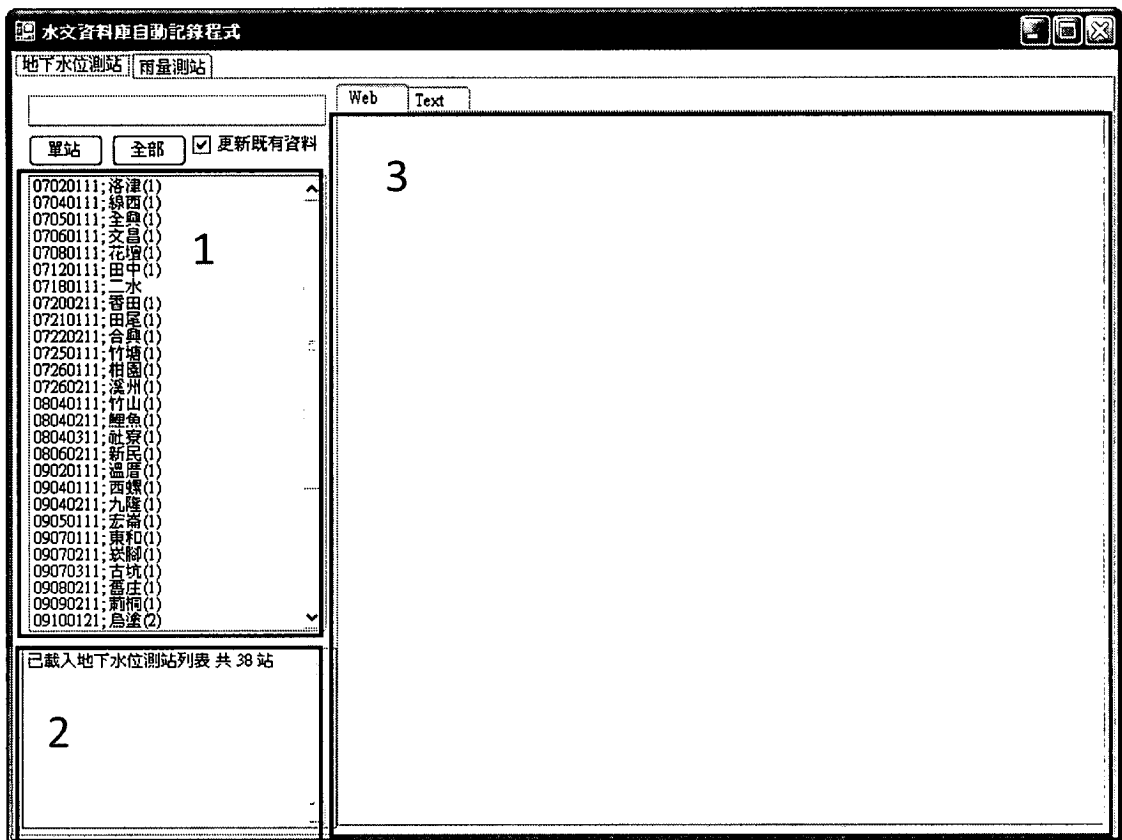


圖 7.5-22 水文資料庫自動記錄程式主畫面：區塊 1 為測站列表，區塊 2 為處理狀態訊息，區塊 3 為目前網頁狀態。

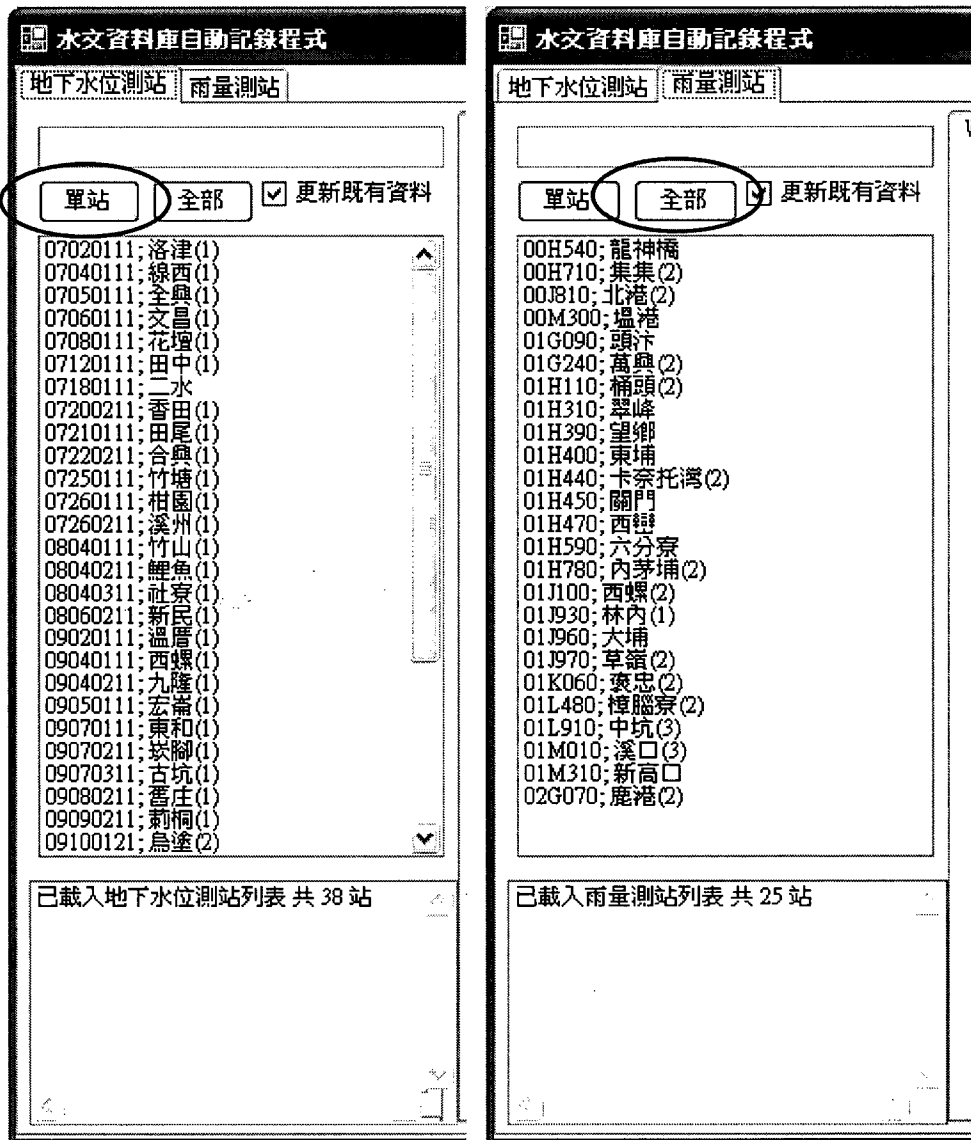


圖 7.5-23 水文資料庫自動記錄程式之測站列表，包括地下水位站井及雨量站

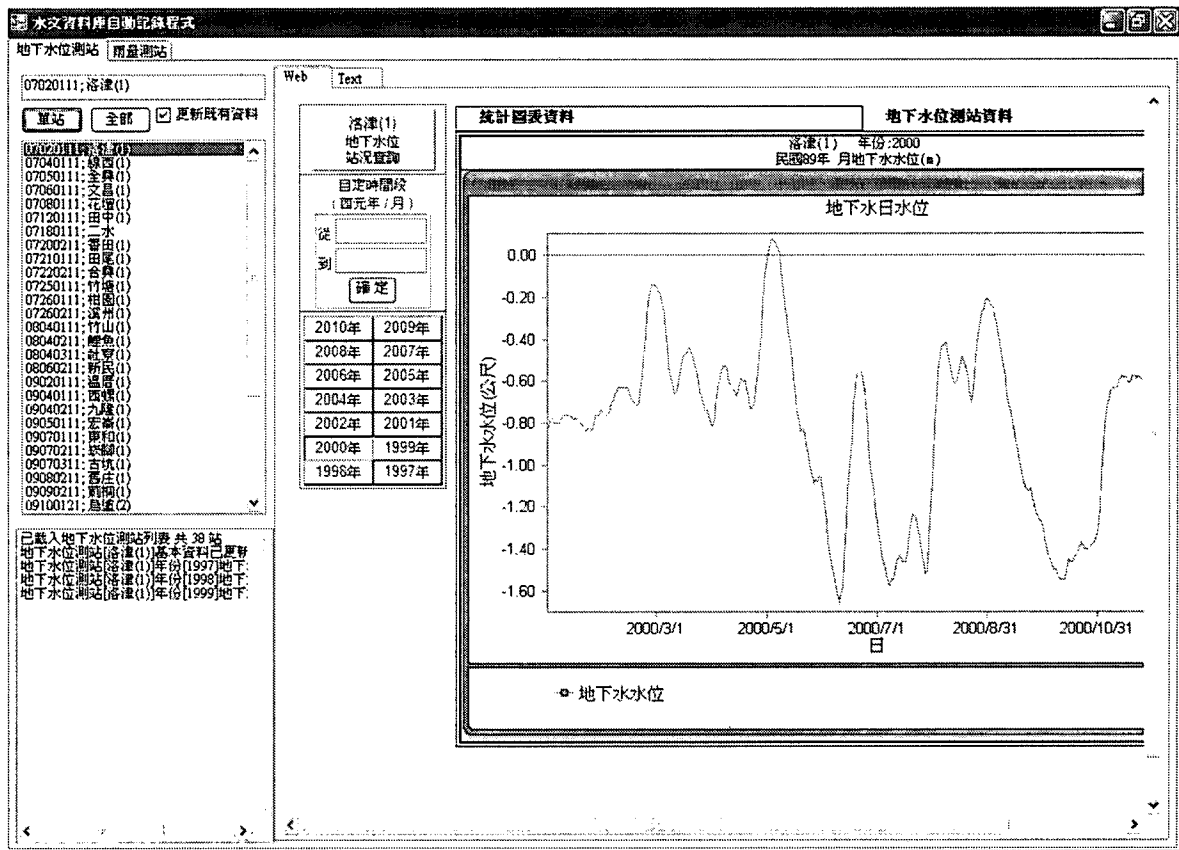


圖 7.5-24 水文資料庫自動記錄程式下載資料之畫面

Microsoft Access

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 插入(I) 格式(O) 記錄(R) 工具(T) 標籤(L) 說明(H)

輸入需要解答的問題

地下水測站基本資料:資料表

井名	井號	地下水區	井別	設置日期	水位高	距地面高	井頂高	井管口徑	井深
冬山(2)	02080121	關陸平原	自計站	19920605	4.6	4.1	6.4	6.0	99.4
冬山	02081241	關陸平原	普通站	19760701	4.5	4.5	5.0	2.0	49.7
五條(1)	02090111	關陸平原	自計站	20000630	3.4	3.0	3.9	6.0	18.9
龍聖(1)	07010111	濁水溪沖積扇	自計站	19940701	21.2	20.8	21.2	4.0	24.0
龍聖(2)	07010121	濁水溪沖積扇	自計站	19940701	21.2	20.8	21.3	6.0	131.2
龍聖(2)	07010131	濁水溪沖積扇	自計站	19940606	21.2	20.8	21.8	6.0	200.0
東方(1)	07010211	濁水溪沖積扇	自計站	19970106	10.3	0.0	10.9	6.0	132.0
東方(2)	07010221	濁水溪沖積扇	自計站	19970106	10.3	0.0	10.9	6.0	181.0
洛津(1)	07020111	濁水溪沖積扇	自計站	19970514	3.9	0.0	4.5	6.0	38.0
線西(1)	07040111	濁水溪沖積扇	自計站	19940912	4.8	4.6	5.3	6.0	31.7
全鼻(1)	07050111	濁水溪沖積扇	自計站	19970511	6.0	0.0	6.5	6.0	20.0
文昌(1)	07060111	濁水溪沖積扇	自計站	19970417	7.4	0.0	7.6	6.0	25.0
花壇(1)	07080111	濁水溪沖積扇	自計站	19940615	14.9	14.9	15.0	4.0	22.7
田中(1)	07120111	濁水溪沖積扇	自計站	19940313	49.3	49.0	49.5	6.0	140.0
二水	07180111	濁水溪沖積扇	自計站	19930521	82.2	82.0	82.4	6.0	112.7
香田(1)	07200211	濁水溪沖積扇	自計站	19970104	14.5	0.0	15.2	6.0	42.0
田尾(1)	07210111	濁水溪沖積扇	自計站	19961230	32.5	0.0	32.7	6.0	36.0
合興(1)	07220211	濁水溪沖積扇	自計站	19970110	21.5	0.0	22.0	6.0	23.0
竹塘(1)	07250111	濁水溪沖積扇	自計站	19930517	21.2	21.0	20.8	6.0	33.5
柑園(1)	07260111	濁水溪沖積扇	自計站	19930429	46.0	45.7	46.6	6.0	38.7
溪洲(1)	07260211	濁水溪沖積扇	自計站	19930714	33.6	33.3	34.1	6.0	30.9
竹山(1)	08040111	濁水溪沖積扇	自計站	19960412	150.9	150.2	151.2	6.0	102.6
鯉魚(1)	08040211	濁水溪沖積扇	自計站	19960514	169.2	168.9	169.6	6.0	52.0
社寮(1)	08040311	濁水溪沖積扇	自計站	19960726	0.0	179.6	179.3	6.0	24.1
新民(1)	08060211	濁水溪沖積扇	自計站	19960607	150.8	150.5	151.1	6.0	78.2
溫厝(1)	09020111	濁水溪沖積扇	自計站	19940510	48.3	48.0	48.5	6.0	35.6
西螺(1)	09040111	濁水溪沖積扇	自計站	19930509	29.2	29.0	29.4	6.0	34.7
九隴(1)	09040211	濁水溪沖積扇	自計站	19940430	24.7	24.4	24.8	6.0	22.8
宏崙(1)	09050111	濁水溪沖積扇	自計站	19970312	14.3	14.0	15.1	6.0	35.5
東和(1)	09070111	濁水溪沖積扇	自計站	19920623	75.5	75.0	75.6	6.0	53.6
鉄線(1)	09070211	濁水溪沖積扇	自計站	19930824	109.8	109.5	110.1	6.0	109.0
古坑(1)	09070311	濁水溪沖積扇	自計站	19940930	100.4	100.1	100.6	6.0	109.8
香庄(1)	09080211	濁水溪沖積扇	自計站	19970319	16.3	16.3	17.2	6.0	36.0

記錄: 30 30 米之 75

資料工作表檢視 NUM

圖 7.5-25 地下水測站 Access 資料庫畫面

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. Anderson, M.P. (2005) Heat as a ground water tracer. *Ground Water* 43/6, 951-968.
3. 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.
4. Bierschenk, W.H. (1963) Determining well efficiency by multiple step-drawdown tests. *International Association Science Hydrology* No. 64, Berkeley, CA. pp.493-507.
5. Bou Kheir R., A. Shaban, M-C. Girard, M. Khawlie, and C. Abdallah (2003) Caract'erisation morpho-p'edologique des zones karstiques du Libansensibilit'e des sols `a l'erosion hydrique. *S'echeresse* 14:4.
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. 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.
8. 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.
9. Johnson, A.I. (1967) Specific yield- compilation of specific yields for various materials. U.S.G.S. Water-Supply Paper, 162-D, 74p.
10. Kendall, M.G (1975) Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London.
11. Kruseman, G.P. and D.e. Ridder NA (1991) Analysis and evaluation of pumping test data. *International Institute for Land Reclamation and Improvement Publication* 47, The Netherlands, 377p.
12. Lebuc, C., G. Favreau, and P. Schroeter (2001) Long-term rise in a Sahelian water table: the Continental Terminal in southwest Niger, *Journal of Hydrology*, Vol. 243, P.43-54.
13. McNeely RN, Neimanis VP, Dwyer L. (1979) Water quality sourcebook – A guide to water quality parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality branch, Ottawa.
14. Moench , A.F. (1994) Specific yield as determined by type-curve analysis of aquifer-test data. *Ground Water* 32/6, 949-957.

15. Moench, A.F. (2001) Accurate estimates of specific yield: are long-term aquifer tests really necessary? American Geophysical Fall Meeting 2001, abstract #H11E-02.
16. 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.
17. Morgan L (2005) Critical aquifer recharge areas guidance document, Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 69p.
18. Michalski, A., 1989. Application of temperature and electrical-conductivity logging in ground water monitoring. *Ground Water Monitoring Remediation*. 9/3, 112–118.
19. Mukherjee, S. (1996) Targeting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India, *Hydrology Journal*, 19, 53-64.
20. National Water Well Association, "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings", USEPA, May 1985.
21. Nwnkwor, G.I., Gillham RW, Kamp, G, and Aindunni, F.F. (1992) Unsaturated and saturated flow in response to pumping of an unconfined aquifer. Field evidence of delayed drainage. *Ground Water*, 30, 690-700.
22. Parkhurst, D.L. (1995) User's guide to PHREEQC – a computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations: Water-Resource Investigations Report, 95-4227, U.S. Geological Survey, Lakewood, Colorado.
23. Rorabaugh, M.I. (1953) Graphical and theoretical analysis of step- drawdown test of artesian well. *Proc. Sep. No. 362, ASCE. Vol. 79.*
24. Schwartz, F.W., and Zhang, H. (2003) *Fundamentals of ground water*, John Wiley & Sons, New York.
25. Shaban, A., M. Khawlie, and C. Abdallah (2006) Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon, *Hydrogeology Journal*, 14: 433-443.
26. U.S. EPA. 1989. Wellhead Protection Programs: Tools for Local Governments. EPA 440/6-89-002. Washington D.C.: Office of Groundwater Protection, U.S. Environmental Protection Agency.
27. U.S. EPA, 1995. Benefits and Costs of Prevention: Case Studies of Community Wellhead Protection, EPA 813-B-95-005, 74 pp.
28. Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2003. Critical Areas Assistance Handbook – Protecting Critical Areas within the Framework of the Washington Growth Management Act, 83 pp. <http://qa.cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=976&MIId=944&wversion=Staging>
29. Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2004. GMA Update: Issues to Consider When Reviewing and Evaluating Critical Areas Regulations and Natural Resource Lands Designations, 3 pp.

30. 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.
31. 土木科技研究發展文教基金會，1997，地層下陷防治推動綜合計畫子計畫九—雲嘉地區安全出水量之估算，經濟部水資源局。
32. 工研院能源與資源研究所，1994，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，八十三年度報告，經濟部中央地質調查所。
33. 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。
34. 工研院能源與資源研究所，1996，濁水溪沖積扇地球物理探測及地層對比，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，八十五年報告，經濟部中央地質調查所。
35. 中興工程，1998，濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第二階段—濁水溪沖積扇地下水人工補注計畫規劃報告，經濟部水利處。
36. 中興工程，2006，濁水溪沖積扇地面地下水聯合運用管理模式建立與機制評估，經濟部水利署。
37. 平成股份有限公司，1996，濁水溪中游地區地下水補注調查與評估。中興工程顧問股份有限公司。
38. 田巧玲、張炎銘、林維侃、蔡明坤，1996，濁水溪沖積扇之地下水水文概況。濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，第 207—221 頁。
39. 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。
40. 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。
41. 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。
42. 江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭，2005，濁水溪沖積扇地下水區之補注區與補注源探討，經濟部中央地質調查所彙刊，第十八號，第 1-28 頁。
43. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥，2006，以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支，經濟部中央地質調查所彙刊第十九號，第 61-90 頁。
44. 江崇榮，2008a，相等延時分級抽水試驗資料分析之原理與方法。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，第 1-21 頁。
45. 江崇榮，2008b，不等延時分級抽水試驗資料分析之原理與方法。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，第 23-41 頁。
46. 李昭順、吳景濂，1996，濁水溪沖積扇之抽水試驗，濁水溪沖積扇地下水及

- 水文地質研討會論文集，第 165-179 頁。
47. 李天浩、林國峰、劉振宇，1997，濁水溪沖積扇頂平原地區地表垂向補注量估計，台灣省水利處，96P。
 48. 林朝榮，1957，台灣地形。台灣省文獻會，共 423 頁。
 49. 林再興，1998，彰化地層下陷區地下水入滲補注及安全出水量之評估，經濟部水資源局。
 50. 林俊男、賈儀平，2000，濁水溪沖積扇地下水補助區之劃定及保育原則之研討，經濟部水資源局。
 51. 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。
 52. 地下水勘測隊，1957，大濁水沖積扇地區地下水源勘查報告，中國農村復興聯合委員會出版，共 206 頁。
 53. 地下水工程處，1961，屏東平原地下水源勘查報告，共 74 頁。
 54. 地下水工程處，1973，濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告，經濟部水利署。
 55. 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。
 56. 陳文福、林文勝、張國強、秦啟文、蔡克敏，2003，彰雲地下水補注區之溶氧與硝酸鹽氮濃度，經濟部中央地質調查所彙刊第十六號，第 125-139 頁。
 57. 陳文福、呂學諭，2009，沖積扇補注區地下水之硝酸鹽污染，經濟部中央地質調查所彙刊，第 22 號。
 58. 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。
 59. 張誠信，1996，雲林地區地下水流三維數值模擬，台灣大學農業工程研究所碩士論文。
 60. 張良正、歐國隆、單信瑜，1999a，濁水溪沖積扇及屏東平原之地下水污染潛勢評估分析，八十八年度農業工程研討會，pp.369-376。
 61. 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
 62. 簡錦樹，1991，濁水溪沖積扇地表地質材料粒徑分析及現地入滲試驗研究。經濟部中央地質調查所。
 63. 謝永旭、蘇苗彬，1994-2003，地下水基本水質試驗分析研究，經濟部水利署與中興大學環境工程研究所出版。
 64. 姜儷安、歐陽湘，1996，雲林地區地下水與水平衡初步分析，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集，181-206 頁。
 65. 簡金龍，1996，富含礫石土壤水力特性之研究。國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
 66. 劉聰桂，1993-2001，地下水定年分析，經濟部水利署出版。

67. 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。
68. 劉振宇、李天浩、林國峰、蘇明道，1998，濁水溪沖積扇扇央與扇尾平原地區地表垂向補注量評估，經濟部水資源局，69P。
69. 曹敏中，丁澈士，陳秋楊，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。
70. 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。
71. 經濟部中央地質調查所，1995，濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告，共 102 頁。
72. 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。
73. 經濟部中央地質調查所，1999，濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，共 129 頁。
74. 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。
75. 經濟部水資源局，1996、1997，台灣地區地下水觀測網第一期計畫-濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗八十五、八十六年度報告。
76. 經濟部水資源局，1999，台灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告。
77. 經濟部水資源局，1999，臺灣水文年報。
78. 經濟部水利署，2007，規畫設計、監造「95 年度地層下陷區地下水觀測站井建置維護計畫」專題報告(1/2):規劃設計及監造工作。
79. 臺糖公司地下水中心，1999-2004，台灣地區地下水觀測網水質調查分析，經濟部水利署出版。
80. 農業工程研究中心，2007，96 年度台灣地區地下水質檢測分析與評估計畫，經濟部水利署出版。
81. 經濟部水利署，2002，地下水資源整體營運規劃與綜合評估。
82. Anderson MP (2005) Heat as a ground water tracer. Ground Water 43/6, 951-968.
83. 經濟部、行政院農委會、內政部，2005，彰化雲林地區地層下陷防治計畫。
84. 農業工程研究中心，2000，濁水溪沖積扇地下水補注區之劃定及保育原則之研訂。經濟部水資源局出版。

網頁部分：

環保署全國環境水質監測網 (2009) , <http://wqshow.epa.gov.tw/>。

City of Issaquah (2009) Doing business in a wellhead protection area, <http://www.ci.issaquah.wa.us>。

Georgia Carrollton (2002) Water resource districts, <http://www.carrollton-ga.gov/>。

Georgia Department of Natural Resources (2010), <http://www.gadnr.org/> ◦

King County (2010) ,

<http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/groundwater/maps-reports/maps.aspx>

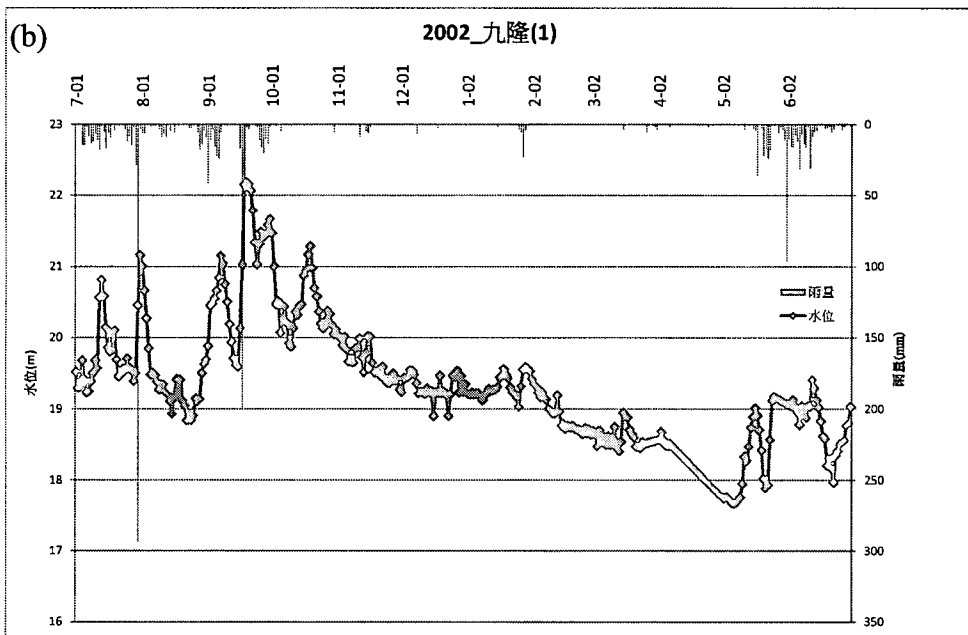
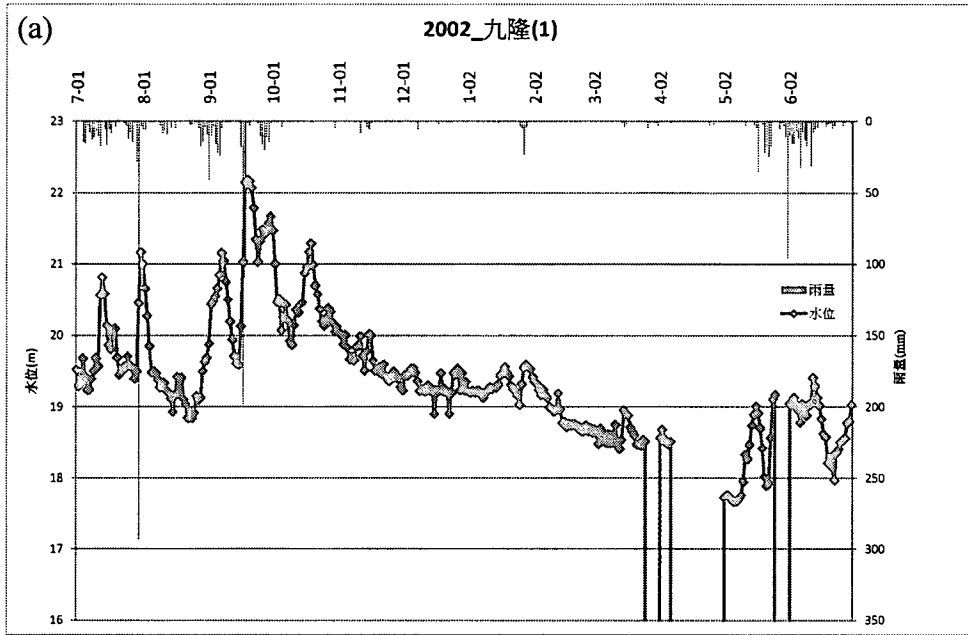
Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2003. Critical Areas Assistance Handbook – Protecting Critical Areas within the Framework of the Washington Growth Management Act, 83 pp.

<http://qa.cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=976&MIId=944&wversion=Staging>

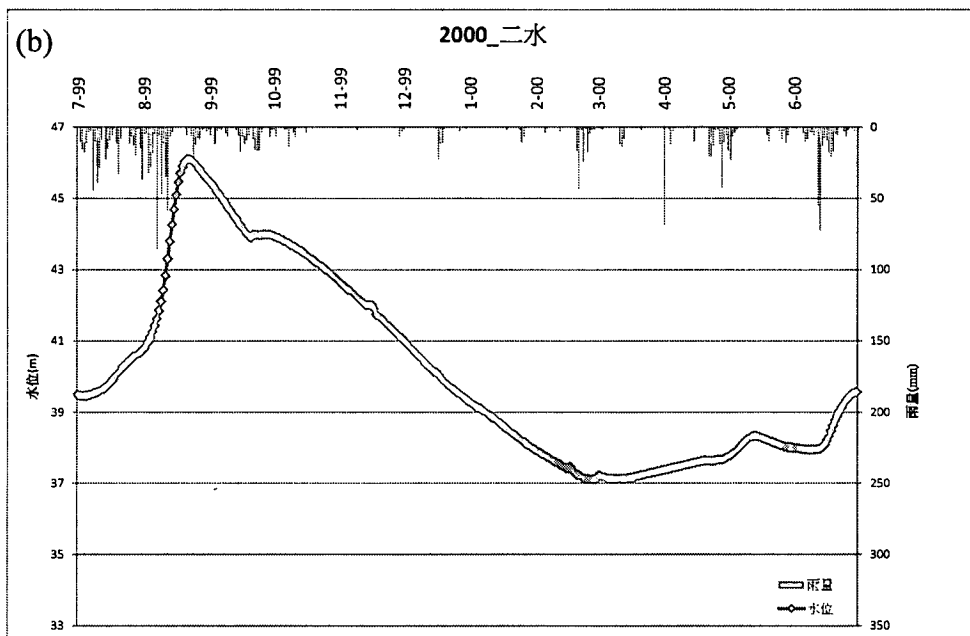
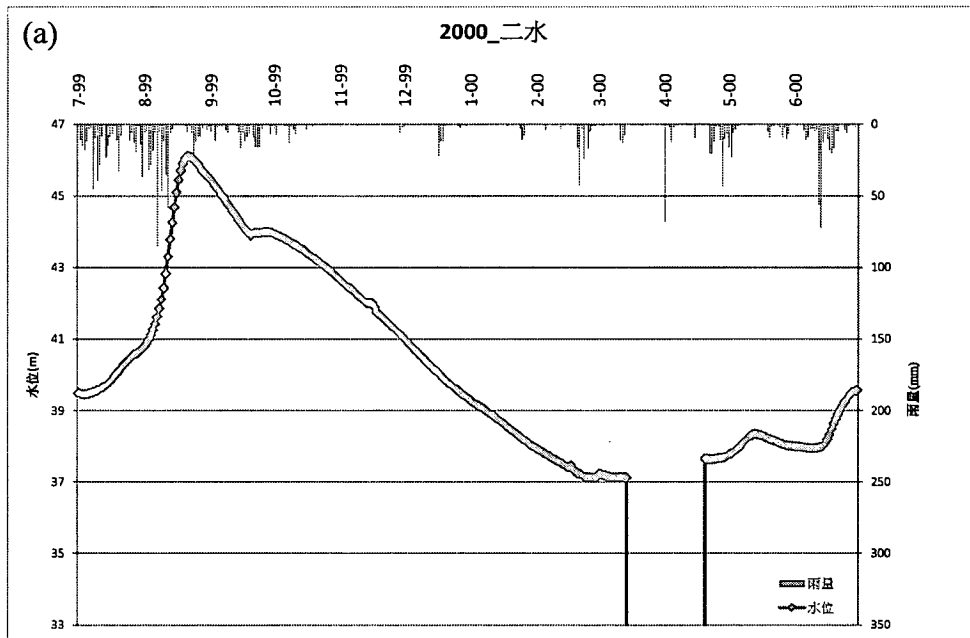
Washington Dept. of Community Trade and Economic Development, 2004. *GMA Update: Issues to Consider When Reviewing and Evaluating Critical Areas Regulations and Natural Resource Lands Designations*, 3 pp.

<http://cted.wa.gov/DesktopModules/CTEDPublications/CTEDPublicationsView.aspx?tabID=0&alias=CTED&lang=en&ItemID=1022&MIId=944&wversion=Staging>

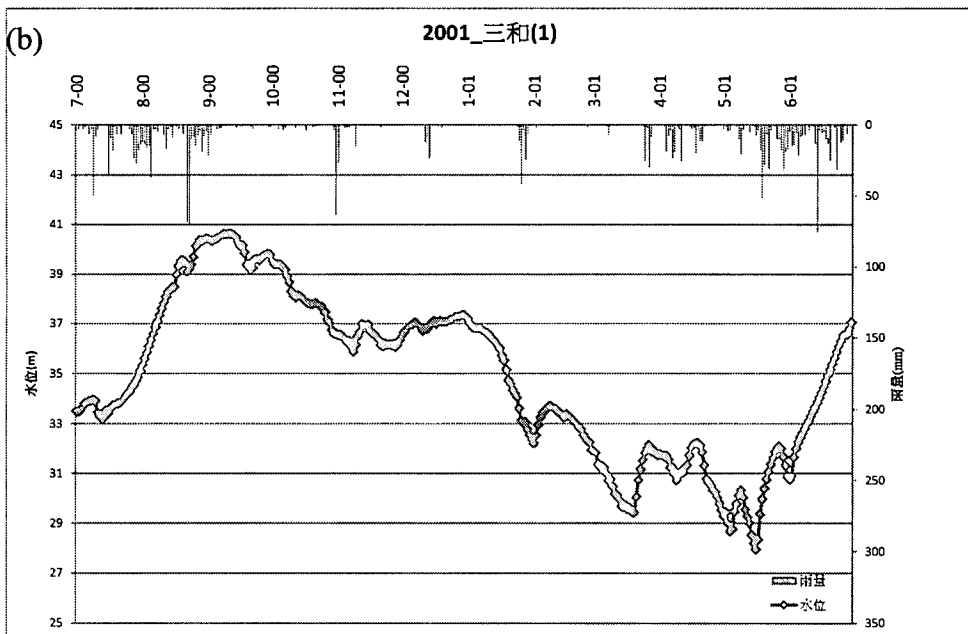
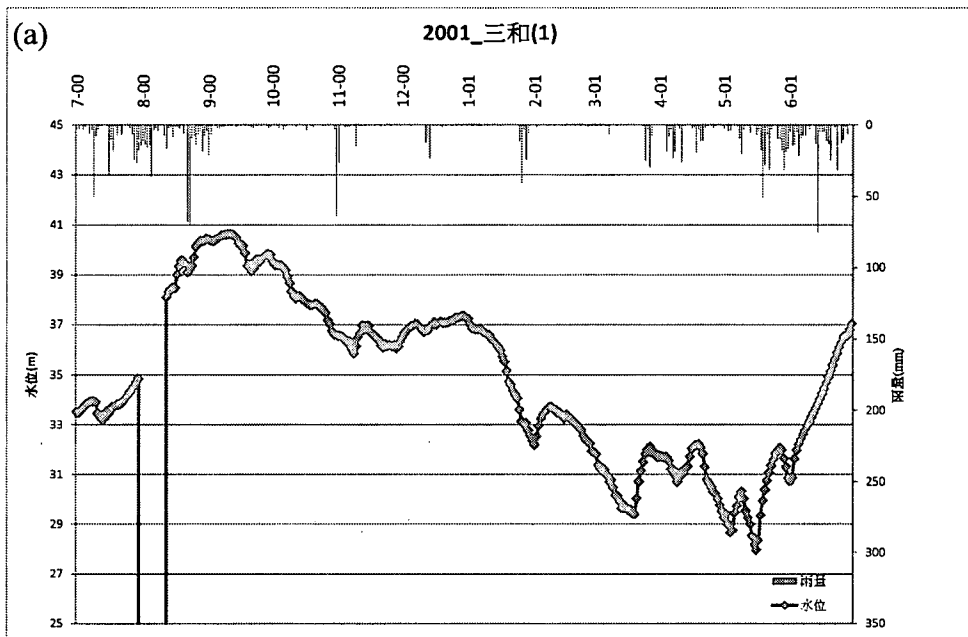
附錄一、地下水位缺漏超過 10 天之補遺



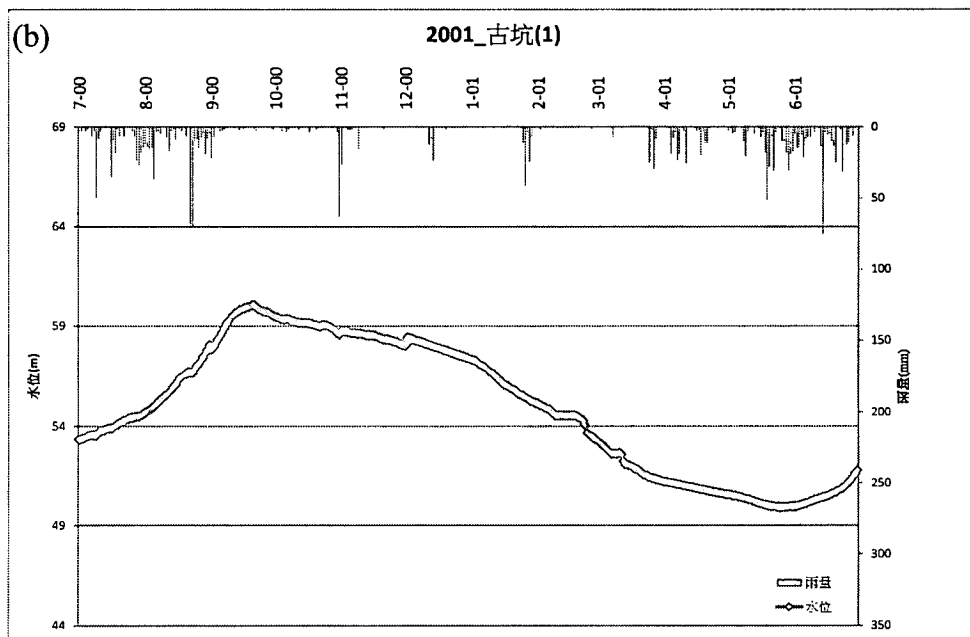
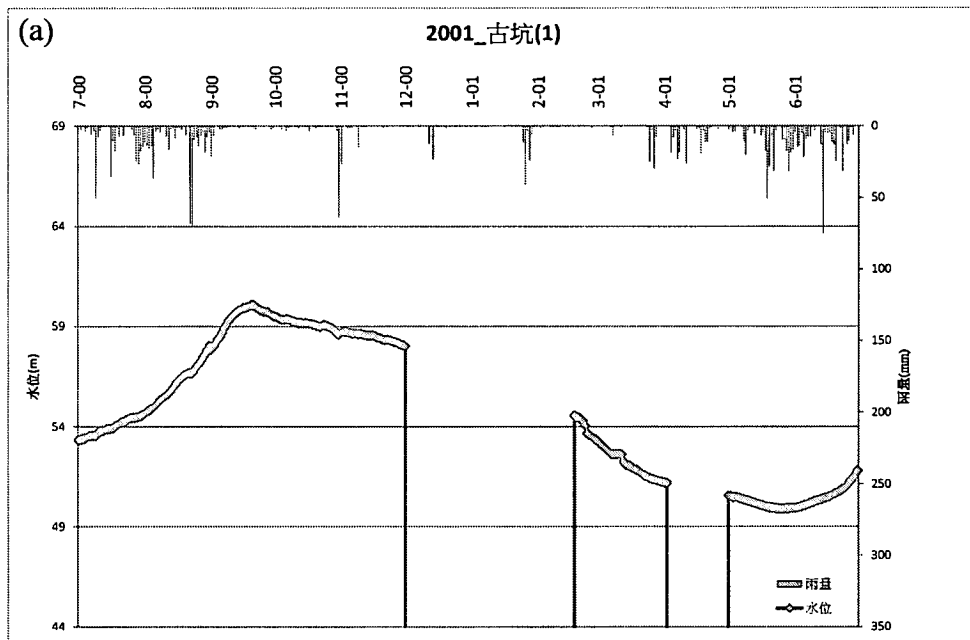
圖一 九隆(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



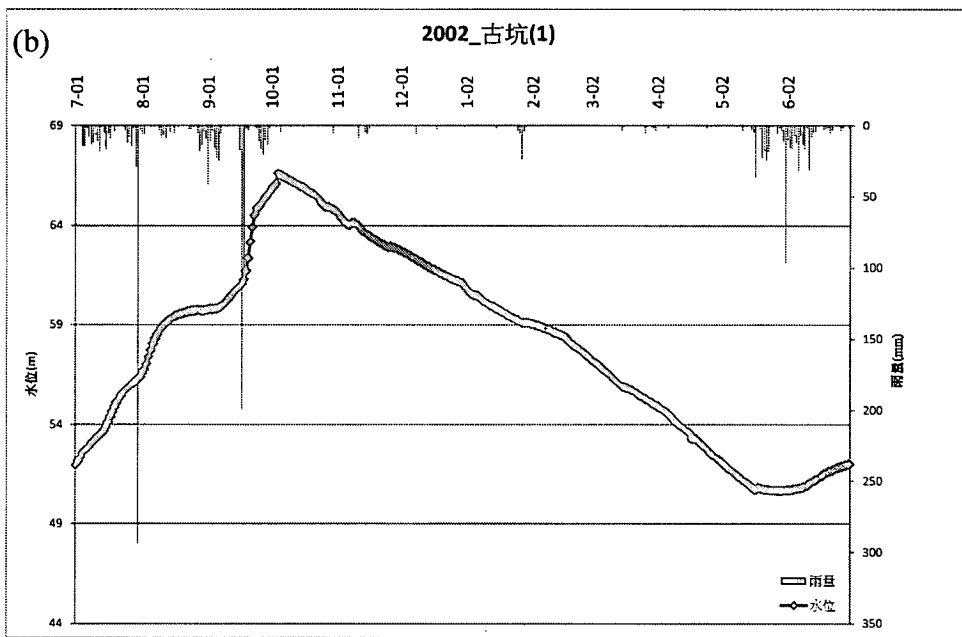
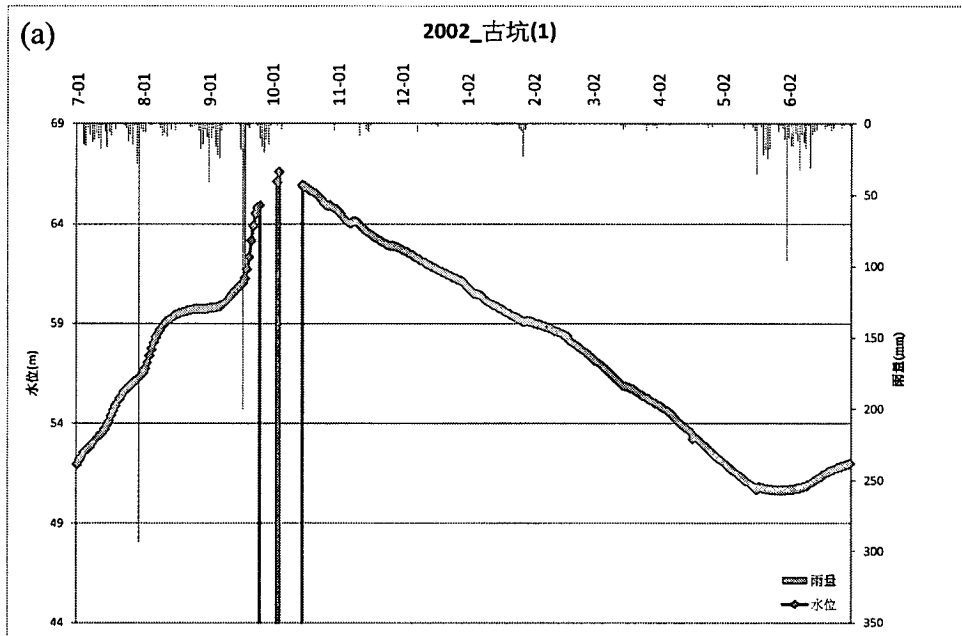
圖二 二水：(a)補遺前；(b)補遺後



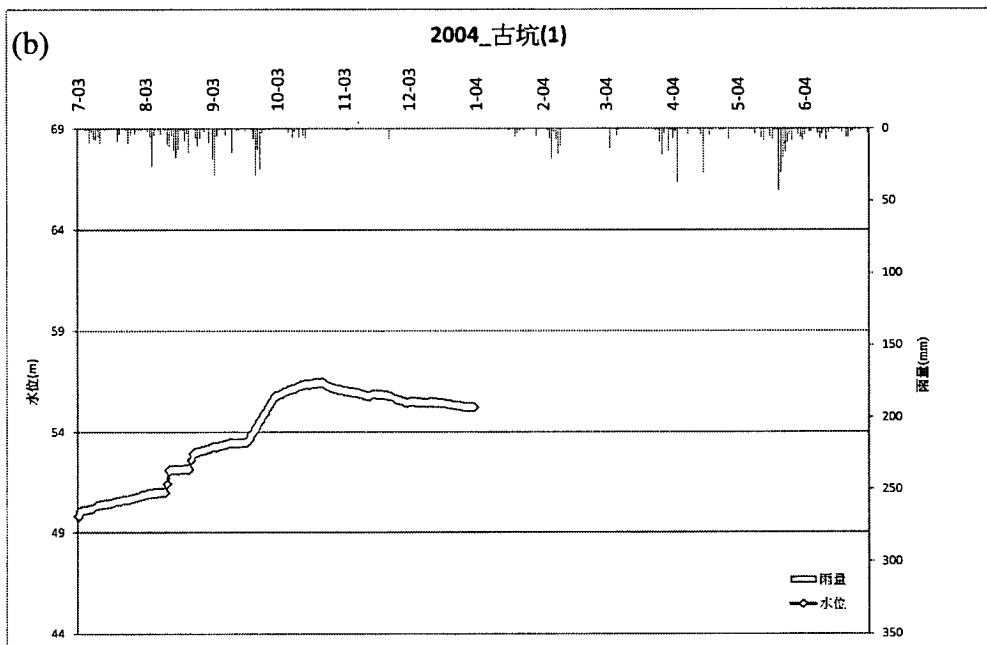
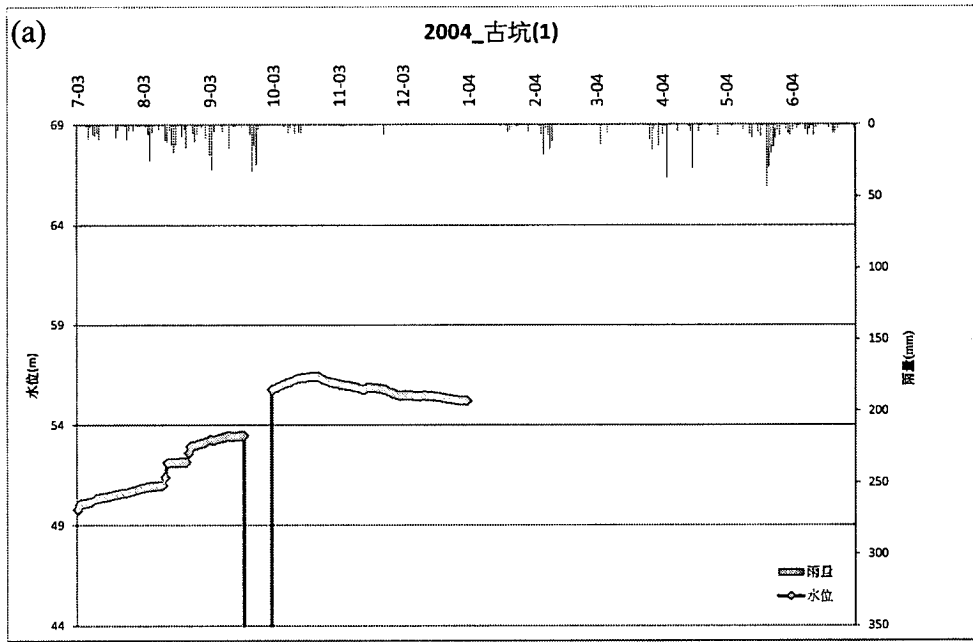
圖三 三和(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



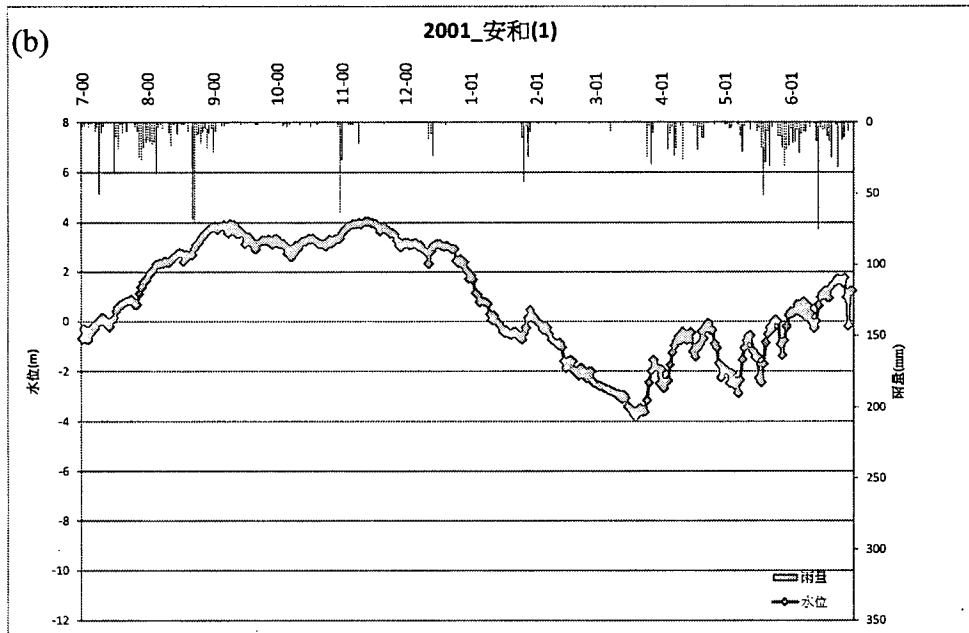
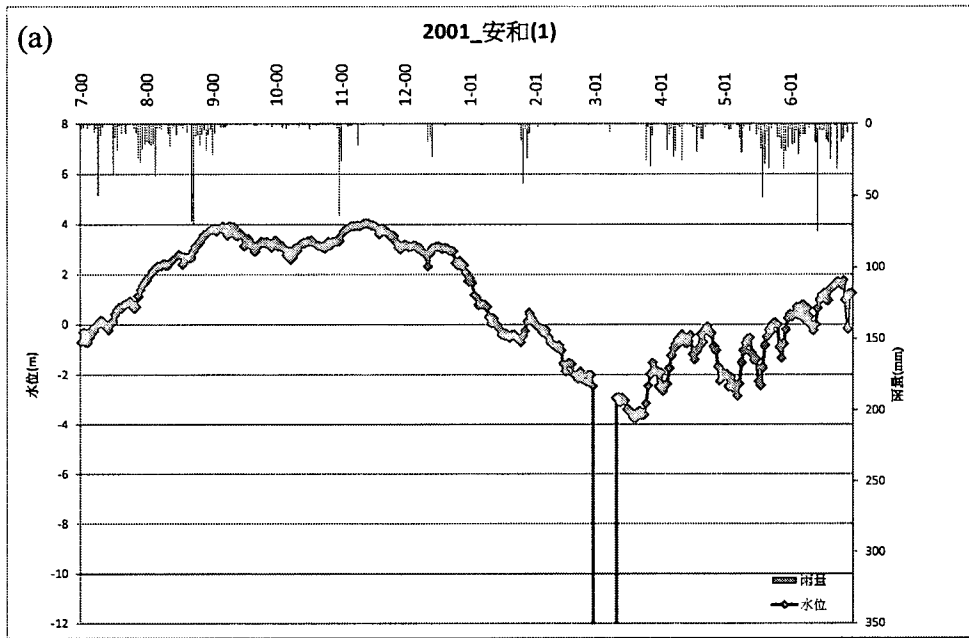
圖四 古坑(1)_case1 : (a)補遺前 ; (b)補遺後



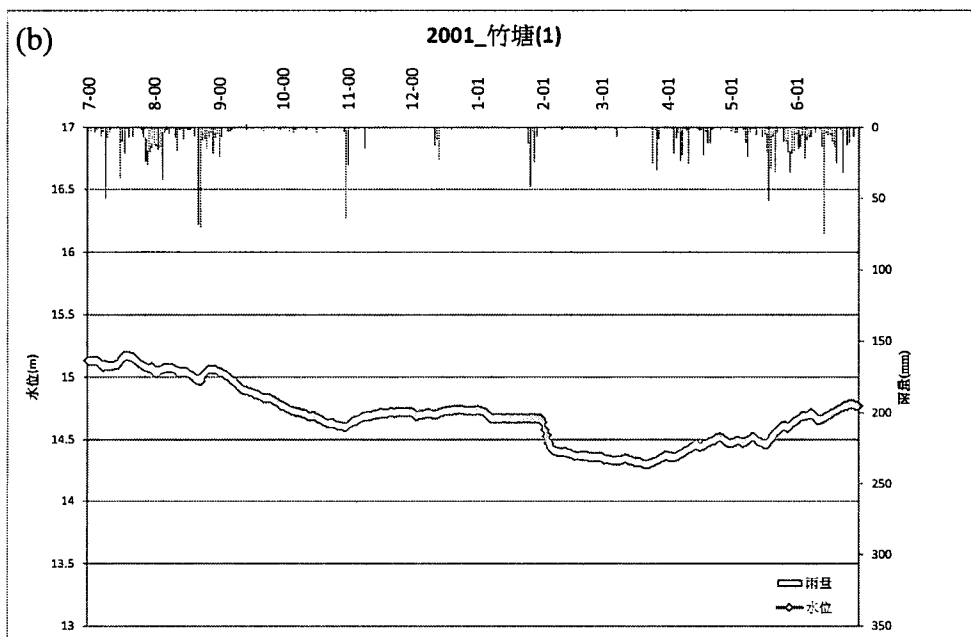
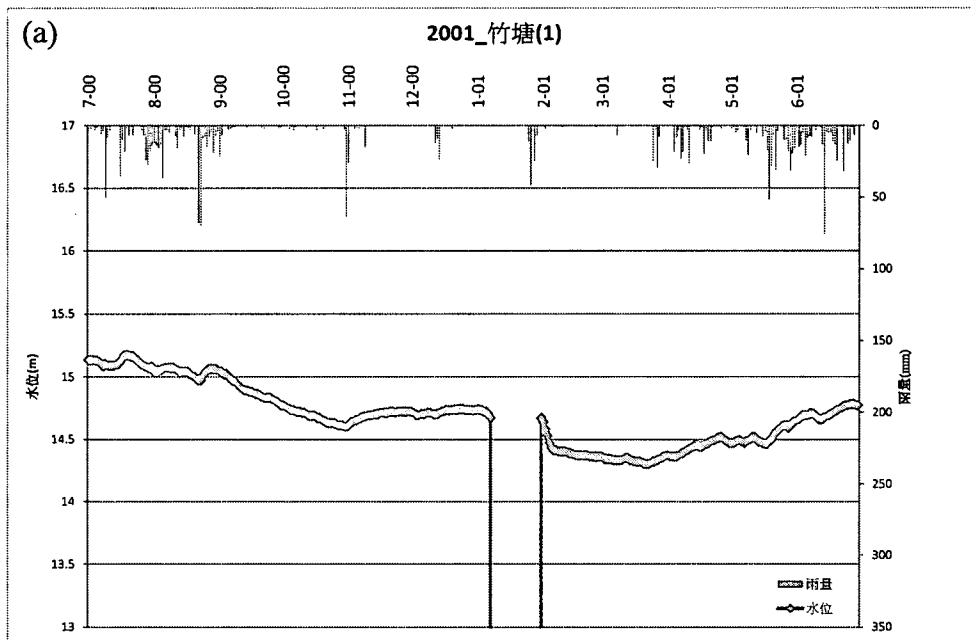
圖五 古坑(1)_case2：(a)補遺前；(b)補遺後



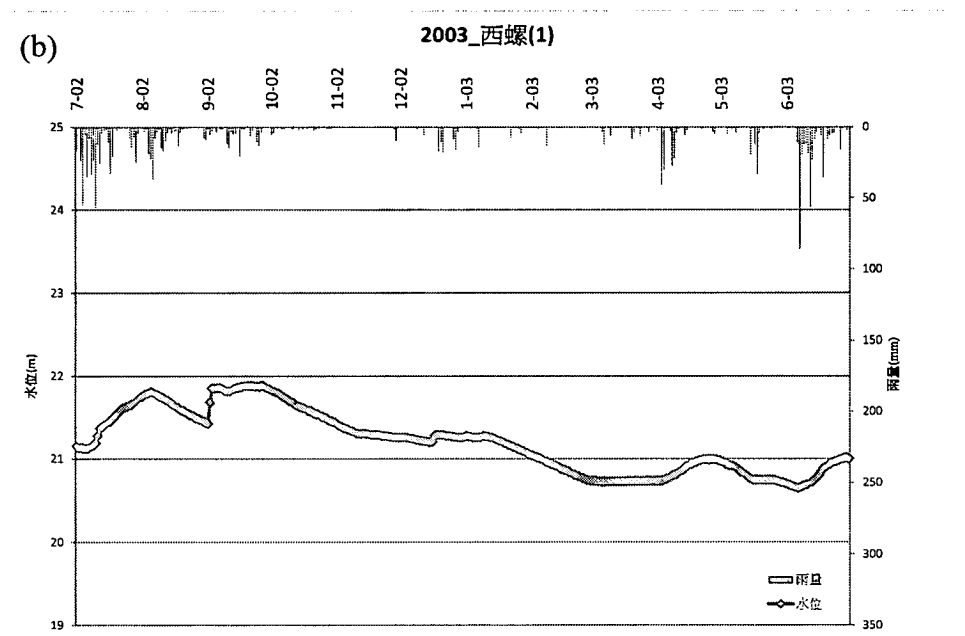
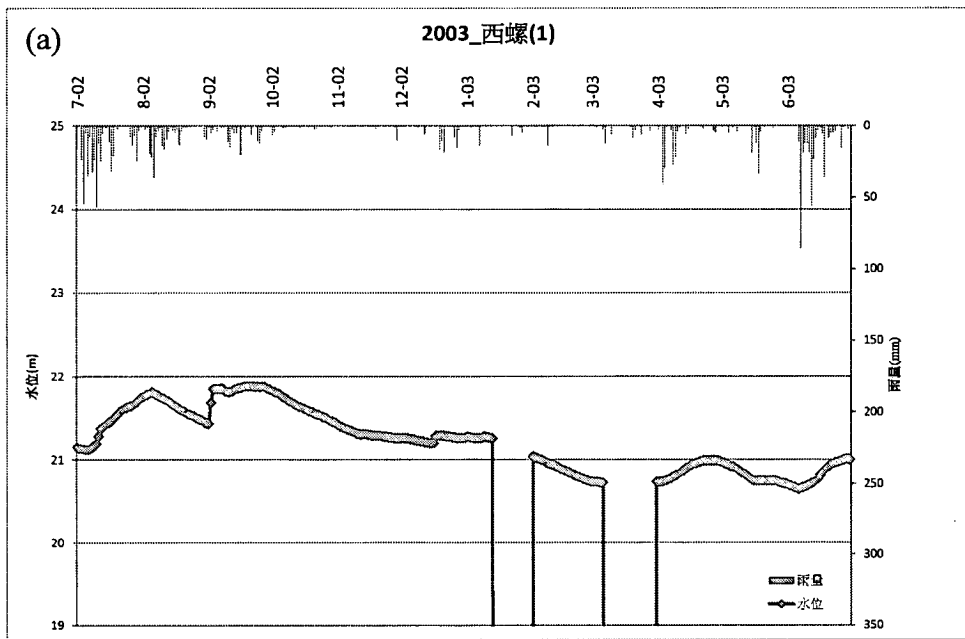
圖六 古坑(1)_case3：(a)補遺前；(b)補遺後



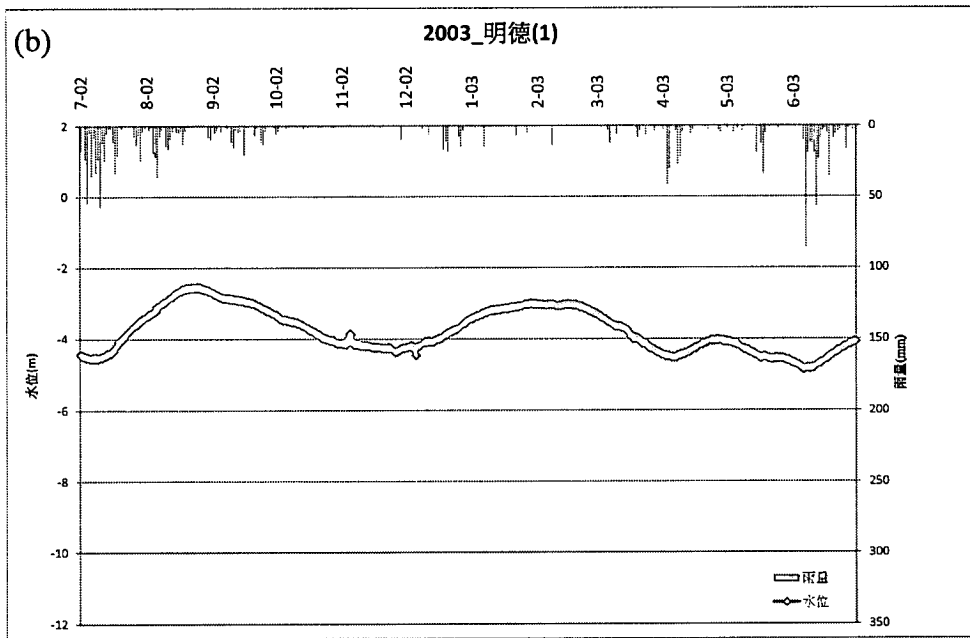
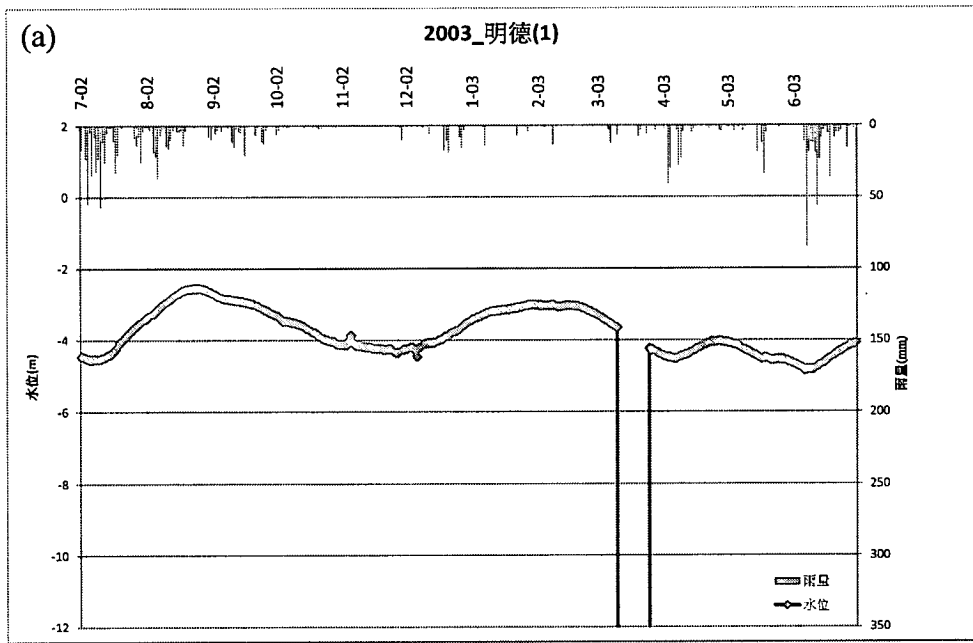
圖七 安和(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



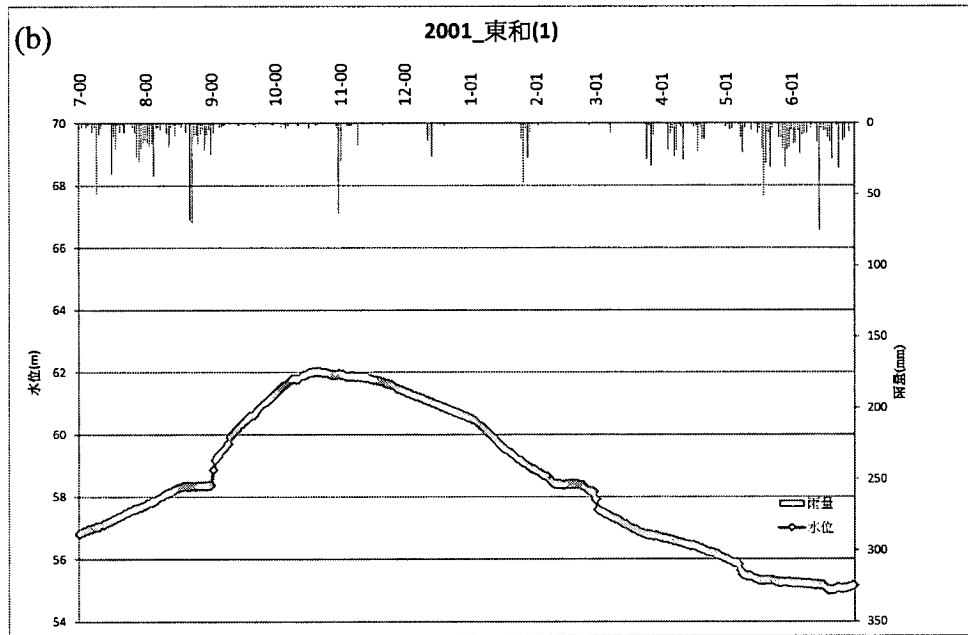
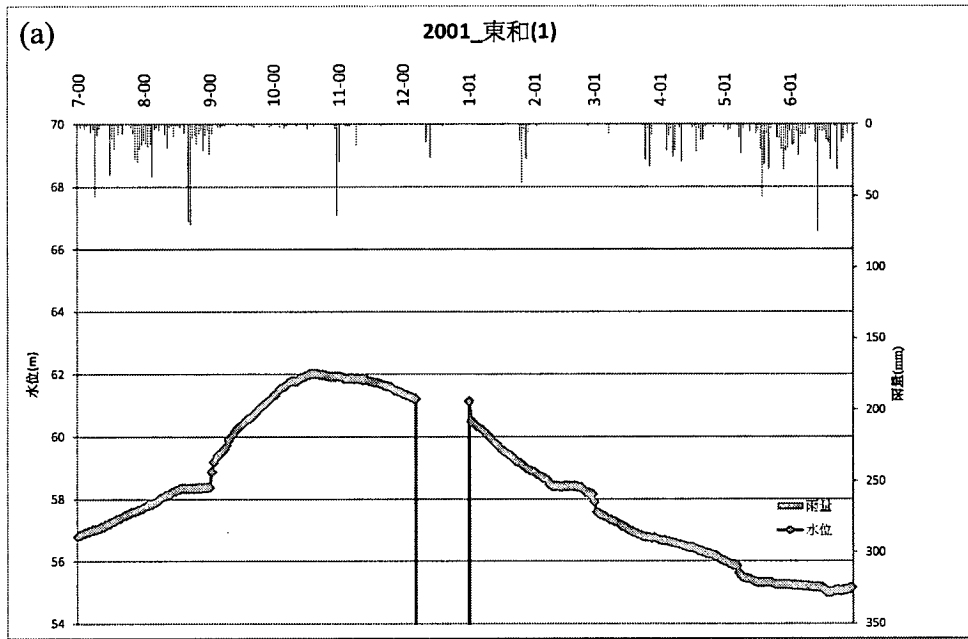
圖八 竹塘(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



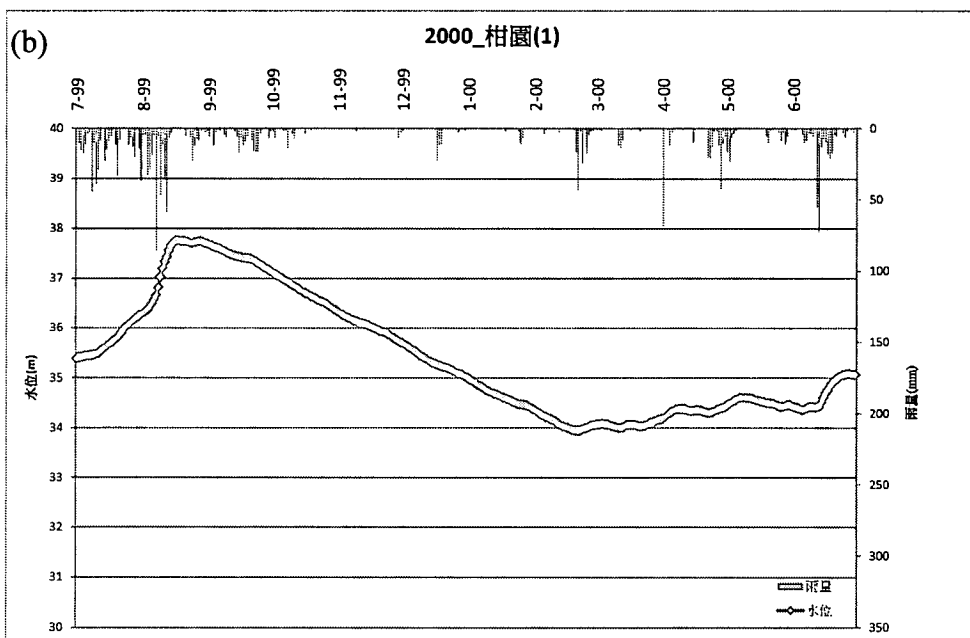
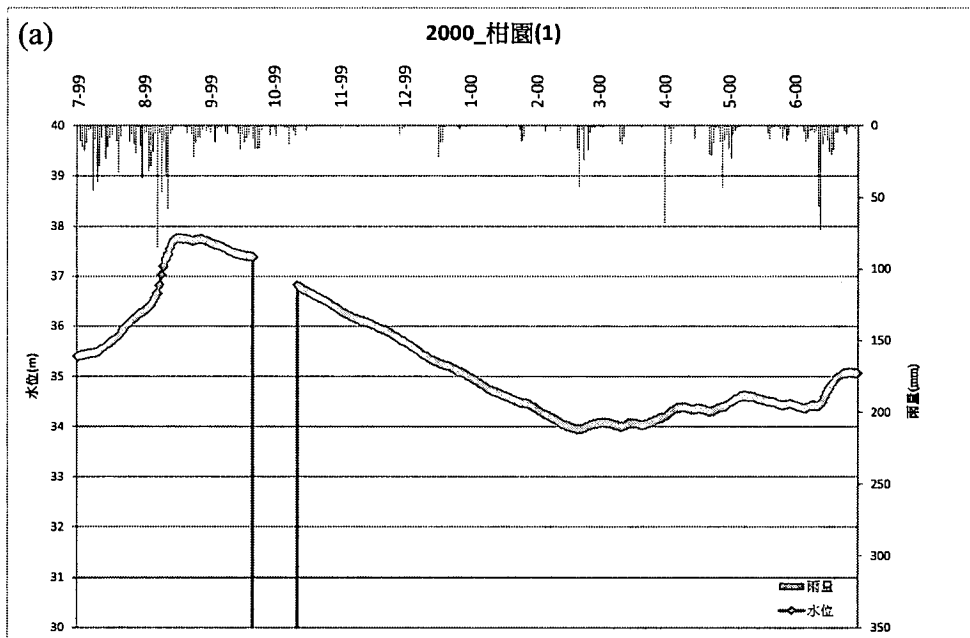
圖九 西螺(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



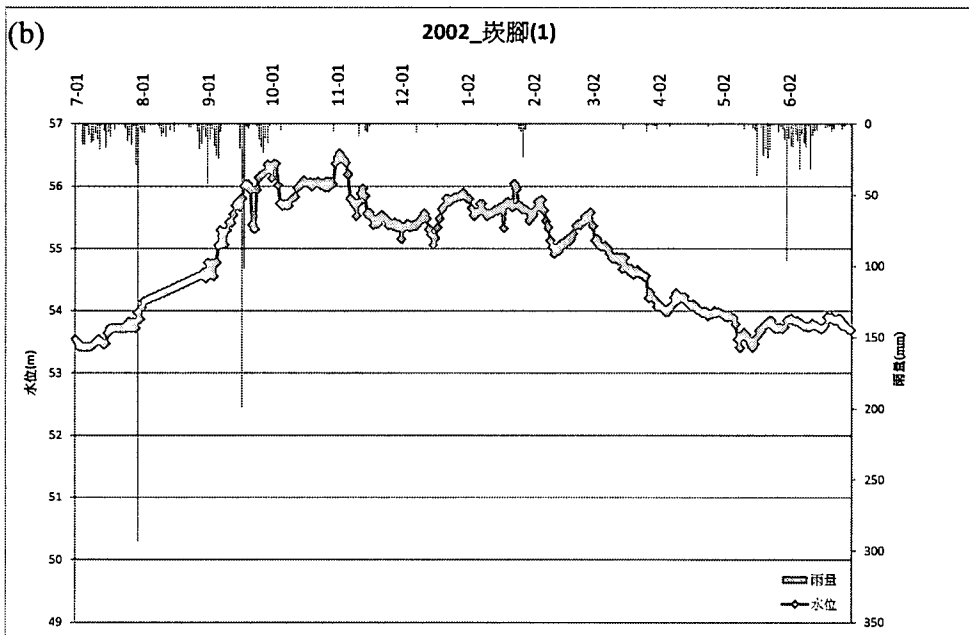
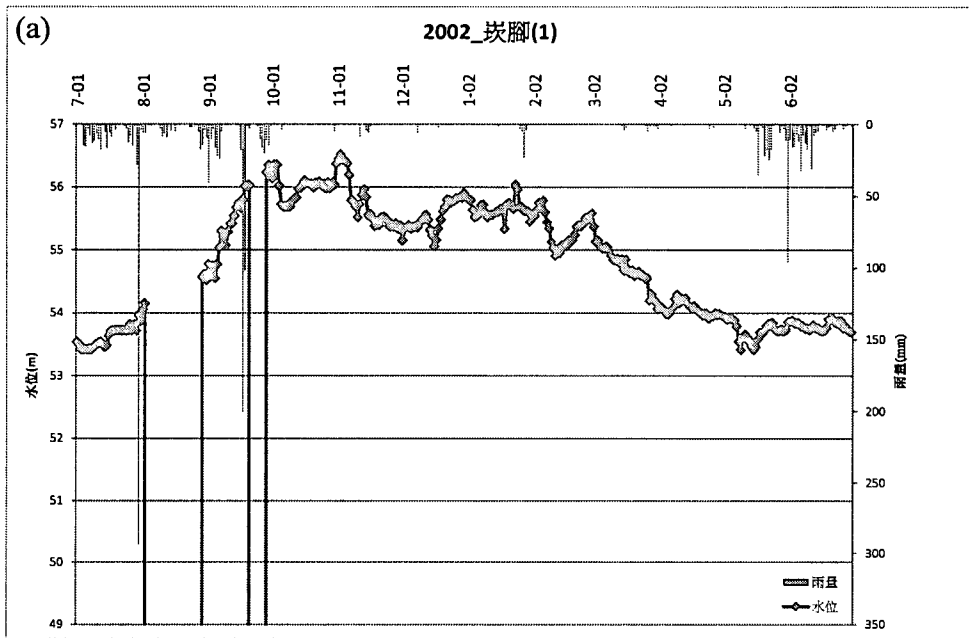
圖十 明德(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



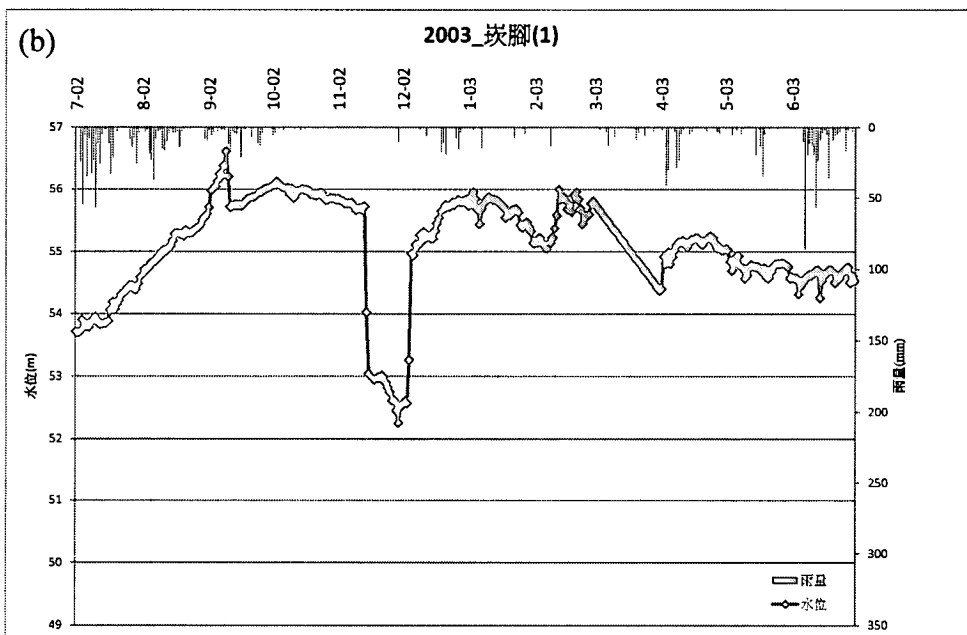
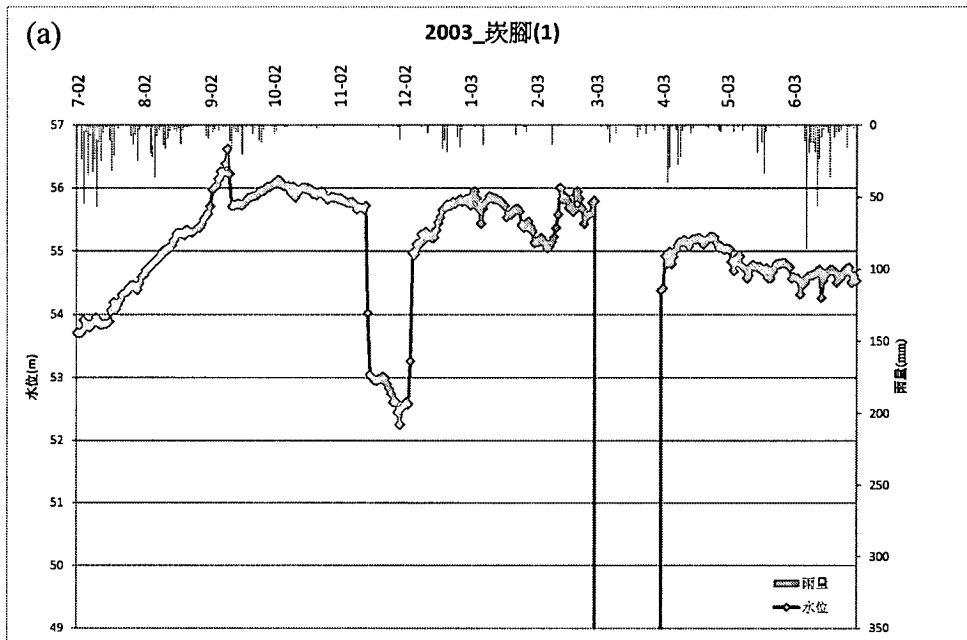
圖十一 東和(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



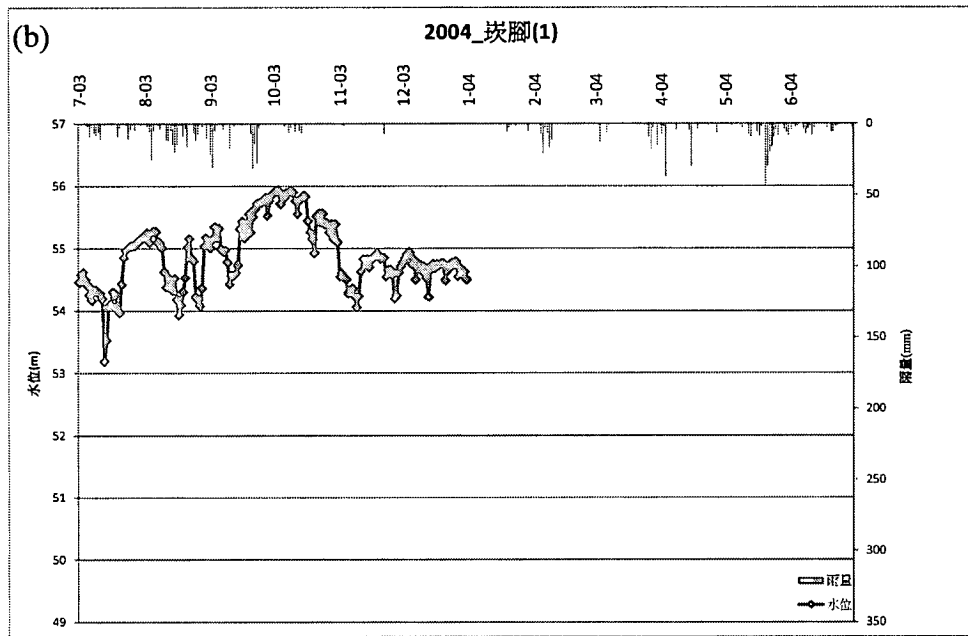
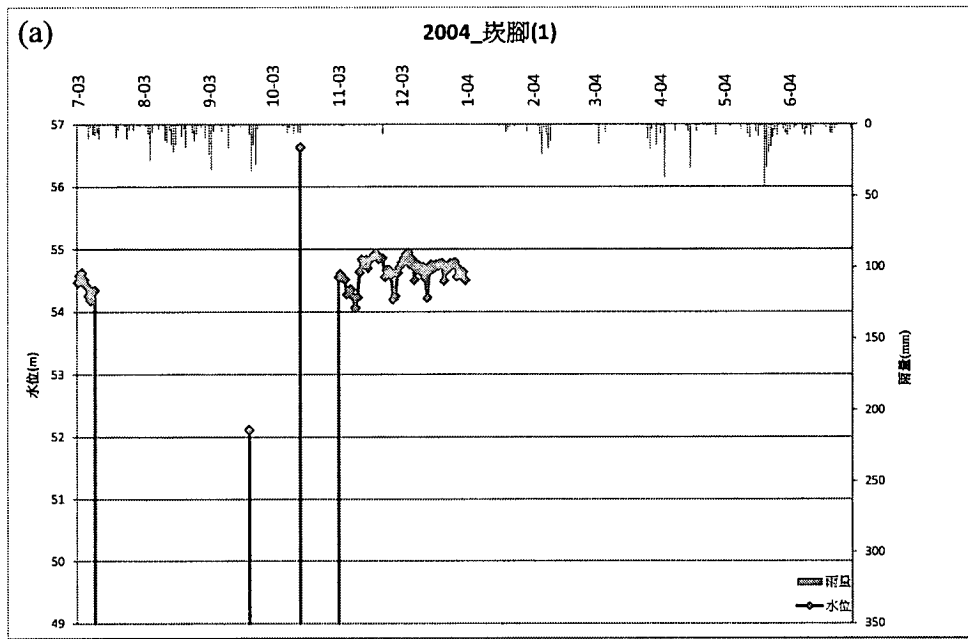
圖十二 柑園(1)：(a)補遺前；(b)補遺後



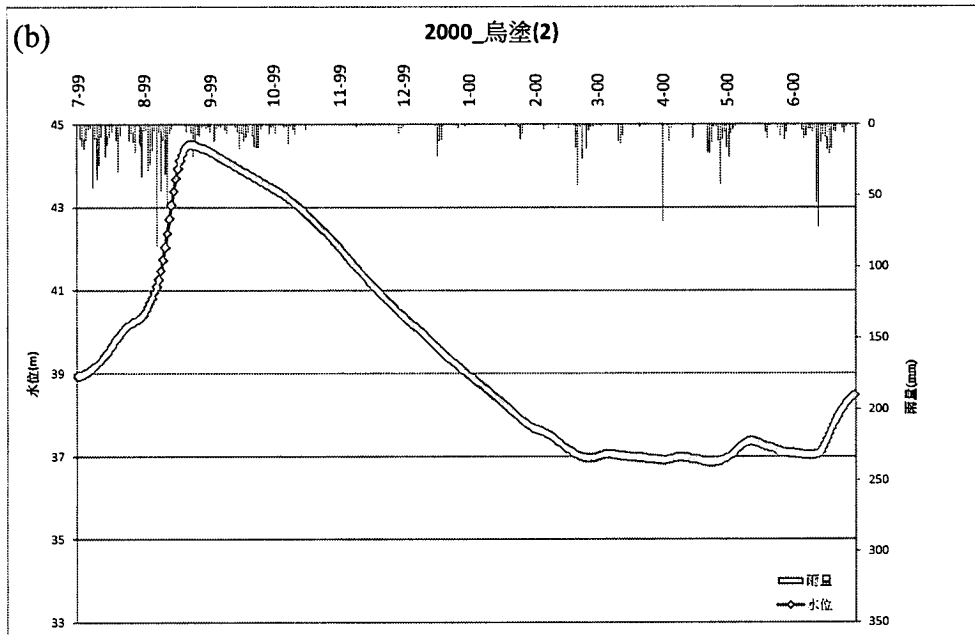
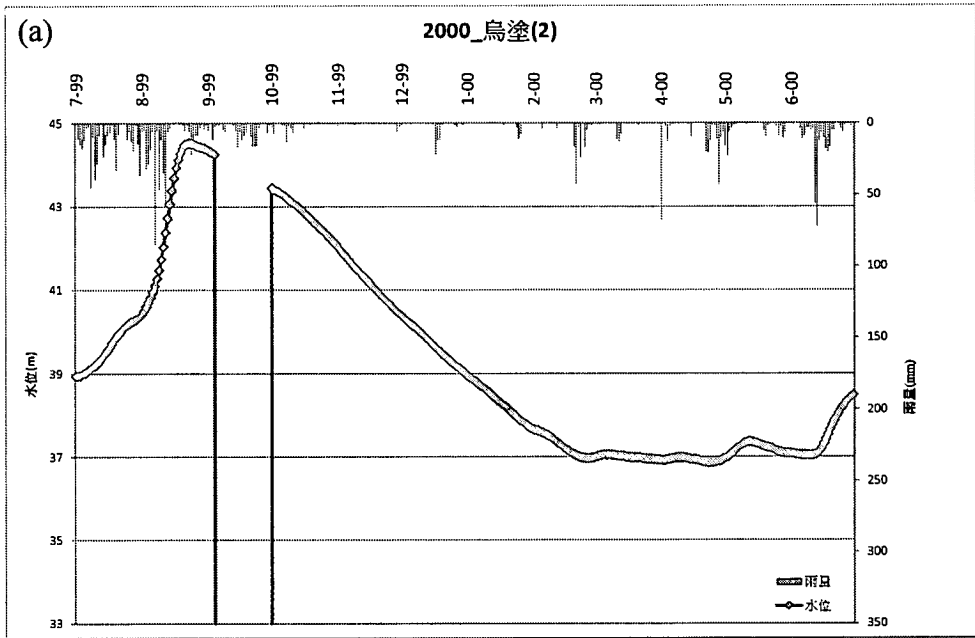
圖十三 崁腳(1)_case1 : (a)補遺前 ; (b)補遺後



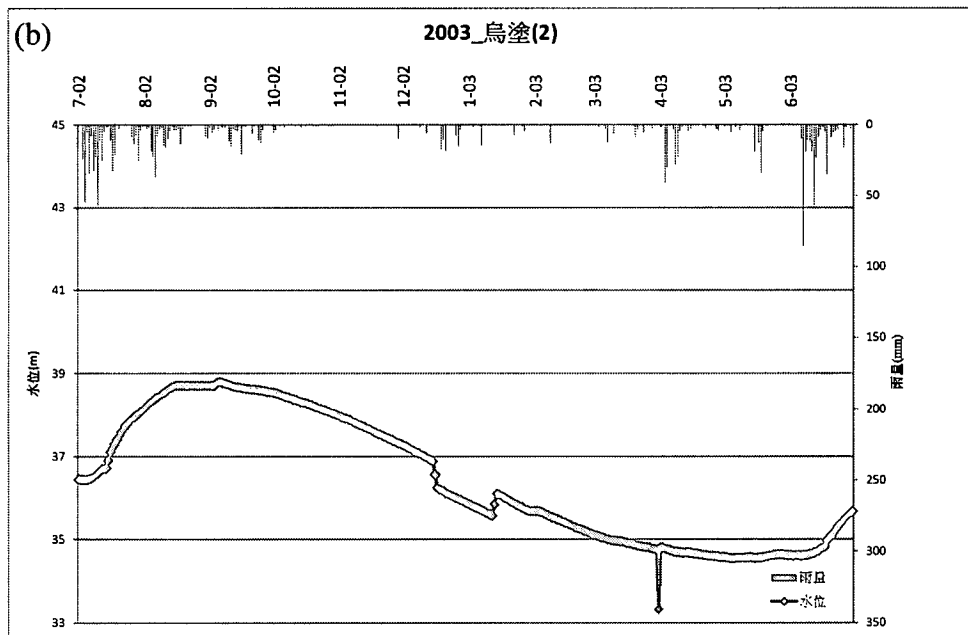
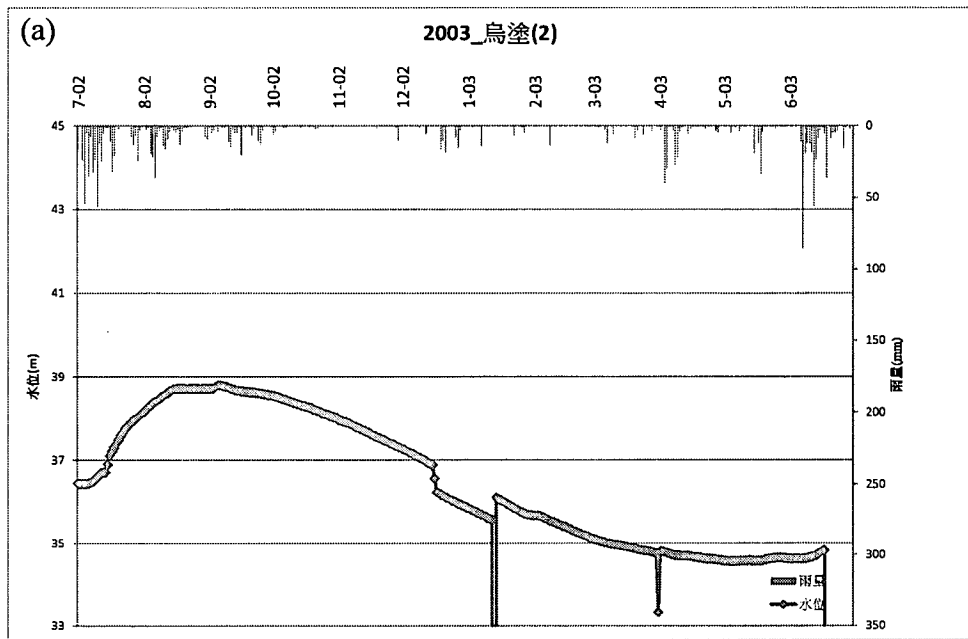
圖十四 坎腳(1)_case2 : (a)補遺前 ; (b)補遺後



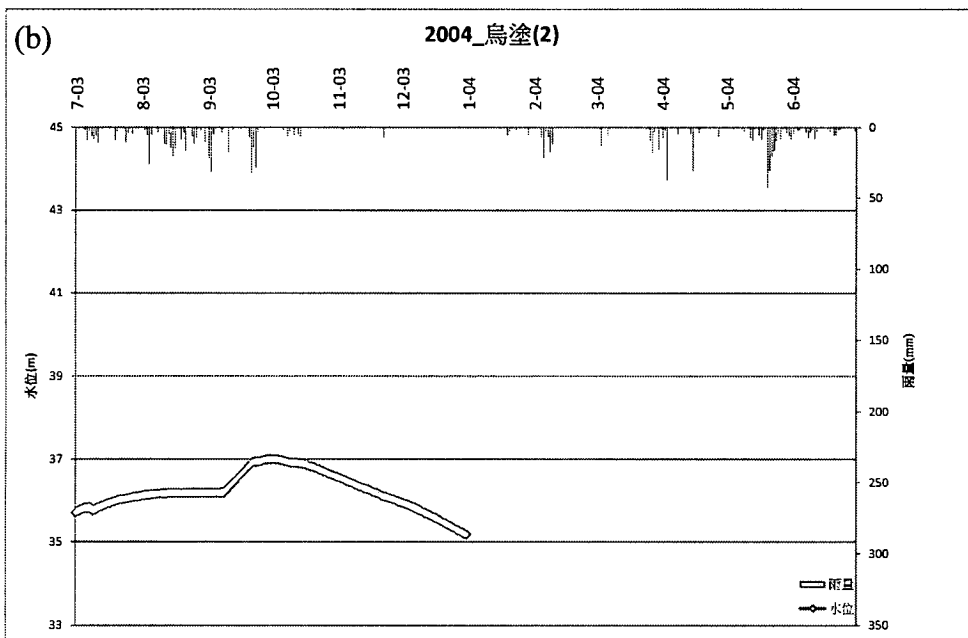
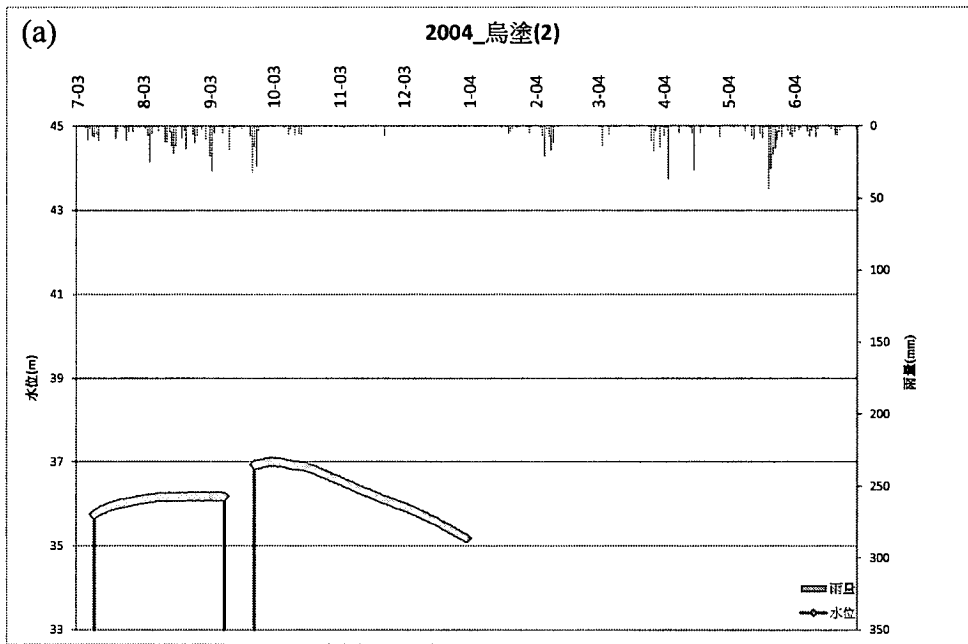
圖十五 崁腳(1)_case3 : (a)補遺前 ; (b)補遺後



圖十六 烏塗(2)_case1 : (a)補遺前 ; (b)補遺後



圖十七 烏塗(2)_case2：(a)補遺前：(b)補遺後



圖十八 烏塗(2)_case3 : (a)補遺前 ; (b)補遺後

附錄二、六合抽水試驗分析圖表及施工照片

六台抽一分級試水

圓縮口：φ8"~φ6"

date：99/6/9

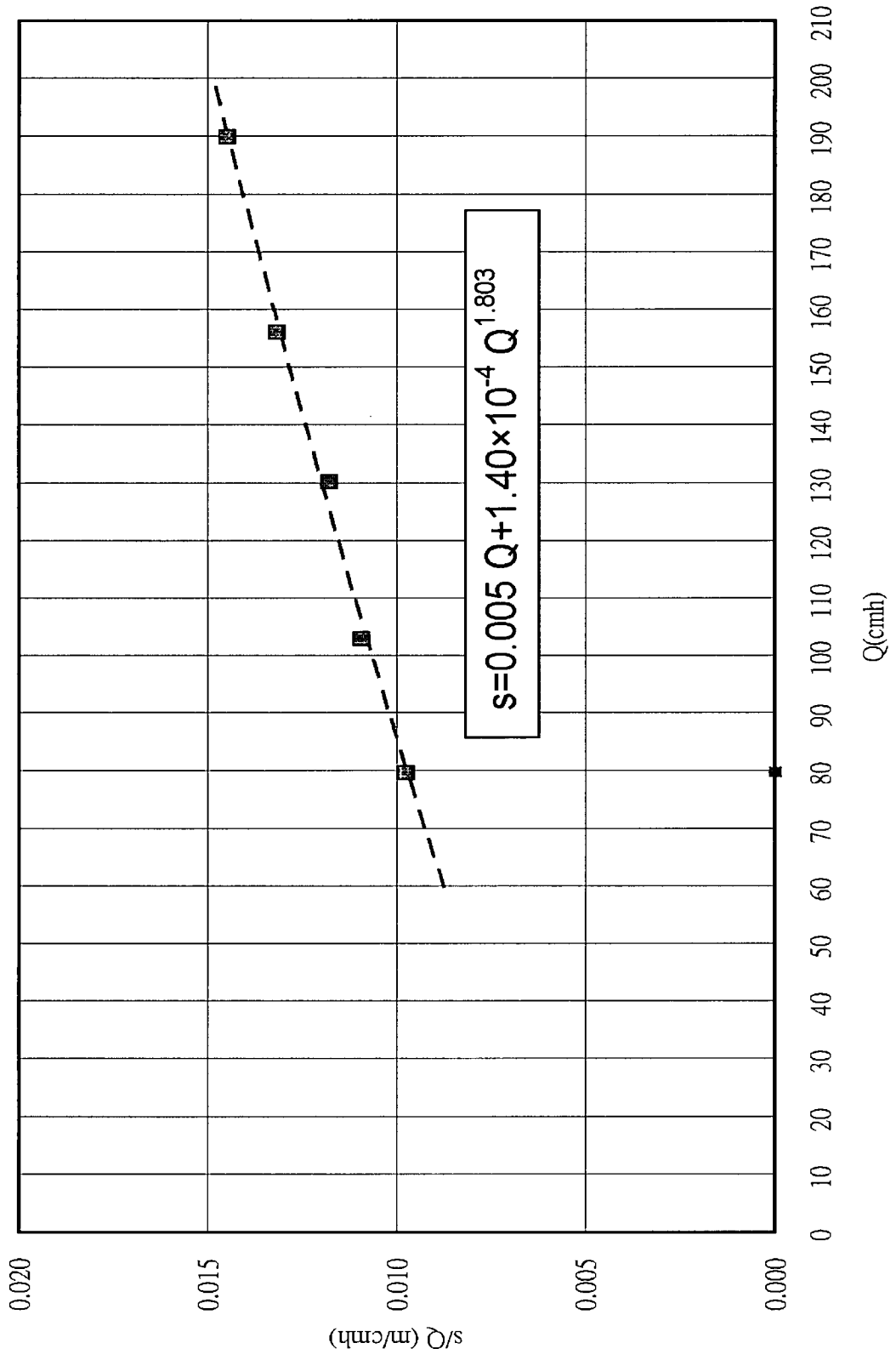
time：09:00

time (min)	第1級		第2級		第3級		第4級		第5級	
	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)	抽水位 (m)	洩降 (m)
Q (cmh)	79.8		103.0		130.3		156.2		190.0	
靜水位 (m)	21.170		21.170		21.170		21.170		21.170	
2	21.880	0.710	22.273	1.103	22.689	1.519	23.182	2.012	23.798	2.628
5	21.885	0.715	22.274	1.104	22.685	1.515	23.190	2.020	23.815	2.645
10	21.910	0.740	22.280	1.110	22.690	1.520	23.210	2.040	23.842	2.672
15	21.900	0.730	22.290	1.120	22.696	1.526	23.215	2.045	23.865	2.695
20	21.889	0.719	22.298	1.128	22.699	1.529	23.220	2.050	23.870	2.700
25	21.920	0.750	22.300	1.130	22.701	1.531	23.223	2.053	23.880	2.710
30	21.920	0.750	22.301	1.131	22.705	1.535	23.228	2.058	23.900	2.730
40	21.945	0.775	22.301	1.131	22.708	1.538	23.235	2.065	23.910	2.740
50	21.950	0.780	22.303	1.133	22.712	1.542	23.250	2.080	23.935	2.765
60	21.948	0.778	22.303	1.133	22.716	1.546	23.260	2.090	23.938	2.768
80	21.952	0.782	22.307	1.137	22.725	1.555	23.265	2.095	23.960	2.790
100	21.945	0.775	22.309	1.139	22.732	1.562	23.270	2.100	23.980	2.810

六合抽一分級試水洩降資料 ΔQ_i 式分解表

t' (min)	1級(m)	2級 (m)		3級 (m)		4級 (m)		5級 (m)		分解係數			
	$s(Q_1, t)$	$s(Q_2, t)$	$s(Q_2, t')$	$s(Q_3, t)$	$s(Q_3, t')$	$s(Q_4, t)$	$s(Q_4, t')$	$s(Q_5, t)$	$s(Q_5, t')$	$\log \frac{400+t'}{t'}$	$\log \frac{300+t'}{t'}$	$\log \frac{200+t'}{t'}$	$\log \frac{100+t'}{t'}$
2	0.710	1.103	1.008	1.519	1.380	2.012	1.826	2.628	2.396	2.303	2.179	2.004	1.708
5	0.715	1.104	1.030	1.515	1.404	2.020	1.869	2.645	2.455	1.908	1.785	1.613	1.322
10	0.740	1.110	1.052	1.520	1.430	2.040	1.916	2.672	2.514	1.613	1.491	1.322	1.041
15	0.730	1.120	1.071	1.526	1.447	2.045	1.936	2.695	2.555	1.442	1.322	1.156	0.885
20	0.719	1.128	1.085	1.529	1.458	2.050	1.951	2.700	2.573	1.322	1.204	1.041	0.778
25	0.750	1.130	1.091	1.531	1.467	2.053	1.962	2.710	2.593	1.230	1.114	0.954	0.699
30	0.750	1.131	1.096	1.535	1.475	2.058	1.974	2.730	2.620	1.156	1.041	0.885	0.637
40	0.775	1.131	1.101	1.538	1.486	2.065	1.990	2.740	2.642	1.041	0.929	0.778	0.544
50	0.780	1.133	1.106	1.542	1.495	2.080	2.013	2.765	2.676	0.954	0.845	0.699	0.477
60	0.778	1.133	1.109	1.546	1.504	2.090	2.028	2.768	2.686	0.885	0.778	0.637	0.426
80	0.782	1.137	1.117	1.555	1.519	2.095	2.042	2.790	2.719	0.778	0.677	0.544	0.352
100= Δt	0.775	1.139	1.122	1.562	1.531	2.100	2.053	2.810	2.747	0.699	0.602	0.477	0.301
Q_1 (cmh)	79.80	103.00		130.30		156.20		190.00		$\Delta s = \frac{s(Q, t_2) - s(Q, t_1)}{\log t_2 - \log t_1}$ 令 $t_2 = 10t_1$ 以第1級 $Q = 79.8$ cmh 分析 得 $\Delta s = 0.0556$ $T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s} = 4.375$			
ΔQ_i (cmh)	79.80	23.20		27.30		25.90							
T (m^2/min)	4.375												
$\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T}$ (m)	0.05564	0.01618		0.01904		0.01806							
$s(Q_n, t') = s(Q_n, t) - \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{2.30\Delta Q_i}{4\pi T} \log \frac{(n-i)\Delta t + t'}{t'} \right]$ $2 \text{ 級 } s(Q_2, t') = s(Q_2, t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T} \log \frac{100+t'}{t'} \right]$ $3 \text{ 級 } s(Q_3, t') = s(Q_3, t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T} \log \frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T} \log \frac{100+t'}{t'} \right]$ $4 \text{ 級 } s(Q_4, t') = s(Q_4, t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T} \log \frac{300+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T} \log \frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T} \log \frac{100+t'}{t'} \right]$ $5 \text{ 級 } s(Q_5, t') = s(Q_5, t) - \left[\frac{2.30\Delta Q_1}{4\pi T} \log \frac{400+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_2}{4\pi T} \log \frac{300+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_3}{4\pi T} \log \frac{200+t'}{t'} + \frac{2.30\Delta Q_4}{4\pi T} \log \frac{100+t'}{t'} \right]$													

六和抽一分級試水--井性能曲線



六合站觀一抽水試驗分析

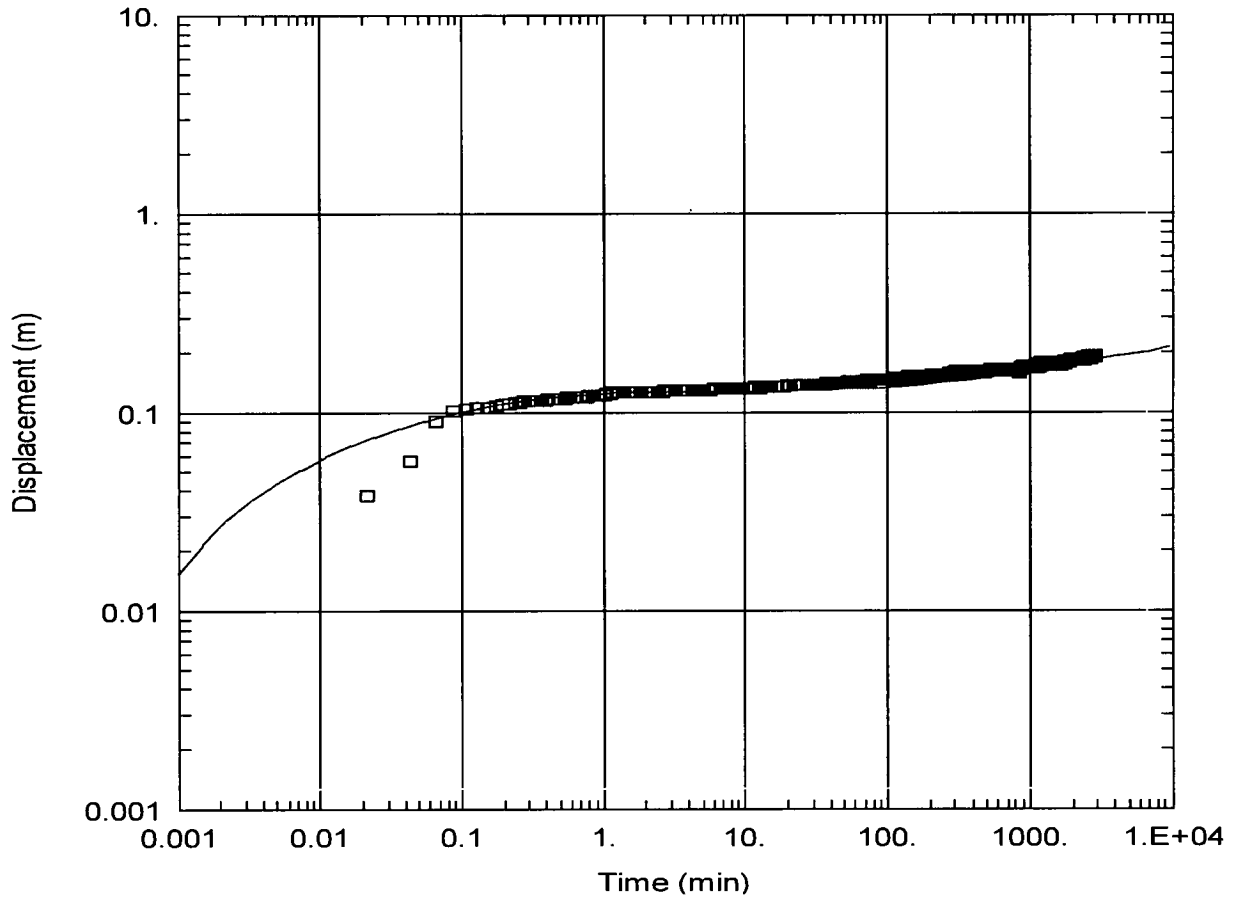
Client：經濟部中央地質調查所

Company：台糖公司台南區處

抽水井：抽水試驗井一

抽水量 $Q = 190.0$ cmh

井距 $r = 12.66$ m (抽水試驗井一 ~ 觀測井一)



SOLUTION

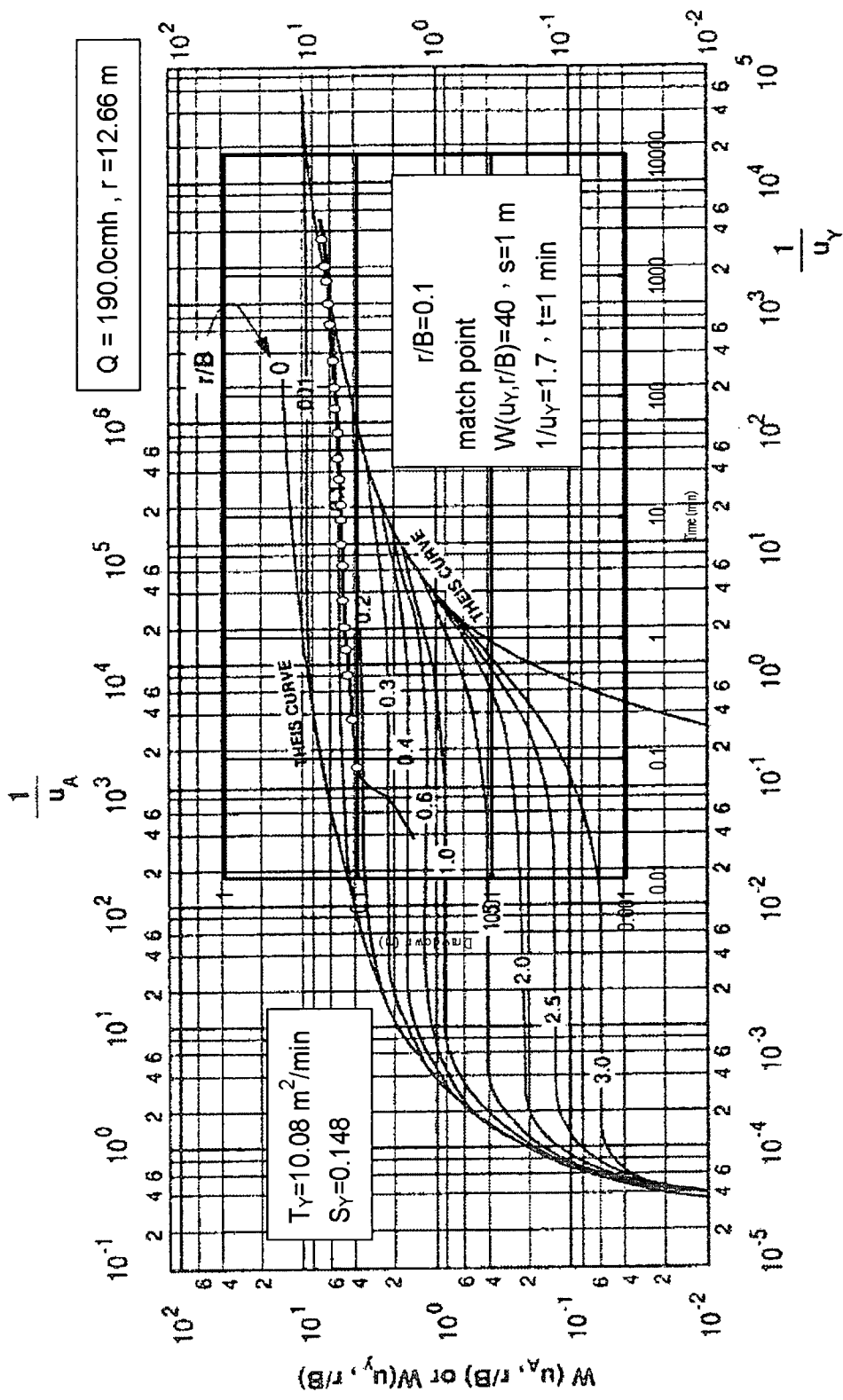
Aquifer Model : Unconfined

Solution Method : Neuman

$T = 11.28$ m²/min

$S = 0.000112$

$S_y = 0.1313$



六合站觀一抽水試驗 Boulton 法分析-後段(late-time)

附錄三、本年度工作會議紀錄

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第 1 次工作會議記錄

- 一、 時間：99 年 1 月 25 日 下午 13:30
- 二、 地點：國立交通大學 工程二館 329 教室
- 三、 主持人：張良正 教授
- 四、 出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、張竝瑜教授、台糖公司
- 五、 主席致詞：略 記錄：林彥勳
- 六、 工作報告：張良正教授(略)、張竝瑜教授(略)、台糖公司(略)
- 七、 會議結論：
 - (一)、因應本年度經費調降已和地調所達成協議，由原議價金額 5,600,000 元調降為 5,056,000 元，工作項目則刪減東和站的鑽井及抽水試驗工作，而六合站之鑽井深度則維持原計畫 60 公尺。
 - (二)、依據契約之規定，本年度第二期款之請款方式需注意經費動支累計達已付款之百分之七十五，始可請款。
 - (三)、於六合站之鑿井工作，原則上鑽鑿之抽水井需距離觀(1)井 10 公尺，但實際情形須配合現地狀況做調整；抽水試驗工作，其分級抽水之最大抽水率需大於每小時 200 立方公尺。
 - (四)、地電阻施測維持服務建議書中之四條測線，目前已於烏塗施測過，但儀器問題造成結果並不理想，將擇期再測。一維地電阻資料的數位化工作，需再檢討其數位化後之格式與繳交時程。另外，交通大學團隊將擇期至現場觀摩地電阻之施測情形。
 - (五)、地下水補注區劃分之依據或精度需參考地盤下陷區和地下水管制區制定之相關報告，至於是否須召開專家會議，將擇期與地調所討論。
 - (六)、預計期中報告前可完成之工作：

單位	期中報告前預計可完成之工作項目
交通大學	<ol style="list-style-type: none">1. 完成修正型地下水水位歷線法模式發展，其中包括資料的補遺工作。2. 完成濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估。3. 地下水補注潛勢評估標準作業程序之初步檢討與修訂。
海洋大學	<ol style="list-style-type: none">1. 完成兩條測線之地電阻施測。2. 一維地電阻資料數位化之格式確定。
台糖公司	如取得校方同意在非假日期間施做，將可於期中報告前完成六合鑿井及抽水試驗工作。

(七)、本年度工作會議預定時間：

■ 期中報告前

1. 預定於3月底(暫定3月25日)進行第二次工作會議，討論目前進度。
2. 預定於5月初(暫定5月6日)進行第三次工作會議，討論目前進度及確認期中報告內容。

➤ 期中報告

1. 預計在5月底或6月初辦理期中簡報，一週前需提出期中報告書15本供委員審查，因此於5月14日前繳交期中報告內容，彙整後於5月21日左右寄送地調所。(開會時再另準備簡報資料)。

■ 期末報告前

1. 於9月初(暫定9月2日)進行第四次工作會議。
2. 於10月底(暫定10月28日)進行第五次工作會議。

➤ 期末報告

1. 預計在11月底辦理期末簡報，一週前需提出期末報告書初稿15本供委員審查，因此於11月5日前繳交期末報告內容，彙整後於11月15日左右寄送地調所。(開會時再另準備簡報資料)。

八、15：30 散會

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第一次工作會議

- 一、 時間：99年1月25日 下午13:30
- 二、 地點：國立交通大學 工程二館329會議室
- 三、 主持人：張良正教授
- 四、 出席單位及人員簽到

單位	簽名
經濟部中央地質調查所	林聖初
	張錫生
	黃智昭
	陳瑞成
	陳俊中
嘉南藥理科技大學	
海洋大學	張新洲
清雲科技大學	
台灣糖業公司	李日明 王德宜
崧旭資訊股份有限公司	
交通大學	陳守文
	楊深惠
	張紹舜
	蔣仲傑
	林彥秋
	陳若斌
	柯宏諱
	陳冠宇
	吳卓俊
	王雲直

補注潛勢作業平台建置工作會議記錄

- 一、 時間：99 年 1 月 26 日 下午 14:30
- 二、 地點：國立交通大學 工程二館 303 教室
- 三、 主持人：張良正 教授
- 四、 出席單位及人員：崧旭資訊公司、交通大學 記錄：林彥勳
- 五、 討論主題：補注潛勢作業平台修正項目及本年度工作進度期程。
- 六、 會議結論：
 - (一)、補注潛勢作業平台之版權屬「經濟部中央地質調查所」，因此專案檔之 icon 及 logo 請改為地調所。此平台開啟方式是採 SuperGIS 之專案檔開啟，介面修正為下拉式選單列出各個作業項目，為求達到引導使用者輸入參數的功用而將工作窗格整合。
 - (二)、伺服器資料庫端需提供一個管理介面讓管理者管理地下水位站與雨量站之下載清單，管理者可依據地下水區或行政區域，新增或刪除站號與站名，伺服器端可依據下載清單自動下載最新之時序水位資料與雨量資料，並儲存於資料庫中。下載資料需包括各站(井)之細部資訊(即網頁上所有之資料)，例如：二度分帶座標、資料起始日期…等。
 - (三)、使用者端需提供操作介面，使用者則可依據水區、行政區域及站(井)號挑選所需資料，選取項目由伺服器資料庫端統一提供，介面中需呈現各站(井)之資料缺測情形、二度分帶座標、資料起始日期…等資訊。
 - (四)、「資料格式轉換元件」需於期中報告前完成，該元件提供「地下水位歷線法」、「修正型地下水位歷線法」與「補注潛勢分析」Fortran 程式所需之輸入資料，其中時序地下水位、時序雨量資料、地下水位站相關地質參數與站井位置由伺服器資料庫端提供，另外站井所建構之徐昇氏網格相關資訊則由系統計算。輸入資料之呈現格式將由交大方面提供。
 - (五)、SuperGIS 空間分析模組內插後之網格排序與網格產生器產生之排序不一致，造成無法依照 Cell Number 將兩個屬性表 Join 在一起，詳如附件所示，建議統一以網格產生器之排序為主。此問題需回覆給崧旭研發部門研擬改進方案。
 - (六)、Join 進來的欄位本身無法進行運算，且無法被其他欄位使用，造成資料處理需先匯出成檔案再讀進程式才可使用，該功能或許可參考 ArcView 做改良。該項工作需回覆研發部門研擬改進方案。
 - (七)、增加系統功能，包含徐昇氏網格相鄰邊之邊線長、針對個別徐昇氏網格之控制面積、計算各站間距離之計算。
 - (八)、期中報告前預定可完成之工作：(1)完成地下水補注潛勢評估作業平台之資料格式轉換元件；(2)模擬成果格式轉換元件之初步成果。
 - (九)、交大與崧旭之下次工作會議目前暫定 3/2(二)下午，並將針對本次會議之結論進行查核。
- 八、 16：40 散會

補注潛勢作業平台建置工作會議記錄

- 一、 時間：99 年 3 月 2 日 下午 14:30
- 二、 地點：國立交通大學 工程一館 209 教室
- 三、 主持人：張良正 教授
- 四、 出席單位及人員：崧旭資訊公司、交通大學 記錄：林彥勳
- 五、 討論主題：上次會議結論執行成果檢視及期中報告前工作討論。
- 六、 會議結論：
 - (一)、補注潛勢作業平台之版權及 icon 已改為「經濟部中央地質調查所」；伺服器資料庫端目前已設計一個管理介面讓管理者新增和下載最新之水位資料與雨量資料，應可再增加「全選」功能，以便於資料的更新工作。目前資料庫仍以 Access 格式在單機中儲存，未來需將資料庫建置於 SQL 伺服器中。
 - (二)、網頁記錄的雨量資料中「-」在補注作業平台擷取資料時需轉換成「0」再存成資料庫；將來網頁語法若有修改，必須回報給管理者，將資料擷取程式再作修改。
 - (三)、網格排序、徐昇氏網格相鄰邊線長、控制面積等計算功能約可在 6、7 月時完成功能修正或新增。
 - (四)、作業平台之地下水區選取後，應該僅顯示該區之地下水位站井；「雨量資料設定」中的全區平均雨量、平原區平均雨量、山區平均雨量僅針對濁水溪沖積扇，下一年度開始必須增加屏東平原地下水區，不一定仍有相同的分區平均雨量，因此雨量資料的選取介面要修改為下拉式選單，針對濁水溪沖積扇地下水區而言包含全區平均雨量、平原區平均雨量、山區平均雨量、自選雨量站，選取自選雨量站後再顯示出雨量站選擇框。
 - (五)、「開始轉換」按鈕需修改為「開始計算」，當使用者按下「開始計算」按鈕時，平台即開始作輸入資料檔的格式製作，並且呼叫「水位歷線法補注評估」或「補注潛勢評估」執行檔。
 - (六)、「水位歷線法補注評估-使用者自行建立」對話框中，刪去「演算法：水位歷線法和修正型水位歷線法」，「輸入資料」需增加一個項目「每年一二期稻作面積資料」。
 - (七)、交大需補充提供資料庫相關資料給崧旭：(1)濁水溪沖積扇各井之儲水係數、透水係數、含水層底部高程、各年度一二期稻作面積；(2)補注潛勢評估各因子圖層及分數表。
- 八、 17：20 散會

「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估— 地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)」

補注區劃設工作會議記錄

- 一、 時間：99年3月30日 上午 11:00
- 二、 地點：經濟部中央地質調查所 第二會議室
- 三、 主持人：江副所長崇榮
- 四、 出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學
- 五、 主席致詞：略
- 六、 交通大學簡報：略
- 七、 綜合討論：略
- 八、 會議結論：

記錄：林彥勳

(一)、 地下水補注潛勢分區與地下水資源保護(育)區概念釐清：

地下水補注潛勢考量的乃是地下水系統外部(地表水)進入系統內部的難易程度，因此考量的範圍(深度)為淺層含水層之特性。惟地下水補注潛勢的高低並不等於地下水蘊藏量的大小，因此就地下水資源保育而言必須兩者兼顧。因此就地下水資源保育(保護)而言，地下水系統考量的範圍除了淺層補注的難易之外，尚需包含主要含水層的厚度、範圍、水文地質參數及地下水流向等。過去劃設濁水溪沖積扇主要補注區時，考慮地下水水質的因素，係已將地下水保育之觀點納入評估。

(二)、 評估因子調整及本計畫工作範圍：

補注區劃設需考量地下水資源的保育，建議需增加下列因子：含水層厚度、孔隙率、地下水流方向。含水層厚度及孔隙率關係到地下水的蘊藏量，含水層厚度越厚及孔隙率越大者，則越需要加以保護；而地下水流方向則關係到水質的保護(育)，越上游處越需加以保護(育)。因此，本年度計畫將增加考量上述評估因子，以提出補注區劃設之建議範圍，惟其行政管理區域之定訂，仍待主辦機關後續之研判。

八、 12：10 散會

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第 2 次工作會議記錄

一、時間：99 年 3 月 30 日 下午 13:30

二、地點：經濟部中央地質調查所 第二會議室

三、主持人：張良正 教授

四、出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、嘉南藥理科技大學藥陳文福教授、國立台灣海洋大學張竝瑜教授、台糖公司

五、主席致詞：略 記錄：林彥勳

六、工作報告：張良正教授(略)、陳文福教授(略)、張竝瑜教授(略)、台糖公司(略)

七、會議結論：

1. 濁水溪沖積扇地下水位資料經過人工檢視，已將 1997、2004、2005 年資料缺漏較多的年份剔除，不用來分析；部分水位資料跳動特異，需再檢討是否要使用。資料補遺之水井距離檢視結果顯示，相關性較高的水井並不一定是距離較近的水井，此部分亦需後續加以檢討。
2. 國外地下水保護區之相關案例回顧，可納入期中報告內容當中，例如：美國華盛頓州的 CARA 區(Critical Aquifer Recharge Area)、喬治亞州的 GRAD 區(Groundwater Recharge Area District)。
3. 地電阻施測全年度虛在雲林地區扇頂區域完成四條測線，其中報告需完成其中兩條測線，因前幾次施測結果顯示地表活動和抽水行為會影響施測結果，因此今年測線佈置若遇人為建物或地形限制無法連續施測時，會將測線平移再繼續施測。
4. 濁水溪沖積扇一維地電阻之數位化資料尚需檢討其格式和可用性，並納入期中報告中。
5. 六合站之鑿建抽水井工作：目前已完成與六合國小的用地協調，預計 99/4/6 起進行工地整理、機具進駐，4 月下旬完成井體建置，5 月中旬完成抽水試驗。分級抽水採用連續抽水方式，分成 5 級抽水量測試，最大抽水率約為最小之 2.5 倍，每一級試驗約 100 分鐘，再調整抽水率至下一級。複井抽水試驗在抽(一)定量抽水，以圓縮口流量計控制流量，並同時於抽(一)、觀(一)及觀(二)以測棒及自記式監測儀紀錄水位隨時間之變化。實施抽水試驗時現場應注意排水路之規劃。
6. 期中報告各單位可完成工作項目整理：

單位	期中報告前預計可完成之工作項目
交通大學	1. 完成修正型地下水水位歷線法模式發展，其中包括資料的人工檢視及補遺工作。 2. 完成濁水溪沖積扇補注量及抽水量推估。 3. 地下水補注潛勢評估標準作業程序之初步檢討與修訂
崧旭資訊公司	1. 完成補注潛勢平台資料格式轉換元件。 2. 模擬格式轉換元件之初步規劃成果。
海洋大學	1. 完成兩條測線之地電阻施測，需擇日會同交通大學人員至現場。 2. 一維地電阻資料數位化之成果展示。
台糖公司	完成六合鑿井及抽水試驗工作，施工及試驗期間需會同交通大學人員現勘。
嘉南藥理科大	1. 地面水導電度 37 點 2. 地面水化驗 10 樣結果 3. 地下水化驗 23 樣結果 4. 2 站之導電度連續監測 1-5 月結果

八、15：00 散會

經濟部中央地質調查所 99 年度委辦計畫
臺灣地區地下水區水文地質調及地下水資源評估
—地下水補注潛勢評估與地下水模式建置 (2/4)
第 2 次工作會議出(列)席人員簽名單

時間	99 年 3 月 30 日上午 11 時 00 分		地點	本所 2 樓第 2 會議室	
主持人	江常傑		紀錄		
出(列)席人員	單位	職稱	簽名	備註	
出席人員	交通大學	教授	張良正		
		助理	林彥勳		
		研究員	陳宇文		
		學生	楊淑慧		
		助理	陳茵誠		
	嘉南藥理科技大學		陳文福		
	海洋大學	助理教授	孫詒瑜		
		助理	張舒凱		
		助理	陳泓博		
		助理	吳尹聿		
	台灣糖業公司台南區處		李旺明		
			王德宜		
	崧旭資訊股份有限公司				
列席人員	中央地質調查所	組長	王詠鈞		
		科長	黃智昭		
		技士	張閔翔		
			卓瑞成		

經濟部中央地質調查所 99 年度委辦計畫
 臺灣地區地下水區水文地質調及地下水資源評估
 一地下水補注潛勢評估與地下水模式建置 (2/4)
 第 2 次工作會議出(列)席人員簽名單

		技士	陸婉中	
		技士	林燕初	
			陳麗燕	
			林淑曼	
			方建溍	

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第 3 次工作會議記錄

- 一、 時間：99 年 5 月 11 日 下午 14:00
- 二、 地點：國立交通大學 工程二館 329 會議室
- 三、 主持人：張良正 教授
- 四、 出席單位及人員：交通大學、嘉南藥理科技大學、國立台灣海洋大學、台糖公司、崧旭資訊公司
- 五、 主席致詞：略 記錄：林彥勳
- 六、 工作報告：略
- 七、 會議結論：
 1. 預計於今年 6/10 辦理期中簡報，6/2 前寄出期中報告書面資料，各合作廠商需在 5/23 以前繳交期中報告內容，由交大統一彙整撰寫。
 2. 水位資料因去除 1997、2004 及 2005 年資料，缺漏情形已大幅改善，目前針對缺漏天數 10 天以下的時段，利用內插方式進行補遺；缺漏 10 天以上的時段，則選擇該井與同站其他水井或鄰近水井之相關性較高者進行補遺。水位異常者則需經過處理以避免分析結果受其影響。
 3. 補注潛勢平台之資料格式轉換元件已大致完成，可由資料庫擷取數據製作成所需之輸入檔。徐昇氏網格的幾何資訊計算功能預計在第三季開發完成，補注潛勢評估作業模擬成果已可由資料庫之各因子分數修改權重後計算並輸出圖層，地下水位歷線法之模擬成果則需要再與交大討論如何呈現。目前水井、水位、雨量站及雨量資料皆由水利署網頁自動擷取，將資料建立成 Access 資料庫，將來會將資料庫建立在 SQL 網路伺服器上。
 4. 已完成地面水的水質採樣及化驗，地下水部分則尚有 3 的點持續進行中，荊桐及柑園 2 站的導電度監測持續進行。
 5. 已完成雲林地區一條地電阻測線施測，經過判識礫石層與泥層分界之過渡區間約略在六合國小及荊桐國中之間。一維地電阻之數位化反演仍在進行，應製作出空間分佈圖，比對工研院報告書之結果是屬於垂直深度之平均值等值圖或是某個深度之地電阻等值圖。
 6. 六合站鑿建抽水井時於 4/28 卡鑽，經數天打撈未成，於 5/2 井孔塌陷、機具埋陷，目前已於 5/5 移孔重鑿，以每日 2~4 公尺的施工進度，預計可在 5 月下旬期中報告前完成井體鑿建，因此抽水試驗工作預計需要到 6 月中旬才能完成。
 7. 各合作廠商需整理各採樣點或是各施測地點之座標或是圖層資料(.shp 檔、.kml 檔等等)提供給交大統整。
- 八、 15：45 散會

經濟部中央地質調查所 99 年度委辦計畫

「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估—

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)」

期中簡報會議紀錄

一、開會時間：99 年 6 月 11 日（星期五）上午 9：30

二、開會地點：本所 1 樓大禮堂

三、主席：江副所長崇榮

記錄：陳瑞娥

四、出（列）席單位及人員：詳如會議簽名單

五、主席引言：略

六、主辦單位說明：略

七、承辦廠商簡報：略

八、綜合討論：略

九、委員綜合意見：

- （一） 本計畫研究方向正確，內容資料豐富，分析完整，已達預訂進度目標。
- （二） 921 地震引發水位異常是普遍現象，異常站可能不僅 2 站，請檢核。
- （三） 地下水補注潛勢圖北端烏溪和美沖積扇附近潛勢分數最低，請再查核。
- （四） 地下水位歷線法對於大區域邊界，例如斗六丘陵、八卦台地、北港溪或烏溪，請說明如何評估流入或流出量。
- （五） 徐昇網邊界水交換流動量估算所使用之水力坡降，請加強說明。
- （六） 東光站 S_y 值 0.289 顯然偏高，或許只是廣大受壓地下水層中，局部非受壓之參數，值得進一步探討；未來或可補充調查及試水。
- （七） 地下水區邊界與 Google 衛星影像圖之套疊，兩項圖之比例尺大小是否一致？請再檢核。
- （八） 關於地下水位原始資料缺漏統計表中之缺漏百分率，建議加註代表「所有觀測站資料」。
- （九） 請加強說明以水位歷線法及數值模式所推估之數值的差異。
- （十） 請加強說明表 3.2-4 所定義的水位標準差(m)及單位蓄水量變化(m)所代表

的意義。

- (十一) P84 式 3.2-3，地下水位標準差之大小代表水位之穩定性，水位穩定性並不代表補注潛勢差，請再加以討論。
- (十二) 摘要倒數第 4 行，請加強說明扇頂地下水有鹽化趨勢之原因。
- (十三) 本計畫採用專家系統進行參數檢討，與 UCODE 程式所推估之結果是否有差異，請加以討論。
- (十四) 採用 921 水位資料推估礫石層與泥層表層之邊界，建議參考林允斌博士之論文內容。
- (十五) 請檢討以模式進行率定後，修正輸入之透水係數、儲水係數、抽補量等參數，對於第三章及第四章所推估之結果是否會有差異，並進一步加以討論。
- (十六) 考量地下水資源潛能因子中，針對「各層阻水層範圍」因子，建議加入各含水層之範圍及厚度。
- (十七) 引用雨量站之資料時，由於氣象局及水利署資料之精度不同，建議分析時引用同一單位所觀測之資料較佳。
- (十八) 請加以討論水質變化是否與土地利用、植栽及季節性變化有關。
- (十九) P133，系統水平衡分析表中，「年抽水量」的可靠性與精確性，請進一步加以說明。
- (二十) 根據鑽探結果顯示，六合站淺部地層係以極粗礫沉積為主，圖 6.2-5 六合(1)地層柱之岩性請修正。
- (二十一) 建議表 2.2-2 中，二水、烏塗(2)之儲水係數，參考重新分析之參數 0.30 及 0.23，以更精確推估抽水量及補注量。
- (二十二) 報告中所用之底圖除基本地名外，請加列觀測井位之圖層以利閱讀；建議各項研究子題所引用之地下水區範圍，能採用同一底圖。
- (二十三) 關於 1997、2004、2005 年水位觀測資料缺漏比率偏高，建議不採用。
- (二十四) 請說明退水曲線以人工判釋，牽涉到個人標準不一，是否有統一的作業準則。
- (二十五) P207、P 208 之導電度無單位；圖 4.4-7 圖例之單位有誤；統一用「荊桐」站名；表 4.4-11 中各站之地下水收支應達平衡；請修正。

十、結論：

- (一) 期中報告及簡報內容及進度符合契約書規定，請檢具工作進度表、經費收支表及收據，向本所辦理本案第 2 期款的申請與撥付事宜。
- (二) 請參照委員綜合意見配合辦理後續工作，並將處理結果之說明，詳列於期末成果報告書附錄，以利查核。

十一、散會（上午 12 時 10 分）。

地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(2/4)

第4次工作會議記錄

一、時間：99年10月6日 上午10:30

二、地點：經濟部中央地質調查所 第一會議室

三、主持人：張良正 教授

四、出席單位及人員：中央地質調查所、交通大學、嘉南藥理科技大學藥、國立台灣海洋大學、台糖公司

五、主席致詞：略

記錄：陳祐誠

六、工作報告：張良正教授(略)、陳文福教授助理(略)、張竝瑜教授助理(略)、台糖公司(略)

七、會議結論：

1. 成果發表會之屏東平原透水係數使用建井報告中數值；台中地區改由「台中盆地」與「沿海地區(台中清水海岸平原)」兩區域代表；新苗地區應排除泥岩區域以四集水區為評估區域。
2. 潛勢因子權重優選可嘗試排除 shaban 之因果關係圖，直接使用遺傳演算法優選因子分數與相互權重。
3. 台糖於六合之抽水試驗結果，由於觀一抽水可能影響觀二之水位變化，建議於下次工作會議將觀一、觀二之結果一併整理方便討論；建議簡報內容應放複舊照片。
4. 嘉藥於簡報中所列出導電度合理標準 $750 \mu s/cm$ ，建議蒐集相關資料討論其合理性，並參考其他國家之相關數值，評估修改標準之可能性。
5. 海大之電阻值測線結果展示建議加入 RIB 之柱狀圖並解釋絕對電阻之對應岩性，及使用三種不同測法原因與其優缺點。
6. 會議時程暫定 11 月上旬舉行教育訓練；11 月底舉行期末簡報；12 月繳交計畫第三年度之服務建議書。

八、12:00 散會

經濟部中央地質調查所 99 年度委辦計劃教育訓練

- 一、 時間：中華民國 99 年 11 月 9 日下午 2 時 30 分
- 二、 地點：中央地質調查所岩心館 4 樓會議室
- 三、 主持人： 紀錄：徐仁君
- 四、 出席單位及人員：中央地質調查所、崧旭資訊公司、交通大學
- 五、 討論主題：
- 六、 會議結論：
 1. 能否在程式中自選雨量站時顯示出各雨量站的相對位置
 2. 在自選幾個站時，再加一條總雨量
 3. 補助量圖與降雨量圖合在一起，了解退水曲線
 4. 在輸出介面展示總補注量總量
 5. 輸出檔文件中退水斜率能否改成儲水量減少率
 6. 使用者自行建立可否在案例名稱可以增加 Load 的選項
 7. 能否將自動建立的資料打包出來，專案資料的轉移

附錄四、期中報告審查意見及辦理情形

期中簡報暨期中報告書審查會議意見及處理情況

一、 日期：99 年 6 月 11 日(星期五)上午 09 時 30 分

二、 地點：地質調查所 1 樓大禮堂

三、 主席：江副所長崇榮

記錄：陳瑞娥

審查意見	意見回覆
1. 921 地震引發水位異常是普遍現象，異常站可能不僅 2 站，請檢核。	目前本計畫應用之資料為日地下水位資料，而非時或分地下水位資料，經檢視後地下水位異常較明顯者為表 2.3-3 之兩站。
2. 地下水補注潛勢圖北端烏溪和美沖積扇附近潛勢分數最低，請再查核。	地下水補注潛勢圖北端烏溪和美沖積扇附近之潛勢分數已修正於期末報告。
3. 地下水位歷線法對於大區域邊界，例如斗六丘陵、八卦台地、北港溪或烏溪，請說明如何評估流入或流出量。	地下水位歷線法對於流出流入量之評估可參見期末報告之圖 3.4-9，其計算依據為每一徐昇式網格之水平衡。
4. 徐昇網邊界水交換流動量估算所使用之水力坡降，請加強說明。	徐昇網邊界水交換流動量估算所使用之水力坡降，乃以各徐昇式網格中心點之水位差除以中心點之距離而得。
5. 東光站 S_y 值 0.289 顯然偏高，或許只是廣大受壓地下水層中，局部非受壓之參數，值得進一步探討；未來或可補充調查及試水。	針對東光站之補注量估算調整，本計畫採用不變動 S_y 值，而是依現地地質狀況，調整其控制面積方式進行補注量估算，調整後之控制面積可見於期末報告之表 3.4-8。
6. 地下水區邊界與 Google 衛星影像圖之套疊，兩項圖之比例尺大小是否一致？請再檢核。	地下水邊界與 google 衛星影像圖之套疊，皆是以相同二度分帶座標為依據進行套疊，故應無比例尺不一致之問題。
7. 關於地下水位原始資料缺漏統計表中之缺漏百分率，建議加註代表「所有觀測站資料」	感謝委員建議，將於本文內加註「所有觀測站資料」。
8. 請加強說明以水位歷線法及數值模式所推估之數值的差異。	水位歷線法僅能推估淺層之補注量與抽水量，其餘深層含水層之抽水量則需由數值模式檢定推估。

<p>9. 請加強說明表 3.2-4 所定義的水位標準差(m)及單位蓄水量變化(m)所代表的意義。</p>	<p>水位標準差僅為地下水位變化之標準差，而非含水層中地下水蓄存量之變化，而單位蓄水量變化則為水位標準差與該站井之 S 或 Sy 值之乘積，可代表單位面積含水層地下水蓄存量之變化。</p>
<p>10. P84 式 3.2-3，地下水位標準差之大小代表水位之穩定性，水位穩定性並不代表補注潛勢差，請再加以討論。</p>	<p>如前述單純地下水位之變化確不能代表因補注而引起之地下水蓄存量之變化，故本研究以單位蓄水量變化探討地下水位補注潛勢之大小。</p>
<p>11. 摘要倒數第 4 行，請加強說明扇頂地下水有鹽化趨勢之原因。</p>	<p>本計畫主要在探討地下水補注「量」之大小，水質之調查乃是在輔助補注量之評估，至於引起地下水質變化之機制則有待後續計畫進一步探討。</p>
<p>12. 本計畫採用專家系統進行參數檢討，與 UCODE 程式所推估之結果是否有差異，請加以討論。</p>	<p>本計畫並未採用 UCODE 進行參數推估，惟於期末報告中已對專家系統檢定所得結果之合理性進行詳細說明。本研究目前已完成濁水溪沖積扇多層(七層)三維暫態地下水數值模式之建置與檢定，模擬之時距長達十年，因此待檢定之參數維度甚高，若以 UCODE 直接進行檢定，將有計算複雜度太大與計算量太高的問題。</p>
<p>13. 採用 921 水位資料推估礫石層與泥層表層之邊界，建議參考林允斌博士之論文內容。</p>	<p>本計畫並未以 921 水位資料推估礫石層與泥層表層之邊界，此邊界乃是參考中央地質調查所彙刊之資料成果。</p>
<p>14. 請檢討以模式進行率定後，修正輸入之透水係數、儲水係數、抽補量等參數，對於第三章及第四章所推估之結果是否會有差異，並進一步加以討論。</p>	<p>本計畫地下水主要補注區之評估流程已做修正，數值模式所檢定之透水係數、儲水係數、抽補量等參數乃屬於深層含水層部分，因此其並不會影響淺層地下水補注區之評估。</p>
<p>15. 考量地下水資源潛能因子中，針對「各層阻水層範圍」因子，建議加入各含水層之範圍及厚度。</p>	<p>感謝委員意見。地下水資源潛能因子之「各層阻水層範圍」，已於期末報告中考慮各含水層之範圍及厚度。</p>
<p>16. 引用雨量站之資料時，由於氣象局及水利署資料之精度不同，建議分析時引用同一單位所觀測之資料較佳。</p>	<p>感謝委員意見。本計畫之雨量站之資料使用已全面給以氣象局資料分析。</p>
<p>17. P133，系統水平衡分析表中，「年抽水量」的可靠性與精確性，請進一步</p>	<p>期末報告已經重新修正與檢討。</p>

加以說明。	
18. 報告中所用之底圖除基本地名外，請加列觀測井位之圖層以利閱讀；建議各項研究子題所引用之地下水區範圍，能採用同一底圖。	期末報告之圖層均已採用同依底圖，並將觀測井位置套疊於各圖層以方便閱讀。
19. 請說明退水曲線以人工判釋，牽涉到個人標準不一，是否有統一的作業準則。	枯水期地下水位下降雖是整體趨勢，惟就各站之水位觀測資料而言，由於地下水系統複雜，水位資料仍不免受到其他因素之干擾，因此退水曲線之判斷仍須以人工方式為之。
結論	
1. 期中報告及簡報內容及進度符合契約書規定，請檢具工作進度表、經費收支表及收據，向本所辦理本案第2期款的申請與撥付事宜。	謹遵照辦理。
2. 請參照委員綜合意見配合辦理後續工作，並將處理結果之說明，詳列於期末成果報告書附錄，以利查核。	謹遵照辦理。

附錄五、期末報告審查意見及辦理情形

期末簡報暨期末報告書審查會議意見及處理情況

四、日期：99年11月30日(星期二)上午09時30分

五、地點：地質調查所第二會議室

六、主席：江副所長崇榮

記錄：陳瑞娥

審查意見	意見回覆
地下水補注潛勢評估及平台建置	
1. 本計畫研究成果豐碩，分析完整，符合預期目標，可提供地下水補注區範圍確認，並提高未來其他地下水區補注區劃設及地下水資源評估之精度。	
2. p82，2003、2008、2009年地下水歷線法，總補注量493、1252、985百萬(m ³)；而p197，模式參數檢定後第一層補注量各為4.9、12.5和9.8億(m ³)。二者相當接近，然而前者為總量後者為第一層的補注量。請加強說明後者的各項分量，例如側向補注量、流失量等。	本計畫以修正型水位歷線法之推估結果，作為數值模式之表層補注量，而數值模式中之各層抽水量則藉由參數檢定方式進一步推估求得，故兩者數值必然相等。其中已於第3.1節之第62頁與第5.4節之第199頁加強說明。
3. 雲彰兩縣分處濁水溪南北岸，T0、F1、T1、F2的延續情形值得資源地質組應用，進一步再詳加比對，以利主要補注區之再確認。	謝謝指教。
4. 地下水歷線法表3.4-5，流出量在枯水年均為負值，宜再檢討說明，一般雨後退水線斜率大於枯水期退水線，代表雨後地下水有正流出量。	已修正，謝謝指教。
5. 報告結論只針對水文地質調查提出建議，應該就各個工作項目結果增加論述。	已增加其他工作項目之建議，謝謝指教。
6. p96，場次降雨與補注量關係圖應說明基本假設為不考慮雨季或乾季，場次之間的臨前影響。	研究結果係以研究時段內連續數日以上之降雨，即可視為單一降雨事件，所做之分析與雨季或乾季之臨前條件無

	關,其中於文中第 3.4.2 小節之 96 頁說明。
7. p57, 歷線示意圖及表層概念模型之間需要有一些假設,例如:如何判斷區域地下水蓄水量梯度即為抽水量。圖 3.1-2 座標軸之單位為何,曲線代表水位歷線,而所有箭頭均標示為體積量,建議修正。	已修正,謝謝指教。
8. 豐枯水年如果純以年雨量來判別,無法反應年間乾旱的實際情形,上半年雨量反而是比較恰當的指標,請參考。	就地下水全年補注量而言,其大小主要應決定於年總降雨量,年間雨量之豐枯分配對年補注總量之影響不大。
9. 「主要補注區」與「重要保育區」之定義應在觀念上加強闡釋,並對「地下水補注潛勢」+「地下水資源潛勢」=「地下水資源保育潛勢」關係中之各項「潛勢」的定義做定性與定量之說明。	已於文章中對於「主要補注區」與「重要保育區」進一步說明。定性與定量說明已於第 4.2 節與 4.3 節說明。
10. MODFLOW 之模擬以 120 個時刻(10 年=120 月),是否數值計算上須考慮數值穩定度的問題。	相較於河川模擬而言,地下水數值模式在數值上極為穩定,因此雖然時刻數極多,模擬期距極長,對於地下水數值模擬仍無需考量數值穩定性之問題。
11. 對於十年之平均年補注量為 8.9 億噸,年抽水量約 7.9 億噸可比對此區域內之地下水位是否有上升現象,請進一步討論。	由於系統內水量增減為抽水量、補注量與流出量三者之綜合效應,因此就可用之水資源量或有效補注量而言,應為補注量扣除流出量,區域之平均年有效補注量為 7.43 億噸,比抽水量為小,對比區域地下水位之升降,均顯示區域水位仍持續下降。
12. 請說明 1997、2004 及 2005 年地下水位原始資料缺漏造成之原因,是否為委外觀測所致。	本研究乃是計畫執行單位而非原始資料之生產與管理單位,因此僅能就資料所呈現之現象進行分析與校正,至於影響資料品質之其他人為與管理上的因素,建議由資料管理單位進行探討。
13. 請補充水位歷線法之基本假設,及與其他研究報告之成果比較。	已於第三章第 97 頁補充比較,謝謝指教。
14. 濁水溪沖積扇之扇頂已設定為零流量,此與山區側向之補注觀念相左,請說明設定之依據。	山區側向補注量係以抽水模組給定,因此為避免重複計算,故扇頂邊界部分設定為零流量邊界,詳情已於第五章第

	169 頁進一步說明。
15. 請補充地下水模擬各年之整體水平衡，包括邊界流入/流出量，總補注井及抽水井水量等，以資比較。	已補充，謝謝指教。
16. 請討論模擬所得之年補注量及抽水量之可信度。	模式所得之補注量與抽水量已於期末報告定稿中修正，就參數檢定結果而言，所得之抽水量應具有一定的可信度，報告中並與過去之研究成果進行比較分析。
17. p211，圖 6.1-13 圖形未顯示，請修正。	已修正，謝謝指教。
18. 請確定計畫中淺層循環與深層循環，相對於自由含水層與受壓含水層之概念關係，未考慮地下水補注潛勢與地下水資源潛能之相對邏輯訂定因子緣由。	本計畫之入滲潛勢主要考量的乃是於自由含水層之淺層循環，至於地下水資源潛能則應考量包含淺層與深層之整個地下水系統，入滲量反應的乃是系統外部對系統的影響，水資源潛能則代表著系統內部儲存量之多寡，就地下水資源保育的觀點而言，兩者應同等重要。
19. 對每年平均單位面積抽水量分布圖與實務上目前超抽地下水之地層下陷區域，是否有合理趨勢一致性，請進一步討論。	期末報告初稿之單位面積抽水量分佈圖，扇頂部分乃代表從淺層至深層整個含水層之抽水量，至於扇尾部分則僅是淺層含水層之抽水量，兩者意義不同易造成混淆，已於期末報告定稿中修正。
20. 請加強說明東和(一)站與明德(一)站，其分析成果抽水量補注量與流出量，於分析成果方面可能造成影響情形。	東和站之值較大乃是因為其較高的比儲水係數與較大的地下水位變化，惟其位於斗六丘陵地勢較高，水位變化可能是受地形之影響。明德站則有高的比儲水係數與較大的控制面積，目前結果乃是直接呈現參數與水文地質架構之成果，仍有進一步檢討修正的空間。
21. 建議在報告書前段將主要「名詞」：如「補注」、「補注區」、「補注量」定義清楚。「補注」是否有針對某特定之「含水層」，或僅指「地表入滲 infiltration 至淺水自由層」，而不涉及「受壓含水層」。	本研究所述之補注量指外界水量穿越未飽和層，進入含水層之水量方視為補注量，因此僅針對最鄰近地表之淺層含水層，下方受壓含水層除人工補注外可建立路徑直接至下層外，應無路徑可直接進行天然補注。
22. p140 與 p159，修正後計算之補注潛	該區域綠線濁水溪北岸地電阻之初步

<p>勢分布顯示之高分區與地電阻推測補注交界面（綠色）之範圍並不一致（p.140 有合興—竹塘—西螺之伸出地帶的高分數區），請加以說明。</p>	<p>判釋結果，然實質觀察電測結果，並無法找出明顯之阻水層分界，故北岸部分在修正主要補注區上，並不予採納。為避免造成閱讀者之困擾，將不予顯示北岸之初步判釋結果。</p>
<p>地電阻測勘</p>	
<p>1. 量測資料之斷面電阻等值分布圖繪製時，是否會受到斷面中間資料排除之影響？請加以考量。</p>	<p>關於量測資料之電阻等值分布圖繪製乃是經由原始資料反演算而得，而斷面部份是由於地表人為建物干擾所產生之效應。</p> <p>在資料處理中，若電極受到地表人為建物干擾，則需濾除受干擾的資料點，以求地電阻反演剖面接近真實地表下訊號；但若電極受到地表人為建物干擾所產生的效應過大，所需濾除的資料點過多反而在反演算上容易造成失真。此時盡量採用原始資料進行反演算並以遮罩方式略過地表人為建物干擾部份反而能在地電阻反演剖面上獲得較接近真實地表下訊號。</p> <p>本計劃所進行之量測中，資料處理部份均已考慮以上問題，藉以求得補助區邊界劃分之正確性。</p>
<p>2. 建議應利用量測資料建構空間之地質資料分布結構圖。</p>	<p>若要利用今年計畫內所執行之調查量測資料建構空間之地質資料分布結構圖，資料密度仍有不足之部分。</p> <p>尤其是在虎尾河流域所干擾之斗六區測線，可能會有原始濁水溪沖積層遭到虎尾溪切穿或重新在其上覆蓋、沉積之作用；再者，該區受虎尾溪支流所經之區域地表有明顯落差，部分區域已由人為填土整平，再加上此趨密集的人為建物，對於地電阻測量工作施作的測線長度考量（與測深成正比）實屬不易。</p> <p>再加上各測區間，由於時間及效益上考量，無法以南北向二維地電阻測線觀察其中地質條件變化，實屬可惜。</p>

<p>3. 扇頂區地電阻之補充調查，所獲致之補注區界線，請討論其對補注量推估之影響。</p>	<p>依照扇頂區地電阻之補充調查，所獲致之補注區界線可以明確判定，過渡帶西界（往下扇方向）為泥層（完整不透水層）完整出現的開始位置。本年度調查發現虎尾溪一帶具有較廣泛分布之砂體，而此區以南，泥層在分佈層位深度上亦與濁水溪不一致，顯示其可能為另一沖積扇體之組成，於濁水溪一般認為之單一沖積扇體補注之觀念可能有較大之差異。</p>
<p>4. 目前利用地電阻法了解補注區界線帶，請對此帶大小或之訂定理由，加以描述，以利未來劃設補注區準則規範之參考。</p>	<p>本補注區界限帶乃依照去年度（98年）濁水溪沖積扇地下水補注邊界-彰化地區地電阻調查所獲得之綜合結果劃定。由今年及去年結果可發現，補助區界限並非一絕對的陡變邊界，而是一過渡帶，而其真實寬度乃依照各地形成泥層當時之沉積環境能量強弱而有所差異。過渡帶東界（靠上扇方向）為地電阻探測中泥層間斷出現之位址，西界（往下扇方向）為泥層（完整不透水層）完整出現的開始位置。由地下水觀測井水位資料亦可確認，過渡帶以西之淺地表之地下水已無法穿透底下之泥層。</p>
<p>地下水水質調查</p>	
<p>1. 農業肥料等殘留對地下水而言，建議定義為人為汙染。</p>	<p>農業肥料等殘留，定義為人為汙染。</p>
<p>2. 水質層化現象，建議納入海岸潮汐變化，海水入侵殘留之影響。</p>	<p>扇頂區離海岸很遠，且氯離子濃度很低，不應與海水有關。</p>
<p>3. 地下水導電度層化之漸變層高度受降雨量與海水潮位變化而變動，建議量測時，在水井內設垂線方向增加點之測量，瞭解層化之分界面或漸變段之高度的變化，更能正確瞭解其物理現象。</p>	<p>導電度之垂直向有量測。</p>
<p>4. 2009年水利署增加扇頂硝酸態氮之補充調查請予以比較。</p>	<p>本計畫採樣化驗之硝酸態氮濃度與農工中心（2009）之結果比對（表3-4-2），有些值相差很大，例如崁腳一、六一、新光一等，但歷年的採樣發現硝酸態氮的值有時變化很大，例如新光一</p>

	2009年6月與9月分別為0.59及14.4mg/l,農工中心(2009)為26.6mg/,但2010年5月也測出24.2mg/l。因為本計畫與農工中心的採樣,方法不同(前者為定點採、後者為抽水採),季節也不同(前者為6月及9月、後者為2-5月),但大致結果都在可解釋的範圍。
5. 水質檢測數據若有異常或違反常理者,應做出討論或處理,如p294表6-2-5西螺-溶氧為6.37mg/l但ORP卻為-310mv。	西螺一的硝態氮很低<0.05,應屬於還原狀態的水質,所以溶氧6.37mg/l應不可信。
6. 監測井之導電度值,會受監測點位置之影響,請加強說明量化導電度值於報告中之方式。	導電度值有垂直向的變化,本計畫採樣為採樣管降至濾管深處之水樣。
抽水試驗	
1. 抽水試驗之成果建議與之前之成果整合,提供地質參數之空間分佈。	抽水試驗所得之參數值,已於潛勢分析及數值模式中應用。
2. 抽水試驗建議以Boulton和Neuman兩種分析法均做,以利參考。	遵照辦理。
3. 抽水試驗中採用Neuman法分析,其應有Kx與Kz而非T值,請加以說明緣由,另外若採用Boulton法分析,亦請說明其屬於第一類與第二類Boulton法。	已於報告中補充Neuman法分析之Kx與Kz值,另Boulton法分析其屬於第一類Boulton法。
結論	
1. 期末簡報內容本所同意備查,請執行單位依據委員意見及建議事項修正報告書內容。審查意見之回覆說明,請列於期末成果報告書的附錄,以利查核。	
2. 請執行單位於期末報告書修正完後,行文提送成果報告書以辦理本年度驗收事宜,驗收完成後,始得依據契約書相關規定來函申請撥付尾款。	
3. 本次會議共6位委員出席,經委員	

審查一致同意執行單位向本所提交次(100)年度服務建議書，經評選委員會審議通過後，即可辦理「優先議價」之審查決議。請計畫主持人儘速提交 100 年度服務建議書，以辦理後續程序。

附錄六、本年度計劃出國研習訪查報告

出國報告(出國類別：開會)

赴美國參加 2010年 AGU Fall Meeting

服務機關：國立交通大學

姓名職稱：張良正教授

派赴國家：美國(舊金山)

會議日期：99年 12月13日至 12月17日

目錄

目錄.....	1
摘要.....	2
壹、前言.....	3
貳、行程.....	4
參、工作內容.....	4
肆、心得與建議.....	16

摘要

美國地球物理聯盟秋季會議 (AGU Fall Meeting) 是地科領域全球最大的國際會議之一，每年皆有數萬人參加，且每年均在舊金山舉行，今年發表的口頭報告及海報張貼本共有 18,000 篇論文，包括的議題很廣，共有 29 個主題。

本團隊本次發表的文章中有兩篇為本計畫之研究成果，其題目為：「應用水位歷線法與濁水溪沖積扇補注量推估」 (Application of Groundwater Fluctuation Method for Estimating Recharge in the Choushui River Alluvial Fan) 及「應用專家系統於地下水模式參數檢定」 (A Model of Automatic Identification of Groundwater Parameters using an Expert System)。

壹、前言:

美國地球物理聯盟秋季會議 (AGU Fall Meeting)是地科領域全球最重要且最大的國際會議之一，每年皆有數萬人參加，且每年均在舊金山舉行，今年發表的口頭報告及海報張貼本共有 18,000 篇論文，包括的議題很廣，共有 Union、Atmospheric Sciences、Atmospheric and Space Electricity、Biogeosciences、Cryosphere、Earth and Planetary Surface Processes、Earth and Space Science Informatics、Education and Human Resources、Geodesy、Geomagnetism and Paleomagnetism、Global Environmental Change、Hydrology、Mineral and Rock Physics、Natural Hazards、Near-Surface Geophysics、Nonlinear Geophysics、Ocean Sciences、Paleoceanography and Paleoclimatology、Planetary Sciences、Public Affairs、Seismology、SPA-Aeronomy、SPA-Solar and Heliospheric Physics、SPA-Magnetospheric Physics、Study of Earth's Deep Interior、Tectonophysics、Volcanology、Geochemistry 及 Petrology 等 29 個主題。

AGU Fall Meeting 最大的特色之一，為除了口頭報告之外還有大量的海報展示，相對於其它研討會，海報展示相當受到重視。大量的海報，使得身處會場的人有如於海報的汪洋中，從而感受到人類無止盡的創意。

貳、會議行程:

2010 年 AGU Fall Meeting 的正式會議日期為 12 月 13 日至 12 月 17 日，並在 12 月 12 日有接待活動，除了論文的發表外，並有各種主題的小組會議與互動性質的活動，會場並有大量廠商及學校的展示攤位。

參、工作內容:

本團隊本次發表的文章中，與本計畫相關有兩篇論文，其內容如下:

Application of Groundwater Fluctuation Method for Estimating Recharge in the Choushui River Alluvial Fan

Y W Chen¹, L C Chang², C J Chiang³, C C Huang⁴, and J E Chen⁵

1. Yu-Wen Chen, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, bsjacky@gmail.com
2. Liang-Cheng Chang, Professor of the Department of the Civil Eng. , National Chiao-Tung University, lcchang31938@gmail.com
3. Chung-Jung Chiang, Deputy Director of the Central Geological Survey, chiang@moeacgs.gov.tw
4. Chih-Chao Huang, Division Chief of the Central Geological Survey, hjj@moeacgs.gov.tw
5. Jui-Er Chen, Technician of the Central Geological Survey, tina@moeacgs.gov.tw

Introduction

Choushui River Alluvial Fan is one of the most important groundwater zones in Taiwan and the groundwater usage on the alluvial fan plays a vital role for regional water supply. During decades, over usage of the groundwater resources makes that the distal area of the alluvial fan has series problem of land subsidence. An accurate estimation of recharge quantity for the alluvial fan is an important information for regional water management of sustainable use.

Methodology

Water balance equation:

- Groundwater Storage Quantity Variation = Recharge Quantity - Pumping

Quantity - Loss Quantity

- Groundwater storage for unconfined aquifer = $f(\text{water level, specific yield})$
- Groundwater storage for confined aquifer = $f(\text{water level, storage coefficient})$

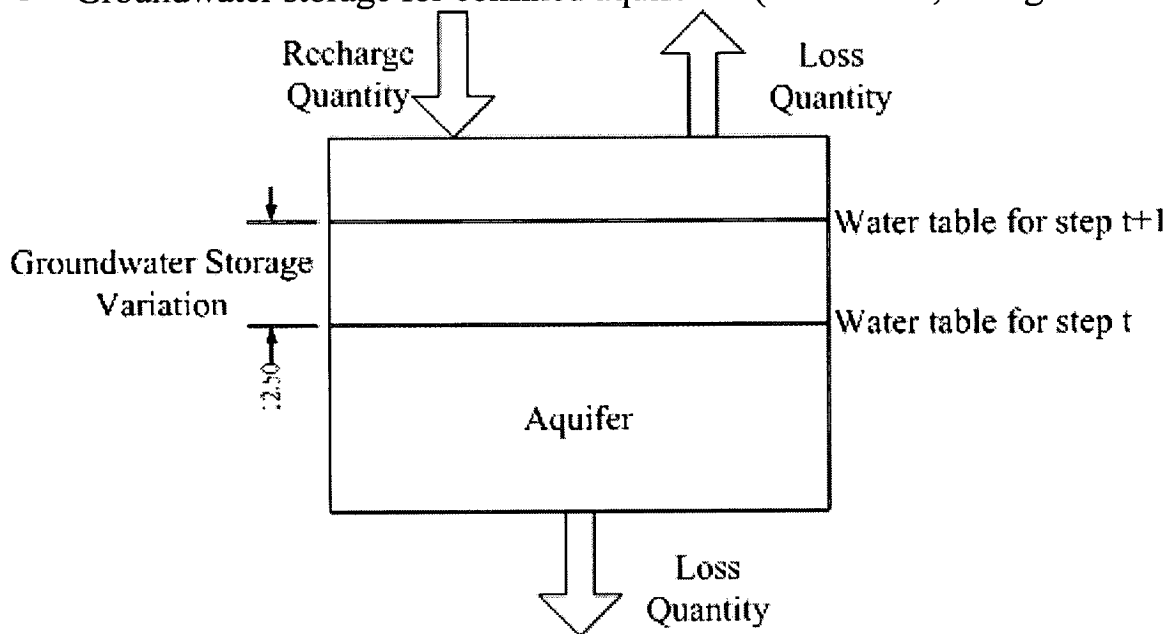


Figure 1 Aquifer control volume diagram

Drought period:

- In Taiwan, the drought period is normally from November to next April.
- Comparing the groundwater variation during drought period, the groundwater levels decrease as a straight line.
- The straight decreasing groundwater levels are caused by pumping.

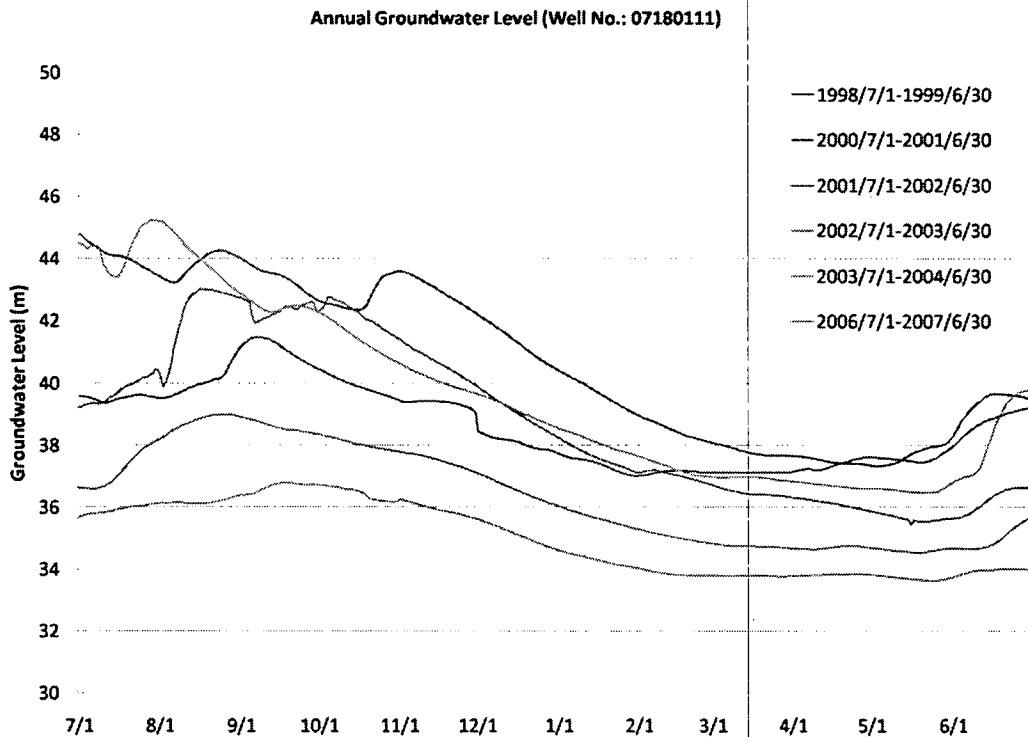


Figure 2 Groundwater level diagram (decreasing during draught period)

Concept of Groundwater Fluctuation Method (GFM)

- The gradient of decreasing storage quantity during drought period can be assigned as the average pumping quantity.
- The variation of storage quantity for single raining event equal to event recharge subtract event pumping.
- The decreasing gradient after raining event is greater than average gradient for drought period. The difference is caused by event loss quantity (exchange from sea and river bed).

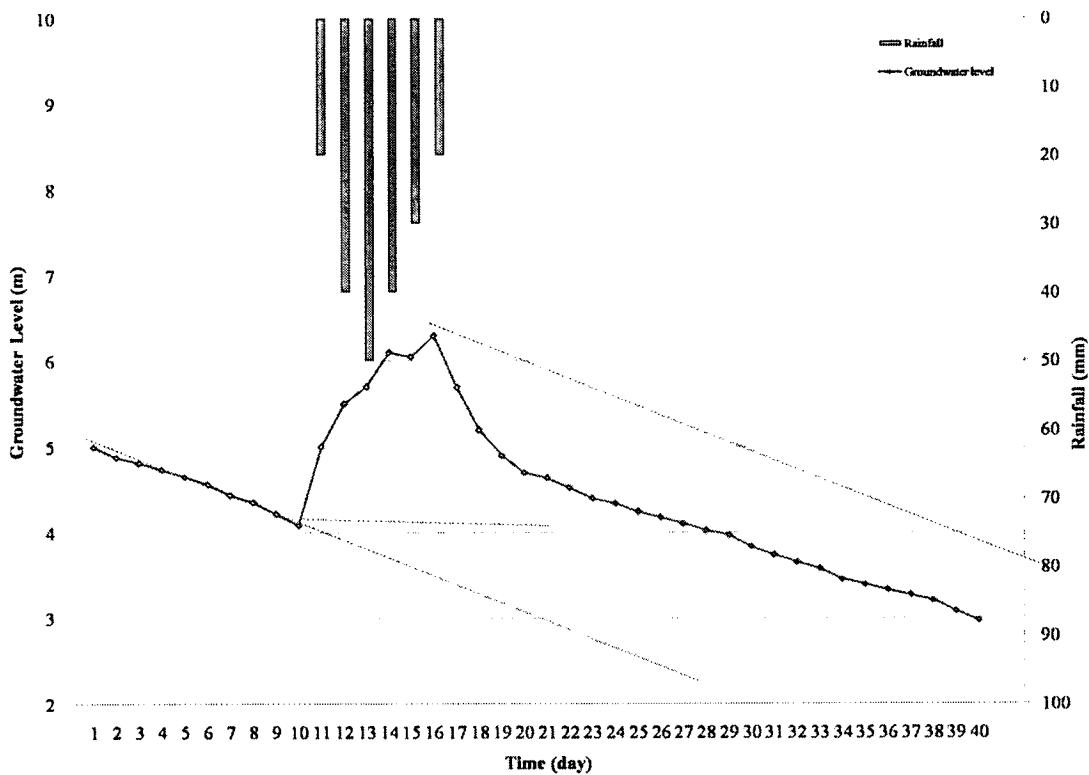


Figure 3 Concept diagram of groundwater level and rainfall for GFM

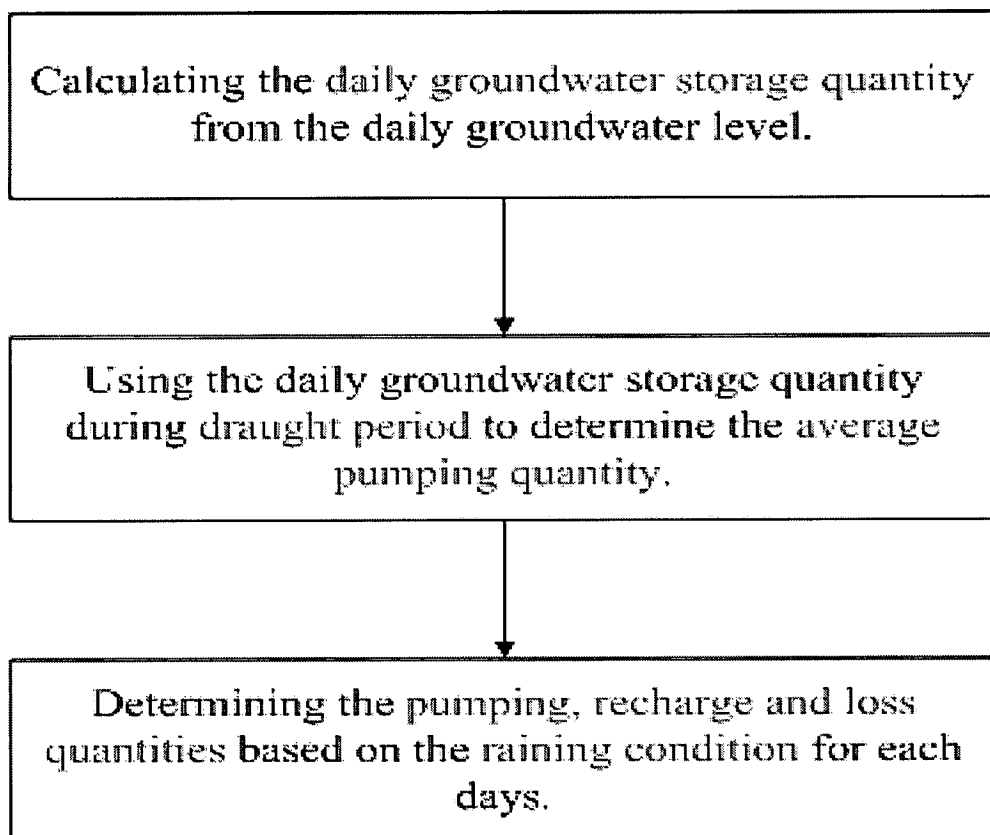


Figure 4 GFM flowchart

- **Study Area**
- Choushui River Alluvial Fan
- The elevation of study area varies from 0 to 100 (m) height and the area is about 1,800 (km²).
- Number of Observation Wells: 30
- Observation period of groundwater data: 1998~2003 and 2006~2009

Table 1 Table of water balance for GFM

Year	Annual Variation of Storage ^(a)	Annual Pumping Quantity ^(a)	Annual Recharge Quantity ^(a)	Annual Loss Quantity ^(a)	Annual Efficient Recharge Quantity ^(a)	Rainfall Quantity ^(b)
1998	88	608	1209	512	697	2,497
1999	-102	679	1079	504	575	1,724
2000	-63	800	967	232	735	1,622
2001	103	806	1225	317	908	2,131
2002	-172	841	955	287	668	1,369
2003	-172	915	944	202	742	1,134
2006	-104	672	1259	597	662	2,420
2007	81	794	1410	536	874	2,452
2008	19	795	1436	627	809	2,691
2009	-230	979	1373	609	764	1,742
Average	-55	789	1186	442	744	1,978
						(^a) : 10 ⁶ (m ³); (^b) : (mm)

A Model of Automatic Identification of Groundwater Parameters using an Expert System

PS Chang¹, LC Chang², CJ Chiang³, CC Huang⁴, JE Chen⁵, YW Chen⁶, JP Tsai⁷ and YC Wang⁸

1. PiShun Chang, Master student of the Department of the Civil Eng., National Chiao-Tung University, lafaka@gmail.com
2. LiangCheng Chang, Professor of the Department of the Civil Eng., National Chiao-Tung University, lcchang31938@gmail.com
3. ChungJung Chiang, Deputy Director of the Central Geological Survey, chiang@moeacgs.gov.tw
4. ChihChao Huang, Division Chief of the Central Geological Survey, hjj@moeacgs.gov.tw
5. JuiEr Chen, Technician of the Central Geological Survey, tina@moeacgs.gov.tw
6. YuWen Chen, Post Doctoral Researcher of the Department of the Civil Eng., National Chiao-Tung University, bsjacky@gmail.com
7. JuiPin Tsai, PhD of the Department of the Civil Eng, National Chiao-Tung University, skysky2cie@gmail.com
8. YunChih Wang, Master of the Department of the Civil Eng, National Chiao-Tung University, wshowyun@gmail.com

Introduction

1. Groundwater simulation models are widely used to analyze groundwater

problem.

2. Conventional methods for identification of groundwater parameters could be categorized into manual and automatic identification of parameters.
3. This study used a rule-based expert system (CLIPS) and a groundwater simulation model,
4. MODFLOW 2000, to develop an automatic system for identification of groundwater parameters.

Methodology

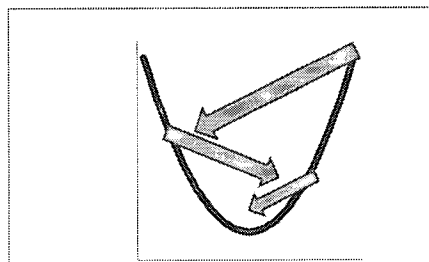
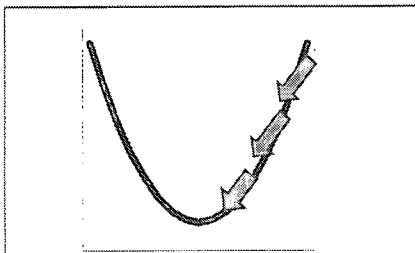
Groundwater model

Base on the investigation of well drilling , we define the hydrogeology , hydraulic conductivity and storage coefficient of the groundwater model .

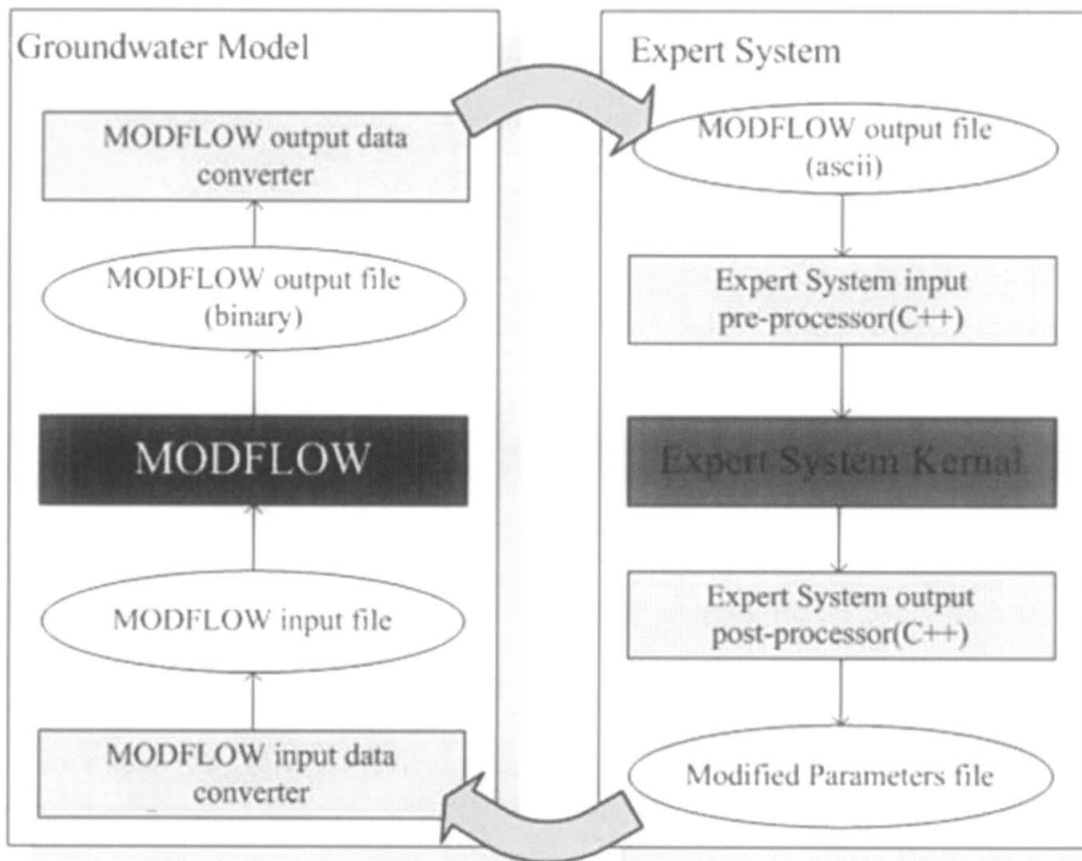
Expert System

Principles of calibration :

1. Decide the direction of pumping rate If simulated water level is higher than observed water level, then increasing the pumping rate .
2. Decide the corrected value of pumping rate Compare the direction of pumping rate at this time step with previous one :
 - i. If the direction are the same ,then keep the corrected value
 - ii. If the direction are opposite,then half the corrected value.

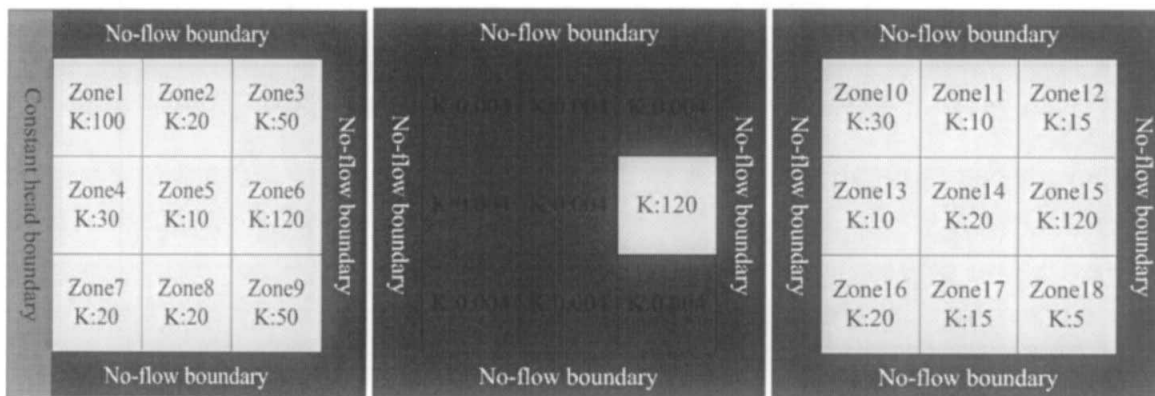


3. When the corrected value is lower than a small value, with whole system error is not convergent.
Then multiply all the corrected value by 5.



Ideal Case

The ideal case demonstrates the accuracy of the proposed system which develops a steady state simulation model and estimates steady recharge rates.



K: m/day

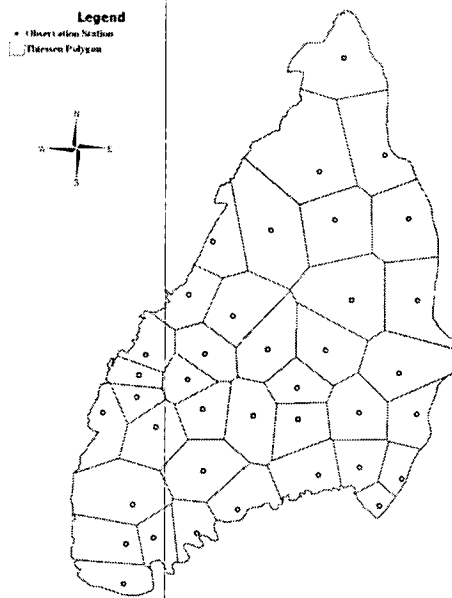
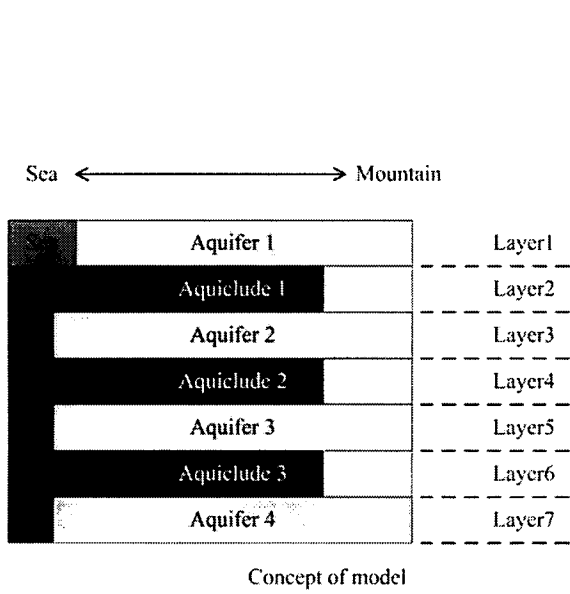
Zone	Initial Q	Target Q	Final Q	Error	Zone	Initial Q	Target Q	Final Q	Error
1	4000	1500	1568	4.5%	10	-2000	-2000	-1983	-0.9%
2	4000	-4500	-4521	0.5%	11	-2000	-1000	-1031	3.1%
3	4000	4000	4011	0.3%	12	-2000	-500	-469	-6.2%
4	4000	-6000	-6013	0.2%	13	-2000	-1700	-1711	0.6%
5	4000	-4000	-3999	0%	14	-2000	-1500	-1484	-1.1%
6	4000	25000	24970	-0.1%	15	-2000	0	-0.031	0%
7	4000	-4500	-4482	-0.4%	16	-2000	-1500	-1491	-0.6%
8	4000	-1500	-1514	-0.9%	17	-2000	-1000	-1015	1.5%
9	4000	6000	6006	0.1%	18	-2000	-500	-495	-1.0%

Q : cms

Field Case – Choshuihsi Alluvial Fan

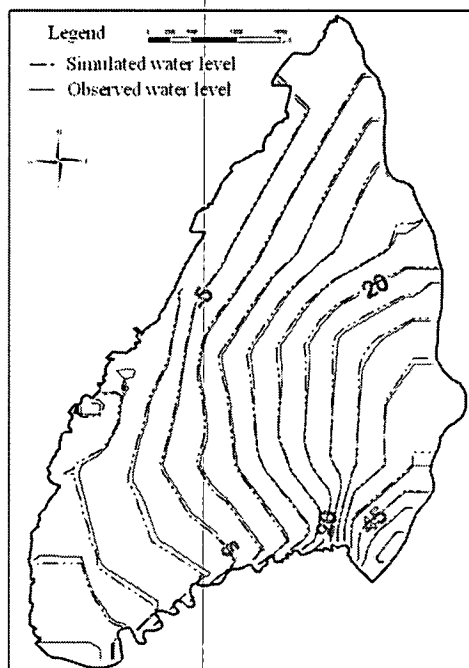
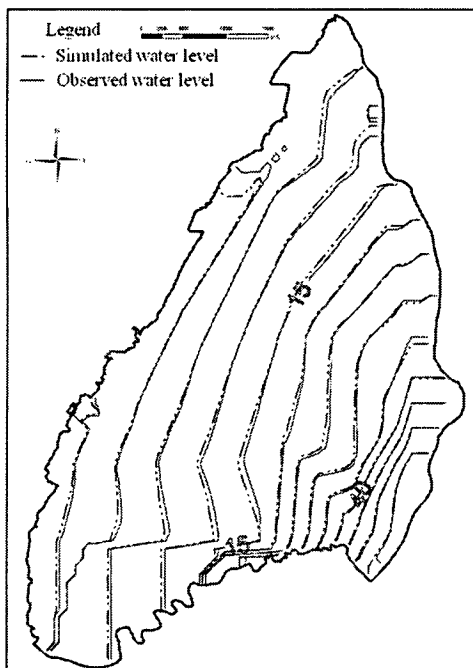
- Choushuihsi Alluvial Fan is one of the most important groundwater zones in Taiwan and the usage of groundwater there plays a vital role for regional water supply.
- Using zonation method (Thiessen Polygon) to defined the zone of parameter in the groundwater model.

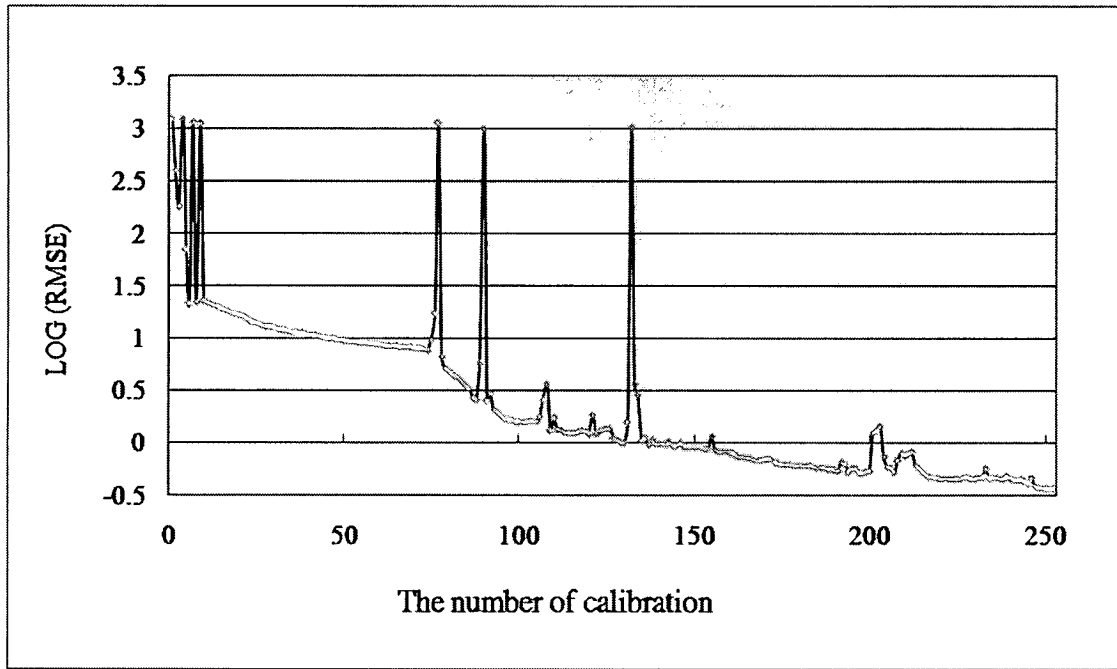
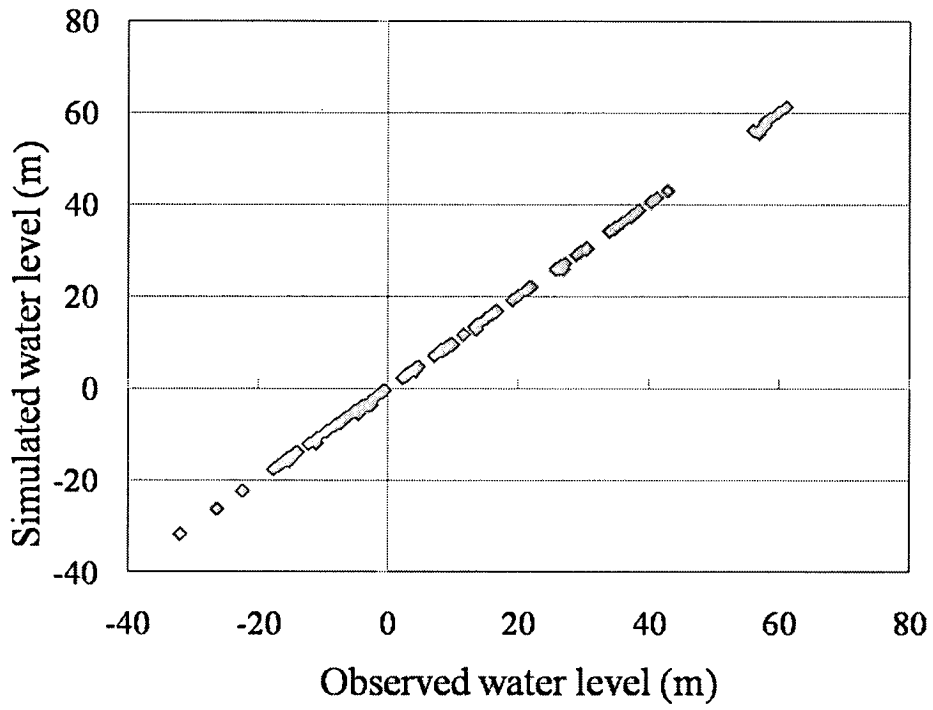




Result

The result indicates the capability of solving a large field problem with the tolerant error in 1 meter .





肆、心得與建議:

AGU Fall Meeting 國際會議歷史悠久且參與人士眾多，向為國際上地球科學領域最重要的會議之一，其中亦包括水文、地下水及水資源等相關領域，本次的會議中，本團隊與其它研究相互交流亦有豐碩的收獲。

另外，由會議安排的主題與發表之論文中可以發現。氣候變遷仍為目前氣象、水文與水資源方面的重大議題，本次大會其亦為重點之一，惟其它基礎而重要的研究工作成果仍相當多。由於發表的文章眾多幾乎可以滿足各種不同議題及不同興趣的人，整個會場就像人類智慧的寶庫一般，事前若能先做規劃選定議題，必可滿載而歸。